الميكروبيولوجيا الزراعية

تأليف

الدكتور إبراهيم يوسف طرابلسي

أستاذ الميكروبيولوجيا الزراعية - قسم وقاية النبات

كلية الزراعة - جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ح جامعة الملك سعود، ١٤٢٢هـ (٢٠٠١م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

طرابلسي، إبراهيم بن يوسف

الميكروبيولوجيا الزراعية - إبراهيم بن يوسف طرابلسي - الرياض.

٥٦٩ ص، ١٧ × ٢٤ سم

ردمك: ٩ - ٢٤٩ - ٣٧ - ٩٩٦٠

١ - الأحياء الدقيقة أ - العنوان

ديوي ٥٧٦ ٢٢/٠٢٥٦

رقم الإيداع: ٢٢/٠٢٥٦

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الحادي والعشرين للعام الدراسي ١٤٢٠/١٤٢١هـ المعقود بتاريخ ١٤٢١/٣/٢هـ الموافق ٢٠٠٠/٦/٤م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٢هـ

بسم الله الرحمن الرحيم

توكلت على الله وحده


بسم الله الرحمن الرحيم

إهـداء

أهدي هذا العمل إلى روح والدي (يوسف طرابلسي) رحمه الله، وإلى والدتي، أطال الله بقاءها، وأدعو الله أن يكون كل نفع انتفع به من قراءة هذا الكتاب أو الاطلاع عليه، في ميزان حسناتهما، فجزاهما الله عني خير الجزاء.

المؤلـف

مقدمة

أشكر الله العلي القدير أولا وأخيرا الذي منحني الجهد والوقت والعزيمة فوضعت هذا العمل موضع التنفيذ.

فعلى امتداد سنوات طويلة قمت فيها بتدريس مادة الميكروبيولوجيا الزراعية، كنت ألمس الصعاب التي يواجهها الطلاب في الحصول على مراجع باللغة العربية تغطي مختلف جوانب هذا المقرر ومفرداته، نظرا لافتقار المكتبة العربية إلى العدد الكافي من المراجع التي تضم بين دفتيها كامل المواضيع التي تندرج تحت عنوان الميكروبيولوجيا الزراعية، وهو مقرر فريد من نوعه لا يدرس (حسب علمي) إلا في عدد محدود من الجامعات، حيث يعني هذا المقرر بإعطاء الطالب كما شديد التنوع من المعلومات عن الأحياء الدقيقة.

ويتكون الكتاب من ثلاثة أبواب رئيسية، يضم الباب الأول أربعة فصول تعنى بموضوع تعريف الأحياء الدقيقة واكتشافها، وأهميتها في حياة الإنسان، والطرق المستعملة في دراسة الأحياء الدقيقة والسيطرة عليها، ونشأة علم الميكروبيولوجيا وتطوره وأقسامه المختلفة. ويندرج تحت الباب الثاني ستة فصول تناقش تقسيم الأحياء الدقيقة وتعريفها، والتركيب العام، وفسيولوجية هذه الكائنات وبيولوجيتها، ثم تناقش كل مجموعة من مجموعات الأحياء الدقيقة على حدة من حيث الشكل العام، والتغذية والتكاثر، والبيئة وموقعها التقسيمي. أما الباب الثالث فيضم ستة فصول تعنى بالجانب التطبيقي للأحياء الدقيقة في حياة الإنسان بصفة عامة، والزراعية بصفة

خاصة، حيث تناقش الدور الذي تقوم به الأحياء الدقيقة في مجال الأمراض النباتية، التصنيع الغذائي، الألبان، ميكروبيولوجيا الأراضي، المياه والمجاري.

ونظرا للدور الكبير المتنامي الذي تؤديه الأحياء الدقيقة في مختلف البيئات التي يقطنها الإنسان، والاستخدامات اللامحدودة في المجال الصناعي والطبي والزراعي والعسكري والتعديني والبيئي، وبفضل التطور الحاصل في ميدان الهندسة الوراثية، فقد أفردت في هذا الكتاب فصلا خاصا عن الميكروبات والإنسان والبيئة، لكي يكون مرجعا مبسطا لمن يريد من الطلاب والمهتمين في معرفة بعض الشيء عن هذه المجالات.

وقد راعيت - عند وضع هذا الكتاب - أن يحتوي على أحدث ما توصل إليه العلم في هذا المجال. ولتحقيق ذلك قمت بالاطلاع على كم هائل من الكتب الجديدة والنشرات العلمية، وكنت أحيانا أضطر إلى إعادة كتابة بعض المواضيع بعد أشهر من الانتهاء منها، لإضافة معلومات حديثة ظهرت خلال هذه الفترة. كما تم تزويد هذا الكتاب بعدد كبير من الصور التوضيحية والرسومات والجداول التي تساعد القارئ في استيعاب الشروح الموجودة في المتن وفهمها بصورة أفضل.

ومجمل القول، فإن هذا الكتاب وضع بصورة تجعل منه مقررا وافيا لطلاب الجامعة في مراحلهم الأولى، مما يهيئهم لفهم أفضل لبعض المقررات التخصصية التي سوف يدرسونها في مرحلة التخصص مثل (الأمراض النباتية، ميكروبيولوجيا الأغذية، ميكروبيولوجيا الألبان، ميكروبيولوجيا الأراضي). وفي نفس الوقت يشكل مرجعا أساسيا مهما للطلاب الجامعيين وطلاب الدراسات العليا والمهتمين بمجالات الأحياء الدقيقة.

وفي هذا السياق لا يفوتني أن أشكر الأستاذ الدكتور محمد عبد الحي الليثي، والأستاذة الدكتورة زكية أحمد حلمي - بكلية الزراعة - جامعة القاهرة، لمساعدتهما في مراجعة هذا الكتاب، كما أشكر الزملاء في قسم وقاية النبات الأستاذ مجدي كمال الليثي، والأستاذ صلاح الحسيني، والدكتور محمد عصام عبد السميع، الذين كانوا

خير عون لي في مختلف مراحل إعداد هذا الكتاب. كما أشكر جامعة الملك سعود لموافقتها على طباعة هذا الكتاب على نفقة الجامعة.

وفي الختام أدعو الله العلي القدير أن أكون قد ساهمت بجهد متواضع مع من سبقني من الأساتذة الأفاضل والزملاء الأجلاء في إثراء المكتبة العربية العلمية وسد بعض النقص الحاصل في هذا المجال.

والله ولي التوفيق.

المؤلـــف

المحتويات

الصفحة

مقدمة ..... ز

قائمة الأشكال ..... ق

قائمة الجداول ..... ذ

الباب الأول: الأحياء الدقيقة

(اكتشافها، أهميتها، طرق دراستها)

الفصل الأول: نشأة علم الأحياء الدقيقة وتطوره ٣

اكتشاف الميكروبات وتطور علم الميكروبيولوجيا ٤

نظرية التوالد الذاتي ٧

النظرية الجرثومية للمرض ١١

فرضيات كوخ ١٣

أقسام علم الميكروبيولوجيا ١٧

المزارع النقية ١٨

الفصل الثاني: الأهمية الاقتصادية والعلمية للأحياء الدقيقة ٢٣

دور الكائنات الحية الدقيقة في إحداث المرض ٢٤

تحليل المواد العضوية ٢٩

فساد الأغذية والمواد المخزونة ٣٢
استخدام الميكروبات في التصنيع الغذائي واستخراج مواد عضوية وطبية ٣٣
استخدام الميكروبات كمصدر غذائي ٤٠
الفصل الثالث: التقنيات والوسائل المتبعة في دراسة الكائنات الحية الدقيقة ٤١
المجاهر وتقنيتها ٤٢
الصبغات الميكروبية ٥٦
الوسائل المستخدمة في تنمية وزراعة الكائنات الحية الدقيقة ٧٠
المزارع النقية والمختلطة ٧٢
الاحتياجات الغذائية للأحياء الدقيقة ٧٤
تحضير البيئات المغذية ٧٧
حفظ المزارع البكتيرية ٨١
الفصل الرابع: السيطرة على الكائنات الحية الدقيقة ٨٣
العوامل المؤثرة في عملية السيطرة على الميكروبات ٨٦
ميكانيكية تأثير العوامل المستخدمة في السيطرة على الميكروبات ٨٩
الطرق الفيزيائية للسيطرة على الميكروبات ٩٠
الطرق الكيميائية للسيطرة على الميكروبات ٩٩
أسس عمل المواد المطهرة ١٠٢

الباب الثاني: موقع الأحياء الدقيقة
في النظام الحيوي للكون وأقسامها المختلفة

الفصل الخامس: أسس تقسيم الأحياء الدقيقة وتعريفها والنظم التقسيمية الحديثة ١٠٧
الصفات المشتركة للكائنات الحية ١٠٩
الخلية وصفاتها العامة ١١٠

أنواع النظم الخلوية ١١١
الأقسام الرئيسية للكائنات الحية ١١٣
مملكة البروتستا (الطلائعيات) ١١٥
النظم التقسيمية الحديثة للكائنات الحية ١١٨
الفصل السادس: الأوليات (البروتوزوا) ١٢٧
أهمية البروتوزوا ١٢٨
الشكل العام ١٢٩
التكاثر ١٣١
البيئة ١٣١
التقسيم ١٣٣
السوطيات ١٣٣
الأميبيات (اللحميات) ١٣٤
الهدبيات ١٣٥
الجرثوميات (البوغيات) ١٣٦
الفصل السابع: الطحالب ١٣٩
أهمية الطحالب ١٤٠
الشكل العام للطحالب ١٤٢
التكاثر ١٤٥
البيئة ١٤٦
تقسيم الطحالب ١٤٧
الأشنات ١٥٥
الفصل الثامن: الفيروسات ١٥٧
تعريف الفيروسات ١٥٨
الصفات العامة للفيروسات ١٥٩

تكاثر الفيروسات ١٦٣
تقسيم الفيروسات ١٦٥
علاقة الفيروسات ببعض الأمراض ١٧٩
طرق دراسة الفيروسات ١٨٠
طرق عزل وتنقية الفيروسات ١٨١
طرق مقاومة الأمراض الفيروسية ١٨٣
طرق تنمية الفيروسات وإكثارها ١٨٦
الفصل التاسع: الفطريات ١٨٩
أهمية الفطريات في عالم اليوم ١٩٠
تركيب الفطريات ١٩٤
التكاثر في الفطريات ١٩٨
فسيولوجيا الفطريات ٢٠١
تقسيم الفطريات ٢٠٢
الفصل العاشر: البكتريا ٢٤٩
الشكل الخارجي لخلية البكتريا ٢٥١
التركيب الدقيق للبكتريا ٢٥٧
الجراثيم البكترية ٢٧٩
الأسس المستخدمة في تعريف البكتريا وتقسيمها ٢٨٤
تقسيم البكتريا ٢٨٧
التغذية في البكتريا ٢٩٠
النمو والتكاثر في البكتريا ٢٩٨
الوراثة في البكتريا ٣١٣
استخدام العوامل الفيزيائية والكيميائية في مقاومة الأحياء الدقيقة ٣٢٠
عمليات الأيض في البكتريا ٣٢٦

الإنزيمات البكترية..... ٣٢٧
الميكوبلازما والركتسيا..... ٣٣٠

الباب الثالث: الميكروبيولوجيا التطبيقية

الفصل الحادي عشر: ميكروبيولوجيا التربة..... ٣٣٧
مكونات التربة..... ٣٣٧
الحيوانات الصغيرة في التربة..... ٣٤٠
تحليل المادة العضوية في التربة..... ٣٤٧
منطقة الريزوسفير..... ٣٤٩
الأهمية الميكروبية لنسبة الكربون للنيتروجين في التربة..... ٣٥٠
دورة الكربون في الطبيعة..... ٣٥١
دورة النيتروجين في الطبيعة..... ٣٥٢
الفصل الثاني عشر: ميكروبيولوجيا الأطعمة..... ٣٥٩
حفظ الأطعمة..... ٣٦٠
التسمم الغذائي..... ٣٦٢
فساد الأغذية..... ٣٦٣
تصنيع الأغذية بواسطة الميكروبات..... ٣٧١
الفصل الثالث عشر: ميكروبيولوجيا الألبان..... ٣٧٣
مصادر تلوث الحليب..... ٣٧٤
تبريد الحليب..... ٣٧٤
بسترة الحليب..... ٣٧٥
التغيرات التي تحدث في الحليب بفعل الميكروبات..... ٣٧٧
اختبارات الكشف عن صلاحية الحليب للاستهلاك..... ٣٧٨
الأمراض التي تنتقل عن طريق الحليب..... ٣٨١

منتجات الألبان وعلاقتها بالميكروبات ٣٨٣
الفصل الرابع عشر: ميكروبيولوجيا المياه والمجاري..... ٣٨٥
التلوث بالميكروبات المرضية ٣٨٧
المسح الصحي لمصادر المياه ٣٨٨
وجود الميكروبات في الماء وعلاقتها بصلاحيته للشرب ٣٨٨
الاختبارات الميكروبيولوجية للكشف عن صلاحية المياه ٣٨٩
مياه المجاري والصرف الصحي..... ٣٩٢
الفصل الخامس عشر: الأمراض النباتية ٣٩٧
المسببات المرضية ٣٩٨
أعراض الأمراض النباتية ٣٩٩
انتشار الأمراض النباتية..... ٣٩٩
قابلية النبات للإصابة بالأمراض ٤٠١
الأمراض الفطرية ٤٠٢
الأمراض البكتيرية..... ٤٢٧
الأمراض النيماتودية ٤٣٥
الأمراض الفيروسية ٤٤٢
وسائل مكافحة الأمراض النباتية..... ٤٤٥
الفصل السادس عشر: الميكروبات والبيئة والإنسان..... ٤٤٩
إنتاج الطاقة البديلة ٤٥٠
تحليل النفط..... ٤٥١
إنتاج النفط..... ٤٥٢
مقاومة تأثير الصقيع على النباتات..... ٤٥٣
المكافحة البيولوجية..... ٤٥٣
تحليل وتكسير المخلفات الصناعية..... ٤٥٤

استخلاص المعادن ٤٥٥
استخدام تقنيات الهندسة الوراثية ٤٥٥
حل مشكلة نقص الغذاء ٤٥٧
تحليل المبيدات الزراعية ٤٦٠
البلاستيك البكتيري ٤٦٢
المساعدة في خفض نسبة تلوث الهواء ٤٦٣
المساعدة على الاكتشافات البترولية وخام الذهب ٤٦٤
ميكروبات البحار ٤٦٤
استخدامات أخرى ٤٦٤
المراجع ٤٦٧
أولا : العربية ٤٦٧
ثانيا : الإنجليزية ٤٧٠
شرح المصطلحات العلمية ٤٧٣
ثبت المصطلحات ٤٩١
عربي - إنجليزي ٤٩١
إنجليزي - عربي ٥٢٦
كشاف الموضوعات ٥٦٣

قائمة الأشكال

رقم الشكل	البيـــــان	رقم الصفحة
١	مجهر ليفنهوك	٥
٢	اختبار شولتز وشوان، تجربة شرويد ودوتش لدحض نظرية التوالد الذاتي.	٩
٣	تجربة باستير لدحض نظرية التوالد الذاتي.	١١
٤	عدد الوفيات في العالم من العدوى بالمسببات المرضية المختلفة عام ١٩٩٤م.	٢٥
٥	توضيح مقارن لأبعاد الأحياء الدقيقة مقارنة بالجزيئات الأكبر والأصغر حجما.	٤٣
٦	المجهر الضوئي العادي.	٤٥
٧	تأثير زيت الغمس على مسرى الضوء في المجهر الضوئي.	٤٧
٨	مسار الأشعة الضوئية في مكثف المجال المظلم (مكثف آبي).	٤٩
٩	مقارنة لمسار الضوء في المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني.	٥٣
١٠	صورة للمجهر الإلكتروني النفاذ Transmission.	٥٤
١١	شكل الخلايا البكتيرية المصبوغة بالصبغات المختلفة.	٦٢
١٢	بعض طرق عزل البكتريا في الأطباق.	٧٣
١٣	الفرن الكهربائي والحضان.	٩٢

تابع قائمة الأشكال

رقم الشكل	البيـــــان	رقم الصفحة
١٤	جهاز التعقيم بالبخار المضغوط (الأوتوكلاف).	٩٤
١٥	المرشح البكتيري.	٩٦
١٦	التركيب التفصيلي للخلية :	١١٦
	أ) من مجموعة Eucaryotic ، ب) من مجموعة Procaryotic.	
١٧	تقسيم ويتكر ذو الخمس ممالك ومسار نشأة الكائنات التابعة لها.	١٢٠
١٨	التقسيم الحديث للكائنات الحية.	١٢٣
١٩	رسوم توضيحية لبعض أنواع الأوليات (البروتوزوا).	١٣٠
٢٠	طريقة التغذية بالالتهام Phagocytoces لخلايا البكتريا بواسطة الأميبا.	١٣٥
٢١	دورة حياة طفيلي الملاريا.	١٣٧
٢٢	الشكل العام لطحلب كلاميدوموناس.	١٤٣
٢٣	طحلب الفولفوكس.	١٤٣
٢٤	صور لبعض أنواع الطحالب.	١٤٤
٢٥	جزء تفصيلي لخلية مفردة من خلايا طحلب اسبيروجيرا.	١٤٥
٢٦	الأشكال الرئيسية للفيروسات.	١٦٢
٢٧	خطوات ادمصاص فيروس البكتريوفاج وحقن الحامض النووي.	١٦٩
٢٨	خطوات تكرار الفيروس لنفسه داخل الخلية الحية.	١٧١
٢٩	التركيب المعقد للفيروسات الحيوانية.	١٧٣
٣٠	تركيب الخيط الفطري (الهيفا).	١٩٦
٣١	أنواع الجراثيم اللاجنسية في الفطريات.	١٩٩
٣٢	صور للجراثيم الكونيدية (الأسبرجلس - البنيسليوم).	٢٠٠
٣٣	دورة حياة الفطريات اللزجة Myxomycota وبعض أشكال الأجسام الثمرية لها.	٢٠٩

تابع قائمة الأشكال.

رقم الشكل	البيـــــان	رقم الصفحة
٣٤	مراحل تكوين الجراثيم الجنسية (الزيجية) في فطر عفن الخبز.	٢١٧
٣٥	مراحل تكوين الجراثيم الجنسية الأسكية Ascospores.	٢٢١
٣٦	الأشكال المختلفة للأجسام الثمرية التي تكونها الفطريات الأسكية.	٢٢٣
٣٧	التركيب الداخلي لخلية الخميرة.	٢٣١
٣٨	أشكال الجراثيم الكونيدية.	٢٣٧
٣٩	مئات الملايين من الجراثيم البازيدية يطلقها فطر من نوع الكرات المنتفخة Pufflball على شكل سحابة من الجراثيم.	٢٤١
٤٠	مراحل تكوين الجراثيم الجنسية (البازيدية) في فطر عيش الغراب.	٢٤١
٤١	المجاميع البكتيرية المختلفة من حيث الشكل والتجمعات.	٢٥٤
٤٢	صورة من المجهر الإلكتروني لمجموعات الأشكال الرئيسية الشائعة في عالم البكتريا.	٢٥٥
٤٣	بعض الأشكال غير الشائعة لخلايا البكتريا.	٢٥٦
٤٤	أجزاء خلية بكتيرية عصوية.	٢٥٦
٤٥	تركيب جدار خلية بكتيرية موجبة لصبغة جرام	٢٦٤
٤٦	تركيب جدار خلية بكتيرية سالبة لصبغة جرام.	٢٦٥
٤٧	انتقال الجزيئات بالانتشار البسيط Simple diffusion.	٢٦٧
٤٨	انتقال الجزيئات (الانتشار بالمساعدة) Facilited diffusion.	٢٦٨
٤٩	انتقال الجزيئات بالانتشار النشط Active diffusion.	٢٦٩
٥٠	التركيب التفصيلي للسوط البكتيري واتجاه حركة السوط.	٢٧٣
٥١	توزيع الأسواط على سطح الخلية البكتيرية.	٢٧٤
٥٢	تجربة الأنابيب الشعرية لدراسة ظاهرة استجابة البكتريا للمواد الكيماوية Chemotaxes.	٢٧٧

تابع قائمة الأشكال.

رقم الشكل	البيـــــان	رقم الصفحة
٥٣	خطوات تكون الجراثيم البكتيرية.	٢٨١
٥٤	شكل وموقع الجرثومة البكترية داخل الكيس الجرثومي وصورة من المجهر الإلكتروني لخلية بكتيرية متجرثمة.	٢٨١
٥٥	خطوات هضم المواد العضوية في البيئة بواسطة الإنزيمات الخارجية في خلايا البكتريا والفطريات.	٢٩٣
٥٦	استجابة الخلية البكترية لسوائل ذات تركيزات مختلفة.	٢٩٦
٥٧	العلاقة بين عدد الخلايا الحية مع الزمن (منحنى النمو البكتيري).	٣٠١
٥٨	الشكل العام لجزيء حمض نووي.	٣١٤
٥٩	ظاهرة الاقتران Conjugation في البكتريا.	٣١٩
٦٠	دور الأجزاء المكملة للإنزيم في طبيعة عمله.	٣٢٨
٦١	دورة الكربون في الطبيعة.	٣٥٣
٦٢	دورة الأزوت في الطبيعة.	٣٥٤
٦٣	بعض مظاهر الفساد الغذائي في الفاكهة.	٣٦٧
٦٤	فساد اللحوم بالعفن الفطري.	٣٦٨
٦٥	فساد المعلبات.	٣٧٠
٦٦	خطوات معاملة مياه الصرف الصحي ومياه الشرب وتنقيتهما.	٣٩٥
٦٧	أعراض الإصابة بمرض الجذر الصولجاني Club root في الكرنب.	٤٠٣
٦٨	نمو أنبوبة الإنبات في جرثومة فطر طفيلي.	٤٠٥
٦٩	دورة مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس والطماطم.	٤٠٨
٧٠	دورة مرض موت البادرات وتعفن البذور.	٤١١
٧١	أعراض الإصابة بمرض البياض الزغبي على ورق العنب.	٤١٣
٧٢	دورة مرض البياض الزغبي على العنب.	٤١٥

تابع قائمة الأشكال.

رقم الشكل	البيـــــان	رقم الصفحة
٧٣	أعراض الإصابة بمرض البياض الدقيقي للنجيليات على أوراق القمح.	٤١٩
٧٤	أعراض الإصابة بأمراض التفحم على القمح.	٤٢٣
٧٥	أعراض الإصابة بمرض صدأ الساق على القمح.	٤٢٥
٧٦	أعراض الإصابة بمرض صدأ الأوراق على القمح.	٤٢٦
٧٧	أعراض الإصابة بمرض التدرن التاجي على الورد.	٤٢٩
٧٨	دورة مرض التدرن التاجي.	٤٣٠
٧٩	بعض مظاهر الإصابة بالنيماتودا على جذور النباتات.	٤٣٨
٨٠	تطفل فطر على جسم نيماتودا.	٤٤٧
٨١	استخدام تقنية الهندسة الوراثية في إنتاج نباتات معدلة وراثيا.	٤٥٨

قائمة الجداول

رقم الجدول	البيـــــــان	رقم الصفحة
١	المنتجات الصناعية من الكائنات الحية الدقيقة.	٣٤
٢	مقارنة بين الأنواع المختلفة من المجاهر.	٤٤
٣	مقارنة بعض صفات وخصائص البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام.	٦٦
٤	المصطلحات العلمية المرتبطة بوسائل السيطرة على النمو الميكروبي.	٨٥
٥	الطرق الفيزيائية المستخدمة للسيطرة على نمو الميكروبات.	١٠٠
٦	مقارنة بين بعض خصائص مجموعة البروكاريوتك ومجموعة الإيوكاريوتك.	١١٧
٧	مقارنة لبعض صفات الرتب الرئيسية للأوليات.	١٣٣
٨	المجموعات الرئيسية للطحالب ذات النواة الحقيقية.	١٥٠
٩	مقارنة بين الحامض النووي للفيروسات المختلفة.	١٦١
١٠	أنواع المواد الكيماوية المستخدمة في الحد من النمو الميكروبي وظروف استخدامها.	٣٢٢
١١	المتطلبات الحرارية لنظم البسترة.	٣٧٦
١٢	العلاقة بين عدد خلايا البكتريا في الحليب وصلاحيته للاستهلاك.	٣٧٩

الباب الأول

الأحيـاء الدقيـقة
(اكتشافها، أهميتها، طرق دراستها)

• نشأة علم الأحياء الدقيقـة وتطوره • الأهمية الاقتصاديـة والعلمية للأحياء الدقيقة • التقنيات والوسـائل المتبعـة في دراسة الكائنات الحيـة الدقيقة • السيطرة على الكائنـات الحية الدقيقة

الفصل الأول

نشأة علم الأحياء الدقيقة وتطوره

Development of Microbiology

- اكتشاف الميكروبات وتطور علم الميكروبيولوجيا
- نظرية التوالد الذاتي • النظرية الجرثومية للمرض
- فرضيات كوخ • أقسام علم الميكروبيولوجيا
- المزارع النقية

منذ أن خلق الله الخلق على وجه هذه البسيطة يستحيل أن نجد مخلوقا واحدا لم يتأثر بنشاط الكائنات الحية الدقيقة، أو يتعامل معها بطريقة أو بأخرى، فهو إما أن يكون قد استخدمها لصناعة الخبز أو لإنضاج اللحوم منذ آلاف السنين. أو يكون قد تأثر بإتلافها لمحاصيله الزراعية نتيجة إصابتها بآفات ممرضه. ناهيك عن تلك الأمراض الفتاكة التي تعرض لها الجنس البشري على امتداد تاريخه الطويل وذهبت ضحيتها ملايين الأنفس، وكان العامل المسبب لها بعض هذه الكائنات الحية الدقيقة. ومع أن هذه العلاقة الطويلة المتداخلة بين الإنسان وبين الكائنات الحية الدقيقة، والتي تشير إليها العديد من الدلائل التي خلدتها وثائق تاريخية مكتوبة ومحفوظة حتى يومنا هذا، مثل كتابات الإغريق والمصريين القدماء والتي تصف بعض الأمراض التي كانت تصيب محاصيلهم وعمليات التخمر بمختلف أنواعها، فأن الإنسان لم يدر بخلده أن هذه الأنشطة التي يراها بعينيه ويستخدمها أحيانا ويتأثر بها أحيانا أخرى - ما هي إلا نتاج نوع من المخلوقات المتناهية في الصغر والتي تشاركه العيش على هذا الكوكب من قبل

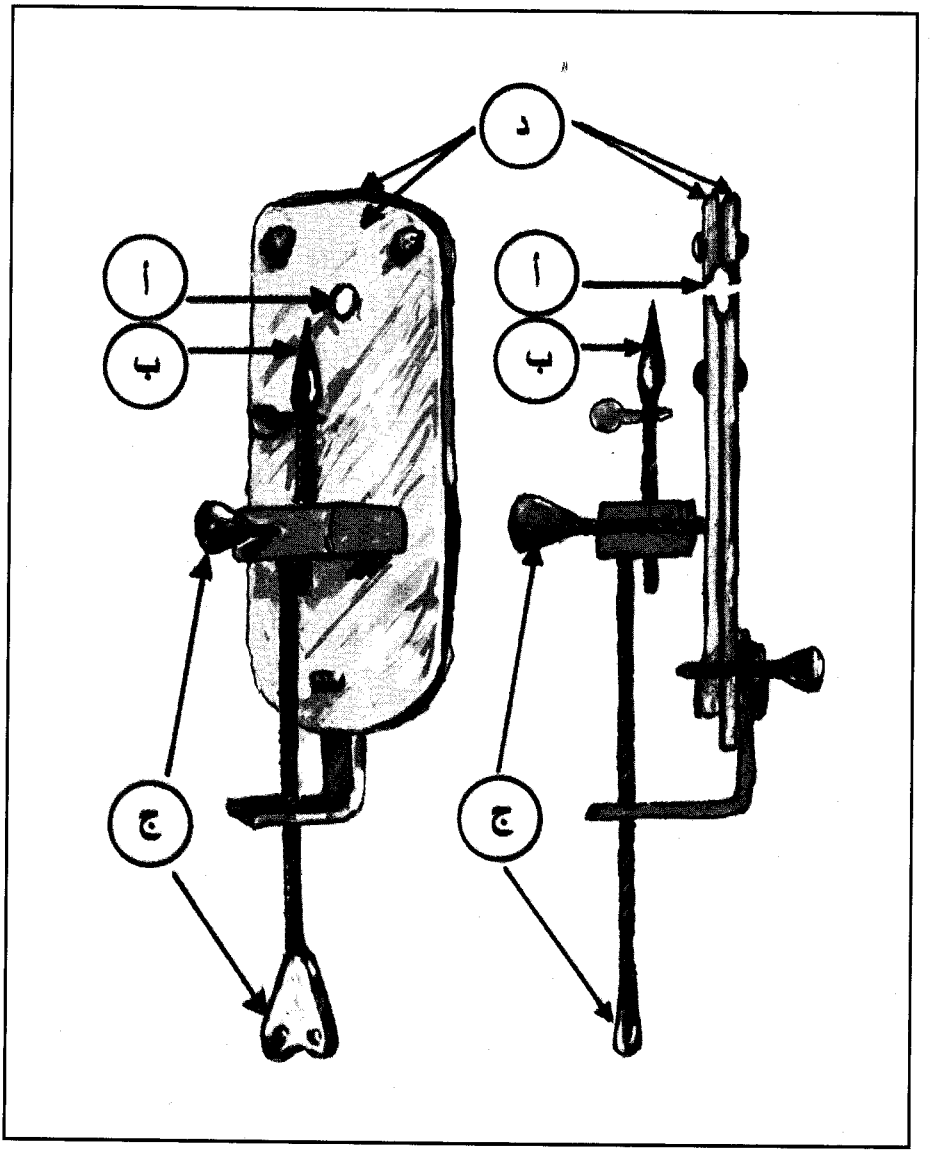
أن يأذن الله له باستيطان الأرض. وقد استمرت هذه العلاقة المتداخلة بين الإنسان وهذه الكائنات مستمرة على حالها يؤثر كل منهما في الآخر بدرجات مختلفة (مع أن تأثير الأحياء الدقيقة في هذه المرحلة كان هو الأرجح والأكثر فعالية) دون أن يفطن الإنسان إلى الطبيعة الحيوية لهذه الأنشطة، ناهيك عن أن يدرك المسبب لها ويراه ويتفاعل معه مباشرة بوعي وإدراك لطبيعته، حيث كانت تعزى أغلب هذه الظواهر والأنشطة إلى مسببات خرافية يكيفها البشر تبعا لمعتقداتهم التي تتفاوت أشد التفاوت تبعا للزمان والمكان الذي يعيشون فيه.

واستمر الحال على ما هو حتى بداية القرن السابع عشر الميلادي، عندما بدأت الخطوات الأولى لعصر النهضة العلمية في أوربا تأخذ طريقها. وكان لعلم الأحياء الدقيقة نصيب في هذه النهضة.

اكتشاف الميكروبات وتطور علم الميكروبيولوجيا

Discovery of Microbes and Development of Microbiology

مع أن الهولندي أنتوني فان ليفنهوك Antony van Leeuwenhoek (١٦٣٦-١٧٢٣م) لا يعتبر أول من صنع المجهر وفحص الميكروبات، فهو يعتبر الأشهر على الإطلاق، لأنه أول من دون ملاحظاته بتفصيل وتناقلها العلماء من بعده. وقد قام هذا العالم بصناعة حوالي ٢٥ مجهرا تتراوح درجة تكبيرها بين ٢٠٠ و٣٠٠ مرة. وقد كان هذا الهولندي مغرما بصناعة العدسات، ومن ثم اختبارها في فحص كل ما يقع تحت يديه من عينات. ثم قام بصناعة أول مجهر بسيط (الشكل رقم ١) يتكون من عدسة واحدة محدبة الوجهين وضعت بين فتحتين صغيرتين في ماسك معدني من قطعتين. وقد وصل تكبير هذا المجهر إلى ٢٠٠ مرة. واستخدم هذا العالم مجهره البسيط في دراسة قطرات المطر، النبيذ، منقوع الفلفل وكشط الأسنان. وكان يدون ملاحظاته، ويبعث بها إلى أصدقائه العاملين في نفس المجال في مختلف المراكز العلمية المعروفة آنذاك.



شكل رقم (١). يوضح مجهر ليفنهوك:
(أ) عدسة زجاجية، (ب) إبرة مدببة يوضع عليها الجسم المفحوص، (جـ) مفاتيح لتحريك العينة المراد فحصها في اتجاهات مختلفة، (د) صفيحتان من النحاس.

(عن : Prescot, *et al.*, 1996)

ففي التاسع من يونيو ١٦٧٥م قام هذا العالم بتجميع كمية صغيرة من مياه الأمطار في طبق، وقام بفحصها في اليوم التالي (أي بعد مرور ٢٤ ساعة)، وقد بلغت دهشته نهايتها أن لاحظ أعدادا بسيطة من الكائنات الحية المتحركة فيها فلم يصدق عينيه، فتركها وعاد إليها في اليوم التالي (أي بعد ٤٨ ساعة)، فشاهد العينة تعج بآلاف الكائنات المتناهية في الصغر تتحرك في الماء جيئة وذهابا بصوره مستمرة، وقد دون هذه الملاحظات في خطابات مفصلة، وأرسل بها إلى ما يزيد عن ٣٠٠ من أصدقائه العلماء في الجمعية الملكية في لندن Royal Society of London، والأكاديمية الفرنسية العلمية مضمنا إياها اكتشافه لأصغر كائنات حية وقع عليها بصر إنسان حتى ذلك التاريخ، وقد أطلق عليها اسم Animalcules. وكان هذا أول تاريخ مسجل عن اكتشاف الإنسان لعالم الأحياء الدقيقة.

وفي ١٧ سبتمبر ١٦٨٣م سجل Antony van Leeuwenhoek صورا مرسومة بدقة متناهية لخلايا بكتيرية تم عزلها وفحصها من كشط الأسنان. وقد تضمنت رسوماته الدقيقة هذه الأشكال الثلاثة الرئيسية لخلايا البكتريا، وهي الكروية Cocci، والعصوية Bacilli، والمنحنية Spirilla.

ومع أنه قد طرأ تقدم هائل على طرق التكبير والدراسة حتى يومنا هذا، فإننا لا نزال نعرف البكتريا بهذه الأشكال الثلاثة التي وصفها ليفنهوك قبل ما يزيد عن ٣٠٠ عام. وقد اعتبر هذا الاكتشاف فيما بعد نقطة تحول جذرية في تاريخ البشرية لما ترتب عليه من نتائج هامة في مختلف المجالات، جعلت حياة الإنسان على هذا الكوكب أقل معاناة وأكثر متعة، مقارنة بما سبقها، حيث ساعد التطور الهائل في هذا المجال - فيما بعد - في إنقاذ البشرية من الموت من الأمراض المعدية، وزيادة الإنتاج الزراعي، وتحسين وسائل إنتاج الغذاء، وغير ذلك الكثير. إلا أن هذا الاكتشاف، والذي تقبله العلماء في البداية بشيء من الدهشة والفضول، لم يحظ بالقدر الكافي من الاهتمام الذي يستحقه، وتقلص الاهتمام الذي أثير حوله، نظرا لعدم إدراك علاقة هذه

الكائنات بمختلف الأنشطة المؤثرة في حياتنا والتي نعايشها يوميا، وتؤثر فينا سلبا وإيجابا حتى بداية عام ١٨٠٠ م.

نظرية التوالد الذاتي Spontaneous Generation Theory

لقد كان طبيعيا أن يثير اكتشاف الميكروبات في تلك الحقبة من الزمن جدلا حادا حول العديد من المعتقدات والمفاهيم التي كانت سائدة آنذاك والتي بدأ بعض العلماء يعيدون تفسيرها وشرحها، استنادا إلى المستجدات التي نشأت باكتشاف الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms. وقد كان مفهوم نشأة الحياة من العدم (ذاتيا) من أهم تلك النظريات التي كانت سائدة في تلك الحقبة من الزمن، فقد كان يعتقد أن العديد من الكائنات الحية مثل الديدان، الفئران، الحشرات، تنشأ ذاتيا من كائنات أخرى غير حية مثل التربة، أو الأجزاء النباتية، أو قطع اللحم... إلخ. كما أن البعض فسر وجود الأحياء الدقيقة المكتشفة آنذاك بأنها نشأت من تحلل الأجزاء النباتية والحيوانية الميتة. وقد اصطلح على إطلاق اسم نظرية التوالد الذاتي Spontaneous generation، أو Obiogenesis على هذا المعتقد، والذي يعود إلى أيام الإغريق القدماء، والذين كانوا يعتقدون بأن اللحوم المتعفنة ينتج عن تحللها الديدان والذباب.

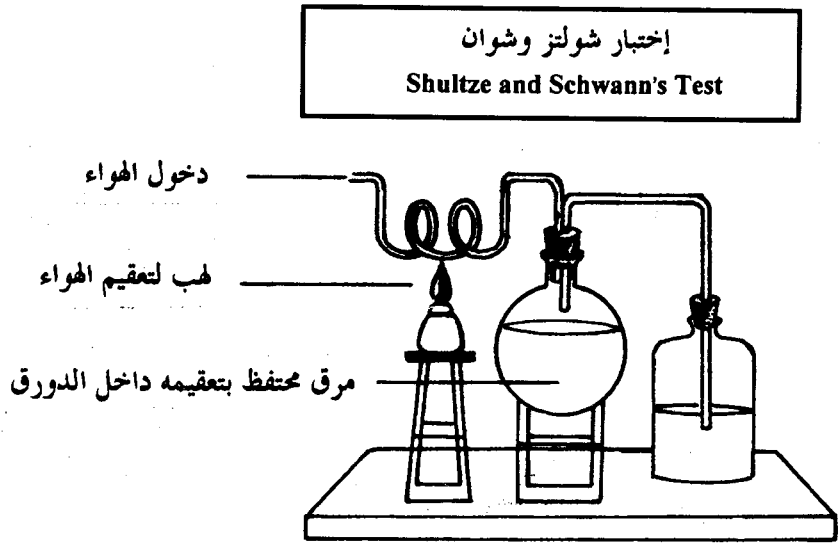
لقد تكون نتيجة الجدل الذي ثار حول نظرية التوالد الذاتي فريقان، أحدهما مؤيد والآخر معارض، وكل فريق يضم عددا من العلماء يدعمون رأيهم بشروح وبراهين وتجارب تبدو على درجه عالية من الإقناع بمفاهيم ذلك العصر.

ففي عام ١٧٤٩م، كان العالم نيدهام Needham (١٧١٣-١٧٨١م) يجري بعض تجاربه على اللحم المطبوخ، ولاحظ وجود بعض الكائنات الحية الدقيقة عليها ففسر ذلك بأن هذه الكائنات نشأت من قطع اللحم التي يجري عليها تجاربه. وفي نفس هذه الفترة تقريبا كان العالم Lazaro Spallanzani (١٧٢٩-١٧٩٩م) يجري عددا من التجارب محاولا من خلالها دحض نظرية التوالد الذاتي، فقام بغلي بعض مرق اللحم

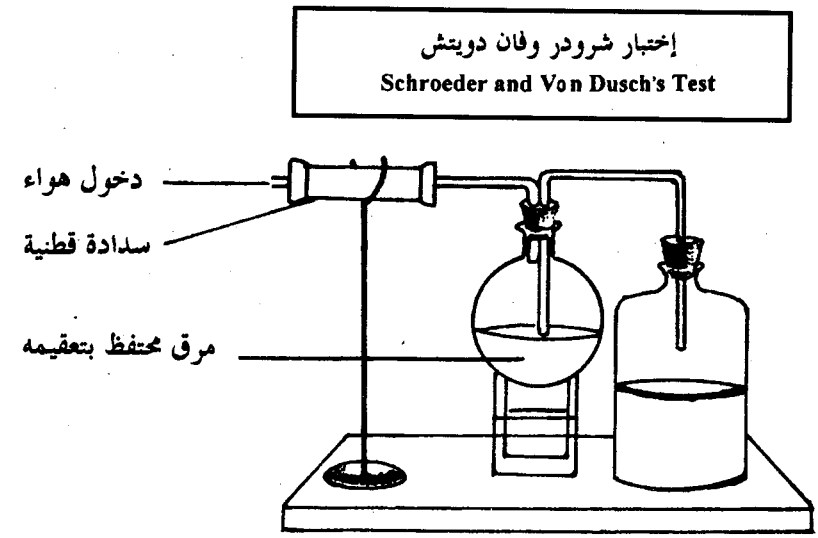
Meat broth لمدة ساعة ووضعه في دورق أحكم غلق فوهته، وقام بفحص هذا المرق على فترات متعاقبة، وكرر التجربة فلم يحصل على أي دليل يشير إلى وجود ميكروبات في المرق.

وبعد حوالي ما يتراوح بين ٨٠-٩٠ عاما من هذا التاريخ قام اثنان من العلماء، بصورة مستقلة عن بعضهما البعض، بإجراء تجربتين لمحاولة الإجابة على العالم Needham، حيث قام العالم Franz Schulze (١٨١٥-١٨٧٣م) بغلي مرق اللحم في دورق، وسمح للهواء بالدخول ولكن عن طريق تمرير الهواء الداخل عبر محلول حمضي عالي التركيز جدا. وقام العالم Theodor Schwann (١٨١٠-١٨٨٢م) بالسماح للهواء بالدخول إلى مرق اللحم، وذلك بالمرور خلال أنابيب مسخنة لدرجة الاحمرار (الشكل رقم ٢أ). وفي كلتا التجربتين لم تظهر الميكروبات في المرق عند تحضينه، لأن الحمض المركز ودرجة الحرارة العالية للأنابيب التي مر الهواء من خلالها قد أديا إلى قتل الميكروبات الموجودة في الهواء، وبالتالي أصبح الهواء الملامس للمرق معقما وخاليا من الميكروبات فلم يحصل التلوث، ومع ذلك فإن المتحمسين لنظرية التوالد الذاتي لم يقتنعوا، وأصروا على أن الحمض المركز ودرجات الحرارة العالية التي مر خلالها الهواء أديا إلى تغيير طبيعة وتركيب هذا الهواء، ومن ثم أفقدته قدرته على تدعيم عملية التوالد الذاتي.

وتوالت بعد ذلك العديد من التجارب الأكثر إقناعا لدحض مبدأ التوالد الذاتي. ففي عام ١٨٥٠م قام كل من Schroeder & von Dusch بعمل تجربة سمح فيها للهواء بالمرور وملامسة المرق المغلي داخل الدورق، ولكن بملأ الأنابيب التي يمر خلالها الهواء بالقطن بحيث تلتصق الميكروبات العالقة بالهواء بأنسجة القطن، ويدخل الهواء خاليا منها، وبالتالي لا يحصل أي نوع من التلوث ولا تنمو الميكروبات في المرق (الشكل رقم ٢ب).



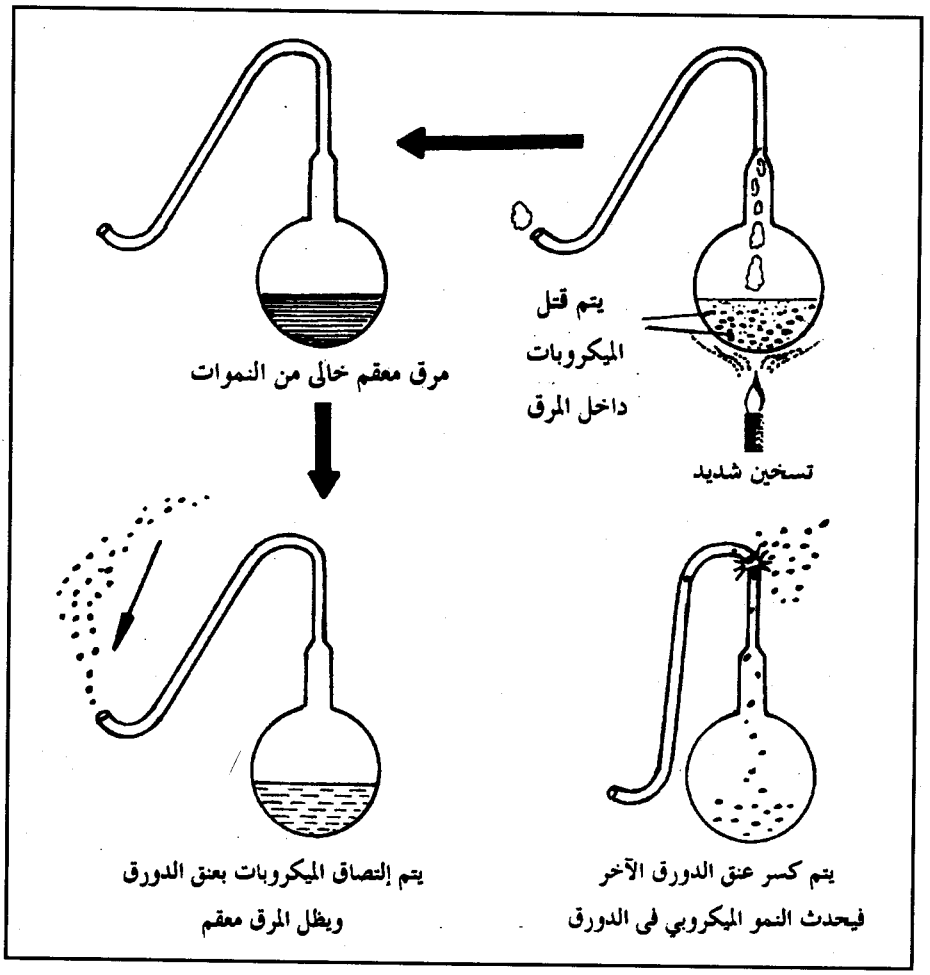
(أ)



(ب)

الشكل رقم (٢). (أ) اختبار شولتز وشوان، (ب) تجربة شرويدر ودوتش لدحض نظرية التوالد الذاتي.
(عن : Talaro and Talaro, 1996)

أما العالم John Tyndall فقد قام في عام ١٨٧٠م بتصميم صندوق محكم خال من الغبار وجعل الهواء يدخل إليه من خلال عدد من الأنابيب الزجاجية عديدة الالتواءات، ثم وضع داخل الصندوق أنابيب احتوت على المرق المغلي، وفعلا بقيت أنابيب المرق خالية من التلوث الميكروبي ما دام الصندوق خاليا من ذرات الغبار، ذلك أن ذرات الغبار العالقة بالهواء كانت تلتصق بجدار الأنابيب الملتوية عند دخولها للصندوق، وبالتالي يدخل الهواء للصندوق خاليا من الغبار، وهذا يعني أن الميكروبات التي يحملها الهواء تكون عادة ملتصقة بذرات الغبار، فإذا منعنا الغبار من الدخول، فإننا بالتالي نمنع الميكروبات ويظل الجو معقما. وفي نفس هذه الفترة تقريبا بدأ اسم العالم الفرنسي Louis Pasteur (١٨٢٢-١٨٩٥م) يظهر كأحد أهم المساهمين في إرساء قاعدة علم الميكروبيولوجيا الحديث بمساهماته العديدة والحيوية. وقد قام باستير بإجراء تجربه أنهت النقاش والجدل الذي كان قائما حول نظرية التوالد الذاتي، حيث قام بتصميم دورق ذي عنق ملتو يشبه عنق الإوزة Goosenecked flasks (الشكل رقم ٣)، ووضع في الدورق محلولا مغذيا وسخنه مع الهواء الموجود بداخل الدورق حتى درجة الغليان، ثم ترك الدورق دون إقفال فوهته وسمح للهواء بالدخول خلال العنق الملتوي، ومع ذلك لم تظهر أي ميكروبات في المحلول، وذلك لأن الميكروبات التي كانت عالقة بالهواء التصقت وترسبت على جدر عنق الأنبوبة الملتوية ومن ثم دخل الهواء النقي إلى داخل الدورق. وقد قام باستير بتكرار إجراء هذه التجربة في جامعة السوربون في باريس في السابع من أبريل عام ١٨٦٤م وأعلن نتائجه على الملأ بالدليل العلمي الذي لا يقبل النقاش، وبذلك وضع المسمار الأخير في نعش نظرية التوالد الذاتي، مما مهد الطريق له ولغيره من العلماء للسير بخطى حثيثة وثابتة في إجراء العديد من التجارب في مجال الكائنات الحية الدقيقة إيذانا بولادة علم جديد يسمى علم الكائنات الحية الدقيقة Microbiology (Talaro and Talaro 1966).



الشكل رقم (٣). تجربة باستير لدحض نظرية التوالد الذاتي. (عن: Talaro and Talaro, 1996)

النظرية الجرثومية للمرض Germ Theory of Disease

لقد كان لاكتشاف لويس باستير عام ١٨٦٠م لدور خلايا الخميرة في إحداث عمليات التخمر أول إشارة إلى الدور الذي تؤديه الكائنات الحية الدقيقة Microorganisms في التحولات الفيزيائية والكيميائية للمواد العضوية، وقد حفز هذا الاكتشاف العلماء إلى التفكير في إمكانية وجود علاقة مشابهة بين الكائنات الحية الدقيقة وبين النبات والحيوان، وبالذات إمكانية علاقة الكائنات الحية الدقيقة بإحداث

المرض. وقد أطلق على هذه الفكرة اسم النظرية الجرثومية للمرض The germ theory of disease.

إن فكرة علاقة الأحياء الدقيقة بالمرض، أو ما سمي بالنظرية الجرثومية للمرض، كان من الصعب جدا تقبلها من قبل الناس في تلك الفترة من الزمن، ذلك أن هناك اعتقادات سائدة منذ الأزل بأن الأمراض التي كانت تصيب البشر والحيوانات ما هي إلا عقوبات من الآلهة التي كانوا يؤمنون بها نتيجة أخطاء أو جرائم ارتكبوها غير أنه في وسط هذه المعتقدات كانت تظهر إشارات وتلميحات تقربنا من الحقيقة من قبل بعض العلماء والمهتمين بهذا المجال. فمثلا هناك اعتقاد من قبل Lucretius وVarro في القرن الأول قبل الميلاد بأن هناك عوامل معدية صغيرة تشبه الذرة هي المسؤولة عن إحداث المرض. وفي عام ١٥٤٦م رجح العالم Verona (١٤٨٣-١٥٥٣م) احتمال حدوث المرض بواسطة كائنات حيه متناهية في الصغر تنتقل من شخص لآخر. تلاه في عام ١٧٦٢م العالم Anton von Lenciz النمساوي الذي أشار إلى احتمال أن تكون كائنات حية صغيرة هي المسؤولة عن إحداث المرض، وإلى أن الأمراض المختلفة تنشأ من كائنات دقيقة مختلفة. غير أن العالم Agostino Bassu عام ١٨٣٦م يعتبر أول من أثبت بالدليل علاقة الكائنات الحية الدقيقة بإحداث المرض، وذلك عندما أثبت أن أحد أمراض دودة القز ناشئ عن إصابتها بأحد الفطريات. ثم أشار العالم لويس باستير عام ١٨٦٥ إلى أن هناك مرضا آخر يصيب دودة القز يسمى Pebrine disease تسببه إحدى الأوليات Protozoa، وكان ذلك على أثر دراسات أجراها بناء على تكليف من السلطات الفرنسية لمحاولة حل المشكلة التي واجهت مصانع الحرير في فرنسا نتيجة انتشار الأمراض في دودة القز. وقد نجح باستير ليس في اكتشاف المسبب المرضي وعزله، ولكن في اقتراح الطرق الكفيلة بالوقاية منه عن طريق اختيار أنواع خالية من الإصابة وتربيتها.

أما بالنسبة للأمراض البشرية فيعتبر العالم Oliver Wendell Holmes (١٨٠٩-١٨٩٤م) من أوائل من أكدوا علاقة الأحياء الدقيقة بالأمراض البشرية وهو الذي

أشار عام ١٨٤٣م إلى أن حمى النفاس Puerperal fever التي تصيب النساء عقب الوضع - وهي أحد الأمراض الخطيرة - تحدث نتيجة إصابة الأم بأحد الكائنات الحية الدقيقة وهو ينتقل إليها عن طريق من يقومون بعمليات التوليد.

وفي عام ١٨٧٧م قام العالم لويس باستير بدراسة مرض الأنثراكس Anthrax وهو أحد الأمراض الخطيرة التي تصيب الأبقار والأغنام وأحيانا تنتقل إلى الإنسان، حيث قام بعزل الميكروب المسبب من دماء أحد الحيوانات الميتة المصابة، وقام بتنميته داخل المعمل.

غير أن الدليل القاطع على أن مرض الأنثراكس Anthrax يتسبب وينتقل بواسطة نوع من أنواع البكتريا قد أثبته الطبيب الألماني روبرت كوخ Robert Koch عام ١٨٧٦م، الذي ركز اهتمامه في تلك الفترة على الدراسات الخاصة بعلم البكتريا. وقد أجرى كوخ عديدا من التجارب الخاصة بعزل المسبب المرضى من دم الحيوانات المصابة ومن ثم حقن حيوانات سليمة بها لكي تعطى الأعراض المرضية ومقارنة المسبب المرضى المعزول من دم هذه الحيوانات الأخيرة بالمسبب المرضى الأول فيما يسمى بفروض كوخ ، وبهذه السلسلة من التجارب أثبت بالدليل القاطع والمنطقي المبدأ الذي أقترحه نظريا العالم J. Herle قبل ذلك الوقت بستة وثلاثين عاما لإثبات علاقة مرض معين بمسبب بكتيري معين.

فرضيات كوخ Koch Postulates

١ - يجب أن يوجد المسبب المرضى (الكائن الحي الدقيق) في جميع الحالات المرضية للكائن (أي جميع الكائنات التي تبدى أعراض هذا المرض).

٢ - إمكان عزل الكائن الحي الدقيق هذا من الكائن المصاب وتنميته على بيئة بصورة نقية.

٣ - الحصول على نفس أعراض المرض الأصلية عند حقن عائل سليم وحساس بالكائن الحي الدقيق الذي تم عزله وتنميته بصورة نقية كالخطوة السابقة.

٤ - إمكانية عزل هذا الكائن الحي الدقيق مرة أخرى بصورة نقية من العائل الذي تم حقنه فيه في الخطوة السابقة.

وباعتبار Robert Koch أول من طبق هذه الافتراضات بصوره تجريبية فقد اصطلح على إطلاق اسم فرضيات كوخ Koch Postulates على هذه الخطوات، واعتبرت ضرورية لإثبات المرض سواء في الحيوان أو النبات.

من ذلك يتضح أن كوخ وباستير كانا يعملان تقريبا في نفس الوقت على نفس المشكلة دون أن يفطن أي منهما للآخر. غير أن دراسات كوخ في هذا المجال كانت أكثر شمولية، وأكد كل منهما نتائج الآخر.

وقد اكتشف كوخ فيما بعد البكتريا المسببة لمرض السل (الدرن) *Mycobacterium tuberculosis*، وكذلك المسببة للكوليرا *Vibrio cholerae*.

وقد مهدت هذه النتائج والأسس التي أرساها كوخ، وباستير، وغيرهما الطريق لمساهمات هامة وعديدة ساعدت على دفع عجلة علم الميكروبيولوجيا الطبية، نظرا لأنها أخذت النصيب الأوفر من الاهتمام منذ البداية لارتباطها بصحة ونقاهة الإنسان.

يلي ذلك اكتشاف العالم Von Behring عام ١٨٩٠م طريقة التحصين ضد مرض التيتانوس والدفتريا بحقن السموم التي تفرزها هذه الكائنات المرضية في دماء الحيوانات.

كما قام العالم Etchnikof (١٨٤٥-١٩٠٦م) - لأول مرة - بوصف خلايا الدم البيضاء ودورها في التهام البكتريا المسببة للمرض. وقد أطلق على هذه العملية الالتهام Phagocytosis. كما ساهم الجراح الإنجليزي Joseph Lister عام ١٨٦٠م في إدخال العديد من وسائل التعقيم للجروح المستعملة في المجال الطبي حتى يومنا هذا. ثم كان اكتشاف المضاد الحيوي المعروف بالبنسلين Penicillin بواسطة البريطاني Alexander Fleming عام ١٩٢٩م نقطة تحول مهمة ليس فقط في مجال علم الميكروبيولوجي ولكن أيضا في التاريخ الإنساني إجمالا، وذلك للفوائد الجمة التي جنتها البشرية من وراء ذلك الاكتشاف.

وهناك الكثير من العلماء الذين ساهموا بجهودهم وأبحاثهم في اكتشاف العديد من المسببات المرضية ووسائل الوقاية منها ووسائل اكتشافها. ولا يزال الصراع قائما حتى يومنا هذا بين المرض وبين ما تنتجه مراكز البحوث في العالم من اكتشافات وقدرات هائلة للبحث والتجريب.

أما بالنسبة لتطبيقات علم الميكروبيولوجي في المجال الزراعي، فالأمر لا يختلف كثيرا عن ما سبق، فمع أن ملاحظة العلماء وإدراكهم لبعض الظواهر البيولوجية الناشئة عن نشاط الأحياء الدقيقة قد يرجع إلى عصور ما قبل التاريخ وإلى العصور المتقدمة مثل العصر الروماني، كما هو ثابت من بعض الوثائق التاريخية المحفوظة، فإن ربط هذه الأنشطة بمسبباتها الحقيقية وهي الأحياء الدقيقة لم يكتشف حتى القرون المتأخرة نسبيا متزامنا مع عصر النهضة العلمية في أوربا.

فمثلا أدرك الرومان أن النباتات البقولية تؤدي دورا هاما في تحسين خواص التربة الزراعية منذ زمن طويل، كما أن تراكم النترات Nitrate في التربة نتيجة لتحلل المواد العضوية تم إدراكه في القرن التاسع عشر... إلخ، إلى أن تحدث العالم Boussingault عام ١٨٣٨م عن دور النباتات البقولية في تثبيت النيتروجين الجوى، تبعه كل من Lachmann عام ١٨٥٨م، Waronin عام ١٨٦٦م بإثبات أن العقد الجذرية المتكونة على جذور النباتات البقولية تنشأ بفعل أنواع خاصة من البكتريا. ثم أتى العالم لويس باستير وأثبت أن تحلل المواد العضوية في التربة يتم بفعل الكائنات الحية الدقيقة، وأن عملية التحلل العضوي هذه تعتمد على عدة عوامل منها طبيعة المادة العضوية والظروف البيئية التي تم فيها التحلل.

وفي عام ١٨٩٠م أثبت العالم Winogradsky بالدليل القاطع دور البكتريا في عملية النترتة Nitrification. وعقب اكتشاف طريقة "تقنية أطباق الجيلاتين" Gelatin Plate Technique بواسطة العالم Koch في عام ١٨٨٢م أجرى عديد من الدراسات الناجحة لربط مختلف الأنشطة الحيوية في التربة بمسبباتها من الأحياء الدقيقة. فمثلا قام كل من العالم Winogradsky عام ١٨٩١م، والعالم Beijernick عام ١٨٩٣م إلى عام

١٩٠١م بإثبات أن عملية تحول النتروجين في الطبيعة تعود بالدرجة الأولى إلى نشاط عديد من الكائنات الحية الدقيقة، كما أن الأمراض النباتية تم الحديث عنها منذ آلاف السنين بصورة مبهمة حتى مطلع القرن الرابع عشر حينما زاد الاهتمام بدراسة الأحياء الدقيقة، فبدأت العديد من الدلائل التي تشير إلى مدى إدراك دور الأحياء الدقيقة في إحداث الأمراض النباتية، حينما اتخذت الحكومة الفرنسية في بداية القرن السابع عشر إجراءات قانونية لاستئصال نباتات البار برى لحماية محصول القمح من أمراض الصدأ، وفي عام ١٧٢٦ إلى ١٧٦٦م اتخذت العديد من الولايات الأمريكية إجراءات مشابهة.

ومع أنه كان هناك العديد من المساهمات في مجال الأمراض النباتية في القرن السابع عشر، فإن منتصف القرن الثامن عشر يعتبر البداية الفعلية لعلم أمراض النبات، حيث ساهم العديد من العلماء بنتائج تجاربهم في إرساء قواعد هذا العلم. فمثلا أثبت كل من العالم Fontona عام ١٧٦٧م، والعالم Targiani عام ١٧٦٨م أن مرض صدأ القمح يتسبب بفعل كائنات حية دقيقة، كما أن الطبيعة المعدية لمرض التفحم تم إثباتها بواسطة العالم Prevost عام ١٨٠٧م، غير أن العالم الألماني Anton De Barry (١٨٣١-١٨٨٨م) يعتبر بحق الأب والمؤسس لعلم أمراض النبات، وذلك نتيجة مساهماته الفعالة ودراساته على دورات الحياة، والتطفل، والنشاط البيولوجي والفسيولوجي للعديد من الفطريات المرضية للنبات.

كما قام العالم Kuhn (١٨٢٥-١٩١٠م) بتأليف كتاب عن الأمراض النباتية وطور طريقة مناسبة لمعاملة البذور بالمبيدات لوقايتها من أمراض التفحم.

ويعتبر العالم Burill عام ١٨٨٧م أول من أثبت بالدليل دور البكتريا في إحداث الأمراض النباتية، عندما عزلها من نبات الكمثرى Pear المصاب بمرض اللفحة النارية Fire-Blight. ثم أتى العالم Erwin Smith عام ١٨٩٠م وأرسى القاعدة الصلبة لفرع الأمراض البكتيرية على النبات نتيجة دراساته التي أثبتت الطبيعة البكتيرية للعديد من الأمراض النباتية. وتلاهم العديد من العلماء الرواد الذين ساهموا في تطور وسائل

دراسة الأمراض النباتية من عزل المسبب، ومعاملة البذور، والتعريف الدقيق لمختلف الأمراض، ... إلخ.

وبمرور الزمن وتطور وسائل البحث العلمي المستخدمة ازدادت قدرة العلماء على استكشاف المزيد من أسرار الكائنات الحية الدقيقة وطبيعة الأدوار التي تلعبها في حياة الإنسان، وبالتالي تأسست فروع مختلفة من هذا العلم كل منها يعنى بدراسة التطبيقات العملية لهذه الكائنات في مجال معين من مجالات الحياة. ومن هذا المنظور فقد تم تعريف علم الميكروبيولوجي Microbiology بأنه العلم الذي يختص بدراسة الكائنات الحية الدقيقة (Prescott, *et al.*, 1996).

أقسام علم الميكروبيولوجيا Divisions of Microbiology

يقسم علم الميكروبيولوجي استنادا إلى:

أولا: نوع الكائنات التي يعنى بدراستها

١ - علم الأوليات Protozoology

٢ - علم الطحالب Algology

٣ - علم الفطريات Mycology

٤ - علم البكتريا Bacteriology

٥ - علم الفيروسات Virology

٦ - علم الطفيليات Parasitology

ثانيا: المجالات التطبيقية التي يستخدم فيها هذا العلم

١ - الميكروبيولوجيا الطبية Medical Microbiology

٢ - ميكروبيولوجيا التربة Soil Microbiology

٣ - ميكروبيولوجيا الألبان Dairy Microbiology

٤ - ميكروبيولوجيا الأطعمة Food Microbiology

٥ - أمراض النبات Plant Pathology

٦ - ميكروبيولوجيا النفط Petrolium Microbiology

٧ - ميكروبيولوجيا الفضاء Space Microbiology

٨ - ميكروبيولوجيا المياه والمجاري Water & Sewage Microbiology

٩ - وراثة الأحياء الدقيقة Microbial Genetics

١٠ - علم المناعة Immunology

فكرة استخدام البيئات الغذائية

يعتبر الجيلاتين من أول المواد التي استخدمت لتنمية الأحياء الدقيقة ويحضر بخلطه مع محلول مغذ محتو على مختلف العناصر اللازمة لنمو البكتريا، غير أنه ثبت عدم ملاءمته بعد فترة، نظرا لأنه يتحول إلى الحالة السائلة عند درجات حرارة منخفضة مثل درجة حرارة الجسم.

وبعد محاولات عديدة للحصول على بديل ملائم تم اكتشاف مادة الأجار- أجار Agar-Agar والتي يطلق عليها اختصارا مادة (أجار)، وهي تستخلص من بعض الطحالب البحرية.

المزارع النقية Pure Cultures

يعتبر العالم Brefeld من أوائل الذين أدخلوا فكرة استعمال المزارع النقية في دراسة الفطريات، عندما قام بعزل خلية فطرية واحدة ونماها على بيئة غذائية صلبة باستخدام مادة الجيلاتين (Stainer, *et al.*, 1971). غير أنه ثبت فيما بعد أن هذه الطريقة لا يمكن تطبيقها عند التعامل مع خلايا البكتريا المتناهية في الصغر، مقارنة بالفطريات.

لقد كان أغلب الدراسات التي أجريت على الميكروبات في المختبرات خلال فترة باستير وكوخ وقبل ذلك تجري باستخدام مزارع ميكروبية مختلطة، أي أن البيئات

الغذائية التي كانت تنمى عليها الميكروبات تلقح بلقاحات ميكروبية مختلطة، وبالتالي تعطي نموات خليطة، مما كان يسبب الكثير من البلبلة والالتباس لدى الباحثين وصعوبة تمييز الميكروب الأصلي الذي تجري عليه التجارب. ونتيجة لهذا الالتباس ظهر في تلك الفترة اعتقاد بأن الميكروب من الممكن أن يبدى تغيرا كبيرا في شكله الظاهري ونشاطه الفسيولوجي تحت ظروف معينة، وقد أطلق على هذه الظاهرة Pleomorphism. غير أنه ثبت فيما بعد أن هذا الاعتقاد نشأ نتيجة الالتباس عند تلقيح بيئة غذائية بلقاح خليط من الميكروبات، حيث وجد أن الميكروب الأكثر مناسبة لظروف البيئة هو الذي ينمو بسرعة ويتكاثر، ويصبح من ناحية العدد هو السائد في هذه البيئة، ومن ثم يقوم بإحداث تغيرات كيميائية وبيئية في الوسط لجعله غير ملائم لنمو هذا الميكروب، فيزداد نمو أحد الميكروبات الأخرى الموجودة ويصبح هو السائد...، وهكذا نتيجة التغيير المستمر في ظروف البيئة يتغير نوع الميكروبات التي تسود فيها، وبالتالي يصعب الحكم على نوع الميكروب الذي تجري عليه الدراسة، نظرا لاحتمال التعامل مع أنواع مختلفة في كل عزلة من هذه البيئة تحت الانطباع بأننا نتعامل مع نفس الميكروب.

وفي حوالي عام ١٨٧٠م بدأ جليا وواضحا أن فهما واضحا وحقيقيا لطبيعة أشكال ونشاط الكائنات الحية الدقيقة لا يمكن الوصول إليه إلا بإزالة اللبس الذي ينشأ من دراسة البيئة المحتوية على ميكروبات مختلطة، وذلك بتركيزه رأسا على مزارع نقية Pure culture والتي يقصد بها تلك المزارع الميكروبية المحتوية على نوع واحد من الميكروبات. ويعتبر كل من A. de Bary, O. Bredford من أوائل من تحمس لفكرة المزارع النقية.

استحدثت بعد ذلك طريقة التخفيف المتمثلة في استمرار تخفيف المزارع المختلطة بواسطة بيئات معقمة وتنميتها على أمل الحصول على مزارع نقيه ناشئة من نوع واحد من البكتريا. وقد قام العالم Lister عام ١٨٧٨م لأول مرة بعزل مزارع نقيه لبكتريا التخمر الخاصة بسكر اللاكتوز مستعملا هذه الطريقة. ومع ذلك فإن هذه الطريقة تعتبر طويلة وغير دقيقة في كثير من الأحوال.

أتى بعد ذلك العالم J. Schroeder وطور طريقة ناجحة تتمثل في تنمية البكتريا على سطوح صلبة مثل قطاعات متصلبة من شرائح البطاطس، وعجينة النشا، والخبز، ... إلخ. فوجد أن البكتريا تنمو عليها في صورة مستعمرات عديدة مختلفة الأشكال، غير أن كل مستعمرة منها تحتوي على خلايا بكتيرية متجانسة فيما بينها. إلا أن هذه الطريقة أيضا ظهر لها بعض السلبيات مثل عدم تلبية هذه البيئات للاحتياجات الغذائية للعديد من أنواع البكتيريا... إلخ.

تلي ذلك Koch باقتراح تكوين بيئة غذائية متوازنة تحتوي على جميع الاحتياجات الأساسية للبكتيريا ومتصلبة شفافة بحيث تسمح بتكوين وملاحظة مستعمرات بكتيرية مستقلة. وفي هذه الحالة يصبح من الممكن تغيير مكونات أساس البيئة كي تلبي احتياجات الميكروب المراد تنميته وذلك بإضافة ما نحتاجه من عناصر غذائية. وقد استخدم الجيلاتين في بداية الأمر لغرض تصليب البيئة وإعطائها المظهر الشفاف، وعند تصلب البيئة يتم تلقيحها بعدد من خلايا البكتريا تسمى اللقاح Inoculum باستعمال إبرة بلاتينية ذات عقدة في مقدمة الرأس بحيث تمرر الإبرة بنعومة في هيئة خطوط على سطح البيئة فتفصل الخلايا البكتيرية بصورة مستقلة وتلتصق بسطح البيئة ثم تحضن عند درجات الحرارة الملائمة ومن ثم تنشأ مستعمرات بكتيرية مستقلة ومنفصلة عن كل خلية بكتيرية. غير أن فكرة استخدام الجيلاتين كمادة في تصليب البيئة أظهرت عديدا من السلبيات، فمثلا يعتبر بروتين الجيلاتين حساسا جدا لبعض إنزيمات الهضم التي تفرزها الميكروبات مما يؤدى إلى تحلله، كما وجد أن الجيلاتين يتحول من المادة الجيلاتينية إلى المادة السائلة عند درجات الحرارة التي تزيد عن ٢٨°م (أغلب الميكروبات تحضن على درجات تزيد عن ٢٨°م لتنميتها). ونتيجة لذلك فقد تم الاستعاضة عنه بإدخال مادة جديده تسمى (الأجار-أجار) تستخلص من بعض أنواع الطحالب الحمراء، وعندما تتصلب تكون مادة صلبه شفافة تنمو على سطحها مستعمرات البكتيريا. وتتميز هذه المادة بأنها تستطيع تحمل درجة حرارة تصل إلى ١٠٠°م قبل أن تتحول إلى الصورة السائلة، وعند ذوبانها لا تتحول إلى الصورة

المتصلبة إلا عند ٤٤°م. كما أن السكريات المعقدة التي تتكون منها لا تتحلل إلا بفعل عدد قليل جدا من البكتيريا. وقد جعلت هذه الصفات من هذه المادة العنصر الأساسي لجميع البيئات الغذائية المستخدمة في دراسة الأحياء الدقيقة.

الفصل الثاني

الأهمية الاقتصادية والعلمية للأحياء الدقيقة

Economic and Scientific Importance of Microbiology

- دور الكائنات الحية الدقيقة في إحداث المرض
- تحليل المواد العضوية
- فساد الأغذية والمواد المخزونة
- استخدام الميكروبات في التصنيع الغذائي واستخراج مواد عضوية وطبية
- استخدام الميكروبات كمصدر غذائي

على امتداد التاريخ الإنساني، ومنذ اكتشاف الكائنات الحية الدقيقة، ظهر عديد من المصطلحات والكلمات التي تم تداولها في هذا المجال وأصبحت جزءا من قاموس التخاطب اليومي للإنسان، مثل كلمة جراثيم، وميكروبات، وأحياء دقيقة، ... إلخ. وأصبحت لهذه المصطلحات نفس المعنى بالنسبة لأغلب الناس، ويقصد بها تلك المخلوقات الدقيقة المتناهية في الصغر والتي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتلعب دورا هاما في حياتنا اليومية (مثل: البكتيريا، والفطريات، والطحالب، والبروتوزوا، والفيروسات).

وإذا تأملنا أسلوب حياتنا نحن والأجيال السابقة نجد أن نصائحنا لأبنائنا دوما لا تخلو من التأكيد والتشديد على ضرورة اتباع مختلف وسائل النظافة وتجنب كل ما

يؤدي إلي التلوث بالميكروبات، مثل غسل الأيدي وعدم الأكل خارج المنزل وتجنب الحشرات التي قد تنقل الميكروبات، ...إلخ. مما رسخ في أذهاننا أن هذه الميكروبات ما هي إلا كائنات خلقها الله لتنغيص حياة الإنسان، لأنها المسؤولة عن الأمراض وفساد الأغذية وغير ذلك مما يندرج تحت قائمة الأمور التي تعكر صفو حياة الإنسان على هذا الكوكب.

ولكن ما مدى صحة هذا الاعتقاد: هل بالفعل جميع الكائنات الحية الدقيقة مسؤولة عن الإضرار بالإنسان؟

للإجابة على هذا السؤال، حري بنا أن نستعرض مختلف أنشطة الحياة اليومية للإنسان وتحديد مدى الدور الذي تؤديه هذه الكائنات في تشكيل خارطة النشاط الحيوي على هذا الكوكب سواء إيجابا أو سلبا.

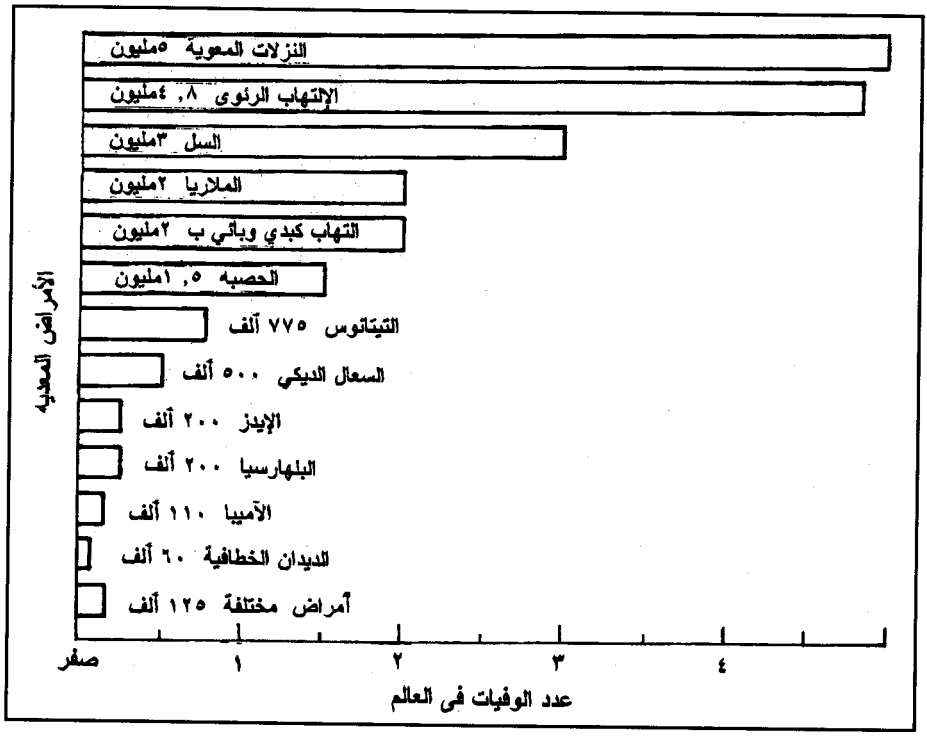
من الملاحظ أنه كلما زادت معلوماتنا عن علم الأحياء Biology بصفة عامة كلما ازددنا يقينا عن مدى العلاقة المتداخلة بين النبات والحيوان والإنسان والكائنات الحية الدقيقة على وجه هذا الكوكب. ولما كان الإنسان هو أحد هذه العناصر المكونة للنظام الحيوي علي هذه الأرض، كان من المنطقي والطبيعي أن يعمل علي تطبيع وترسيخ هذه العلاقة التي تربطه مع بقية عناصر هذا النظام، كي تصبح أكثر ملاءمة له، وذلك بالتأثير فيها بصورة تضمن تقليص أثرها السلبي علي الإنسان وتطوير قدراته على الاستفادة من أثرها الإيجابي. والحديث في هذا الموضوع طويل ومتشعب، ولكننا سنلمس الموضوع باختصار، ثم نعود إلى تفصيله كلما تطرقنا إلى أحد هذه الأنشطة في الباب المخصص لها.

دور الكائنات الحية الدقيقة في إحداث المرض

Role of Microorganisms in Disease Occurance

هناك عدة تعريفات لماهية المرض، غير أنه يمكن تعريفه بصورة عامة "بأنه أي انحراف غير مرغوب عن الحالة الصحية للكائن الحي تجعله مختلفا في المظهر أو السلوك عن الحالة الطبيعية للكائن السليم". وفي ضوء التعريف السابق نستخلص أن تعريف المرض واسع ومتشعب، وقد قاسى الجنس البشري منذ الأزل الويلات من هذه

الأمراض سواء منها ما يصيب الإنسان مباشرة ويسبب موت الملايين من البشر، والأمثلة على ذلك لا تحصى (الشكل رقم ٤)، أو ما كان تأثيره غير مباشر عن طريق إصابة الإنسان في قوته الذي يعيش عليه، ويقصد بذلك الأمراض النباتية والحيوانية التي تقضي على المحاصيل الزراعية النباتية والحيوانية التي يتغذى عليها الإنسان، وتنشأ عن ذلك الكوارث والمجاعات. وأوضح مثل على ذلك الكارثة التي وقعت في شمال أوربا، وبالذات في جمهورية أيرلندا عام ١٨٤٥-١٨٤٦م نتيجة إصابة محصول البطاطس بمرض اللفحة المتأخرة Late blight الذي يسببه فطر *Phytophthora infestans* حيث أدت هذه الإصابة إلي إتلاف كامل لمحصول البطاطس، ونتج عن ذلك مجاعة ذهب ضحيتها مئات الألوف من البشر، وهجرة ما يزيد عن ١,٥ مليون شخص من هذه المناطق الموبوءة بأيرلندا إلي الولايات المتحدة الأمريكية.



الشكل رقم (٤). عدد الوفيات في العالم من العدوى بالمسببات المرضية المختلفة، كما نشرته منظمة الصحة العالمية، ١٩٩٤م.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

وقد أدرك الإنسان أهمية الأمراض النباتية منذ زمن طويل، ويعتبر الفيلسوف اليوناني ثيوفراستس Theophrastus (٣٧٠-٢٨٦ ق.م) أول من قام بدراسة نظرية، ودَون ملاحظاته عن أمراض الأشجار، والبقوليات، والحبوب. وعلى امتداد الألفي عام التي تلت ذلك التاريخ لم يطرأ أي تغيير على معلومات الإنسان عن الأمراض النباتية، بخلاف بعض الملاحظات العامة التي دونها بعض الفلاسفة حتى تم اكتشاف المجهر في منتصف القرن السابع عشر، وكان ذلك إيذانا ببدء عهد جديد في تاريخ العلوم بصفة عامة، وعلوم الأحياء الدقيقة بصفة خاصة.

ففي عام ١٧٥٥م أثبت العالم Tillet أن مرض تفحم القمح Wheat bunt هو مرض معدٍ يمكن أن ينتقل إلي النبات السليم من خلال عدوى البذور بالغبار الأسود من النباتات المصابة، وأنه يمكن تقليص الإصابة بمعاملة البذور. غير أنه عزى عملية العدوى إلي وجود مواد سامة موجودة في الغبار الأسود، وليس إلى كائنات حية دقيقة.

ثم أتى العالم Prevost عام ١٨٠٧م وأثبت أن مرض التفحم Bunt يتسبب بواسطة الفطريات. وقام بدراسة الجراثيم وإنتاجها وتنميتها، كما درس طرق الوقاية من هذا المرض، وذلك بمعاملة البذور بمحلول كبريتات النحاس.

وعقب كارثة وباء اللفحة المتأخرة على البطاطس في أيرلندا، زاد الاهتمام بعلم الأمراض النباتية. وقد قام العالم De Bary عام ١٨٥٣م بإثبات العلاقة المرضية بين فطريات الصدأ والتفحم وأنسجة النبات المصابة، كما أثبت أن هذه الفطريات هي المسببة للأمراض وليس نتيجة الإصابة بالمرض. وهذا عكس الانطباع الذي كان سائدا في تلك الفترة، إضافة إلي مساهمات أخرى عديدة في هذا المجال.

كما طور Brefeld عام ١٨٨٣م العديد من وسائل دراسة الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض مختبريا مثل طرق العزل والتنمية. ومنذ ذلك التاريخ وحتى يومنا هذا توالت الاكتشافات والمساهمات الفعالة في مجال عزل وتعريف وتشخيص الأمراض النباتية والوقاية منها، حتى أصبح يعرف الآن آلاف الأمراض التي تصيب النباتات.

وتتجلى أهمية الأمراض النباتية بالنسبة للإنسان في الخسائر الفادحة التي تسببها للنباتات ومنتجاتها.ويتفاوت نوع الخسائر التي تسببها الأمراض النباتية وكميتها، باختلاف نوع النبات والمحصول الناتج والمسبب المرضى والعوامل البيئية المحيطة ووسائل الوقاية المتبعة، إذ تصل نسبة الفقد أحيانا إلي ١٠٠٪. وتتسبب الإصابة المرضية في نقص المحصول إما نتيجة إصابة النبات في الحقل - كما هو الحال في أغلب الأمراض النباتية - أو أثناء فترة التخزين كما في أمراض التعفن عند تخزين المحاصيل تحت ظروف غير مناسبة.

وهناك صور أخرى للخسائر الفادحة التي تسببها الأمراض النباتية. فعلى سبيل المثال قد يلجأ المزارعون إلي زراعة أصناف نباتيه ذات صفات وراثية مقاومة للأمراض، غير أن إنتاجها يكون متدنيا جدا من الناحية الكمية أو النوعية غير المرغوبة... إلخ. كما أن عمليات الرش ووسائل المقاومة التي يتبعها المزارع تزيد في تكاليف الإنتاج لحد كبير، مما يرفع من سعر المنتج الزراعي. ولكي نقرب الإحساس بالخسائر الفادحة التي تنتج عن الأمراض النباتية لنا أن نتصور أن سكان كوكب الأرض حوالي ٥ بلايين نسمه يتزايدون بنسب مخيفة. ومن المفارقات المؤسفة أن أكثر الدول زيادة في معدلات السكان هي تلك الدول التي تعطى أقل معدل للإنتاج الزراعي. وكنتيجة لذلك فإن الإحصائيات الأخيرة تشير إلي أن العالم اليوم يضم حوالي ١,٨ بليون شخص يعانون من المجاعة أو نقص التغذية.

وبالنسبة للأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان، فالأمر قد يكون أكثر تأثيرا، فقد قاسى الإنسان الويلات من جراء موجات الأوبئة التي اجتاحت مناطق عديدة من العالم مخلفة وراءها ملايين الضحايا من الموتى والمقعدين، حيث كانت الأمراض البشرية تحصد الأرواح دون أن يجد الإنسان في يده حولا ولا قوة للتعامل معها.. وكانت نتائج أبحاث باستير وكوخ، في النصف الثاني من القرن الثامن عشر، من دراساتهم على مرض الأنثراكس Anthrax الذي يصيب الأبقار، وعزل المسبب البكتيري له، بداية الطريق للتعامل المباشر مع هذه المسببات المرضية، فقد تعددت

المساهمات في تحسين وسائل تشخيص الأمراض والكشف عنها وعزلها، وتطوير وسائل مقاومتها وتحسين الطرق الصحية للوقاية منها. ومن نتائج هذه الدراسات أصبح جليا أن كل إنسان يحمل داخل جسمه مجموعة كبيرة من الميكروبات Flora، وهي تحت الظروف العادية لا تسبب أي أمراض للإنسان، غير أنها، وتحت ظروف خاصة، قد تسبب له بعض المتاعب. وبصورة عامة تدخل الميكروبات إلي جسم الإنسان عن طريق التنفس أو الابتلاع، أو الجروح أو من خلال الاتصال بأشخاص أو حيوانات مصابة.

وتعتمد قدرة هذه الميكروبات التي تخترق الجسم في إحداث المرض على القدرات الدفاعية للجسم ومقاومته، والمتمثلة في وجود الجلد، والطبقات المخاطية، والأحماض المعدية، والكريات البيضاء، ... إلخ. وتزداد قابلية الأشخاص للإصابة بالأمراض كلما نقصت قدراتهم المناعية الطبيعية عند التقدم في السن، أو سوء التغذية، أو صعوبة الشفاء من الأمراض. وتتفاوت قدرات البشر في مقاومة الأمراض بين شخص وآخر، لهذا فإنه عند تعرض مجموعة من الأشخاص في غرفة واحدة لنفس الميكروب نجد بعضهم يصاب بالمرض ويستطيع بعضها الآخر مقاومة الإصابة.

ومن أهم الأمراض التي تصيب الإنسان مرض الكوليرا، والدرن، والحمى الشوكية، والأنفلونزا، ... إلخ. ونتيجة العمل الدؤوب المستمر من قبل العاملين في مختلف المجالات التي لها علاقة بالأمراض، مثل الميكروبيولوجي، فقد تم تطوير وسائل متقدمة للوقاية من الإصابة بهذه الأمراض واكتشافها في وقت مبكر، ومن ثم علاجها، ونتيجة لتحسن هذه الوسائل فقد تم القضاء كليا على بعض الأمراض التي كانت تشكل أحد أهم الأوبئة القاتلة للإنسان، مثل مرض الجدري، والسيطرة على العديد من الأمراض الأخرى وبالذات في المناطق التي ترتفع فيها مستويات العناية الصحية داخل المدن. غير أنه في نفس الوقت ظهرت أمراض جديدة، لم يعهدها الإنسان من قبل، مثل مرض نقص المناعة المكتسبة Aids الذي يهاجم الفيروس المسبب له الجهاز المناعي الطبيعي للجسم، ويؤدى إلي تدميره، ومن ثم يصبح الجسم عرضة

للإصابة بالأمراض المختلفة والتي قد تقضى عليه نتيجة افتقاده للنظام المناعي الطبيعي.

يتضح مما سبق أن الكائنات الحية الدقيقة تشكل أهم العوامل المؤثرة في حياة الإنسان ومعيشته على هذا الكوكب بطريقه سلبية، إما عن طريق إصابته بالأمراض المختلفة والقضاء عليه، وإما بإتلاف قوته المتمثلة في إصابة المحاصيل الزراعية والحيوانية التي يتغذى عليها. وتنتج عن ذلك خسائر مادية تقدر بآلاف الملايين من الريالات. ومن المؤسف أن هذه الخسائر تزداد حدتها في الدول الفقيرة التي تعانى من نقص حاد في مصادرها اللازمة لتوفير الغذاء والعناية الصحية.

تحليل المواد العضوية Degradation of Organic Matters

كم منا فكر في مصير تلك الكميات الهائلة من المواد العضوية التي وجدت بطريقة أو بأخرى على سطح كوكبنا هذا منذ أن خلقه الله، أين ذهبت جثث آلاف الملايين من البشر والحيوانات الذين ماتوا بطريقه أو بأخرى؟ وأين ذهبت ملايين الأطنان من بقايا الأشجار والنباتات بمختلف أنواعها التي ماتت أو قطعت... إلخ؟ أين ذهبت الكميات الهائلة من المخلفات الآدمية والحيوانية ومخلفات المدن بشتى أنواعها؟

أغلب الناس وبالذات من غير المهتمين أو العاملين في مجال الميكروبيولوجي يأخذ هذا الأمر مأخذا بديهيا، حتى أصبح لا يستحق التفكير فيه، وهو أن جميع هذه النفايات والمخلفات والحيوانات الميتة تختفي بعد فترة، كيف تختفي؟ وأين تذهب؟ وما هي العوامل التي تؤدى إلي اختفائها؟ وماذا كان سيحدث لو افترضنا جدلا أن جميع هذه المخلفات والحيوانات بقيت متراكمة دون تحلل على هذا الكوكب منذ أن خلقه الله؟

وقبل أن نحاول الإجابة على هذه الأسئلة وتقريبها حتى إلي أذهان الأشخاص العاديين من خارج مجال تخصصنا هذا، حري بنا أن نتطرق إلي المصدر الذي نشأت فيه هذه المواد العضوية. وما هو دورها في هذا النظام الحيوي الكوني. يعرف علماء الأحياء

المنطقة من كوكب الأرض التي تضم مختلف صور الحياة (حيوانية، ونباتية، ودقيقة) باسم منطقة البيوسفير Biosphere، ويشمل هذا التعريف منطقة المحيطات والبحيرات والأنهار بأعماقها، وسطح التربة حتى عمق عدة أقدام وطبقة الغلاف الجوى القريبة من سطح الأرض. وضمن هذا الغلاف المحتوى على هذه الأحياء يتم عديد من عمليات التحول الكيميائية التي تؤدي دورا هاما في تكوين مسطح الكرة الأرضية. وتنفرد الأحياء الدقيقة هنا بدور أساسي جدا في هذه التحولات. وقد وجد أنه لكي تبقى منطقة البيوسفير هذه في حالة توازن وثبات نسبى من الضروري أن يتحقق عاملان أساسيان هما:

أولا: عملية تدوير وتعويض Cyclic turnover للعناصر الأساسية للحياة مثل الكربون، والنيتروجين، والأكسجين، والفوسفور، والكبريت.

ثانيا: عملية إمداد مستمر للطاقة من مصدر خارجي مثل الشمس.

ومن خلال عملية تحويل الطاقة الشمسية التي تتم بواسطة البناء الضوئي، فإنه يتم جذب عديد من العناصر غير العضوية من البيئة الطبيعية المحيطة وإدخالها في صورة مركبات عضوية داخل خلايا وأنسجة الكائنات الحية. وتعتبر الطحالب وحيدة الخلية (وبالذات الدياتومات وDinoflagellate) الموجودة في المحيطات وبذور النباتات على سطح الأرض هي المصادر الرئيسية المنتجة للمواد العضوية على كوكب الأرض. وتعتبر هذه المواد العضوية المتكونة هي المصدر الوحيد للطاقة بالنسبة لبقية صور الحياة سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

هذه العناصر الهامة بيولوجيا والتي أصبحت (في صورة عضوية) كجزء من أنسجة وخلايا نباتية وطحلبية تنتقل من كائن إلي أخر خلال سلسلة غذائية طويلة ومعقدة، غير أنها تظل في جميع هذه الحالات في صورة عضوية داخل خلايا وأنسجة الكائن. فمثلا تتغذى الحيوانات بأنواعها (والإنسان) والكائنات الدقيقة غير التمثيلية على هذه الكائنات التمثيلية المحتوية على المواد العضوية، حيث تدخل هذه المواد العضوية ضمن مكونات خلايا هذه الكائنات المستهلكة. ومن ثم تشكل بعض هذه

الكائنات المستهلكة مصدرا غذائيا لكائنات أخرى وهكذا، وفي جميع هذه العمليات تظل العناصر في صورة عضوية قبل أن تصبح هذه العناصر جاهزة ومناسبة لاستعمال الكائنات التمثيلية (نبات، طحالب) مرة أخرى، فإنها يجب أن تعود إلي صورتها غير العضوية مرة أخرى. وتسمى هذه العملية (إعادة العناصر إلي صورتها غير العضوية) بعملية المعدنة Mineralization، وتتم من خلال تحليل بقايا النباتات والحيوانات ومخلفات الحيوانات العضوية، وتؤدي الفطريات والبكتريا غير التمثيلية Nonphototrophic الدور الرئيسي في عملية التحويل هذه. وللإحساس بأهمية هذا الدور، فإن العلماء يقدرون بأن حوالي ٩٠٪ من كمية غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 الموجود في منطقة البيوسفير Biosphere يتم إطلاقها نتيجة لنشاط الكائنات الفطرية والبكتيرية غير التمثيلية في عملية التحليل المذكورة أعلاه. ونسبة الـ ١٠٪ المتبقية نتيجة أنشطة التنفس للكائنات الأخرى، وبعض الأنشطة الثانوية مثل الحرائق، ... إلخ.

ومن خلال ذلك يتضح الدور البالغ الأهمية الذي تلعبه الأحياء الدقيقة غير التمثيلية في عمليات المعدنة Mineralization في منطقة البيوسفير هذه والذي يؤهلها له سرعة تكاثرها الفائقة، ونشاطها البيولوجي العالي، مما يعطيها القدرة على تحليل جميع المواد العضوية التي تتكون في الطبيعة.

الدورة الغذائية في الطبيعة

تنبت البذرة في التربة، ونظرا لكونها تنمو، فإنها تمتص العناصر المعدنية الضرورية لنموها من التربة لكي تدخل في تركيب أنسجة النبات، وتتحول لصورة عضوية (أثناء عملية البناء الضوئي). يتغذى الحيوان على هذه النباتات، فتدخل هذه العناصر في صورتها العضوية في تركيب أنسجته - ثم تموت هذه الحيوانات وتتحلل - أو يتغذى الإنسان على هذه الحيوانات، ثم يموت الإنسان ويتحلل - فضلا عن فضلاته أثناء حياته - أو يتغذى الإنسان مباشرة على النباتات، ثم يموت الإنسان ويتحلل. وعند موت الإنسان أو الحيوان أو النبات تجرى عليه عمليات التحلل

المذكورة أعلاه، وينشأ عنها إعادة العناصر إلي صورتها الأولى (المعدنية) وإطلاق الغازات إلي الجو. وتتم هذه العملية كما أسلفنا في أغلب صورها بفعل الكائنات الحية الدقيقة. أما الافتراض الجدلي بعدم تحلل هذه المواد العضوية بشتى صورها الحيوانية والنباتية، فهذا يعنى وجود استنزاف مستمر للعناصر غير العضوية من منطقة البيوسفير (من التربة ومن الجو)، مما يؤدى إلي اختلال التوازن في منطقة البيوسفير، ويجعل الحياة غير ممكنة على الإطلاق لعدم استطاعة هذا النظام إمداد نظام الحياة المستمر باحتياجاته من العناصر الحيوية اللازمة والتي تظل مسجونة داخل صورها العضوية (نباتية وحيوانية). وصدق الله العظيم القائل: ﴿ مِنْهَا خَلَقْنَاكُمْ وَفِيهَا نُعِيدُكُمْ وَمِنْهَا نُخْرِجُكُمْ تَارَةً أُخْرَىٰ ﴾، (طه، ٥٥).

فساد الأغذية والمواد المخزونة

Spoilage of Food and Stored Material

تشير الدلائل التاريخية المدونة إلي أن الإنسان عرف فساد الأغذية منذ حوالي ٦٠٠٠ سنة ق.م، كما أنه استخدم وسائل عديدة لحفظ غذائه لوقايته من الفساد مثل التدخين، والتجفيف، والتمليح، والتخمير، والتجميد، وكذلك استخدم بعض البهارات منذ حوالي ٢٥٠٠-٣٥٠٠ سنة ق.م. كما استخدم القدماء العسل كأحد المواد الحافظة ضد الفساد. وقد تطورت وسائل حفظ الأغذية من الفساد بناء على مبدأ التجربة والخطأ منذ آلاف السنين.

وما دمنا نتحدث عن عمليات الفساد فيجدر بنا الإشارة إلي أن هذه العملية لا تقتصر على المواد الغذائية، وإنما يمكن القول إن جميع المواد المخزنة من منسوجات وأخشاب... إلخ، هي عرضة للتلف والفساد الميكروبي تحت ظروف التخزين غير المناسبة مما يستدعى الاهتمام بعمليات الحفظ الغذائي والذي تطورت طرقه وأساليبه بتطور فهمنا لطبيعة الميكروبات المسببة للفساد، والاهتمام بعمليات التخزين.

ومما سبق يتضح حجم الخسائر الهائلة الناتجة عن عمليات الفساد الغذائي والمتمثلة في:

- تلف كميات هائلة من المواد الغذائية نحن في مسيس الحاجة إليها لتغذية ملايين البشر الذين يعانون من نقص في التغذية والمجاعات.
- الأضرار الصحية الناتجة عن استخدام هذه المواد الفاسدة، وبالتالي في الدول التي لا تتوافر بها إجراءات وأنظمة صحية صارمة.
- الخسائر المادية الناتجة عن تكاليف عمليات التخزين.

ويقدر كل هذا بآلاف الملايين من الريالات سنويا إذا استثنينا الخسائر الصحية والوفيات الناتجة عن ذلك، وهذا لا يمكن تقديره بثمن.

استخدام الميكروبات في التصنيع الغذائي واستخراج مواد عضوية وطبية

لقد أشرنا في موضع آخر إلى أن إنسان الكهف الأول استفاد من الكائنات الحية الدقيقة في إنتاج غذائه وتحسينه دون أن يدرك أنه بذلك يتعامل مع كائنات حية دقيقة فهو مثلا استفاد منها في تخمير الخبز وصنعه، وصناعة المشروبات الكحولية، وإنضاج وتحسين طعم اللحوم، ... إلخ. وقام بمحاولات لتحسين وتطوير هذه الاستخدامات، ولكنها ظلت في حدود الإمكانات والمواد المهيأة لذلك العصر. غير أنه، وفي منتصف القرن التاسع عشر، عندما بدأ الوعي والإدراك بدور الأحياء الدقيقة يتنامي كنتيجة للأبحاث والدراسات التي أجراها الرواد الأوائل أمثال باستير وغيره، أصبح من الممكن أن نقول دون أن نجافي الحقيقة إن الكائنات الحية الدقيقة هي "مصنع كيميائي" يستطيع تحت ظروف معينة ومحدده إنتاج مئات المنتجات الغذائية والصناعية والطبية نتيجة للتغيرات الكيميائية التي تحدثها على بعض المواد الخام (الجدول رقم ١).

ويعتمد مبدأ استخدام الأحياء الدقيقة في إنتاج مواد صناعية وغذائية على قدرة هذه الكائنات على تحويل بعض المواد الخام الرخيصة الثمن والمتوافرة بكميات كبيرة إلى منتجات أخرى ذات فائدة غذائية أو صناعية أو دوائية.

الجدول رقم (١). المنتجات الصناعية من الكائنات الحية الدقيقة.

المادة الكيميائية	الميكروب	مادة التفاعل	مجالات الاستخدام والتطبيق
المستحضرات الصيدلية:			
بكيتراسين	بكتريا *Bacillus subtilis*	جلوكوز	مضاد حيوي فعال ضد البكتريا الموجبة لصبغة جرام .
سيفالوأسبورين	فطر *Cephalosporium*	جلوكوز	مضاد حيوي واسع المدى مضاد للبكتيريا
بنسلين	فطر *Penicillium Chrysogenum*	لاكتوز	مضاد حيوي واسع المدى مضاد للبكتريا
أيروثرومايسين	فطر شعاعي *Streptomyces*	جلوكوز	مضاد حيوي واسع المدى مضاد للبكتريا
تتراسكلين	*Streptomyces*	جلوكوز	مضاد حيوي واسع المدى مضاد للبكتريا
أمفوتيريسين	*Streptomyces*	جلوكوز	مضاد حيوي يقتل أو يثبط الفطريات .
فيتامين ب١٢	بكتريا *Pseudomonas*	مولاس	غذاء إضافي أو تكميلي .
ريبوفلافين	*Asbya*	جلوكوز زيت الذرة	غذاء حيواني إضافي أو تكميلي .
أستيرويدات	فطر *Rhizopus cunninghamella*	حامض Deoxycholicc Stigmasterol	معاملة الالتهابات والحساسية. هرمون يفيد في العلاج النفسي.
المواد الحافظة والأحماض الأمينية:			
حامض الستريك	فطر *Aspergillus، Candida*	مولاس	إضافة الطعم الحمضي للمشروبات والمربى والحلويات، يمنع تلون وفساد اللحم، حفظ السمك من الفساد، يؤخر التلون البني لشرائح الخوخ
حامض اللاكتيك	بكتريا *Lactobacillus*	شرش اللبن قولحة الذرة- بذور القطن: مالتوز- جلوكوز- سكروز.	الإضافة الحمضية لأعداد المربى، الجيلي، الحلويات، المشروبات المعسولة، المخللات، مسحوق الخميرة .
زانثان	بكتريا *Xanthomonas*	بيئة الجلوكوز.	غذاء متوازن (لا يستخدم لغذاء الأنسان) .

تابع الجدول رقم (١).

المادة الكيميائية	الميكروب	مادة التفاعل	مجالات الاستخدام والتطبيق
حامض الخليك	بكتيريا *Acetobacter*	أي مصدر من إيثلين أو إيثانول .	غذاء حامضى (يستخدم في العمليات الصناعية).
حامض جلوتاميك	بكتيريا *Corynebacterium, Arthobacter, Brevibacterium*	مولاس - النشا.	يعطى نكهة جيدة لمادة جلوتاميك أحادي الصوديوم.
ليسين	بكتيريا *Corynebacterium*	كازين Casein	غذاء إضافي أو تكميلى (غير متواجد في الحبوب)
مواد كيميائية متنوعة:			
إيثانول	فطرة الخميرة *Saccharomyces*	بنجر_قصب - حبوب	يضاف إلى الجازولين Gasoline.
أسيتون	بكتيريا *Clostridium*	مولاس - النشا	مذيب لكل من الورنيش (مواد الطلاء) - مطاط - الصمغ - الدهن - الزيت .
بيتانول	بكتيريا *Clostridium*	مولاس - النشا.	يضاف إلى الورنيش (مواد الطلاء).
حامض جلوكونك	فطر *Aspergillus* بكتيريا *Gluconobacter*	مصدر للجلوكوز- منقوع الذرة.	مسحوق الخميرة، محلول غسيل الزجاج، مذيل للصدأ، يدخل في مخلوط الأسمنت.
جليسرول Glycerol ديكسترات Dextran	فطر الخميرة *Yeast* بكتريا *Acetobacter* *Leuconostoc* *Klebsiella*	ناتج تخمر كحولى جلوكوز، مولاس، سكروز.	استخدامات طبية وصناعية. جلوكوز متبلمر كمادة ماصة للبلازما والدم ومعاملات الاحتراق ولحفظ كل من الأيس كريم، الحلويات، المشروبات المعسولة .
ثيريسيد Thuricide	بكتيريا *Bacillus thuringiensis*	مولاس، النشا.	المكافحة الحيوية لكل من عثة الملابس، آفات النبات مثل الديدان .

وقبل الإقدام على استخدام الكائنات الحية الدقيقة في إنتاج أي من المنتجات الغذائية أو الصناعية بمردود اقتصادي يجب أن يتوافر لدينا العوامل التالية:

١ - **الكائن الحي الدقيق**: بقدرته على إنتاج كميات كبيرة من هذا المنتج، ويكون ذو صفات وراثية ثابتة وألا يكون ممرضا. (وقد أصبح الآن بالإمكان استخدام الهندسة الوراثية في تصميم وإنتاج هذا النوع من الميكروبات).

٢ - **البيئة المناسبة Substrate**: وهي المادة الخام التي يعمل عليها الميكروب ويحولها إلى المنتج المرغوب فيه. وهذه يجب أن تكون رخيصة الثمن ومتوافرة بكميات كافية.

٣ - **وجود طريقة مناسبة** لاستخلاص المنتج النهائي المرغوب فيه من البيئة عند انتهاء عملية التصنيع، حيث تحتوي هذه البيئة غالبا على كميات من المخلفات غير المرغوب فيها.

ويمكن إدراج هذه المنتجات التي تنتجها الأحياء الدقيقة في مجموعات عدة أهمها:

١ - **المشروبات الكحولية**: حيث تستخدم أنواع عديدة من جنس الخميرة *Saccharomyces* في تحويل السكريات الموجودة في بعض أنواع الفواكه إلى كحول وCO_2 وإحداث بعض التغيرات في المكونات الأخرى لتغير الرائحة والطعم.

٢ - **منتجات غذائية**: وتستخدم هنا أنواع من الفطريات Molds والبكتريا في إنتاج منتجات غذائية وبالذات من الجبن. فمثلا بعض أنواع البكتريا المخمرة لسكر اللاكتوز تستعمل في صناعة الجبن بأنواعه مثل *Streptococcus lactis*، *Streptococcus cremoris*، وأنواع أخرى تستعمل في صناعة اللبن الزبادي من أنواع الجنس *Lactobacillus*. وتستخدم البكتريا في إنتاج الزبد وفي العديد من المنتجات الأخرى مثل صناعة المخللات. كما تستخدم أنواع من الفطريات في تصنيع أنواع خاصة من الجبن ذات طعم خاص... إلخ.

٣ – إنتاج الـدواء: عقب اكتشاف دور الأحياء الدقيقة في إحداث المرض، تركز اهتمام العلماء في تطوير وسائل تمكننا من السيطرة على هذه الكائنات وعلاج الأمراض. وقد اتخذ هذا الاهتمام اتجاهات عديدة منها تطوير استخدام الأمصال واللقاحات إلى أن أتى العالم Poul Ehrlich وتحدث عن إمكانية علاج الأمراض الميكروبية بواسطة استخدام أدوية خاصة تقوم بمهاجمة الميكروب المسبب للمرض داخل الجسم دون التأثير في أعضاء الجسم الأخرى. وكانت هذه هي البداية.

وفي عام ١٩٢٩م اكتشف العالم البريطاني Alexander Fleming المضاد الحيوي المعروف باسم البنسلين والذي تفرزه بعض أنواع الجنس الفطرى *Penicillium* والذي استخدم فيما بعد (بعد حوالي ١٠ سنوات) بنجاح منقطع النظير في علاج عديد من الأمراض التي تسببها البكتريا لما له من تأثير قاتل Bactericidal في البكتريا. وبعد ذلك بوقت قصير اكتشف كل من S.Waksman & A.Schatz مضادا حيويا آخر يسمى Streptomycin، ثم تبعه عديد من الاكتشافات. ويقدر عدد المضادات الحيوية الني تم إنتاجها من الكائنات الحية الدقيقة وبالذات الفطريات، والأكتينوميستات والبكتريا منذ عام ١٩٤٥م وحتى يومنا هذا بما يزيد على ١٠٠٠مركب ينتج منها ما يزيد على ٥٠ مركبا على نطاق تجارى واسع للأغراض الطبية للإنسان والحيوان.

٤ – إنتاج الأمصال واللقاحات: من المعروف أن الخالق سبحانه وتعالى زود جسم الإنسان بجهاز مناعي متطور وفعال لوقاية الجسم من الإصابة بالأمراض المختلفة التي تبقى في مجرى الدم. وقسم العلماء هذه المناعة إلى نوعين: منها ما يسمى المناعة الطبيعية Naturally acquired immunity، ونوع آخر يسمى المناعة المكتسبة Artificially acquired immunity، وهذه يكتسبها الجسم عن طريق حقنه إما بالأمصال Serum أو باللقاحات Vaccines.

وتتكون اللقاحات Vaccines من سموم بكتيرية غير فعالة Inactivated أو ميكروبات ميتة أو من ميكروبات حية، ولكنها غير قادرة على إحداث المرض، وذلك نتيجة إضعافها Attenuated إما بواسطة الحرارة أو بواسطة مواد كيماوية. في هذه الحالة

تكون المادة المكونة للقاح سواء كانت السم Toxin أو الميكروب غير قادرة على إحداث المرض، ولكنها قادرة على تحفيز الجهاز المناعي للجسم لإفراز الأجسام المضادة للمرض، وبالتالي يصبح دم الإنسان مليئا بهذه الأجسام المضادة و في حالة استعداد، فلو حدثت إصابة بالمرض يكون الجهاز المناعي للجسم قادرا على التعامل معها مباشرة.

أما الأمصال Serum فيقصد بها الجزء السائل من الدم بعد انفصال الأجزاء الصلبة منه وتخثرها مثل الكريات والصفائح الدموية. وقد وجد أن الأجسام المضادة Antibodies تتركز في هذا الجزء من الدم المسمى Serum (وهذه الأجسام المضادة هي التي تقاوم الأجسام الغريبة التي تدخل إلى الجسم وتقضى عليها أو تشل حركتها) وتشكل أساس الجهاز المناعي للجسم. ويقوم الجهاز المناعي في الجسم بتكوين هذه الأجسام المضادة بمجرد دخول أي جسم غريب مثل الميكروبات المرضية. ونظرا لاحتواء هذا الجزء من الدم Serum على هذه الأجسام المضادة Antibodies فقد أمكن استخدامه كوسيلة لتدعيم مناعة الجسم بحقنه داخل جسم الإنسان لإعطائه مناعة ضد مرض معين. ويستخدم في الحالات التي يحتاج فيها الجسم إلى مناعة سريعة بعكس اللقاحات. وهناك العديد من الأمراض الخطيرة التي أمكن السيطرة عليها بنجاح بواسطة استعمال اللقاحات والأمصال، والتي تؤدي الميكروبات في إنتاجها الدور الأساسي مثل أمراض الكوليرا، والجدري، والدفتيريا، والحصبة، والحمى الصفراء، ... إلخ.

٥ – المواد الكيماوية الصناعية: تزايد الاهتمام كثيرا في السنوات الأخيرة باستخدام الكائنات الحية الدقيقة في إنتاج العديد من المركبات الصناعية والدوائية نظرا لانخفاض تكاليفها بصورة كبيرة، مقارنة بالطرق الكيميائية لإنتاج هذه المركبات. وتقسم عادة المنتجات الميكروبية إلى قسمين: الأول منها يسمى المنتجات الأولية Primary metabolites مثل الأحماض الأمينية Amino acids والفيتامينات وحامض الستريك، والثاني يسمى منتجات ثانوية Secondary metabolites ومن أهمها المضادات

الحيوية Antibiotics والإنزيمات Enzymes. وسنورد هنا أمثلة مختصرة عن أهم هذه المنتجات.

حمض الستريك الذي ينتجه الفطر *Aspergillus niger*. ويشكل هذا الحمض حوالي ٦٠٪ من المواد الحافظة للمواد الغذائية Food additives التي تنتج في الولايات المتحدة. وهناك حمض الجلوكومين Gluconic acid وحمض الأيتاكونيك Itaconic acid، وهناك أيضا الكحول الإيثيلي Ethanol الذي كان ينتج بواسطة أنواع من الخمائر بطرق بدائية، وأصبح الآن المجال مفتوحا لتطويره وإنتاجه بكميات كبيرة وبسعر رخيص، باستخدام أنواع من البكتريا التابعة لجنس *Zymomonus* مستخدمة السليولوز بدلا من المواد الكربوهيدراتية البسيطة، كما كان مستخدما. وهناك أيضا إنتاج الإنزيمات والتي لها استخدامات واسعة في المجال الصناعي مثل إنزيم Amylase الذي يستخدم في إنتاج السيرب من نشا الذرة، وإنزيمات Protease، Glucose isomerase، Cellulase، ... إلخ وغير ذلك العديد من الإنزيمات التي تستخرج من الميكروبات وبالذات الفطريات وبعض أنواع البكتريا.

وهناك أيضا الستيرويدات Steroids وهي مركبات كيميائية معقدة تضم عددا من الهرمونات التي استخدمت بنجاح كبير في علاج عديد من الأمراض مثل التهاب المفاصل (الروماتيزمية Rheumatism)، وسرطان الدم (لوكيميا Leukemia)، وفقر الدم (الأنيميا Hemolytic anemia)، ... إلخ. وقد تم اكتشاف دور الستيرويدات للمرة الأولى عام ١٩٤٩م في علاج مرض التهاب المفاصل الروماتويد Rheumatoid arthritis ومن أمثلتها الكورتيزون. وقد وجد أن تركيب هذه المركبات كيميائيا مكلف جدا، إضافة إلي صعوبة العملية من الناحية الكيميائية، إلي أن اكتشف في بداية عام ١٩٥٠م أن بعض أنواع الفطريات تستطيع إنتاج هذه المركبات من بعض المركبات النباتية والحيوانية. ويستخدم الآن في المجال الطبي عدد كبير من هذه الهرمونات التي تنتجها الميكروبات بتكلفة زهيدة وكفاءة عالية، ومن أكثرها استخداما بعض الهرمونات المستخدمة لمنع الحمل مثل الـ Progestron, Estrogen.

استخدام الميكروبات كمصدر غذائي
Microbes as Nutritional Source

يشكل عديد من أنواع الكائنات الحية الدقيقة مصادر غذائية ذات قيمة جيدة، كما أنها تشكل، وبالذات في الوقت الراهن، مصدرا محتملا وهاما للغذاء في وقت بدأت فيه مشكلة الغذاء تتفاقم مع زيادة عدد السكان ونقص الإنتاج الزراعي التقليدي، مما دفع العلماء والمهتمين إلى البحث عن مصادر أخرى غير تقليدية من أهمها الميكروبات.

فعلى سبيل المثال تشكل الطحالب البحرية مصدرا غذائيا هاما للكثير من دول جنوب شرق آسيا، نظرا لاحتوائها على نسبة جيدة من الفيتامينات والكربوهيدرات، وذلك إضافة إلى استخدام هذه الطحالب كمصدر غذائي أساسي للأسماك والتي بدورها تشكل مصدرا هاما للإنسان. وعلى اليابسة تشكل بعض أنواع الفطريات أطباقا غذائية مفضلة على موائد كثير من سكان دول الشرق الأوسط وآسيا وأمريكا، مثل بعض أنواع المشروم التابعة للجنس *Agaricus*، الذي أضحى يشكل صناعة زراعية مستقلة تقدر بمئات الملايين من الريالات وقد أنشئت مزارع خاصة لإنتاجه بكميات هائلة من إنبات جراثيم هذا الفطر تحت ظروف مناسبة.

وهناك أيضا فطر الفقع Truffle الذي ينمو في الصحارى في أوقات الربيع وعقب تساقط الأمطار، وتجرى العديد من الدراسات لإنباته تحت ظروف صناعية مثل المشروم.

وقد سبقت الإشارة إلى تنمية بعض الميكروبات على مواد نفطية خام لإنتاج ما يسمى بالبروتين وحيد الخلية Single cell protein (SCP) والذي يستخدم كعلف حيوان جيد.

استخدامات أخرى متعددة

إن الحديث عن استخدامات الميكروبات في حياتنا اليومية حديث طويل ولا ينتهي، لأنه كلما عرفنا المزيد عن هذه الكائنات، اكتشفنا المزيد من طاقاتها الهائلة والدور الذي يمكن أن تؤديه، وسيتم الحديث عن هذا الموضوع في الباب الثالث (الميكروبات والإنسان والبيئة).

الفصل الثالث

التقنيات والوسائل المتبعة في دراسة الكائنات الحية الدقيقة

Techniques and Methods Used for Studying Microorganisms

- المجاهر وتقنيتها
- الصبغات الميكروبية
- الوسائل المستخدمة في تنمية وزراعة الكائنات الحية الدقيقة
- المزارع النقية والمختلطة
- الاحتياجات الغذائية للكائنات الحية الدقيقة
- تحضير البيئات المغذية
- حفظ المزارع البكتيرية

يُعزى التطور الهائل الذي حصل في علم الميكروبيولوجيا بالدرجة الأولى إلى التطور الذي شمل نوع التقنية ووسائل البحث المستعملة في هذا المجال.

تُدرس الكائنات الحية الدقيقة في المختبر لأهداف عدة، وتعتمد درجة الدقة والتفاصيل المطلوبة هنا على الهدف من دراسة هذه الكائنات، فنحن إما أن نهدف من هذه الدراسة إلى معرفة الشكل العام للميكروب، أو تعريف هذا الميكروب بدقة، أو دراسة بعض الأنشطة البيوكيميائية أو الفسيولوجية له، ... إلخ. وقد تم تطوير طرق وتقنيات مختلفة مكنتنا من دراسة جميع هذه الأنشطة إضافة إلى الشكل العام والتشريحي لجميع الكائنات الحية الدقيقة بنوع من التفصيل والدقة، ويشمل ذلك تطور وسائل الرؤية المجهرية، وصبغ الميكروبات، وطرق تنميتها، ... إلخ.

المجاهر وتقنيتها

نظرا للحجم المتناهي في الصغر للكائنات الحية الدقيقة (الشكل رقم ٥) كان من الطبيعي أن يكون تحت يدنا جهاز يمكننا من وضع هذه الكائنات في مدى رؤية العين البشرية، وبالتالي يمكننا من دراستها بتفصيل ووضوح. وقد كان لاكتشاف العدسات وما تبع ذلك من تركيب المجهر البسيط بواسطة العالم ليفنهوك أثره البالغ في دفع عجلة البحث في هذا المجال دفعات قوية إلى الأمام، ثم قام العالم Joseph Jackson Lister عام ١٨٣٠م بصناعة أول مجهر ضوئي مركب يستخدم فيه أكثر من عدسة، بما يساعد على زيادة التكبير والوضوح. وتصل قوة تكبير بعض المجاهر في الوقت الراهن إلى عدة مئات آلاف المرات (الجدول رقم ٢)، ويستعمل في الوقت الراهن نوعين رئيسيين من المجاهر هما:

- **المجهر الضوئي Light microscope**: وفيه تُستخدم أشعة الضوء العادي أو أحد مشتقاته في إضاءة الجسم المفحوص كما تستخدم فيه عدسات زجاجية.
- **المجهر الإلكتروني Electron microscope**: وفيه تُستخدم أشعة إلكترونية ذات موجات قصيرة بدلا من أشعة الضوء العادي، وكذلك عدسات كهر ومغناطيسية بدلا من عدسات الزجاج، كما يعطي هذا النوع من المجاهر تكبيرات أكبر بكثير من المجهر الضوئي.

وحدات القياس المجهري (Tortora, *et al.* 1986)

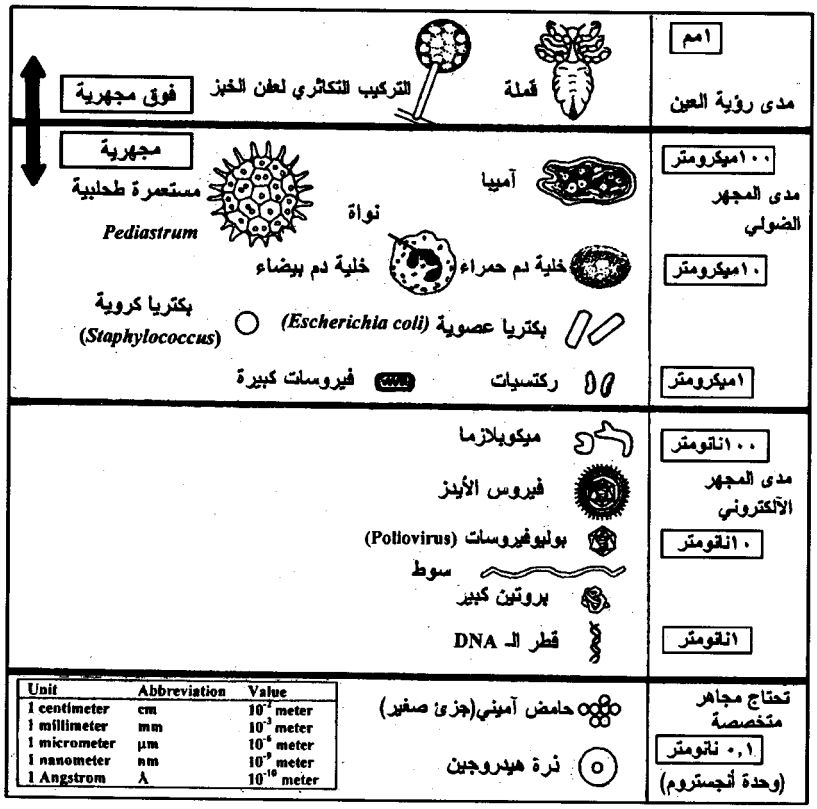
يستخدم النظام المتري Metric system في قياس الأبعاد المجهرية، ووحدة هذا النظام هي المتر، الديسمتر، السنتمتر، والمليمتر، وكل وحده منها تنتسب إلى الأخرى بالمعامل ١٠، فمثلا المتر = ١٠ ديسم = ١٠٠ سم = ١٠٠٠ ملم.

ونظرا لأن الأحياء الدقيقة ومكوناتها التي تدرس بالمجهر متناهية الصغر، فإن الوحدات المستعملة في قياسها هي وحدات دقيقه جدا ومنها:

الميكرومتر Micrometer، النانومتر Nanometer، الأنجستروم Angestrom.

فمثلا الميكرومتر (µm) والذي كان يعرف في السابق باسم الميكرون (= ١٠$^{-٦}$ من المتر). والنانومتر (nm) والذي كان يعرف في السابق باسم المليميكرون (m) وهو = ١٠$^{-٩}$ من المتر. والأنجستروم (A°) = ١٠$^{-١٠}$ من المتر.

ومع أن وحدة الأنجستروم لا تستعمل في وقتنا الراهن فإن أغلب الكتب والبحوث المنشورة في السابق تعتمد هذه الوحدة لقياس الأجزاء المجهرية. لذلك كان من الطبيعي أن نكون على علم بها. ويمكن الأستعاضة عنها في وقتنا الراهن باستخدام وحدة ٠,٠١ nm نانومتر.



الشكل رقم (٥). توضيح مقارن لأبعاد الكائنات الحية الدقيقة مقارنة بالجزيئات الأكبر والأصغر حجما.

(عن : Talaro and Talaro, 1996)

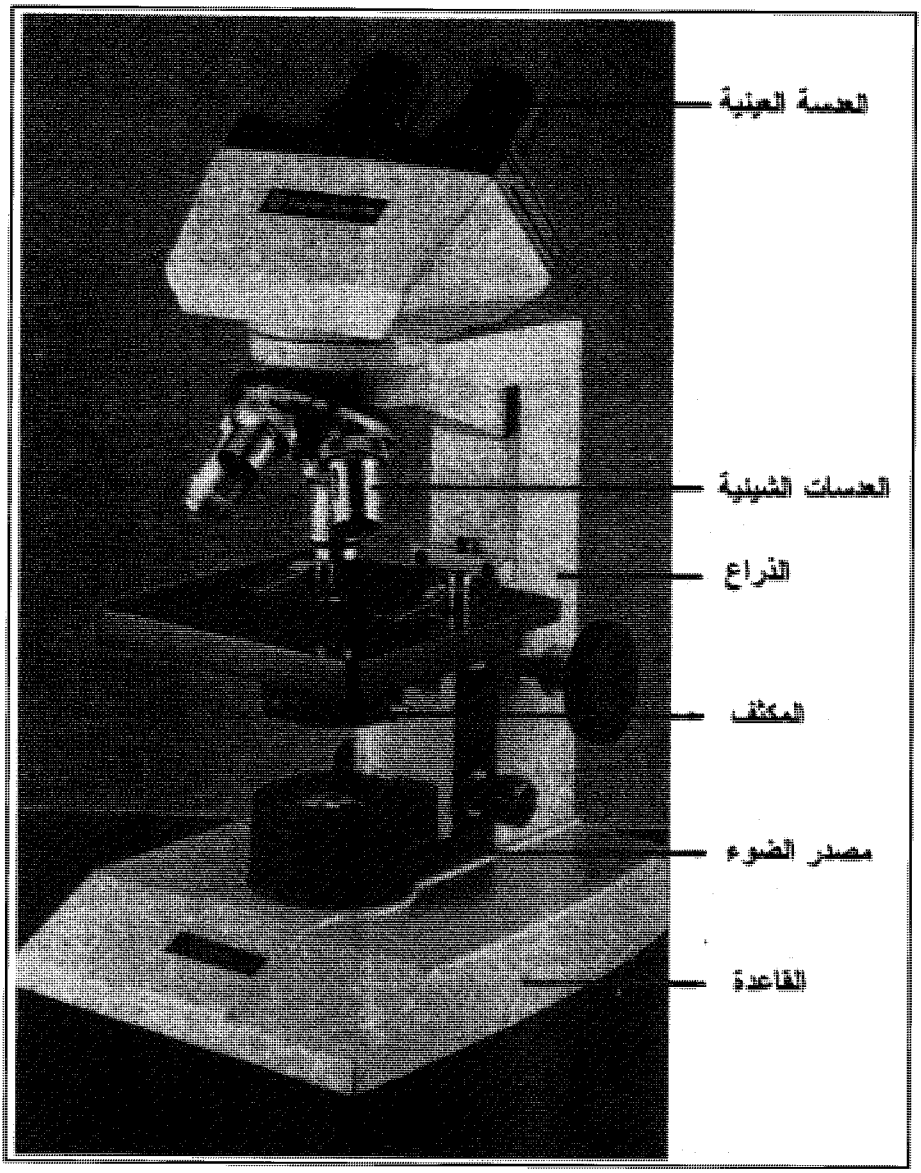
الجدول رقم (٢). مقارنة بين الأنواع المختلفة من المجاهر.

نوع المجهر	قوة التكبير	مظهر العينة	الاستخدام
الحقل المضيء	١٠٠٠- ٢٠٠٠	مصبوغة أو غير مصبوغة، يتم صبغ الخلايا البكتيرية ويظهر لون الصبغ.	مشاهدة الشكل المورفولوجي لكل من: البكتيريا، الفطريات، الأعفان، الطحالب، البروتوزوا.
الحقل المظلم	١٠٠٠- ٢٠٠٠	عادة تكون العينة غير مصبوغة وتظهر مضيئة في حقل مظلم.	مشاهدة الكائنات الحية الدقيقة على سبيل المثال: البكتيريا.
الفلورسينتي	١٠٠٠-٢٠٠٠	مناطق ملونة وساطعة للصبغة الفلوريسينية.	تقنيات تشخيصية تفيد في تعريف الكائنات الحية الدقيقة.
متباين الأطوار	١٠٠٠-٢٠٠٠	درجات مختلفة من المناطق الداكنة.	لفحص تراكيب خلايا الكائنات الحية.
الإلكتروني	١٠°	مناطق ساطعة على الشاشة الفلورسينية.	فحص عينات صغيرة جدا، مثل الفيروس، والتراكيب الدقيقة للخلايا.

ويعتبر المجهر الضوئي من أكثر الأدوات استخداما والتي لا غنى عنها في مختبرات الميكروبيولوجي، وتوجد عدة أنواع منه، لكل نوع منها خصائص تمكنه من الوصول لتكبيرات معينة، ولدراسة أجزاء خاصة أو أنواع خاصة من الميكروبات، ومن هذه الأنواع:

مجهر المجال المضيء Bright Field Microscope

وفى هذا النوع من المجاهر (الشكل رقم ٦) يبدوا الحقل (المجال) الميكروسكوبي (وهو كامل المنطقة التي تظهر للعين عند النظر من خلال العدسة العينية) مضيئا إضاءة كاملة، وبقية الأجسام المفحوصة (الميكروبات مثلا) تبدو داكنة أو مصبوغة. ويصل أقصى تكبير واضح يمكن الحصول عليه من هذا النوع من المجاهر إلى ١٠٠٠مرة، غير أنه يمكن بإجراء بعض التغيرات في العدسات العينية زيادة هذا التكبير إلى حوالي ٢٠٠٠ مرة.



الشكل رقم (٦). صورة المجهر الضوئي العادي.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

ولزيادة قدرتنا على فهم طريقة عمل هذه المجاهر الضوئية سنتطرق بنوع من التفصيل إلى مختلف أجزائها وكيفية عملها.

فمجهر الحقل المضيء هو عبارة عن مجهر مركب Compound ويتكون من نوعين من العدسات: العدسة العينية Ocular lens، والعدسة الشيئية Objective lens ويستخدم أشعة الضوء المرئي كمصدر لإضاءة الجسم المفحوص، ويمكننا بواسطة هذا النوع من المجاهر دراسة كائنات متناهية الصغر إضافة إلى دراسة بعض تفاصيلها الدقيقة أحيانا. ونحصل على هذه التكبيرات عندما تمر أشعة الضوء (من مصدر الإضاءة) خلال المكثف Condenser الذي يوجهها بدوره لكي تسقط على الجسم المفحوص. وتمر الأشعة من خلال الجسم المفحوص لكي تدخل إلى العدسة الشيئية والتي تكبر العينة ثم تعمل العدسة العينية مرة أخرى على مضاعفة هذا التكبير لكي نصل إلى التكبير النهائي. ويحسب التكبير النهائي للمجهر بضرب:

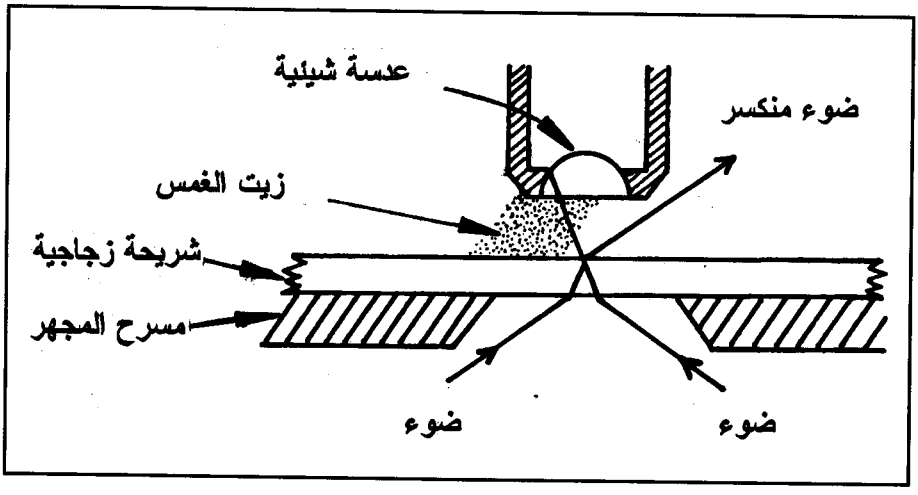
تكبير (قوة) العدسة العينية × تكبير (قوة) العدسة الشيئية. وتتكون أغلب المجاهر المستعملة في مختبرات الميكروبيولوجي من ثلاثة عدسات شيئية هي ١٠، ٤٠، ١٠٠.

أما العدسة العينية فتبلغ قوتها ١٠ مرات. لذلك فللحصول على التكبير النهائي نضرب ١٠ أو ٤٠ أو ١٠٠ × ١٠ فيكون تكبير العدسة الصغرى ١٠٠ والكبرى ٤٠٠ والزيتية ١٠٠٠.

ولتطوير قدرات المجاهر، فقد استفاد علماء الميكروبيولوجي من مبدأ فيزيائي تم إثباته وهو أنه كلما قصرت طول موجه الضوء المستخدم في إضاءة الجسم المفحوص، كلما زادت درجة الوضوح أو قوة التمييز Resolution أو Resolving power، والتي تُعرف بأنها قدرة العدسات على التمييز الواضح للتراكيب الدقيقة للجسم المفحوص، وبعبارة أخرى هي قدرة العدسات على التمييز بين نقطتين واقعتين على بعدين محددين من الجسم. فمثلا لو كان لدينا مجهر قوة تمييزه Resolving power هي ٠,٠٤ نانومتر (٤ أنجستروم) فهذا يعنى أن هذا المجهر قادر على أن يميز بوضوح بين نقطتين يفصل بينهما مسافة تبلغ ٤ أنجستروم، وفي ضوء هذا المبدأ فإننا نلاحظ أن الضوء العادي المستعمل في المجهر المركب له موجات طويلة نسبيا لا تستطيع أن تميز التراكيب

الدقيقة التي تقل عن ٠,٣ ميكروميتر مما يحد من قدرتها على التكبير بحيث لا تصل في أفضل الأنواع إلى ما لا يزيد عن ٢٠٠٠ مرة.

وتسمى العدسة الزيتية بهذا الاسم، نظرا لأنها لا تستخدم إلا في وجود نقطة من الزيت، حيث توضع قطرة من زيت السيدر Cider oil على الجسم المفحوص على شريحة ثم يغمس طرف العدسة هذه في الزيت بحيث تصبح قطرة الزيت على اتصال مباشر مع العينة المفحوصة مع العدسة الشيئية في نفس الوقت. وهذا يسمح بدخول كمية أكبر من الضوء إلى العدسة الشيئية. وحيث أن معامل الانكسار الضوئي Reflective index للزيت مشابه تقريبا لمعامل انكسار الزجاج فإن أشعة الضوء عندما تسقط على الشريحة والجسم المفحوص ثم تنفذ منها لكي تدخل إلى العدسة الشيئية، فإن الضوء لا يتشتت بتغير معامل الانكسار حيث يجد قطرة الزيت التي لها نفس معامل الانكسار وبالتالي تسمح لكمية أكبر من الضوء بالدخول إلى العدسة الشيئية (الشكل رقم ٧).



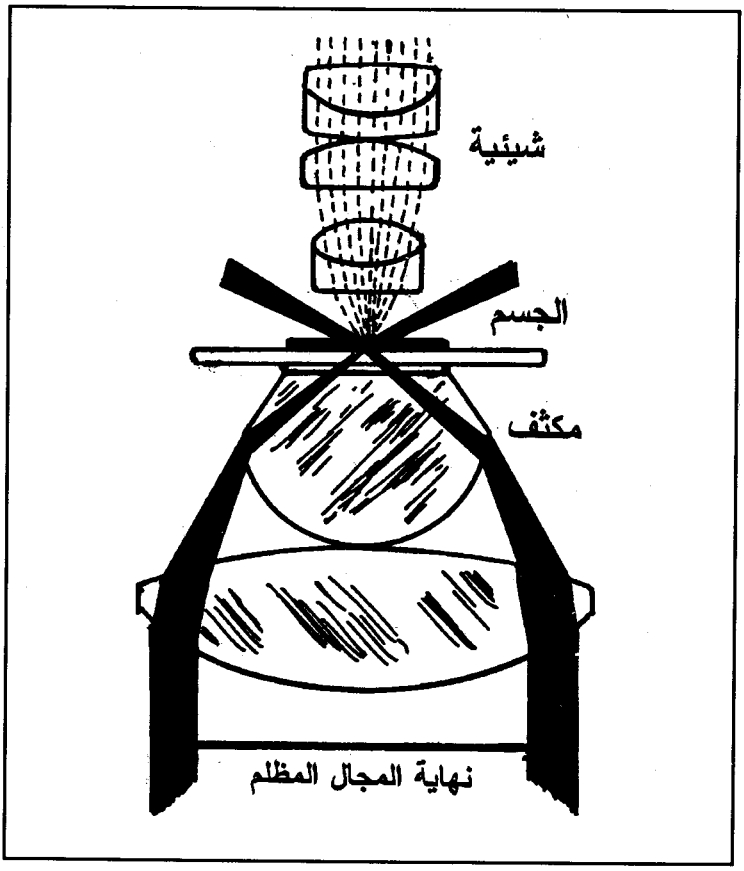
الشكل رقم (٧). تأثير زيت الغمس على مسار الضوء، يلاحظ أن الضوء في النصف الأيمن من الرسم يمر في خط مستقيم ليصل إلى العدسة، أما النصف الأيسر – حيث لا يوجد زيت – فإن الضوء ينكسر بعيدا عن العدسة.

(عن: أبو زنادة ومحمود، ١٩٨٥م)

وفى حالة عدم استخدام الزيت مع العدسة الزيتية فإن جزء أكبر من الضوء بعد سقوطه على الجسم المفحوص وعند نفاذه إلى الهواء فإنه يتشتت نظرا لتغير معامل انكسار الهواء عن معامل الزجاج، وبالتالي يدخل إلى العدسة الشيئية جزء بسيط من الضوء مما يجعل الصورة النهائية غير واضحة وقوة التمييز منخفضة.

مجهر المجال المظلم Dark Field Microscope

يستخدم هذا النوع من المجاهر (الشكل رقم ٨) في دراسة العينات الحية غير المصبوغة، إما لأن الصبغ يؤثر في مكونات العينة ويفقدها وضوحها، أو بغرض دراسة الكائنات في صورتها الحية. ويتركب هذا المجهر من نفس الأجزاء الموجودة في مجهر المجال المضيء باستثناء نوع المكثف، حيث يستبدل المكثف العادي بنوع خاص يسمى مكثف (آبي)، أو (مكثف المجال المظلم Dark field condenser). ويتميز هذا المكثف بأنه لا يسمح لأشعة الضوء بالسقوط على العينة المفحوصة بصورة رأسية - كما هو الحال في المجهر العادي - وإنما يسقط الضوء في صورة مخروط مجوف بزاوية حادة (يدخل من المنطقة المحيطة بالمكثف لأنه مسمط في الوسط). وفى هذه الحالة عندما تسقط الأشعة بهذه الزاوية الحادة على الشريحة فإنها تتشتت ولا يدخل الضوء إلى العدسة الشيئية فيُرى جميع المجال المظلم. وفى حالة وجود عينات (ميكروبات مثلا) على شريحة، فإن اصطدام هذه الأشعة الساقطة بهذه العينات تؤدى إلى انكسار جزء من هذا الضوء، فيتغير مساره ويدخل إلى العدسة الشيئية فتبدوا هذه العينة لامعة ومضيئة وسط المجال المظلم. فعند استعمال هذا المجهر يبدو المجال مظلما، والميكروبات على هيئة نقط لامعة مضيئة في المجال بصورة تشبه رؤية النجوم في السماء في ليلة من الليالي المظلمة. ومن الحالات التي يستخدم فيها هذا المجهر فحص بكتريا *Spirochetes* الدقيقة جدا، والنوع *Treponema pallidum* المسببة لمرض Syphilis.



الشكل رقم (٨). مسار الأشعة الضوئية في مجهر مزود بمكثف الحقل المظلم (مكثف آبي).

(عن: أبو زنادة ومحمود، ١٩٨٥م)

المجهر الفلوريسيني Fluoresence Microscope

يعتمد مبدأ استخدام هذا المجهر على خاصية فيزيائية لبعض المواد التي استخدمت في صناعة صبغات خاصة. فقد وجد أن هناك بعض المواد الفلورسينية Fluorescent substances لها القدرة على امتصاص أشعة الضوء ذات الموجات القصيرة غير المرئية، ثم تطلق أشعة ضوئية ذات موجات أطول ولونا مميزا، وتسمى هذه الظاهرة الظاهرة الفلورسينية Fluorescence.

استخدمت هذه المواد في صناعة بعض الصبغات البكتيرية الخاصة بحيث تصبح العينة المفحوصة بهذه الصبغة، أو أي صبغة أخري، لها هذه الخاصية. ويزود المجهر بمصدر ضوء فوق بنفسجي Ultraviolet، فعندما تسقط أشعة الضوء فوق البنفسجي على العينة المصبوغة بهذه الصبغة تبدو العينة مضيئة بلون فلورسيني مميز Fluorescent وبقية الحقل مظلم. ويستفاد من هذه المجاهر في الكشف عن بعض الميكروبات المرضية الخطيرة مثل ميكروب الدرن *Mycobacterium tuberculosis*، وميكروب الجمرة الخبيثة *Bacillus anthrax*، ففي حالة الاشتباه في وجود ميكروب الدرن في عينة مفحوصة تصبغ العينة بصبغة تسمي Ouromine-O، فيأخذ ميكروب الدرن اللون الأصفر، بينما بقية الحقل يكون مظلم لأن هذا الميكروب ينفرد بخاصة الانصباغ بهذه الصبغة وإعطاء هذا اللون، كما أن ميكروب الجمرة الخبيثة يأخذ اللون الأخضر الفاتح إذا تم صبغه بصبغة فلورسينية أخرى تسمى Fluorescein isothiocyanate (FITC). ومن أهم استخدامات هذا المجهر في المجال الطبي، استخدامه في عمليات التشخيص المعروفة باسم Immunifluorescence أو Fluoresent antibody technique حيث تستخدم هذه الطريقة في تشخيص المسببات المرضية لبعض الأمراض الخطيرة وتعريفها.

مجهر الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Microscope

لقد أشرت في بداية الحديث عن المجاهر إلى أن هناك مبدأ أساسيا يعتمد عليه في صناعة المجاهر، وهو أنه كلما قصر طول موجة الضوء المستعمل لإضاءة الجسم المفحوص، كلما حصلنا على مدى أعلى من التكبير والوضوح، واستنادا إلى هذا المبدأ، فقد قامت فكرة صناعة مجهر الأشعة فوق البنفسجية، وهو مجهر تتكون أجزاؤه الرئيسية من نفس أجزاء المجهر الضوئي العادي باستثناء بعض الاختلافات مثل:

١ - يستعمل فيها أشعة الضوء فوق البنفسجية القصيرة غير المرئية لإضاءة الجسم المفحوص بدلا من أشعة الضوء العادي.

٢ - يستعمل عدسات من الكوارتز بدلا من عدسات الزجاج العادي، لأن الكوارتز لا يمتص الأشعة فوق البنفسجية عكس العدسات الزجاجية.

٣ - نظرا لأن هذه الأشعة غير مرئية فإن المجهر يزود بكاميرا للتصوير الفوتوغرافي تصور العينة، ومن ثم تتم دراستها.

ويستعمل هذا المجهر للحصول على تكبيرات عالية مقارنة بالمجهر العادي، نظرا لقصر طول موجات الضوء المستعمل.

مجهر تباين الأطوار Phase Contrast Microscope

من الملاحظ أن العناصر المكونة للخلية الميكروبية (أو أي خلية أخرى) لا تختلف كثيرا في كثافتها، وبالتالي في درجة امتصاصها للضوء. لذلك فقد كان من الصعوبة بمكان التمييز بين هذه المكونات (غير المصبوغة) باستعمال المجهر الضوئي العادي ولتحقيق هذا الغرض (التمييز بين مكونات الخلية الميكروبية المفحوصة غير المصبوغة) فقد تم تطوير نوع من المجاهر الضوئية يسمى مجهر تباين الأطوار، وهو مجهر ضوئي عادى مزود بمكثف خاص يسمى Phase contrast condenser أو Phase contrast objective ومكبر خاص يعمل على تضخم وزيادة الاختلاف بين معامل انكسار مكونات الخلية، وبالتالي يكون التمييز بين هذه المكونات ممكنا في صورة مناطق مختلفة الإضاءة Brightness والإظلام Darkness.

ويتم ذلك عن طريق تركيز الضوء بواسطة المكثف الخاص على العينة، حيث تخترق أشعة الضوء جسم العينة، وأثناء مروره يتم امتصاص كميات مختلفة منه تبعا لكثافة الأجزاء المختلفة للعينة، ويتحول مسار بقية الأشعة وهذه بدورها يدخل بعضها إما من خلال أو خارج التركيب الخاص المزود به المجهر، والمسمى Ring-like diffraction plate، ومن ثم فإن هذه الاختلافات بين معامل انكسار وامتصاص جزيئات الجسم تنتقل إلى العين في هيئة مناطق مختلفة الإضاءة والإظلام، وبهذه الطريقة يمكن دراسة الكائنات الحية وغير المصبوغة، وتمييز مكونات أجزائها المختلفة بوضوح.

المجهر المتفاوت التداخل Diffraction Interference Microscope (DIM)

ويعتبر هذا المجهر أحد الاستخدامات المتطورة الحديثة للمجهر الضوئي، الذي يستخدم في دراسة الكائنات الحية الدقيقة الشفافة. حيث يستخدم لذلك منشور Prism مصمم خصيصا كي يسمح بانفصال أشعة الضوء ثم اتحادها بصورة محددة، فيترتب على ذلك ظهور العينة بصورة ثلاثية الأبعاد (مجسمة).

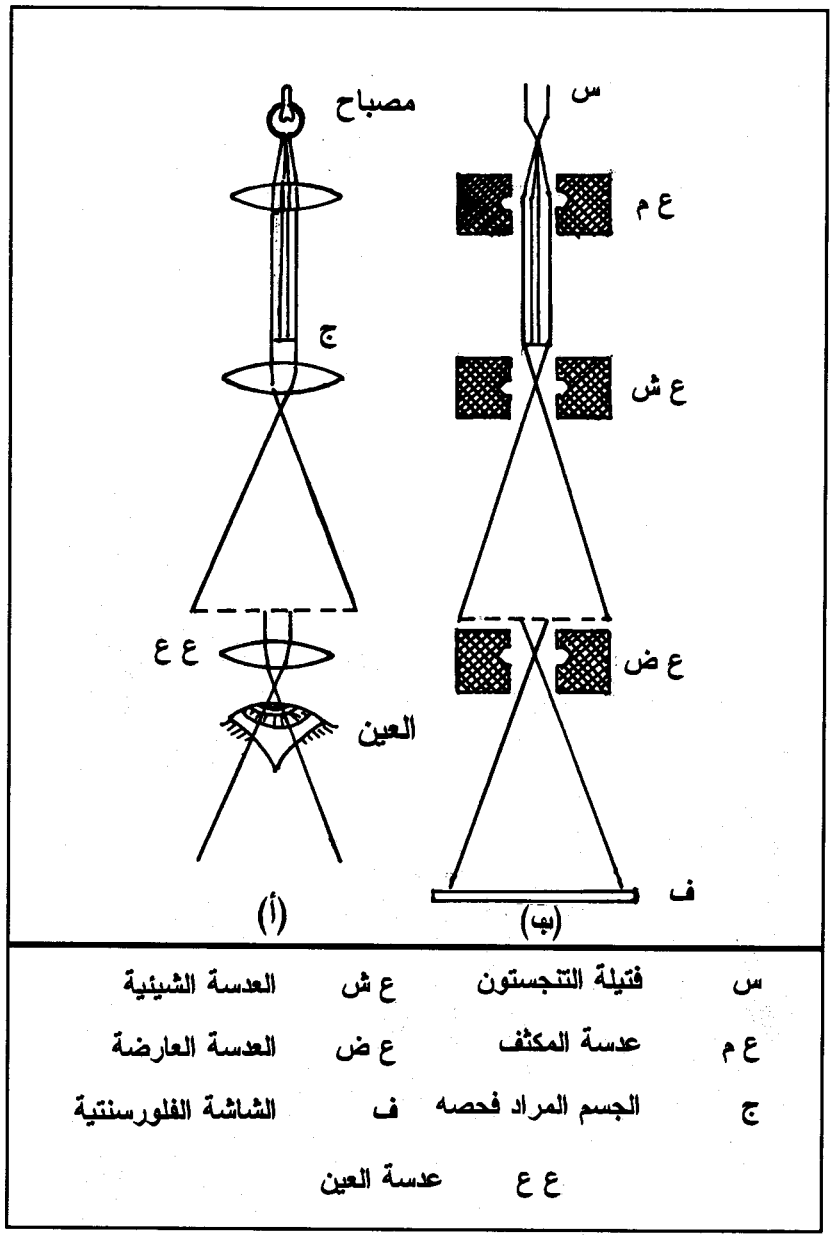
المجهر الإلكتروني Electron Microscope

المجهر الإلكتروني يستخدم للحصول على تفاصيل دقيقة ومفيدة جدا للعينة المفحوصة، مقارنة مع ما هو متاح بالمجهر الضوئي. ويتأتى الحصول على هذه التكبيرات العالية والدقة المتناهية نتيجة لاستعمال موجات إلكترونية ذات أطوال قصيرة جدا، بدلا من موجات الضوء العادي، في إضاءة الجسم المفحوص، مما يعطى قدرا أكبر من قوة التمييز Resolution power (الشكل رقم ٩)، وتتراوح أطوال موجات الإلكترونات المستعملة في هذا المجهر بين ٠,٠٠٥ - ٠,٠٠٠٣نانو متر، مما يعطينا القدرة في الحصول على قوة تمييز تزيد مئات المرات عن ما هو متاح باستعمال المجهر الضوئي حيث يمكن الوصول إلى تكبيرات تزيد عن مليون مرة. إذا قمنا بتكبير الصورة الفوتوغرافية الناتجة عن المجهر الإلكتروني.

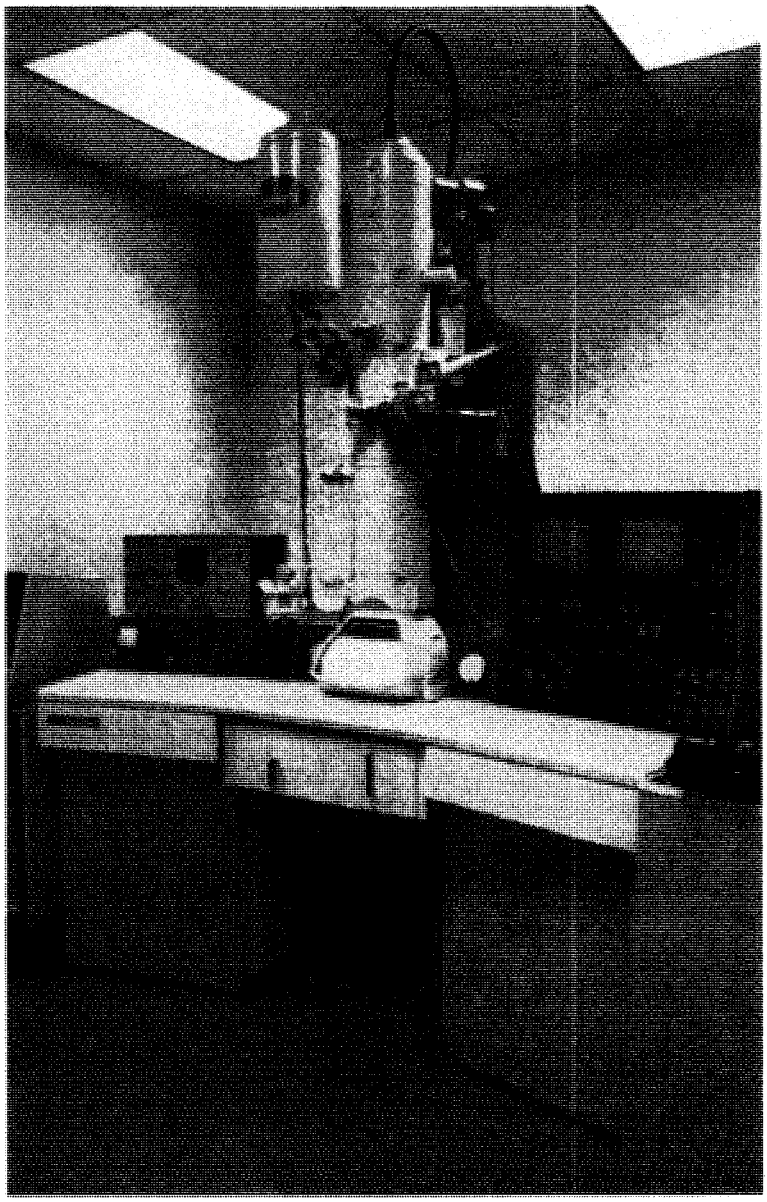
وهناك نوعان من المجاهر الإلكترونية:

أ) المجهر الإلكتروني النفاذ Transmission electron microscope

يستخدم هذا النوع في دراسة التفاصيل الدقيقة الداخلية لمكونات العينة (تم صناعته لأول مرة عام ١٩٣٥م بواسطة سيمينز) وفيه يتم تسليط شعاع إلكتروني على العينة التي تم تحضيرها بصورة خاصة على هيئة قطاع رقيق جدا Ultra thin، ثم يعاد تسليط الضوء مرة أخرى على العينة بواسطة عدسات كهرومغناطيسية Electromagnetic. ويتم عرض الصورة النهائية الناتجة للعينة على شاشة تلفزيونية، أو يتم طبعها على فيلم فوتوغرافي بواسطة كاميرا مركبة داخل المجهر (الشكل رقم ١٠).



الشكل رقم (٩). رسم تخطيطي لمقارنة مسار الضوء في: (أ) المجهر الضوئي، (ب) المجهر الإلكتروني.
(عن: أبو زنادة ومحمود، ١٩٨٥م)



الشكل رقم (١٠). صورة للمجهر الإلكتروني النفاذ **Transmission**. (عن: McKanc and Kandel, 1996)

ونظرا لكون كثافة مكونات العينات المفحوصة في غالب الأمر منخفضة جدا، فإن التباين Contrast يبين ظلال الصور الناتجة لهذه العينات الدقيقة والخلفية تبدو ضعيفة جدا، وبالتالي يصعب التمييز بينهما. غير أنه أمكن زيادة قوة التباين هذه باستعمال صبغات خاصة مصنوعة من أملاح المعادن الثقيلة مثل الرصاص، والأوزوميوم، واليورانيوم. وهذه الصبغات إما أن تصبغ بها العينة نفسها وتسمى في هذه الحالة الصبغة الموجبة Positive stain، أو يتم صبغ الخلفية Background، وتبدو العينة غير مصبوغة وهو ما يسمى الصبغة السالبة Negative stain وتستخدم الطريقة الأخيرة في حالة دراسة العينات المتناهية في الصغر مثل حبيبات الفيروسات أو أسواط البكتريا أو جزيئات البروتين.

ب) المجهر الإلكتروني المساح Scanning electron microscope

تم صناعة أول مجهر إلكتروني مساح عام ١٩٦٠م، ويحتوى هذا النوع على ثلاث عدسات كهرومغناطيسية Electromagnetic lenses، ويستخدم فيه تيار كهربائي ذو ضغط عال جدا يتراوح بين ١٥٠٠ و٢٥٠٠ فولت. وقد تم صناعة هذا النوع للتغلب على بعض الصعوبات الناشئة من استخدام النوع النفاذ الذي لا يمكننا من دراسة السطوح الخارجية للعينات (ذات الأبعاد الثلاثة Three dimensions)، نظرا لأن تحضير العينة يستدعى عمل قطاعات رقيقة جدا في العينة لدراسة طبقاتها المختلفة. وقد أمكن بهذا الجهاز الحصول على تكبيرات تصل إلى ١٠,٠٠٠مرة لصور مجسمة ذات ثلاثة أبعاد توضح التفاصيل الدقيقة للسطوح الخارجية التي لا يمكن الحصول عليها باستخدام المجهر الضوئي أو المجهر الإلكتروني النفاذ. وعند تزويد هذا الجهاز بمحلل للأشعة السينية X-ray analyser، فإنه يمكننا تحليل المعادن أو المواد البيولوجية.

ويتميز هذا النوع بسهولة التشغيل ولا يتطلب إجراء تحضيرات طويلة ومعقدة للعينات المراد فحصها (بعكس الأمر في المجهر النفاذ). لأنه يمكن أحيانا فحص بعض العينات دون تحضير مسبق لها، ولا تتأثر العينات أو مكوناتها عند الفحص. ومن أهم استخداماته دراسة السطوح الخارجية لبلورات الفيروسات، والخلايا الكاملة.

بعض عيوب المجهر الإلكتروني

مع أن النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام المجهر الإلكتروني كانت مهمة جدا، إلا أن هناك عددا من العيوب التي تحد من الاعتماد الكلي على هذا الجهاز بالذات في الدراسات البيولوجية مثل:

١ - يتطلب الأمر إجراء عملية تحضير طويلة ومعقدة للعينات المراد دراستها.

٢ - أثناء عملية التحضير (التثبيت) للبكتريا، فإن التجفيف يؤدى إلى قتل العينة، وبالتالي لا يمكن دراسة الخلايا الحية.

٣ - دراسة العينة في مجال مفرغ من الهواء داخل الجهاز تؤدى إلى إحداث تشويه وتغيير في شكل العينة.

٤ - عملية تفسير وتعليل الصور الناتجة للعينة عملية صعبة وتحتاج إلى شخص متخصص في هذا المجال.

٥ - اصطدام سيل الإلكترونات بالعينة يؤدى أحيانا إلى تمزق الغشاء البلاستيكي المثبتة عليه العينة وبالتالي إلى تمزق العينة وتشويهها.

الصبغات الميكروبية Microbial Stains

إن أغلب دراسات الأحياء الدقيقة - لتحديد أشكالها العامة أو أجزائها المختلفة- تتم على عينات مصبوغة. ويقصد بعملية الصبغ هذه تلوين الكائنات الحية الدقيقة بصبغات خاصة لتحديد أجزائها المختلفة. ويعتبر العالم Gerlach عام ١٨٥٨م، والعالم Weigrt عام ١٨٧٥م من أوائل من استعملوا الصبغة لصبغ البكتريا.

ولكن قبل أن تتم عملية الصبغ، فإنه من الضروري إلصاق أو تثبيت Fixing هذه الكائنات على سطح الشريحة تحاشيا لغسلها وإزالتها من الشريحة أثناء عملية الصبغ. ولتثبيت الأحياء الدقيقة على سطح الشريحة فإننا نقوم بعمل ما يسمى الغشاء Smear وهو فيلم رقيق من المعلق المحتوي على الميكروب، يتم عمله بوضع قطرة من المعلق على الشريحة ومن ثم نقوم بفردها بواسطة إبرة خاصة على مساحة ١سم^{٢} على

سطح الشريحة، ثم نقوم بتثبيت هذا الفيلم بأن نقوم بتمريره ببطء فوق لهب موقد بنزن من على ارتفاع مناسب، ويكون سطح الشريحة الذي عليه الغشاء إلى أعلى. وبهذه الطريقة يقوم اللهب بتجفيف الغشاء وتثبيت الميكروب على سطح الشريحة. توضع بعد ذلك الصبغة المناسبة وفق الهدف أو الجزء المراد دراسته من الكائن الحي الدقيق. وقبل الحديث عن أنواع الصبغات فسوف نتحدث عن تعريف الصبغة وميكانيكية عملها.

تعريف الصبغة Stain

هي مادة ملونة عضوية لها القدرة على الالتحام مع المواد الأخرى معطية لها اللون.

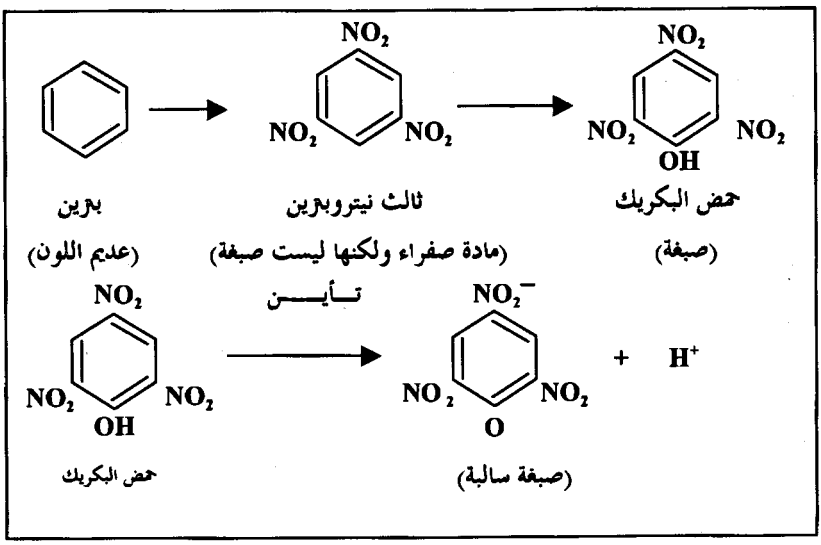
ويلاحظ أنه لكي تصبح المادة العضوية صبغة يجب أن يتوافر لها شرطان أساسيان هما:

١ - توافر ما يسمى حامل اللون، وهو الذي يعطى الصبغة لونها المميز، ويسمى Chromophore .

٢ - توافر العامل الذي يعطى للصبغة القدرة على التأين، والذي يجعلها أكثر نشاطا، ويجعل لها القدرة على الالتحام بالجسم المصبوغ. ويسمى هذا العامل الأكسوكروم Auxochrome .

ولتوضيح ذلك نضرب المثال الآتي:

البنزين مثلا مادة غير ملونه ولكن عندما يحمل ثلاث مجموعات من النيترو فإن المادة الناتجة لدينا هي ثالث نيتروالبنزين، وهى مادة ملونة ذات لون أصفر، ولكنها ليست صبغة لأنها لا تتأين، وبالتالي لا تستطيع أن تكون أملاحا مع الأحماض والقواعد، فإذا استبدلت ذرة هيدروجين بمجموعة هيدروكسيل، فإن المادة الناتجة لدينا صبغة معروفة باسم حمض البكريك، وهذه يمكنها أن تتأين.



ويلاحظ أن جزيئات النيترو الثلاثة $3(NO_2)$ هي حامل الصبغة Chromophore، وجزئ الهيدروكسيل OH هو الاوكسوكروم.

وكما هو واضح فإن شحنة هذه الصبغة سالبة، وتسمى الصبغة الحمضية، لأنها تستطيع أن تكون أملاحا مع القواعد، أما الصبغة التي يصبح أيونها موجب الشحنة عندما تتأين فتسمى صبغة قاعدية، لأنها لا تكون أملاحا مع القواعد.

وتستعمل الأصباغ القاعدية والحمضية في صبغ البكتريا - وإن كان معظم الأصباغ البكترية من القاعدية - لأنها تتفاعل مباشرة مع البكتريا في المحاليل المتعادلة والقاعدية.

وهناك بعض المواد التي تستخدم في عملية الصبغ لزيادة قدرة الأصباغ على صبغ البكتيريا، تسمى مقويات الأصباغ، مثل الأحماض والقواعد والفينول والأنيلين والحرارة التي يمكن اعتبارها مقويا فيزيائيا. وهناك أيضا مواد تضاف إلى الصبغة تعرف باسم مثبتات الأصباغ mordant وهى مواد لها القدرة على الالتحام بالصبغة والمادة المصطبغة، فهي بذلك تزيد الالتحام بين الصابغ والمصبوغ، ومن أمثلة هذه المواد

المثبتة حمض التانيك Tannic acid في عملية صبغ الأسواط البكتيرية، واليود في صبغة جرام.

ميكانيكية الصبغ Staining Mechanism

هناك عدة احتمالات يطرحها العلماء لميكانيكية الصبغ. أحدهما *تفسير فيزيائي* لقدرة الخلية البكتيرية على الاصطباغ بصبغة معينة. وطبقا لهذا التفسير فإن الصبغة تترسب على السطح الخارجي للخلية البكتيرية بفعل قوى فيزيائية مثل قوة الادمصاص Adsorption force، وعليه فإنه طبقا لهذا التفسير لا تتكون لدينا مركبات جديدة في عملية الصبغ. وهناك *تفسير كيميائي* لعملية الصبغ والذي يُفسر العملية باعتبارها عملية تفاعل كيميائي بين الصبغة ومادة الخلية البكتيرية. تنتج عنها مركبات جديدة ذات تركيب محدد، يختلف في صفاته عن تركيب المواد الأصلية الداخلة في التفاعل وصفاتها.

ويتم التفاعل بين الصبغة وبروتين الخلية في الجزء المعرض للصبغ (الجدار). وتعتمد خواص البروتين إلى حد كبير على الأحماض الأمينية التي يتكون منها، وهذه الأحماض تنتمي إلى مجموعة من المواد تسمى المواد المترددة Amphoteric أو Ampholytes، وهذا يعنى أنها يمكن أن تتأين كحمض وقاعدة، تبعا لتركيز أيون الهيدروجين في البيئة.

فحمض الخليك الأميني مثلا Amino acetic acid حين يتأين، فإنه يسلك السلوك الآتي:

$$\begin{array}{l} CH_2.COOH \rightarrow CH_2.COO^- + H^+ \\ | \qquad\qquad\quad | \\ NH_2 \qquad\qquad NH_2 \end{array}$$

ويكون هذا التأين الحمضي في وجود القواعد مثل NaOH، معطيا ملح الحمض الصوديومي وماء. أما في الوسط الحمضي فإن الحمض الأميني يسلك سلوك القواعد، فيتأين كما يلي:

$$\begin{array}{l} CH_2.COOH \\ | \\ NH_2 \end{array} \xrightarrow{HOH} \begin{array}{l} CH_2.COOH \\ | \\ NH_3^+ \end{array} + OH^-$$

من ذلك يتضح أن هذا الحمض الأميني يسلك كقاعدة في الوسط الحمضي، وكحمض في الوسط القاعدي. كما أنه يمكن أن يكون متعادلا، فيسلك سلوكا حمضيا وقاعديا بنفس المقدار في الوسط، ويحدث ذلك عند درجة تركيز هيدروجيني معين، يختلف باختلاف الحمض. ويسمى التركيز الذي يحدث عنده هذا السلوك نقطة التعادل الكهربي Isoelectric point، وهى النقطة التي يكون عندها عدد الشحنات الكهربائية السالبة مساويا لعدد الشحنات الموجبة. ولهذه الصورة أهمية كبرى في صبغ البكتريا، لأن الجزء البروتيني من الخلية المعرض للصبغ يحمل مجموعات حرة من $COOH,\ NH_2$، وهذه المجموعات تسلك السلوك الموضح أعلاه.

وهناك تفسير ظهر فيما بعد لعملية صبغ البكتيريا بحيث ينظر إلى العملية في ضوء ما يسمى كيمياء الغرويات Colloidal chemistry، فالبكتيريا إذا وضعت في مجال كهربائي، فإنها تتجه إلى أحد القطبين تبعا لشحنتها، أو تبعا لمحصلة الفرق بين الشحنات التي تحملها.

فالبكتريا المعلقة في وسط قلوي تكون شحنتها سالبة، فتتجه نحو القطب الموجب والعكس صحيح. ويمكن اعتبار سطح الخلية خليطا من المجموعات القاعدية (الموجبة)، والحمضية (السالبة)، وتسود في الغالب المجموعات الحمضية (السالبة) على سطح خلية البكتريا، وهذا بدوره يؤدي إلى جذب الأيونات القاعدية الموجبة قريبا من سطح البكتيريا. فإذا انتقلت الخلية إلى وسط أيوني جديد فإن تبادلا للأيونات سوف يحدث، وتنتج عن ذلك طبقة أيونية جديدة حتى يمكن حدوث الاتزان الأيوني في الوسط الجديد. وحين يتغير الوسط الأيوني فإن البكتيريا تمتص الأيونات المختلفة، فهي مثلا تمتص أيونات الماغنسيوم حين تعلق في محلول من أملاحه:

$$Mg^{++} + B^{-} \ (\text{بكتريا}) \longrightarrow MgB$$

فإذا نقلت هذه الخلايا أو أضيف إليها أيون موجب فسوف يحدث تنافس بين الأيون الجديد وأيون الماغنسيوم (Stoichiometrical properties)، فإذا كانت المادة المضافة للمعلق البكتيري هي صبغة أزرق المثيلين مثلا (وهى صبغة قاعدية)، فإن أيون هذه الصبغة الموجب الشحنة سوف ينافس أيون الماغنسيوم ويحل محله:

$$(Mg)\ B + MB^{+} \rightarrow BMB + Mg^{++}$$

واستنادا لهذا المبدأ فإنه يتم صبغ البكتيريا بمختلف الصبغات (الشكل رقم ١١).

من ذلك يتضح أن عملية صبغ البكتيريا يمكن تفسيرها كعملية متداخلة باعتبارها تفاعلا كبيرا ومعقدا قد يكون فيزيائيا وكيميائيا في وقت واحد.

وسنتطرق هنا إلى تفاصيل بعض أنواع الصبغات الأكثر استخداما في مجال الدراسات الميكروبية.

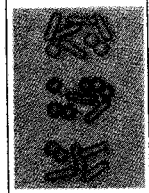
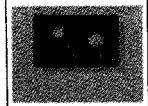
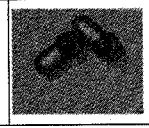
أولا: الصبغ البسيط Simple stain

يقصد بالصبغ البسيط استخدام صبغة واحدة فقط في صبغ الغشاء البكتيري. ويجرى بأن توضع عدة قطرات من الصبغة على الغشاء البكتيري Smear المثبت لمدة عدة دقائق، ثم يتم غسل الصبغة بماء وتجفف الشريحة. ويتم دراستها باستعمال العدسة الزيتية في المجهر الضوئي، وتستخدم الصبغات البسيطة لدراسة وتوضيح الشكل العام لخلايا البكتيريا.

ومن أشهر الصبغات المستعملة فيها صبغة أزرق المثيلين، الصفرانين، الجنسيان البنفسجي، الفوكسين.

ثانيا: الصبغ التفاضلي Differential stain

يقصد بالصبغ التفاضلي استخدام أكثر من صبغة واحدة، وذلك للتمييز بين مجموعات بكتيرية مختلفة، أو للتمييز بين بعض أجزاء ومكونات الخلية البكتيرية نفسها، ومن أشهر الصبغات التفاضلية ما يلي:

اسم الصبغة	مظهر الخلايا المصبوغة		الغرض من الصبغ
صبغات بسيطة أزرق الميثيلين الكرستال البنفسجي كربول الفوكسين	أزرق بنفسجي أحمر		تستخدم الصبغات البسيطة لصبغ العديد من الكائنات الحية الدقيقة . وأكثرها استخداماً فى توقع وجود الميكروبات،فمثلاً،فى البول أو عينات الأنسجة المأخوذة من المريض ، تكون صبغة جرام أفضل لهذا الغرض .
الصبغة السالبة نجروسين	تكون الخلايا غير مصبوغة، وخلفية الحقل مظلمة .		تستخدم صبغة النيجروسين في حالة الرغبة فى قياس حجم الخلية الميكروبية(حيث تمنع حدوث الانكماش الناتج عن تثبيت الشريحة بالحرارة)
صبغة جرام ١. الكريستال البنفسجي ٢. يود ٣. مزيل للون ٤. صبغة عكسية	الخلايا الموجبة لجرام تكون بنفسجية بينما تكون الخلايا السالبة لجرام حمراء اللون .(فى حالة المزارع القديمة تصبُغ الخلايا الموجبة لجرام باللون الأحمر مثلها مثل السالبة) .		تستخدم الصبغة التفريقية كخطوة أولى فى تحديد الخواص المميزة لأى بكتريا .
الصبغة المقاومة للأحماض ١. كربول الفوكسين الساخن ٢. كحول حامضي ٣. أزرق الميثيلين	الخلايا المقاومة للأحماض تصبغ باللون الأحمر،بينما غير المقاومة تصبغ باللون الأزرق .		للمساعدة فى تعريف العصويات المقاومة للأحماض،مثل بكتريا السل وبكتريا الجذام .
صبغة الجراثيم ١. أخضر الملاكيت الساخن ٢. ماء ٣. سفرانين	تصبغ الجراثيم باللون الأخضر،بينما باقي الخلية تصبغ باللون البمبي .		تستخدم كصبغة تفريقية لتحديد وتمييز الجراثيم والتركيبات البكتيرية المقاومة للصبغ بالطرق التقليدية

الشكل رقم (١١). شكل الخلايا البكتيرية المصبوغة بالصبغات المختلفة.

(عن : McKane and Kandel, 1996)

صبغة جرام Gram Stain

إن أول من طور هذه الصبغة واستعملها عام ١٨٨٤م هو العالم الدانمركي Hans Christian Gram. اعتبرت هذه الصبغة فيما بعد من أهم الصبغات البكتيرية، لأنها مكنتنا من تقسيم البكتيريا إلى مجموعتين كبيرتين هي موجبة جرام Gram positive (G+) وسالبة جرام Gram negative (G-)، استنادا إلى اختلاف اللون الذي تأخذه البكتيريا في هذه الصبغة. وفي هذه الطريقة تضاف صبغة الكريستال البنفسجي Crystal violet إلى الغشاء البكتيري بعد تثبيته على الشريحة. وبعد عدة دقائق يتم غسل هذه الصبغة بالماء، ثم تضاف كمية من اليود Iodine (وهي مادة مثبتة للصبغة). وبعد دقيقتين تقريبا يتم سكب اليود من على الشريحة. وعند هذه المرحلة، يلاحظ أن كلتا المجموعتين البكترية السالبة والموجبة لصبغة جرام تبدوان باللون البنفسجي الداكن. الخطوة التالية تتمثل في غسل الشريحة بالكحول الإثيلي أو الأسيتون الإيثيلي Ethanol-acetone وهو مزيل للصبغة، ويلاحظ أن الغسيل بهذه المادة يؤدي إلى إزالة الصبغة من بعض الخلايا البكتيرية الموجودة على الشريحة دون بعضها الآخر. يتم غسل الكحول من الشريحة، ثم تصبغ بصبغة الصفرانين (صبغة حمراء) لعدة دقائق، وتغسل بالماء وتجفف، ثم تفحص بالعدسة الزيتية.

ويلاحظ أن (الصبغة البنفسجية + اليود) تتحد مع الجزء المعرض للصبغ من خلية البكتيريا وتلونه باللون البنفسجي. فالبكتيريا التي تحتفظ بهذا اللون البنفسجي بعد الغسيل بالكحول الإثيلي تسمى موجبة جرام (G+) Gram-positive، والبكتيريا التي تفقد اللون البنفسجي عند غسلها بالكحول الإثيلي تسمى سالبة جرام Gram negative (G-). ونظرا لأن البكتيريا السالبة لصبغة جرام تصبح عديمة اللون عند غسلها بالكحول، فإنه يصعب ملاحظتها بالمجهر، لذلك فإننا نلجأ لصبغها بصبغة أخرى وهي الصفرانين التي تكسبها اللون الأحمر، يطلق على الصبغة الثانية المستخدمة مثل الصفرانين اسم Counter stain. ونظرا لأن البكتيريا الموجبة لجرام تحتفظ

بلونها البنفسجي الداكن الأصلي، فإنها لا تتأثر بالصبغة الثانية (الصفرانين) عند إضافتها.

وتتفاوت استجابة أنواع البكتيريا المختلفة لصبغة جرام، نظرا لاختلاف التركيب الكيميائى لجدار خلايا البكتيريا المعرض للصبغة.

ميكانيكية عمل صبغة جرام

اختلفت التفسيرات والآراء حول سبب اختلاف استجابة خلايا البكتيريا لصبغة جرام، مع أنها أجمعت على أن سبب الاختلاف عائد أساسا إلى اختلاف التركيب الكيميائى لجدار الخلية البكتيرية .

فمثلا يفسر أحد الآراء الاختلاف بأن جدار البكتيريا السالبة يحتوى على نسبة أعلى من الليبيدات Lipids والمواد الدهنية مقارنة بالبكتيريا الموجبة، كما أن جدار البكتيريا السالبة يكون أقل سمكا من الموجبة. فعند معاملة البكتيريا السالبة بالكحول الإيثيلي فإنه يتم استخلاص المواد الدهنية من الجدار، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة نفاذية الجدار، ومن ثم يسهل استخلاص مركب (صبغة الكريستال البنفسجي + اليود) من الجدار. أما في البكتيريا الموجبة فإنه نتيجة انخفاض محتواها من الليبيدات Lipids فإن معاملتها بالكحول الإيثيلي سوف يؤدي إلى سحب محتواها المائي Dehydration، وبالتالي صغر حجم فتحات الجدار وانخفاض نفاذيته، مما يؤدي إلى صعوبة استخلاص معقد (الصبغة + اليود). وهناك رأي آخر يعتبر أن جدار البكتيريا الموجبة تحتوي على طبقات سميكة من مادة Peptidoglycan مقارنة بالبكتيريا السالبة، فعند معاملة البكتيريا بالكحول الإيثيلي يؤدي هذا إلى تمزيق Disrupt الغشاء، وبالتالي دخول معقد (الكريستال البنفسجي + اليود) إلى داخل جدار كل من البكتيريا السالبة والموجبة.

ونظرا لاحتواء البكتيريا الموجبة على كمية أكبر من Peptidoglycan، فإن المعاملة بالكحول تؤدي إلى تضييق الفتحات الموجودة في الجدار، وبالتالي تمنع استخلاص

صبغة (الكريستال البنفسجي + اليود) من الخلية الموجبة. أما في البكتيريا السالبة لصبغة جرام والمحتوية على كمية أقل من Peptidoglycan، فإن فتحات الجدار تظل كبيرة حتى بعد المعاملة بالكحول الإيثيلي، مما يؤدي بدوره إلى استخلاص الصبغة بسهولة منها.

ومن الآراء الحديثة التي طرحت في هذا المجال هو الربط بين سلوك البكتيريا تجاه صبغة جرام، وبين وجود مركبات كيميائية معقدة في جدار البكتيريا الموجبة، ويرجح احتواء جدار البكتيريا الموجبة على مادة معقدة من الماغنسيوم + الحمض النووي RNA بكميات كبيرة.

ويجب أن نلاحظ أن جميع هذه التفسيرات وغيرها لا يزال موضع جدل، وليس هناك إجماع حول التفسير الأكثر مطابقة للحقيقة، وإن كان هناك احتمال كبير أن يكون الموضوع متعلقا باختلاف تركيب الجدار، وبالتالي فإنه يحتمل أن تساهم جميع هذه التفسيرات بطريقة وبأخرى في شرح السبب المسؤول عن اختلاف استجابة البكتيريا لصبغة جرام.

ويلاحظ أن البكتيريا السالبة لصبغة جرام أكثر ثباتا في تفاعلها الصبغي مقارنة بالموجبة، فهي دائما وتحت جميع الظروف تأخذ الصبغة السالبة لجرام - بعكس البكتيريا الموجبة التي تتحول إلى بكتيريا سالبة بعد موتها وعند تقدمها في السن، وربما كان ذلك عائدا إلى تحليل بعض المركبات التي كانت موجودة أصلا في الجدار والمسؤولة عن الاختلاف في الاستجابة لصبغة جرام واختفائها.

وتعتبر صبغة جرام من أهم الاختبارات المختبرية المستعملة وبالذات في المجال الطبي لتحديد المسبب المرضي بصورة دقيقة، وبالتالي نوع العلاج، نظرا لأن الاختلاف في اللون بين البكتيريا السالبة والموجبة ما هو إلا انعكاس لاختلافات عديدة في الصفات الفسيولوجية والبيولوجية والتركيبية، والاستجابة لمختلف وسائل العلاج. ويوضح الجدول رقم (٣) بعض هذه الاختلافات.

الجدول رقم (٣). مقارنة بعض صفات البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام وخصائصها.

الصفات	الاختلافات النسبية	
	الموجبة	السالبة
سمك الجدار الخلوي	سميك (١٥-٨٠ نانوميتر) يشكل طبقة واحدة (monolayer).	رقيق (١٠-١٥ نانوميتر) مكون من ثلاث طبقات (multilayers).
مكونات الجدار الخلوي	* نسبة الليبيدات: منخفضة (١-٤٪)	* نسبة الليبيدات: مرتفعة (١١-٢٢٪)
	* الببتيدوجليكان: يوجد في شكل طبقة واحدة فقط، ويشكل نسبة عالية تصل إلى ٥٠٪ من الوزن الجاف في بعض أنواع البكتريا.	* الببتيدوجليكان: محصور في طبقة داخلية ويشكل فقط ١٠٪ من الوزن الجاف.
	*حمض التشيوك Teichoic acid يوجد	*حمض التشيوك Teichoic acid لا يوجد.
لون البكتريا المصبوغة	بنفسجي	أحمر
نسبة DNA: RNA	١:٨	١:١
مقاومة الجدار لإنزيم اللايسوزيم	عالية المقاومة	أقل مقاومة
الاستجابة للمضادات الحيوية:		
١ - البنسلين		
٢ - الستربتومايسين	حساس	أقل حساسية
٣ - التتراسيكيلين	حساس	أقل حساسية
٤ - لسلفوناميد	حساس	أقل حساسية
	حساس	أقل حساسية
التأثر بالصبغات	تثبط نموها بدرجة واضحة	تثبط نموها بدرجة أقل وضوحا
الاحتياجات الغذائية	أكثر تعقيدا	أقل تعقيدا
مقاومة الضغط الفيزيائي	أكثر مقاومة	أقل مقاومة

صبغة الصمود للأحماض Acid-Fast Stain

(Ziehl-Neelsen Method for Staining Acid-fast Bacteria)

وهي إحدى الصبغات التفاضلية الهامة، والتي تستعمل للتمييز بين مجموعتين متباينتين من البكتيريا. ويستفاد منها في المجال الطبي للتعرف على الأنواع البكتيرية التابعة للجنس *Mycobacterium*، الجنس *Nocardia*، والتي تضم بعض الأنواع المرضية الخطيرة مثل *M. tuberculosis*، *M. leprae*، ويتم الصبغ وفق الخطوات التالية:

- توضع صبغة كربول الفوكسين Carbol fuchsin على الغشاء البكتيري وتمرر فوق اللهب على مسافة بعيدة لعدة دقائق (بعناية فائقة حتى لا تجف).
- يتم غسل الصبغة بالماء من الشريحة بواسطة تيار خفيف، وتبدو البكتيريا بعد هذه الخطوة مصبوغة باللون الأحمر.
- يضاف الكحول الحمضي Acid-Alcohol (وهو أحد المزيلات اللونية) إلى الشريحة المصبوغة فتتم إزالة اللون من الخلايا البكتيرية غير الصامدة للأحماض Non-acid fast.
- تضاف بعد ذلك صبغة أزرق المثيلين Methylene blue لعدة دقائق.

في هذه الحالة تكون البكتيريا الصامدة للأحماض مصبوغة باللون الأحمر (صبغة كربول الفوكسين)، وبالتالي فإنها لا تصبغ بصبغة أزرق المثلين المضافة Counterstain وتظل كما هي حمراء - بينما تأخذ البكتيريا غير الصامدة للأحماض لون أزرق الميثلين (اللون الأزرق)، نظرا لأن الكحول الحمضي يكون قد أزال منها صبغة كربول الفوكسين. ويرجح العلماء أن يكون السبب في احتفاظ البكتيريا الصامدة للأحماض بصبغة كربول الفوكسين هو احتواء جدارها وغشائها الخلوي على نسبة عالية من المواد الشمعية، والتي تتميز بقدرة عالية على الاحتفاظ والاصطباغ بصبغة كربول الفوكسين.

الصبغة السالبة للكبسولة Capsule Negative Stain

هناك العديد من الكائنات الحية الدقيقة تحيط بها من الخارج طبقة جيلاتينية تسمى الكبسولة Capsule. وتعتبر هذه الكبسولة ذات أهمية قصوى بالنسبة للعاملين في مختبرات الميكروبيولوجي الطبية، نظرا لأن إثبات وجودها يعتبر إحدى الطرق المتبعة لتعريف البكتيريا، وبالتالي تحديد قدرتها المرضية Pathogenicity. ولإثبات وجود الكبسولة فإن الجدار البكتيري يُخلط بمحلول محتو على جزيئات غروية ملونة مثل الحبر الهندي الأسود Indian ink، ثم تصبغ بصبغة بسيطة مثل أزرق الميثلين. ويلاحظ في هذه الحالة أنه نظرا للطبيعة الكيميائية للكبسولة، فإنها لا تكتسب لون أي من الصبغات، فتبدو الهالة لامعة غير ملونة تحيط بالخلية المصبوغة بأزرق الميثلين، بينما يبدو جميع المجال المحيط بها باللون الأسود، وهو لون الحبر الهندي. ولذلك تسمى هذه الصبغة بالصبغة السالبة Negative stain، نظرا لأنها تصبغ الوسط المحيط بالخلية.

صبغة الجراثيم Endospores Stain

الجراثيم في البكتيريا هي تكوينات داخلية تكونها خلايا بعض الأجناس تحت ظروف معينة، تكون لها صفات وقدرات مميزة عن الخلايا الخضرية، نظرا لاختلاف تركيبها الكيميائي. ومن أهم خصائصها أن لها جدارا غير منفذ للسوائل أو الصبغات، مما يجعل من الصعوبة بمكان صبغها بالطرق العادية المتبعة في الخلايا الخضرية. لذلك فإننا نلجأ لطرق خاصة في صبغها، ومن أشهر الصبغات المستعملة لصبغ الجراثيم الصبغة المعروفة باسم Schaeffer-Fulton endospore stain. وتتكون من صبغة أخضر الملاكيت التي تضاف إلى الغشاء البكتيري المثبت ويتم تسخينها على اللهب بعناية فائقة لمدة خمس دقائق حتى تغلي الصبغة ويُتفادى جفافها، بحيث تضاف كمية كافية من الصبغة (دور الحرارة هنا أنها تساعد الصبغة على النفاذ من خلال جدار الجرثومة). يتم غسل الصبغة بتيار مائي لمدة ٢/١ دقيقة، بحيث يتم في هذه الحالة إزالة الصبغة من جميع أجزاء الخلية عدا الجرثومة. تضاف بعد ذلك صبغة الصفرانين إلى الغشاء

البكتيري لمدة دقيقة واحدة، ثم تغسل بماء وتجفف بورق نشاف، ثم تفحص الشريحة بالمجهر، حينئذ تبدو الجراثيم مصبوغة باللون الأخضر (صبغة أخضر الملاكيت)، وبقية الخلية الخضرية (الحافظة الجرثومية) باللون الأحمر (لون الصفرانين).

صبغة الأسواط Flagella Stain

أسواط البكتيريا هي تكوينات دقيقة جدا تستعمل كوسيلة للحركة في أغلب أنواع البكتيريا، وهذه الأسواط تبلغ حدا من الدقة وصغر الحجم لا يمكن معه رؤيتها بوضوح إذا صُبغت بالطرق العادية وفُحصت بالمجهر الضوئي، لذلك فإنه يتم اللجوء إلى طرق خاصة في صبغ الأسواط البكتيرية منها ترسيب الصبغات على السطح الخارجي للسوط لزيادة حجمه، حتى يدخل في حيز التمييز بالمجهر الضوئي، كما تستعمل طريقة أخرى تعتمد على زيادة قدرة السوط على الاصطباغ دون زيادة ملحوظة في الحجم، وقد تستعمل الطريقتان معا. وأساس صبغ الأسواط هو معاملتها أولا بمثبت صبغة Mordant مثل حمض التانيك Tannic acid، ويعتمد نجاح الصبغة على الحالة الغروية للمثبت، وعلى الدقة والنظافة في العمل. ذلك أن الأسواط سهلة التهشم، وإذا ما تهشمت، فإنه يصعب تمييزها عن البقايا العضوية للخلايا التي يمكن أن تتفاعل مع المثبت، وتأخذ لون الصبغة، وبالتالي تضلل الفاحص. ويستعمل أحيانا بعض مركبات الفضة لترسيبها على الأسواط لزيادة حجمها بدلا من الصبغات.

صبغة الحبيبات Granules Stain

حبيبات البكتيريا هي أجسام تبدو أكثر اصطباغا في التحضيرات البكتيرية المصبوغة بالطرق العادية. وهذه الحبيبات، إذا كان لونها مختلفا عن لون الخلية المصبوغة، تسمى حبيبات الميتاكروماتين Metachromatine. وهناك حبيبات دهنية يسود لونها إذا عوملت بحمض البنزويك، كما أنها تأخذ الأصباغ التي تذوب في الدهون مثل صبغة سودان-٣ (Sudan-3)، بينما لا يصبغ جسم الخلية نفسه بهذه الصبغة.

وهناك أيضا حبيبات الجلايكوجين (حبيبات كربوهيدراتية مخزونة) تأخذ اللون الأحمر أو البني المحمر مع اليود، وكذلك حبيبات الجرانيولوز Granulose ويمكن اعتبارها نشا بكتيريا تأخذ اللون الأزرق مع اليود. وحبيبات الفوليوتين Volutine وهي مخزن نيتروجيني يصطبغ بشدة بالأصباغ القاعدية، ويعتقد أن السبب في صبغ حبيبات الفوليوتين هو احتواؤها على الميتافوسفات التي تستحث بلمرة الصبغة، فينتج عن ذلك تغير لوني عن الخلية، وهو ما يسمى الخاصية الميتاكروماتينية.

الوسائل المستخدمة في تنمية الكائنات الحية الدقيقة وزراعتها

Methods Used for Growing and Culturing Microorganisms

من المعروف أن الكائنات الحية الدقيقة التي تستوطن هذه البيئة التي نعيش فيها، على درجة كبيرة من التعقيد من حيث اختلاف أنواعها إضافة إلى أعدادها الهائلة، إذ يقدر عدد أنواع الميكروبات التي تستوطن مختلف أجزاء جسم الإنسان مثل سطح الجلد، الفم، الأمعاء... إلخ بعدة مئات. وينتشر كل نوع من هذه الأنواع بأعداد كبيرة جدا تصل للآلاف. فعلى سبيل المثال عندما يعطس الفرد منا، فإنه يطلق مع الرذاذ المتطاير بضعة آلاف من الخلايا البكتيرية كما أن جراما واحدا من الفضلات الآدمية (البراز) يحتوي على مئات الآلاف من خلايا البكتريا. وبخلاف جسم الإنسان فإن مكونات البيئة التي نعيش فيها مثل الماء، والهواء، والتربة تعج بأعداد هائلة جدا من مختلف أنواع هذه الميكروبات.

ولدراسة هذه الكائنات الحية الدقيقة دراسة وافية في بيئاتها الطبيعية كان من الضروري أن تتوافر لدينا تقنية (طرق) خاصة تمكننا من تصنيف وعزل وتنمية مختلف هذه الأنواع. وتتم زراعة هذه الكائنات الدقيقة في المعمل على مواد مغذية تسمى بيئات مغذية Culture media، وتختلف أنواع هذه البيئات المغذية تبعا لمكوناتها من العناصر، وفي المقابل تتفاوت قدرة الأحياء الدقيقة في النمو على هذه البيئات، فهناك بعض الأنواع تستطيع النمو على جميع البيئات المغذية بدون استثناء، بعكس أنواع أخرى لا

يمكن تنميتها إطلاقا على أي بيئة مغذية في المعمل باستثناء البيئات الحية. وهذه ما يطلق عليها الكائنات إجبارية التطفل، وبين هذه وتلك توجد أنواع عديدة تتطلب بيئات مغذية ذات مواصفات ومتطلبات غذائية خاصة.

وبصفة عامة فإن أي بيئة مغذية لتنمية الكائنات الحية الدقيقة يجب أن تتوافر فيها صفات محددة، مثل جميع العناصر الضرورية لنمو هذا الكائن المراد تنميته، ونسبة رطوبة كافية، ودرجة حموضة pH ملائمة، ومن ثم التحضين على درجة الحرارة المناسبة لنمو هذا الكائن.

وهناك عديد من البيئات المغذية الموجودة بصورة تجارية في عبوات جاهزة ومحتوية على العناصر الأساسية لنمو الكائنات الدقيقة، بحيث نحتاج فقط إلى إضافة الماء لها بنسبة خاصة، ثم تعقيمها، ومن ثم استعمالها لتنمية الأحياء الدقيقة وعزلها.

وإذا رغبنا في تنمية الميكروبات على بيئات مغذية حية فإننا نضيف لها مادة الآجار Agar، وهي أحد السكريات العديدة المعقدة يتم استخلاصه من بعض الطحالب المائية، ويتمتع الآجار بعدد من المواصفات، التي تجعل منه مادة مناسبة وذات أهمية قصوى في مختبرات الميكروبيولوجي، منها عدم قدرة أغلب الكائنات الحية الدقيقة على تحليل هذه المادة، وبالتالي فإنها تظل صلبة دائما، كما أن درجة انصهار الآجار تقريبا هي نفس درجة غليان الماء ١٠٠°م ثم يظل في صورته السائلة حتى درجة ٤٠°م. لذا فإننا بعد إذابته نحفظه في حمام مائي في المعمل على درجة ٥٠°م حتى يتم تلقيحه بالميكروب المرغوب تنميته، وهذه درجة مناسبة لا تؤثر كثيرا في الميكروب.

وتقسم البيئات المغذية حسب قوامها إلى:

١ - بيئات مغذية سائلة - مثل المرق المغذي Nutrient broth - وتنمى فيه غالبا المزارع النقية.

٢ - بيئات مغذية صلبة Solid media، وهذه يتم تصليبها بإضافة مادة الآجار لها، وتستخدم لعزل المزارع النقية وزراعتها.

٣ - بيئات مغذية شبه صلبة.

(وسيتم الحديث عن أنواع البيئات والنظريات الغذائية في فصل مستقل).

المزارع النقية والمختلطة Mixed & Pure Cultures

يطلق على المزارع البكتيرية المحتوية على أكثر من نوع واحد من البكتريا اسم المزارع المختلطة Mixed culture. وعند تنمية هذه المزارع المختلطة على بيئة صلبة فإننا نلاحظ على سطح البيئة أنواعا مختلفة من المستعمرات من حيث اللون والقوام والحواف، ... إلخ. وعند الحاجة لدراسة نوع محدد من هذه الأنواع المختلطة، فإننا نلجأ لأخذ لمسة بسيطة من هذه المستعمرة المراد دراستها بواسطة إبرة خاصة معقمة، ومن ثم تخطيط سطح طبق بتري يحتوي على بيئة الآجار المغذي بحيث تنفصل بعض الخلايا بصورة مستقلة، وعند تحضينها على درجة الحرارة المناسبة، فإن كل خلية منها سوف تتكاثر ويزداد عددها، مكونة مستعمرات متجانسة، وهذه يطلق عليها اسم المزارع النقية Pure culture.

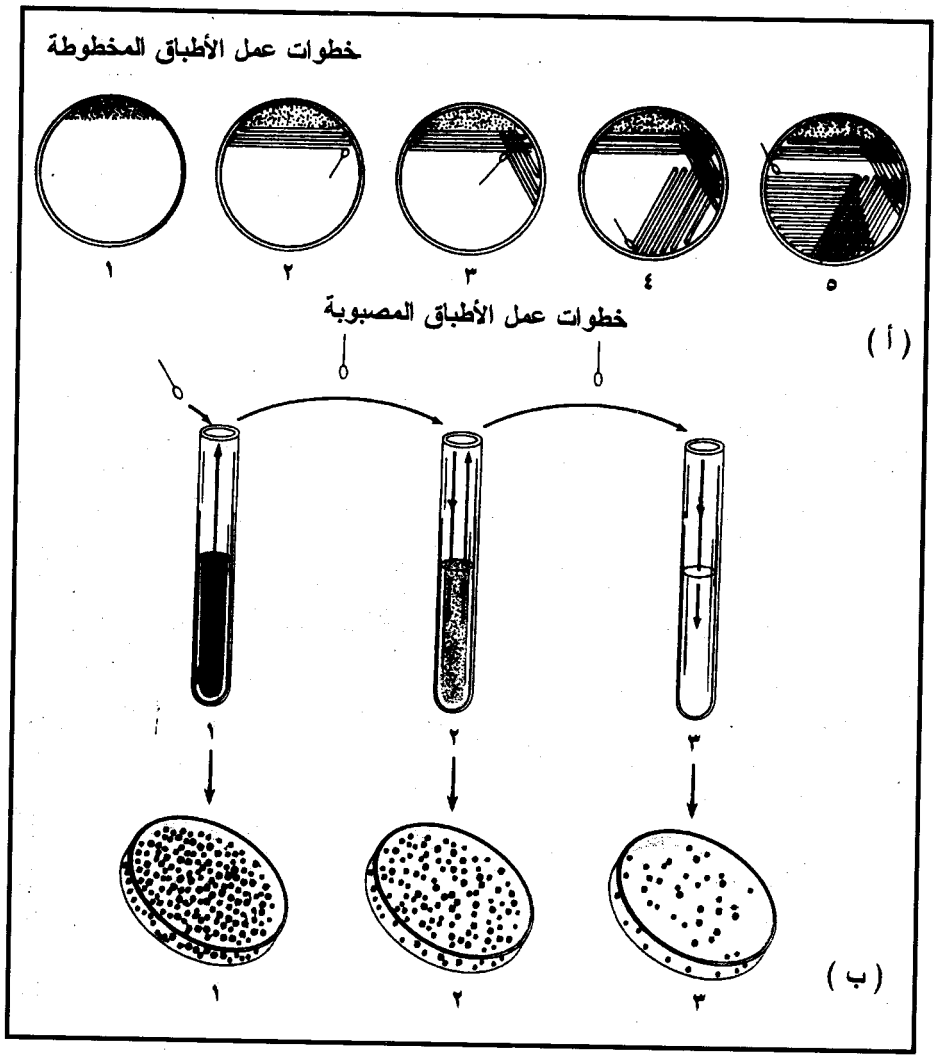
عزل المزارع النقية Isolated of Pure Cultures

هناك عدة طرق تستعمل في مختبرات الميكروبيولوجي لعزل المزارع النقية وتنميتها (الشكل رقم ١٢) منها:

١ - طريقة الأطباق المصبوبة Pour plate method

وفيها يتم عمل تخفيفات من المعلق البكتيري المراد دراسته، ثم تؤخذ كمية صغيرة مناسبة من هذا المعلق المخفف، ويتم خلطها مع بيئة الآجار المغذى المذابة، والتي تكون في الغالب على درجة حوالي ٤٥°م، ويتم صب بيئة الآجار بعد خلطه بمعلق البكتريا في أطباق بتري، وتترك لكي تبرد وتتصلب البيئة فيها، ثم تحضن على درجة الحرارة المناسبة، وبعد حوالي ٤٨ ساعة يتم دراسة الأطباق. حينئذ يلاحظ أن الخلايا البكتيرية المفردة تنشأ عن كل منها مستعمرة مستقلة على سطح الطبق أو داخل الآجار. نقوم بتحديد المستعمرة المراد دراستها وعزلها بصورة نقية، وذلك بأخذ لمسه منها بواسطة إبرة خاصة معقمة. وتنقل إلى بيئة جديدة معقمة إما على طبق بتري أو

أنابيب اختبار. وبعد التحضين نحصل على مزرعة نقية مكونة من نوع واحد فقط من البكتريا.



الشكل رقم (١٢). أ) طريقة الأطباق المخطوطة لعزل البكتريا. ب) طريقة الأطباق المصبوبة لعزل البكتريا.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

٢ – طريقة الأطباق المنشورة Spread plate method

في هذه الطريقة يتم إضافة كمية من معلق البكتريا السائل على سطح بعض الآجار المتصلب في طبق بتري، ثم يستخدم قضيب زجاجي منحن (معقم) في فرد (نشر) البكتريا على سطح الآجار ثم يتم تحضينها، وبعد نمو المستعمرات نعزل النوع المراد دراسته بصورة نقية.

٣ – طريقة الأطباق المخطوطة Streak plate method

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعا في المختبرات. وفيها تغمس إبرة تلقيح معقمة في وسط مزرعة مختلطة ثم تمرر الإبرة على سطح الآجار المغذي المتصلب في طبق بتري في صورة خطوط مستقيمة أو متعرجة، وأثناء رسم هذه الخطوط على سطح البيئة تلتصق خلايا البكتريا المنوعة بسطح الآجار، وكلما استمر التخطيط على السطح، انخفض عدد الخلايا المنفصلة، أي أنها تصبح متباعدة بعضها عن بعض بحيث تنشأ عن كل منها بعد تحضينها مستعمرة منفصلة يمكن تمييز مواضعها، وبالتالي تُعزل منها مزرعة نقية على بيئة جديدة.

الاحتياجات الغذائية للأحياء الدقيقة Nutritional Requirements

تشترك جميع الكائنات الحية – بما فيها الأحياء الدقيقة – في احتياجات غذائية متشابهة تتمثل في العناصر الكيميائية الضرورية لنمو هذه الكائنات وقيامها بفعالياتها الحيوية المعتادة. وتوضح النقاط التالية أوجه التشابه والاختلاف في هذه الاحتياجات الغذائية.

١– تحتاج جميع الكائنات الحية لمصدر للطاقة يساعدها على القيام بفعالياتها المختلفة، وتحصل بعض الكائنات الحية (مثل النباتات الخضراء) على هذه الطاقة باستغلال الأشعة الضوئية، ويطلق عليها اسم Phototrophs. بينما تحصل كائنات أخرى على طاقتها (مثل الحيوانات) بواسطة أكسدة بعض المركبات الكيميائية داخليا، ويطلق على هذه المجموعة اسم Chemotrophs. وتقسم جميع الكائنات الحية الموجودة

في الطبيعة بين هاتين المجموعتين، فهي أما أن تكون Phototrophs أو Chemotrophs وتتمثل كلتا الصورتين المذكورتين في عالم البكتيريا، فهناك بكتيريا تحصل على طاقتها عن طريق الضوء، وأخرى بأكسدة المواد الكيميائية داخليا.

٢ - تحتاج جميع الكائنات الحية لعنصر الكربون في صورة أو أخرى، وتحتاج الكائنات الحية ولو لكميات بسيطة في صورة ثاني أكسيد الكربون CO_2. إضافة إلى ذلك فإن أغلب الكائنات تحتاج إلى كميات من الكربون في صورته العضوية مثل السكريات أو الكربوهيدرات. فالنباتات تستقبل ثاني أكسيد الكربون وتحوله بواسطة عملية البناء الضوئي إلى كربوهيدرات. وكثير من أنواع البكتريا تحتاج إلى الكربون فقط في صورة غازية CO_2. ومن منظور غذائي، فإن جميع هذه الكائنات تسمى ذاتية التغذية Autotrophs، فإذا كانت هذه الكائنات تحصل على طاقتها من الأشعة الضوئية، فإنها تسمى Photoautotrophs، أما إذا كانت تحصل على طاقتها عن طريق أكسدة المواد الكيميائية فإنه يطلق عليها Chemoautotrophs. في المقابل هناك أنواع من البكتريا تشبه الحيوانات من الناحية الغذائية فهي لا تستطيع استغلال الكربون في صورته الغازية حيث تعتمد على كائنات ذاتية التغذية Autotrophs في إنتاج المواد الكربوهيدراتية، ومن ثم تستخدمها كغذاء. وتسمى الكائنات الحية الدقيقة التي تعتمد على المواد العضوية كمصدر للكربون باسم غير ذاتية التغذية Heterotrophs.

٣ - جميع الكائنات الحية تحتاج إلى النتروجين، فالنبات يستطيع أن يستغل النتروجين في صورة أملاح غير عضوية مثل نترات البوتاسيوم KNO_3، بينما تستعمل الحيوانات الصورة العضوية من النتروجين في صورة بروتينات أو نواتج تحليلها مثل البيبتيدات والأحماض الأمينية.

أما البكتريا فإنها تسلك سلوكا فيه كثير من التفاوت، فبعضها يستطيع أن يستغل النتروجين الجوي، والبعض الآخر يستطيع أن يعيش على المركبات النتروجينية غير العضوية في الوقت الذي لا يستطيع بعضها الآخر أن يعيش إلا على المصادر العضوية للنتروجين.

٤ - تحتاج جميع الكائنات الحية إلى عنصري الكبريت والفوسفور، وتحصل الحيوانات بصفة عامة على الكبريت من صوره العضوية، بينما تحصل النباتات عليه في صورة مركبات غير عضوية. أما البكتيريا فإنها تتفاوت في قدرتها على الاستفادة من هذا العنصر، فبعضها يستطيع استغلال العنصر في صورة عضوية، وبعضها الآخر في صورة غير عضوية. بينما تستطيع بعض أنواع البكتيريا استغلال الكبريت في صورة عنصر الكبريت المعدني. أما الفوسفور فإنه يمكن استغلاله من قبل أغلب الكائنات في صورة فوسفات مثل أملاح حمض الفوسفوريك.

٥ - تحتاج جميع الكائنات الحية - بما فيها البكتيريا - إلى عديد من العناصر المعدنية مثل صوديوم، بوتاسيوم، كالسيوم، ماغنسيوم، منجنيز، حديد، زنك، نحاس، كوبالت لضمان مستوى طبيعي من النمو. وتقدر الكميات التي تحتاجها الكائنات من هذه العناصر بأجزاء في المليون Part per million (PPM). أي إنها متناهية في الصغر مع أنها ضرورية، ولا يمكن الاستغناء عنها.

٦ - تحتوي جميع الكائنات الحية على الفيتامينات (مركبات عضوية ضرورية للنمو)، وتؤدي أغلب الفيتامينات دورا هاما في تكوين مواد تعمل على تنشيط عمل الإنزيمات، والتي تساعد بدورها في عمليات التحول الكيميائي داخل جسم الكائن. ويستلزم إضافة هذه الفيتامينات إلى غذاء الكائنات الحيوانية والإنسان نظرا لعدم قدرتها على تخليق هذه المواد داخل جسمها. ويختلف الحال بالنسبة للبكتيريا، فمع أن هذه المركبات تعتبر ضرورية جدا لنمو البكتيريا، فإن بعض أنواع البكتيريا لها القدرة على تصنيعها داخل جسمها من بعض المواد الأولية الموجودة في غذائها. وبعضها الآخر يفتقر لهذه القدرة، لذلك فإنه يستلزم الأمر إضافتها إلى بيئته الغذائية.

٧ - تحتاج جميع الكائنات الحية لكمية من الماء للقيام بعمليات الأيض المختلفة داخل الجسم، وبالنسبة للبكتريا فإن جميع عناصرها الغذائية لا يمكن أن تدخل إلى داخل جسمها إلا في صورة محاليل مائية تمر خلال الغشاء السيتوبلازمي.

تحضير البيئات المغذية Preparation of Cultures Media

هناك بيئات يطلق عليها اسم البيئات الطبيعية Natural media مثل الحليب المنزوع الدهن Skim-milk، وهذه لا تحتاج إلى أي تجهيز مسبق، كل ما تحتاجه هو وضعها في الإناء المناسب (أنابيب اختبار) أو ما شابه ذلك، ومن ثم تعقيمها قبل الاستخدام. أما البيئات المحتوية على المرق المغذي أو الآجار، فهذه يتم تحضيرها بإذابة كل عنصر من عناصرها على حدة ومن ثم مزجها سويا، أو كما هو حاصل الآن في حاله وجود البيئات المجهزة تجهيزا تاما على صورة مسحوق يباع تجاريا، ويحتوي على كل المتطلبات من العناصر الغذائية، ويتم إذابة هذا المسحوق في الكمية المناسبة من الماء المعقم، ومن ثم توضع في أطباق بتري أو أنابيب اختبار، أو زجاجات حسب الغرض من الاستعمال ونوع البيئة.

ويتم تحضير البيئات وفق الخطوات التالية:

١ - يتم إذابة العناصر أو مسحوق البيئة في الكمية المناسبة من الماء المقطر.

٢ - يتم ضبط درجه الحموضة للبيئة pH، إما بإضافة محلول قلوي، أو حمضي، إلي البيئة، حتى تصل الحموضة إلى الدرجة المناسبة لنوع البكتريا أو الفطر المراد تنميته. ويتم قياس الحموضة إما بجهاز قياس الحموضة pH meter، أو ببعض الدلائل الخاصة.

٣ - يتم توزيع البيئة من الآنية المناسبة (أنابيب، أطباق، زجاجات)، ويتم إقفال فوهاتها إما بقطعة من القطن أو أغطية معدنية أو بلاستيكية.

٤ - يتم تعقيم هذه البيئة بعد وضعها في الآنية باستخدام الأوتوكلاف (حرارة+ ضغط).

المزارع المدعمة Enrichment Cultures

نظرا لأن بعض الأنواع البكتيرية تنتشر بأعداد قليلة جدا فإنه يصعب عزلها وتنميتها بإحدى الطرق المذكورة أعلاه، ولأن بعض الأنواع تكون ذات مواصفات

فسيولوجية خاصة، ومتطلبات غذائية محددة، فإنها لا تنمو بسهولة مع بعض الأنواع الموجودة، ولذلك فقد كان من الضروري اللجوء إلى تركيب بيئات خاصة لكي تنمى عليها وهذه المزارع تسمى Enrichment culture .

وتكون هذه البيئات المغذية سائلة ومحتوية على عناصر غذائية ومواصفات بيئية خاصة، تناسب نمو نوع معين من الميكروبات دون غيره، ولا تنمو فيها بقية الميكروبات الأخرى. فعلى سبيل المثال لو أردنا عزل ميكروب معين قادر على النمو على الفينول مثلا من عينة تربة، فإننا نضع جزءا من عينه التربة على بيئة مدعمة Enrichment culture يكون فيها الفينول هو المصدر الوحيد لعنصر الكربون والطاقة، ويلاحظ في هذه الحالة أن الميكروب الوحيد الذي ينمو على هذه البيئة هو ذلك الميكروب القادر على تحليل Metabolize الفينول واستغلاله كمصدر للكربون. وبعد إضافة عينة التربة إلى هذه البيئة يتم تحضينها لعدة أيام عند درجه الحرارة المناسبة، ثم تؤخذ منها كمية صغيرة وتضاف إلى بيئة جديدة لها نفس التركيبة. وبعد تكرار هذه العملية عده مرات، فإننا سوف نحصل على مستعمرات نقية من خلايا بكتيرية قادرة على استغلال الفينول والحصول منه على الطاقة دون غيرها من الأنواع البكتيرية، ويلاحظ هنا أن أي عناصر غذائية قد تكون موجودة ضمن اللقاح الأصلي المضاف (عينة التربة)، فإنها سوف تتلاشى تدريجيا بالتخفيف أثناء عمليات النقل المتتالية المشار إليها أعلاه. وعليه فإنه عندما نأخذ لمسة بإبرة اللقاح من التخفيف الأخير ونخططها على بيئة صلبة من نفس التركيب، فإن المستعمرات الوحيدة التي تظهر لدينا هي تلك الناشئة من خلايا بكتيرية قادرة على استغلال الفينول .

عملية التلقيح Inoculation

القصد به تلقيح البيئة المغذية بالخلايا الميكروبية المراد تنميتها، أو بعبارة أخرى نقل خلايا ميكروبية إلى بيئة غذائية معقمة، ويستخدم لهذا الغرض ما يسمى إبرة التلقيح Inoculating loop، أو ما يسمى Inoculating needle. وهى سلك بلاتيني أو من

حديد غير قابل للصدأ ومعقوف في طرفه على هيئة حرف O، وتسمى كمية الخلايا التي تنقل في الأصل بواسطة الإبرة إلى البيئة المغذية باللقاح Inoculum. وعقب عملية تلقيح البيئة توضع في حاضن Incubator على درجة حرارة مناسبة لنمو هذا الميكروب لمدة تتراوح بين ٢٤ و٤٨ ساعة، حيث تتكاثر الميكروبات ويزداد عددها. وفي الحالات التي يكون المعلق المستخدم في التلقيح (تلقيح بيئة غذائية صلبة) مخففا لدرجة كبيرة فإن الكائنات الدقيقة التي تنمو وتنشأ من كل خلية من خلايا هذا اللقاح تكون كتلة من الخلايا يمكن رؤيتها على سطح البيئة بالعين المجردة. ويطلق على هذه الكتل اسم مستعمرات Colonies وتكون كل مستعمرة ناشئة عن انقسام خلية واحدة وتكاثرها. وتتميز هذه المستعمرات بصفات مميزة مثل الحجم، والقوام، والشكل، واللون،... إلخ، وهذه صفات ثابتة خاصة بالنوع لحد كبير وتستخدم في عملية التصنيف وتمييز الأنواع بعضها عن بعض.

البيئات الاختيارية Selective Media

يحتاج العاملون في مختبرات الميكروبيولوجيا الصحية والطبية للكشف أحيانا عن ميكروبات معينة لها علاقة بأمراض معينة أو عمليات تلوث. وتستخدم لهذا الغرض بيئات خاصة تسمى البيئات الاختيارية أو البيئات التفاضلية.

فالبيئات الاختيارية Selective media يتم تركيبها بطريقة تمكنها من تشجيع نمو ميكروبات معينة وتثبيط نمو الميكروبات غير المرغوبة. فعلى سبيل المثال، تستعمل بيئة Bismuth sulfite agar لعزل البكتيريا المسببة لمرض التيفويد Typhoid من البراز، وبيئة Sabouraud's glucose agar ذات الحموضة التي تصل إلي ٥,٦ لعزل الفطريات. وتستعمل بعض الصبغات مثل صبغة Brilliant green في تثبيط نمو البكتيريا الموجبة لصبغة جرام في البيئة حيث تضاف هذه الصبغة إلى البيئة المسماة Brilliant green agar، والتي تستعمل في عزل بكتيريا السالمونيلا *Salmonella* السالبة لصبغة جرام.

البيئات التفاضلية Differential Media

وتستعمل هذه البيئات لتسهيل عملية تمييز مستعمرات النوع الميكروبي المرغوب من بين الأنواع الأخرى النامية على نفس الطبق. فقد أصبح معروفا أن المزارع النقية للكائنات الحية الدقيقة تتميز بتفاعلات خاصة مع البيئات التفاضلية على الأطباق أو الأنابيب. فعلى سبيل المثال بيئة آجار الدم Blood agar - وهي بيئة محتوية على كرات الدم الحمراء ولها لون بنى غامق - تستعمل غالبا للكشف عن الأنواع البكتيرية التي تحلل الكرات الحمراء. فمثلا ميكروب *Streptococcus pyogenes* الذي يسبب التهاب الحنجرة، عندما تتم زراعته على بيئة آجار الدم، فإنه قد يعطى مستعمرات محاطة بحلقة رائقة في وسط بيئة ذات لون بني غامق، وهذه الحلقة ناشئة من تحليل هذه البكتيريا لخلايا كرات الدم الحمراء في المنطقة المحيطة بالمستعمرة. وأحيانا يستعمل كلا النوعين من البيئات الاختيارية Selective والتفاضلية Differential بصورة يكمل بعضها بعضا، مثل عزل الجنس البكتيري *Staphylococcus aureus* الذي يوجد في المجاري الأنفية ويتميز بقدرته على تخمير المانيتول (وهو تركيب كربوهيدراتي) وتكوين حمض. وتستخدم لهذا الغرض بيئة تضم خاصية البيئة الاختيارية والبيئة التفاضلية، وتسمى بيئة آجار ملح المانيتول Mannitol salt (MS) agar التي تحتوي على ٧,٥٪ كلوريد الصوديوم الذي يستعمل في تثبيط نمو الكائنات الأخرى المنافسة، وبالتالي يفسح المجال لنمو النوع المرغوب *S. aureus*. إضافة لما سبق فإن هذه البيئة تحتوى على دليل حموضة pH indicator يعمل على تغيير لون البيئة (المانيتول) في حالة تخمر المانيتول وتحوله إلى حمض، وفي هذه الحالة فإنه يمكن تمييز مستعمرات *S. aureus* عن تلك المستعمرات بخاصة الأنواع غير القادرة على تخمير المانيتول.

ومن البيئات الأخرى الشائعة الاستعمال التي تضم خاصية البيئة الاختيارية والبيئة التفاضلية، البيئة المسماة بيئة آجار ماكونكي MacConkey agar التي تحتوي على أملاح Bile salts وصبغة الكريستال البنفسجي Crystal violet، التي تعمل على تثبيط نمو البكتيريا الموجبة لصبغة جرام.

ونظرا لأن هذه البيئة تحتوي في تركيبها على سكر اللاكتوز، فإنه يمكن بواسطتها تمييز البكتيريا السالبة لصبغة جرام التي تستطيع استغلال هذا السكر عن غيرها من الأنواع البكتيرية التي لا تتوافر لها هذه القدرة. وتستخدم خاصية التمييز بين البكتيريا المخمرة لسكر اللاكتوز (ذات المستعمرات الحمراء والوردية) عن تلك التي لا تستطيع تخمير هذا السكر (ذات المستعمرات العديمة اللون) على نطاق واسع للتمييز بين أنواع بكتيريا *Salmonella* الممرضة عن غيرها من الأنواع المشابهة.

حفظ المزارع البكتيرية

Maintenance and Preserving of Bacterial Cultures

حينما يتم الحصول على مزارع نقية لميكروب معين، فإنه يصبح من الضروري المحافظة على هذه المزارع محتفظة بحيويتها لمدة طويلة لحين الحاجة إليها. وتحتفظ أغلب مختبرات الميكروبيولوجي على مجموعات كبيرة من هذه المزارع النقية يطلق عليها اسم المجموعة المزرعية Stock culture collection. ومن أشهر هذه المجموعات تلك الموجودة في ولاية واشنطن بالولايات المتحدة الأمريكية والتي يطلق عليها American Type Culture Collection، والتي تستخدم كمرجع في جميع أنحاء العالم.

وهناك طرق عديدة تُستخدم لحفظ المزارع الميكروبية تعتمد على الإمكانات المتوافرة وطول فترة الحفظ، ونوع الميكروب، ... إلخ. وبالنسبة لفترات الحفظ القصيرة التي تمتد عدة شهور، فإننا نكتفي بحفظ المزارع في الثلاجات على درجات تتراوح بين صفر و١٠°م (٣٢-٥٠°ف). أما بالنسبة لفترات الحفظ الطويلة والتي تمتد إلى عدة سنوات، فإننا نحفظ المستعمرات في مادة النتروجين السائل على درجة ١٩٦°م تحت الصفر (-٣٢١°ف). وقد تستخدم طريقة أخرى تعتمد على سحب الماء من المزرعة داخل الأنبوبة، ومن ثم تجميدها وإحكام إقفالها في جو مفرغ من الهواء، وتسمى هذه العملية Lyophilization (freeze-drying).

الفصل الرابع

السيطرة على الكائنات الحية الدقيقة

Control of Microbial Growth

- العوامل المؤثرة في عملية السيطرة على الميكروبات
- ميكانيكية تأثير العوامل المستخدمة في السيطرة على الميكروبات
- الطرق الفيزيائية للسيطرة على الميكروبات
- الطرق الكيميائية للسيطرة على الميكروبات
- أسس عمل المواد المطهرة

بدأ التفكير العلمي في السيطرة على الكائنات الحية الدقيقة ومقاومتها منذ حوالي ١٠٠ عام تقريبا. لأنه قبل هذه الفترة لم يكن الإنسان يملك في يده أي سلاح أو أسلوب يمكنه من السيطرة على هذه الكائنات، فكانت الأمراض تجتاح أغلب التجمعات السكانية، وتفتك فيها بالآلاف، وكانت حوالي ٢٥٪ من الأمهات يمتن بعد الولادة في المستشفيات بتأثير الإصابات المعدية التي تنشأ من الأيدي والأدوات المستعملة في عمليات التوليد في المستشفيات، حتى أتى كل من العالم المجري Ignatz Semmelweis عام (١٨١٦-١٨٦٥م) والإنجليزي Joseph Lister (١٨٢٧-١٩١٢م) وعملا على تطبيق بعض الإجراءات الوقائية التي تحد من التلوث الميكروبي. فعلى سبيل المثال

اشترط الطبيب المجري المذكور سابقا على جميع العاملين في غرف التوليد في مستشفي فينا الذي كان يعمل به غسل أيديهم في مادة Chlorinated lime مما أدى إلى تخفيض نسب الإصابة بدرجة كبيرة.

كما بدأ العالم ليستر باستخدام طريقة تعقيم الأدوات المستخدمة في العمليات الجراحية بالحرارة Sterilization، وهو ما يعرف Antiseptic surgery، ومن ثم إضافة محلول الفينول إلى الجروح بغرض تقليص احتمالات التلوث بالميكروبات.

ومنذ ذلك التاريخ وحتى يومنا هذا أُدخلت عديد من الوسائل والنظريات التي أدت إلى تطوير وسائل السيطرة على الكائنات الحية الدقيقة تطويرا بالغا وفعالا، واستُخدمت هذه الوسائل في السيطرة على الميكروبات المرضية وفي الحد من عمليات التلوث الغذائي (الجدول رقم ٤).

وتشمل هذه الوسائل استخدام عوامل فيزيائية مثل الحرارة بشتى أنواعها، والضغط الأسموزى، والتجفيف، والترشيح، واستخدام الأشعة، أما العوامل الكيميائية فإنها تشمل استخدام عدد من المركبات الكيميائية لقتل الميكروبات أو السيطرة عليها في المجال الطبي وغيره.

وقبل أن نتحدث بالتفصيل عن هذه العوامل الفيزيائية والكيميائية المستعملة حري بنا أن نتطرق إلى عدد من العوامل المتعلقة بموضوع السيطرة على الميكروبات، حيث يُلجأ عادة إلى السيطرة على الميكروبات إما لمنع انتقال العدوى أو منع التلوث أو لمنع الفساد الغذائي. وللسيطرة على الميكروبات يلاحظ أنه ليس من الضروري قتل جميع الميكروبات الموجودة، بل يُلجأ أحيانا إلى وقف نموها ونشاطها أو إزالتها من الجسم المراد تعقيمه. وتستخدم عديد من الوسائل والمواد كل منها له مدى معين، وحالات خاصة يُستخدم فيها.

الجدول رقم (٤). المصطلحات العلمية المرتبطة بوسائل السيطرة على النمو الميكروبي.

المصطلح	التعريف
التعقيم Sterilization	هو القضاء على جميع أشكال الحياة الميكروبية على الجسم أو المادة المراد تعقيمها، بما فيها تدمير الجراثيم الداخلية حيث إنها أكثر أشكال الحياة الميكروبية مقاومة. والتعقيم يكون مطلقا، أي لا توجد له درجات.
التطهير Disinfection	هو القضاء على الخلايا الخضرية المرضة دون الجراثيم الداخلية أو الفيروسات. وتكون المادة المطهرة عادة مادة كيميائية تضاف إلى الجسم المراد تطهيره، مما يؤدى إلى تقليل عدد الميكروبات أو تثبيط نموها. ولا يؤدى التطهير إلى التعقيم الكامل.
المطهرات Antisepsis	هى الكيماويات المستخدمة في إبادة الميكروبات من على جلد الكائن الحي، أو الأعضاء المخاطية، أو أي أنسجة حية.
قاتلات الجراثيم Germicide (قاتل = cide)	هى المركبات الكيميائية التى تقتل الميكروبات سريعا أي تقتل البروتوبلازم. ومن أمثلتها: قاتلات البكتريا Bactericide قاتلات الجراثيم Sporicide قاتلات الفطريات Fungicide قاتلات الفيروسات Viricide قاتلات الأميبا والبروتوزوا Amoebicide
موقفات النمو البكتيري Bacteriostatic	فيها يتم تثبيط النمو البكتيري وإيقاف التكاثر مع عدم قتل البكتريا، وبالتالى إذا أزيلت هذه المواد يمكن للبكتريا معاودة نشاطها وتكاثرها. وتوجد أيضا موقفات للنمو الفطري والتي توقف النمو الفطري وتكاثره.
الخلو من الميكروبات Asepsis (بدون ميكروبات = asepsis)	هو غياب الميكروبات المرضة من على شيء ما أو مساحة محددة. وتصمم تقنية الإخلاء من الميكروبات لمنع دخولها إلى داخل جسم أو مساحة ما. ومثالها إجراء العمليات الجراحية تحت ظروف خالية تماما من الميكروبات.
إزالة الجراثيم Degerming	هو إزالة الميكروبات من على جلد كائن حى بالتنظيف الميكانيكى أو باستخدام المطهرات.
الوقاية الصحية Sanitization	هو تقليل أعداد الميكروبات المرضة للارتفاع بمستويات الصحة العام باستخدام الكيماويات أو المطهرات.

العوامل المؤثرة في عملية السيطرة على الميكروبات

Factors- influencing Microbial Control

في العادة إذا رغبنا في تعقيم أية أداة من أدوات المختبر - ولتكن زجاجة - فإننا لا نهتم بتعريف نوع الميكروبات الموجودة على سطحها، وبدلا عن ذلك فإننا نلجأ إلى استخدام إحدى الوسائل التي لها من الفعالية ما يضمن القضاء على جميع صور الميكروبات الموجودة على سطح الزجاجة بما فيها الصور الجرثومية. وعلى ذلك فإن الوقت اللازم للقضاء على الميكروبات أو تثبيط نشاطها يعتمد على عدة عوامل منها عدد الميكروبات، نوعها، نوع الأداة أو المادة المراد تعقيمها، إضافة إلى عدد آخر من العوامل منها:

١ - درجة الحرارة Temperature وتركيز أيون الهيدروجين pH

من المؤكد أن أغلبنا لديه معرفة بالدور الذي تؤديه درجة الحرارة ودرجة الحموضة pH في السيطرة على النمو الميكروبي من خلال استخدامنا للثلج والثلاجات لحفظ الأغذية، و لمنع الانتشار الميكروبي فيها. فمن المعروف أن النشاط البيوكيميائى - مثله مثل جميع صور التفاعلات الكيميائية اللازمة للنمو - يتأثر سلبا بدرجات الحرارة المنخفضة.

ولما كان نشاط المطهرات الكيميائية يعتمد على بعض التفاعلات الكيميائية التي تتأثر بدورها لحد كبير بدرجات الحرارة المنخفضة، فقد كان من الطبيعي أن تكون فعالية هذه المطهرات أعلى عند درجات الحرارة الدافئة، لذلك فإننا نستخدم الماء الدافئ لتخفيف المطهرات المستخدمة لزيادة فعاليتها. ونفس الشيء بالنسبة لدرجة الحموضة، فبعض المطهرات تلزمها درجة حموضة مناسبة لكي تعمل بكفاءة.

٢ – نوع الميكروبات وعددها

Population Size and Composition of Microorganisms

أثبتت الدراسات أن المواد الكيميائية المطهرة تتفاوت في تأثيرها في الأنواع البكتيرية المختلفة. فعلى سبيل المثال وُجد أن المطهرات تتمتع بتأثير أكثر فعالية في مجموعات البكتيريا الموجبة لجرام مقارنة بالبكتيريا السالبة، غير أن هذا الاختلاف ليس اختلافا مطلقا في جميع الحالات، فهناك مثلا مجموعة البكتريا التابعة للجنس *Pseudomonas*، وهي مجموعة سالبة لصبغة جرام تتميز بقدرة فائقة على مقاومة تأثير المواد الكيميائية المطهرة، بل تتعدى ذلك إلى مقدرتها على النمو بنشاط على هذه المطهرات، واستخدامها كمصدر لبعض عناصر نموها، كما أنها تستطيع مقاومة بعض المضادات الحيوية. ونتيجة لتمتعها بهذه الصفات فقد أصبحت هذه الأنواع التابعة للجنس *Pseudomonas* مصدر إزعاج للعاملين في المجال الطبي مع أنها لا تعتبر من الميكروبات المرضية في الظروف المعتادة، وأصطلح في المجال الطبي على تسميتها المسببات المرضية الانتهازية Apportunistic pathogens. وهذا يعنى أن هذه الميكروبات لا تسبب أمراضا تحت الظروف المعتادة، غير أنها تتحول إلى مسببات مرضية عند غياب المنافسة الطبيعية من قبل أنواع الفلورا الأخرى التي تقضى عليها المضادات الحيوية أو المطهرات دون أن تؤثر في هذه الأنواع التابعة للجنس *Pseudomonas*. ويعتبر الميكروب *Mycobacterium tuberculosis* – المسبب لمرض الدرن، وهو ميكروب غير متجرثم – من الأمثلة الواضحة على مقاومة البكتيريا للمواد الكيميائية بشتى أنواعها. وبصورة عامة فإن جراثيم البكتيريا وحويصلات البروتوزوا والفيروسات تتمتع بقدرة فائقة على مقاومة الكيماويات، وبالذات مركبات الكلورين. كما أنه بزيادة عدد الميكروبات الموجودة يزداد الزمن اللازم للقضاء عليها.

٣ – الحالة الفسيولوجية للميكروب Physiological State of Microbe

تشكل الأحياء الدقيقة التي في طور النمو مرحلة حساسة جدا للمواد الكيماوية المطهرة، مقارنة بالميكروبات المتقدمة في العمر. ويعلل العلماء هذا باحتمال أن تكون

الخلايا التي في طور التكاثر والتحولات الأيضية النشيطة محتوية على نقاط ضعف عديدة Vulnerable، مقارنة بالخلايا المتقدمة في العمر (الكامنة). وفي حالة دخول الكائنات الحية الدقيقة في طور التجرثم، فإن الجراثيم تكون أكثر قدرة على مقاومة التأثيرات الخارجية مقارنة بالخلايا الخضرية. فقد وُجد على سبيل المثال أن جراثيم النوع البكتيري *Clostridium botulinum* تتحمل درجة الغليان لمدة ٥,٥ ساعات دون أن تتأثر.

٤ – العوامل البيئية المحيطة Surrounding Environmental Factors

تتداخل – في أغلب الأحيان – المواد العضوية الموجودة في الوسط مع تأثيرات الكيماويات المطهرة. فعلى سبيل المثال في المستشفيات تشكل المواد العضوية الموجودة في الفضلات الآدمية للمرضى (البراز أو نواتج الاستفراغ) عقبة أمام تحديد نوع المطهرات الكيماوية الواجب استخدامها، نظرا لأن الكيماويات المطهرة تتفاوت في قدرتها وفعاليتها تحت هذه الظروف. لأن بعضها يكون له تأثير أكثر فعالية، مقارنة بأنواع أخرى من الكيماويات. كما أن البكتيريا الموجودة في الأطعمة تجد في بعض المواد العضوية وسائل حماية لها ضد الكيماويات. فمثلا البكتيريا الموجودة في الكريم تتحمل درجات حرارة أعلى من تلك البكتيريا الموجودة في الحليب الخالي من الدهن، نظرا لأن البروتين والدهن الموجود في الكريم يوفر لها حماية فعالة لا تتوافر لها في الحليب الخالي من الدهن. كما أن الحرارة وبعض الكيماويات تكون أكثر فعالية تحت الظروف الحمضية، مقارنة بالوسط المتعادل.

٥ – تركيز العامل المستخدم Concentration and Intensity of Used Factor

فعلى سبيل المثال الأشعة فوق البنفسجية تعمل بكفاءة أكبر عند طول ٢٦٠ نانومتر، كما أن المطهرات تزداد كفاءتها عند استخدام تركيزات أعلى.

ميكانيكية تأثير العوامل المستخدمة في السيطرة على الميكروبات

Mechanism of Agents Activity for Microbial Control

تتفاوت الميكانيكية التي تعمل بها مختلف الكيماويات والعوامل الفيزيائية في تأثيرها في الميكروبات، والذي يؤدي في النهاية إلي قتلها أو تثبيط فاعليتها. ويمكن إيجاز ميكانيكية تأثير هذه العوامل في:

١ – تغيير نفاذية الغشاء الخلوي Altration of Membrane Permeability

الغشاء البلازمي Plasma membrane، هو ذلك الغشاء الشبه منفذ والذي يقع مباشرة بعد الجدار الخلوي إلى الداخل ويتولى وظيفة السماح بدخول العناصر الغذائية إلي داخل الخلية وخروج الفضلات الناتجة من عمليات الأيض إلي خارج الخلية بواسطة عملية الانتشار الغشائي، إذا حصل أي تأثير سلبي لمكونات هذا الغشاء مثل الدهون والبروتينات بواسطة أي مادة كيميائية من تلك المستعملة للسيطرة على الميكروبات، فإن هذا بدوره سوف يؤدى إلي اضطراب وظيفة هذا الغشاء، وبالتالي السماح بخروج المحتويات الخلوية إلي الوسط الخارجي المحيط بالخلية، ويؤثر بدوره في نمو الخلية ونشاطها. وتجدر الإشارة هنا إلي أن عديدا من الكيماويات المضادة للميكروبات والمضادات الحيوية تعمل وفق هذا المبدأ.

٢ – تدمير البروتين والأحماض النووية Destruction of Protein and Amino Acids

من المعروف لأغلبنا أن الخصائص الوظيفية لجزيئات البروتينات تعزى إلى الشكل الثلاثي الأبعاد الذي تتميز به هذه الجزيئات. وتحافظ جزيئات البروتين على هذا الشكل بواسطة روابط كيميائية تربط وحدات الأحماض الأمينية بعضها مع بعض في السلسلة. فبعض هذا الروابط عبارة عن روابط هيدروجينية على درجة عالية من الحساسية للحرارة، ولبعض الكيماويات. وأي تكسر لهذه الروابط يؤدي بدوره إلى تدمير جزيئات البروتين هذه، كما أن الروابط التكافلية Covalent bonds الأكثر قوة

تتعرض للتأثير. فعلى سبيل المثال فإن روابط (صور) الكبريت الثنائية Disulfide والتي تؤدي دورا مهما في تركيب البروتين (وذلك بتوصيلها لجزيئات الأحماض الأمينية مع مجموعة الـ SH-Sulfhydryl من الممكن تحطيمها بواسطة الحرارة المرتفعة وبعض المواد الكيميائية المستعملة للتطهير.

ونظرا لأن الأحماض النووية DNA، RNA تحمل الصفات الوراثية للكائن فإن أي ضرر أو تدمير يحصل لها بواسطة الإشعاعات أو المواد الكيماوية سوف يؤدي إلى وقف عمليات التكاثر والفعاليات الطبيعية للكائن، ومن ثم إلى موت الخلية.

بعد التعرف على أسس السيطرة على الميكروبات وقتلها والعوامل المؤثرة فيها، فإننا سنتطرق لأفضل الطرق المستخدمة لتحقيق هذا الغرض.

الطرق الفيزيائية للسيطرة على الميكروبات

Microbial Control by Physical Methods

١ - الحرارة Heat

تُعتبر الحرارة من أكثر الطرق استعمالا لقتل الميكروبات (الجدول رقم ٥). وبالذات في مجال حفظ الأغذية، وتعقيم أدوات المختبرات والمستشفيات. وتعتبر الحرارة من أكثر طرق التعقيم استعمالا نظرا لتكلفتها الاقتصادية وسهولة السيطرة عليها. وتقتل الحرارة الخلايا الميكروبية عن طريق إتلاف النظام الإنزيمي للخلايا وتدميره.

وعند استخدام عمليات التعقيم بالحرارة يجب أن يؤخذ في الاعتبار عدة عوامل منها:

Thermal Death Point (TDP)

ويقصد بها أقل درجة حرارة تكفي لقتل جميع الخلايا الميكروبية الموجودة في المادة السائلة في مدة ١٠ دقائق. ذلك أن قدرة الخلايا على تحمل الحرارة تتفاوت بين ميكروب وآخر.

Thermal Death Time (TDT)

ويقصد به أقصر فترة تكفي لقتل ٩٠ ٪ من الميكروبات الموجودة في بيئة سائلة عند درجة حرارة ثابتة.

وتعتبر كل من TDP ، TDT على درجة كبيرة من الأهمية لتحديد كمية الحرارة التي نستخدمها في التعقيم لقتل الميكروبات الموجودة في المادة.

Decimal Reduction Time

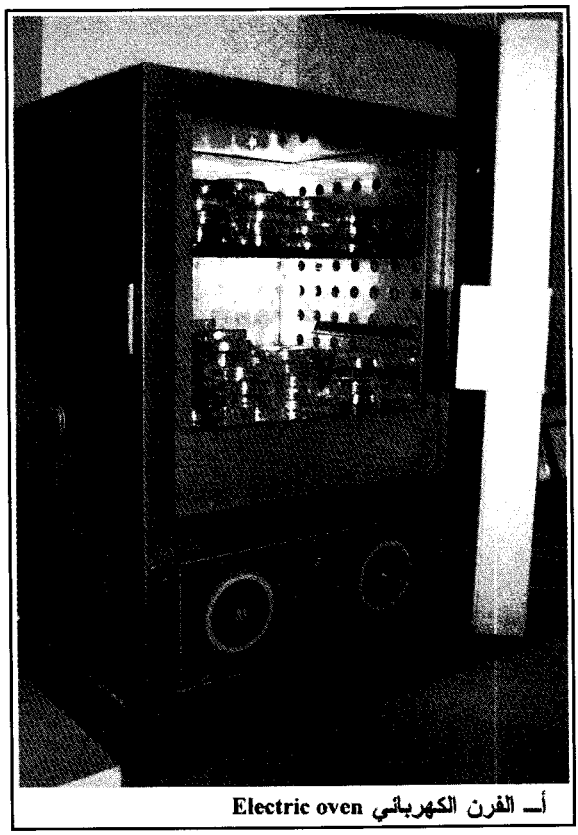
ويقصد به الوقت بالدقائق الكافي لقتل ٩٠٪ من خلايا البكتيريا عند درجة حرارة ثابتة. ويعتبر هذا العامل مهما جدا ، وبالذات في صناعة التعليب.

وتستخدم الحرارة في عمليات التعقيم إما في صورة جافة Dry heat أو في صورة رطبة Moist heat. فالحرارة الجافة تقتل الميكروبات بفعل عامل الأكسدة Oxidation بينما الحرارة الرطبة تقتل الميكروبات بفعل وجود الرطوبة التي تساعد على سرعة تكسير روابط الهيدروجين التي تربط جزيئات البروتين في صورتها الثلاثية الأبعاد Three dimensional structure.

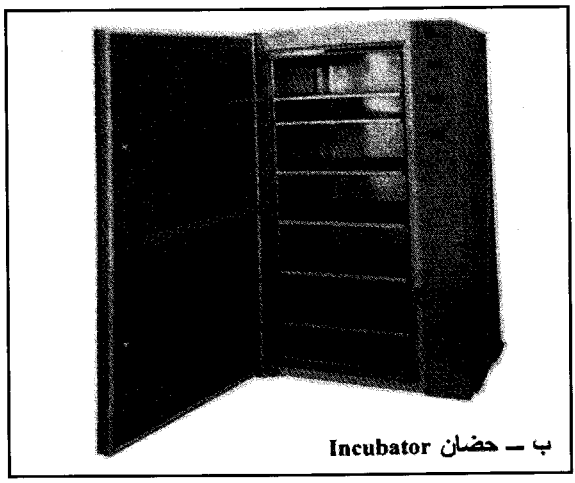
أ) التعقيم بالحرارة الجافة Dry heat sterilization

استخدام اللهب المباشر يعتبر من أبسط صور التعقيم باستخدام الحرارة الجافة ، وتستخدم هذه الطريقة في المختبرات لتعقيم إبر التلقيح حيث تعرض هذه الإبر للهب المباشر حتى تصل إلى درجة الاحمرار ، وبهذه الطريقة يمكن القضاء على جميع صور الحياة الميكروبية على الإبرة. وهناك طريقة أخرى مشابهة تسمى طريقة Inciniration تستخدم في تعقيم بعض الأدوات الملوثة قبل التخلص منها مثل الأواني الورقية (الأكواب) والأكياس والشاش والقطن المستخدم للجروح.

ومن الصور الأخرى التي تستخدم فيها الحرارة الجافة للتعقيم استخدام الهواء الجاف الساخن حيث توضع الأدوات المراد تعقيمها في جهاز يشبه الفرن عند درجة حرارة ١٧٠°م لمدة ساعتين (الشكل رقم ١٣-أ). وفي هذه الطريقة كلما ارتفعت درجة الحرارة وطالت مدة التعريض حصلنا على نتائج أفضل ، نظرا لبطء توصيل الحرارة الجافة ، مقارنة بالحرارة الرطبة.



أـ الفرن الكهربائي Electric oven



ب ـ حضان Incubator

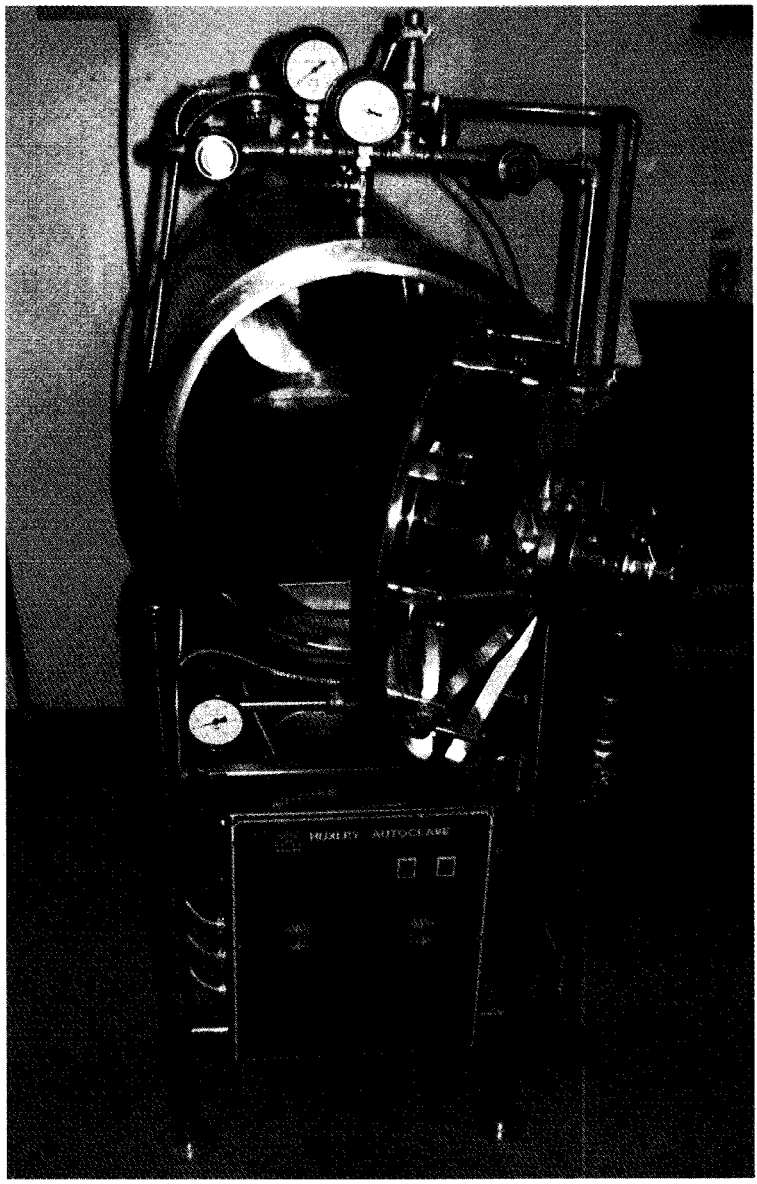
الشكل رقم (١٣). أ) الفرن الكهربائي، ب) الحضان.

ب) التعقيم بالحرارة الرطبة Moist heat sterilization

الغلي هو إحدى طرق التعقيم بالحرارة الرطبة. ويصل الماء إلى درجة الغليان عند درجة ١٠٠°م عند مستوى سطح البحر، وهذه الدرجة تكون كافية لقتل جميع صور البكتيريا الخضرية الممرضة وأغلب الفيروسات والفطريات في مدة لا تتجاوز ١٠ دقائق. وتصل درجة حرارة البخار غير المضغوط إلى درجة الغليان (١٠٠°م)، وتستطيع الجراثيم البكتيرية وبعض أنواع الفيروسات الصمود أمام درجة الغليان لمدة أطول، حيث تستطيع بعض الفيروسات (مثل تلك المسببة لمرض التهاب الكبد الوبائي Hepatitis) أن تتحمل درجة الغليان لمدة ٣٠ دقيقة. كما تتحمل بعض جراثيم البكتيريا الغليان لمدة ٢٠ ساعة، ومن ذلك يتضح أن الغليان لا يمكن اعتباره طريقة تعقيمية يعتمد عليها في كل الأحوال. ومع ذلك فإن غليان السوائل لبضع دقائق يكون في غالب الأحوال كافيا للقضاء على الصور الخضرية للميكروبات المرضية، ويصبح الطعام آمنا للاستعمال.

وبالمزيد من المعرفة اتضح أنه للحصول على وسيلة تعقيم آمنة ومضمونة باستعمال الحرارة الرطبة، فإنه من الضروري الوصول بدرجة الحرارة إلى أعلى من درجة الغليان، ويمكن الوصول إلى هذه الدرجة باستعمال البخار تحت ضغط داخل الجهاز المعروف باسم أتوكلاف Autoclave (الشكل رقم ١٤)، وتستخدم طريقة التعقيم هذه Autoclaving في الحالات التي لا تتأثر فيها المواد المراد تعقيمها بالحرارة أو الرطوبة تحت الضغط. ويلاحظ أنه كلما ارتفع الضغط المستعمل زادت درجة الحرارة. فعلى سبيل المثال لو وضعنا بخار ماء درجة حرارته ١٠٠°م في الظروف العادية تحت ضغط قدره ١٥ باوند/البوصة المربعة، فإن درجة حرارة هذا البخار ترتفع إلي ١٢١°م.

وهكذا كلما زاد الضغط زادت درجة الحرارة. وفي أجهزة الأوتوكلاف Autoclaves فإن البخار تحت ضغط ١٥ باوند/البوصة المربعة تصل درجة حرارته إلى ١٢١°م، وهذه كافية لقتل جميع صور الحياة الميكروبية بما فيها الجراثيم في مدة ١٥ دقيقة أو أكثر بقليل حسب كمية المادة المراد تعقيمها.



الشكل رقم (١٤). جهاز تعقيم بالبخار المضغوط (أوتوكلاف).

وتستخدم طريقة التعقيم هذه Autoclaving لتعقيم البيئات المغذية، والأدوات، والقطن، ... إلخ، وكل ما يستطيع تحمل درجة الحرارة والضغط العالي. ولنجاح عملية التعقيم بهذه الطريقة فإن هناك عدة أمور يجب ملاحظتها للوصول إلي نتائج جيدة. فمثلا عند تعقيم مواد صلبة مثل الأغذية فإننا نحتاج إلى زمن أطول حتى تصل الحرارة إلى وسط المادة، كما أن تعقيم الكميات الكبيرة يحتاج إلى وقت أطول، ولتعقيم السطوح الصلبة يصبح من الضروري أن يلامس البخار هذا السطح بعكس الحال في السوائل. لذلك فإن تغليف المواد الصلبة بأغلفة الألومنيوم قد يعوق ملامسة البخار للسطح. ومن الأمور التي يجب مراعاتها أيضا عدم حبس الهواء داخل إناء التعقيم، لأن ذلك يعني عدم كفاية عملية التعقيم، وحتى نصل إلي درجة التعقيم المناسبة، فإننا نحتاج لدرجة حرارة أعلى بكثير وضغط مرتفع جدا. لذلك يجب قبل أن نبدأ في عملية التعقيم التأكد من خروج جميع الهواء الموجود داخل الإناء، ثم نضع صمام الأمان على الفتحة.

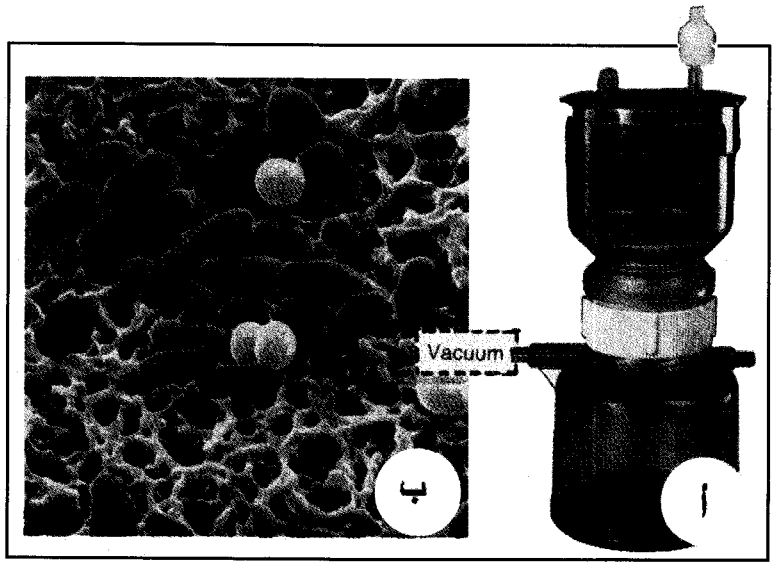
جـ) البسترة Pasteurization

بالرجوع إلى الفصل (الأول) يتضح أن العالم لويس باستير، وفي بداية نشأة علم الميكروبيولوجي، طور هذه الطريقة للقضاء على الميكروبات التي كانت تسبب فساد النبيذ في فرنسا، وقد أعطيت هذه الطريقة اسمها المعروف نسبة إلى اسم هذا العالم الفذ (الباب الثاني - الفصل الثالث).

٢ - الترشيح Filtration

يعرف الترشيح بأنه مرور أي مادة سائلة أو غازية خلال سطح يحتوي على ثقوب صغيرة جدا لدرجة تكفي لمنع مرور الأحياء الدقيقة خلالها. ويساعد التفريغ الذي يحصل في إناء الاستقبال على خلق قوة شد تعمل على سحب السائل خلال سطح المرشح إلى أسفل. وتستخدم هذه الطريقة لتعقيم المواد الحساسة للحرارة (أي التي تتأثر عند تعقيمها بالحرارة)، مثل المضادات الحيوية، وبعض البيئات المغذية،

والإنزيمات، واللقاحات. وقد كانت المرشحات في السابق تصنع على هيئة أنابيب أسطوانية مفرغة من مادة البورسالين الخشن Unglazed porcelain. فعند مرور السائل خلال البورسالين تلتصق خلايا الميكروبات في هذا الجدار. أما في الوقت الراهن فتستعمل المرشحات الغشائية Membrane filters المصنوعة من مواد مثل إسترات السليلوز Cellulose esters، أو Plastic polymers في أغلب المصانع والمختبرات. ويبلغ سمك هذه الأغشية ٠,١ ملليمتر. وتكون الفتحات فيها متساوية إلى حد كبير. وفي بعض الشركات يلجأ إلى معاملة أغشية بلاستيكية بالأشعة للمساعدة على خلق فتحات متساوية تنشأ نتيجة لمرور جزيئات الإشعاعات خلال هذا الغشاء البلاستيكي، والذي يتم بعد ذلك إلصاقه فوق الغشاء المستخدم للترشيح. وتختلف أحجام فتحات هذه الأغشية المستخدمة للترشيح. فتلك التي تستخدم لترشيح البكتيريا تتراوح أحجامها بين ٠,٢٢ و٠,٤٥ ميكرومتر، أما تلك التي تستخدم لحجز الفيروسات فيبلغ حجمها ٠,٠١ ميكرومتر (الشكل رقم ١٥).



الشكل رقم (١٥). أ) المرشح البكتيري (فلتر) الذي يعمل بتفريغ الهواء ويستخدم لتعقيم السوائل. ب) خلايا بكتيرية محجوزة فوق غشاء الفلتر ذي المسام الدقيقة.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

٣ – التجفيف Dessication

يعتبر وجود الماء ضروريا لنمو الأحياء الدقيقة وتكاثرها. وفي حالة سحب الماء من المادة تنشأ لدينا حالة الجفاف Dessication حيث لا تستطيع فيها الأحياء الدقيقة النمو أو التكاثر، ولكنها تستطيع أن تعيش كامنة لعدة سنين. وعند إعادة الماء بوسيلة أو بأخرى إلى هذه المادة تستعيد الميكروبات نشاطها المتمثل في النمو والتكاثر. ويعتمد على هذا المبدأ في عمليات حفظ المزارع الميكروبية في المختبرات بطريقة التجفيد Lyophilization. وتتفاوت قدرة الخلايا الخضرية على تحمل عملية التجفيف ومقاومتها باختلاف النوع البكتيري والظروف البيئية المحيطة. فمثلا بكتيريا الجنس *Neisseria* تستطيع تحمل الجفاف لمدة ساعة واحدة تقريبا، بينما يستطيع ميكروب الدرن تحمل الجفاف لمدة شهر تقريبا محتفظا بحيويته.

وهناك حالات خاصة يصبح فيها النوع البكتيري الحساس لعملية التجفيف تحت الظروف العادية مقاوما لدرجة كبيرة، ويتمثل ذلك في الحالات التي يكون فيها الميكروب منغمسا في بعض المواد التي تحميه مثل المواد المخاطية، البراز.

٤ – الضغط الأسموزي Osmotic Pressure

يعتمد استخدام الأملاح والسكريات لحفظ الأطعمة وحمايتها من الفساد الميكروبي على تأثير الضغط الأسموزى Osmotic pressure، ذلك أن زيادة تركيز هذه المواد (سكريات، أملاح) في الوسط الخارجي يؤدى إلى خلق ظروف بيئة مرتفعة التركيز Hypertonic تؤدي إلى سحب الماء من داخل الخلية الميكروبية. وهذه الطريقة تشبه إلى حد كبير طريقه التجفيف Dessication المذكورة أعلاه من حيث اعتماد كلتا الطريقتين على مبدأ سحب الماء من الخلية، وبالتالي وقف نشاطها الحيوي مع أن كلتا الطريقتين لا تؤديان إلى موت الخلية مباشرة. ويلاحظ أنه بمجرد سحب الماء من الخلية ينكمش الغشاء البلازمي ويبتعد عن جدار الخلية، وتسمى هذه العملية البلزمة Plasmolyses، ويقف النمو والتكاثر. وتستخدم هذه الطريقة في حفظ الأطعمة ومنع

الفساد الميكروبي فيها وذلك باستخدام التمليح في حالة اللحوم والتسكير في حالة الفواكه وغيرها.

غير أنه يلاحظ أن قدرة الفطريات (عفن وخمائر) على تحمل الضغط الأسموزي العالي، والجفاف، إضافة إلى قدرتها على النمو في الوسط الحمضي مقارنة بالبكتيريا، يجعلها أكثر قدرة على إفساد الفواكه وبعض المواد الغذائية حتى المعاملة منها بالسكريات أو الأملاح.

٥ – الإشعاع Radiation

يعتمد تأثير الإشعاع في الميكروبات على طول موجة الأشعة، وكثافتها، وطول مدة التعرض لها. ويستعمل لهذا الغرض نوعان من الإشعاعات هما:

أ) الأشعة المؤينة Ionizing radiation

مثل أشعة إكس، وأشعة جاما، وأشعة الإلكترونيات ذات الطاقة العالية. وهذه الأنواع من الإشعاعات تتميز بأطوال موجات أقصر من تلك التي تميز الأشعة غير المؤينة، وبالتالي فإنها ذات طاقة أعلى منها.

ونحصل على أشعه جاما من مادة الكوبالت المشع، أما سيل الإلكترونات فنستطيع الحصول عليه من إلكترونات مسرعة ذات طاقة عالية من أجهزة خاصة. وتتمتع الأشعة المؤينة بقدرة عالية على الاختراق وتدمير الميكروبات التي تصطدم بها، ويعتمد في ذلك على مبدأ تأين الماء، مما ينتج عنه إطلاق جذور هيدروكسيل منشط ذي قدرة عالية. ومن المعروف أن هذه الجذور النشيطة هي إحدى الصور النشطة السامة للأكسجين والتي تنتج داخل سيتوبلازم الخلية، والتي تؤدي عند زيادة كميتها إلى قتل الخلية.

وقد بدئ منذ وقت قريب استخدام الإشعاعات في حفظ المواد الغذائية ومنع فسادها الميكروبي، غير أن العقبة التي تقف أمام التوسع في هذا المجال هي قلق الناس وخوفهم من احتمال تأثير هذه النظائر المشعة في أجسامهم، وما يترتب على ذلك من أمراض سرطانية خطيرة.

ونظرا لأن الأشعة المؤينة لا تستخدم الحرارة أو الرطوبة، ولها قدرة عالية على الاختراق فإنها استخدمت لفترات في تعقيم الأدوات الطبية ولو أنه بديء حديثا في الاستعاضة عنها باستخدام الغازات المعقمة.

ب) الأشعة غير المؤينة Non ionizing radiation

وهي أشعة ذات موجات أقصر من تلك التي تميز الإشعاعات المؤينة، وبالتإلى فإنها لا تحمل طاقة عالية، ومن أمثلتها إشعاعات الضوء فوق البنفسجي Ultra violet light. ويتركز تأثير هذه الإشعاعات في الحمض النووي DNA وهي تؤدي إلى تثبيط تكاثر الخلية ومنعه من خلال تدمير الـ DNA. وأفضل موجة فعالة في مقاومة الميكروبات هي تلك التي يبلغ طولها حوالي ٢٦٠ نانومترا، لأنها تمتص بكفاءة بواسطة الحمض النووي DNA (Talaro and Talaro 1996).

ومن المجالات التي تستخدم فيها هذه الإشعاعات: تعقيم الهواء في المستشفيات، والمطاعم، ... إلخ، وتستخدم في تعقيم الأمصال واللقاحات والسموم... إلخ. ومن سلبيات هذه الإشعاعات احتمال تأثيرها في العين، وطول التعرض لها يؤدي إلى إحداث حروق بالجلد، والإصابة بسرطان الجلد. كما أن عدم قدرتها على الاختراق يحتم تعريض الميكروبات لها بطريقة مباشرة إذا أريد الحصول على نتائج فعالة من استخدامها، ذلك أن وجود أي حاجز مثل الأوراق والأقمشة، ... إلخ، يمنع وصولها إلى الميكروبات.

الطرق الكيميائية للسيطرة على الميكروبات
Chemical Methods of Microbial Control

تستخدم الكيماويات في مقاومة الميكروبات على الأنسجة الحية وبعض الأدوات والسطوح. ومن بين عشرات المواد الكيماوية المستخدمة هناك فقط عدد قليل جدا هو الذي يؤدى إلى التعقيم التام للجسم المعامل، ذلك أن أغلب الكيماويات تؤدى إلى تخفيض عدد الميكروبات الموجودة إلى الحد المأمون، أو إلى إزالة الصور الخضرية للميكروبات المرضية.

الجدول رقم (٥). الطرق الفيزيائية المستخدمة للسيطرة على نمو الميكروبات.

الطريقة	ميكانيكية التأثير	المواد – الأدوات	ملاحظات
الحرارة			
التعقيم بالحرارة الرطبة:			
أ) الغليان أو تيار البخار.	تغيير طبيعة الميكروب.	أطباق بتري، الأحواض الزجاجية، مختلف الأجهزة.	قتل البكتريا السالبة والفطريات الممرضة والعديد من الفيروسات خلال ١٠ دقائق. أقل تأثيرا على الجراثيم الداخلية.
ب) التعقيم بالأتوكلاف.	تغيير طبيعة الميكروب.	البيئات الميكروبية، المحاليل، الأدوات، الملابس، الأجهزة، وأي أدوات تتحمل درجات الحرارة المرتفعة مع الضغط.	طريقة فعالة جدا للتعقيم، ويكون على ١٢١°م تحت ضغط ١٥ رطل/بوصة^2. وفيها تقتل جميع الخلايا الخضرية والجراثيم الداخلية خلال حوالى ١٥ دقيقة.
التعقيم بالحرارة الجافة:			
أ) اللهب المباشر	الاحتراق الكامل والتحويل إلى رماد.	إبر التلقيح والمشارط والملاقط	طريقة فعالة جدا للتعقيم التام.
ب) الحرق	الاحتراق الكامل والتحويل إلى رماد.	الأكواب الورقية، الملابس، الأكياس، المناشف الورقية.	طريقة فعالة جدا للتعقيم التام.
جـ) التعقيم بالهواء الساخن	تغيير طبيعة الميكروب.	الزجاجات الفارغة، الماصات، السرنجات.	طريقة فعالة جدا ولكن تحتاج إلى درجة حرارة ١٧٠°م لمدة ساعتين تقريبا.

تابع الجدول رقم (٥).

الطريقة	ميكانيكية التأثير	المواد – الأدوات	ملاحظات
البسترة:	تغيير طبيعة الميكروب.	اللبن، الكريم، بعض المشروبات الروحية.	معاملة اللبن على درجة حرارة ٧٢°م لمدة حوالى ١٥ ثانية مما يؤدى إلى قتل كل البكتريا الممرضة وبعض غير الممرضة.
الحرارة المنخفضة:			
١ - التبريد	يؤدى إلى قلة التفاعلات الكيميائية والتغيرات الممكنة في البروتينات.	الأغذية، الأدوية، حفظ المزارع الميكروبية.	لها تأثير موقف لنمو البكتريا.
٢ - التجميد	يؤدى إلى قلة التفاعلات الكيميائية والتغيرات الممكنة في البروتينات.	الأغذية، الأدوية، حفظ المزارع الميكروبية.	طريقة فعالة لحفظ المزارع الميكروبية ما بين -٥ و-٩٥°م.
الضغط الأسموزي:	بلزمة الخلايا الميكروبية.	حفظ الأغذية.	من نتيجتها أن تفقد الخلايا الميكروبية الماء الموجود داخلها.
الإشعاع:			
١ - المتأين	تدمير الـ DNA باستخدام أشعة X وجاما وكذلك حزم إلكترونية عالية الطاقة.	تستخدم في تعقيم المركبات الدوائية، المكونات الطبية، وكذلك الخاصة بالأسنان.	ليس شائع الاستخدام في التعقيم المعتاد.
٢ - غير المتأين	إحداث أضرار للـ DNA بواسطة الأشعة فوق البنفسجية.	تطبق عمليا باستخدام مصدر للأشعة فوق البنفسجية.	الإشعاع ليست لديه قدرة كبيرة على النفاذية.

ومن الصعوبات التي تواجه استخدام هذه الطرق إمكانية الحصول على مادة كيماوية لها القدرة على قتل جميع صور الميكروبات في أقصر فترة ممكنة دون الإضرار بالجسم المعامل. وهي بذلك تشبه العوامل الفيزيائية.

وهناك مجموعة من الخصائص يجب توافرها في المادة الكيميائية المستخدمة كمطهر لمقاومة الميكروبات هي:

١ - سرعة التأثير.

٢ - ذات مدى تأثير واسع يشمل جميع الميكروبات أو أغلبها.

٣ - القدرة على التخلل داخل الجسم المعامل.

٤ - قابليتها للخلط مع الماء لتكوين محلول أو مستحلب ثابت.

٥ - لا تتأثر بالمواد العضوية التي قد تكون موجودة على المادة المراد معاملتها.

٦ - لا تتحلل وتفقد فعاليتها عند تعرضها للضوء، أو الحرارة، أو الظروف غير المناسبة.

٧ - لا تؤثر في المادة المعاملة بالصبغ أو التدمير، ... إلخ.

٨ - ليس لها تأثير ضار على الإنسان أو الحيوان إذا كانت ستستخدم كمطهر للجروح.

٩ - يستحسن أن تكون لها رائحة مقبولة واقتصادية في السعر وسهلة النقل.

أسس عمل المواد المطهرة

Principles of Disinfictants Activity

قبل اختيار أي مطهر كيميائي يجب في البداية أن تكون لدينا فكرة عن طريقة عمل هذه المادة. ومن العوامل الواجب فهمها ومعرفتها الصفات العامة للمادة، وقراءة الملصقة الموجودة على سطح العبوة لمعرفة طبيعة الدور الذي صنعت هذه المادة من أجل القيام به. ويجب معرفة التركيز المناسب لكي تعطى هذه المادة أفضل النتائج، لأن نقص التركيز قد يؤثر على فعالية المادة، وبدلا من أن يكون تأثيرها قاتلا للميكروبات Bactericidal يصبح تأثيرها مثبطا فقط Bacteriostatic. كما أن زيادة التركيز عن الحد المقبول قد يكون له تأثير ضار على الشخص الذي يستخدم هذه المادة. ويجب ملاحظة

درجة حموضة الوسط pH الذي يعمل فيه هذا المطهر، لأنه أيضا ذو تأثير على فعالية المادة المطهرة. ومن الأمور الهامة التي يجب ملاحظتها هو ضمان ملامسة المادة الكيماوية لسطح المادة المراد تعقيمها، وقد يستدعى الأمر أحيانا حك هذه المادة لإزالة طبقتها السطحية لضمان الملامسة الجيدة.

وبصفة عامة فإن المادة الكيماوية المستخدمة يجب أن تبقى ملامسة للوسط لعدة ساعات وبهذا نضمن فعالية أكبر.

إضافة إلى ذلك فإن درجة حرارة الوسط تؤدي دورا هاما في فعالية المطهر، فكلما ارتفعت درجة الحرارة زادت الفاعلية.

المعامل الفينولي Phenol Co-efficient

عرف الفينول في السابق - ولمدة طويلة - كأحد المطهرات الشائعة الاستعمال. ومن هذا المنطلق، فإنه يستخدم في الوقت الراهن كمقياس للمقارنة بين كفاءة المطهرات والمعقمات الميكروبية - مع أن هناك بعض المضادات الميكروبية لا يمكن مقارنتها بالفينول، وبالذات إذا كان تأثيرها مثبطا Bacteriostatic أو إذا تبقى تأثيرها على الجلد مدة طويلة. ومع ذلك فإن اختبار المعامل الفينولي Phenol co-efficient test يظل مستعملا على نطاق واسع لتقدير كفاءة المطهرات الكيماوية، ويستخدم لهذا الغرض ثلاثة ميكروبات اختبار هي: بكتيريا موجبة لجرام *Staphylococcus aureus*، وبكتيريا سالبة لجرام *Salmonella typhi*، وبكتيريا سالبة لصبغة جرام ومقاومة لتأثير المضادات الميكروبية *Pseudomonas aeruginosa*.

ففي بيئة المرق المغذي Broth culture - وتحت الظروف القياسية Standard condition - تعرض هذه الميكروبات الثلاثة للمادة الكيميائية المراد اختبارها لفترة محددة من الزمن، فإذا كانت المادة الكيميائية تستعمل عادة بتركيزات مرتفعة أو لمدة أطول مقارنة بالفينول، فإننا للحصول على التأثير المقارن لها فإن المعامل الفينولي لها يكون أقل من واحد، وهذا يعني أن هذه المادة الكيميائية أضعف تأثيرا من الفينول. أما إذا

كان المعامل الفينولي للمادة أكبر من واحد، فهذا يعني أن هذه المادة أقوى تأثيرا من الفينول. ولتوضيح ذلك نضرب المثل التالي:

إذا كانت المادة الكيميائية التي يرمز لها بالرمز (س) تكون فعالة تحت الظروف القياسية عند تركيز ١ : ٢٠٠، وكان الفينول على نفس الدرجة من الفاعلية عند تركيز ١ : ١٠٠، فهذا يعنى أن المادة (س) أكثر كفاءة وفاعلية من الفينول بمعامل قدره ٢٠٠/١٠٠، ولها معامل فينولي قدره ٢.

طريقة ورق الترشيح Filter Paper Method

تستعمل هذه الطريقة غالبا - في معامل التدريس للطلاب لتوضيح مدى كفاءة المطهرات الكيميائية، ويتم ذلك بغمس قطعة أسطوانية دائرية من ورق الترشيح في هذه المادة الكيماوية وتوضع على سطح طبق آجار ملقح مسبقا بأحد أنواع البكتيريا، ثم يحضن الطبق، فإذا كانت هذه المادة الكيميائية فعالة، فإنه يمكن بوضوح ملاحظة منطقة رائقة (خالية من النمو البكتيري) حول الأسطوانة الورقية ناتجة عن تثبيط نمو الميكروبات في هذه المنطقة بواسطة المادة الكيماوية، وتسمى هذه المنطقة Inhibition zone.

الباب الثاني

موقع الأحياء الدقيقة في النظام الحيوي للكون وأقسامها المختلفة

Taxonomic Systems and Different Divisions Microorganisms

- أسس تقسيم الأحياء الدقيقة وتعريفها والنظم التقسيمية الحديثة
- الأوليات
- الطحالب
- الفيروسات
- الفطريات
- البكتريا

الفصل الخامس

أسس تقسيم الأحياء الدقيقة وتعريفها والنظم التقسيمية الحديثة

Principles Classification and Identification of Microorganisms and Modern Taxonomic Systems

• الصفات المشتركة للكائنات الحية • الخلية وصفاتها العامة • أنواع النظم الخلوية • الأقسام الرئيسية للكائنات الحية • مملكة البروتستا (الطلائعيات) • النظم التقسيمية الحديثة للكائنات الحية

بعد أن هدأت الضجة التي أثيرت عقب اكتشاف الكائنات الحية الدقيقة، واستقرت فكرة وجود هذه الكائنات معنا على هذا الكوكب - كحقيقة لا تقبل الجدل - بدأ العلماء والمهتمون بعلوم الأحياء بدراسة الجوانب المختلفة لهذه الأحياء الجديدة من ناحية الشكل والتركيب والنشاط البيولوجي والفسيولوجي، إضافة إلي دراسة علاقتها بالكائنات الأخرى التي تعيش على هذا الكوكب (الإنسان، والحيوان، والنبات)، والتأثير المتبادل بين مختلف هذه الكائنات. وقد كان من الطبيعي أن تتجه أنظار العلماء أول ما تتجه إلي محاولة وضع هذه الكائنات الجديدة في موضعها من النظام الحيوي الموجود آنذاك. أي بعبارة أخرى هل هذه الكائنات حيوانات صغيرة أم نباتات صغيرة؟ وقد قسمت فعلا الكائنات الحية الدقيقة بين المملكة النباتية والمملكة الحيوانية، واعتمد

هذا التقسيم على بعض الصفات الظاهرية العامة للكائن مثل الحركة النشيطة ووجود الكلوروفيل (اللون الأخضر)، بحيث كانت توضع تلك الكائنات التي تتحرك حركة نشيطة ضمن المملكة الحيوانية، وتلك المحتوية على مادة الكلوروفيل وتقوم بالبناء الضوئي ضمن المملكة النباتية، وكان هذا أقصى ما يمكن أن يتحقق في تلك الفترة، قياسا بوسائل البحث العلمي المتوافرة والتي لم تكن لتمكنهم من النظر لأبعد من هذه الصفات.

ووفق هذه النظرة فقد تم - على سبيل المثال - وضع الطحالب والفطريات ضمن المملكة النباتية، واليوجلينا ضمن المملكة الحيوانية، ... إلخ.

غير أنه بتقدم وسائل البحث العلمي المتاحة للعلماء وزيادة المعلومات المتوافرة لدينا عن هذه الكائنات على المستوى الخلوي والنووي، بدا جليا أن التقسيم وفق صفة الحركة ووجود الكلوروفيل لا يؤدى الغرض المنشود، نظرا لأنه أتضح أن هناك عديدا من هذه الكائنات الدقيقة تضم كلتا الصفتين السابقتين (الحركة، ووجود الكلوروفيل)، إضافة إلي تداخل العديد من الصفات الأخرى.

فاليوجلينا مثلا تتحرك حركة نشيطة بالأسواط، كما تحتوي على كلوروفيل يساعدها على القيام بعملية البناء الضوئي. فهل هي حيوان أم نبات؟

والطحالب تحتوي على الكلوروفيل كما أن بعضها يخزن النشا على هيئة جلايكوجين وهذه صفه حيوانية... إذن أين نضعها؟ وقس على ذلك كثير.

وإزاء هذه البلبلة التي نشأت، اقترح بعض العلماء استحداث مملكة جديدة خاصة بالأحياء الدقيقة توضع ضمنها جميع الكائنات الحية الدقيقة التي اكُتشفت عقب صنع المجهر. وقد كان هذا حلا وسطا مع أنه لا يعني وجود أي علاقة تقسيمية محددة بين جميع هذه الكائنات كما هو الحال عندما نقول (المملكة الحيوانية) أو (المملكة النباتية) مثلا، والذي يعني أن الكائنات التي تتبع أيا من المملكتين تتمتع بصفات تركيبية ووظائفية مشتركة.

الصفات المشتركة للكائنات الحية

Common Features of Living Organisms

مع أن النباتات والحيوانات والبكتريا جميعها كائنات عضوية حية فإن الصفات الظاهرية العامة لها لا تُنبئ عن وجود أي علاقة أو صفات مشتركة بينها، غير أنه ومع بداية فترة البحث العلمي الدقيق والتي مكنَت الإنسان من دراسة هذه الكائنات على المستوى الخلوي والتركيب الكيميائى لها، بدا واضحا أن هناك عديدا من الصفات المشتركة الأساسية لجميع الكائنات، وأن الاختلافات الظاهرية (المورفولوجية) الواضحة ما هي إلا نتاج عمليات التطور الذي شهدته هذه الكائنات على امتداد تاريخها الطويل لمواءمة التغيرات الحادة في الظروف البيئية والمعيشية على هذا الكوكب. ولتبسيط الأمر فإننا نوجز أوجه التشابه المشتركة بين مختلف الكائنات الحية في ثلاث نقاط:

• **تشابه التركيب الكيميائى الأساسي**: حيث تحتوي جميع الكائنات على ثلاثة أنواع من الجزيئات الضخمة المعقدة من المواد العضوية، وهي البروتينات، والـ DNA، والـ RNA.

١ - حيث تشكل الـ DNA تلك المادة الوراثية التي تملك تحديد مختلف صفات الكائن الحي.

٢ - بينما يقوم RNA بتحويل هذه الصفات التي يحملها الـ DNA إلى واقع فعلى في صورة تراكيب بروتينية.

٣ - البروتينات توجد في صورة إنزيمات تؤدي دور القوى المساعدة في مختلف التفاعلات الكيميائية داخل الخلية الحية.

• **تشابه في عمليات الأيض**: حيث تقدم جميع الكائنات الحية نشاطات كيميائية داخلية متشابهة تعرف باسم عمليات الأيض Metabolism مع أنه توجد اختلافات في التفاصيل والنواتج الدقيقة لهذه العمليات بين مختلف مجاميع الكائنات الحية، فإن جميع هذه الكائنات تشترك في الأسس الرئيسية لعمليات الأيض وهي تخليق

Synthesize اللبنات الأساسية للكائنات الحية من جزئيات كيميائية خارجية بسيطة، وإنتاج الطاقة اللازمة لهذه العمليات، وبالنظر إلي مختلف الكائنات الحية في ضوء هذا التشابه في عمليات الأيض فإننا نستطيع، وبثقة أكبر، أن نغلب أوجه التشابه على أوجه الاختلاف بينها.

• **تشابه في البناء المجهري:** حيث تشترك الكائنات الحية في طبيعة البناء المجهري لأجسامها، حيث تتكون جميعها من وحدات بناء صغيرة تعرف باسم الخلية Cell.

وتنطبق المواصفات المذكورة أعلاه على جميع صور الحياة الموجودة على كوكبنا هذا، باستثناء الفيروسات، والتي تتمتع بطبيعة خاصة (غير خلوية) سنتطرق لها بالتفصيل في باب مستقل.

الخلية وصفاتها العامة

General Features of Living Cell

تتكون الخلية من منطقة وسطية تحمل الصفات الوراثية للكائن تسمى النواة، ويحيط بها سائل نووي يسمى السيتوبلازم. وتحتوي النواة على الحمض النووي المعروف باسم DNA والذي يحمل مختلف الصفات الوراثية للكائن الحي، ويوجه مختلف العمليات الكيميائية الخاصة بتخليق مكونات الخلية، ويحتوى السيتوبلازم على أغلب الحمض النووي RNA وبروتين الخلية. ويحاط السيتوبلازم من الخارج بغلاف يسمى الغشاء السيتوبلازمى Cytoplasmic membrane، ويتكون هذا الغشاء من خليط من المواد البروتينية والدهون، ويعمل كحاجز شبه منفذ يسمح بمرور جزيئات العناصر الغذائية من الوسط الذي تعيش فيه الخلية إلى داخلها، وبخروج الفضلات الناتجة من عمليات الأيض. بينما تظل داخل الخلية تلك الجزيئات الضرورية لمختلف الفعاليات الحيوية للخلية.

ويشكل الغشاء السيتوبلازمى الحاجز الوحيد الذي يحيط بمكونات الخلية، كما هو الحال بالنسبة للحيوانات وأغلب الأحياء الدقيقة. بعكس الحال في النبات وأنواع

معينة من الأحياء الدقيقة حيث يحاط هذا الغشاء من الخارج بتكوين أكثر صلابة وتركيب كيميائي مختلف يعرف باسم الجدار الخلوي. ونظرا لأن الجدار الخلوي ليست له الخاصية الغشائية كتلك الموجودة في الغشاء السيتوبلازمى فإنه لا يؤدي دورا في عملية انتقال الجزيئات من وإلي داخل الخلية. ويؤدي الجدار الخلوي دورا وقائيا للخلية ضد المؤثرات الميكانيكية، كما أنه يقيها من الانفجار الأسموزى عند وضعها في محلول مائي نتيجة لدخول كميات كبيرة من الماء إلى داخل الخلية خلال الغشاء السيتوبلازمى شبه المنفذ.

أنواع النظم الخلوية Types of Cellular Organization

تعتبر الكائنات الوحيدة الخلية من أبسط صور الحياة على وجه الأرض، حيث يتكون الكائن من خلية واحدة تقوم بجميع أنشطة الحياة التي يمارسها الكائن الراقي. ونظرا لأن الخلية ذات أبعاد مجهرية صغيرة، فقدكان من الطبيعي أن تكون هذه الكائنات الوحيدة الخلية ذات أبعاد مجهرية، ولذلك فإنه يطلق عليها اسم الكائنات الحية الدقيقة. ويقع ضمن هذه المجموعة كل من البكتيريا، والأوليات وبعض الطحالب، وبعض الفطريات. ومع أن هذه الكائنات تشترك في الصفة الأساسية لكونها وحيدة الخلية فإن هناك العديد من الاختلافات من حيث الحجم والتركيب الداخلي للخلية والشكل العام.

وفي المقابل هناك صور أخرى للحياة يتكون فيها الكائن الحي من خلايا عديدة يرتبط بعضها مع بعض بصور معينة، هي التي تعطى الشكل العام لهذا الكائن الذي يميزه عن غيره. وقد تكون هذه الصور العديدة الخلايا أيضا مكونة من سلسلة من الخلايا مرتبطة بعضها مع بعض في صورة خيط طويل عرضه يتكون من خلية واحدة، وبالتالي فإنه يقع ضمن مجموعة الكائنات الحية الدقيقة، نظرا لأن هذه التجمعات ليست على درجة كبيرة من التعقيد. وفي أحيان أخرى عندما تكون أعداد الخلايا والتي

يتكون منها الكائن الحي كبيرة جدا، فإنها تكسبه نوعا من التعقيد في التركيب والأداء ناتج عن الطريقة التي ترتبط بها هذه الخلايا ببعضها. ومن الأمثلة الواضحة على هذه الصورة من صور الكائنات عديدة الخلايا، بعض أنواع الطحالب، مثل الطحالب البحرية، التي تتميز بتركيب يشبه الأشكال النباتية ولكنه مجهري الحجم. غير أن الفحص المجهري لهذه الكائنات أظهر أنها تتمتع بقدر يسير جدا من التخصص في أداء وظائفها الحيوية (أحيانا ينعدم هذا التخصص).

وننتقل إلي صور أخرى أكثر تعقيدا من صور الحياة عديدة الخلايا، وهي تلك الموجودة في الكائنات الحية الراقية نباتية وحيوانية، وهي التي تتميز بوضوح أنواع مختلفة من الأنسجة تختلف في نوع الخلايا التي تتكون منها، كما أن أنواعا مختلفة من الأنسجة المكونة لهذه الكائنات قد يتحد بعضها مع بعض مكونة تكوينات اكثر تعقيدا وتخصصا تسمى أعضاء Organs.

وفي بعض أنواع الكائنات الحية تتجلى بوضوح صورة أخرى من صور النظم الخلوية تسمى المدمج الخلوي Coenocytic structure. ويخالف هذا التنظيم التركيب الخلوي المعتاد، فالمعروف بأن الخلية تتكون - كما أسلفنا - من تركيب نووي محاط بسيتوبلازم محاط بدوره بغشاء سيتوبلازمى، ومن ثم جدار خلوى. على خلاف ذلك فإن المدمج الخلوي هو مدمج من مادة سيتوبلازمية كبيرة تحتوى على العديد من الأنوية، لا يفصل بينها أي حاجز، وتحاط جميعها بجدار خلوي واحد.

غير أن الدراسات أثبتت أن الكائنات المتميزة بهذا النظام التركيبي الخلوي تكون في بعض فترات حياتها ذات تراكيب خلوية معتادة (ذات نواة واحدة)، وأنها في بعض مراحل حياتها تتحول إلي هذا التركيب. وتعتبر طريقة التطور البلازمودي Plasmodial development أحد المسالك التي تسلكها الكائنات لكي تتحول إلى التركيب ذي المدمج الخلوي، ويتجلى هذا بوضوح في الفطريات اللزجة Slime molds، التي تبدأ دورة حياتها وهي ذات خلية واحدة ولكن بدلا من أن تتكاثر بالانقسام الثنائي المتعارف عليه، فإنها تزداد فقط في الحجم بحيث تتميز الخلية وتتحول إلى كتلة سيتوبلازمية

كبيرة، وتنقسم النواة عدة انقسامات تنتشر في وسط هذه الكتلة السيتوبلازمية دون أن تنشأ أي حواجز عرضية. وهناك أمثلة مشابهة لذلك في بعض الفطريات الحقيقية والطحالب البحرية.

الأقسام الرئيسية للكائنات الحية
The Major Divisions of Living World

لقد عرف الإنسان منذ الأزل أن هذا الكوكب يضم على سطحه نوعين من الكائنات هما النباتات والحيوانات. ثم أتى العلماء المشتغلون في حقل الأحياء وأعطوا هذه الحقيقة البديهية صيغة علمية، ووصفوا مملكتين إحداهما سميت المملكة النباتية، والأخرى المملكة الحيوانية، وقسمت جميع الكائنات المعروفة بين هاتين المملكتين. وقد بدا واضحا أن هذا التقسيم لا يشكل أي عقبة عندما يتعلق الأمر بتلك الكائنات الراقية، نظرا لوجود اختلافات تشريحية ووظيفية واضحة جدا بينهما.

ومع بداية عهد اكتشاف الأحياء الدقيقة لجأ العلماء إلي توزيع هذه الكائنات بين المملكتين المعروفتين (النباتية، والحيوانية)، وذلك استنادا إلى بعض الصفات الظاهرية الواضحة مثل الحركة النشيطة والقدرة على القيام بعملية البناء الضوئي. فمثلا وضعت الطحالب ضمن المملكة النباتية لاحتوائها على الكلوروفيل وعدم قدرتها على الحركة، ووضعت الفطريات ضمن المملكة النباتية استنادا إلى عدم حركتها، بينما وضعت جميع الكائنات الدقيقة المتحركة ضمن المملكة الحيوانية Infusoria. وبعد فترة من الزمن، شهدت تطورا وزيادة في المعرفة عن الطبيعة الخلوية للكائنات الحية، بدا واضحا وجليا أن هناك اختلافات عديدة بين الكائنات الدقيقة التي أدرجت ضمن المملكة الحيوانية Infusoria، يجعلها تبدو كمجموعة متباينة وغير متجانسة لحد كبير. فمن حيث الحجم يمكن تقسيمها إلي مجموعتين، البروتوزوا Protozoa وحيدة الخلية والتي تتميز بخلايا كثيرة معقدة التركيب، بعكس البكتيريا Bacteria التي تتميز بخلايا صغيرة بسيطة التركيب.

كما أن الدراسات أثبتت فيما بعد أن معاملة البروتوزوا كمجموعة واحدة متجانسة من وحيدات الخلية تقودنا إلى كثير من الصعاب. فمثلا وجد أن بعض أنواع البروتوزوا مثل الأميبا والسوطيات تتميز ببعض الصفات التي تجعل وضعها ضمن المملكة الحيوانية أمرا طبيعيا، مثل عدم وجود الجدار الخلوي، ومثل طبيعة التغذية بها Phagotrophic، وذلك بعكس بقية أفراد الأوليات (البروتوزوا) التي لا تتميز بهذه الصفات. ومن ذلك أن بعض أفراد البروتوزوا لا يربطها بعالم الحيوان سوى الحركة النشيطة (السوطيات) إذ أن بعضها يملك جدارا خلويا (وهذه صفة ليست حيوانية) بخلاف بعضها الآخر.

ومن حيث التغذية فإن بعضها يتغذى تغذية حيوانية Phagotorphic، والبعض الآخر يتغذى بواسطة البناء الضوئي، ومجموعة أخرى تحصل على غذائها عن طريق الانتشار الغشائي للعناصر الغذائية الذائبة في المحلول. ومن هذا يتضح جليا أن هذه المجموعة من الأحياء الدقيقة (البروتوزوا) تضم - في بعض أنواعها - كلا من الصفات الحيوانية والنباتية. فمثلا وجد أن بعض السوطيات عديدة الخلايا، التي تقوم بالبناء الضوئي تشبه إلي حد كبير بعض الطحالب عديدة الخلايا غير المتحركة.

وهناك مجموعة أخرى من البروتوزوا هي الفطريات اللزجة Slime molds تأخذ في طورها الخضري شكلا أميبيا، وتتغذى تغذية حيوانية Phototrophic. غير أنها تستطيع في مرحلة أخرى من مراحل حياتها أن تكون أجساما ثمرية جنسية معقدة تشبه ما هو موجود في الفطريات الحقيقية، وهذا يضعنا في حيرة! هل نضع الفطريات اللزجة ضمن مجموعة الفطريات في المملكة النباتية أم ضمن مجموعة البروتوزوا في المملكة الحيوانية؟

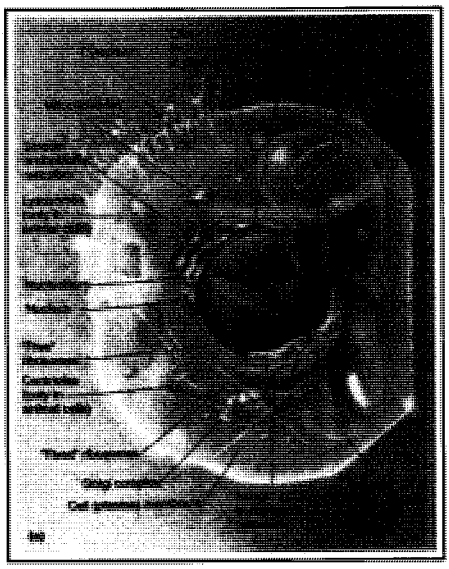
وفي ضوء ما سبق، وبزيادة المعلومات المتوافرة لدينا نتيجة تطور وسائل البحث العلمي أصبح واضحا وجليا أن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة بين المملكتين الحيوانية والنباتية تبقى كما هي أمر غير منطقي.

مملكة البروتستا (الطلائعيات) Protista

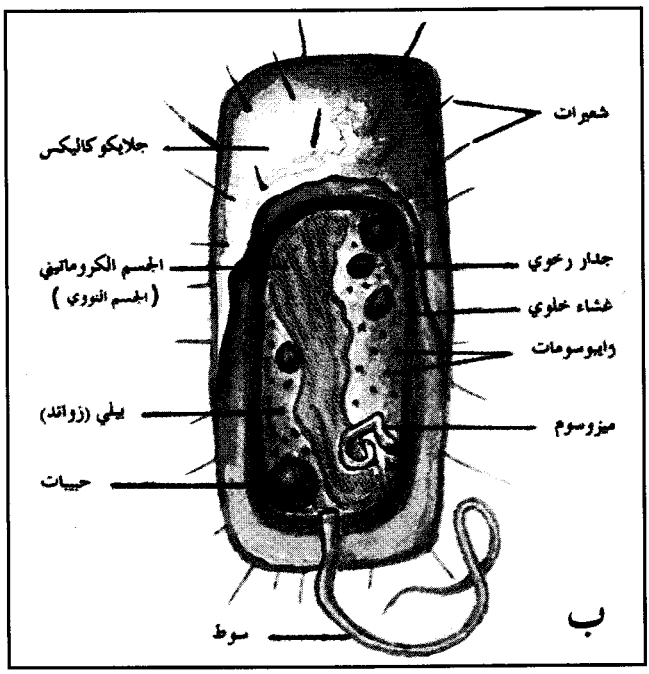
كنتيجة طبيعية للجدل وعدم الرضا الناشئ حول وضع الكائنات الدقيقة في النظام التقسيمي للكائنات الحية، ونتيجة للفهم الواضح لأسباب هذا الجدل، فقد اقترح العالم E.H. Haeckle عام ١٨٦٦م استحداث مملكة جديدة إضافة إلى المملكتين الحيوانية والنباتية تسمى مملكة Protista، يوضع تحتها جميع الكائنات الحية الدقيقة التي اكتشفت حديثا (الطحالب، والبروتوزوا، والفطريات، والبكتيريا). وبنظرة سريعة إلى هذه الكائنات التي أدرجت تحت هذه المملكة يتضح لنا مدى التفاوت الكبير بين خصائصها. فهي تضم كائنات تمثيلية Photosynthetic وكائنات غير تمثيلية Non-phototosynthetic، بعضها حيوانية المعيشة، وبعضها نباتية، وبعضها قد يتمتع بكلتا الصفتين الحيوانية والنباتية. ويلاحظ أن أغلب الكائنات الحية الدقيقة إما أن تكون وحيدة الخلية أو تكون مدمجا خلويا Co-enocytic، ومع أن بعضها عديد الخلايا (الطحالب الكبيرة) فإنها لا تتمتع بذلك التمييز الداخلي إلى أنسجة وأعضاء كما هو الحال في الكائنات الراقية.

الأقسام الرئيسية لمملكة البروتستا Protista

على امتداد الثلاثين سنة الماضية، والتحسينات والتطويرات التي أدخلت على المجهر الإلكتروني كوسيلة فعالة لدراسة واستكشاف أسرار التركيب الخلوي للكائنات الحية، بدا واضحا أنه يمكن التمييز بين نوعين مختلفين من الخلايا. النوع الأكثر تطورا أو تميزا، والذي يكون لبنات البناء للحيوانات والنبات والفطريات والبروتوزوا وبعض الطحالب ويطلق عليها اسم Eucaryotic (الشكل رقم ١٦-أ). والنوع الآخر من الخلايا هو ذلك النوع البدائي والأقل تميزا والذي يوجد في البكتيريا والبكتريا الزرقاء، ويطلق عليها اسم Procaryotic (الشكل رقم ١٦-ب). وفي ضوء هذا الواقع الجديد فقد لجأ العلماء إلى تقسيم مملكة البروتستا إلى مجموعتين هما مجموعة الـ Procaryotic، ومجموعة الـ Eucaryotic، وكل من هاتين المجموعتين يتميز بعدد من الصفات يمكن إيجازها في الجدول رقم (٦).



أ



الشكل رقم (١٦). أ) التركيب التفصيلي لخلية من مجموعة **Eucaryotic**.

ب) التركيب التفصيلي لخلية من مجموعة **Procaryotic**.

(عن: Mckane and Kandel, 1996)

الجدول رقم (٦). مقارنة بين بعض خصائص مجموعة الـ Procaryotic ومجموعة Eucaryotic.

وجه المقارنة	Eucaryotic	Procaryotic
التركيب الوراثي:		
عدد الكروموسومات	>١	١
الانقسام الميتوزي (الاختزالي)	+	-
غلاف نووي	+	-
DNA مرتبط بالهستون	+	-
DNA عضوي	+	-
التركيب السيتوبلازمي:		
الميتاكوندريا	+	-
بلاستيدات	+ أو -	-
أجسام جولجى	+	-
Pinocytosis	+ أو -	-
Phagocytosis	+ أو -	-
الحركة الأميبية	+ أو -	-
حركة السيتوبلازم	+ أو -	-

وقد ضمت مجموعة الكائنات البدائية Procaryotic كلا من البكتيريا والبكتريا الزرقاء، بينما أدمج تحت الكائنات الراقية ذات الخلايا المتطورة كل من البروتوزوا، وبعض أنواع الطحالب والفطريات.

ونظرا لأن الفيروسات ليست ذات تركيب خلوى، فإنها لم توضع ضمن أي من المجموعتين السابقتين.

إن الاختلافات الأساسية والتركيبية والوظيفية المتعددة بين هذه التراكيب الخلوية التي تم توضيحها أعلاه لم تحظ بالفهم والاهتمام الكافي إلا في السنين الأخيرة. فقد أصبح واضحا الآن أن الفجوة البيولوجية التي تفصل بين كل من البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة وبين بقية الكائنات الحية الدقيقة تمثل مرحلة انقطاع هامة في الخطوط التطورية بالنسبة للنظام الحيوي الموجود الآن على هذا الكوكب، فمثلا لوحظ أن

الوظائف الحيوية الطبيعية للخلية في هذه المجموعات الميكروبية مثل عمليات الأيض، والتنفس، والنمو، والبناء الضوئي، والحركة، ... إلخ، تعتمد على أسس ميكانيكية فريدة، أبسط بمراحل من تلك الموجودة في بقية الكائنات الحية.

وقد أثارت هذه الحقيقة عددا من الأسئلة المهمة:

فمثلا هل تمثل خلايا الـ Procaryotic الموجودة في البكتيريا والبكتريا الزرقاء مرحلة تطورية بدائية تعود إلى المرحلة الأكثر تعقيدا وتطورا في خلايا الـ Eucaryotic أم إنها تمثل مرحلة تطورية ذات منشأ مستقل. إن اكتشاف الحمض النووي DNA والريبوسومات (70S) في الميتوكوندريا والبلاستيدات أعطى مؤشرات قوية على أن هذه الأعضاء (ميتوكوندريا، والبلاستيدات) قد تكون لها أصول نشأت منها، مختلفة كلية عن بقية مكونات خلايا الـ Eucaryotic، ويقودنا هذا إلى الاعتقاد بأن هذه الأعضاء نشأت من كائنات بدائية Procaryotic مستقلة كانت تعيش معيشة تكافلية داخلية مع بعض الكائنات الأكثر رقيا، وبمرور الزمن تطورت هذه العلاقة التكافلية الداخلية وأصبحت أكثر تداخلا لدرجة أن الكائنات البدائية فقدت قدرتها على المعيشة المستقلة وأصبحت جزءا من مكونات الكائن الآخر الراقي.

النظم التقسيمية الحديثة للكائنات الحية

Modern Taxonomic Systems of Living Organisms

بما أن الغرض من عملية التقسيم هو وصف علاقة القربى بين الكائنات الحية وتحديد مدى الاختلافات فيما بينها تمهيدا لوضعها في مجموعات متشابهة في مستويات متدرجة تبعا لدرجات التشابه والاختلاف، حيث توضع المجموعات الأكثر تشابها في مستوى معين. وبناء على ذلك فقد كانت النظم التقسيمية غير ثابتة لفترات طويلة. فمع تقدم وسائل البحث العلمي المتاحة وغزارة المعلومات المتوافرة لدينا عن طبيعة هذه الكائنات الحية وتركيبها، كان من الطبيعي أن تظهر بين فترة وأخرى نظم تقسيمية جديدة استنادا إلى المعلومات الحديثة المتوافرة.

وبصفة عامة تقسم الكائنات الحية استنادا إلى الصفات التالية :

١ - الشكل العام (مثل الحجم، والشكل، واللون، ... إلخ).

٢ - الصفات التشريحية (مثل الترتيب الخلوي، والجدار، والتجرثم، ... إلخ).

٣ الصفات الدقيقة (مثل صور المجهر الإلكتروني للتركيب الداخلي الدقيق للخلايا).

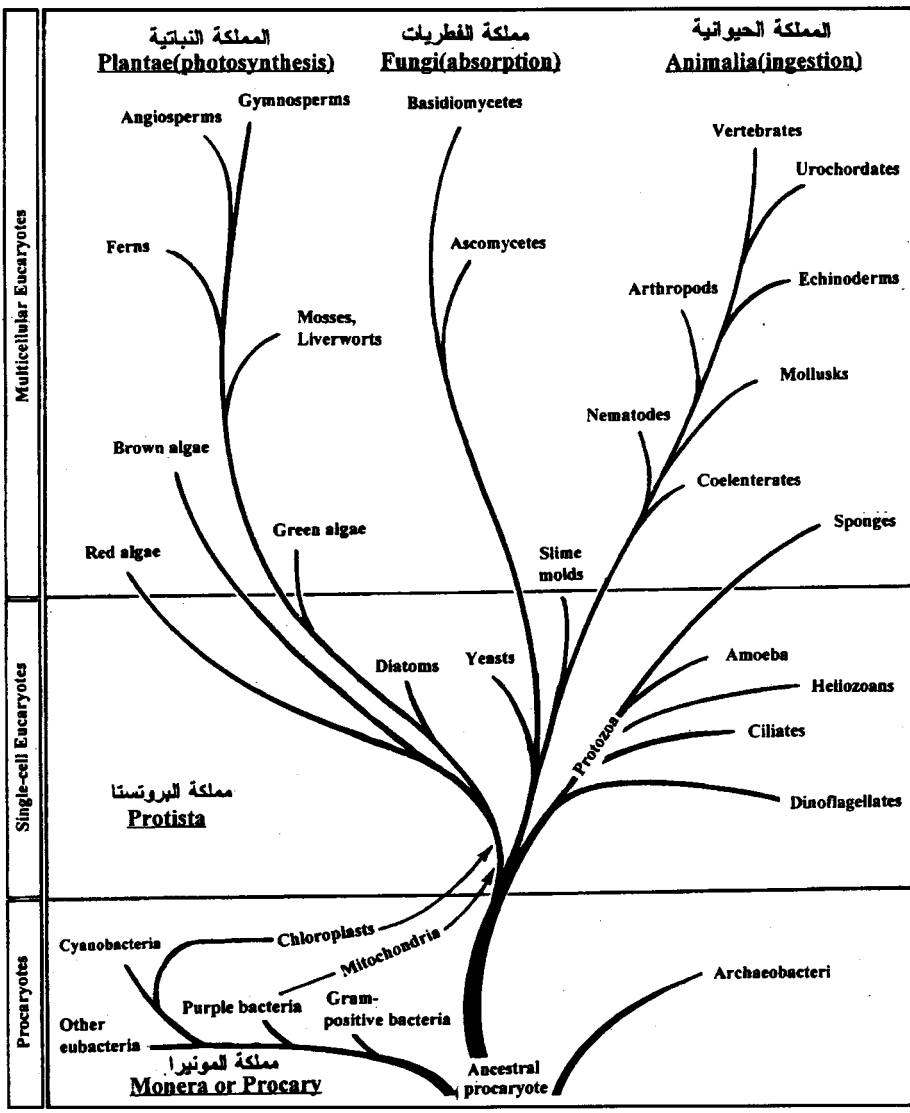
٤ - الخصائص البيوكيميائية.

٥ - الصفات الوراثية (مثل تركيب الحموض النووية rRNA).

ومن أشهر النظم التقسيمية المستخدمة - التي أستمر العلماء في الاعتماد عليها لفترات طويلة - التقسيم الذي وضعه العالم H.R.Whittaker عام ١٩٦٩م (الشكل رقم ١٧)، والذي يتكون من خمس ممالك، استنادا إلى طبيعة التركيب الخلوي لها. فالبكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة (البكتريا الزرقاء) وضعت ضمن مملكة تسمى مملكة المونيرا MONERA، وتتميز بخلايا بدائية وبعدم وجود نواة متميزة Procaryotic.

وتشير الدراسات التي أجريت على بعض الخلايا أن هذه المجموعة وجدت على وجه الكرة الأرضية منذ ما يزيد عن ٣٥٠٠ مليون سنة.

الكائنات الأكثر رقيا، والتي تتكون من خلايا أكثر رقيا لها أنويه متميزة تحاط بغشاء نووي لفصلها عن بقية أجزاء الخلية Eucaryotic، والتي تدل الدراسات على أنها نشأت منذ حوالي ١٤٠٠ مليون عام، هذه بدورها تضم أربع ممالك استنادا إلي مسار تطورها، وتركيب أنسجتها، وأسلوب تغذيتها، وحركتها. حيث تضم مملكة البروتستا Protista، والتي تشمل الفطريات اللزجة Slime mold، والأوليات (البروتوزوا Protozoa)، وبعض أنواع الطحالب (عدا الخضراء، والخضراء المزرقة)، وهي كائنات وحيدة الخلية في غالبيتها، ومملكة النبات Plantae، ومملكة الحيوان Animals، ومملكة الفطريات Fungi.



الشكل رقم (١٧). تقسيم ويتكر ذو الخمس ممالك ومسار نشأة الكائنات التابعة لها.

(عن : Presecot, *et al.* 1996)

وهذه ثلاث ممالك تميزها أنوية راقية متميزة، وفي غالبها عديدة الخلايا:

١ - المملكة النباتية Plantae: وهي عبارة عن كائنات عديدة الخلايا متميزة النواة تضم بعض أنواع الطحالب، الأشنات، Ferns, Conifers, mosses والنباتات المزهرة. وتعتمد هذه المجموعة فى تغذيتها على عملية البناء الضوئي.

٢ - المملكة الحيوانية Animalia: وهي كائنات راقية النواة عديدة الخلايا تشمل الإسفنج، والديدان، والحشرات، والفقريات. وتحصل هذه المجموعة على غذائها بواسطة فم يلتهم المواد العضوية من الخارج.

٣ - مملكة الفطريات Fungi: وتضم كائنات ذات نواة راقية متميزة بعضها وحيد الخلية مثل الخمائر، وبعضها عديد الخلايا مثل الأعفان Molds. ومنها ما هو كبير الحجم يمكن مشاهدته بالعين المجردة مثل المشروم، وتحصل على غذائها بواسطة امتصاص العناصر الذائبة فى الوسط الذي تعيش فيه من خلال غشاء الخيوط الفطرية المسماة Hyphae.

ويلاحظ من هذا التقسيم أن الكائنات الحية الدقيقة التي هي مجال اهتمامنا في هذا الكتاب تنتشر في ثلاث ممالك هي المونيرا Monera، البروتستا Protista، ومملكة الفطريات Fungi.

وفي مراحل لاحقة، وبمعرفة المزيد عن الصفات والخصائص الوراثية للكائنات الحية، بدأ تقسيم ويتيكر يفقد القبول في أوساط بعض العاملين في مجال الميكروبيولوجي بسبب العوامل التالية:

١ - عدم وجود حد فاصل واضح بين مجموعتي الـ Eubacteria, Archeobacteria..

٢ مملكة البروتستا Protista تعتبر شديدة التنوع والاختلاف، لدرجة لا يمكن اعتبارها مفيدة تقسيميا.

٣ - حدود الممالك الثلاث (النباتية - الفطريات - البروتستا) غير واضحة المعالم، أي أن هناك تداخلا في الوضع التقسيمي لبعض الكائنات.

ونتيجة للعوامل السابقة، تم اقتراح عدد من البدائل التقسيمية (Prescott, *et al.* 1996) منها:

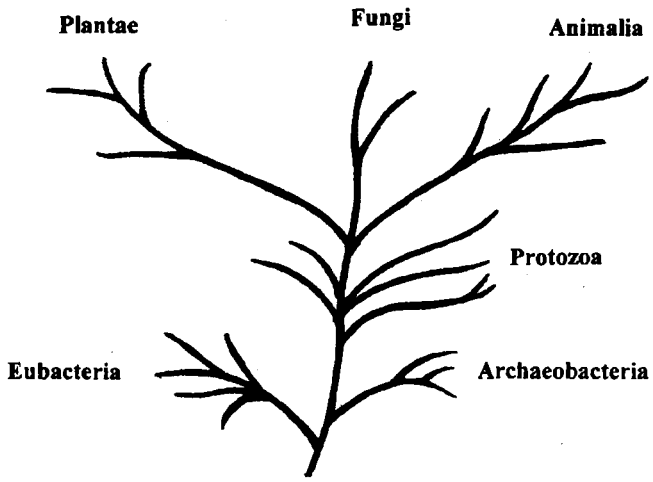
أولا: التقسيم ذو الست ممالك: والذي فصلت فيه مملكة المونيرا Monera إلى مملكتين (الشكل رقم ١٨أ) هما مملكة Eubacteria ومملكة Archeobacteria، وبقيت الممالك الأربعة الأخرى (النباتية، والحيوانية، والفطريات، وبروتستا) كما هي.

ثانيا: التقسيم ذو الثماني ممالك: والذي اقترحه Smith-Cavalier عام ١٩٨٧م (الشكل رقم ١٨ب)، باستخدام خصائص التركيب الدقيق للخلايا Ultrastructureal chorastorestics، مثل تركيب الـ rRNA وبعض الصفات الوراثية الأخرى لتحديد صلات القربى والاختلاف بين الكائنات. وعليه تم تقسيم الكائنات الحية إلى إمبراطورتين وثماني ممالك. الإمبراطورية الأولى، امبراطورية البكتريا، وتضم مملكتين هما: Archeobacteria & Eubacteria. والإمبراطورية الثانية، إمبراطورية الكائنات ذات النواة الحقيقية Eucaryota، وتضم ست ممالك ذات خلايا عديدة ونواة متطورة وهي: المملكة الحيوانية، والمملكة النباتية، ومملكة الفطريات، ومملكة البروتستا، ومملكة الأوليات، ومملكة أرشيزوا Archezoa.

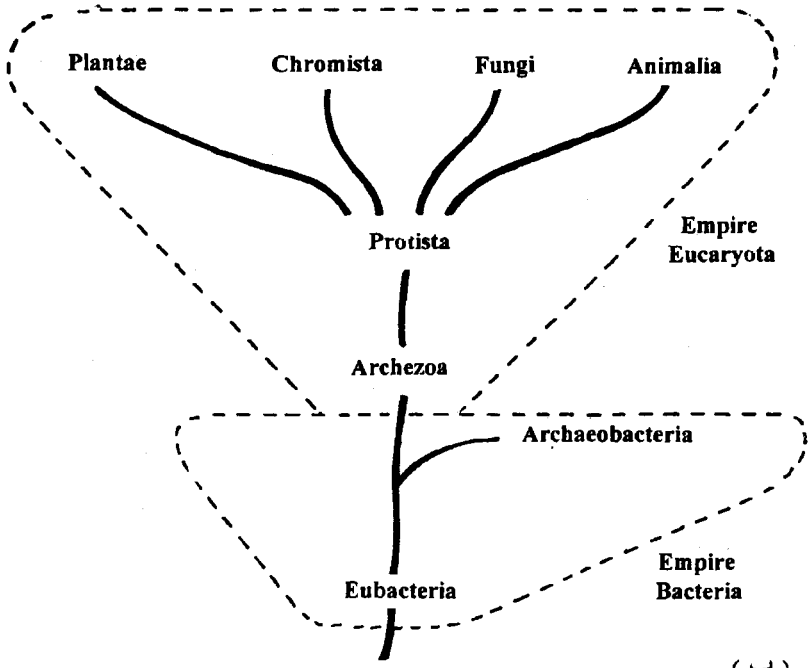
ويلاحظ إضافة مملكتين جديدتين إلى هذا التقسيم هما:

مملكة أرشيزوا Archezoa: وتضم كائنات وحيدة الخلية من مجموعة Eucaryotic، التي يفتقر تركيبها إلى أجسام جولجي، والكلوروبلاست، والميتوكوندريا، Peroxisones (وهي أغشية تحت مجهرية تحتوي بداخلها على حبيبات، وتؤدى دورا في عملية التنفس في النباتات).

مملكة كرومستا Chromista: وتضم بالدرجة الأولى الكائنات التمثيلية Photosynthetic التي تكون البلاستيدات فيها داخل صفائح الشبكة الإندوبلازمية بدلا من انتشارها في السيتوبلازم (كما هو الحال في المملكة النباتية)، وتضم الدياتومات والطحالب البنية والفطريات البيضية Oomycetes ومجموعة Cryptomonads.



(أ)



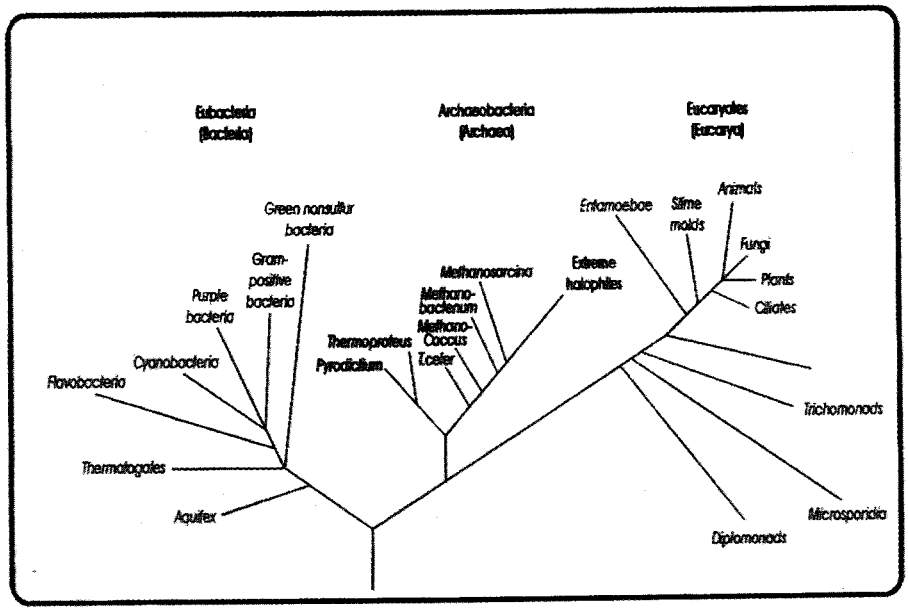
(ب)

الشكل رقم (١٨). أ) التقسيم ذو الست ممالك للكائنات الحية.
ب) التقسيم ذو الثماني ممالك للكائنات الحية.

(عن : Prescott, et al. 1996)

كما أجريت بعض التعديلات على الممالك الأربع الأخرى (النباتية، والحيوانية، والأوليات، والفطريات) لجعلها أكثر تجانسا وتمييزها بعضها عن بعض.

ثالثا: تقسيم العالم Carl Woese وأخرون عام ١٩٩٠م: حيث قسمت فيه الكائنات تحت ثلاث إمبراطوريات، أطلق عليها اسم Domains، هي: Eubacteria (bacteria)، Archeobacteria (Archaea)، Eucaryotes (Eucaya). وذلك إستنادا إلى مزيد من الصفات الوراثية والبيوكيميائية (الشكل رقم ١٨ج).



الشكل رقم (١٨ج). تقسيم الكائنات الحية استنادا إلى تركيب الريبو سومال RNA (rRNA) وضعه العالمان G.J.Olsen and C.R.Woese

(عن المصدر: Preseott,et al.1996)

رابعا: التقسيم الذي وضعه العالمان Patterson, Sogin عام ١٩٩٢م: وقد وضعت فيه الكائنات الحية تحت مجموعتين رئيسيتين:

١ - مجموعة Procaryota: وتضم مملكتين هما: مملكة Bacteria، ومملكة Archeobacteria.

٢ - مجموعة Eucayota: وتضم خمسة ممالك هي: Planta, Eanycota, Animalia, Chromista, Protozoa.

وبصفة عامة فإن النظم التقسيمية المذكورة أعلاه تمثل أحدث ما توصل إليه علماء التقسيم في هذا المجال حتى الوقت الراهن. غير أن المجال لا يزال مفتوحا لمزيد من الاجتهادات، وبالتالي ظهور نظم تقسيمية جديدة استنادا إلى ما يظهر من معلومات إضافية عن الصفات الوراثية الدقيقة لهذه الكائنات.

وسنتطرق في الفصول القادمة إلى كل مجموعة من مجموعات الأحياء الدقيقة بنوع من التفصيل يشمل الشكل العام والتركيب والنشاط البيولوجي والفسيولوجي. وتتفاوت درجة التفصيل تبعا لمدى أهمية هذه الكائنات من الناحية الزراعية والتي تهمنا بالدرجة الأولى.

النشاط الزراعي والبيئي للأحياء الدقيقة

كما سبق أن ذكرنا، فإن بعض الكائنات الحية الدقيقة بحكم نشاطها وطبيعة معيشتها يكون أكثر تأثيرا أو ارتباطا بالنشاط الزراعي والغذائي من غيرها مثل الفطريات والبكتيريا، بينما يكون الارتباط أقل وثوقا بالبيئة لمجموعة أخرى من الكائنات مثل البروتوزوا والطحالب. وسيكون هذا المبدأ فى أذهاننا عندما نتحدث بتفصيل عن مختلف هذه الكائنات، بحيث تفرد مساحة أوسع لتلك الكائنات التي ترتبط ارتباطا وثيقا، ولها تداخل مع النشاط الزراعي والبيئي بصوره المختلفة.

الفصل السادس

الأوليـات Protozoa

- أهمية البروتوزوا • الشكل العام • التكاثر • البيئة
- التقسيم • السوطيـات • الأميبيات (اللحميات)
- الهدبيات • الجرثوميات (البوغيات)

بروتوزوا Protozoa هي كلمة يونانية الأصل تعني الحيوان الأول، وتتبع مجموعة الكائنات الأولية ذات النواة الراقية المتميزة Eucaryotic، وتوجد في صورة وحيدة الخلية، ولها القدرة على الحركة، وتتميز بعدم احتوائها على جدار خلوي، ويعرف العلم الذي يختص بدراسة هذه المجموعة من الكائنات باسم علم الأوليات Protozoology، وهو أحد فروع علم الميكروبيولوجيا. وتعيش هذه الكائنات غالبا في صورة وحيدة الخلية أو في صورة تجمعات على هيئة مستعمرات كل خلية منها تعيش مستقلة بذاتها.

ويُعرف في الوقت الراهن ما يزيد عن ٦٤,٠٠٠ نوع من هذه الكائنات منها ٣٢,٠٠٠ في صورة حفريات انقرضت، ٢٢,٠٠٠ نوع كائنات حرة المعيشة، ١٠,٠٠٠ طفيلي، ومن ضمن هذه الطفيليات يوجد عدد قليل جدا يسبب إصابات مرضية للإنسان، ومع ذلك فإنها تشكل خطرا صحيا لا يستهان به على ملايين البشر.

وتُقسم هذه المجموعة إلي عدد من الطوائف Classes استنادا إلي مبدأ الحركة النشيطة، لأن بعضها يتحرك بواسطة ما يسمى الأقدام الكاذبة Pseudopodia التي

تخرجها من جسمها كما هو الحال في الأميبا. وتتحرك طائفة الهدبيات Ciliata بواسطة زوائد هدبية صغيرة حول جسمها. وطائفة السوطيات Flagellata تتحرك بواسطة أسواط Flagella ، توجد غالبا عند طرف الخلية الأمامي. أما طائفة الجرثوميات Sporozoa ، فإنها تتحرك بواسطة الانزلاق Gliding لعدم احتوائها على عضو مستقل للحركة.

أهمية البروتوزوا Importance of Protozoa

تشكل البروتوزوا جزءا هاما في السلسلة الغذائية لبعض البيئات المائية. فعلى سبيل المثال تتغذى بعض أنواع البروتوزوا على كائنات تمثيلية نباتية مائية ، وتصبح هذه البروتوزوا بدورها فريسة تتغذى عليها بعض الكائنات المائية الأكبر حجما وفق التسلسل التالي :

Light energy → **Phytoplankton** → **Zooplankton** → **Carnivores**
(primary producer) (primary consumer) (secondary consumers)

كما تُشكل البروتوزوا عنصرا مهما في الاتزان البيئي لبعض المجتمعات ، وبالذات تلك الأنواع المترممة والتي تتغذى على البكتيريا ، حيث تتغذى هذه الكائنات على نتاج التحلل العضوي للمخلفات وكذلك على بعض البكتيريا والفطريات التي تقوم بهذا التحليل.

Dead bodies of producers and consumers & their exertion products → Decomposition by fungi & bacteria → Ingestion by protozoa

أمراضها

إضافة إلي ما سبق فإن بعض أنواع الأوليات يسبب أمراضا للإنسان والحيوان كونها تعيش كطفيليات إجبارية داخل جسم العائل مسببة له أمراضا خطيرة مثل الدوسنتاريا الأميبية والملاريا ومرض النوم.

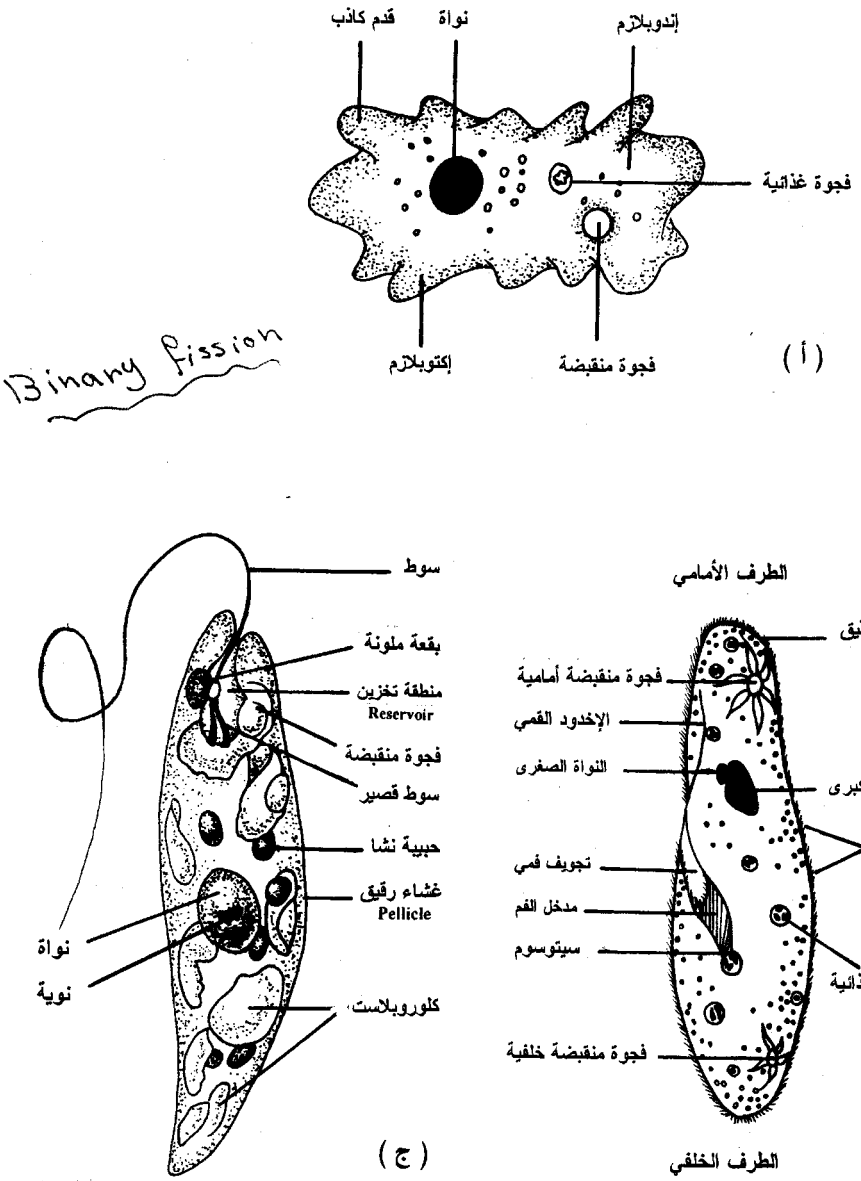
الشكل العام Morphology

تتفاوت الكائنات التابعة لهذه المجموعة بدرجة كبيرة في الحجم والشكل العام (الشكل رقم ١٩). فمنها البيضاوي والمستطيل والمدبب ومنها ما يغير شكله باختلاف مراحل نموه المختلفة ومنها مالا يتجاوز حجمه ١ ميكرومتر، في نفس الوقت الذي تبلغ أنواع أخرى ما يزيد عن ٦٠٠ ميكرومتر مثل النوع *Amoeba proteus*، كما أن بعض أنواع الهدبيات يبلغ من الحجم حدا يجعلها في مدى الرؤية المباشرة بدون تكبير، فهي تصل إلى ٢ ملليمتر طولا.

وتتكون خلية الأوليات من سيتوبلازم محاط بغشاء سيتوبلازمي، وهذا السيتوبلازم ينقسم إلي قسمين، جزء خارجي يسمى السيتوبلازم الخارجي Ectoplasm، والجزء الآخر يسمى السيتوبلازم الداخلي Endoplasm، وهذا بدوره يضم مختلف مكونات الخلية. وتحتوي أغلب الأوليات على نواة واحدة باستثناء أنواع منها تحتوى على أكثر من نواة. فمثلا تحتوى الهدبيات على نواة كبيرة Macronucleus، تتحكم في مختلف أنشطة وفعاليات الخلية المختلفة (باستثناء التكاثر)، الذي تسيطر عليه نواة أخرى تسمى النواة الصغيرة Micronucleus ويحاط الغشاء السيتوبلازمي من الخارج بطبقة تسمى Pellicle، وهذه قد تكون خفيفة رقيقة كما هو الحال في الأميبا، وقد تكون سميكة وصلبة نوعا ما كما هو الحال في الهدبيات.

وفي بعض الأنواع تكون الأوليات تركيبا هيكليا شبه صلب لإعطائها الشكل العام مثل بعض الهدبيات والأميبا، ويسمى هذا التركيب الذي يحيط بالـ Pellicle باسم الصدفة Shell، ويتكون من مواد عضوية ومواد غير عضوية مثل كربونات الكالسيوم.

ويعتبر تركيب الـ Pellicle بديلا عن الجدار الخلوي من أهم ما يميز مجموعة الأوليات عن غيرها من الكائنات التابعة لمملكة البروتستا. كما تتميز بعض أنواع هذه المجموعة بقدرتها على تكوين تراكيب تسمى حويصلات Cysts تستطيع أن تحميها من الظروف البيئية غير المناسبة لحين معاودة نشاطها الحيوي.



الشكل رقم (١٩). بعض أنواع الأوليات (البروتوزوا): (أ) أميبا، (ب) براميسيوم، (جـ) يوجلينا.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

التكاثر Reproduction

كما هو الحال في الشكل، فإن طرق التكاثر تتفاوت بين مختلف أنواع الأوليات سواء بالنسبة للتكاثر الجنسي أو اللاجنسي. فبالنسبة للتكاثر اللاجنسي فإن الشائع منه هو الانقسام الثنائي البسيط Fission، ويطلق عليه اسم Binary fission في الحالات التي تنتج فيها خليتان اثنتان فقط، أما إذا نتج لدينا أكثر من خلية فنطلق عليها اسم Multiple fission، ويتم الانقسام الثنائي هذا إما طوليا أو عرضيا. وهناك أيضا التكاثر بالتبرعم، وهو شائع في بعض الأنواع.

ويوجد التكاثر الجنسي Sexual في بعض مجموعات البروتوزوا. فعلى سبيل المثال يتم نوع من الاتصال الجنسي بين خليتين من خلايا البروتوزوا في طائفة الهدبيات يتم خلاله تبادل بعض المحتويات النووية للخلية، ويطلق على هذه العملية اسم الاقتران Conjugation، وتأخذ دورة الحياة التكاثرية في بعض الأنواع شكلا معقدا حيث تقضى جزءا من دورة حياتها داخل عائل من الفقاريات، والجزء الآخر من دورة حياتها تقضيه في عائل آخر. من أمثلة هذه الكائنات التريبانوسوما Trypanosomes والتي تقضي جزءا من دورة حياتها داخل الدورة الدموية لكائن فقاري. والجزء الآخر تقضيه داخل مجرى الدم لإحدى الحشرات الماصة.

البيئة Environment

تتفاوت الظروف البيئية المناسبة التي تستطيع أن تعيش فيها الأوليات تفاوتا كبيرا. فعلى سبيل المثال يبقى الطور الخضري للكائنات الأولية Protozoa غير الطفيلية، في البيئات المائية، والتربة، والمواد العضوية المتحللة.

كما أنه يوجد في درجات حرارة متفاوتة حيث وجد في المناطق القطبية المتجمدة، وفي نفس الوقت توجد في الينابيع المائية التي تصل درجة حرارتها إلى ٣٠-٥٦°م، وذلك مع أن الدرجة المثلى لنمو أغلب البروتوزوا تتراوح بين ١٦-٢٥°م، أما الصور المتحوصلة منها Encysted فإنها تستطيع تحمل مدى أكبر من التذبذب في درجات الحرارة مقارنة بالطور الخضرى Trophic، ونفس الشيء يمكن أن يقال بالنسبة

لمدى الحموضة المناسب pH. فمثلا تستطيع بعض الأنواع تحمل مدى واسع من الحموضة يتراوح بين ٣ و٩ pH مع أن المدى الأمثل لمختلف العمليات الحيوية الأيضية داخل خلايا الأوليات، وبالتالي المناسب لنموها، يتراوح بين ٦ و٨ pH.

ومع أن الأوليات بصفة عامة هي كائنات غير تمثيلية، فإن بعضها يحتوي على مادة الكلوروفيل ويقوم بعملية التمثيل الضوئي، وهذه الأنواع تحتاج بالضرورة إلى الضوء للقيام بعملية التمثيل. وهناك أنواع أخرى تحصل على غذائها عن طريق عملية الانتشار الغشائي للعناصر الغذائية الذائبة خلال الغشاء السيتوبلازمي لخلاياها (وهذه صورة تشبه البكتيريا). وهناك أنواع أخرى تلتهم غذاءها في صورة مواد صلبة بواسطة فتحات خاصة تشبه الفم، وهذه المواد التي تلتهمها تكون في غالب الأحيان إما بكتيريا أو طحالب أو كائنات أولية ميتة، وعقب عملية الالتهام هذه تحاط هذه المواد بفجوات تقوم خلالها إنزيمات خاصة بتحليلها وهضم الصور المعقدة منها، تمهيدا لدخولها في عمليات التمثيل الأيضي.

أما الصور التي لا يمكن تحليلها إلي مواد ذائبة فتقوم الخلية بالتخلص منها إما من خلال فتحة إخراجية خاصة أو تظل داخل الفجوة والتي تتحرك بدورها حتى حافة جسم الخلية ومن ثم تنفجر هذه الفجوة دافعة محتوياتها إلي خارج الخلية.

أما بالنسبة للأنواع المتطفلة منها، فهذه تتغذى على خلايا وأنسجة جسم العائل من خلال إنزيمات تفرزها تحلل مكونات خلايا العائل وقد تخترق الخلية وتعيش على السيتوبلازم والسوائل الخلوية، مما يتسبب عنه تطور أعراض مرضية للعائل. وأحيانا قد تعيش بعض الأوليات في صورة تكافلية مع كائنات أخرى يطلق عليها اسم Mutualism، ومن أمثلتها معيشة بعض أنواع السوطيات داخل جسم النمل الأبيض حيث تقوم الأوليات بهضم السليلوز الموجود في الخشب الذي يتغذى عليه النمل ويحوله إلي صورة سهلة الاستعمال من قبل النمل، وفي المقابل يمد النمل هذه السوطيات بمصدر غذائي سهل وبوقاية جيدة من الظروف غير المناسبة.

التقسيم Classification

تقسم شعبة Phylum الأوليات إلي أربعة طوائف Classes رئيسية اعتمادا على وسيلة الحركة بها. وهذه الرتب هي: السوطيات Flagellates، الأميبيات (اللحميات) Sarcodina، الهدبيات Ciliates، والجرثوميات (البوغيات) Sporozoa، ويوضح الجدول رقم (٧) مقارنة مختصرة بين هذه الرتب الأربع.

الجدول رقم (٧). يوضح مقارنة لبعض صفات الرتب الرئيسية للأوليات.

الرتب الرئيسية الأسماء العامة	وسيلة الحركة	وسيلة التكاثر	صفات أخرى
السوطيات Mastigophora (Flagellates)	الأسواط (سوط أو أكثر)	انقسام طولي ثنائي بسيط وفي بعض الأحيان يوجد تكاثر جنسي.	تتغذى إما بالتمثيل الضوئي، أو تغذية غير ذاتية أو كلتاهما.
الأميبيات (اللحميات) Sarcodina (amebas)	أقدام كاذبة	انقسام ثنائي بسيط، لا يوجد تكاثر جنسي.	أغلب أنواعها حرة المعيشة تتغذى تغذية غير ذاتية.
الهدبيات Ciliates	أهداب عديدة حول جسم الخلية	انقسام ثنائي بسيط وتكاثر جنسي بواسطة الاقتران Conjugation.	أغلب أنواعها حرة المعيشة تتغذى تغذية غير ذاتية.
الجرثوميات (البوغيات) Sporozoa	تتحرك بالانزلاق مع السائل وأحيانا عديمة الحركة، ليس لها عضو متخصص للحركة.	انقسام متعدد ويوجد تكاثر جنسي.	جميع أنواعها طفيلية المعيشة.

السوطيات Flagellates

تقسم السوطيات إلي مجموعتين رئيسيتين، إحداهما نباتية المعيشة Phytophlagellates، وهذه تحتوى على صبغة الكلوروفيل وتقوم بعملية التمثيل

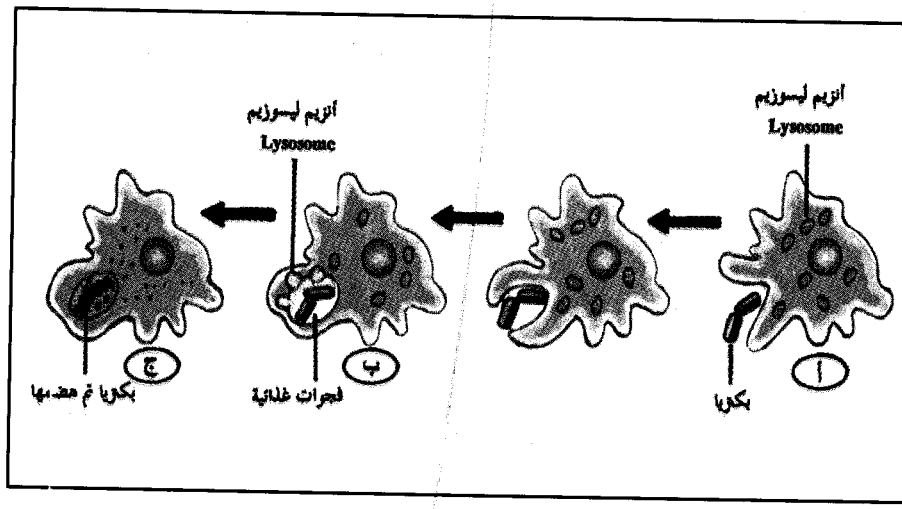
الضوئي، والمجموعة الأخرى حيوانية المعيشة Zoophlagellates، وهذه تتغذى تغذية غير ذاتية. وتتكاثر كلتا المجموعتين بالانقسام الثنائي الطولي، وبعضها يتكاثر جنسيا. ويحاط جسم الخلية بغلاف يسمى Pellicle يعطيها نوعا من الصلابة والشكل المحدد الثابت بخلاف الأميبا. كما تخرج من جسم الخلية - بالإضافة إلي الأسواط - أغشية رقيقة تؤدى مع الأسواط دورا هاما في الحركة وفي تجميع الطعام ودفعه إلى الفتحة الخاصة به. وتسبب بعض السوطيات أمراضا للجهاز التناسلي وللأمعاء، من أشهرها النوع المسمى *Giardia lamblia* والذي يسبب للإنسان مرض الإسهال (الدوسنتاريا)، وتوجد في الأمعاء وتنقل بواسطة الأطعمة الملوثة. والنوع *Trichomonas vaginales*، ويوجد في الأعضاء التناسلية للمرأة (الرحم) مسببا التهابات حادة وإفرازات ذات لون ورائحة مميزة، ويسبب حكة مستمرة.

وبالإضافة إلي ما سبق فإن هناك أنواعا هامة من السوطيات تسبب أمراضا خطيرة جدا للإنسان، وتعيش في مجرى الدم، وعلى أنسجة الجسم، وتنتقل بواسطة الحشرات الماصة، ومن أشهر هذه الأجناس *Trypanosoma , Trichimania* حيث يسبب الترينوسوما مرضا يعرف باسم مرض النوم. ويسبب الجنس الثاني مرض الليشمانيا المعروف، والمتمثل في جروح على سطح الجلد، تنتشر وتؤدي إلي تشوهات خطيرة.

الأميبيات (اللحميات) Amebas (Sarcodina)

اكتسبت هذه الكائنات اسمها من الكلمة اليونانية Amaibe والتي تعني التغيير، وذلك نظرا لأن شكل الخلية في تغير مستمر. وتكون هذه الخلايا زوائد بروتوبلازمية تسمى الأقدام الكاذبة، تستعمل للحركة ولالتهام المواد الغذائية التي تحيطها بفجوات غذائية حيث يتم هضمها فيما بعد (الشكل رقم ٢٠). وتتكاثر الأميبيات بالانقسام الثنائي البسيط، كما أن بعضها له القدرة على تكوين حويصلات Cysts. وتضم عددا من الأنواع الممرضة للإنسان حيث يعيش النوع *Entamoeba gingivales* داخل فم الإنسان، كما يعيش النوع *E. histolytica* داخل أمعاء الإنسان مسببا له ما يعرف

بالدوسنتاريا الأميبية. ومع أن مركز الإصابة بالنسبة للأميبا هو الأمعاء فإن الدم أحيانا ينقل هذه الطفيليات إلى أجزاء أخرى من الجسم مثل الكبد والدماغ والرئتين مسببا لها أضرارا تتمثل في صورة كتل تحتوي على الحويصلات.



الشكل رقم (٢٠). طريقة التغذية بالالتهام Plagocytoces لخلايا البكتريا بواسطة الأميبا:
(أ) تتم إحاطة البكتريا بالأقدام الكاذبة والتهامها داخل فجوة غذائية
(ب) يتم إفراز إنزيم الليسوزيم إلى داخل الفجوة الغذائية
(جـ) بواسطة هذا الإنزيم يتم هضم خلايا البكتريا

(عن : McKane and Kandel, 1996)

الهدبيات Ciliata

وهذه بدورها تقسم إلي مجموعتين ، إحداهما تضم خلايا تحتوي على أهداب على جزء من جسم الخلية فقط. والمجموعة الأخرى هي تلك التي تحيط الأهداب فيها بجميع جسم الخلية. وتؤدى هذه الأهداب دورا هاما في حركة الخلايا في البيئات المائية ،

كما أنها تساعد على دفع المواد الغذائية إلي الفتحة الخاصة بالالتهام عن طريق تكوين تيار في السائل يدفع هذه المواد.

وتتكاثر الهدبيات لاجنسيا بالانقسام الثنائي البسيط طوليا، كما أنه توجد صور جنسية تتمثل في عملية الاقتران Conjugation بين خليتين تنتقل فيها الصفات الوراثية من خلية إلى أخرى. وتحتوي الهدبيات على أكثر من نواة واحدة فهي تحتوي على الأقل على نواتين، إحداهما كبيرة تسيطر على جميع فعاليات الخلية، والأخرى صغيرة تؤدى دورا في عملية التكاثر.

وباستثناء النوع *Bolantidimy coli* الذي يتطفل على الإنسان مسببا له مرض الإسهال الدموي Bloody diarrhea، فإن جميع أفراد هذه الرتبة هي كائنات حرة المعيشة وغير طفيلية.

الجرثوميات (البوغيات) Sporozoa

تعتبر هذه المجموعة هي الوحيدة التي تضم أنواعا جميعها طفيليات حيوانية. وهذه تتحرك بالانزلاق في مجرى الدم. وتتغذى على مكونات خلية العائل أو على سائل الجسم. وأغلب هذه الأنواع لها دورة حياة معقدة تقضى جزءا منها في أحد العوائل، والجزء الآخر في عائل مختلف. وتتميز دورة حياة بعضها بتبادل الأجيال أي أنها تقضى جزءا من دورة حياتها في صورة لاجنسية، وهذه تكون غالبا في العائل الأول. والجزء الآخر في صورة جنسية وتكون غالبا في العائل الثاني. وفي بعض الأحيان يشكل الإنسان عائلا لكلا الطورين الجنسي واللاجنسي.

ويعتبر مرض الملاريا والـ Texoplasmosis هما المرضان الرئيسيان اللذان تسببهما طفيليات هذه المجموعة (الشكل رقم ٢١).

فالمرض الأول (الملاريا) هو أحد الأمراض التي تنتقل إلى الإنسان عن طريق بعض أنواع البعوض (أنثى بعوضة الأنوفيلس)، ويتبع المسبب المرضي للملاريا الجنس *Plasmodium* والذي يصيب الكبد وخلايا الدم الحمراء، ويقضي هذا الطفيلي طوره

الجنسي في العائل الثاني وهو بعوضة الأنوفيلس، ويتكاثر هذا الطفيلي جنسيا داخل هذه البعوضة، ويعتبر مرض الملاريا من أخطر الأمراض وأكثرها انتشارا، ويقدر عدد المصابين به في الوقت الراهن بـ ١٥٠ مليونا. وهناك أربعة أنواع مسببات للملاريا هي:

1. *P. vivax*: benign malaria

أعراضه الشعور برعشة برد تتبعها حمى على فترات يفصل بينها ٤٨ ساعة.

2. *P. ovale*: benign malria

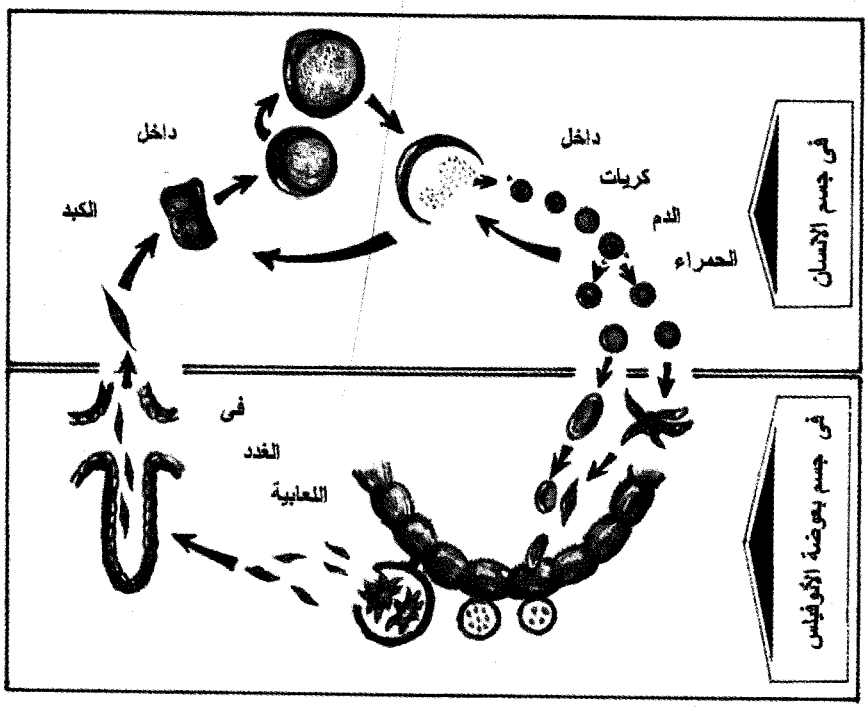
أعراضها تشبه السابقة.

3. *P. malaria*: benign quartan malaria

رعشة برد تتبعها حمى على فترات يفصل بينها ٧٢ ساعة.

4. *P. valciparum*: malignant tertian malaria.

نوبات غير منتظمة من الرعشة ثم الحمى. وهذه قد تكون خطيرة وقاتلة إذا لم يتم علاجها.



الشكل رقم (٢١). دورة حياة طفيلي الملاريا.

أما مرض الـ Texoplasmosis فيسببه الطفيلي *Texoplasma gandii*، وتتفاوت أعراض هذا المرض اعتمادا على موقع الطفيلي داخل الجسم. وتشبه أعراضه - لحد كبير - أعراض مرض الالتهاب الكبدي Hepatites، والحمى الشوكية (الإلتهاب السحائي) Meningitis. ويعتبر من أكثر هذه الطفيليات انتشارا بين الفقاريات، ويقدر أن عدد الإصابات به في الولايات المتحدة بين البالغين قد تصل إلى ٥٠٪ غير أن أعراضه بالنسبة للإنسان خفيفة، ومن الممكن أن يشفي المريض منه بصورة تلقائية باستثناء الحالات التي يصاب فيها الجنين داخل رحم الأم، وهذه قد تكون لها مضاعفات خطيرة.

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل السابع

الطحالب Algae

Algae

- أهمية الطحالب
- الشكل العام للطحالب
- التكاثر
- البيئة
- تقسيم الطحالب
- الأشنات

١ الطحالب

هي مجموعة من الكائنات النباتية المعيشة أي أنها تحتوي على صبغة الكلوروفيل، وبالتالي فإنها تتغذى ذاتيا عن طريق عملية التمثيل الضوئي. وتنتشر الطحالب في ثلاث ممالك استنادا إلي تقسيم ويتكر (النباتية، والبروتستا (الطلائعيات)، والمونيرا). كما أنها تتفاوت في حجمها تفاوتا كبيرا، ويُعرف حتى الآن ما يقارب ٢٠,٠٠٠ نوع من الطحالب.

وتختلف هذه الأنواع اختلافا كبيرا في الشكل العام وبقية الصفات الأخرى، وهذا يعطيها القدرة على المعيشة في بيئات متفاوتة إلى حد كبير، حيث نستطيع القول، بثقة، إن الطحالب توجد في أي مكان يمكن أن تصل إليه الشمس وبه نسبة من الرطوبة. وتشترك الطحالب جميعها في احتوائها على صبغة كلوروفيل (أ) Chlorophyll A إضافة إلى العديد من الصبغات الأخرى الملونة، وهذا هو ما يعطي اللون المميز لبعض أنواع الطحالب، والذي يطغى عليه لون الكلوروفيل ويعرف العلم الذي يختص بدراسة الطحالب باسم علم الطحالب Algology.

أهمية الطحالب Importance of Algae

تؤدي الطحالب دورا هاما في حياة الإنسان بطريق مباشر أو غير مباشر. فمن المعروف أن أغلب الطحالب هي كائنات مائية أي أنها تعيش في البحار والمحيطات والأنهار، ... إلخ. ونظرا لأن المياه تغطي ما يزيد عن ٧٠٪ من سطح الكرة الأرضية وأن هذه المسطحات المائية تعج بآلاف الأنواع من الطحالب المختلفة سواء على السطح أو في الأعماق، فإن العلماء يقدرون بأن حوالي ٨٠٪ من عمليات التمثيل الضوئي التي تتم على وجه الكرة الأرضية تقوم بها الطحالب. ويقدر البعض أن حوالي ٩٠٪ من الكربون المثبت على ظهر الكرة الأرضية تقوم بتثبيته الطحالب في البحار والمحيطات (جوزفين، ١٩٦٧م). ومن ذلك تتضح كمية الأكسجين التي تطلقها الطحالب كنتيجة لهذه العملية، وبالتالي الفائدة الجمة التي يجنيها الإنسان من وراء ذلك، إضافة إلى استخدامه للطحالب في العديد من الأغراض الأخرى. وبصفة عامة يمكن إدراج الأهمية الاقتصادية والعلمية للطحالب في النقاط الآتية:

١- تستخدم بعض أنواع الطحالب كغذاء في العديد من دول آسيا مثل بعض الطحالب الحمراء Rhodophyta، وبعض الطحالب البنية التي تحتوي على نسبة جيدة من المواد السكرية العديدة.

٢- الطحالب في البحار والمحيطات والأنهار تعتبر الغذاء الأساسي للأسماك وهذا يعني بالضرورة زيادة وإثراء الثروة السمكية (ويقارنها البعض بأنها تقابل مراعي الأعشاب الخضراء للماشية كالأغنام والأبقار).

٣- كثير من أنواع الطحالب لديها القدرة على تكوين الفيتامينات مثل فيتامين A, D بالدرجة الأولى، و B, C, K بدرجة أقل. وعندما تتغذى الأسماك على هذه الطحالب، فإنها تخزن هذه الفيتامينات داخل جسمها (في الكبد)، ومن ثم يحصل الإنسان على هذه الفيتامينات عندما يتغذى على الأسماك.

٤- بعض أنواع الطحالب تقوم بتثبيت النتروجين الجوي في التربة، وبالتالي زيادة خصوبتها.

٥ - بعض أنواع الطحالب تساعد على تحسين صفات التربة عن طريق إضافة مواد عضوية لها وتحسين تحبيب وتجميع حبيبات التربة.

٦ - تستخدم العديد من أنواع الطحالب مثل بعض الدياتومات Diatomes، وبعض الطحالب البنية في عمليات تصنيع مواد التجميل وبعض الأدوية والكيماويات مثل مادة الألجنين.

٧ - تستخرج مادة الآجار - آجار من بعض أنواع الطحالب الحمراء. وكلنا يعرف أهمية هذه المادة في معامل الميكروبيولوجيا كونها تُستخدم لتنمية الكائنات الحية الدقيقة عليها.

٨ - إضافة إلي ما سبق من الاستخدامات الاقتصادية المتعددة للطحالب، فإن هناك فائدة وقيمة لا تقل إن لم تفق كل ما ذكر أعلاه. فالطحالب باعتبارها كائنات تحتوى على مادة الكلوروفل تستطيع أن تقوم بعملية التمثيل الضوئي بصورة مشابهة لما هو موجود بالنبات الراقي. وكما ذُكر أعلاه فإن حوالي ٩٠٪ من ثاني أكسيد الكربون CO_2 المثبت على سطح الأرض تقوم به الطحالب المائية، وهذا يعني أن كميات هائلة من المواد الكربوهيدراتية والسكرية التي هي المنتج الأساسي لعملية التمثيل الضوئي تقوم بإنتاجها الطحالب، وهذا بدوره يعنى وجود مخزون غذائي وافر ورخيص الثمن وسهل الحصول عليه. وإزاء أزمات توفير الغذاء التي تواجه العالم وبحث العلماء المستمر عن مصادر غير تقليدية للغذاء، فإن ذلك دفعهم إلى التركيز على الطحالب ودراسة تفاصيل عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis التي تقوم بها الطحالب وهذا بدوره سوف يمكن العلماء من استجلاء أسرار هذه العملية. وبالتالي معرفة الظروف المثلى للحصول على أقصى طاقة ممكنة منها. ومن الممكن محاكاتها في المعمل في يوم من الأيام، أي أن ذلك سوف يمكن الإنسان من السيطرة على أهم مصدر من مصادر إمداده بالغذاء. ذلك أن دراسة هذه العملية على النباتات الراقية يكتنفه عديد من العقبات مثل حجم النباتات، وتعدد العمليات الحيوية فيها، وطول دورة حياتها، ... إلخ.

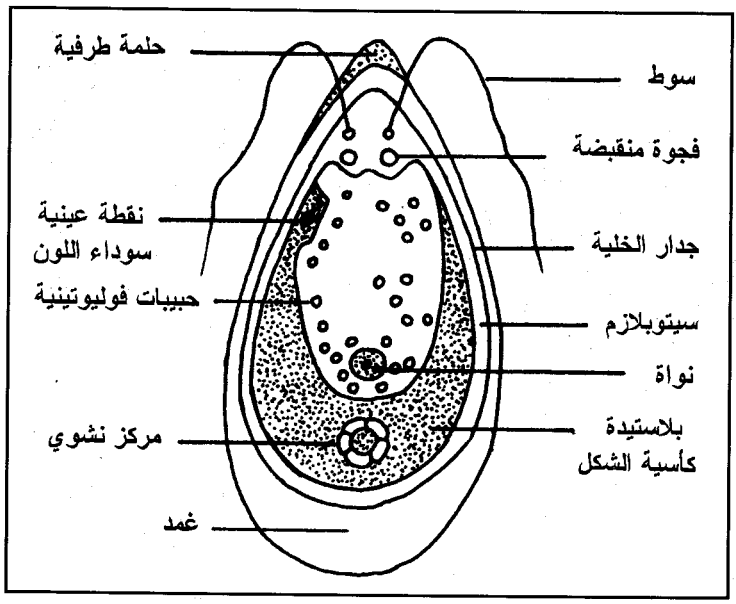
٩ - هناك أنواع قليلة جدا من الطحالب تسبب أمراضا للإنسان أو النبات مثل الجنس *Prototheca* الذي يسبب أمراضا للإنسان، وبعض أنواع الطحالب التي تنقل بواسطة الرياح قد تسبب عند استنشاقها بعض أمراض الحساسية. وهناك أيضا الجنس *Cephaleuros* وهو من الطحالب الخضراء يتطفل على أوراق نباتات الشاي، والقهوة، ويسبب لها أضرارا بالغة.

١٠ بعض أنواع الطحالب المائية تفرز سموما Toxins قاتلة للأسماك البحرية، ومنها الأجناس *Gonyavlax, Gymmodium*، وهذه السموم قد تخزن داخل جسم هذه الأسماك فعندما يتغذى عليها الإنسان تنتقل هذه السموم إلى جسمه وتحدث له أعراض التسمم.

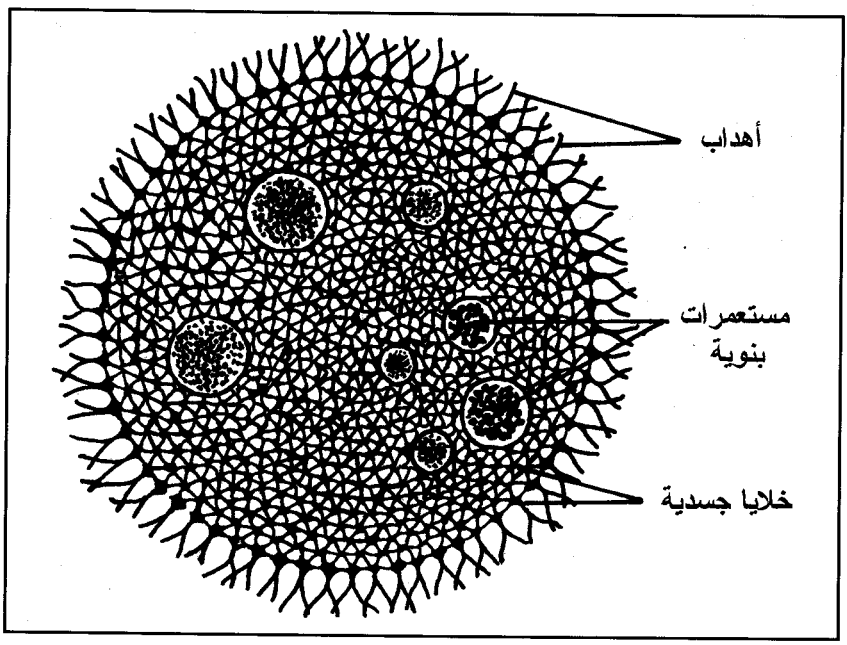
الشكل العام للطحالب Morphology of Algae

تتفاوت الطحالب كثيرا من حيث الحجم والشكل، فهناك مثلا الأنواع الوحيدة الخلية (الشكل رقم ٢٢)، وهذه قد تكون مستطيلة، أو مدببة، أو دائرية، ... إلخ، وقد تكون أو لا تكون متحركة. أما الأنواع الأخرى فتوجد في صورة مستعمرات عديدة الخلايا (الشكل رقم ٢٣)، وهذه المستعمرات إما أن تكون مجرد تجمعات خلوية بعضها مع بعض، كل خلية منها مستقلة بنشاطها عن الأخرى، وبعضها الآخر يتكون من أنواع مختلفة من الخلايا كل منها متخصص في أداء وظيفة معينة. وهناك نوع ثالث من الطحالب عديدة الخلايا كبيرة جدا في الحجم وذات تراكيب معقدة من حيث الشكل الظاهري (الشكل رقم ٢٤). وتحتوي الطحالب على نواة راقية متميزة (باستثناء الخضراء المزرقة)، وعلى مواد مخزنة نشوية وزيوت وعلى فجوات. كما تحتوي على بلاستيدات إما في صورة غشاء مستطيل أو في صورة أقراص. وهذه بدورها تضم داخلها أغشية رقيقة تسمى Vesicles تحتوي على الكلوروفيل وعلى بعض الصبغات التي تميز الطحالب الملونة، وتشكل المركز الرئيسي لعملية التمثيل الضوئي.

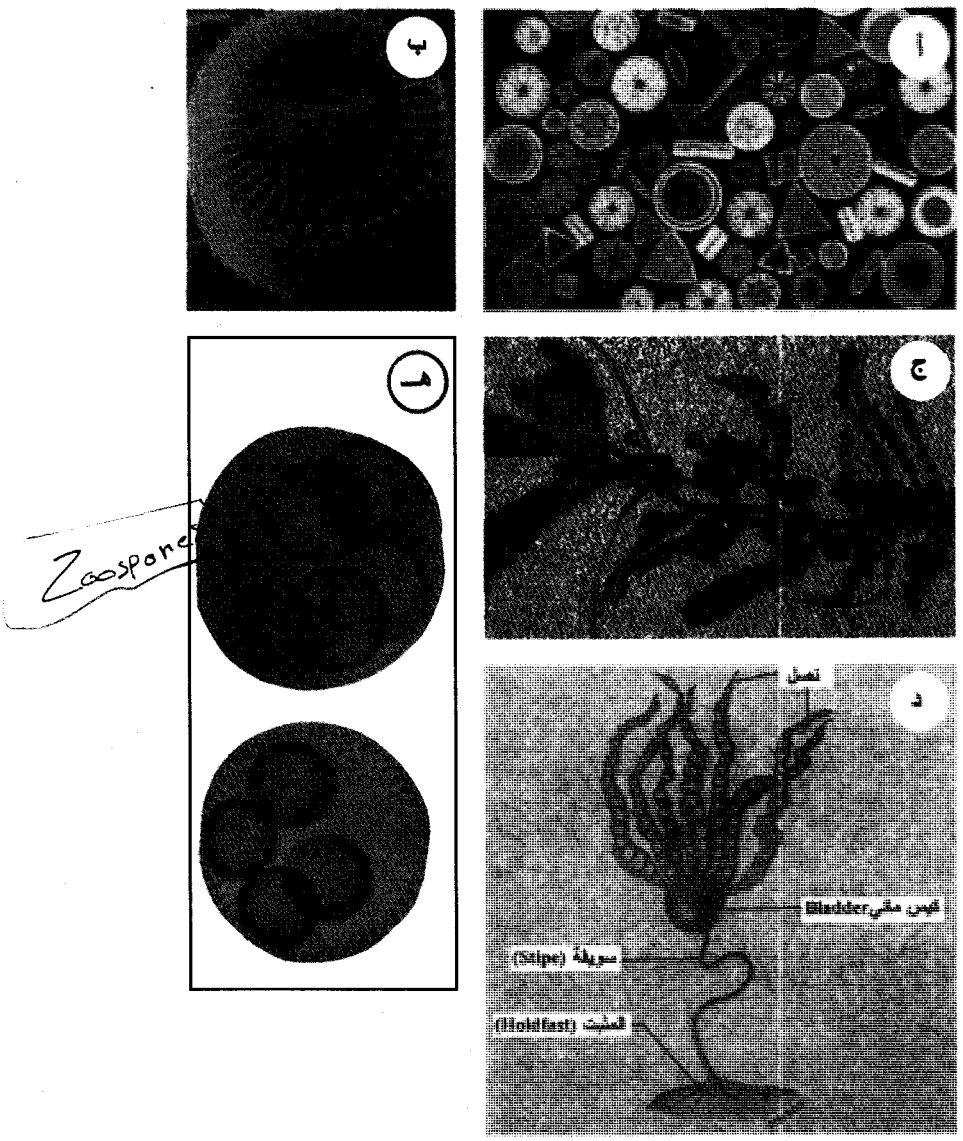
وتحتوي الطحالب المتحركة على أسواط فردية أو في صورة كتلة عند أحد طرفي الخلية. كما تحتوي بعض أنواع الطحالب على زوائد أخرى على السطح الخارجي تساعدها في الالتصاق ببعض الأجسام.



الشكل رقم (٢٢). الشكل العام لطحلب الكلاميدوموناس.
(عن: العروسي، و وصفي ١٩٧٤م)



الشكل رقم (٢٣). طحلب الفولفوكس.



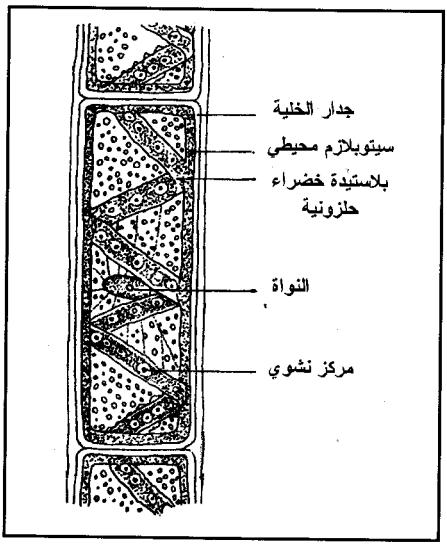
الشكل رقم (٢٤). صور لبعض أنواع الطحالب: (أ، ب) صور لأنواع الطحالب أو الديتومات التي تتميز بألوانها الزاهية وأشكالها البديعة. (جـ) صورة حقيقية لطحلب من الطحالب البنية ذي تركيب متطور يشبه لحد كبير النباتات الراقية. (د) رسم توضيحي لأجزاء من الطحالب البنية. (هـ) صور حقيقية لطحلب الفولفوكس، وهو من الطحالب الخضراء التي تعيش على هيئة مستعمرات.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

التكاثر Reproduction

في عالم الطحالب يوجد نوعان من التكاثر: التكاثر الجنسي Sexual والتكاثر اللاجنسي Asexual، ومع أن بعض الأنواع تقتصر في تكاثرها على إحدى الطريقتين المذكورتين فإن هناك أعدادا كبيرة منها تتكاثر جنسيا ولا جنسيا.

وتنتهج بعض أنواع الطحالب أسلوبا مبسطا جدا في التكاثر اللاجنسي مثل الانقسام الثنائي البسيط Binary fission (مشابه لما هو الحال في البكتيريا) أو بالتفتيت Fragmentation بحيث تنفصل قطعة من خيط طحلبي عديد الخلايا (سبيروجيرا)، ثم تبدأ في النمو مكونة خيطا طحلبيا جديدا (الشكل رقم ٢٥). وذلك بعكس أنواع أخرى يأخذ التكاثر اللاجنسي فيها صورا أكثر تعقيدا ويتم التكاثر بتكوين جراثيم لا جنسية قادرة على مقاومة الظروف الصعبة. وهذه إما أن تكون متحركة ويطلق عليها اسم Zoospores أو عديمة الحركة ويطلق عليها اسم Aplanospore. أما التكاثر الجنسي فيبدأ بحدوث اقتران جنسي Conjugation بين خليتين جنسيتين Gametes وينتج عن ذلك تكوين لاقحة Zygotes ويطلق على هذه العملية اسم Isogamy في حالة كون الخليتين الجنسيتين متشابهتين. أما إذا كانت الخليتان مختلفتان في الحجم فتسمى العملية Heterogamous.



الشكل رقم (٢٥). جزء تفصيلي لخلية مفردة من خلايا طحلب اسبيروجيرا.

(عن: العروسي، وصفي ١٩٧٤م)

(٢)

وفي الطحالب الراقية يكون التكاثر الجنسي أكثر رقيا ووضوحا ويتم التزاوج بين خلية مذكرة وأخرى مؤنثة. تكون الأولى صغيرة ومتحركة ونشطة والثانية كبيرة وغير متحركة، ويطلق على هذه العملية اسم Oogamy، وإذا وجدت الخليتان المذكرة والمؤنثة على نفس الطحلب سميت العملية "ثنائية الجنس" Bisexual أما إذا كانت الخليتان الجنسيتان من أصلين مختلفين فإن العملية تسمى "أحادية الجنس" Unisexual.

Oogamy

Environment البيئة

الطحالب هي كائنات هوائية المعيشة، تقوم بعملية التمثيل الضوئي، وتعيش بصفة عامة حيثما يوجد ضوء الشمس والرطوبة وبعض العناصر البسيطة التي تدعم حياتها. وبالنسبة لبعض العوامل الأخرى، فإن الطحالب تتفاوت تفاوتا كبيرا في الظروف الملائمة لمعيشتها. فبالنسبة لدرجة الحرارة مثلا، فإن بعض الأنواع تستطيع النمو بكثافة في المناطق القطبية الباردة جدا وعلى قمم الجبال على الثلوج، حيث تقل درجات الحرارة عن ٣٠°م تحت الصفر. وفي المقابل فإن هناك أنواعا أخرى تستطيع النمو في منابع المياه الساخنة حيث تصل درجات الحرارة إلي ٧٠°م، وبنفس الكثافة التي تصل إلي تكوين كساء ملون على الصخور في تلك المناطق. ومع ذلك فإن درجة الحرارة المثلى لنمو الطحالب تتراوح بين ٥٠ و٥٤°م، هذا بالنسبة للأنواع المحبة للحرارة المرتفعة. كما تتفاوت درجات الملوحة التي تتحملها أنواع الطحالب المختلفة.

وبالنسبة لكمية الضوء اللازمة لنمو الطحالب فهذه أيضا تختلف. ففي المحيطات الشمالية (التي توجد في المناطق الباردة) تنتشر الطحالب إلى عمق حوالي ١٥٠ قدما، ثم ينعدم وجودها في الأعماق البعيدة، نظرا لأن كميات الضوء التي تصل إلي الأعماق التي تزيد عن ١٥٠ قدما، تكون غير كافية لنمو الطحالب ومعيشتها. بعكس الحال في المناطق المعتدلة حيث تسقط أشعة الشمس عمودية، وتستطيع اختراق المياه إلي أعماق قد تصل إلي ٦٠٠ قدم، وبالتالي فإن الطحالب في هذه المناطق تستطيع النمو والمعيشة في عمق ٦٠٠ قدم. وعلى هذا فإنه يمكن اعتبار الضوء، إضافة إلي درجات

الحرارة، من أهم العوامل التي تحدد مناطق انتشار الأنواع المختلفة للطحالب Zonation. ما ذكر أعلاه ينطبق على الطحالب المائية.

أما بالنسبة للأنواع الأخرى من الطحالب فإن بعضها أقلمت نفسها على النمو والمعيشة في التربة الرطبة، وعلى قلف الأشجار، وعلى سطوح الصخور حيث تعمل على تحليلها، ومن ثم إثراء التربة الزراعية بالعناصر.

وتحتوي الطحالب على ثلاثة أنواع من الصبغات وهي التي تؤدى دورا في عملية التمثيل الضوئي Photosynthetic pigments مثل الكلوروفيل والكاروتينويد Carotenoides، وفايكوبيلينز Phycobilines وجميعها توجد في البلاستيدات. ويوجد الكلوروفيل (أ) في جميع أنواع الطحالب، أما كلوروفيل (ب، ج، د) والتي تتفاوت فيما بينها في طول موجة الضوء التي تستطيع امتصاصها للحصول على الطاقة، فهذه توجد في بعض الأنواع دون الأخرى. ويلاحظ أن هذه الصبغات الأخرى الملونة توجد منها أنواع:

فمثلا هناك نوعان من صبغات الكاروتينويد Carotenoid هما صبغة الكاروتين والزانثوفيل ونوعان من صبغات الفايكوبيلنيز هما صبغة الفايكوسيانين Phycocyanin والفايكوايريثرين Phycoerythrin. وفي بعض أنواع الطحالب توجد كميات من الصبغات الملونة أكبر بكثير من صبغة الكلوروفيل، وبالتالي يطغى هذا اللون ويعطي للطحالب لونها المميز، مثل الطحالب الحمراء، والبنية، ... إلخ.

ونتيجة للنشاط التمثيلي العالي للطحالب، فإنها تلجأ إلى تخزين بعض المواد الغذائية الفائضة في صورة جسيمات داخل الخلية. مثل تخزين النشا بواسطة الطحالب الخضراء، وتخزين الزيوت من قبل بعض الأنواع الأخرى من الطحالب.

تقسيم الطحالب Algae Classification

يختلف العلماء حول الأسس التفصيلية التي يجب اتباعها في تقسيم الطحالب. ومع ذلك، فإنه يمكن أن نورد الأسس العامة التي يمكن على أساسها تقسيم الطحالب إلى:

١- نوع الصبغات وتركيبها الكيميائي.

٢ - نوع المواد الغذائية المخزونة وتركيبها الكيميائي.

٣- نوع الأسواط (في الأنواع المتحركة) من حيث العدد والشكل العام للأسواط.

٤- الجدار الخلوي، تركيبه الكيميائي، ومظهره العام.

٥ - النظام الخلوي للطحالب.

٦ - دورة الحياة، وتشمل التغيرات التي تطرأ على الطحلب في مختلف مراحل حياته.

وهناك عدة تقسيمات للطحالب، وسوف نتطرق هنا لذكر التقسيم الوارد في كتاب "Phycology" تأليف الأستاذ Lee, Robort Edward عام ١٩٨٩م وهو مأخوذ عن تقسيم العالم الدنمركي Christenson عام ١٩٦٦م مع بعض التحوير. وحسب هذا التقسيم وضعت الطحالب في ستة أقسام هي:

الخضراء المزرقة (البكتريا الزرقاء) Div. 1- Cyanobacteria

وهذه من الكائنات بدائية النواة Procaryotic والتي توضع مع البكتيريا في مجموعة واحدة.

Div. 2- Gloucophyta

وتضم هذه المجموعة تلك الطحالب التي تحتوي على طحالب خضراء مزرقة متكاملة داخل السيتوبلازم بدلا من احتوائها على البلاستيدات. حيث يعتبر وجود البلاستيدات مرحلة تطورية متقدمة لصورة التكامل الداخلية بين سيتوبلازم الطحالب والبكتريا الزرقاء.

Div. 3- Chromophyta

وتضم الطحالب التي تحتوى على بلاستيدات وعلى مواد مخزونة داخل السيتوبلازم. وتقع ضمن هذا القسم:

الطحالب اليوجلينية

i-Euglenophyceae وهذه تحتوي على غشاء بلاستيدي واحد.

ii-Dinophyceae (dinophlagellates) تحتوي على غشاء بلاستيدي واحد.

iii-Cryptophyceae تحتوي على بلاستيدة ذات غشاءين.

iv-Chrysophyceae تحتوي على بلاستيدة ثنائية الغشاء (الذهبية).

v-Prymmesiophyceae تحتوي على بلاستيدة ثنائية الغشاء.

vi-acillariophyceae تحتوي على بلاستيدة ثنائية الغشاء ؛
تحتوي على سليكا في الجدار الخلوي (الدياتومات).

vii-Rhaphidophyceae تحتوي على بلاستيدات ثنائية الغشاء.

viii-Xanthophyceae تحتوي على بلاستيدات ثنائية الغشاء (خضراء مصفرة).

ix-Eustigmatophyceae تحتوي على بلاستيدة ثنائية الغشاء، بقعة عينية.

x-Phaeophyceae الطحالب البنية
بلاستيدة ثنائية الغشاء، صبغات أخرى، متحركة بالأسواط.

Div. 4- Rhodophyta الطحالب الحمراء

تحتوي على كلوروفيل وصبغات أخرى متحركة بالأسواط.

Div. 5- Chlorophyta الطحالب الخضراء

تحتوي على الكلوروفيل ويتحرك بعضها بالأسواط.

Div. 6- Charophyta

تتميز بأن أعضاءها الجنسية محاطة بغلاف من الخلايا، وتحتوي على كلوروفيل ومواد مخزونة.

ويوضح الجدول رقم (٨) مقارنة بين مختلف الأنواع المذكورة أعلاه من حيث الصبغات، والمواد المخزونة، وبعض الصفات الخلوية. كما سنتحدث بشيء من التفصيل عن أهم هذه المجموعات من الناحية الاقتصادية.

الجدول رقم (٨). المجموعات الرئيسية للطحالب ذات النواة الحقيقية.

	الصبغات الكلوروفيل	صبغات أخرى	تركيب الجدار الخلوي	طبيعة المواد المخزنة	عدد ونوع الأسواط	التركيب الخلوي
نشا	أ + ب	-	سليلوز		سوطان لكل خلية.	وحيدة الخلية مدمج خلوى عديد الأنوية خيطية تشابه النباتات عديدة الخلايا.
دهـــــون، باراميليم	أ + ب	-	ليس لها جدار		سوط أو سوطان أو ثلاثة أسواط لكل خلية.	وحيدة الخلية.
نشا زيوت	أ + جـ	كاروتين	سليلوز		سوطان غير متشابهين لكل خلية.	معظمها وحيد الخلية والقليل خيطي الشكل.
زيـــوت، ليكوسين	أ + جـ	كاروتين	يتركب من جزأين متداخلين غالبا ما يحتوى على سيليكا "بعضها ليس له جدار".		سوطان ذوا تركيب غير منتظم.	وحيدة الخلية مدمج خلوي عديد الأنوية، خيطية.
دهـــــون، لامينارين	أ + جـ	كاروتين	سليلوز ، لجنين.		سوطان غير متساويين في الطول.	تشابه النباتات عديدة الخلايا.
نشا	أ		فيكوبيلين سليلوز.		لا توجد أسواط.	وحيدة الخلية تشابه النباتات عديدة الخلايا.

الطحالب الخضراء Chlorophyta (green algea)

ويطلق على هذه المجموعة اسم الطحالب الخضراء، وتعتبر من أكبر المجموعات وأكثرها تباينا. حيث يعيش بعضها في المياه العذبة، أو في مياه البحار والمحيطات أو على سطح التربة الرطبة. وتحتوي خلاياها على بلاستيدات خضراء توجد بها مراكز لتخزين النشا يطلق عليها اسم Pyrenoids.

ومن حيث الشكل فهي تضم عديدا من الطحالب وحيدة الخلية، التي تعيش في صورة مستعمرات، أو الخيطية وأشكال أخرى عديدة. ويتحرك عدد كبير من وحيدات الخلية التابعة لهذه المجموعة بواسطة الأسواط. كما يمتلك بعضها خطافات صغيرة على جسمها تساعدها في الالتصاق بالنباتات البحرية أو الصخور.

وتتكاثر الطحالب الخضراء بعدة طرق مثل الانقسام البسيط، أو التفتت، أو تكوين جراثيم لا جنسية متحركة Zoospores أو بتزاوج بين خلايا من نفس الطحلب Isogamous أو من طحلبين مختلفين Heterogamous.

ويعتبر طحلب كلاميدوموناس *Chlamydomonas* (الشكل رقم ٢٢) من أشهر أنواع الطحالب الخضراء وأكثرها شيوعا، وتعيش هذه الطحالب الوحيدة الخلية فى المياه العذبة وفى التربة، وتتحرك بواسطة سوطين عند قمة الخلية ويتراوح حجمها بين ٣ و٣٠ ميكرومترا. وتحتوى الخلية الواحدة على نواة وبلاستيدة واحدة ذات شكل متميز يشبه الكأس. ويحتوى جدار الخلية على السليلوز. كما يوجد في الخلية نقطتان ذواتا لون أحمر تسميان Eyespot (stigma)، وتقوم هذه البقع باستعمال الضوء والتحكم في حركة الخلية تجاه الضوء Phototoctice. وتوجد أيضا بالخلية مراكز لتخزين النشا تسمى Pyrenoids، كما توجد فجوات منقبضة وظيفتها التخلص من المياه الزائدة داخل الخلية.

ويتكاثر هذا الطحلب (كلاميدوموناس) لاجنسيا بالانقسام البسيط فيبدأ بفقد قدرته على الحركة عن طريق فقد الأسواط، ومن ثم ينقسم بروتوبلازم الخلية الأم إلى ٢، ٤ أو٨ وحدات تبدأ كل وحدة في تكوين سوطين صغيرين للحركة، ثم تحيط

نفسها بجدار خلوي جديد، وبعد ذلك تنطلق هذه الوحدات الجديدة خارجة من الجدار الخلوي للخلية الأم. وفى بعض الحالات عندما تكون الظروف البيئية التي تعيش فيها هذه الطحالب غير مواتية للحركة، فإن الوحدات الصغيرة الناتجة من التكاثر اللاجنسي هذا تكون غير قادرة على تكوين الأسواط، وبالتالي غير قادرة على الخروج من جدار الخلية الأم، فتظل حبيسة ويستمر التكاثر بالانقسام مستمرا حتى تتكون لديها كتلة جيلاتينية من الخلايا تسمى Pallmeloid. وقد يحدث أن تكون بعض الخلايا داخل هذه الكتلة الجيلاتينية أسواطا وتهرب منها لكي تمارس حياتها بصورة مستقلة.

ويتم التكاثر الجنسي في عديد من أنواع طحلب الكلاميدوموناس إذا توافرت شروط معينة. ومن أهم هذه الشروط مثلا وجود ما يسمى التوافق Compatability بين الخلايا المتزاوجة من نفس النوع، فإذا وجدت هذه الخلايا المتوافقة يتم تجميع عديد من الخلايا بعضها مع بعض، يتبع ذلك ظهور خلايا جنسية Gametes تتحد بعضها مع بعض مكونة اللاقحة Zygot، وما يتبع ذلك من انقسام اختزالي تنشأ عنه - فيما بعد - وحدات خلوية جديدة.

وإذا كان طحلب الكلاميدوموناس المذكور أعلاه يؤخذ مثلا للطحالب الوحيدة الخلية المتحركة، فإن هناك طحلبا آخر وحيد الخلية غير متحرك يعتبر ذا أهمية قصوى في عالم الطحالب وهو طحلب الكلوريلا *Chlorella* وهو أيضا واسع الانتشار وتتجلى أهميته في استعماله الواسع في المختبرات، كأداة تجرى عليها الدراسات والبحوث لاستكشاف أسرار عملية التمثيل الضوئي وأبحاث مجالات إنتاج الغذاء غير التقليدي.

ومن الأنواع المتطفلة النادرة في عالم الطحالب هناك أنواع الجنس *Prototheca*، وهو يشبه طحالب الكلوريللا إلى حد بعيد غير أنه عديم اللون أي أنه لا يحتوى على الكلوروفيل ولا يقوم بعملية التمثيل الضوئي، وهو من الطحالب النادرة التي تسبب أمراضا للإنسان.

وهناك أيضا الطحلب المسمى *Desmids* وهو من الطحالب الخضراء وحيدة الخلية، والتي توجد في صور وأشكال جميلة جدا.

الطحالب الذهبية Chrysophyta

تسمى بالطحالب الذهبية وأغلبها متحرك بالأسواط، باستثناء عدد قليل منها تشبه في شكلها الأميبا، وبالتالي فإنها تتحرك بالأقدام الكاذبة وهي زوائد تخرج من البروتوبلازم وتستخدمها أيضا في ابتلاع المواد الغذائية الصلبة. وتضم هذه المجموعة أيضا بعض الأنواع الخيطية غير المتحركة بالرغم من أن أغلبها وحيد الخلية.

وتتميز باحتوائها على نسبة عالية من السليكا إما في الجدار الخلوي أو في الأغلفة التي قد تحيط بها Scale. وتكتسب هذه الطحالب لونها الذهبي من بعض الصبغات البنية التي تحتوى عليها والتي تطغى على لون الكلوروفيل، وتتكاثر غالبا لاجنسيا بواسطة الانشطار البسيط كما أن بعض أنواعها تتكاثر جنسيا بواسطة التزاوج Isogamy بين خلايا من نفس النوع. ومن أمثلة هذه المجموعة طحلب *Ochromones* وهو طحلب وحيد الخلية يتحرك بسوطين أحدهما طويل والآخر قصير. أما بالنسبة للتغذية فإن أنواعه تتفاوت لحد كبير فهي قد تتغذى ذاتيا بواسطة عملية التمثيل الضوئي، أو أنها تحصل على غذائها بالامتصاص أو بالتهام بعض المواد الغذائية الصلبة.

الطحالب الباسيلية Bacillariophyceae

تتميز هذه المجموعة بأهمية اقتصادية كبيرة جدا نظرا لأنها تضم الدياتومات Diatomes، التي تنتشر في المياه العذبة والمياه المالحة وفى الترب الرطبة. ونظرا لملاءمة درجات الحرارة المنخفضة لنمو وانتشار الدياتومات فإنها تنمو بكميات هائلة في المناطق القطبية بحيث تشكل مصدرا غذائيا هاما للكائنات الحيوانية التي تعيش في تلك المناطق. وتوجد الدياتومات في صور وأشكال مختلفة أشد الاختلاف، وهي إما أن تكون وحيدة الخلية أو في شكل مستعمرات أو في صور خيطية. وتحتوي الخلية على نواة واحدة وبلاستيدة، وتنتج الخلية أغلفة تشبه القواقع تحيط بجسم الخلية (جدار خلوي) تحتوى

على نسبة عالية من السليكا وتأخذ أشكالا رائعة الجمال Shells. وتشكل التراكمات الناتجة من هذه القواقع على امتداد ملايين السنين ترسبات يطلق عليه اسم Diatomite وتستعمل مواد خام لإنتاج العديد من المواد الصناعية مثل المواد العازلة، وصناعة المرشحات المستخدمة في مصانع العصائر، والمواد الغازية، وبعض مواد التجميل، ... إلخ.

الطحالب اليوجلينية Euglenophyta

وهي طحالب وحيدة الخلية تتحرك حركة نشيطة بواسطة سوط يتمركز في الطرف الأمامي للخلية. وتتكاثر بالانشطار الثنائي البسيط طوليا. وتدخل في بعض أطوار حياتها في مرحلة كمون حيث تكون حويصلات تقاوم بها الظروف غير المناسبة. وتنتشر في مساحات واسعة في المياه وفى الترب الرطبة. وتملك صفات حيوانية منها الحركة، ووجود فتحات غذائية مرنة تلتهم من خلالها بعض المواد الغذائية الصلبة، وفجوات منقبضة للتخلص من الزوائد، إضافة إلى صفات نباتية مثل وجود بلاستيدات تحتوي على كلوروفيل يمكنها من القيام بعملية التمثيل الضوئي، وبالتالي تخليق مواد عضوية.

الطحالب البيرية Pyrrophyta

تضم هذه المجموعة نوعين من الطحالب، منها ما يتحرك بواسطة سوطين Dinoflagellates على سطح الخلية، ومنها ما هو ساكن عديم الحركة Phytodinades غير أن الأخير يكون نوعا من الجراثيم الجنسية التي تتحرك بالأسواط Zoospores وتحتوي بعض الأنواع على جدر خلوية قد تحتوي على سليلوز. وتتجمع بعض أنواعها في هيئة كتل ضخمة تسمى Blooms وتوجد بكثرة في بعض البيئات المائية. ومع أن بعض هذه الكتل تكون سامة للأسماك والإنسان فإنها لا تسبب أي ضرر للأسماك القشرية Shellfish والتي تتغذى عليها بكثرة. غير أن الإنسان في حالة تغذيته على هذا النوع من الأسماك فإنه يصاب بالتسمم الذي قد يؤدي بدوره إلى الموت. وتتكاثر هذه المجموعة أساسا بواسطة الانقسام اللاجنسى.

الطحالب البنية Phaeophyta

وهي من الطحالب عديدة الخلايا كبيرة الحجم، إذ يصل أطوال بعضها إلى ٥٠ مترا، وتوجد بكثرة في المياه الضحلة على شواطئ البحار، وتتميز بمعدل نمو عال جدا ويصل معدل نموها إلى ٢٠ سنتمترا في اليوم الواحد. ونظرا لأن هذا النوع من الطحالب يستخرج منه بعض المنتجات الاقتصادية الهامة التي تدخل في العديد من المنتجات الغذائية فإن معدل النمو السريع هذا يعطيه ميزة وقيمة عالية، لأنه يمكننا من حصاد كميات هائلة منه على فترات قصيرة جدا. ومن المنتجات الهامة اقتصاديا والتي تستخرج من هذه الطحالب مادة الألجين Algin التي تستخدم في صناعة الأيسكريم لزيادة التماسك والكثافة، كما يستخدم في صناعة عديد من المواد المستخدمة في تزيين الكيك والحلويات. ومن استخداماته أيضا في المجالات غير الغذائية، دخوله في صناعة الإطارات المطاطية وفى بعض مستحضرات ترطيب الجسم Body lotion، ... إلخ.

الطحالب الحمراء Rhodophyta

وهذه منها الوحيد الخلية، غير أن غالبيتها عديدة الخلايا في صورة أشرطة متفرعة. وتحتوي، إضافة إلى الكلوروفيل، على صبغات خاصة Phycobilinis تمكنها من امتصاص موجات الضوء القصيرة (الزرقاء) التي تخترق أعماق البحار والمحيطات، وهذا يفسر انتشار هذا النوع من الطحالب على أعماق كبيرة، أعمق من تلك التي تعيش فيها بقية الأنواع المذكورة أعلاه.

الأشنات Lichens

وهي صورة تكافلية من بعض أنواع الفطريات وبعض الطحالب أو الطحالب الخضراء المزرقة، يعيش بعضها مع بعض متعاونة بحيث يمد كل منها الآخر ببعض احتياجاته الغذائية. فمثلا تقوم الطحالب بإمداد الفطريات باحتياجاتها من الغذاء (الكربوهيدرات والفيتامينات) التي تنتجها بواسطة عملية التمثيل الضوئي، بينما تقوم

الفطريات - بواسطة خيوطها الفطرية - بامتصاص الماء والعناصر المعدنية من البيئة التي تعيش فيها ومن ثم تمد الطحالب باحتياجاتها الضرورية من هذين العنصرين (الماء، والعناصر المعدنية) والتي تمكن الطحالب من القيام بعملية التمثيل الضوئي، كما توفر إطارا دعاميا ووقائيا جيدا لهذه الصورة التكافلية. وتحصل الفطريات على احتياجاتها الغذائية من الطحالب بواسطة زوائد ماصة تشبه الجذور تسمى ممصات Haustoria، تقوم باختراق خلايا الطحالب وامتصاص الغذاء منها.

وبخلاف بعض الحالات والاستثناءات فإن أغلب الأشنات تتكون من نوع واحد من الفطريات ونوع واحد من الطحالب (أو الطحالب الخضراء المزرقة). ويعرف في الوقت الراهن ما يزيد عن ٢٧ نوعا طحلبيا وجدت في الأشنات. ومن أشهر أجناسها الطحلب الأخضر وحيد الخلية *Trebouxia*، والخيطي *Trenlipalia*، ونوستك *Nostoc* وهذه الثلاثة المذكورة أعلاه تشكل ما يزيد عن ٩٠٪ من أنواع الطحالب الداخلة في تكوين الأشنات. وفي المقابل فإن أغلب الفطريات الداخلة في هذا التكافل تتبع الفطريات الأسكية باستثناء عدد قليل تتبع الفطريات البازيدية.

وتنتشر الأشنات انتشارا واسعا في الطبيعة حيث تنمو على الصخور، وقلف الأشجار، وبصفة عامة على جميع البيئات غير المناسبة لنمو النبات، وتتميز بقدرة فائقة على تحمل التفاوت الكبير في درجات الحرارة والجفاف، وهذه توجد بكثرة في مناطق القطب الشمالي والجنوبي، ولذلك فإنها تشكل مصدرا غذائيا هاما في بعض المناطق القطبية. إما كأعلاف لبعض الحيوانات (كالأيائل) أو للإنسان، كما أن بعضها يدخل في تركيب العديد من الأصباغ.

الفصل الثامن

الفيروسات Viruses

- تعريف الفيروسات • الصفات العامة للفيروسات
- تكاثر الفيروسات • تقسيم الفيروسات • علاقة الفيروسات ببعض الأمراض • طرق دراسة الفيروسات
- طرق عزل وتنقية الفيروسات • طرق مقاومة الأمراض الفيروسية • طرق تنمية الفيروسات وإكثارها

مع أن الفيروسات لم تكتشف إلا في نهاية القرن التاسع عشر بواسطة العالم إيفانوفسكي عام ١٨٩٢م، فإن عبارة (فيروسات) عُرفت منذ آلاف السنين كوصف لتلك العوامل التي لها القدرة على إحداث المرض. ويبدوا جليا الآن أن عديدا من الأمراض الفيروسية المعروفة في وقتنا الراهن قد عُرفت منذ آلاف السنين دون معرفة طبيعة المسبب المرضى لها. فكلمة (Virus) هي كلمة لاتينية الأصل محورة من كلمة Venom والتي تعنى المحلول السام.

ومنذ أن أشار إيفانوفسكي عام ١٨٩٢م إلى أن راشح مستخلص نباتات التبغ المصابة بمرض الموزاييك (التبرقش) يمتلك القدرة على إحداث المرض في النباتات السليمة تبعه العديد من المعلومات الإضافية في هذا المجال، غير أن جميع هذه الإشارات كانت تنبع من قناعة بأن جميع هذه الأمراض الناشئة من (الراشح) هي في الواقع محتوية على نوع جديد من الأحياء الدقيقة يشبه البكتيريا غير أنه أصغر حجما. إلي أن أتى بعد ذلك العالم M. W. Beijerinck عام ١٨٩٨م واكتشف إمكانية ترسيب

الفيروسات من المعلق المحتوى عليها بواسطة الكحول دون أن يفقدها ذلك حيويتها وقدرتها المرضية، كما أنها من الممكن أن تنتشر خلال غشاء جيلاتين الآجار Agar-gel. ونظرا لأن هذه الصفات لا تميز أي كائن حي من الكائنات الحية الدقيقة المعروفة، فقد قاد هذا الاستنتاج Beijerinck إلي القول إن هذه الفيروسات ليست كائنات حية وإنما هي (محاليل مرضية معدية).

وفي نفس الوقت تقريبا تمكن Forsch Loeffler من إحداث عدوى مرض الحمى القلاعية في حيوانات سليمة عن طريق استعمال السائل الناتج من تقرحات الحيوانات المريضة والذي سبق تمريره من مرشحات بكتيرية. ومر ٤٠ عاما عقب هذا الاستنتاج تجمع فيها عديد من المعلومات المتفرقة عن طبيعة الفيروسات حتى أتى العالم W. M. Stanley عام ١٩٣٥م وأكد استنتاج بيجرنك وأضاف عليه قدرته على بلورة راسب الفيروسات الذي أشار إليه بيجرنك، وتعريف هذه البلورات بأنها تتكون أساسا من مواد بروتينية. وبعد ذلك بعدة سنين أكتشف العلماء أثناء دراساتهم على بلورات فيروس التبغ النقية أنها تحتوي على نسبة من الحمض النووي RNA إضافة إلي البروتين. وبالتالي فإنه يرجح بأن العامل المعدي ليس جزيء البروتين وإنما هو مركب من جزيئات البروتين وحمض نووي إما RNA أو DNA حسب نوع الفيروس.

وفي عام ١٩١٥م أكتشف كل من F. W. Twort، F. d'Herelle بصورة مستقلة بعضهما عن بعض إمكانية إصابة البكتيريا وتحللها بعامل مرضي معدي هو الفيروسات والتي أطلق عليها اسم بكتريوفاج Bacteriophage.

وقبل الحديث عن طبيعة وصفات الفيروسات حري بنا أن نتطرق إلى تعريف محدد لهذه المجموعة من المسببات المرضية التي تشكل في الوقت الراهن أحد أهم المسببات المرضية للإنسان والحيوان والنبات.

تعريف الفيروسات Definition of Viruses

إن تعريف الكائنات الحية بأشكالها المختلفة كان على امتداد تاريخ العلوم مجال الاختلاف في الرأي، وللتغيير والتبديل، مع تطور هذه العلوم، وزيادة المعلومات

المتوفرة لدينا عن هذه الكائنات، نتيجة استخدام وسائل البحث العلمي المتطورة. وينطبق هذا القول أكثر ما ينطبق على الكائنات الحية الدقيقة.

وإذا كان تعريف هذه الكائنات الكبيرة الحجم نسبيا والمحددة التركيب والوظائف من الأمور التي كانت مثار اختلاف وجدل، فإنه من الطبيعي أن يكون تعريف الفيروسات أمرا أكثر صعوبة وأبعد ما يكون عن الاتفاق على تعريف واحد محدد. وذلك نتيجة طبيعة الفيروسات والزاوية التي ينظر إليها منها عند وضع التعريف. وقد وضعت العديد من التعريفات وكل منها يركز على صفة من صفات الفيروس هي في مجموعها تبرهن على مدى الصعوبة في إيجاد تعريف متكامل ومتفق عليه. وسنورد هنا بعض هذه التعاريف التي يعتقد أنها أكثر دقة في تعريف أهم صفات الفيروسات وخصائصها:

١ - الفيروسات هي وحدات تحت مجهرية، لها القدرة على اختراق خلايا حية محددة، والتكاثر داخل هذه الخلايا بالذات.

٢ - الفيروسات هي وحدات تحتوي على عوامل وراثية مكونة من حمض نووي RNA أو DNA، ولها القدرة على التكاثر داخل خلايا حية، وتوجيه القدرة التخليقية Synthetic ability لهذه الخلايا لإنتاج وحدات فيروسية جديدة تحمل نفس الصفات وتنقلها إلي خلايا أخرى جديدة.

٣ - الفيروس هو أصغر تركيب حيوي Biological entity يحتوي على كامل الصفات الوراثية اللازمة لتكرار نوعه Replication داخل الخلية الحية.

الصفات العامة للفيروسات General Features of Viruses

لقد كانت طبيعة الفيروسات من أكثر النقاط مثارا للجدل والاختلاف بين العلماء، هل الفيروس كائن عضوي Organic؟هل هو حي؟ إلى غير ذلك من التساؤلات حول طبيعة هذه المخلوقات الجديدة إن صح القول. ولقد تقاربت الشقة بين نقاط الاختلاف كلما تقدمت وسائل البحث العلمي التي مكنت العلماء من دراسة أدق تفاصيل الفيروسات وتحديد طبيعتها ولو أنها لم تزل تماما.

وقد أصبح معروفا لنا أن الفيروسات توجد في الطبيعة في صورتين مختلفتين إحداهما صورة نشيطة تعيش داخل خلية العائل تمارس النشاط البيولوجي كاملا وتسمى Virus. وتتكون هذه الصورة من حمض نووي فقط DNA أو RNA يكرر نفسه داخل خلية العائل ويعمل كرسول Messenger يحفز الخلية على تكوين منتجات بروتينية فيروسية معينة مثل اللبنات البروتينية الصغيرة Capsomers والتي تكون في مجموعها الغلاف البروتيني للفيروس والمسمى Capsid.

الصورة الأخرى للفيروسات هي تلك الصورة التي توجد خارج خلية العائل وهي خاملة لا تقوم بأي نشاط وتسمى Virion وتتكون هذه الصورة من أحد الحمضين النوويين DNA أو RNA يحاط بغلاف بروتيني يسمى Capsid وفي بعض الحالات، مثل بعض الفيروسات الحيوانية، يكون هذا الغلاف البروتيني أيضا محاطا بغلاف آخر Membrane envelop وهذه الصورة للفيروس هي الصورة المعدية.

طبيعة الأحماض النووية الداخلة في تركيب الفيروس

يحتوي جزيء الفيروس الكامل Virion على نوع واحد من الأحماض النووية (الجدول رقم ٩) يختلف باختلاف نوع الفيروس. غير أن أغلب الفيروسات تحتوي إما على الحمض النووي DNA المزدوج Double stranded أو RNA المفرد Single stranded مع بعض الاستثناءات، حيث توجد بعض الأنواع التي تحتوي على RNA المزدوج أو DNA المفرد. وقد أثبتت التحليلات التي أجريت على الفيروسات أن الغالبية العظمى منها تحتوي على جزيء واحد من الحمض النووي ويكون طول هذا الجزيء ثابتا لنفس النوع الفيروسي، غير أنه يتفاوت بين الأنواع الفيروسية المختلفة ضمن مدى يتراوح بين بضعة آلاف من وحدات النيوكلوتيدات Nucleotides وحوالي ٢٥٠٠٠ وحدة. ولتقريب الإحساس بحجم هذه الوحدات الفيروسية، فإننا إذا تصورنا أن الجين الواحد (الوحدة الوراثية) تتكون من حوالي ١٠٠٠ قاعدة، فإن أصغر فيروس في هذه الحالة يتراوح حجمه بين عشرة جينات وعدة مئات منها في الفيروسات الكبيرة.

الجدول رقم (٩). مقارنة بين الحمض النووي للفيروسات المختلفة.

نوع الفيروس	الحمض النووي			
	RNA		DNA	
	النوع المزدوج Double stranded	النوع المفرد Single stranded	النوع المزدوج Double stranded	النوع المفرد Single stranded
الحيواني	+	+	+	+
النباتي	+	+	−	+
البكتيري	−	+	+	+

وقد اتضح من الدراسات أن الحمض النووي DNA لعديد من الفيروسات البكتيرية والحيوانية يكون في شكل دائري Cyclic، غير أن بعض الفيروسات التي تحتوي على حمض نووي DNA مثلها مثل جميع الـ RNA تكون ذات شكل طولي Linear غير دائري، باستثناء حالة واحدة وهي الموجودة في البكتريوفاج، حيث يكون الحمض النووي DNA طوليا غير أنه يتحول إلي الشكل الدائري circular بمجرد اختراقه لخلية العائل.

بناء الوحدات البروتينية Nucleocapsid

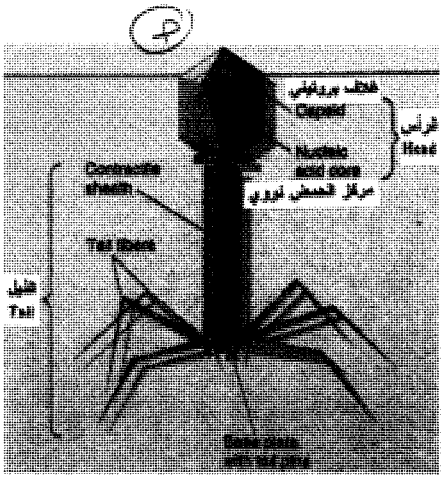
أوضحت دراسات المجهر الإلكتروني أن أغلب الفيروسات Virions تقع من حيث الشكل ضمن إحدى المجموعتين وما يتفرع منها من أشكال (الشكل رقم ٢٦):

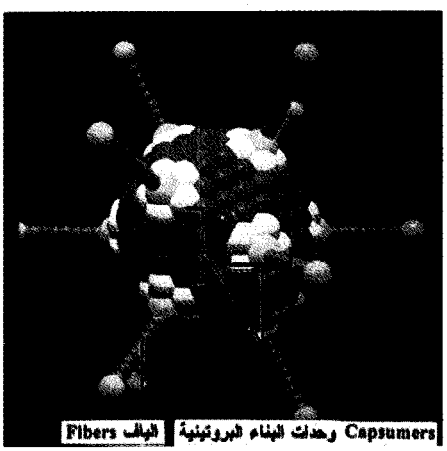
١) الشكل اللولبي Helical ، ٢) عديد الأوجه Polyhedral.

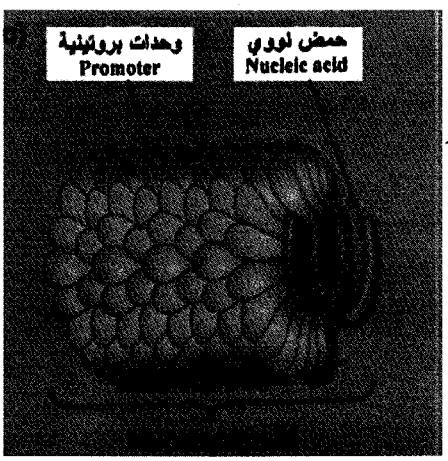
أما بالنسبة للفيروسات البكتيرية Bacteriophage فإنها تأخذ شكلا مزدوجا حيث يكون رأس الفيروس من النوع العديد الأوجه Polyhedral، ويتصل بذيل لولبي الشكل Helical.

وسنأخذ فيروس موزايك التبغ كمثل للتفصيل على الفيروسات عامة، باعتباره من أكثر الفيروسات التي أخضعت للدراسة، فقد وجد أن هذا الفيروس يتكون من جزيئه حمض نووي RNA مفرد Single-strand محاطة بغلاف بروتيني يأخذ معها الشكل اللولبي. ويأخذ الشكل العام للفيروس الشكل العصوي المحاط بحوالي ٢٠٠٠

وحدة بروتينية من وحدات الغلاف البروتيني Capsids المتشابهة الشكل. أما بعض الفيروسات الحيوانية فإنها تحاط بغلاف بروتيني لولبي غير أنه يكون بدوره محاطاً بغشاء يسمى Envelope ويكون الحمض النووي في الفيروسات الملتوية Helical موجود داخل تجويف ملتوي الشكل.







الشكل رقم (٢٦). يوضح الأشكال الرئيسية للفيروسات: أ) الشكل اللولبي Helical، ب) الشكل عديد الأوجه Polyhedral، جـ) شكل أبي ذنيبة يمثل البكتريوفاج (الفيروسات البكتيرية) Bacteriophage.

(عن: McKane and Kandel, 1996) ، (عن: Prescott, *et al.*, 1996)

وفي عديد من الفيروسات النباتية والحيوانية يكون الغلاف البروتيني متعدد الأوجه (له ٢٠ وجها، ١٢ زاوية، ٣٠ طرفا)، ويسمى هذا الشكل Icosohedron، ويتكون الغلاف البروتيني في هذا النوع من الفيروسات من نوعين من الوحدات البروتينية Capsomers :

-نوع يسمى Pentomers وهو الذي يوجد في الزوايا.

- نوع يسمى Hexamers وهو الذي يوجد في الأوجه المسطحة.

وتتكون كل وحدة من وحدات الغلاف البروتيني من سلسلة واحدة من البروتينات المتعددة Polypeptides باستثناء حالة نادرة واحدة حيث تتكون وحدة الغلاف البروتيني فيها من سلسلتين مختلفتين من البروتينات المتعددة.

ويتحدد حجم الفيروس عديد الأوجه تبعا لعدد وحدات الغلاف البروتيني التي يحتويها الفيروس ويتحدد هذا العدد وفق قوانين ثابتة، غير أنه يتراوح بين١٢-٨١٢ وحدة بروتينية Capsomers.

تكاثر الفيروسات Reproduction of Viruses

يمكن إيجاز المراحل التي يمر بها الفيروس لتكرار نفسه Replication في المراحل الآتية : (Talaro & Talaro, 1996)

١- اختراق الفيروس لخلية العائل

٢ - تخليق (تكوين) الإنزيمات اللازمة لتكرار الأحماض النووية للفيروس.

٣ - تخليق مكونات الفيروس.

٤ - التحام هذه المكونات مع بعضها لتكوين الفيروس الكامل.

٥ - انطلاق الوحدات الفيروسية الجديدة.

وتختلف عملية الاختراق بين مختلف أنواع الفيروسات النباتية - الحيوانية - البكتيرية فالفيروسات النباتية والبكتيرية يلزم لها اختراق الجدار الخلوي لخلية العائل، بينما تهضم الفيروسات الحيوانية على سطح الغشاء الخلوي، ويتم الاختراق لبعض

الفيروسات البكتيرية عن طريق الحقن Injection، حيث يحقن الحمض النووي إلي داخل الخلية بينما يظل الغلاف البروتيني خارج الخلية. أما الفيروسات النباتية فقد ثبت أنها غير مزودة بوسيلة خاصة للاختراق، حيث تنتقل هذه الفيروسات من عائل لآخر في الطبيعة غالبا بواسطة الحشرات الناقلة التي تحقنها إلي داخل الخلية، أو عن طريق الجروح التي تحصل للنباتات.

أما الفيروسات الحيوانية فإنها تدمص Adsorption على سطح الخلية العائل، ومن ثم تلتهم إلي داخل الخلية بواسطة ميكانيكية يطلق عليها الالتهام Phagocytosis.

ومن أوجه الاختلاف أيضا بالنسبة لأنواع الفيروسات في عملية الاختراق أن الحمض النووي فقط في أغلب الفيروسات البكتيرية هو الذي يدخل إلى داخل سيتوبلازم خلية العائل. أما بالنسبة للفيروسات النباتية والحيوانية فإن الغلاف البروتيني كاملا بما فيه الحمض النووي يدخل إلي السيتوبلازم، وهناك يتم التخلص من الغلاف البروتيني غالبا بفعل الإنزيمات المحللة للبروتينات الموجودة داخل الخلية.

وبمجرد انطلاق الحمض النووي داخل خلية العائل تبدأ تلقائيا عمليتان كيميائيتان:

١ تكوين البروتينات الفيروسية.

٢ تكرار هذا الحمض النووي.

فإذا كان هذا الحمض النووي من النوع RNA فإنه بمجرد انطلاقه داخل السيتوبلازم، فإنه يعمل - كحمض نووي مرسل Messenger-RNA، يقوم بتحفيز الخلية، عن طريق ميكانيكية وراثية خاصة - على إفراز إنزيمات خاصة بتكرار الحمض النووي الفيروسي ووحدات الغلاف البروتيني. إما إذا كان الحمض النووي الخاص بالفيروس من النوع DNA فإنه بمجرد انطلاقه يتحول بواسطة إنزيمات خاصة إلي Messenger-RNA ويقوم بنفس العمل المذكور أعلاه، وكنتيجة لعملية تخليق الوحدات البروتينية والأحماض النووية هذه فإنه تتجمع بعد فترة كميات كبيرة من كلا هذين المركبين، فيتبع ذلك التحام بين الحمض النووي والغلاف البروتيني لتكوين الفيروس

الكامل، ومن ثم تنطلق هذه الوحدات الفيروسية إلي خارج الخلية. إما عن طريق إذابة Lysis أو تحليل كامل الخلية بواسطة إنزيمات فيروسية، كما هو الحال في الفيروسات النباتية، أو بواسطة الخروج خلال الغشاء الخلوي Membrane في حالة الفيروسات الحيوانية.

يلاحظ مما ذكر أعلاه أن خلية العائل تستطيع تخليق فيروسات كاملة Virion من حمض نووي فقط داخل سيتوبلازم خلية العائل. وقد ثبت من واقع التجارب أنه يمكن إحداث العدوى بواسطة حمض نووي مستخلص من وحدات فيروسية كاملة Virion غير أنه لوحظ أن عملية العدوى في هذه الحالة تكون أقل كفاءة بمراحل من عدوى الفيروس الكامل Virion بحيث تقدر بحوالي ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٠٠٠٠١ منها. ذلك أن الغلاف البروتيني للفيروس يعمل على تسهيل عملية اختراق خلية العائل عن طريق ميكانيكية الادمصاص على سطحها، وفي بعض حالات الفيروسات البكتيرية يقوم الغلاف البروتيني بحقن الحمض النووي إلي داخل الخلية. كما يعمل الغلاف البروتيني- في بعض الحالات - على حماية الحمض النووي من تأثير الإنزيمات والمواد الكيماوية التي قد تؤدي إلي تحلل هذا الحمض أو تدميره.

وقد أصبح معروفا الآن أن المدى العائلي للفيروس يتحدد بدرجة كبيرة بقدرته على الادمصاص على مناطق استقبال محددة على سطح خلية العائل تسمى Receptor sites، وتقابلها على الغلاف البروتيني للفيروس مناطق محددة تسمى مناطق الادمصاص Adsorption sites. ومن هذا يتضح أن المدى العائلي للحمض النووي المستقل أوسع بكثير من المدى العائلي للفيروس الكامل Virion. غير أن انخفاض كفاءة الإصابة التي ذكرت أعلاه تقلل من احتمالات استفادته من هذه الميزة.

تقسيم الفيروسات Classification of Viruses

يعتبر التقسيم الذي وضعه العالم A. L. Woff ورفاقه عام ١٩٦٢م من أكثر نظم تقسيم الفيروسات استعمالا. فطبقا لهذا التقسيم فإن الفيروسات توضع في مجموعات

استنادا إلي الصفات العامة للوحدة الكاملة Virion ، مثل نوع الحمض النووي ، حجم الغلاف البروتيني ، تصميم شكل هذا الغلاف ، وجود الظرف Envelope أو غيابه. وهناك تقسيمات ثانوية تعتمد على بعض الخصائص الدقيقة مثل عدد خطوط الحمض النووي Strands وموقع تكوين الوحدات الفيروسية داخل خلية العائل.

يتضح مما سبق أن هذا النظام التقسيمي لا يقصد منه تحديد درجة القرابة التطورية بين المجموعات المختلفة ، ولكن يضع الفيروسات ضمن مجاميع استنادا لصفات وخصائص كيميائية وتركيبية محددة يمكن قياسها بدقة متناهية. ونظرا لأن طرق الدراسة المتبعة في مجال الفيروسات تختلف لحد كبير تبعا لنوع العائل الذي يعيش عليه الفيروس ، فإنه يلجأ إلي وضع الفيروسات في ثلاث مجموعات استنادا لطبيعة العائل ، وذلك بغرض تسهيل دراستها ، حيث تقسم إلي فيروسات بكتيرية - فيروسات نباتية - فيروسات حيوانية.

الفيروسات البكتيرية Bacterial Viruses

من واقع الدراسات التي أجريت حتى وقتنا الراهن فإنه يمكن القول إن جميع أنواع البكتيريا المعروفة تشكل عوائل لواحد أو أكثر من الفيروسات وقد اصطلح على أن يطلق على الفيروسات التي تهاجم الخلايا البكتيرية اسم بكتريوفاج Bacteriophage أي ملتهم البكتيريا. ويلاحظ المتتبع لهذه الدراسات أن أغلب الأبحاث التي أجريت على الفيروسات البكتيرية (بكتيريوفاج) تم إجراؤها على الفيروسات التي تهاجم بكتيريا *Escherichia coli*. وعليه فإن أغلب النتائج والمعلومات التي سيتم الإشارة إليها هنا هي من واقع هذه الدراسات ، والتي يستنتج منها أن الفيروسات البكتيرية من الممكن أن تحتوي على أي من الحمضين النوويين DNA أو RNA. وفي أغلب الأنواع المحتوية على DNA فإن الحمض النووي يكون مزدوج الخيط Double strands ، باستثناء عدد قليل جدا يكون فيه الحمض مفرد الخيط. أما بالنسبة للأنواع المحتوية على حمض RNA فإن جميع هذه الأنواع يكون الحمض فيها مفردا ، وباستثناء مجموعة واحدة من

الفيروسات البكتيرية فإن جميع الأنواع يكون فيها الحمض النووي للفيروس محاطا بغلاف بروتيني (عديد الأوجه) وفي حالات كثيرة يكون الرأس متصلا بتركيب بروتيني لولبي الشكل يسمى الذيل Tail وهذا بدوره يشكل عضو الادمصاص (إذا صح القول) الذي يدمص على سطح خلية العائل. وهناك استثناء وحيد لهذا الشكل، وهو الفيروس المعروف باسم (FD) والذي يتكون من شكل عصوي يحتوي على DNA مفرد. وفي الغالب يكون البكتريوفاج العديد الأوجه من النمط المسمى Icosohedral، أي أن الغلاف البروتيني للرأس يتكون من ٢٠ مسطحا (وجها)، وفي أنواع أخرى قد يصل عدد الأوجه إلي أكبر من ذلك بكثير. ولكنها دائما تأخذ نفس التوزيع التركيبي.

ومن الأهمية بمكان هنا أن نلاحظ أن الأشكال المختلفة من البكتريوفاج تتميز باحتوائها على أنماط مختلفة من الأحماض النووية. فمثلا الأنواع المحتوية على الذيل Tail يكون الحمض النووي فيها من النوع DNA المزدوج. والأنواع التي تحتوي على وحدات بروتينية كبيرة في غلافها البروتيني، والأنواع الخيطية، تتميز بحمض نووي من النوع DNA المفرد. والأنواع التي لا تحتوي على الذيل والمتميزة بغلاف بروتيني ذي وحدات بروتينية صغيرة يكون الحمض النووي فيها من النوع RNA المفرد. وفي بعض الأنواع يأخذ الحمض النووي شكل الدائرة المغلقة محاطة بغلاف بروتيني.

ومن المناسب هنا الإشارة إلي أن الفيروسات البكتيرية (بكتريوفاج) يتم تسميتها بإعطائها رموزا كودية يطلقها عليها الباحثون الذين اكتشفوها مثل β، η، λ. أما بالنسبة لأحجام البكتريوفاج، فإننا سنأخذ بعض الأنواع التي تصيب بكتريا *E. coli* كمثل لهذه المجموعة من الفيروسات.

النوع	أ	ب	جـ	د	هـ	و
الشكل العام						
نوع الحمض النووي وعدد	DNA	DNA	DNA	DNA	DNA	DNA
الخطوط المتكون منها	2	2	2	1	1	1

أ) رأس سداسي الأوجه، ذيل صلب نوعا، وغلاف متقلص للذيل، زوائد ذيلية.

ب) رأس سداسي الأوجه، ذيل مرن، ليس له غلاف متقلص، لا يحتوي على زوائد ذيلية.

جـ) رأس سداسي الأوجه، ذيل أقصر من الرأس، ليس له غلاف متقلص، قد يحتوي أو لا يحتوي على زوائد ذيلية.

د) رأس سداسي الأوجه مكون من لبنات بروتينية كبيرة الحجم، ليس له ذيل.

هـ) رأس سداسي الأوجه، مكون من لبنات بروتينية صغيرة الحجم، ليس له ذيل.

و) خيطي الشكل.

تعتبر الأنواع المسماة Coliphages والتي يرمز لها بالرموز $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ من أكثر الأنواع التي خضعت للدراسة، وهذه تتكون من DNA محاط بغلاف بروتيني ويتراوح حجمها بين ٦٥ و٢٠٠ نانوميتر طولا، وبين ٥٠ و٨٠ نانوميترا عرضا، ويبلغ طول الحمض النووي DNA ذو الشكل الحلقي ٥٠ ميكرومترا (١٠٠٠ ضعف الفيروس).

وهناك أنواع أخرى من البكتريوفاج التي تصيب البكتريا *E. coli* تختلف في شكلها وتركيبها عن الأنواع T ويرمز لها بالرمز f_2 وهذه تكون أصغر حجما وتحتوي على حمض نووي RNA من النمط المفرد المستقيم.

وقد أكتشفت فيما بعد أنواع خيطية Filamentes من البكتريوفاج تصيب خلايا *E. coli* وهذه لها خصائص مختلفة عن الأنواع T, F.

تكاثر الفيروسات البكتيرية Replication of bacteriophages

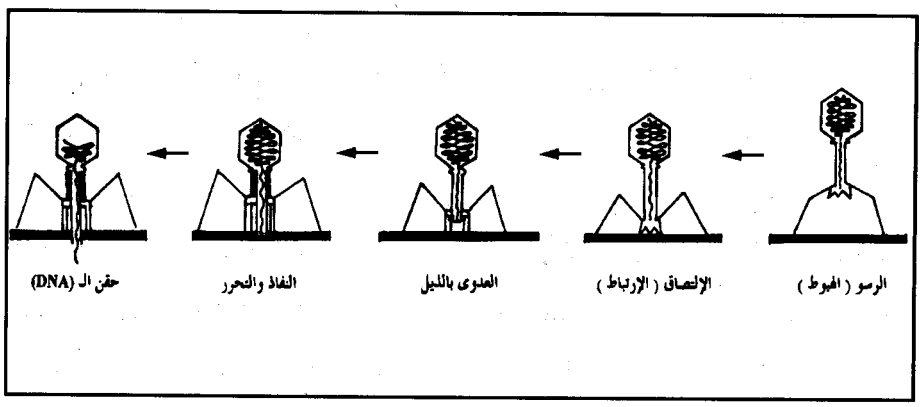
سوف نأخذ البكتريوفاج التي تصيب البكتيريا *E. coli* من الأنواع T مثلا لطريقة تكاثر الفيروسات البكتيرية، نظرا لكثافة الدراسات التي أجريت على هذه الأنواع.

فكما ذكرنا في بداية هذا الفصل بأن أول خطوات تكاثر الفيروس هو الادمصاص على

سطح خلية العائل Adsorption وسنتحدث هنا بنوع من التفصيل عن هذه الخطوة بالنسبة للفيروسات البكتيرية.

الادمصاص والاختراق Adsorbtion & Penetration

يعتبر ذيل البكتيريوفاج هو العضو المخصص للادمصاص حيث يلتصق طرف الذيل بجدار خلية العائل. وتعتبر عملية الادمصاص هذه على درجة عالية من التخصص حيث يتم الادمصاص بين مناطق محددة على سطح الخلية تسمى مناطق استقبال Receptors ، وبين مناطق محددة مع الذيل تسمى مناطق ادمصاص Sites of Adsorption ، ويوجد نوع من التوافق الجزيئي بين هذه المناطق. وإذا حدث اختراق لخلية العائل بواسطة عدد كبير من الفيروسات فإن خلية البكتيريا يحدث لها تحلل مبكر Premature lysis دون أن يصحب ذلك أي زيادة في أعداد الفيروسات، أي دون أن تتكاثر (الشكل رقم ٢٧).



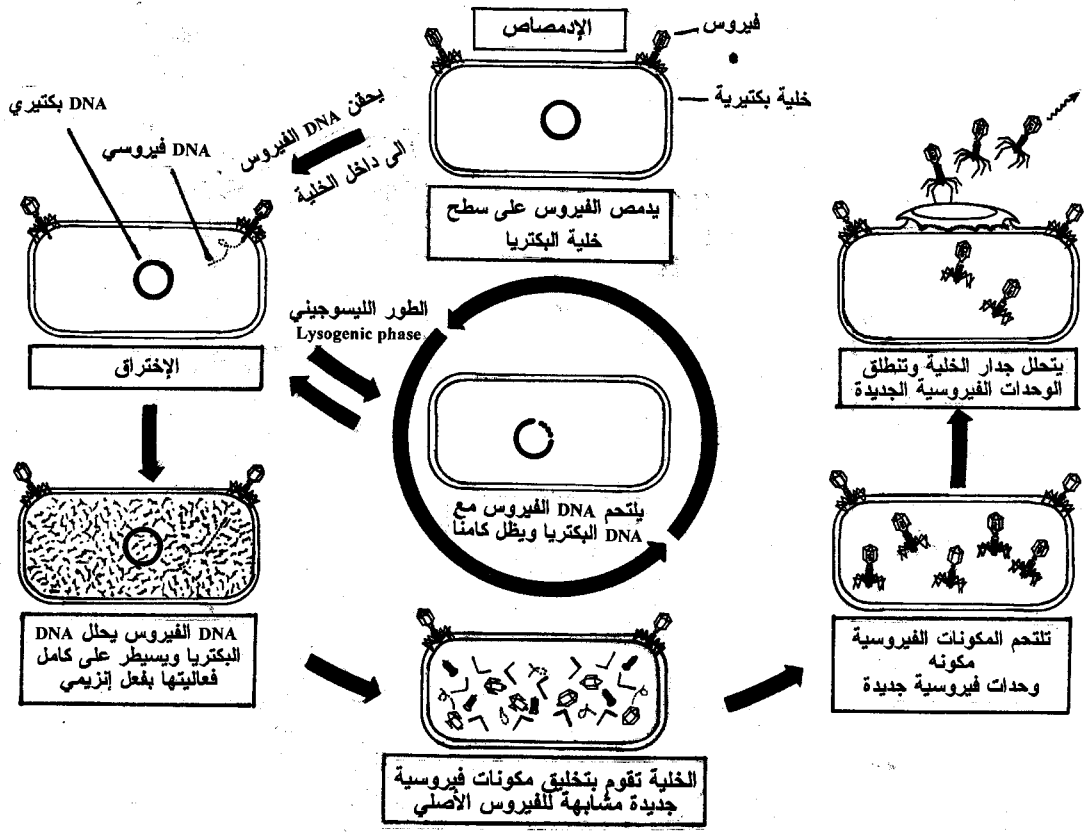
الشكل رقم (٢٧). ادمصاص فيروس البكتريوفاج وحقن الحمض النووي.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

ويعقب عملية الادمصاص اختراق جدار الخلية، والذي يتم ميكانيكيا، غير أنه يوجد إنزيم في ذيل الفيروس يسمى Lysozyme يعمل على تسهيل عملية الاختراق، وذلك بإذابة الجدار. ويلتصق طرف الذيل بشدة بالجدار الخلوي، ثم يقوم الفيروس عن طريق تقلص واندفاع الذيل Sheath بحقن الحمض النووي بشدة إلى داخل الخلية (يشبه عملية حقن أي مصل داخل جسم الإنسان بواسطة الحقنة) ويترك الغلاف البروتيني خارج الخلية أما في بعض أنواع البكتريوفاج التي لا يوجد فيها غلاف متقلص Contractile sheath فإن ميكانيكية دفع الحمض النووي إلي داخل الخلية غير معروفة بالتحديد. أما بالنسبة للبكتيريوفاج المحتوية على حمض نووي RNA والأنواع الخيطية Filamentous فإنها تدمص على البيلي Pili الخاصة بالبكتيريا (زوائد صغيرة تشبه الأسواط تخرج من سطح البكتريا) ويدخل لمسافة قصيرة داخل البيلي ومن ثم يقوم البيلي بحقنه إلى داخل الخلية.

تكوين الفيروسات وتحلل الخلية

عقب اختراق الحمض النووي مباشرة للخلية سواء كان هذا الحمض DNA أو RNA فإنه يعمل كرسول Messenger - RNA يحمل المعلومات الوراثية التي تمكنه من السيطرة على الفعاليات الأيضية للخلية وتوجيهها لتكوين مجموعة من الإنزيمات الضرورية لتكرار الحمض النووي الفيروسي DNA وفي بعض الأنواع الفيروسية يصل عدد هذه الإنزيمات المتكونة إلى ١١ إنزيما. ويعتقد أن جميع الفيروسات تحتوي على الصفات الوراثية التي تمكنها من تخليق على الأقل بعض هذه الإنزيمات وبعضها الآخر يعتمد على خلية العائل في تكوينه. عقب تكوين هذه الإنزيمات يبدأ في تكرار الحمض النووي الفيروسي (الشكل رقم ٢٨)، وتختلف ميكانيكية تكرار هذا الحمض من فيروس لآخر استنادا لكون الحمض النووي DNA من النوع الحلقي Cyclic أو المستقيم Linear. فبالنسبة للأنواع التي تحتوي DNA مفرد فإن الحمض الفيروسي بمجرد دخوله إلى داخل خلية العائل يتحول إلي النوع المزدوج بواسطة إنزيمات خاصة



الشكل رقم (٢٨). خطوات تكرار الفيروس لنفسه داخل الخلية الحية (مثل فيروس بكتيري).

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

Bacterial DNA Polymerase، ويتبع ذلك تكرار هذا الحمض. وفي نفس الوقت تبدأ خلية العائل في تخليق مجموعة أخرى من البروتينات هي المكونة للوحدات البروتينية Subunits لغلاف الفيروس، وبعد تراكم كميات كبيرة من الأغلفة البروتينية Capsids والأحماض النووية، يلتحم كل حمض نووي مع الغلاف البروتيني لتكوين فيروس جديد كامل.

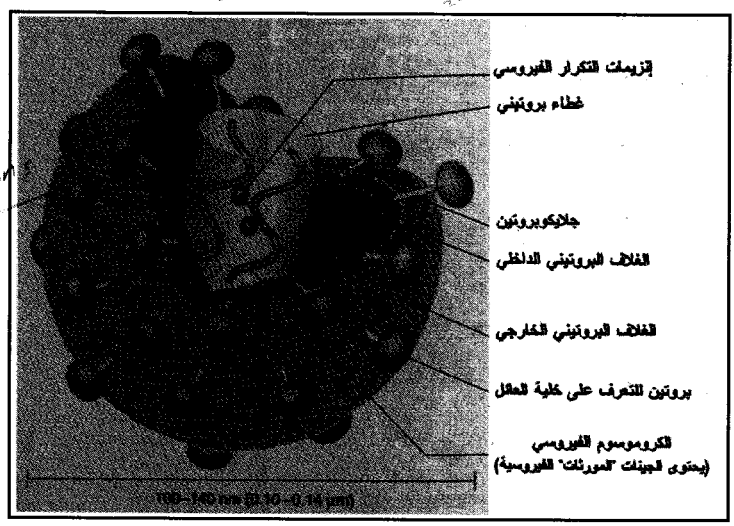
ويقدر أن هذه العملية تتم بسرعة فائقة بحيث يكون الفيروس الواحد حوالي ٢٠٠ وحدة جديدة في مدى ٢٥ دقيقة، ثم تنفجر الخلية بفعل إنزيم Lysoseme الذي يصيب جدار خلية العائل، ومن ثم تنفجر لكي تخرج الوحدات الفيروسية الجديدة، وتعيد الدورة مرة أخرى.

Lysogeny

إن طبيعة العلاقة التي ذكرت أعلاه بين الحمض النووي الفيروسي وبين خلية العائل (المتمثلة في السيطرة على فعاليتها لتخليق وحدات فيروسية جديدة) ليست هي العلاقة الوحيدة التي تسلكها الفيروسات. ذلك أن هناك استثناء لذلك بحيث يدخل الحمض النووي الفيروسي في علاقة تعاون (إن صح القول) مع الحمض النووي الخاص بخلية العائل، ويصبح الحمض النووي الفيروسي جزءا من كروموسوم خلية العائل. وفي هذه الحالة تمارس خلية العائل نشاطها المعتاد. وتنقسم الخلية بحيث ينتقل الحمض النووي الفيروسي إلي جميع الأجيال البكتيرية المتكونة ضمن كر وموسوم الخلية الأم، وتسمى هذه العلاقة Lysogeny. غير أنه أحيانا - ولأسباب غير معروفة - فإن الحمض النووي الفيروسي ينفصل عن كر وموسوم خلية العائل ويبدأ دورة التكرار المعتادة Lytic cycle وتسمى هذه العملية Spontaneous induction ويمكن تحفيز خلية العائل للخروج من طور Lysogeny إلي طور Lytic cycle بواسطة عوامل خارجية مثل الإشعاعات (مثل الأشعة فوق البنفسجية) أو المعاملة ببعض المواد الكيماوية.

الفيروسات الحيوانية والنباتية Plant and Animal Viruses

تتفاوت الفيروسات الحيوانية والنباتية تفاوتا كبيرا في الحجم والشكل. ومع أن الأسس البيولوجية لتكرار الفيروس داخل خلية العائل التي تم شرحها أعلاه تطبق لحد كبير على الفيروسات الحيوانية والنباتية فإن هناك بعض الخصائص التي تميز هذه الفيروسات وتختلف عن ما هو وارد في الفيروسات البكتيرية. وهذه سنتطرق لها بنوع من التفصيل. فمن حيث التركيب العام للفيروسات فإن الفيروسات الحيوانية والنباتية تشبه البكتريوفاج في أنها تتكون من حمض نووي يشكل مركز الفيروس، يحاط بدوره بغلاف بروتيني Capsids، يتكون من وحدات بنائية صغيرة تسمى Capsomers وتأخذ جميع الفيروسات الحيوانية والنباتية الشكل المتناسق عديد الأوجه والذي تم الإشارة إليه أعلاه (الشكل رقم ٢٩). غير أن بعض الفيروسات الحيوانية لها غشاء خارجي يسمى Envelope يحيط بالغلاف البروتيني ويحجب الشكل عديد الأوجه. ويتكون هذا الغشاء من الليبوبروتين Lipoprotein وفي هذه الحالة يكون الفيروس حساسا للمذيبات Lipid solvent مثل الإثير والكلوروفورم حيث تؤدي هذه المذيبات إلي تثبيط وتعطيل قدرتها على الإصابة. أما الفيروسات الحيوانية التي لا تحتوي على غشاء Envelope والتي يطلق عليها اسم Naked virions فإنها لا تتأثر بهذه المذيبات.



الشكل رقم (٢٩). التركيب المعقد للفيروسات الحيوانية.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

الشكل العام Morphology

يمكن تقسيم الفيروسات الحيوانية والنباتية من حيث الشكل الخارجي Morphology إلي أربع مجموعات:

١- Icosohedral: عديد الأوجه (٢٠) ومن أمثلته مجموعة Poliviruses، Adenoviruses والتي تسبب بعض الأمراض للإنسان مثل التهاب الجهاز التنفسي.

٢- ذات الشكل اللولبي Helical: ومن أمثلتها فيروس مرض الكلب Rabies والعديد من الفيروسات النباتية.

٣- المغلفة Enveloped: ويكون الشكل العام للغلاف البروتيني لهذه المجموعة إما عديد الأوجه أو لولبيا، ولكنه يكون محاطا بغلاف غشائي. وأحيانا تحتوي هذه الأغشية على زوائد صغيرة تسمى Spikes تؤدي دورا في عمليات الإصابة بحيث تساعد الفيروس على القيام بعملية التلازن Agglutinate أو التكتل والتجمع مع خلايا الدم الحمراء. ويتميز هذا الغلاف الغشائي بأنه غير ثابت الشكل أي أنه يغير شكله باستمرار ومن أمثلته فيروس الأنفلونزا.

٤- المركب Complex: بعض أنواع الفيروسات لها شكل مركب مثل الأنواع المسببة لبعض أمراض الأبقار. وهذه تأخذ شكلاً مدببا من الأمام يشبه شكل رصاصة Bullet-shape وعلى سطحها الخارجي توجد زوائد تشبه تلك الموجودة على أغلفة الفيروسات المغلفة.

الأحماض النووية Nucleic acids

تحتوي الفيروسات الحيوانية والنباتية مثلها في ذلك مثل الفيروسات البكتيرية على أحد الحمضين النوويين إما DNA أوRNA. وهناك أربعه احتمالات من الممكن أن يوجد الحمض النووي داخل الفيروس على نمطها:

DNA. Single-stranded DNA مفرد

RNA.Single-stranded RNA مفرد

DNA. Double-stranded DNA مزدوج

RNA. Double-stranded RNA مزدوج

ولقد وجدت جميع الأنماط السابقة في الفيروسات الحيوانية. أما في الفيروسات النباتية فلا يوجد سوى ثلاثة أنماط هي RNA المزدوج والمفرد و DNA المفرد. حيث لم يسجل وجود DNA المزدوج. وبالنسبة لشكل الحمض النووي داخل الفيروس فهو إما أن يكون Circular أي حلقي الشكل مغلقا مثل فيروس (SV 40) الذي تم عزله من خلايا الكلى في القردة والذي يحتوي على DNA مزدوج في صورة حلقية، أو يكون الحمض النووي Linear أي طوليا مثل الفيروس المسبب لمرض (الهربس)، والذي يتكون من DNA مزدوج في صورة طولية.

المكونات الأخرى للفيروس

١- **البروتين**: يشكل البروتين نسبة عالية من مكونات الفيروس لأنه يكون وحدات الغلاف البروتيني Capsids الذي يحيط بالحمض النووي. وقد أثبتت الدراسات أن عديدا من الفيروسات تحتوي على عدد من الإنزيمات التي تؤدي دورا في عملية تكرار الحمض النووي. وتحتوي بعض الفيروسات على إنزيم خاص يقوم باستخدام RNA الفيروسي كنمط لتخليق RNA آخر يقوم بتوجيه خلية العائل لتخليق المكونات الفيروسية.

٢- **الدهون**: أثبتت الدراسات احتواء بعض أنواع الفيروسات (بالذات الحيوانية منها) على جزيئات من الدهون، وهذه في الغالب تشكل جزءا من تكوين الغلاف الغشائي الذي يحيط بالغلاف البروتيني للفيروس.

٣- **الكربوهيدرات**: توجد الكربوهيدرات في جميع أنواع الفيروسات في صورة ريبوز أودى أوكسي ريبوز، والذي يدخل في تكوين الأحماض النووية.

*** تكاثر الفيروسات الحيوانية والنباتية**

تتبع الفيروسات الحيوانية والنباتية تقريبا نفس الخطوات الأساسية المذكورة بالنسبة للبكتريوفاج.

والاختلاف الوحيد يتمثل في كون بعض أنواع الفيروسات النباتية تدخل إلي داخل خلية العائل محاطة بغلافها البروتيني بعكس البكتريوفاج بحيث يتم حقن الحمض النووي فقط إلي داخل الخلية.

الادمصاص

يتم ادمصاص الفيروس على سطح خلية العائل على مرحلتين الأولى: تمثل الالتصاق المبدئي بواسطة الروابط الأيونية، وهذا من السهولة بمكان انحلالها في حالة تغير درجة الحموضة pH والتركيز الملحي في الوسط الثانية: تمثل الارتباط الثابت غير القابل للانحلال. ويلاحظ هنا أن الفيروسات النباتية تختلف عن الحيوانية والبكتيرية في أنها لا تحتاج إلي مناطق محددة للادمصاص عليها Reciptors sites.

الاختراق وإزالة الغلاف البروتيني

تخترق الفيروسات الحيوانية خلية العائل عن أحد طريقين. إما عن طريق التهام خلية العائل للفيروس الكامل Virion بواسطة ميكانيكية خاصة تسمى Viropexis وبمجرد دخوله إلي داخل الخلية يقوم إنزيم خاص يسمى Lysomal Proteases بتحليل وإزالة الغلاف البروتيني Capsid أما الطريقة الثانية، وهذه تتم في حالة الفيروسات المحاطة بغشاء Envelope، حيث يتم التحام بين الغشاء الفيروسي والغشاء الخارجي لسطح الخلية العائل، يتبع ذلك انطلاق كامل للفيروس Virion إلي داخل سيتوبلازم الخلية ثم يزال الغلاف البروتيني بالطريقة الإنزيمية المذكورة أعلاه.

أما بالنسبة للفيروسات النباتية فيختلف الوضع، حيث تدخل وحدات فيروسية كاملة إلي داخل الخلية العائل عن طريق فتحات خاصة على سطح جدار خلايا النبات تسمى Ectodesmato، وتؤدي هذه الفتحات دورا في امتصاص الماء والعناصر الغذائية للنبات. كما تؤدي بعض أنواع الحشرات دورا بالغ الأهمية في إدخال الفيروسات إلي داخل خلية العائل وذلك عن طريق تغذيتها عليها، فتنطلق مع اختراق خراطيم الحشرات إلي داخل خلية العائل بتأثير ميكانيكي بحت. وهناك تحصل إذابة الغلاف البروتيني للفيروس إنزيميا.

تكرار وتخليق مكونات الفيروس

بمجرد اختراق الفيروس إلي داخل خلية العائل يتبع ذلك فترة زمنية ساكنة تسمى Latent period وهى التي يتم خلالها التخلص من الغلاف البروتيني للفيروس. يتبع ذلك تكرار الحمض النووي وتخليق بقية المكونات وفي العادة يتم تكرار الحمض النووي إما داخل السيتوبلازم أو داخل النواة تبعا لنوع الفيروس. أما البروتين الخاص بالغلاف البروتيني فيتم تكوينه في مناطق خاصة بالسيتوبلازم.

ويتم تكرار وتكوين الأحماض النووية الجديدة من لبنات بنائية تسمى Nucleotides، باستخدام إنزيمات خاصة يتم توجيهها وتحفيزها من قبل الحمض النووي الخاص بالفيروس المعدي. وتختلف ميكانيكية تكوين هذه الأحماض النووية تبعا لنوع الفيروس ونمط الحمض النووي الذي سيتم تكوينه.

ويقوم الحمض النووي الفيروسي أيضا بتوجيه الخلية لتخليق بعض الإنزيمات الضرورية، والتي لا توجد أصلا في خلية العائل، إضافة إلي بعض المكونات البروتينية للفيروس. وعند تكوين أعداد كافية من الأحماض النووية والأغلفة البروتينية، يتم الالتحام بين هذه المكونات لتكوين الوحدات الفيروسية الكاملة إما داخل النواة أو داخل سيتوبلازم خلية العائل تبعا لنوع الفيروس.

انطلاق الفيروسات وتحررها

تختلف الميكانيكية التي تنطلق بها الفيروسات الكاملة من خلية العائل باختلاف نوع الفيروس. ففي بعض الفيروسات الحيوانية، تتحلل خلية العائل كاملة، ومن ثم تنطلق الفيروسات كما هو الحال في الفيروسات التابعة للنوع Polivirus. أما في أنواع أخرى من الفيروسات الحيوانية إضافة إلي الفيروسات النباتية فإن خلية العائل لا تتحلل وذلك لأن الوحدات الفيروسية الكاملة تتحرر من الخلية من خلال قنوات صغيرة على امتداد فترة طويلة من الزمن. وهناك حالات أخرى تتحرر فيها الفيروسات بواسطة التبرعم، أو من خلال الجدار وهذا يميز الأنواع المحاطة بغشاء Envelope،

وخلال هذه العملية قد يعلق بالفيروس جزء من غشاء خلية العائل ويلتحم مع غشاء الفيروس، ويصبح جزءا منه. ومن الأمثلة على هذا النوع فيروس الأنفلونزا الذي ينطلق من خلية العائل بواسطة الميكانيكية المذكورة أعلاه. ويعتقد أن نفس الطريقة تتبع بالنسبة للفيروسات النباتية المحاطة بغشاء Envelope.

ويختلف عدد الوحدات الفيروسية المنطلقة من خلية العائل عقب تمام نضجها وانتهاء (دورة حياتها) تبعا لنوع الفيروس ونوع خلية العائل وظروف النمو المحيطة بها. وبصفة عامة، فإنها تتراوح بين بضعة آلاف إلي مليون وحدة فيروسية مقارنة بحوالي ٢٠٠ وحدة فيروسية ينتجها البكتريوفاج T.

تقسيم الفيروسات الحيوانية والنباتية

Classification of plant and animal viruses

كانت الفيروسات الحيوانية تقسم في السابق استنادا إلي نوع النسيج الذي تتم إصابته. فمثلا كانت لدينا مجموعة Neurotrophic v. وهي الفيروسات التي تصيب الجهاز العصبي، Dermatotrophic v. وهي مجموعة الفيروسات التي تصيب الجلد.

غير أنه وبتقدم وسائل البحث العلمي، التي مكنتنا من دراسة الخواص الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية للفيروسات بدقة متناهية، فقد تم وضع تقسيم جديد يعتمد على هذه الخواص المذكورة. واستنادا لهذه الصفات فإن الفيروسات الحيوانية تقسم إلي عائلات Families، وهذه بدورها تقسم إلي أجناس Genera. غير أن المعلومات المتوافرة لدينا لا تمكننا بعد من التقسيم إلي مستوى النوع Species.

أما بالنسبة للفيروسات النباتية فإن الأمر يختلف، ذلك أنها لا تتبع النهج المذكور أعلاه بالنسبة للفيروسات الحيوانية، وإنما تقسم إلي مجموعة تعطي أسماء وصفية مثل مجموعة فيروسات تبرقش الخيار، ومجموعة فيروسات اصفرار النجيليات، ...إلخ.

علاقة الفيروسات ببعض الأمراض

Role of Viruses in Disease Occurance

تلعب الفيروسات دورا هاما في إحداث المرض بالنسبة للإنسان والحيوان والنبات، وتنتج عن هذه الإصابات المرضية خسائر فادحة اقتصادية وبشرية، وذلك نظرا لصعوبة السيطرة على بعض هذه الأمراض وسرعة انتشارها وسهولته. فبالنسبة للإنسان يعتبر التهاب الكبد الفيروسي Hepatites، والأمراض السرطانية Cancer، والأنفلونزا Influenza، ومرض نقص المناعة المكتسبة Aids، والحصبة، والتراخوما، وشلل الأطفال، من أخطر الأمراض الفيروسية انتشارا وأكثرها.

وبالنسبة للحيوانات فهناك عديد من الأمراض الخطيرة التي تصيب الحيوانات مثل مرض الطاعون البقري، ومرض الحمى القلاعية Foot & mouth disease، وجدري الأغنام، وكذلك تصاب الدواجن بمرض النيوكاسل، والتهاب الشعب الهوائية، ومرض الجامورو. وتسبب هذه الأمراض المذكورة خسائر اقتصادية فادحة عند انتشارها بصورة وبائية في منطقة من المناطق، وذلك لصعوبة السيطرة عليها، ولأنها تفضي إلي موت أعداد هائلة من الحيوانات ذات الأهمية الاقتصادية.

كما أثبت العديد من العلماء وجود علاقة وطيدة بين الفيروسات والأمراض السرطانية في الحيوانات حيث أشار العالم V. Ellerman عام ١٩٠٨م إلى احتمال وجود هذه العلاقة، ومن ثم تبعه العالم R.E. Shop عام ١٩٣٢م، وكذلك قام العالم J. J. Bittner عام ١٩٣٦م بتأكيد هذه العلاقة، وإن إثبات هذه العلاقة بين الإصابة الفيروسية وأمراض السرطان في الحيوانات يفتح آفاقا جديدة لاحتمال وجود علاقة مشابهة بين الأمراض السرطانية في الإنسان وبين الفيروسات، ومع أنه لم يثبت بالرأي القاطع وجود هذه العلاقة فإن الأبحاث والدراسات مازالت جارية لتأكيد أو نفي هذا الاحتمال بصورة تجريبية مؤكدة (MacKane and Candel, 1996).

أما النباتات فإنها تصاب بشدة وبسهولة بالأمراض الفيروسية حيث تأتى الفيروسات في المرتبة الثانية بعد الفطريات في قائمة المسببات المرضية النباتية. وتتميز

بسرعة انتشارها في الحقل إما نتيجة العمليات الزراعية الروتينية أو بواسطة الحشرات. وتنعكس مظاهر إصابة النباتات بالفيروسات في صورة أعراض خارجية يمكن تقسيمها إلي المجموعات التالية :

١- **أمراض التبرقش (الموزاييك) Mosaic**: وهى بقع خضراء فاتحة أو مصفرة علي الأوراق الخضراء، مما يعطيها شكلا مبرقشا. ويعتبر العالم ماير Mayer أول من ربط بين الفيروسات وبين أمراض النبات أثناء دراساته على مرض تبرقش التبغ، ثم أكد استنتاجه بعد ذلك العالم بيجرنك Beijerinck عام ١٨٩٨ م.

٢- **أمراض التشوهات Deformation**: وتتمثل في التفاف الأوراق حول نفسها وتجعد الأوراق Leaf crinkling، ونشوء زوائد وتمددات على سطح الورقة Leaf rolling.

٣- **الاصفرار Chlorosis (yellowing)**: وينشأ نتيجة عدم تكون البلاستيدات، أو تحلل الكلوروفيل

٤- **البقع الحلقية Ring spot**: ظهور حلقات ذات جدار من أنسجة ذات لون أخضر أو أصفر، وتكون خلايا تلك الأنسجة ميتة، ووسط الحلقات ذات ألوان مختلفة.

٥- **النقط الميتة Necrosis**: وهى الأعراض التي تموت فيها الخلايا وتظهر كنقط بنية قاتمة تنتشر في جميع أجزاء الورقة.

٦- **النقط الموضعية Local lesions**: وتنشأ من موت الخلايا نتيجة حساسيتها العالية للفيروسات Hypersensitive، وبالتالي تحد من تكاثر الفيروس وانتشاره، خارج هذه المنطقة.

٧- **شفافية العروق Clearing of veins**: حيث تأخذ عروق الورقة لونا شفافا.

طرق دراسة الفيروسات Methods of Studying of Viruses

لقد تطورت وسائل دراسة الفيروسات تطورا كبيرا منذ اكتشافها وحتى وقتنا الراهن وأصبحت أكثر دقة وتفصيلا، شأنها في ذلك شأن مختلف وسائل البحث العلمي. ويمكن إيجاز الوسائل المستخدمة في دراسة الفيروسات في الآتي :

قياس حجم الجسيمات الفيروسية

تستعمل عدة طرق تتفاوت في دقتها، حيث كان يعتمد على طريقة الطرد المركزي ذي السرعات المرتفعة Analytical centrifuging force technique الذي قد تصل سرعته إلي ٥٠,٠٠٠ دورة/دقيقة، حيث يبدأ بسرعات منخفضة لترسيب الشوائب كبيرة الحجم غير الفيروسية، ثم ترتفع السرعة تدريجيا بحيث ترسب جزيئات الفيروسات. ويمكن بواسطة طرق خاصة قياس حجم هذه الجسيمات. وهذه الطريقة من الطرق التي كانت مقبولة لحد كبير قبل اكتشاف المجهر الإلكتروني.

وبعد تطوير المجهر الإلكتروني وزيادة قدرته التكبيرية، أصبح يستخدم في قياس أحجام الفيروسات بدقة متناهية، ويتم تحضير المعلق الفيروسي بطرق خاصة لفحصه بالمجهر الإلكتروني، ثم تؤخذ صور فوتوغرافية للفيروسات بواسطة كاميرا مثبته داخل المجهر. وحتى تظهر دقة هذا العمل نقوم بتجربة أبعاد الوحدات الفيروسية الموجودة عليها بدقة متناهية، وذلك بضرب أبعاد هذه الوحدات على الصورة الفوتوغرافية بعد قياسها بالمسطرة العادية × مقلوب التكبير المستعمل (طول الفيروس × التكبير/١).

طرق عزل وتنقية الفيروسات

Isolation and Purification of Viruses

تستخدم طرق عديدة لعزل وتنقية الفيروسات منها:

١- طرق كيميائية

٢- طرق فيزيائية

٣- طرق تعتمد على بعض الصفات الفردية للفيروسات

أولا: الطرق الكيميائية

وهذه تشمل عددا من الأساليب هي:

أ) الإزالة الملحية Salting-out

تتم بإضافة تركيزات مختلفة من أملاح عالية الذائبية بدرجة عالية مثل كبريتات النشادر المتعادل، وهذه بدورها تؤدي إلى ترسيب البروتينات. وقد وجد أن كل نوع من البروتينات يترسب عند تركيز ملحي معين.

ب) الترسيب باستخدام الكحول أو بضبط الرقم الهيدروجيني

تتم بإضافة الكحول أو يضبط الرقم الهدروجيني pH عند نقطه التعادل الكهربي Isoelectric point، وهذا يؤدى إلي ترسيب البروتين.

ج) الادمصاص والاستخلاص

وتستخدم الرواسب الغروية لبعض المركبات لإدمصاص الفيروسات، مثل مركبات هيدروكسيد الألمونيوم أوالكاليسوم، حيث يدمص الفيروس على سطح هذه الغرويات، ومن ثم تستخلص من السطح بواسطة مواد كيماوية وتستعمل هذه الطريقة لفصل بعض الفيروسات المسببة لأمراض حيوانية وآدمية مثل الفيروس المسبب لمرض شلل الأطفال ومرض الحمى القلاعية. ومن المحاليل المستخدمة لاستخلاص الفيروسات من على سطح المواد المدمصة عليها محاليل هيدروكسيد النشادر.

د) الترسيب بكبريتات البروتامين

وهذه تقوم بترسيب الجسيمات الفيروسية الكبيرة Protamine sulphate.

ثانيا: الطرق الفيزيائية

وهذه تشمل:

أ) استخدام الطرد المركزي ذي السرعات العالية Ultracentrifuge

لترسيب الفيروسات الحيوانية بالذات.

ب) التركيز على أغشية كولودونية

ويستخدم لهذا الغرض غشاءان يختلفان في درجة مساميتهما بحيث يسمح أحدهما بمرور الجسيمات الفيروسية بعكس الآخر، وبالتالي يصبح من السهولة بمكان

تركيز الفيروسات على السطح الداخلي للغشاء الأخير. وتعتبر هذه الطريقة فعالة بالنسبة للفيروسات الحيوانية لأن الفيروسات النباتية تكون مختلطة بالعديد من الشوائب النباتية التي تحتوي على مواد تؤدي إلى انسداد ثقوب الأغشية.

ثالثا: الطرق المعتمدة على بعض الصفات الفردية للفيروسات

وهذه الطرق تشمل:

أ) المعاملة بالإنزيمات المحللة للبروتينات

ويستخدم هنا عدد من الإنزيمات المحللة للبروتينات Proteolytic enzymes حيث تقوم بتحليل البروتينات الدخيلة الموجودة في المعلق الفيروسي وإذابتها، بينما لا تؤثر في بروتينات الفيروس النشط.

ب) الادمصاص على كريات الدم الحمراء

وتستخدم هذه الطريقة لفصل أنواع معينة من الفيروسات وعزلها مثل فيروسات الأنفلونزا، وذلك لقدرتها على الادمصاص على كريات الدم الحمراء. ويتم ذلك عند درجة حرارة منخفضة، ثم تجمع وتفصل الكرات الحمراء المدمصة وتحضن على درجة ٣٧°م، فتتخلص من الفيروسات المدمصة على سطحها، وهنا يمكن فصلها بالطرد المركزي.

ج) الادمصاص على راتنجات متبادلة الكاتيون

وتستعمل هذه الطريقة لفصل فيروسات الأنفلونزا وتنقيتها أيضا، حيث تدمص على أنواع معينة من الراتنجات المتبادلة الكاتيون، ومن ثم تستخلص.

طرق مقاومة الأمراض الفيروسية

Methods of Viruses Diseases Control

يمكن منع الإصابة الفيروسية أو القضاء عليها بطرق عديدة، وهي تتوقف على المرحلة التي يكون فيها الفيروس كامنا. حيث يمكن تدمير الفيروسات والقضاء عليها في إحدى المراحل التالية:

قبل نفاذه إلى داخل الخلية الحية

وذلك باستخدام وسائل تسمى وسائل تمنيعية أي تمنع ادمصاصه على سطح خلية العائل وتتحد هي بدورها مع الفيروس قبل التصاقه بجدار الخلية، وتستعمل لذلك أمصال خاصة أو ما يسمى جلوبيولين جاما Globuline gamma.

ويمكن أيضا استعمال وسائل كيميائية مثل الإندول والسكانفيل لأنها تحول دون ادمضاص بعض سلالات الكوليفاج على سطح خلية العائل، كما أن بعض البكتريوفاجات تحتاج إلي الكالسيوم لكي يتم ادمصاصها، وبالتالي فإن جعل الكالسيوم في صورة غير متأينة، يتعذر معها استغلاله من قبل البكتريوفاج، مما يحول دون إتمام عملية الادمصاص.

مرحلة النفاذ إلى داخل الخلية

يعتقد العلماء أن هناك مناطق خاصة على سطح خلية العائل يتم من خلالها ادمصاص الفيروسات على سطح الخلية وتسمى هذه مناطق استقبال Receptors، وقد توصل العلماء إلى استعمال إنزيمات خاصة تسمى Receptors destroying enzymes يرمز لها عادة بالرمز RDE، وهذه الإنزيمات تدمر مناطق الاستقبال على سطح خلية العائل وبالتالي تمنع الادمصاص وقد استخدمت هذه الطريقة بنجاح لمنع إصابة بعض الحيوانات القابلة للإصابة بفيروس الأنفلونزا. وتستخدم أيضا بعض السكريات العديدة Polysaccharides حيث تقوم هذه السكريات بجذب الفيروسات للالتصاق بها بدلا من سطح خلية العائل لاحتوائها على مواقع تشبه مناطق الاستقبال الموجودة على سطح الخلايا.

مرحلة التكاثر داخل خلية العائل

من الممكن الحيلولة دون تقدم المرض الفيروسي وذلك بالحد من تكاثره داخل خلية العائل. وهناك طرق عديدة لتحقيق هذا الهدف منها استخدام مواد تمنع إكمال

مراحل تكوين الأحماض النووية الفيروسية داخل خلية العائل مثل استعمال التربتوفان Treptophane ، والفنيل آلانين Phenylalanine لمنع تكوين الأحماض النووية الخاصة بالكوليفاج Coliphage ، والاثيونين Ethionine والميثوكسينين Methoxinine للحد من تكاثر فيروس الأنفلونزا سلالة PRB في المزارع النسيجية ، كما يحول الإثيونين دون نمو وتكاثر فيروس شلل الأطفال.

وتلعب بعض العوامل الحيوية دورا هاما في منع تكاثر بعض أنواع الفيروسات الضارة ، منها إصابة العائل بفيروس سابق قد يسبب إتلافا لمناطق الاستقبال على سطوح الخلايا. كما أن تزامن وجود فيروسين مختلفين في نفس الخلية يؤدى إلى وجود تنافر بينهما لاستغلال النواتج الأيضية لهما وهذا أحيانا يؤدي إلى ازدهار نمو الفيروس غير الضار على حساب الفيروس الممرض.

تأثير المواد المانعة والمضادات الحيوية على الفيروسات النباتية

أجريت أول محاولة لإيجاد مواد طبيعية مانعة لنمو الفيروسات النباتية عام ١٩١٤م بواسطة العالم Allard ، وذلك باختبار تأثير بعض المواد المستخلصة من نباتات تتبع نفس جنس نباتات التبغ Nicotiana لتثبيط قدرة فيروسات تبرقش التبغ على الإصابة ، إلا أن هذه المحاولات لم تنجح ، وقد تبعها عديد من المحاولات الناجحة والتي أمكن فيها استخلاص مواد طبيعية من النباتات ومن بعض الفطريات مثل فطرى نيوروسبورا *Neurospora* ، والتريكوثيسم *Trichothecium*. وقد اختلفت الآراء حول تفسير آلية عمل هذه المواد منها أن هذه المواد تعمل على تثبيط فعالية مجموعات كيميائية خاصة توجد على سطح الجسيمات الفيروسية ، وتعتبر أساسية لمنحها القدرة على الإصابة. وهناك رأى آخر يفسر عمل هذه المواد المانعة بأنه عائد إلي تأثيرها في خلية العائل ، وليس في الفيروس ، وذلك بتغيير الحالة الفسيولوجية لخلية العائل بحيث لا تصبح مناسبة لتكاثر الفيروسات.

أما بالنسبة للمضادات الحيوية Antibiotics ، فقد نجح كل من العالمين شلجل وراولينس Schlegel & Rawlins عام ١٩٥٤م في استخلاص مضاد حيوي من أحد

البكتريا الشعاعية المسماة *Nocardia formica* لها القدرة على منع تكاثر فيروس تبرقش الدخان، ويسمى هذا المضاد الحيوي باسم نوفورميسين Noformicin. ثم تطورت الدراسات فيما بعد لإيجاد مضادات حيوية أخرى مضادة للفيروسات النباتية مثل الأنتيفروبين Antivirubin الذي تنتجه البكتريا *Streptomyces longisporurulem* والهليوميش الذي تنتجه البكتريا *Streptomyces flavochromogenes*.

طرق تنمية الفيروسات وإكثارها

Methods of Viruses Culturing

الفيروسات شأنها شأن بقية الكائنات الحية الدقيقة لابد لدراستها من إيجاد وسيلة لتنميتها وإكثارها في المعمل للحصول على الأعداد الكافية منها، والتي نستطيع إخضاعها لوسائل الدراسة المختلفة مثل تشخيص الأمراض المسببة لها، وتأثير الكيماويات المختلفة، وتحضير اللقاحات، ... إلخ.

ولما كانت الغالبية العظمى من البكتريا والفطريات هي كائنات اختيارية فقد تم تركيب العديد من البيئات الصناعية التي يمكن تنميتها عليها في المختبر، غير أن الحال يختلف بالنسبة للفيروسات نظرا لاستحالة تنميتها خارج الخلايا الحية (إجبارية التطفل). وعليه فقد ابتكرت عدة طرق لتنمية وإكثار الفيروسات، من أهمها:

١- حقن الحيوان (أو النبات) القابل للإصابة بالفيروس المناسب.

٢- حقن أجنة الدجاج الحية (بالنسبة للفيروسات الحيوانية).

٣- تنمية الفيروسات على مزارع نسيجية خاصة Tissue culture.

أولا: حقن الحيوان (أو النبات) القابل للإصابة

Injection of Susceptible Animal (or Plant)

ويتم ذلك بحقن المعلق الفيروسي في حيوانات (أو نباتات) قابلة للإصابة، ومن ثم موالاة نقل المادة باستمرار من حيوان (أو نبات) لآخر، لكي يمكن الاحتفاظ بها في

صورة نشيطة، وقد عرفت هذه الصورة منذ القدم حتى قبل اكتشاف العلاقة المرضية للفيروسات. ففي عام ١٨٨٥م استطاع لويس باستير ابتداع طريقة ناجحة للحيلولة دون إصابة الإنسان بمرض الكلب Rabies عن طريق إكثار العامل المسبب للمرض ومواصلة نشاطه بحقنه في أمخاخ الأرانب والكلاب، ومن ثم استخلاص المادة الممرضة من هذه الأمخاخ وحقنها في الإنسان المصاب بهذا المرض بعد عضة الحيوان المسعور. وقد أدت هذه الطريقة لنتائج باهرة، ومازالت الطرق المستمدة منها تستعمل حتى وقتنا الراهن. غير أن المشكلة الأساسية التي قد تعوق استخدام هذه الطريقة على نطاق واسع (بالذات في الحيوانات) هو عدم وجود الأعداد الكافية من الحيوانات المناسبة. أما بالنسبة للنبات فتعتبر هذه من أفضل الطرق لإكثار الفيروسات وتنميتها.

ثانيا: مزارع أجنة الدجاج Chick Embryo Cultures

نتيجة للصعاب التي واجهت العاملين في مجال الفيروسات الحيوانية المتمثلة في إيجاد الأعداد الكافية من الحيوانات المناسبة لحقنها، فقد حاول العلماء تطوير وسيلة أخرى أكثر ملاءمة إلي أن توصل العالم جود باستير Good Pasteur عام ١٩٣١م إلي ابتكار طريقة مزارع بيض الدجاج الملقح، وفي هذه الطريقة يحضن البيض الملقح لمدة ٨- ١٢ يوما ومن ثم يحقن باللقاح الفيروسي Viral inoculum ويتم الحقن بالإدخال المباشر للمحقن Syringe خلال فتحة تستحدث في القشرة والغشاء القشري إلي الغشاء المنباري الكوريولي Chorioallantonic membrane أو بالحقن في التجويف الرهلي Allantoic cavity أو في كيس المح، وأحيانا يحقن جسم الجنين ذاته. وبعد عملية الحقن يتم تحضين البيض عند درجة ٣٧°م لبضعة أيام ثم يتم فتح البيض ويحصل على السائل المحتوى على الفيروسات التي تستخدم لغرض الدراسات والأبحاث، وإنتاج بعض أنواع اللقاحات. ومما يعيب هذه الطريقة أنه لا يمكن استخدامها لجميع أنواع الفيروسات.

ثالثا: المزارع النسيجية Tissue Cultures

بدأ استخدام هذه الطريقة عام ١٩٢٥م غير أنها ظلت، ولفترة طويلة، مقصورة على الاستعمال في مراكز بحوث محدودة نظرا للخبرة المتميزة التي كانت تتطلبها، والتي لا تتوافر إلا لعدد محدود من الباحثين. وكان من أول أنواع المزارع النسيجية التي استعملت النوع المعروف باسم المزارع البلازمية التجلطية Plasma clot culture، ثم استعملت طريقة أخرى محورة من هذه الطريقة أطلق عليها اسم طريقة الأنبوبة اللفافة Roller tube cultures، غير أن أحدث هذه المزارع هي تلك المعروفة باسم المزارع النسيجية وحيدة الطبقة Monolayer tissue cultures. وقد أثبتت المزارع النسيجية فعاليتها كوسيلة لعزل الفيروسات والاحتفاظ بها في المعمل بصورة نشيطة كما أنها هيأت فرصة لدراسة الفيروسات بصورة تفصيلية من حيث تقدير الاحتياجات الغذائية لبناء الفيروسات وتكاثرها وعد الحبيبات الفيروسية. وتستغل لإنتاج كميات غزيرة من الفيروسات لإنتاج اللقاحات، ...إلخ.

الفصل التاسع

الفطريات Fungi

- أهمية الفطريات في عالم اليوم • تركيب الفطريات
- التكـاثر في الفطـريات • فسيولوجيا الفطريات
- تقسيم الفطريات

تشكل الفطريات مملكة مستقلة ضمن تقسيم ويتكر للكائنات الحية الدقيقة. وتقع هذه المملكة ضمن مجموعة الكائنات عديدة الخلايا ذات النواة الراقية Eucaryotic. ومع أن الفطريات عُرفت منذ آلاف السنين حيث ورد ذكرها في آثار الحضارات اليونانية والفرعونية، ... إلخ، فإن المعرفة الدقيقة والدراسة التفصيلية لها لم تبدأ إلا منذ حوالي ٢٥٠ عاما عقب اكتشاف المجهر. ويعتبر العالم الإيطالي Pier Antonio Micheli هو المؤسس لعلم الفطريات حيث نشر عام ١٧٢٩م كتابه الوافي Plantarm genera وأورد فيه جزءا خاصا عن دراساته وأبحاثه على الفطريات.

وتُعتبر الفطريات من أهم الكائنات الحية الدقيقة التي يعني الإنسان بدراستها والاهتمام بها، حيث يقدر بعض العلماء أن عدد الأنواع الفطرية الموجودة على سطح الكرة الأرضية يقدر بحوالي ١,٥٠٠,٠٠٠ نوع (David Hawksworth) وأن المعرف منها حتى وقتنا الراهن لا يتعدى ٧٪ فقط. ويسمى العلم الذي يختص بدراسة الفطريات باسم Mycology، وهو أحد فروع علم الأحياء الدقيقة Microbiology. ونظرا لما للفطريات من أهمية فائقة في المجال الزراعي والغذائي، فإننا سوف نتحدث عنها بتفصيل وإسهاب في هذا الفصل.

أهمية الفطريات في عالم اليوم

Importance of Fungi in Our Life

إن طبيعة تركيب الفطريات والتي ينعدم فيها الكلوروفيل (وبالتالي يفقدها القدرة على القيام بعملية البناء الضوئي والاستفادة من العناصر الأولية في البيئة في تركيب احتياجاتها الغذائية) يفرض عليها اتباع نظم ووسائل محددة للحصول على غذائها، تتلاءم مع طبيعة التركيب البيولوجي والفسيولوجي لهذه الكائنات. ونتيجة لاتباع هذه الوسائل الغذائية فإن الفطريات تؤثر في البيئة المحيطة بها سلبا وإيجابا، منها ما يؤثر تأثيرا مباشرا في الإنسان، ومنها ما يؤثر بصورة غير مباشرة عن طريق التأثير في مقومات الإنسان الغذائية والمعيشية كالزراعة والمنتجات الغذائية والمخزونات، ... إلخ.

وتتبع الفطريات إحدى الطرق التالية في حصولها على متطلباتها الغذائية :

(١) الترمم Saprophytism

وفيه تقوم الفطريات بإفراز إنزيمات خارجية Exoenzymes تقوم بتحليل المركبات العضوية في البيئة الحيوانية والنباتية الموجودة فيها وتحويلها إلي مواد كيميائية بسيطة تستطيع الفطريات استخدامها مباشرة كمصدر غذائي لها، وتسمى الفطريات المترممة Saprophytic fungi، ونتيجة لهذه العملية قد ينشأ لدينا أحد الوضعين التاليين :

أ) إما أن تجرى عملية التحليل هذه في التربة، حيث تقوم الفطريات بتحليل البقايا النباتية والحيوانية الميتة إلي مكوناتها الكيميائية البسيطة وبالتالي تعيد هذه العناصر مرة أخرى إلي التربة، لكي تساعد على زيادة خصوبتها، مما يجعلها تربة زراعية جيدة ملائمة لنمو النباتات. وفي هذه الحالة فهي تشكل عاملا هاما ومفيدا للإنسان لأنها تؤدي دورا هاما في بقاء التوازن الطبيعي للعناصر المعدنية في الطبيعة بجانب البكتريا. وبدون هذه العملية فإن استمرار نمو النباتات وامتصاصها لعناصر التربة سيؤدى إلي استنزاف مستمر لهذه العناصر دون وجود مصدر لتعويض هذا النقص، وبالتالي تصبح التربة بعد فترة غير مناسبة لنمو النباتات، وما يتبع ذلك

من تأثير غير مباشر في جميع صور الحياة الأخرى التي يعتمد وجودها على الكساء النباتي بشتى صوره.

ب) أو تجرى عملية تحليل المواد العضوية خارج التربة، حيث تقوم بعض أنواع الفطريات بالنمو على المواد الغذائية وبعض المنسوجات والأخشاب المخزنة تحت ظروف تخزين سيئة. وفي هذه الحالة تؤدي إلي تحلل هذه المواد وتعفنها، وبالتالي تلفها، مما يعني خسائر مادية فادحة تقدر بملايين الريالات.

إضافة إلي عديد من الصور المفيدة جدا لنشاط هذه الفطريات والتي تشمل استخداماتها في عمليات التخمر الصناعي بصوره المختلفة، وإنتاج المضادات الحيوية، وإنتاج حمض الستريك، والتصنيع الغذائي (صناعة الجبن، الخبز، ...إلخ).

٢- التطفل Parasitism

ويقصد به نمو الفطريات على أو داخل الكائن الحي (حيوان أو نبات) بحيث تفرز إنزيمات تقوم بإذابة وتحليل أنسجة ومكونات هذا الكائن، ومن ثم تستفيد من نواتج هذا التحليل كمصدر غذائي لها. وتسمى هذه الفطريات الفطريات المتطفلة Parasitic fungi وينتج عن هذه الطريقة حدوث ظاهرة المرض Disease. ويسمى الفطر في هذه الحالة باسم الطفيل Parasite والكائن الذي ينمو بداخله الطفيل باسم العائل Host.

وتعرف الآن آلاف الأنواع من الفطريات التي تسبب أمراضا للنبات، بحيث يمكن الجزم بأنه لا يوجد نبات على سطح الأرض إلا ويصاب بنوع أو أكثر من الفطريات المرضية، ولنا أن نتصور الخسائر الاقتصادية الفادحة الناتجة عن ذلك. أما بالنسبة للحيوان والإنسان فالأمر مختلف فتأتى الفطريات في المرتبة الثالثة، بعد البكتريا والفيروسات، كمسببات مرضية لهذه الكائنات. ويعتقد أنه من بين ما يزيد عن ٣٠٠,٠٠٠ من الفطريات يعرف حوالي ١٠٠ نوع فقط تسبب أمراضا للإنسان أو الحيوان.

(٣) التكافل Symbiosis

تعيش بعض أنواع الفطريات على جذور بعض النباتات كي تحصل على بعض احتياجاتها الغذائية منها، وفي نفس الوقت تحفزها على امتصاص العناصر الغذائية من التربة، وتسمى هذه الجذور المتكافلة مع الفطريات باسم الفطريات الجذرية Mycorrhiza، وفي بعض الأحيان عندما توجد النباتات في تربة غير خصبة فإن امتصاصها للعناصر الغذائية من التربة يتوقف على الإصابة بهذه الفطريات. بحيث لا ينمو النبات نموا جيدا إلا إذا تمت الإصابة بهذه الفطريات.

وباستعراضنا الوسائل الثلاث المذكورة أعلاه يتضح أن الفطريات في اتباعها لهذه الوسائل الغذائية فإنها تؤثر تأثيرا كبيرا جدا في حياة الإنسان بصورة مباشرة أو غير مباشرة، سلبيا وإيجابيا، إما في صورة أمراض تصيب الإنسان، أو تصيب نباتاته وحيواناته التي يعتمد عليها في غذائه، أو في صورة إتلاف مقومات حياته الاقتصادية من غذاء أو كساء، ... إلخ.

وقد تكون ذات فائدة جمة في المجال الصناعي واستخراج المضادات الحيوية، ... إلخ. مما دعا الإنسان إلي الاهتمام بهذه المجموعة من الكائنات ودراستها من الوجهة التطبيقية التي تمس حياته بصورة أو أخرى من الصور السابقة.

وبالإضافة إلي هذه المجالات التطبيقية التي تدعونا إلى الاهتمام بالفطريات ودراستها، فإن هناك أسبابا أخرى لا تقل أهمية عنها تدعونا إلي التركيز على الفطريات ودراستها، ليس في نطاق تأثيرها في الإنسان، ولكن لمعرفة المزيد عن طبيعة هذه الكائنات من الوجهة الوراثية والفسيولوجية والبيوكيمائية، لما لذلك من فوائد جمة في استقصاء أسرار الكائنات الحية الدقيقة.

ونتيجة اتباع طرق التغذية المذكورة أعلاه فإن الفطريات تؤثر في حياتنا سلبا وإيجابا، ويمكن تعداد الأدوار التي تلعبها الفطريات في حياتنا في النقاط التالية:

الدور الإيجابي للفطريات

١ - تعد الفطريات هي المسؤولة بوجه خاص إلي جانب البكتريا عن تفتيت المادة العضوية وتحليلها وإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تستخدمه النباتات الراقية في عمليات البناء الضوئي.

٢ - تقوم بعمليات التخمير الكحولي كالخمائر.

٣ - تستعمل الفطريات في تصنيع أنواع مختلفة من الجبن، كما في أنواع الجنس *Penicillium*.

٤ - تنتج بعض أنواع الفطريات الأحماض العضوية كحمض الليمون، كما في بعض أنواع الجنس *Aspergillus*.

٥ - تتميز بعض الفطريات باحتوائها على الأحماض الأمينية كالليسثين في فطر *Claviceps*، والتروزين في فطر *Lycoperdon*، والهستيدين في فطر *Agaricus*، والأرجينين في الفطر *Boletus* والجوانيدين في الفطر أسبرجللس وبنسيليوم.

٦ - تنتج الفطريات المضادات الحيوية كالبنسلين والأمبيسيلين والمواد المانعة للنزف من الفطر *Claviceps*، وأيضا إنتاج الفيتامينات كما في الخمائر.

٧ - تدخل في غذاء الإنسان كما في فطر عيش الغراب والكمأة.

٨ تؤدي دورا هاما في المكافحة الحيوية.

الدور السلبي للفطريات

١ - تسبب أضرارا متفاوتة للنباتات كأشجار الفاكهة والزينة والمحاصيل الحقلية والبستانية.

٢ - تحلل الفطريات الأخشاب والأساسات الخشبية، فتسبب هدم المنازل والجسور والسكك الحديدية كأنواع الفطر *Fomes*، *Polyporus*.

٣ - تسبب فساد المواد الغذائية المطبوخة منها والمعلبة كأنواع الريزوبس والبنسيليوم والإسبرجللس والميوكر، كما تحلل المواد الغذائية الحيوانية كالغلال والدريس عند

زيادة الرطوبة في المخزن أو الحقل، وتحلل الجلود والمنسوجات الصوفية والورق.

٤ - تصيب بعض الفطريات الإنسان والحيوان مسببة أمراضا جلدية وباطنية، وأصبح علم الفطر الطبي أحد فروع التخصص في ميدان الطب.

٥ - تسبب الفطريات تسمما للإنسان والحيوان لأن الفطر *Claviceps* يحتوي على الأرجومترين والأرجوتوكسين، والفطر *Amanita muscaria* على الموسكارين والنيرين، وأيضا الفطر *Boletus iuridus* يحتوي على الكولين، وفطر التفحم يحتوي على تراي ميثيل أمين، وقد تؤدى هذه المواد السابقة إلى حدوث شلل للجهاز العصبي الرئيسي أو تسمم دموي وغيره.

تركيب الفطريات Morphology of Fungi

تشتمل الفطريات على أشكال مختلفة منها ما هو وحيد الخلية مثل الخمائر Yeast، ومنها ما هو عديد الخلايا أو خيطي الشكل، كما هو الحال في فطريات العفن Molds، وهناك ما يطلق عليه اسم الفطريات اللحمية Fleshy fungi مثل المشروم، الفقع - وسنتحدث هنا عن تركيب الطور الخضرى ومن ثم الطور الجنسي لمختلف أنواع الفطريات.

التركيب الخضري

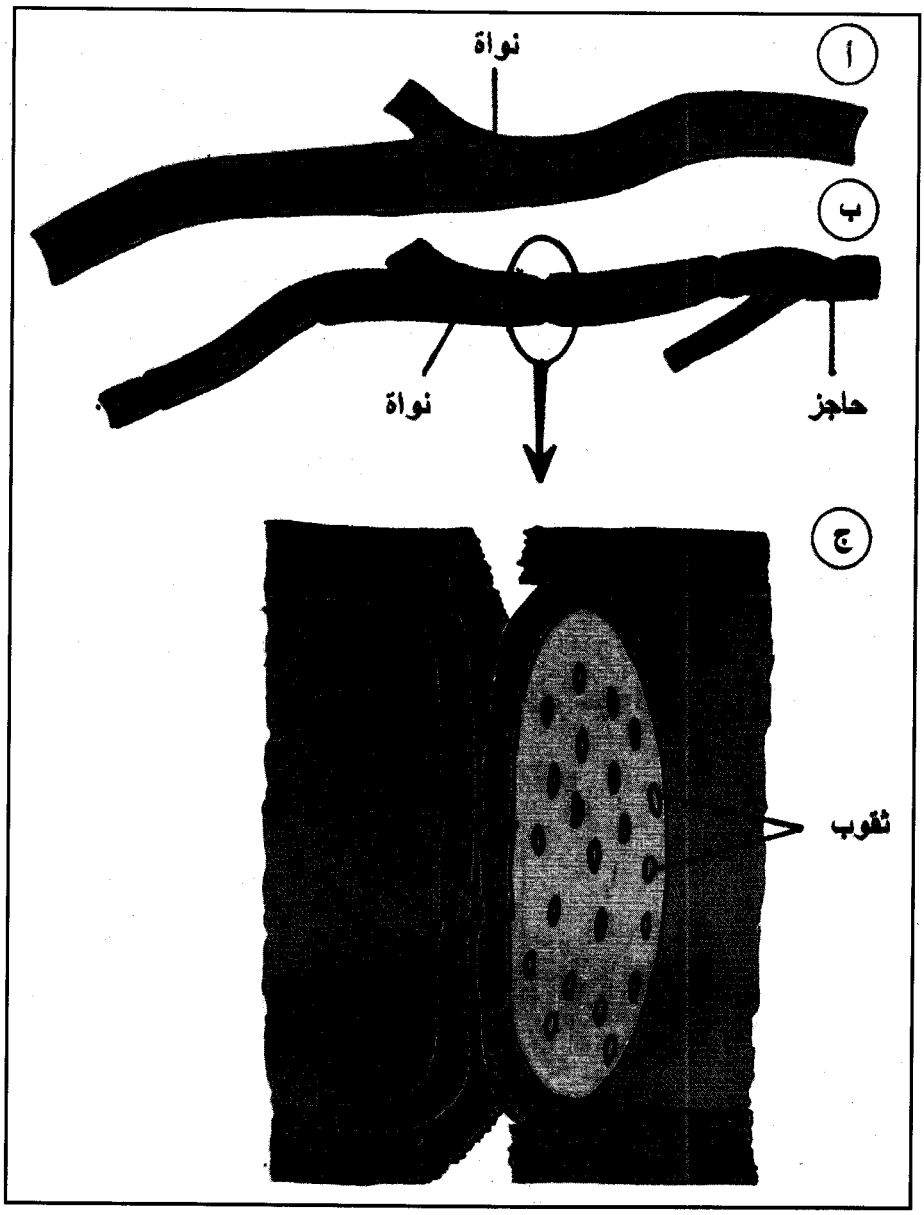
يتكون الطور الخضري لأغلب الفطريات من خيط أنبوبي مستطيل عبارة عن عدد من الخلايا الأحادية متصلة بعضها ببعض. ويسمى هذا الخيط هيفا Hypha وجمعها Hyphae، ويتراوح عرض هذا الخيط بين ٥ و ١٠ ميكرومترات um.

وفي أغلب الأحيان يكون هذا الخيط الفطري مقسما بجدر عرضية تسمى Septa، وتقسم هذه الجدر الخيط الفطري إلي عدد من الوحدات المتميزة تشبه الخلايا،

وتسمى في هذه الحالة Septate-hypha. غير أن هناك عددا قليلا من أنواع الفطريات يكون الخيط الفطرى فيها مدمجا خلويا واحدا غير مقسم بجدر عرضية (هيفا غير مقسمة)، ويبدو الخيط في صورة خلايا طويلة متصلة عديدة الأنوية ويسمى في هذه الحالة Aseptate-hypha (Co-enocytic-hypha). وعند فحص الجدر العرضية التي تقسم الخيط الفطري يلاحظ أن هناك فتحات صغيرة تتوسط هذه الجدر تسمح بمرور الأنوية والسيتوبلازم من خلالها بين الخلايا المختلفة، وقد تبدو بعض هذه الخلايا محتوية على أكثر من نواة واحدة. ويطلق على هذه الوحدات اسم خلايا - تجاوزا - مع أنها لا تحاط بغشاء خلوي كما هو الحال في الخلايا المعروفة. ويتكون جدار هذه الخلايا غالبا من مادة الكيتين Chitin مع أن جدار خلايا أغلب الفطريات يختلف اختلافا كثيرا متأثرا بعديد من الظروف الخارجية والداخلية التي يمر بها الفطر. فمثلا تؤثر العوامل البيئية الخارجية مثل البيئة الغذائية، ودرجة الحموضة pH، ودرجة الحرارة، تأثيرا كبيرا في تركيب الجدار الكيميائى، كما يؤثر عمر الخيط الفطري Hypha في تركيب الجدار بحيث تختفي بعض المكونات من الجدار عند تقدمه في العمر.

الخيوط الفطرية Hyphae

جدر الهيفات يختلف تركيبها كيميائيا. ففي الفطريات البدائية يغلب وجود مادة السليلوز في الجدار (الشكل رقم ٣٠). أما في الفطريات الراقية فإن الجدار إما أن يخلو تماما من السليولوز أو يدخل في تركيبه قليل منه. والجزء الأكبر هو حمض دهني معقد مع مادة أزوتية تشبه الكيتين الموجود في الحشرات، والتركيب الأخير يسمى السليولوز الفطري. ومع أن الكيتين ثبت وجوده في جدر أغلب الفطريات التي تمت دراستها فإنه وجد في السنين الأخيرة أن جدر بعض الفطريات التابعة لمجموعة Ascomycetes لا تحتوي على مادة الكيتين.



الشكل رقم (٣٠). خيط فطري (هيفا): أ) غير مقسمة، ب) مقسمة، جـ) الحاجز الفاصل بين خلايا الخيط.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

وعندما تنمو هذه الخيوط الفطرية وتتداخل فإنها تكون نسيجا يسمى الغزل الفطري Mycelium، ويقتصر نمو الفطريات على نهايات الخيوط الفطرية فقط. وليست كل الفطريات تتكون من خيوط فطرية متفرعة، إذ يلاحظ أن هناك فطريات تكون خيوطا فطرية قصيرة ذات نموات محدودة. كما أن مجموعة الفطريات اللزجة Myxomycota يكون جسمها الخضري كتلة بروتوبلازمية عارية يطلق عليها اسم بلازموديوم Plasmodium، تشبه في صفاتها أفراد طائفة الأوليات Protozoa. أما الطور الخضري في الخمائر فإنه يتكون من خلايا أحادية مفردة تتفاوت في حجمها وشكلها ويتراوح حجم هذه الخلايا بين ١ و٥ ميكرومترات عرضا وبين ٥ و٣٠ ميكرومترا طولا، وقد تأخذ الشكل البيضاوي أو المستطيل، ...إلخ. تبعا لنوع البيئة التي تنمو عليها.

الغزل الفطرى Mycelium

ينمو الميسيليوم الخاص بالفطريات المتطفلة إما على سطح العائل أو داخل أنسجته، وفي هذه الحالة تنتشر الخيوط الفطرية بين خلايا النسيج Intercellular أو داخل الخلايا Intracellular.

وفي حالة العديد من الفطريات إجبارية التطفل، تحصل هذه الفطريات على غذائها بواسطة تكوينات خاصة تسمى ممصات Haustoria قادرة على اختراق الجدار إلي داخل الخلية، ومن ثم تمتص احتياجاتها الغذائية مباشرة من داخل الخلية. ويختلف شكل هذه الممصات، والتي تعتبر أعضاء امتصاص متخصصة، فمنها المستطيل والمتفرع بما يشبه الجذور ومنها ما هو منتفخ في طرفه، ...إلخ.

أما في حالة الفطريات المترممة Saprophytic، فإن الخيوط الفطرية تنمو ملتصقة مع المادة العضوية التي تترمم عليها، بحيث يحصل الفطر على غذائه عن طريق الانتشار المباشر للمادة الغذائية من خلال جدار الخيط الفطري بعد تحليلها إنزيميا بواسطة إنزيمات يفرزها الفطر.

التكاثر في الفطريات Reproduction of Fungi

تتميز الفطريات بأن أغلب أجزائها لديها القدرة على النمو والتكاثر، حيث يلاحظ أن تلقيح أي بيئة مناسبة بجزء بسيط من الخيوط الفطرية لأي فطر يكفي لتكوين مستعمرة فطرية جديدة. وتتكاثر الفطريات في الطبيعة بطرق عديدة منها التكاثر اللاجنسي Asexual (بواسطة الانقسام البسيط، والتبرعم، والجراثيم اللاجنسية) (الشكل رقم ٣١). وقد تتكاثر جنسيا Sexual عن طريق الاندماج الخلوي لنواتين من خلايا أبوية Parent cells وتكوين جراثيم جنسية.

وهناك عدة أنواع من الجراثيم اللاجنسية تكونها الفطريات تشمل:

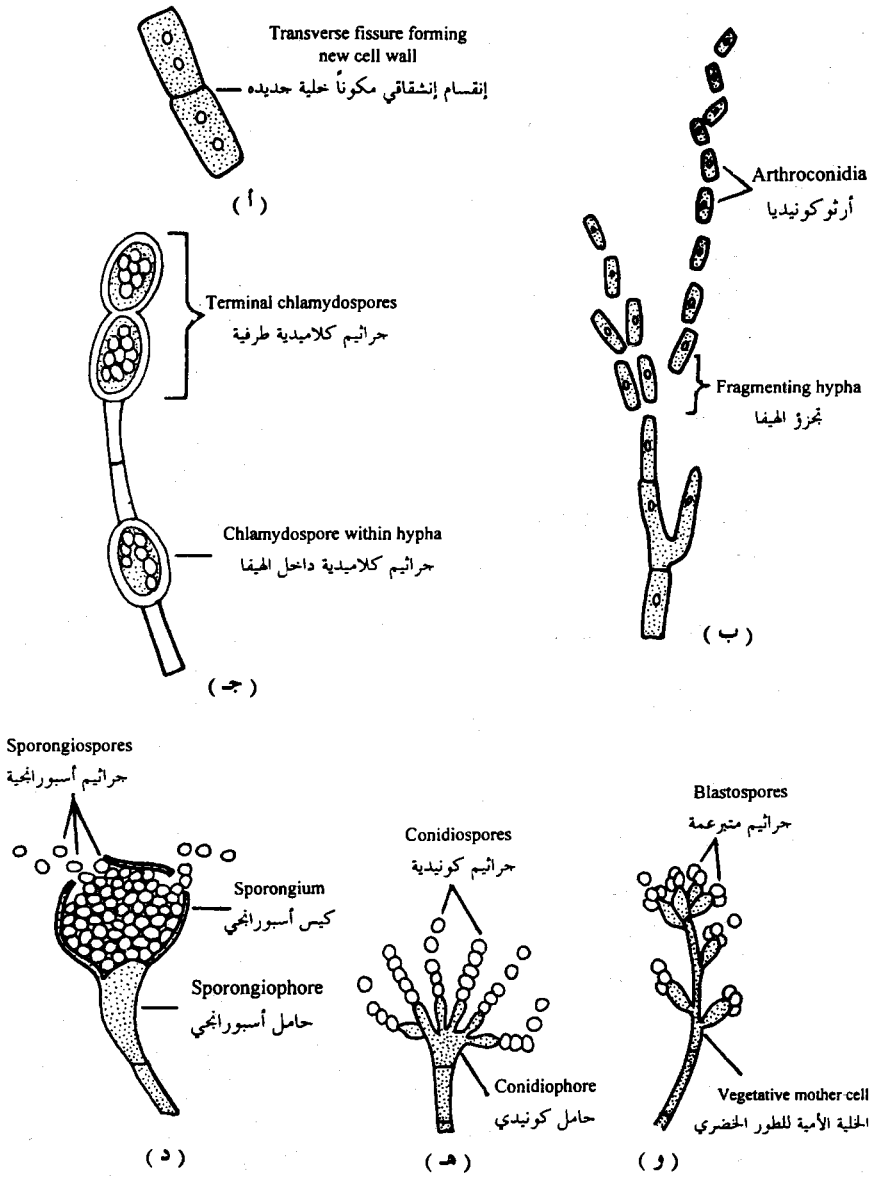
١ – الجراثيم الكونيدية Conidiospores: ويطلق عليها اسم الكونيديات Conidia ومفردها Conidium. وتتكون هذه الجراثيم في أطراف الخيوط الفطرية أو على جوانبها. ومنها الصغير وحيد الخلية Microconidia أو كبير الحجم عديد الخلايا Macroconidia (الشكل رقم ٣٢).

٢ – الجراثيم الأسبورانجية Sporangiospores: وهي جراثيم صغيرة وحيدة الخلية توجد داخل أكياس تسمى أكياسا أسبورانجية Sporangia تتكون في نهاية خيوط فطرية خاصة تنمو لأعلى بصورة عمودية، وتسمى الحوامل الأسبورانجية Sporangiophores. وقد يكون بعض هذه الجراثيم متحركا بواسطة أسواط صغيرة Zoospores والبعض الآخر ساكنا غير متحرك Aplanospores.

٣ – الأويدات Oidia: ومفردها أوديم Oidium، وتسمى الجراثيم المفصلية Arthrospores وتكونها بعض أجناس الفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي، وتتكون في سلاسل تحمل على حامل كونيدي وتنفصل عند نضجها.

٤ – الجراثيم الكلاميدية Chlamydospores: وتتكون هذه الأنواع من بعض خلايا الخيوط الفطرية وتنشأ عنها جراثيم وحيدة الخلية ذات جدار سميك مقاوم للظروف البيئية غير الملائمة.

٥– الجراثيم المتبرعمة Blastospores: ويطلق هذا المصطلح على البراعم التي تنشأ من خلايا الخميرة.

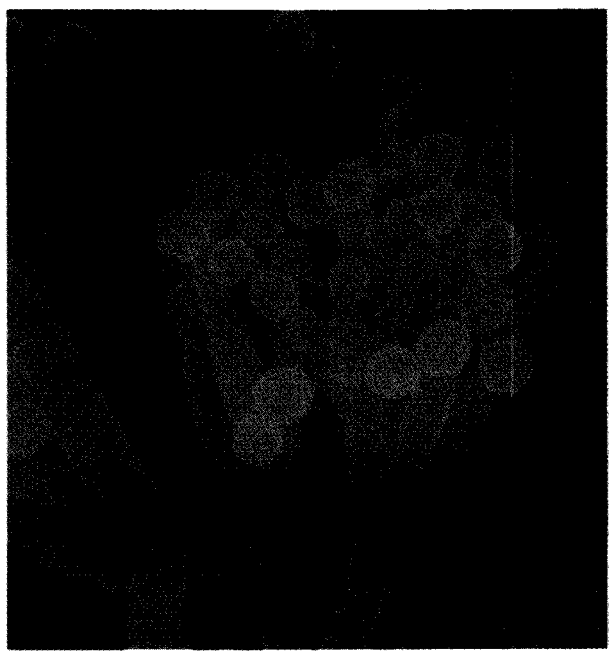


الشكل رقم (٣١). أنواع الجراثيم اللاجنسية في الفطريات.

(عن : Prescott, *et al.*, 1996)



أ



ب

الشكل رقم (٣٢). الجراثيم الكونيدية (اللاجنسية): أ) في فطر الاسبراجلس، ب) في فطر البنسيليوم.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

وبالنسبة للجراثيم الجنسية Sexual spores والتي تكون في الغالب أقل انتشارا من الجراثيم اللاجنسية - لأنها تتكون تحت ظروف محددة - فإنه أيضا توجد منها عدة أنواع :

أ) الجراثيم الأسكيـــة أو (الزقية) Ascospores: وهـذه تتكـون داخـل أكياس تسمى الأكياس الأسكية Ascus وجمعها Asci ، ويحتوي الكيس الواحد غالبا على ثماني جراثيم أسكية وحيدة الخلية.

ب) الجراثيم البازيديـــة Basidiospores: وهي جراثيـم وحيـدة الخليـة تكـون خارجية على زوائد ذات نهايات منتفخة تسمى بازيدات Basidia ومفردها Basidium.

جـــ) الجراثيم الزيجية Zygospores: وتتكون هذه الجراثيم نتيجة التحام نـهايات خيطين فطريين متلائمين جنسيا Sexually compatible وتنشأ عنهما جراثيم كبيرة الحجم ذات جدار سميك.

د) الجراثيم البيضيـــة Oospores: وتتكـون هـذه الجراثيـم داخـل تراكيـب أنبوبية أنثوية خاصة تسمى Oogonium ، ويتـم إخصـاب البويضـة الـتي تسـمى هنـا Oospore بواسطة عضو مذكر يسمى Anthridium ، وقد يحتوي التركيب المعروف باسم عضو التأنيث Oogonium على جرثومة بيضية واحدة أو أكثر.

ويلاحظ أن كلا من الجراثيـم الجنسية واللاجنسية قد تكـون في بعـض الأحيـان محاطة بتراكيب وقائية خاصة تسمى الأجسام الثمرية Fruiting bodies. وهـذه الأجسام تأخذ أسماء مختلفة تبعا لنوع الفطر الذي يكونها.

ومع أن بعض أنواع الفطريات تكون جراثيم جنسية ولا جنسية ، تحت ظروف بيئية مختلفة وبطرق متعددة ، فإن نوع الجراثيـم وتركيبها يظـل ثابتـا ، ويعتبر أحد أهم الطرق المستعملة في تعريف الفطريات وتقسيمها.

فسيولوجيا الفطريات Physiology of Fungi

تتميز الفطريات بقدرة عالية على تحمل الظروف البيئية غير المناسبة مقارنة بأغلب الكائنات الحية الدقيقة. فعلى سبيل المثال تستطيع كثير من الخمائر وفطريات

العفن Molds أن تنمو على بيئات غذائية محتوية على نسبة عالية من السكريات تكفي لتثبيط نمو البكتيريا، وهذا ما يفسر فساد المربات والجلي بالنموات الفطرية وليس بالبكتريا. وتتمتع الخمائر وفطريات العفن بمدى حراري وغذائي واسع. فعلى سبيل المثال تستطيع الخمائر أن تنمو تحت الظروف الهوائية وغير الهوائية (اختيارية Facultative)، بينما تتميز فطريات الأعفان Molds بأنها هوائية إجبارية. وبالرغم من المدى الحراري الواسع للفطريات فإن الدرجة المثلى لأغلب الفطريات المترممة يتراوح بين ٢٢ و٣٠°م بينما تتراوح الدرجة المثلى للأنواع المتطفلة المرضية بين ٣٠ و٣٧°م، إلا أن هناك أنواعا تستطيع النمو تحت درجات تقرب من الصفر المئوي، وهذا يفسر فساد بعض المواد الغذائية المخزونة في مستودعات التبريد بواسطة بعض هذه الفطريات.

تقسيم الفطـــريات

Classification of Fungi

يُعد تقسيم الفطريات من الأمور الصعبة، ولذلك تعددت طرق التقسيم وتنوعت. ويتطلب تقسيم الفطريات جمع المعلومات وترتيبها في صورة تقسيمية سليمة تفيد الدارس، وفي نفس الوقت تكون في نظام طبيعي وتطوري صحيح. ولا تقف مهمة التصنيف عند إبراز الصفات المشتركة بين كل مجموعة، وإنما تتخطاه إلى أن يعطى كل مستوى تصنيفي جميع ما هو معروف عن المجموعة، ويعكس العلاقات والروابط المختلفة بين أعضاء هذه المجموعة والمجموعات الأخرى ولاسيما ما بعدها وما قبلها في سلم التطور. ويتضمن أي نظام تقسيمي للفطريات المستويات التقسيمية التالية (حسب تقسيم Alexopoulos, 1996):

Kingdom مملكة

Phyllum شعبة

Class طائفة

Order رتبة

عائلة Family

جنس Genus

نوع Species

وتنتهي تسميات المستويات التقسيمية تبعا لما اتفق عليه بلفظ Mycota في حالة الشعبة، ولفظ Mycotina في حالة تحت القسم، وMycetes في حالة الصف، وMycetida في حالة تحت الصف، وMycetales في حالة الرتبة، وaceae في حالة العائلة.

وقد اخترنا في هذا الكتاب التقسيم الحديث للفطريات استنادا إلى تقسيم العالم Alexopoulas عام ١٩٩٦م. وسنتحدث بعد ذلك - بنوع من التفصيل - عن بعض الأنواع ذات الأهمية البيئية والزراعية.

تم وضع الفطريات استنادا إلى تقسيم Alexopoulas عام ١٩٩٦م في ثلاث ممالك رئيسية :

مملكة الفطريات	Kingdom: Fungi
مملكة سترامينوبيلا	Kingdom: Stramenopila
مملكة الكائنات وحيدة الخلية	Kingdom: Protista

مملكة الفطريات Kingdom: Fungi

يقع تحتها أربع شعب Phyla هي :

شعبة الفطريات الكتيريدية	Phylum: Chytridiomycota
شعبة الفطريات الزيجوية	Phylum: Zygomycota
شعبة الفطريات الأسكية (الزقية)	Phylum: Ascomycota
شعبة الفطريات البازيدية	Phylum: Basidiomycota

شعبة الفطريات الكتيريدية Phylum: Chytridiomycota

يقع تحت هذه الشعبة الرتب Orders التالية :

Order: Neocallimasticales

Order: Spizellomycetales

Order: Blastocladiales Order: Chytridiales

Order: Monoblepharidales

Phylum: Zygomycota **شعبة الفطريات الزيجوية**

Class: Zygomycetes طائفة الفطريات الزيجوية

يقع تحت شعبة الفطريات الزيجوية الرتب Orders التالية :

Order: Mucorales

Order: Dimargaritales

Order: Kickxellales

Order: Endogonales

Order: Glomales

Order: Entomophthorales

Order: Zoopagales

Class: Trichomycetes طائفة الفطريات تريكوميسيتس

Order: Asellariales

Order: Harpellales

Order: Eccrinales

Order: Amoebidiales

Phylum : Ascomycota **شعبة الفطريات الأسكية (الزقية)**

Class: Archiascomycetes طائفة الفطريات أرشياسكوميسيتس

Order: Taphrinales

Order: Saccharomycetales

Order: Eurotiales and related species

Order: Ascosphaerales

Order: Onygenales

طائفة الفطريات (الأسكية الحقيقية) ذات الجسم الثمري الدورقي الشكل

Class: Pyrenomycetes

Order: Hypocreales

Order: Melanosporales

Order: Microascales

Order: Phyllachorales

Order: Ophiostomatales

Order: Diaporthales

Order: Xylariales

Order: Sordariales

Order: Meliolales

طائفة الفطريات (الأسكية القرصية) ذات الجسم الثمري الطبقي الشكل

Class: Discomycetes

Order: Medeolariales

Order: Rhytismatales

Order: Ostropales

Order: Cyttariales

Order: Helotiales

Order: Gyalectales

Order: Caliciales

Order: Pezizales

Class: Loculoascomycetes طائفة الفطريات الخيطية التي تكون حاشية زقية

Order: Coryneliales

Order: Dothideales

Order: Myriangiales

Order: Arthoniales

Order: Asterinales

Order: Capnodiales

Order: Chaetothyriales

Order: Patellariales

Order: Pleosporales

Order: Melanommatales

Other Filamentous Ascomycetes فطريات أسكية خيطية أخرى

Order: Erysiphales

Order: Laboulbeniales

Order: Spathulosporales

Phylum: Basidiomycota **شعبة الفطريات البازيدية**

Order: Agaricales

Class: Gasteromycetes طائفة الفطريات جاستيروميسيتس

Order: Lycoperdales

Order: Tulostomatales

Order: Sclerodermatales

Order: Phallales

Order: Nidulariales

Order: Aphyllophorales

Order: Uredinales (فطريات الأصداء Rust Fungi)

Order: Ustilaginales (فطريات التفحم Smut Fungi)

Other Basidiomycetes فطريات بازيدية أخرى

وتضم هذه المجموعة فطريات بازيدية تقع تحت الرتب التالية :

Order: Tremellales

Order: Auriculariales

Order: Dacrymycetales

Order: Tulasnellales

Order: Ceratobasidiales

Kingdom: Stramenopila مملكة ستراميتوبيلا

وتقع تحتها ثلاث شعب هي :

Phylum: Oomycota شعبة الفطريات البيضية

Class: Oomycetes طائفة الفطريات البيضية

يقع تحت طائفة الفطريات البيضية الرتب التالية :

Order: Leptomitales

Order: Saprolegniales

Order: Rhiphidales

Order: Lagenidiales

Order: Peronosporales

Phylum: Hyphochytriomycota

Order: Hyphochytriales

Phylum: Labyrinthulomycota (Net Slime Molds)

Kingdom: Protista مملكة الكائنات وحيدة الخلية

وتقع تحتها أربع شعب هي :

Phylum: Plasmodiophoromycota (Endoparasitic Slime Molds)

Class: Plasmodiophoromycetes طائفة الفطريات البلازمودفورية

Order: Plasmodiophorales

Phylum: Dictyosteliomycota

Phylum: Acrasiomycota

Phylum: Myxomycota (True Slime Molds)

شعبة الفطريات اللزجة الحقيقية (الأعفان الغروية)

Order: Liceales

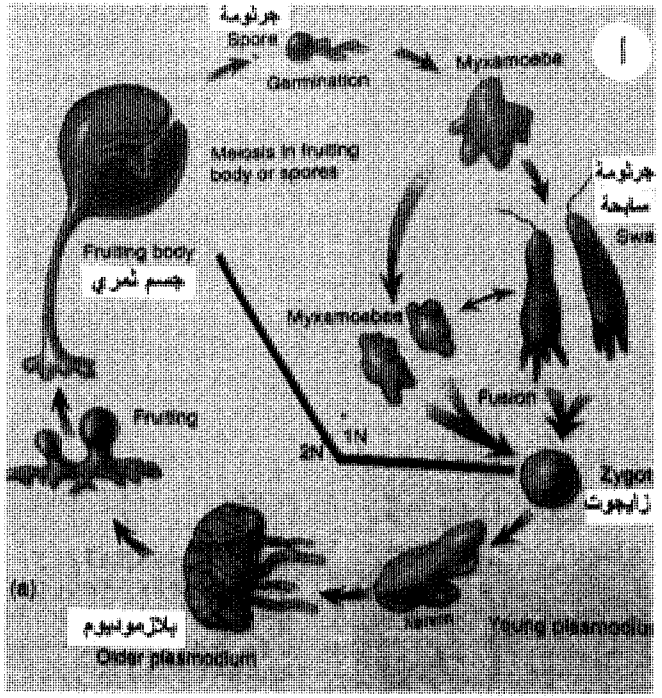
Order: Echimosteliales
Order: Trichiales
Order: Physarales
Order: Stemonitales
Order: Ceratiomyxales

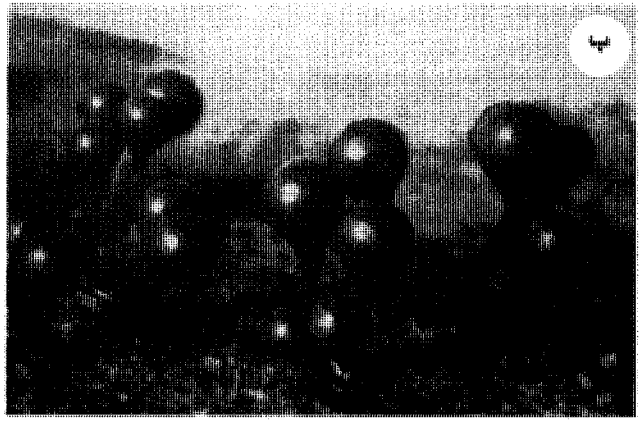
الفطريات اللزجة (الدنيئة) Myxomycota (slime fungi)

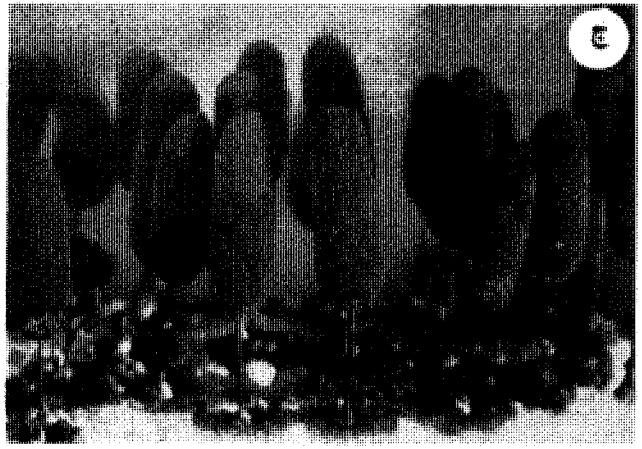
تشكل هذه المجموعة من الفطريات موضعا وسطا حيث تتميز ببعض صفات الأوليات وبعض صفات الفطريات، فيتكون الطور الخضرى فيها من كتلة بروتوبلازمية عديدة الأنوية لاتحتوي على جدار خلوي، تشبه خلية الأميبا، ويطلق عليها اسم Plasmodium. وفي طورها التكاثري تكون جراثيم سابحة Zoospores تتحرك بواسطة سوطين في مقدمتها. ولا تشكل هذه المجموعة من الفطريات أهمية اقتصادية كبيرة في القطاع الزراعي باستثناء عدد محدود من أفرادها تسبب بعض الأمراض النباتية. وقد وضعت حسب تقسيم Alexopolous ضمن مملكتي Protista، Stramenopila. ومن أهم الشعب التابعة لها شعبة الفطريات اللزجة الحقيقية Myxomycota، ويتبعها عدد من الرتب منها:

رتبة: فيزاراليس Order: Physarales

تضم عددا من الأنواع الهامة اقتصاديا مثل النوع *Fuligo septica*. والفطريات التابعة لهذه الرتبة عبارة عن كائنات مترممة Saprophytes تنمو أساسا في الطبقة العلوية للتربة، وتتغذى على المخلفات العضوية والأحياء الدقيقة الموجودة في التربة. وفي الأوقات التي ترتفع فيها درجة الحرارة وتزداد نسبة الرطوبة، كمواسم الأمطار مثلا، فإنها تنتقل إلي المجموع الخضري للنباتات النامية قريبا من سطح التربة (كالنجيل وبعض النباتات الزاحفة كالفراولة، ...إلخ)، وتنمو بغزارة حيث تغطى سطح هذه النباتات، وأحيانا تحت سطح التربة في المسافات البينية بين النباتات بنموات لزجة ذات لون بنى أو أبيض تتحول بعد فترة إلى اللون الرمادي وتتحول إلى القوام الهش ويظهر النبات كاملا باللون الرمادي (الشكل رقم ٣٣).







الشكل رقم (٣٣). أ) دورة حياة الفطريات اللزجة **Myxomycota**، (ب، جـ) بعض أشكال الأجسام الثمرية للفطريات اللزجة.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

وتستعمل الفطريات سطوح النباتات كوسيلة لتثبيت الفطر (لا تتغذى عليها) (غير أن نموها الغزير على سطوح هذه النباتات يعيق العمليات الطبيعية الحيوية مثل عملية التمثيل الضوئي)، وتكون على السطوح أجساما سبورانجية Sporangia وهي أجسام تختلف في الحجم والشكل تبعا للنوع الذي يكونها، وهذه الأجسام تمتلئ بجراثيم داكنة تنتقل بسهوله بواسطة الرياح وقطرات المياه، وينتشر الفطر في مساحات واسعة حيث تخرج جراثيم سابحة يتم فيها عدد من الانقسامات والتغيرات الفسيولوجية، ثم تتحد في أزواج مكونة زايجوتا ينمو بدوره ويزداد في الحجم ويصبح عديد الأنوية ثم يتحول إلي بلازموديوم Plasmodium. وفي الغالب لا تحتاج إلي وسائل خاصة للمقاومة حيث يمكن في حالات النموات الكثيفة التخلص منها إما بإزالة الأوراق التي عليها النموات أو بالرش بتيارات المياه الغزيرة في حالات الجو الجاف أو مجرد تفريش سطوح النباتات فإنه كفيل بإزالة هذه النموات.

شعبة: بلازموديوبلوروميكوتا Phylum: Plasmodiophoromycota

ومن أشهر أجناسها جنس *Plasmodiophora* المسبب لمرض تدرن الجذر الصولجاني للعائلة الصليبية. وجنس *Polymoxa* ويسبب أمراض الجذور في النجيليات. وجنس *Spongospora* المسبب لمرض الجرب الدقيقي للبطاطس.

الفطريات الحقيقية Eumycota

يضم هذا القسم الأغلبية العظمى من الفطريات التي تؤدي دورا هاما ومميزا في حياة الإنسان بصفة عامة لما لها من أهمية اقتصادية كبيرة في إحداث المرض، وإتلاف الأغذية والمواد المخزونة وتحليل المخلفات العضوية، إضافة إلي ما لها من أدوار متخصصة في المجال الزراعي والصناعي. وتتميز هذه الفطريات بتلك الخيوط النسيجية التي تكونها (باستثناء الخمائر والفطريات اللحمية)، والتي يطلق عليها اسم ميسيلوم Mycelium ومفردها هيفا Hypha، وباحتواء جدر خلاياها على مادة الكيتين والسليلوز. ونظرا لما لها من أهمية فإننا سنختار بعض الأنواع التي لها أدوار أكثر حيوية في المجال الزراعي والغذائي ونتحدث عنها بنوع من التفصيل.

وتوضع الفطريات الحقيقية تبعا لتقسيم Alexopolous ضمن مملكتي الفطريات Fungi، ومملكة Stramenopila.

ومن الأمثلة ذات الأهمية الاقتصادية أجناس *Pythium*، *Plasmopora*. ووضعها التقسيمي:

Kingdom: Stramenopila

Phylum: Oomycota شعبة الفطريات البيضية

Class: Oomycetes

Order: Peronosporales

الجنس *Pythium* spp.

تسبب أنواع هذا الجنس أمراض عفن البذور والذبول للبادرات في العديد من العوائل النباتية قبل الإنبات وبعد انبثاقها فوق سطح التربة، وتسمى هذه الأعراض التي تسببها أنواع هذا الجنس أعراض الذبول الطري أو الموت المفاجئ للبادرات Damping off.

وتتميز أنواع الفطريات التابعة لهذا الجنس بتكوين هيفات دقيقة شفافة كثيرة التفرع وغير مقسمة بجدر عرضية. وقد تظهر على الهيفات انتفاخات غير منتظمة الشكل ومختلفة الحجم هي عبارة عن الأكياس الأسبورانجية. وتنمو الأكياس الأسبورانجية إما مباشرة بتكوين أنبوبة إنبات واحدة أو أكثر، أو بتكوين هيفا قصيرة ينشأ في نهايتها انتفاخ يتكون بداخله عدد هائل من الجراثيم الهدبية السابحة Zoospores. وعندما تنطلق هذه الجراثيم من الأكياس تسبح لمدة قصيرة ثم تفقد أهدابها وتتحوصل وتستدير، ومن ثم تنمو مكونة أنابيب إنبات تخترق بدورها أنسجة العائل بادئة دورة إصابة جديدة.

أما التكاثر الجنسي فيتم عن طريق تزاوج جنسي بين عضو مذكر Anthridium وعضو مؤنث Oogonium، وينشأ العضو المؤنث من نموات دائرية تخرج من الميسيليوم، وبجوارها يتكون العضو المذكر في شكل يشبه الصولجان، وعندما يحدث تلامس

التركيبين الجنسيين يكون التركيب المذكر أنبوب تلقيح يخترق العضو المؤنث ويلقحه. ويتكون لدينا نتيجة ذلك اللاقحة (الزيجوت)، ويسمى التركيب ذو الجدار السميك المحتوي بداخله على اللاقحة باسم الجرثومة البيضية Oospore والتي لها قدرة كبيرة على مقاومة الظروف البيئية غير المناسبة. وعند ملاءمة الظروف للنمو فإن الجراثيم البيضية Oospores تنمو إما إنباتا مباشرا، بتكوين أنابيب إنبات تتحول إلى ميسيلوم، أو إنباتا غير مباشر يتكون في نهايته انتفاخ يمتلىء بأعداد كبيرة من الجراثيم السابحة Zoospores بطريقة تشبه تلك التي تحدث في الأكياس الاسبورانجية.

ويلاحظ أن العامل المحدد لطريقة نمو الأكياس الاسبورانجية والجراثيم البيضية هو درجة حرارة البيئة، حيث يلاحظ أنه في درجات الحرارة التي تزيد عن ١٨°م يفضل الفطر النمو عن طريق أنابيب الإنبات، وفي درجات الحرارة التي تتراوح بين ١٠ و١٨°م يفضل النمو بواسطة الجراثيم السابحة.

توجد أنواع الجنس *Pythium* بصفة عامة في المياه والتربة في مختلف مناطق العالم حيث تعيش كفطريات مترممة على البقايا الحيوانية والنباتات الميتة في التربة. وعند زراعة أي بذور في هذه التربة الرطبة الموبوءة فإن النباتات النامية تصبح عرضة للإصابة بهذا الفطر.

الجنس *Plasmopara* spp.

يتميز هذا الجنس بوجود ميسيليوم غير مقسم يتراوح قطره بين١ و٦٠ um والفطريات التابعة لهذا الجنس إجبارية التطفل Obligate parasite، وتسبب مرض البياض الزغبي Downy mildews لكثير من العوائل الاقتصادية ومن أشهر أنواعها *P. viticola*.

الوصف العام للفطر

ينمو الفطر بين خلايا العائل Intercellular ويرسل ممصات Haustoria إلي داخل الخلايا لامتصاص مكونات الخلية بعد تحليلها. وفي ظروف الرطوبة المرتفعة يكون الفطر حوامل اسبورانجية Sporangiophores تخرج من ثغور الورقة على سطحها السفلي. وفي

الثمار الغضة تخرج الحوامل الاسبورانجية من العديسات Lenticele. وفي الغالب يخرج ٤-٦ حوامل اسبورانجية من الثغر الواحد وقد تصل أحيانا إلي ٢٠ حاملا يكون كل حامل ٤-٦ أفرع، وكل فرع يكون من ٢-٣ فرع ثانوي (زنيبات)، وفي نهاية هذه الأفرع الثانوية تتكون أكياس اسبورانجية ذات شكل ليموني يطلق عليها اسم Sporangia. وعند نضج هذه الأكياس تتطاير بفعل الرياح والأمطار. حيث تنمو تحت ظروف الرطوبة المرتفعة منتجة جراثيم هدبية Zoospores والتي تسبح بدورها في الماء لعدة دقائق ثم تفقد أهدابها وتتحوصل ثم تكون أنابيب إنبات Germ tube، تصيب النبات العائل، وفي حالات نادرة من الممكن أن تنمو الاسبورانجيا مباشرة مكونة أنابيب إنبات.

أما التكاثر الجنسي Sexual فيتم نتيجة اتصال جنسي بين عضو مذكر Anthridium وآخر مؤنث Oogonium ينتج عنه تكوين تراكيب ملقحة تسمى بالجراثيم البيضية Oospores، وهذه تكون بدورها أنابيب إنبات تحمل في نهاياتها أكياسا اسبورانجية يتكون داخلها جراثيم هدبية Zoospores، تنمو فيما بعد بالطريقة التي تم شرحها أعلاه.

شعبة: الفطريات الزيجوية Phylum: Zygomycota

تتميز هذه المجموعة بتكوين جراثيم لا جنسية غير متحركة تتكون داخل أكياس جرثومية ولا تكون جراثيم هدبية - أما جراثيمها الجنسية فتعرف باسم الجراثيم الزيجوية Zygospores وتضم هذه المجموعة طائفتين Classes:

أ) Zygomycetes

ب) Tricomycetes

يندرج تحت الطائفة (أ) سبع رتب Orders من أهمها:

١- Mucorales: تعيش أفرادها في التربة على المخلفات في صورة كائنات مترممة باستثناء عدد قليل يعيش كمتطفلات على عوائل حيوانية ونباتية.

٢- Entomophthorales: تضم عددا من الفطريات المتطفلة على الحشرات إضافة إلي بعض المترممات.

أما الطائفة (ب) فتشكل مجموعة غير واضحة المعالم ومعظم أفرادها تعيش كمتطفلات داخل أمعاء وحناجر الحيوانات المفصلية Arthropods ، وهي بذلك لا تشكل أهمية اقتصادية تذكر.

وسيتم اختيار عدد من أجناس هذه المجموعة Zygomycota والتي تتميز بأهمية اقتصادية وبالذات في المجال الزراعي مثل :

١ - الجنس *Choanephora* : يسبب هذا الجنس مرض العفن الطري لثمار الكوسة والقرع والبامية والفلفل ، ...إلخ ، وبالذات في فصل الصيف.

٢ - الجنس *Rhizopus* : وتعرف أنواع هذا الجنس باسم فطريات عفن الخبز Bread mold fungus والذي يسبب إضافة إلي عفن الخبز ، العفن الطري للعديد من الثمار اللحمية والخضروات والدرنات والبذور ، ...إلخ.

٣ - الجنس *Mucor* : يسبب هذا الجنس أيضا تعفن الخبز وبعض المواد الغذائية المصنعة ، وفي النادر يسبب تعفن البطاطس الحلوة التي تخزن تحت درجات حرارة منخفضة.

٤ - الجنس *Endogone* : تعتبر أنواع هذا الجنس من أنواع الفطريات المفيدة في القطاع الزراعي حيث تعيش في التربة في صورة تكافلية مع جذور بعض النباتات مكونة ما يعرف بالفطريات الجذرية (الميكوريزا Mycorrhiza) والتي تعتبر حيوية لنمو وانتعاش العديد من نباتات المحاصيل المفيدة للإنسان.

وبصفة عامة تعتبر الفطريات التابعة لطائفة Zygomycetes طفيليات ضعيفة إذ تنمو أغلبها كمترممات على المخلفات العضوية ، وعندما تهاجم أنسجة النبات الحية فإنها في الغالب تبدأ إصابتها من خلال الجروح التي تحدث على الأنسجة ، أو بعض أجزاء الأنسجة الميتة ، وتنطلق منها إلي بقية أنسجة النبات. وتكون فطريات هذه المجموعة خيوطا فطرية Mycelium مستطيلة غير مقسمة بجدر عرضيه Co-enocytic ، وتتكاثر لاجنسيا Asexual بواسطة جراثيم لاجنسية غير متحركة داخل أكياس

اسبورانجية Sporangia يطلق عليها اسم جراثيم اسبورانجية Sporangiospores ، أو كونيديا Conidia تنتشر بواسطة التيارات الهوائية. أما التكاثر الجنسي Sexual فيتم نتيجة التحام جنسي Fussion بين خليتين جنسيتين متشابهتين ويطلق على الخلية الناتجة من هذا الالتحام اسم Zygospore وهي خلية سميكة الجدار لديها القدرة على السكون الشتوي Overwintering ومقاومة الظروف السيئة. وعند تحسن الظروف، وخاصة درجة الحرارة والرطوبة، تنمو هذه الجراثيم الجنسية مكونة أكياسا اسبورانجية محتوية على جراثيم اسبورانجية Sporangiospores. وسوف نتحدث بشيء من التفصيل عن الجنس *Rhizopus* لما له من أهمية اقتصادية كبيرة، ويعتبر من أبرز الأجناس التابعة لرتبة Mucorales.

الجنس *Rhizopus* spp.

تسبب أنواع من هذا الجنس تعفن الخبز، إضافة إلى مرض العفن الطري Soft rot في الخضروات والفواكه، ويسببه النوع *R. stolonifer*. ويصيب هذا النوع الأنسجة اللحمية لكل أجزاء النبات (خضروات، فواكه، نباتات زينة) عقب حصادها وخلال فترة النقل والتخزين بخاصة تحت ظروف الرطوبة المرتفعة، وتحت الظروف الملائمة لانتشار المرض ينتشر بسرعة فائقة داخل الحاويات المستعملة لنقل الخضروات والفواكه، وقد تصل نسبة الفقد إلي مستويات مرتفعة جدا في فترة قصيرة. ويضم الجنس Rhizopus حوالي ٣٥ نوعا جميعها مترممات.

وصف الفطر

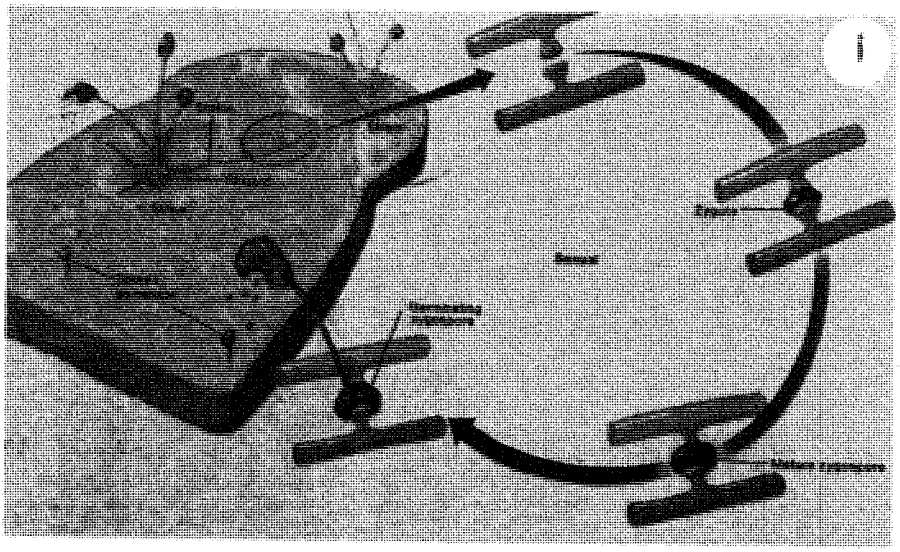
يوجد هذا الفطر تقريبا في كل مكان في الطبيعة - ويعيش في صورة مترممة وأحيانا كطفيلي ضعيف على الأجزاء النباتية المخزنة. يكون الفطر خيوطا فطرية غير مقسمه بجدر عرضية تخرج منها حوامل اسبورانجية تحمل في نهاياتها العلوية أكياسا اسبورانجية سوداء اللون Sporangia تضم داخلها آلاف من الجراثيم تسمى جراثيم اسبورانجية Sporangiospores، والتي تنتشر في الهواء عقب انفجار الكيس السبورانجى

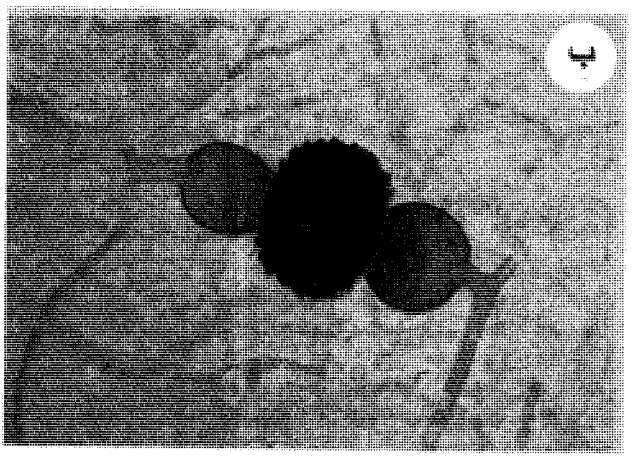
وتسقط على السطوح، فإذا كان السطح الذي سقطت عليه محتويا على رطوبة أو جرحا في نسيج نباتي حساس، فإن الجراثيم تنمو مكونة ميسيليوم ينتشر على السطح مكونة أجزاء يطلق عليها Stolons لها القدرة على تثبيت أطرافها على سطح النسيج في نقاط محددة يخرج منها نموات فطرية متشعبة إلي أسفل مخترقة النسيج يطلق عليها اسم أشباه جذور Rhizoids يقابلها إلى أعلى نموات هوائية هي الحوامل الاسبورانجية والتي تحمل في نهاياتها الأكياس الاسبورانجية. وعند كل نقطة من نقاط تثبيت الفطر على السطح تخرج أعدادا إضافية من Stolons في كل اتجاه وتثبت نهاياتها على السطح مكونة أشباه جذور إلي أسفل وحوامل اسبورانجية إلى أعلى... وهكذا.

وتكون بعض الهيفات النامية لأسفل (أشباه الجذور) والقريبة بعضها من بعض فروعا قصيرة يطلق عليها Progametangia تنمو في اتجاه بعضها البعض. وعندما تتلامس قممها ينفصل جسم الخيط الفطري من التكوين المسمى Progametangium بواسطة جدار عرضي، وتسمى الخليتان اللتان في نهايات أفرع الخيوط الفطرية في هذه الحالة باسم Gametangia. يتم اتحاد هاتين الخليتين بأن يمتزج فيهما البروتوبلازم وتتحد الأنوية وينتج عن هذا الاتحاد خلية واحدة كبيرة ملقحة ذات جدار سميك أسود يطلق عليها اسم Zygospore، وتشكل هذه الخلية الملقحة الطور الساكن لهذا الفطر. وعندما تتوفر لها الظروف المناسبة تنمو ويخرج منها حامل سبورانجى يحمل في نهايته كيسا سبورانجيا مليئا بالجراثيم الاسبورانجية.

١) عفن الخبز الأسود Bread black mold

توجد جراثيم هذا الفطر في الهواء دائما، فإذا ما سقطت على قطع من الخبز محفوظة عند درجة حرارة معتدلة (حوالي ٢٥°م) وفي مكان رطب، فإنها تنمو عليها وتبدأ بعد ٢-٣ أيام ظهور نموات الميسيليوم الأبيض الذي يشبه القطن ويغطى سطح الخبز. وبعد فترة يبدأ لون الميسيليوم في التحول إلي اللون الأسود نتيجة تكون أعداد هائلة من الجراثيم الاسبورانجية السوداء اللون. ومن هذا المظهر اكتسب اسمه المميز (عفن الخبز الأسود) (الشكل رقم ٣٤).





الشكل رقم (٣٤). أ) مراحل تكوين الجراثيم الجنسية الزيجية **Zygospores** في فطر عفن الخبز.
(عن: Kathleen and Arthur, 1996)

ب) زيجوسبور ناضج.
(عن: McKane and Kandel, 1996)

* شعبة: الفطريات الأسكية Phylum: Ascomycota

تعتبر شعبة الفطريات الأسكية Phylum: Ascomycota من أكبر وأهم شعب الفطريات، وتقدر عدد الأنواع التابعة لها بحوالي ٣٠,٠٠٠ نوع أو يزيد. وتنتشر هذه الفطريات في مدى واسع من البيئات الطبيعية، وفي أغلب مواسم العام. فبعضها يعيش في التربة مترمما على البقايا العضوية، بينما يتطفل البعض الآخر على النباتات مسببا لها العديد من الأمراض الهامة. وهناك ما يعيش منها في البحار والمحيطات Marine Ascomycetes إما مترمما على البقايا العضوية الموجودة في البحار، أو متطفلا على بعض الأحياء المائية مثل الطحالب.

* وتعتبر هذه المجموعة من الفطريات ذات أهمية قصوى للإنسان حيث تعتبر من أهم الفطريات التي تعمل على إتلاف المواد السليلوزية المخزنة مثل المنسوجات والأخشاب، كما أنها من أخطر المسببات النباتية المرضية. ومن أهم الأمراض التي تسببها: مرض جرب التفاح Apple scab، مرض العفن البني Brown rot of stone fruit، أمراض البياض الدقيقي Powdery meldew، ...إلخ.

كما أن هناك عديدا من الأمراض التي تصيب الإنسان والحيوان يعود الأصل فيها إلي مجموعة الفطريات الأسكية مثل مرض الإرجوت Ergot الذي يسبب الإجهاض للماشية ويسببه *Claviceps purpurea* وبعض أمراض الجهاز التنفسي للإنسان، ... إلي غير ذلك كثير.

وفي المقابل هناك أنواع أخرى من هذه المجموعة تعتبر ذات أهمية اقتصادية كبيرة جدا. فعمليات التخمر مثلا، والتي تعتبر الأساس في صناعة الخبز وعديد من الصناعات الأخرى، هو نتاج نشاط الخميرة Yeasts وهي أحد الفطريات التابعة لهذه المجموعة. كما أن هناك عددا من الفطريات اللحمية التي يستخدمها الإنسان كغذاء وتعتبر ذات طعم وقيمة عالية جدا مثل الفقع.

وأهم ما يميز هذه المجموعة من الناحية التكاثرية هو تكوينها لنوع من الجراثيم الجنسية داخل أكياس يطلق عليها اسم الجراثيم الأسكية Ascospores وتسمى الأكياس الزقاق Asci، ومن هذه الصفة أطلق عليها اسم الفطريات الأسكية (الزقية).

التركيب الخضرى Somatic structure

يتكون الميسيليوم (الغزل الفطرى) للفطريات الأسكية من هيفات عديمة اللون كثيرة التفرع، وتتميز بأنها مقسمة بجدر عرضية Septa. وفي الغالب تحتوي هذه الجدر العرضية على ثقوب في وسطها Pores تسمح بمرور وانتقال المحتويات السيتوبلازمية والأنوية من خلالها. كما يتميز جدار الهيفات باحتوائه على نسبة عالية من الكيتين Chitin وغياب السليولوز باستثناء نوع أو نوعين فقط من الفطريات الأسكية يحتوي جدارها على نسبة من السليولوز. وتحتوي خلايا الخيوط الفطرية (هيفات) على أغلب المحتويات الخلوية مثل الميتوكوندريا والريبوسومات والفجوات، ...إلخ.

ومع أن الغالب في خلايا الفطريات الأسكية أنها وحيدة النواة فإنه من الشائع أن توجد بعض الخلايا عديدة الأنوية. فإذا كان الميسيليوم نشأ عن طريق نمو جرثومة وحيدة النواة يُطلق على الميسيليوم مصطلح Homocaryotic. وينشأ الميسيليوم المتعدد الأنوية Heterocaryotic عن عدة طرق، فإذا تحولت خلية واحدة من النوع وحيدة الأنوية إلى عديدة الأنوية إما عن طريق الطفرات أو عن طريق انتقال نواة من خلية مجاورة إليها خلال الفتحات الموجودة في الحواجز العرضية Septa فإن جميع خلايا الخيط الفطري الناشئ من هذه الخلية يصبح من النوع عديد الأنوية.

وقد أثبتت الدراسات بصورة قاطعة انتقال الأنوية خلال الفتحات الموجودة في الجدر العرضية، غير أنه لم يُفصل حتى الآن فيما إذا كانت هذه الأنوية تتحرك فقط خلال حركة السيتوبلازم أم أن لها قدرة على الحركة الدائمة.

التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

تتكاثر الفطريات الأسكية لاجنسيا بعدة طرق تبعا لنوع الفطر Species والظروف البيئية التي تم فيها التكاثر. فهي إما أن تتكاثر بالانقسام البسيط Fission أو بالتفتت Fragmentation أو بواسطة الجراثيم الكلاميدية أو الكونيدية.

فالخمائر Yeasts مثلا وعدد قليل جدا من الفطريات الأسكية تتكاثر بالانقسام البسيط والتبرعم Budding، ويطلق على الجراثيم الناتجة عن طريق التبرعم اسم

Blastospores. ونظرا لأن جميع أجزاء الخيط الفطري لها القدرة على النمو والتكاثر فإن انفصال أي جزء من هذا الخيط Fragmentation تحت الظروف الملائمة يمكنه النمو مرة أخرى لكي يعطى خيطا فطريا جديدا ومتكاملا ويطلق على هذه الطريقة التفتت Fragmentation. كما أن أغلب أنواع الفطريات التابعة لهذه المجموعة لها القدرة على التكاثر بالجراثيم الكونيدية، وتتكون هذه الجراثيم مباشرة من إحدى خلايا الخيط الفطري حيث ينشأ حامل هوائي إلي أعلى يطلق عليه اسم الحامل الكونيدى Conidiophore وهذا الحامل قد يكون قصير التفرع أو طويلا ذا أفرع عديدة. وتحمل هذه الأنواع بدورها سلسلة من الجراثيم اللاجنسية تسمى الجراثيم الكونيدية وأحيانا تكون أجساما ثمرية لاجنسية تحتوي في داخلها على أعداد هائلة من الجراثيم الكونيدية، مثل الأجسام الآسيدية والبكنية.

التكاثر الجنسي Sexual reproduction

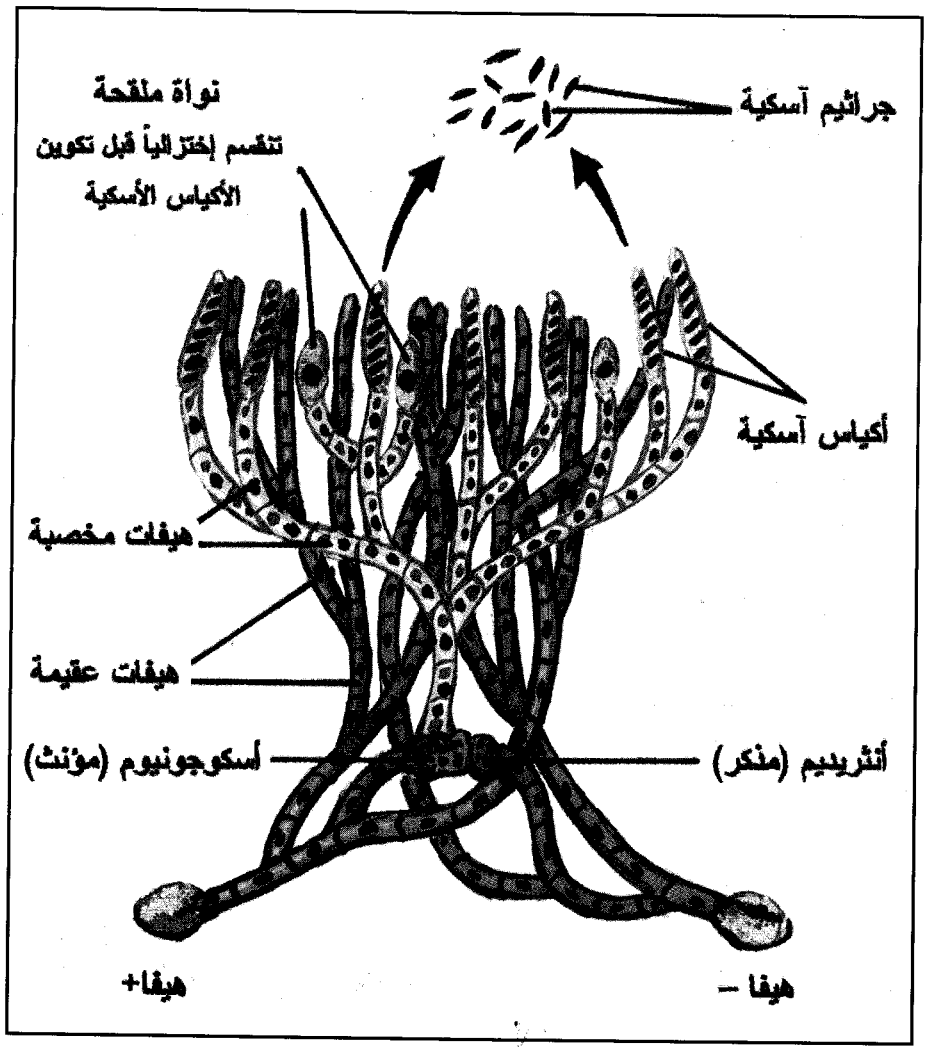
يتم التكاثر الجنسي بواسطة نوع من الجراثيم الجنسية يطلق عليها اسم جراثيم أسكية (زقية) تتكون داخل أكياس أسكية تسمى الزقوق Asci. وتعتبر هذه الجراثيم من أهم مميزات الفطريات الأسكية حيث تتكون نتيجة التحام نووي بين خليتين يتبعه انقسام اختزالي وغير مباشر ينتج عنه تكون ٨ أنوية تنشأ عن كل منها جرثومة واحدة بحيث يضم الكيس الأسكي ٨ جراثيم أسكية.

ويوجد نوعان من الفطريات الأسكية بالنسبة لطبيعة التزاوج الجنسي فيما بينها. فلكي تتكون الجراثيم الجنسية في بعض هذه الفطريات يلزم أن يتم التزاوج بين خليتين من أصلين مختلفين أي من خيطين مختلفين، وتسمى هذه الظاهرة تباين الثالوس Heterothallus. أما في بعض الأنواع الأخرى فإن التزاوج من الممكن أن يتم بين خليتين من نفس الخيط الفطري، ويطلق على هذه الحالة تشابه الثالوس Homothallus.

تكوين الأكياس الزقية Asci

تكون بعض أنواع الفطريات الأسكية أعضاء جنسية مميزة، فالعضو الأنثوي يسمى Ascogonium ويكون في الغالب عديد الأنوية، والعضو المذكر يسمى

Anthridium. وفي أنواع أخرى لا توجد أعضاء جنسية مميزة حيث يحدث التزاوج بين خيوط فطرية عادية أو تكون ناشئة من خيط جنسي Ascogenous hypha ويكون في الغالب عديد الأنوية (الشكل رقم ٣٥).



الشكل رقم (٣٥). مراحل تكوين الجراثيم الجنسية الأسكية **Ascospores**.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

يحدث التزاوج بين الأعضاء المذكرة والمؤنثة، ويحدث التحام نووي يتبعه انقسام اختزالي Meiosis ينشأ عنه ٨ أنوية (أحادية الصبغة) Haploid، وفي هذه الأثناء يستطيل الكيس المحيط بها مكونا الزق Ascus، وتحاط كل نواة بكمية من السيتوبلازم لكي تكون الجرثومة الأسكية Ascospore، وأحيانا تنقسم الأنوية الناتجة بحيث تعطى جراثيم أسكية ثنائية النواة أو عديدة الأنوية. وعندما تنضج وتصبح الظروف مناسبة ينفجر الكيس الأسكي وتخرج الجراثيم الجنسية الأسكية.

الأجسام الثمرية Fruiting bodies

في الخميرة وتلك الأنواع المشابهة لها Endomycetales يكون الكيس الأسكي عاريا غير محاط بغلاف، ولكن في أغلب أنواع الفطريات الأسكية تكون الأكياس الأسكية محاطة بغلاف من الهيفات مكونة ما يعرف باسم Ascocarp أو الجسم الثمري، والذي يختلف في الشكل والاسم تبعا للجنس الذي يكونه، فهناك ثلاثة أنواع رئيسية من الأجسام الثمرية (الشكل رقم ٣٦) هي:

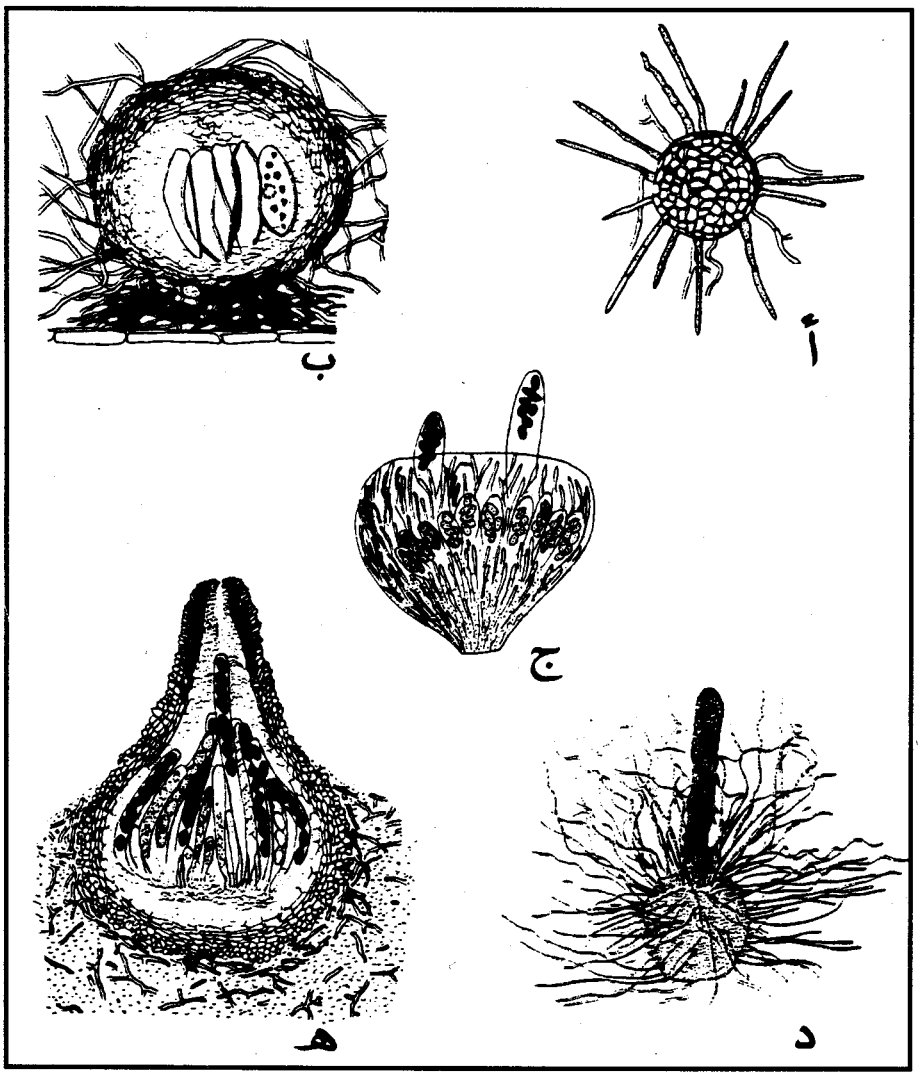
١- الأجسام الثمرية المغلقة Cleistothecia: وهي عادة كروية الشكل ليست لها فتحة للخارج. وتنتشر هذه الزقاق وجراثيمها بتحلل جدار الثمرة الزقية أو تمزقها.

٢- الأجسام الثمرية القارورية (الدورقية) Perithecia: وهي عادة كمثرية الشكل أو على شكل قارورة مستطيلة لها عنق وتفتح للخارج عند النضج بفتحة علوية ضيقة تسمى فوهة.

٣- الأجسام الثمرية القرصية Apothecia: وتكون قمعية أو كأسيه الشكل لها فتحة للخارج.

الأجسام الحجرية Sclerotia

وهي كتلة صلبة من ميسيليوم الفطر، حيث تنضج وتسقط على الأرض، ولها قدرة فائقة على البقاء تحت الظروف البيئية غير الملائمة. وقد تجمع مع المحصول وتؤدى إلي انتشار الفطر. كما أن نسبة من الحبيبات المحتوية على هذه الهيفات تكون ذات تأثير سام، وينتقل بواسطتها مرض الإرجوت.



الشكل رقم (٣٦). الأشكال المختلفة للأجسام الثمرية التي تكونها الفطريات الأسكية:

أ) الشكل الدائري المغلق **Cleistothecium**

ب) مقطع عرضي في الجسم الثمري يوضح الأكياس الأسكية

جـ) الشكل القرصي **Apothecium**

د) الشكل الدورقي **Perithicium**

هـ) مقطع في الشكل الدورقي يوضح الأكياس الأسكية

(عن: Webester, 1980)

الوسائد الهيفيه Stromata

بعض الأجناس التابعة للفطريات الأسكية تتجمع أجسامها الثمرية داخل غلاف عام من الهيفات المتداخلة مكونة تكوين يعرف باسم الستروما Stroma حيث تفتح كل ثمرة فيه بفتحة.

ونظرا للعدد الهائل من الفطريات ذات الأهمية الاقتصادية التابعة لهذه المجموعة، فإننا سوف نقصر الحديث على عدد من الأجناس الأكثر شيوعا في حياتنا اليومية والمرتبطة بحياتنا ونشاطنا سواء في المجال الغذائي أو الصحي أو الزراعي.

رتبة: أيروتياليس Order: Eurotiales

ويندرج تحتها عائلتان Families تضم عددا كبيرا من الأجناس الهامة اقتصاديا، ومن الأمثلة الأكثر أهمية وانتشارا:

الجنس *Aspergillus*

يعد هذا الفطر من أوسع الفطريات انتشارا في الطبيعة، وتوجد جراثيمه في الهواء وفي التربة وتنمو على أي وسط غذائي وعلى البقايا الحيوانية والنباتية الرطبة.

وينمو كثير من أنواعه على الخضروات والفواكه واللحوم وغيرها من المواد الغذائية أثناء تسويقها مسببة تعفنها كما يتلف بعض أنواع الجلود والأنسجة والأوراق إذا تعرضت للرطوبة والحرارة الملائمة لنمو الفطر، مما يقلل من القيمة الاقتصادية لهذه السلع وتؤدى إلي تعفنها. ويضم هذا الجنس عددا كبيرا من الأنواع يصل إلي ٢٠٠ نوع ويتبع لها عديد من الأصناف التي تتمايز بعضها عن بعض بلون الجراثيم.

* ويمكن إدراج الأهمية الاقتصادية لهذا الجنس فيما يلي:

١- يستعمل بعض أنواعها في إنتاج العديد من الأحماض الصناعية مثل حمض الستريك وحمض الجليكوليك، والتي تستعمل بدورها على نطاق واسع في المجال الصناعي.

٢- تستعمل في صناعة أنواع معينة من الأجبار.

٣- تستعمل في إنتاج بعض أنواع الدهون.

٤ - تستعمل في إنتاج بعض الفيتامينات مثل فيتامين (ب).

٥ - تستعمل في إنتاج بعض المضادات الحيوية مثل Funagalin, Aspergillin, Flavicin.

٦ - يستخدم النوع *A. niger* في الاختبارات الإحيائية لتقدير الآثار البسيطة لبعض المركبات مثل النحاس.

٧ - بعضها يسبب أمراضا للإنسان والحيوان ويصيب الرئة، وتشبه في أعراضها مرض الدرن الرئوي، كما تصيب الماشية والخيول.

ومن أشهر أنواع هذا الجنس:

Aspergillus glaucus

ويسبب تلف وتعفن المواد الغذائية المخزونة مثل الفواكه واللحوم والمربات والجلود والأنسجة، ...إلخ. وذلك تحت ظروف الرطوبة والحرارة المرتفعة، وجراثيمه ذات لون بني.

Aspergillus niger

يطلق عليه العفن الأسود، وله أهمية كبيرة حيث يسبب تعفن الفواكه والأغذية المخزونة وتلفها، وبالذات ثمار العنب مسببا لها مرض عفن ثمار العنب. كما يستخدم في إنتاج بعض الأحماض العضوية مثل حمض الستريك والأوكساليك. وبعض أنواعه تسبب أمراضا للإنسان. ويتميز بلون جراثيمه السوداء. ويشبه في مظهره الخارجي فطر عفن الخبز الأسود التابع لرتبة Mucorales، غير أنه يختلف عنه في أن الميسيليوم منه يكون مقسم بجدر عرضية بعكس فطر عفن الخبز.

Aspergillus fumigates

وهو من الفطريات ذات الأهمية الطبية حيث يسبب للإنسان مرضا يعرف باسم Otomycosis والذي يصيب الرئة، ويشبه لحد ما أعراض مرض الدرن الرئوي.

***Penicillium* spp.** *

تعتبر فطريات هذا الجنس من أوسع الفطريات انتشارا في الطبيعة، مثله في ذلك مثل الجنس *Aspergillus*. وقد اشتق اسمه من اللفظ اللاتيني Penicillum ومعناه

الفرشاة، وذلك لتشابه شكل الفطر بتفرعاته العديدة وما تحمله من جراثيم مع شكل الفرشاة. والميسيليوم في هذا الجنس مقسم ويتميز بتكوين حوامل كونيدية هي خيوط فطرية تنمو لأعلى، ويتفرع عند ثلثه العلوي إلي عدة فروع، تتكون على كل فرع فروع ثانوية تسمى Sterigmata تحمل بدورها الجراثيم الكونيدية في شكل سلاسل. وتتخذ طريقة تفرع الحامل الكونيدي أساسا للتعرف على الأنواع المختلفة التابعة لهذا الجنس. وهناك عدد قليل من أنواع هذا الجنس قادر على تكوين أجسام ثمرية Fruiting bodies، وهذا الفطر من الفطريات المترممة وينمو غالبا على المواد الغذائية والفواكه المخزونة واللحوم والخضار أثناء فترة التخزين في الجو الرطب. ويبدو واضحا في شكل نموات خضراء وزرقاء على ثمار الموالح المتعفنة أثناء فترة التخزين والنقل، وعلى الأصناف المتعفنة في الثلاجات، ولذلك يطلق عليه العفن الأخضر والأزرق. ويعزى اللون المميز لنموات هذا الفطر إلي الأعداد الهائلة من الجراثيم الكونيدية ذات اللون الأخضر المائل إلي الزرقة.

ويلاحظ أن الأجسام الثمرية غير شائعة في هذا الجنس باستثناء بعض الأنواع البسيطة والتي يتم فيها التكاثر الجنسي نتيجة اتحاد خيوط فطرية متشابهة أو مختلفة. ومن الأنواع التي تكون أجسام ثمرية : *P. vermiculata, P. glaucum, P. prefeldianum*. وهذه يتم الاتصال فيها بين خيوط فطرية متشابهة الثالوس Homothallus بعكس النوع *P. luteum* حيث يتم فيها اتحاد خيوط فطرية متباينة الثالوس Heterothallus.

وتتجلى الأهمية الاقتصادية لهذا الجنس في المجالات التالية:

١ - يستخرج من بعض أنواعه أشهر المضادات الحيوية Antibiotic والمعروف باسم البنسلين Penicillin والمعروف بفاعليته ضد عديد من الميكروبات المرضية الخطيرة التي تصيب الإنسان والحيوان. ومن أشهر هذه الأنواع : *P. notatum, P.chrysogenum*.

٢ - تستخدم بعض أنواعه في إنتاج بعض الإنزيمات والفيتامينات مثل فيتامين "د".

٣ - بعض أنواعه تستخدم في إنتاج بعض الأحماض الصناعية مثل حمض الستريك والاكساليك والجلوكونيك.

٤ - يستعمل بعض أنواعه وبالذات النوع *P. roqueforti* في صناعة أنواع من الجبن تسمى جبن الركفورت، وهي ذات طعم مميز. والنوع *P. camemberti* في صناعة نوع من الجبن يسمى جبن كامبرت Camembert cheese.

٥ - هناك الأنواع التي تسبب فساد وتعفن الأغذية والفواكه أثناء فترة التخزين والنقل مثل النوع *P. italicum*، *P. digitatum* والتي تسبب تعفن ثمار الحمضيات.

٦ - بعض الأنواع تسبب أمراضا للإنسان مثل *P. crustaceum* والذي يسبب بعض الأمراض للإنسان تشبه الالتهاب الرئوي.

ومما سبق يتضح أن هذا الجنس يضم أنواعا ذات نشاط شديد التناقض، فمنها ما يستخدم في التصنيع الغذائي، ومنها ما يتلف المواد الغذائية. ورغم استخراج المضادات الحيوية من بعض أنواعها التي تستخدم في العلاج من الإصابة بالأمراض، إلا أن أنواعا منها تسبب أمراضا للإنسان... وهكذا.

رتبة: أريسيفاليس Order: Erysiphales

تضم هذه الرتبة حوالي ١٩ جنسا يتبعها ١٠٠ نوع تعيش معيشة طفيلية إجبارية على النباتات، وهي منتشرة بصورة كبيرة في المناطق ذات المناخ المعتدل. وتصيب الأوراق والسيقان الحديثة والبراعم والثمار، وتسبب أمراضا خطيرة على مدى واسع من العوائل النباتية تعرف باسم أمراض البياض الدقيقي Powdery Mildew (Brawn 1987 and Zheng 1985). وقد اكتسب المرض هذا الاسم نسبة إلى مظهر الميسيليوم والأعداد الهائلة من الجراثيم الكونيدية التي تغطي السطح والتي تعطي شكلا يشبه الدقيق الأبيض. وتنمو جراثيم الفطر عند بدء الإصابة معطية خيوطا فطرية غزيرة ذات خلايا أحادية النواة. وتتميز هذه الفطريات بأنها تنمو سطحيا على سطح النسيج النباتي ثم ترسل ممصات Haustoria تخترق الخلايا لامتصاص غذائها، ويشتهر بقدرته على تكوين سلالات فسيولوجية متخصصة في إصابة سلالات معينة من العوائل النباتية. وتبدأ الإصابة عندما تقع جراثيم كونيدية على سطح نسيج النبات العائل، الورقة مثلا، حيث تنمو بعد يوم أو يومين لكي تعطي أنبوب نمو قصيرا، يثبت

هذا الأنبوب نفسه على الطبقة الخارجية للورقة Epiderm. ويكون عند نقطة الالتصاق أنبوبا دقيقا يخترق خلية العائل. ويرجح أن عملية الاختراق تتم بفعل نوع من الضغط الميكانيكي للأنبوب وتأثير بعض الإنزيمات التي يفرزها الفطر، نظرا لأن حلقة باهتة تتكون حول منطقة الاختراق. يتحول أنبوب الإصابة الذي اخترق الخلية العائل إلى ممص مستطيل ذي شكل مميز داخل الخلية يقوم بامتصاص مكونات الخلية بعد تحليلها إنزيميا. وفي حالة إصابة بعض العوائل غير الحساسة، فإن عملية اختراق خلية العائل تعقبها عملية تحلل سريعة وموت الخلية، ثم تموت الخلايا المحيطة بها، وبالتالي تعمل على حصر المسبب المرضي داخل هذه الخلية ومنع انتشاره إلى بقية أنسجة العائل.

أما بالنسبة لخلايا العوائل الحساسة للإصابة فإن الخلية التي تبدأ فيها الإصابة تظل حية، ويستمر نمو الميسيليوم بغزارة في الطبقة السطحية، يعقبه تكون أعداد كبيرة من الممصات التي تخترق الخلايا وتتسع دائرة الإصابة. وبعد حوالي ٧-١٠ أيام تبدأ في تكوين الجراثيم الكونيدية Conidia.

ومن الأمور الملفتة للانتباه قدرة الجراثيم الكونيدية لجنس الإريسيف على النمو عند نسبة رطوبة منخفضة جدا قد تصل إلي صفر. ويعزى هذا إلي النسبة العالية من الرطوبة التي تحويها هذه الجراثيم والتي تصل إلي ٧٠٪ مقارنة بجراثيم الأجناس الفطرية الأخرى والتي تصل رطوبتها إلي ١٠٪.

ومن أشهر أمراض البياض الدقيقي تلك التي تصيب الحبوب بصفة عامة ومنها الفطر *Erysiphe graminis* والذي يصيب حوالي ١٠٠ نوع من أنواع الحبوب النجيلية والحشائش، وينتشر في جميع أنحاء العالم، ولكنه يكون سائدا في المناطق المعتدلة.

وتظهر أعراض المرض على هيئة اصفرار وتجعد في الأوراق وتقزم النباتات المصابة، ويلاحظ على الأوراق المصابة جزء من أنسجة خضراء تتحول إلى اللون الأحمر ثم البني يتبعها موت النباتات المصابة، كما تصاب النباتات بظاهرة الرقاد، وتذبل رؤوس أزهار النباتات المصابة. ومن المظاهر المميزة للمرض تكون كتل ميسيليومية تشبه النسيج القطني بيضاء مائلة إلي اللون البني على أسطح الأنسجة

المصابة هي الكونيديات والهيفات والأجسام الثمرية. ومن هذا المظهر أخذ المرض اسمه المميز. وبصفة عامة يعتبر هذا المرض أكثر خطورة في النباتات العصيرية.

رتبة: هيبوكريباليس Order: Hypocreales

الجنس *Claviceps*

تتميز أفراد هذه المجموعة ببعض الخصائص المميزة والتي من أهمها شكل الجراثيم الذي يكون إبري الشكل ورقيقا، كما أنها تكون أجساما حجرية Sclerotia تخرج منها وسائد Stroma. ويضم هذا الجنس حوالي اثني عشر نوعا أو أكثر يتطفل أغلبها على نباتات الفصيلة النجيلية، غير أن أهم أنواع هذا الجنس هو النوع *Claviceps purpurea* الذي يتطفل على نبات الشيلم Rye وعديد من الأعشاب البرية. وينتج عن هذه الإصابة نقص في محصول النبات ورداءة في الصنف. وعند جمع حبوب النباتات المصابة يلاحظ معها نسبة من الأجسام الحجرية التي يكونها الفطر، وتشكل هذه الأجسام خطورة بالغة، ذلك أنها تحتوي على نسبة من القلويدات Alkaloids تسمى Ergometrin، Ergotoxin. وعند تناول الماشية حبوبا تحتوي على نسبة من الأجسام الحجرية المحتوية على هذه المواد فإنها تحدث حالات إجهاض للأنثى الحامل نتيجة حالات التقلص الشديدة في عضلات الرحم التي تحدث بفعل تأثير هذه المواد ذات القلوية الشديدة. كما أن الإنسان لو تناول حبوبا محتوية على نسبة من هذه الأجسام الحجرية فإنه يصاب بحالات تسمم، تتمثل في ضعف عام للجسم وقيء وصداع، وقد يؤدى ذلك للوفاة.

رتبة: سورداريالس Order: Sordariales

الجنس *Neurospora*

يعتبر هذا الجنس من أجناس الفطريات الهامة من الناحية العلمية، ذلك أن أنواعه تستخدم على نطاق واسع من قبل علماء وراثة الأحياء الدقيقة لإجراء الأبحاث

الخاصة بهذا النوع الهام من أفرع علم الوراثة. ويمثل الفطر *Neurospora* في علم الميكروبيولوجي مكانة حشرة الدروسوفيلا في علم الحشرات حيث يتميز بالآتي :

١ - احتياجاته الغذائية بسيطة جدا.

٢ - يمكن إحداث الطفرات الوراثية فيه بسهولة فائقة بتعريض الكونيديا للأشعة.

٣ - يتميز بسرعته الفائقة في النمو وتكوين الجراثيم الجنسية ، إذ يبدأ هذا الفطر في تكوين جراثيمه الجنسية بعد ٢٤ساعة من بدء نمو الميسيليوم.

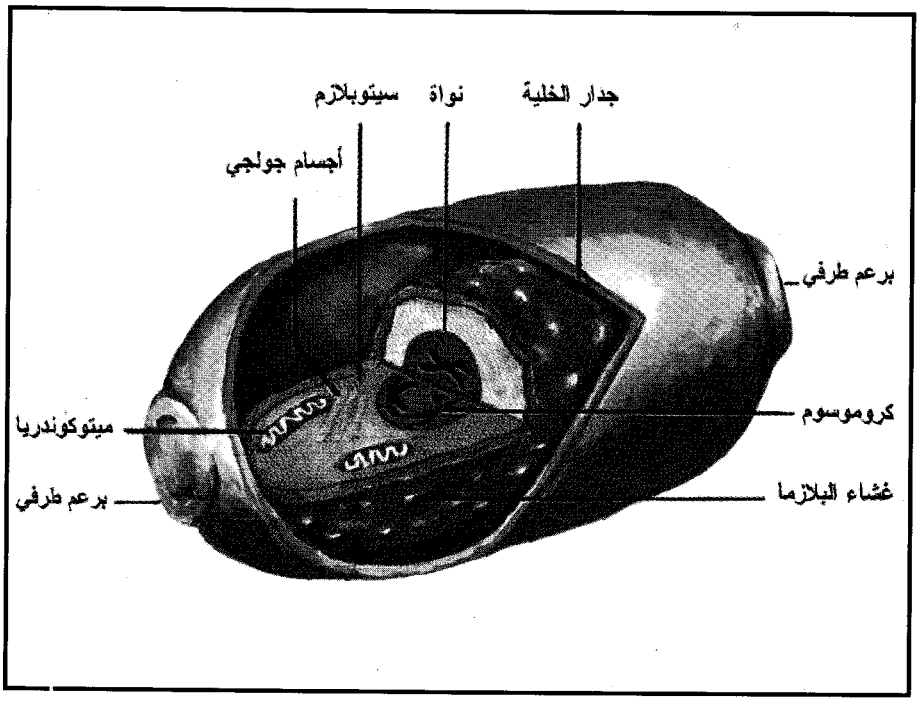
ومن أشهر أنواعه *Neurospora sitophila*، ويطلق عليه عفن الخبز الأحمر Red bread mold ، لأنه ينمو بسرعة على منتجات الخبز ، ويسبب أحيانا أضرارا جسيمة في المخابز بسبب سرعة انتشاره ، خاصة تحت ظروف الرطوبة المرتفعة.

الخمائر Yeasts

تتبع الخمائر رتبة Saccharomycetales التابعة لطائفة Saccharomycetaceae.

وتعتبر أحد أهم أفراد طوائف الفطريات الأسكية ، ومن الناحية الاقتصادية يعرف منها ما يزيد على ٣٠ نوعا.

والخمائر واسعة الانتشار وتوجد في كل مكان في الطبيعة ، كأسطح ثمار الفواكه والعصير الذي يفرز من الأشجار ، ورحيق الأزهار ، كما توجد في التربة الزراعية ، وبالذات في مزارع العنب ، وفي القنوات الهضمية لعديد من الحشرات. كما أنها تعيش في الأوساط الحمضية المحتوية على السكر ، وشائعة في منتجات الألبان بأنواعها وبصفة عامة تعرف الخميرة بأنها تلك الفطريات التي فقدت القدرة على تكوين الغزل الفطري Mycelium ، وأصبحت خلايا أحادية منفصلة ومنفردة بذاتها (الشكل رقم ٣٧). وتتجلى أهميتها الاقتصادية في استخدامها في المجال الصناعي ، والتي من أهمها صناعة خميرة الخباز وعمليات التخمر المختلفة في القطاع الصناعي.



الشكل رقم (٣٧). التركيب الداخلي لخلية الخميرة.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

ومن أهم أنواع الخميرة النوع *Saccharomyces cerevisiae* الذي يطلق عليها خميرة الخبز، وهي خميرة وحيدة الخلية يتراوح قطرها بين ٥ و١٠ µ ذات شكل بيضاوي وتتكاثر بالتبرعم، حيث تستطيع البراعم الناتجة أن تنتج بدورها براعم قبل انفصالها عن الخلية الأم، وبالتالي تتكون أحيانا سلاسل قصيرة من هذه الخلايا.

ويتم التبرعم بنشاط تحت الظروف الهوائية، في حين يبطئ أو يتوقف أحيانا تحت الظروف غير الهوائية. وهناك بعض الأنواع التي تتكاثر لاجنسيا بالانقسام البسيط وليس بالتبرعم، تسمى Fission yeasts.

وقد أمكن تحفيز النوع *S. cerevisiae* على تكوين جراثيم أسكية جنسية، وذلك بتنميتها على بيئة خاصة (تتكون من آجار المولاس أو بيئة كاملة محتوية على ببتون + مستخلص خميرة + جلوكوز + فيتامينات + Casein hydrolysate). وبعد ذلك تنقل الخلايا إلي بيئة أخرى محفزة للتجرثم (أسيتات صوديوم + جلوكوز أو رافينوز) عند ٣٠°م. تحت هذه الظروف تكون خلايا الخميرة أكياسا أسكية في مدة تتراوح بين ١٢ و٢٤ ساعة. ويلاحظ أن الخلايا التي تنشأ منها الأكياس الأسكية تكون ثنائية الصبغة Diploid. وعند نقل خلية خميرة من هذه الأكياس الأسكية إلي بيئة مغذية فإنها تنمو معطية براعم أحادية Haploid تكون أصغر حجما من الخلية الأصلية.

وقد أجريت عديد من الدراسات على الخميرة أمكن من خلالها تطوير وإنتاج سلالات تستخدم في عديد من الأغراض الصناعية، وبالذات سلالات أكثر كفاءة في عمليات تخمير الخبز وعمليات التخمر الصناعي الأخرى.

وسيتم الحديث عن عملية تخمير الخبز في فصل آخر من هذا الكتاب.

استخدام الخمائر في إنتاج البروتين وحيد الخلية Single cell protein

يرمز لهذه العملية بالرمز S.C.P. ويتم ذلك باستخدام أنواع معينة من الخمائر مثل النوع *Candida tropicales* في إنتاج خلايا ذات نسبة عالية جدا من البروتين. ويتم تنمية هذا النوع من الخمائر على النفط الخام أو بعض مشتقاته بحيث تقوم الخمائر بفعل إنزيمات خاصة تفرزها بتكسير السلاسل الهيدروكربونية الطويلة المكونة للنفط واستخدامها فيما بعد كمصدر غذائي لها. ونتيجة لذلك تتكاثر خلايا الخميرة بسرعة هائلة، وتزيد نسبة البروتين داخل جسمها زيادة كبيرة. وبعد فترة قصيرة من النمو تصبح لدينا كتل هائلة من خلايا الخميرة تحتوي على نسبة بروتين عالية جدا. ويتم بعد ذلك غسل هذه الكتل الخلوية المتكونة وتنقيتها واستعمالها كأعلاف رخيصة الثمن للحيوانات. وهناك عديد من الأبحاث الجارية لتحسين خواص هذه الخمائر تمهيدا لاستخدامها كمصدر غذائي بروتيني للإنسان. ذلك أن التجارب الحالية أثبتت أنها لا تصلح للإنسان، لأنها قد تحتوي على مواد مسرطنة، كما أن الأحماض النووية المحتوية عليها ذات وزن جزيئي عال، لذا يصعب على الإنسان هضمها.

فطريات الكمأة Truffles

رتبة بيزيزاليس Order: Pezizales

هي مجموعة من الأجناس التابعة للفطريات الأسكية، ومن أجناسها تيرمنيا نيفيا *Tirmania nivea* ويعرف محليا بالزبيدي. وقد يصل وزن الواحدة إلي ١٠٠٠ جرام. وكذلك جنس *Terfezia boudieri* الذي يعرف بالكمأة السوداء أو الداكنة، ويعرف بالخلاسي. وقد يصل وزن الواحدة منها إلي ٣٠٠ جرام.

وهذه الفطريات صالحة للأكل، وذات أهمية اقتصادية كبيرة، فهي لذيذة الطعم، وتحتوي على نسب جيدة من البروتينات والسكريات. وقد عرفها كل من اليونانين والرومان وسكان شبة الجزيرة العربية، ومنطقة البحر الأبيض المتوسط، وشمال أفريقيا منذ القدم. وقد استعملها الأطباء المسلمون الأوائل كابن سينا وغيره كدواء، وذكروا بأن الماء المستخلص من ثمارها الزقية يجلو العين، ويعتقد بأنه يحتوي على مادة تفيد في شفاء أمراض العيون. ووصفوا الكمأة بأنها نبات ليست له جذور ولا أوراق ولا ساق، توجد في الأرض من غير أن تزرع، وتظهر بفعل أمطار الخريف الرعدية.

ولا يمكن تمييز فطريات الكمأة إلا عندما تكون ثمارها الزقية ناضجة، وذلك لأنها تنمو طبيعيا تحت سطح التربة على عمق يتراوح بين ١٠ و٦٠مم، ولكنها تتكشف في بعض الأحيان فوق السطح بفعل عوامل التعرية المختلفة.

وفطريات الكمأة تعيش مترممة، إلا أن بعضها يرى أن له دورا في تكوين الفطريات الجذرية Mycorrhiza مع بعض النباتات الحولية، خصوصا تلك المعروفة محليا "بالإرقة أو الرقروق" في معيشة تكافلية، ومما يعزز ذلك انتشار الكمأة في الطبيعة بالأماكن التي يوجد فيها هذا النبات. ولم تنجح حتى الآن المحاولات العديدة التي يجريها العلماء على إمكانية زراعة فطريات الكمأة وتنميتها للحصول على ثمارها الزقية على المنابت الصناعية في المختبر، ولكن النتائج الأولية التي حصل عليها عدد منهم في كل من الكويت والعراق وسوريا والسعودية وغيرها من الدول التي تكثر بها تلك

الفطريات، ذات أهمية بالغة وتبشر بالخير. فلقد تم مؤخرا استنبات الجراثيم الزقية لفطريات الكمأة في المختبر، ومن ثم الحصول على مستعمرات الغزل الفطري على المنابت الغذائية، ولكن لم يصل نموه إلي مرحلة الإثمار.

ونظرا لأن فطريات الكمأة تعتمد في تكوينها للثمار الزقية (الأجسام الثمرية) على ما تشكله من علاقة تكافلية مع أنواع من نبات الإرقة، فإن إمكانية الحصول على تلك الأجسام الثمرية عن طريق الزراعة المخبرية لا يتحقق بسهولة.

ولكن ما تزال الدراسات والمحاولات البحثية مستمرة من قبل العلماء، لإمكانية زراعة هذه الفطريات تحت ظروف المختبر للحصول على أجسامها الثمرية ذات النكهة المستحبة والطعم اللذيذ.

وفيما يلي بعض الاجتهادات والمحاولات المقترحة من بعض العلماء والتي قد تساعد عند تطبيقها بدقة على الحصول على الأجسام الثمرية للكمأة تحت ظروف بيئية محكمة، ومن هذه الاقتراحات ما يلي:

١ - الزراعة المخبرية للفطر في المرحلة الخضرية (الغزل الفطري).

٢ - زراعة بادرات أنواع نبات الأرقة في ظروف بيئية معقمة ومحكمة.

٣ - تلقيح جذور بادرات الإرقة بفطريات الكمأة.

٤ - زرع بادرات الإرقة بعد الوصول إلي مرحلة جذر الفطر التكافلية في الموقع الذي يتم إعداده، بحيث يمكن تزويده بالماء اللازم لنمو بادرات الرقروق، وبهذا يمكن الحصول على المرقد المناسب الذي ستنمو فيه الكمأة.

الفطريات الأسكية اللاجنسية Asexual Ascomycota

الفطريات الناقصة Deutromycetes

وهي مجموعة كبيرة من الفطريات تتألف من حوالي ١٥٠٠٠ نوع موزعة على ١٥٠٠ جنس. وفي تقسيم (Alexopolous, 1996)، صنفت أغلب الفطريات الناقصة ضمن شعبة الفطريات الأسكية، ووضعت في مجموعة أطلق عليها الفطريات الأسكية

اللاجنسية Asexual Ascomycetes، وهي مجموعة غير متجانسة من الفطريات ذات ميسيليوم مقسم، وتتشابه بعضها مع بعض فقط في أن الطور الجنسي الكامل Perfect stage غير معروف. فهي تتكاثر لاجنسيا فقط بواسطة الجراثيم الكونيدية، والتي تأخذ أشكالا مختلفة. كما أن بعض الفطريات الناقصة لا تكون جراثيم كونيدية ويطلق عليها فطريات عقيمة Mycelia sterilia.

ومع أن أغلب هذه المجموعة تعيش على اليابسة فإن هناك عددا لا بأس به يعيش في البيئات المائية (في البحار والمحيطات)، وأغلب هذه المجموعة تعيش معيشة رمية أو طفيليات ضعيفة، والقليل منها يتطفل على أنواع أخرى من الفطريات وعلى بعض الديدان الثعبانية (النيماتودا). وفي المقابل هناك عدد لا بأس به يشكل مسببات مرضية خطيرة على النبات والإنسان والحيوان، كما أن بعضها له أهمية اقتصادية نتيجة نشاطه البيوكيميائي، حيث تنتج بعض هذه الفطريات مواد كيميائية ومضادات حيوية ذات فوائد اقتصادية وطبية فائقة.

التركيب الخضري

باستثناء الأنواع التابعة لتحت طائفة Blastomycetidae (الخمائر الناقصة) فإن الميسيليوم في هذه الفطريات يكون مقسما بجدر عرضية مكونا خلايا عديدة الأنوية.

الطور الجرثومي

يكون الميسيليوم في الفطريات الناقصة جراثيم كونيدية في وقت قصير على البيئات الصناعية والطبيعية. فالكونيديات تتكون في نهايات حوامل كونيدية تتجه إلى أعلى من خلايا الميسيليوم، وهذه تتم بسرعة أكبر، مقارنة بتلك التي تنشأ من تكوينات أكثر تعقيدا مثل الوسائد الأسبورية Sporodochia (المفرد أسبورودوكيم Sporodochium) والضفيرة الكونيدية Synnema.

ويؤثر عدد من العوامل في تكون الجراثيم الكونيدية سلبا وإيجابا، ومن أهم هذه العوامل: درجة الحرارة، والتغذية، وطول موجة الضوء، ودرجة الحموضة. فكلما

كانت هذه العوامل في أفضل صورها دخل الفطر في طور التجرثم بسرعة، وأنتج عددا أكبر من الجراثيم.

شكل الجراثيم

باستثناء مجموعة واحدة، فإن جميع الفطريات الناقصة تتكاثر بواسطة نوع من الجراثيم يسمى الجراثيم الكونيدية Conidia (مفردها Conidium).

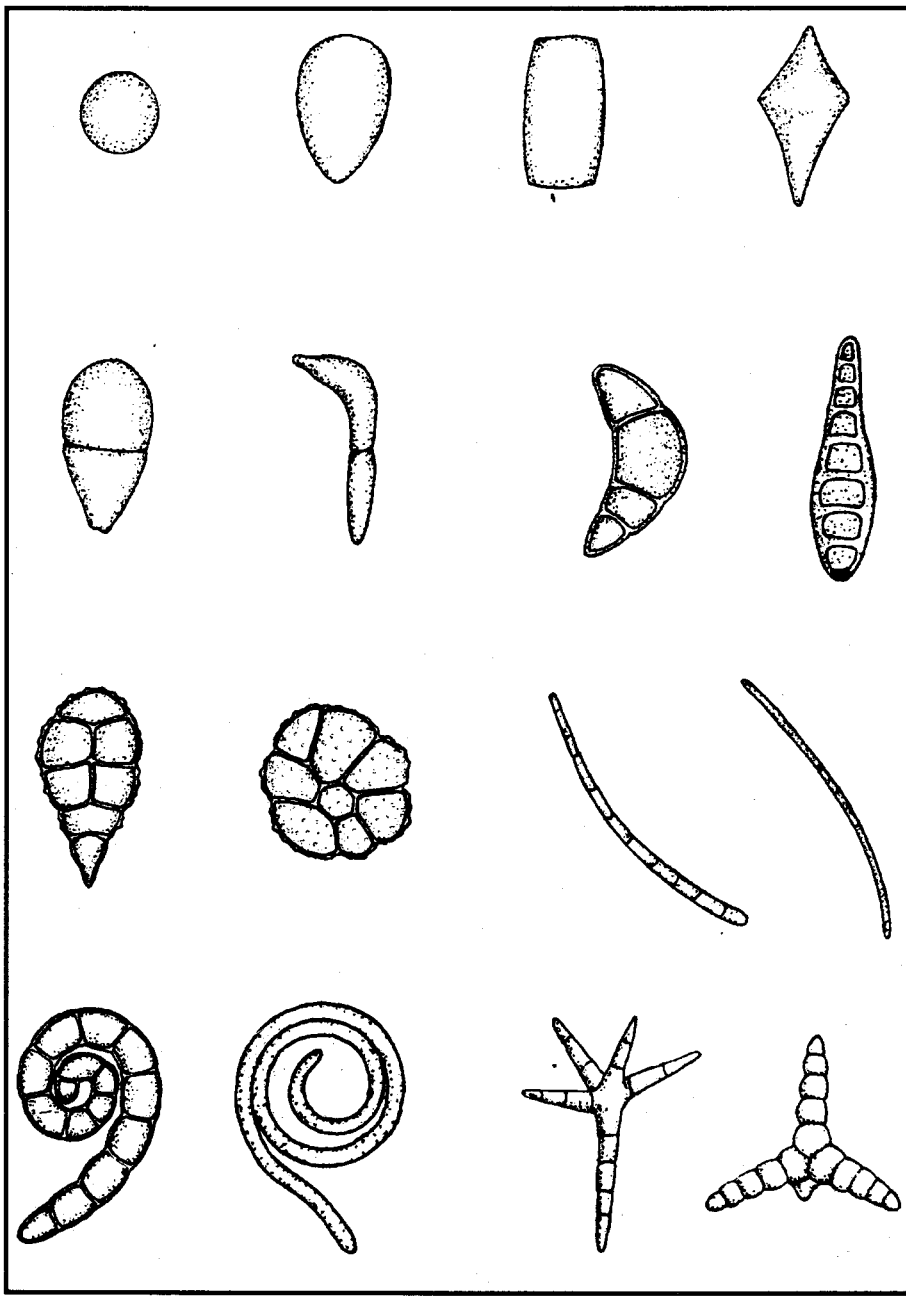
والجراثيم الكونيدية هي "جراثيم غير متحركة تتكون في نهاية أو على جانب خلايا تكاثرية مثل Sporogenous cell". وتتفاوت الجراثيم الكونيدية، التي تنتجها الفطريات الناقصة، تفاوتا كبيرا في أشكالها، فهي قد تكون بيضوية، أسطوانية، مستديرة، إبرية، نجمية... إلخ.

والجراثيم الكونيدية قد تكون أحادية الخلية أو عديدة الخلايا، تفصل بينها حواجز عرضية Septa، وقد تكون ملونة أو عديمة اللون، أحادية أو في مجموعات (الشكل رقم ٣٨). وفي بعض الأنواع قد تتجمع في قطرات من مادة مخاطية لزجة. ويطلق على الكونيدات التي تتكون في سلاسل مصطلح Catenulate، وتضاف الجراثيم الجديدة المتكونة إلى السلاسل إما بصورة منتظمة في نهاية السلسلة أو بصورة عشوائية. فإذا كان ترتيب الجراثيم في السلسلة بحيث تكون الكونيدات الحديثة في القمة والقديمة في القاعدة، فإنه يطلق على هذا الترتيب مصطلح Basipetal، أما إذا كان العكس أي الكونيدات الحديثة في القاعدة والقديمة في القمة، فإنه يطلق عليها اسم Acropetal.

ويطلق مصطلح Conidiogenous cell على تلك الخلايا من الخيوط الفطرية Hyphae التي تتكون منها مباشرة الجراثيم الكونيدية، وهذه الخلايا قد تكون متماثلة أو مختلفة في الشكل عن بقية خلايا الخيط الفطري.

أما مصطلح الحامل الكونيدي Conidiophore فإنه يستعمل أحيانا لكي يعطي نفس معنى مصطلح Conidiogenous cell ويعني عامة خيطا فطريا متفرعا ناشئا من خلايا ميسيليوم خضرية، ويحمل في نهايته الجراثيم الكونيدية.

٠٥٠٩٢٩٩٧٢٧



الشكل رقم (٣٨). أشكال الجراثيم الكونيدية.

ومن أشهر الأجناس التابعة لهذه الفطريات والتي تشكل أهمية اقتصادية كمسببات مرضية :

تعداد

١ – الجنس *Alternaria*

وتسبب أنواع هذا الجنس أمراضا تسمى أمراض التبقع الآلترناري على مدى واسع من العوائل النباتية. ويستطيع الفطر إحداث العدوى عن طريق اختراق الأوراق السليمة غير المجروحة اختراقا مباشرا، خاصة للبشرة السفلي. ويكون الفطر حوامل كونيدية تحمل جراثيم كونيدية على هيئة سلاسل مستقيمة أو متفرعة، وقد يصل عدد الجراثيم على السلسلة إلي ١٢ جرثومة، وتختلف الجراثيم في الشكل واللون وأغلبها كمثري الشكل ذات منقار قصير.

٢ – الجنس *Helminthosporium*

ويسبب أمراض التخطيط في الأوراق في العديد من المحاصيل وبالذات النجيلية.

٣ – الجنس *Fusarium*

ويسبب هذا الجنس أمراض الذبول الفيوزاريومي. وهو من الأمراض الشائعة والمنتشرة على عدد كبير جدا من العوائل النباتية، ويصيب منطقة الجذور، ويؤدي إلى تعفنها، وتلفها، وتلونها باللون الأسود، وتفقد الجذور القدرة على القيام بدورها في امتصاص المواد الغذائية. ويتميز هذا الجنس بشكل جراثيمه الكونيدية المميزة التي تأخذ الشكل الهلالي، وتتكون كل جرثومة من خلية أو اثنتين.

٤ – الجنس *Rhizoctonia*

يسبب هذا الجنس أمراضا لبادرات النباتات تسمى أمراض الخناق والتي تؤدي إلى موت البادرات Damping off أحيانا قبل انبثاقها، وأحيانا بعد انبثاقها، فوق سطح التربة بوقت قصير. ومن أعراضه الظاهرية تكون ندبة عند منطقة التقاء الساق بالجذر، وتحيط الندبة بمنطقة الساق حتى تصبح الساق غير قادرة على حمل البادرة، فتسقط الأخيرة وتموت.

شعبة: الفطريات البازيدية Phylum: Basidiomycota

تعد الفطريات البازيدية من أرقى المجموعات الفطرية وأكثرها تعقيدا، وتضم مجموعة متباينة من الفطريات التي تختلف في أشكالها وأحجامها. ويتراوح عدد أنواعها ما بين ٢٠٠٠٠ و٢٥٠٠٠ نوع موزعة في أكثر من ٥٥٠ جنسا.

وأغلب الفطريات البازيدية فطريات كبيرة الحجم، تعيش عادة متطفلة أو مترممة على التربة الغنية بالمواد العضوية، وعلى بقايا جذوع الأشجار، وكتل الأخشاب المتساقطة في أرضية الغابات، وتشاهد هذه الفطريات غالبا في الربيع والخريف في الحقول المفتوحة والغابات، وتعرف بأسماء شائعة منها فطريات عيش الغراب Mushrooms التي تؤكل، وعيش الغراب السام Toadstools، والكرات النافخة Puff balls، والقرون العفنة Stink horns، وفطريات الأرفف Shelf fungi، والفطريات الجيلاتينية Jelly fungi، والنجوم الأرضية Earth stars، وفطريات أعشاش الطير Bird's Nest fungi، وغيرها.

بالإضافة إلي ما سبق، فإن الفطريات البازيدية تضم فطريات مجهرية معروفة وهى فطريات الصدأ Rust fungi وفطريات التفحم Smut fungi التي تتطفل داخل أنسجة النباتات الزهرية وتسبب خسائر فادحة لمحاصيل الحبوب بالذات. وتشترك الفطريات البازيدية مع الفطريات الأسكية في أن غزلها الفطري يتكون من خيوط فطرية غزيرة النمو متفرعة ومقسمه بحواجز عرضية مثقبة، ولكنها تختلف عنها بتكاثرها الجنسي عن طريق تكوين جراثيمها البازيدية Basidiospores التي تختلف جوهريا عن الجراثيم الأسكية بأنها تتولد خارج تركيب خاص صولجاني الشكل يعرف بالبازيديم أو الدعامة Basidium، وهو يقابل الزق في الفطريات الزقية، وهو إما أن يكون مقسما أو غير مقسم.

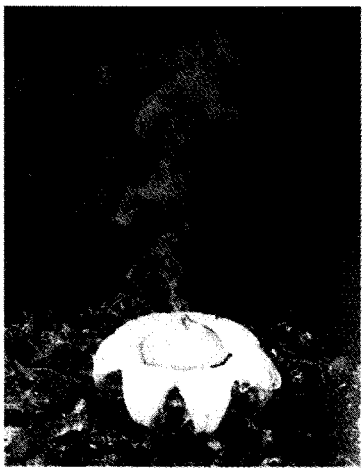
أما التكاثر اللاجنسي في الفطريات البازيدية الذي يتم عن طريق تكوين الجراثيم الكونيدية، فهو أقل انتشارا من الفطريات الزقية.

وعموما تقسم الفطريات البازيدية إلى أربع عشرة رتبة استنادا إلى عدد من الصفات منها :

- شكل وتركيب الحوامل البازيدية.
- دراسات المجهر الإلكتروني وتركيب الحمض النووي الموجود في الريبوسومات rDNA.

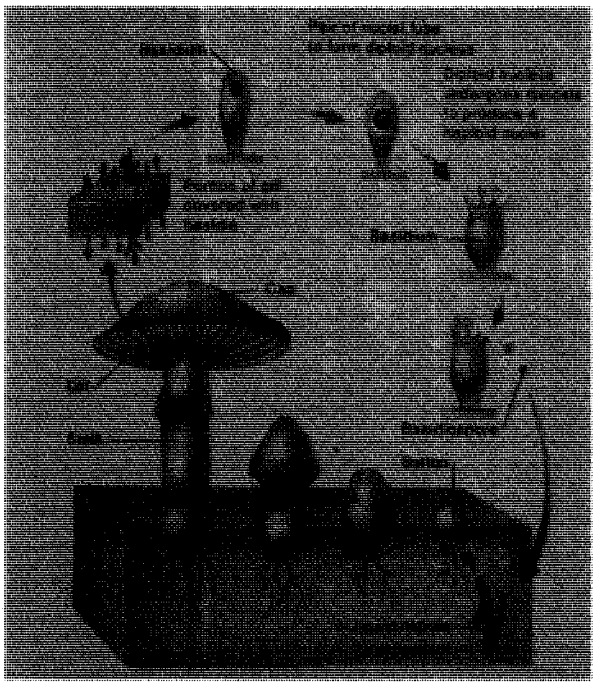
مراحل تكوين البازيدة

عند إنبات الجراثيم البازيدية كل على حده ، فإنه تنشأ عند إنباتها خيوط فطرية ابتدائية ذات خلايا أحادية النواة Monocaryon ، غير أنه لا تلبث أن تتقابل الهيفات الناشئة عن إنبات جرثومتين بازيدتين مختلفتين فسيولوجيا فتندمجان ، ويحدث التحام نووي عن طريق ما يسمى بالوصلات المقبضية (الروابط الكلابية) Clamp connection (الشكل رقم ٤٠) ، وينتج عن ذلك تكوين خيوط فطرية ثانوية ذات خلايا ثنائية النواة Dicaryons. وينشأ الحامل البازيدى Basidium من خلية طرفية في خيط فطري ثنائي النواة ، تنفصل عن بقية الخيط الفطري بحاجز عرضي يتكون عليه عادة رابط كلابي Clamp connection. ويحتوي كل بازيديم على نواتين أحاديتي المجموعة الصبغية Haploid تتحدان مع بعضهما فتنتج نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية Diploid. تنقسم هذه النواة اختزاليا Meiosis وتكون أربع أنوية كل منها أحادية المجموعة الصبغية ، عادة ما تكون أربع جراثيم وأحيانا اثنتين ، وتحتوي كل جرثومة على نواة أحادية المجموعة الصبغية Haploid. ثم يبدأ عند الطرف العلوي للبازيديم ظهور الزوائد Sterigmata (وهناك افتراض بأن هذه الزوائد تبرز من مناطق مرنة في جدار البازيديم العلوي) وتتكون جرثومة بازيدية على كل زائدة ، وعادة ما يكون لدينا أربع جراثيم بازيدية على كل بازيديم ونادرا ما تكون اثنتان ، وتحتوي كل جرثومة على نواة أحادية المجموعة الصبغية. ويعتقد بأن السيتوبلازم يندفع إلي داخل الخلايا الجرثومية ويزداد حجم الفجوة المتكونة في وسط البازيديم حيث يلاحظ عندما تنضج البازيديم أن الجراثيم البازيدية تكون مليئة بالسيتوبلازم ، بينما البازيديم فيه فجوة كبيرة فقط.



الشكل رقم (٣٩). مئات الملايين من الجراثيم البازيدية يطلقها فطر من نوع الكرات المنتفخـــة Puffball على شكل سحابة من الجراثيم.

(عن: McKane and Kandel, 1996)



الشكل رقم (٤٠). مراحل تكوين الجراثيم الجنسية (البازيدية) في فطر عيش الغراب.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

وتقسم طائفة الفطريات البازيدية إلي ثلاث تحت طوائف Sub-classes استنادا إلى الصفات التالية :

١ - شكل وتركيب الحوامل البازيدية (مقسم أو غير مقسم).

٢ - عدد الجراثيم البازيدية التي يحملها كل بازيديم.

٣ - طريقة إنبات الجراثيم البازيدية.

وهذه الأقسام هي :

١ - الفطريات البازيدية الكاملة المتماثلة Sub-class: Holobasidiomycetidae.

٢ - الفطريات البازيدية المقسمة المتباينة Sub-class: Phramobasidiomycetidae.

٣ - الفطريات التليوميستية Sub-class: Teliomycetidae.

وسوف نختار بعض الأمثلة التالية لهذه المجموعة والتي تتميز بأهمية اقتصادية وزراعية كبيرة، ونتحدث عنها بنوع من التفصيل.

رتبة الأجاريكات Order: Agaricales

ويطلق عليها أحيانا الفطريات الخشومية Gill fungi، وتضم الفطريات المعروفة باسم عيش الغراب، ومنها ما يؤكل كمادة غذائية مرغوبة Mushrooms، وهناك أنواع سامة Toadstools يصعب التمييز بينها من الناحية الشكلية. وتضم هذه الرتبة حوالي ٧٠٠٠ نوع تنضوي تحت ٢٠٠ جنس، تعيش معظمها مترممات في التربة الغنية بالمادة الدبالية وفي الحدائق والمروج الخضراء. وبعضها يدخل في علاقة خاصة مع جذور بعض أشجار الغابات وتعرف باسم الفطريات الجذرية (ميكوريزا) Mycorrhizae.

جنس أجاريكس Genus: *Agaricus*

تعيش أنواع هذا الجنس مترممة في التربة الرطبة الغنية بالمواد الدبالية، وعلى كتل الأخشاب، وبقايا جذوع الأشجار المتساقطة في أرضية الغابات. وتشاهد أنواعه بكثرة في الحقول العامة والغابات والمروج الخضراء، وذلك خلال فصلي الربيع والخريف، خاصة في المناطق المعتدلة الشمالية.

ويضم هذا الجنس عددا من الأنواع الصالحة للأكل مثل النوع : *Agaricus bisporus, A. campestris* الذي تستغل ثماره البازيدية كغذاء للإنسان ، فهو يزرع على نطاق تجارى واسع في مختلف مناطق العالم كأوروبا وأمريكا واليابان حيث يباع طريا أو مجففا أو محفوظا. وبإمكان هواة زراعة فطريات عيش الغراب أن يحصلوا على الكتل التنموية لتلك الفطريات من الشركات المتخصصة لزراعتها. ويطلق على الكتل التنموية السباون Spawn ، وهي حبوب بعض النجيليات التي تحتوي على كتل ميسيليوم عيش الغراب. وعند زراعة السباون في الوسط الغذائي أو الكومبوست Compost المعد لزراعة هذه الفطريات ، فإن ميسيليوم الفطر يبدأ في النمو وإنتاج ثماره البازيدية الصالحة للأكل ، ويجب أن يكون الوسط الغذائي المستعمل في ظروف مناسبة للنمو من حيث الحرارة والرطوبة والضوء.

أعفان جذور الأشجار المتسببة عن فطريات عيش الغراب

Mushroom root rots of trees

تسبب أعفان الجذور الناتجة عن فطريات عيش الغراب والمنتشرة بدرجة واسعة في جميع بقاع العالم خسائر كبيرة لكل من الثمار وأشجار الغابات ، وكذلك أشجار الزينة. وعفن الجذور المتسبب عن فطريات عيش الغراب والذي يحدث في التربة الثقيلة نسبيا الموجودة في المناطق الباردة يسببه الفطر *Armillariella mellea*. بينما العفن الذي يحدث في المناطق الممطرة الموجودة في المناطق الحارة والاستوائية يسببه الفطر *Clitocybe tobescens*.

ويعطى كل من الفطرين السابقين نفس الأعراض المرضية وإن كانت الصفات التشخيصية للمسبب تختلف في كل منها.

وأول أدلة على وجود المرض هو حدوث تدهور بطئ في النمو يصحبه اصفرار في المجموع الخضري ويبدأ المرض في الجذور حيث تحاط الجذور الطرفية بالفطر. وأحيانا تتحدد منطقة الإصابة في مثل هذه النباتات كالموالح والكريز بما ينتج حولها من تقرحات

وصموغ تتكون بالقرب من التاج كالمعتاد، والمنطقة الميتة تكون محددة في منطقة الجذر، ولكن في بعض الأحيان قد تتكون المنطقة الميتة في قاعدة الساق.

وتحدث العدوى عندما يحدث التلامس بين ميسيليوم الفطر والجذور الحديثة للنبات القابل للإصابة، وفي أثناء مرحلة الاختراق فإن تفرعات الميسيليوم تنمو على سطح الجذور المصابة وتلتصق عليها بواسطة إفراز بعض المواد الجيلاتينية. وبمجرد أن يصاب النبات، فإن الفطر يستمر في تشعبه خلال الأنسجة، حتى بعد موت النبات، لذا فالفطر يستطيع أن يعيش لفترة طويلة في الجذور المتحللة للنباتات المصابة.

وفي بعض الأحيان وجد الفطر على ارتفاع يتراوح بين ١٠ إلي ٢٠ قدما فوق سطح الأرض في الأشجار التي ظلت موجودة في مكانها بعد موتها بفترة تتراوح بين سنتين وأربع سنوات. وقد لوحظ أن مرض عفن الجذور يظهر سريعا في التربة الرطبة الدافئة.

رتبة الأستيلاجينات (التفحمات) Order: Ustilaginales

تعتبر أمراض التفحم التي تسببها الفطريات البازيدية التابعة لرتبة Ustilaginales أحد أهم وأخطر أمراض الحبوب، وتأتي في المرتبة الثانية بعد أمراض الأصداء. وتهاجم هذه الفطريات في الغالب بويضات الأجزاء الزهرية للحبوب وتنمو بداخلها بحيث تحل محل المادة الوراثية، وعند اكتمال نمو الحبوب تصبح الحبوب مجرد غلاف يحيط بكتل من الجراثيم السوداء للفطر الذي تسببه هيفات التفحم، ونتيجة لذلك تسبب خسائر فادحة للمحصول كنتيجة لنقص كمية الحبوب المتكونة، وانخفاض نوعية الحبوب السليمة التي تكون ملوثة بكتل الجراثيم السوداء على سطحها.

وتهاجم بعض سلالات الفطر أجزاء النبات الخضرية في الأوراق والسيقان مسببة أعراضا موضعية، بينما يصيب بعضها البذور والبادرات قبل انبثاقها على سطح التربة وتنمو وتتطور بداخلها حتى تصل إلي مرحلة الإزهار.

ونادرا ما تؤدي أمراض التفحم إلي موت النبات المصاب، ولكنها في بعض الحالات تؤدى إلي اصفرار وتقزم Stunting النبات.

وقد أصبح من الممكن في الوقت الراهن تنمية فطريات التفحم على بيئات صناعية في المعمل، غير أنها في الطبيعة لا توجد إلا متطفلة على نباتات العائل.

وتكون أغلب فطريات التفحم نوعين من الجراثيم هي:

١ - الجراثيم التيليتية Teliospores

٢ - الجراثيم البازيدية Basidiospores

حيث تتكون الجراثيم التيليتية من خلال الميسيليوم، بينما تتكون الجراثيم البازيدية إما بالتبرعم طرفيا على قمم خلايا البازيدة، أو تتكون في كتل على أطراف البازيدات غير المقسمة.

وعندما تنمو الجراثيم البازيدية فإنها تسلك أحد طريقين:

١ - تتحد مع جرثومة بازيدية أخرى موافقة لها Compatible، وهى لا تزال ملتصقة بالبازيدة، ثم تبدأ الإصابة.

٢ - أو أنها تكون أنابيب جرثومية Germ tubes يحدث بها الإصابة مباشرة.

غير أنه لوحظ أن الميسيليوم الأحادي الصبغة Haploid غير قادر على إحداث الإصابة المعتادة للفطر إلا إذا اتحد مع ميسيليوم آخر متوافق معه وراثيا Compatible لتكوين ميسيليوم ثنائي Dicariotic والذي يقوم بدوره بإحداث الإصابة داخل النبات وتكوين الجراثيم التيليتية.

رتبة اليوريديات (الأصداء) Order: Uredinales

وتعرف برتبة الأصداء Rust وتضم ٤٠٠٠ نوع تنضوي تحت ١٣٠ جنسا جميعها إجبارية التطفل (ولو أنه أمكن أخيرا إنبات بعض أنواعها على بيئات صناعية).

تعتبر أمراض الأصداء Rust diseases والتي تسببها فطريات هذه الرتبة أحد أكثر الأمراض النباتية تدميرا وضررا. فقد سببت على امتداد التاريخ القديم مجاعات ودمرت

اقتصاديات مجتمعات بأكملها. ومع أنها تصيب العديد من النباتات في مختلف العوائل النباتية فإن خطورتها تتجلى بوضوح في إصابتها لمحاصيل القمح والشوفان والشعير... إلخ. وبقية أفراد العائلة النجيلية لما لهذه المحاصيل من أهمية اقتصادية وغذائية خاصة لأغلب سكان العالم.

ويصيب هذا المرض بالدرجة الأولى أوراق وسيقان النباتات، ونادرا ما يصيب الأجزاء الزهرية والثمار.

وقد اكتسب هذا المرض اسمه من طبيعة الأعراض التي تظهر على النباتات المصابة، حيث تظهر الأعراض في صورة بقع (بثرات) عديدة منتشرة على الجزء المصاب تأخذ اللون البرتقالي والأصفر، وأحيانا اللون الأبيض. وتسبب هذه البثرات أحيانا تمزق طبقة البشرة وانتفاخها.

وتتميز فطريات الصدأ بعدد من المميزات التي تنفرد بها عن أغلب المسببات المرضية مثل:

١ - تطفلها إجباري Obligate parasitic (ولو أنه أمكن تنمية بعض الأنواع على بيئات خاصة داخل المعمل).

٢ - على درجة عالية جدا من التخصص، وتصل درجة تخصصها إلي سلالات معينة من النباتات داخل النوع الواحد.

٣ - قدرتها على تكوين السلالات الفسيولوجية Physiological races وهى مجموعة من السلالات الفطرية لهذا المرض تتشابه في شكلها المورفولوجي، وتختلف في سلوكها الفسيولوجي، وتنشأ بفعل طفرات Mutation وراثية ذاتية تحدث في الفطر. وتكون هذه السلالات قادرة على كسر حاجز مقاومة النبات وإحداث المرض.

٤ - أغلب أنواعه تكون خمسة أنواع من الجراثيم في تتابع منتظم كالآتي:

Spermatiospores, (تعرف سابقا بالجراثيم البكنية) Teliospores, Basidiospores, Aeciospores, Urediospores. ويطلق عليها Macrocyclic rusts أو الأصداء طويلة الدورة.

وتنتقل جراثيم هذا المرض أساسا بواسطة الرياح، ولو أن بعض الحشرات والأمطار والحيوانات تؤدي دورا في هذا المجال. وتنتقل الجراثيم لمسافات بعيدة بواسطة الرياح قد تصل إلي مئات الأميال.

وتنقسم هذه الرتبة إلي عدة فصائل استنادا إلي:

١ - شكل وتركيب الجرثومة التيليتية (أحادية أو عديدة الخلايا).

٢ - طريقة حمل الجرثومة التيليتية على حواملها سواء كانت معنقة أو غير معنقة.

ووفقا لهذه الأسس فإن الرتبة تنقسم إلي ثلاث فصائل:

- الفصيلة البكسينية Pucciniaceae
- الفصيلة الميلامبيسورية Melampsoraceae
- الفصيلة الكوليوسبورية Coleosporiacea

وتحتل الفصيلة الأولى Pucciniaceae أهمية اقتصادية كبيرة لاحتوائها على ثلاثة أجناس من المسببات المرضية المهمة:

أ) جنس Uromyces: ويضم أكثر من ٦٠٠ نوع أهمها صدأ الفول *Uromyces fabae*.

ب) جنس Puccinia: ويضم أكثر من ١٨٠٠ نوع أهمها صدأ النجيليات *Puccinia graminis*.

جـ) جنس Phragmedium: ويضم حوالي ٦٠ نوعا تتطفل على عائل واحد من النباتات الوردية كالورد والتوت.

ويعتبر النوع *Puccinia graminis* المسبب لمرض صدأ الحبوب من أهم الأمراض التي تصيب الحبوب وأخطرها على الإطلاق، وتضم عددا من تحت الأنواع Sub-species كل منها يصيب نوعا معينا من الفصيلة النجيلية. أهمها على الإطلاق ذلك الذي يصيب نباتات القمح *Puccinia graminis tritici*.

وقد لوحظ وجود درجة عالية من التخصص فهو يحتوي على عدد كبير من السلالات التي تختلف في درجة إصابتها.

ويسبب هذا الفطر مرض صدأ الساق Stem rust في القمح، حيث سجل وجوده وانتشاره في عدد من مناطق المملكة، ويعتبر من الأصداء طويلة الدورة Macrocycle rust. والذي يتطلب إكمال دورة حياته وجود عائلين نباتيين مختلفين هما:

١ - الفصيلة النجيلية (العائل الابتدائي).

٢ - نبات البار بري (العائل الثانوي).

ويعرف باسم الصدأ ذي العائلين Heteroecious، أي أن الفطر يمضي فترة من دورة حياته على نبات القمح، أو أي نبات نجيلي، ويمضى الفترة الباقية على عائل آخر وهو نبات الباربري *Berberis vulgaris*.

الفصل العاشر

Bacteria

البكتريا Bacteria

• الشكل الخارجي لخلية البكتريا • التركيب الدقيق للبكتريا • الجراثيم البكترية • الأسس المستخدمة في تعريف البكتريا وتقسيمها • تقسيم البكتريا • التغذية في البكتريا • النمو والتكاثر في البكتريا • الوراثة في البكتريا • استخدام العوامل الفيزيائية والكيميائية في مقاومة الأحياء الدقيقة • عمليات الأيض في البكتريا • الإنزيمات البكترية • الميكوبلازما والركتسيا

تعتبر البكتريا من أكثر الكائنات الحية الدقيقة انتشارا في الطبيعة، ويمكن القول أنها توجد في كل مكان على وجه الأرض تقريبا (باستثناء مناطق محددة تم الإشارة إليها في الباب الأول). فهي توجد في الارتفاعات التي قد تصل إلى ٤ أميال فوق سطح الأرض، والأعماق السحيقة، وتوجد في المناطق الباردة التي تصل إلى درجة التجمد في القطب الجنوبي، وفي قمم الجبال الثلجية، كما أنها توجد في الينابيع الساخنة التي تصل حرارتها إلى ٧٥°م. كما توجد على جسم الإنسان من الخارج وتوجد داخل المعدة والأمعاء. وتوجد على المواد الغذائية الطازجة من فواكه وخضراوات وألبان، ...إلخ. غير أن التربة الزراعية الخصبة تعتبر من أغنى البيئات المناسبة لنمو البكتريا ويصل عددها فيها إلى ١٠٠ مليون خلية/جرام، وبالذات في الطبقة السطحية. كما توجد البكتريا، وتنتقل، في الهواء والرياح، وتتفاوت أعداد البكتريا في الهواء تبعا

لدرجة الحرارة والرطوبة وذرات الغبار العالقة. ويلاحظ أن هواء البحار والمحيطات يحتوي على أعداد من البكتريا أقل بكثير من هواء المدن. كما أن هواء الأمكنة التي بها غبار يحتوي على أضعاف عدد البكتريا الموجودة في الهواء النظيف، لأن ذرات الغبار تعمل كحوامل تلتصق على سطحها خلايا البكتريا.

وهناك أنواع من البكتريا توجد في ظروف محددة وأماكن خاصة، يطلق عليها (أحياء البيئة الطبيعية) كتلك التي توجد في الألبان.

وبصفة عامه تؤدي البكتريا دورا كبيرا ومهما في حياة الإنسان كمسببات مرضية له ولمقومات حياته، مثل إصابة الحيوانات التي يتغذى عليها وكمفسدات للمواد الغذائية، إضافة إلى دورها الكبير في المجال الصناعي باستخدامها في إنتاج العديد من المركبات العضوية المستعملة في الصناعة. وتُستخدم في مجالات بيئية مثل تحليل المخلفات الملوثة للبيئة والتصنيع الغذائي، هذا إضافة إلى دورها في المجال الزراعي حيث تُثبت بعض أنواعها النيتروجين الجوي، وبالتالي تزيد خصوبة التربة. ومن المجالات الحديثة استخدامها في مجال المقاومة الحيوية للآفات الزراعية للقضاء على بعض الحشرات التي تصيب المحاصيل، وكذلك استخدامها كأدوات هامة في مجال الهندسة الوراثية لنقل الصفات الوراثية المرغوبة التي تمكن الإنسان من الحصول على مواد صناعية جديدة أو على نباتات وحيوانات ذات صفات مرغوبة في التغذية والإنتاج... إلخ. وهناك عديد من الاستخدامات التي لا حصر لها.

مما سبق يتضح لنا ذلك الدور الكبير الذي تلعبه البكتريا في حياتنا بالسلب والإيجاب لدرجة يمكن معها القول إن استمرار الحياة على وجه الكرة الأرضية بصفة عامه لا يمكن أن تستمر بدون وجود هذا النشاط الحيوي للبكتريا.

ومن الأسباب التي تجعل البكتريا من أكثر الأحياء الدقيقة انتشارا في الطبيعة ما يلي:

١ صغر حجمها المتناهي.

٢ سرعة تكاثرها حيث تستطيع الخلية الواحدة الانقسام في مدى عشرين دقيقة، وهكذا.

٣ - تنوع غذائها، حيث تستطيع الحصول على غذائها من مصادر غاية في التنوع والتباين، عضوية وغير عضوية، ومركبات غاية في التعقيد يصعب على أي كائن حي الاستفادة منها (الغازات الجوية، قرون وأظلاف الحيوانات، بعض الكحوليات، المضادات الحيوية، ... إلخ).

٤ - اتساع وتنوع مداها البيئي الذي تستطيع العيش فيه، فمنها الهوائي وغير الهوائي، ومنها ما يستطيع تحمل درجات حرارة مرتفعة جدا ومنخفضة تقل عن -٥٠°م، ومنها ما يتحمل درجات حموضة تعوق نمو أي كائن آخر قد تصل إلى pH أقل من ١.

ولهذه الأسباب المذكورة أعلاه، وغيرها كثير، فإنه كان من الطبيعي أن نفرد جزءا كبيرا من هذا الكتاب للحديث عن البكتريا بشيء من التفصيل يغطي مختلف جوانب تركيبها ونشاطها والدور الذي تلعبه في حياتنا.

الشكل الخارجي لخلية البكتريا Bacterial Morphology

حجم الخلية البكترية

نظرا لصغر الحجم المتناهي لخلايا البكتريا فإن الوحدة المستخدمة في قياسها تسمى الميكرون Micron ويرمز لها بالرمز µ ويساوي جزءا من ألف ٠,٠٠١ من المليمتر. وتقاس الأجسام الأصغر من خلايا البكتريا باستعمال وحده يطلق عليها اسم ملليميكرون ويرمز لها بالرمز mµ. وتساوي جزءا من الألف من الميكرون ٠,٠٠١ µ ويستعمل لقياس الفيروسات مثلا. وهناك وحدة أصغر من هذه تسمى الآنجستروم وتساوى جزءا من مائة ٠,٠١ من الملليميكرون ويرمز لها بالرمز A°.

وتتفاوت خلايا البكتريا تفاوتا كبيرا في حجمها وبالذات في طول الخلية، ويصل طول بعض الخلايا إلى حوالي ١٠٠ ضعف خلايا من أنواع بكترية أخرى، وذلك بعكس العرض والذي يكون التفاوت فيه محدودا جدا.

وبصفة عامة يبلغ قطر الخلايا الكروية بين ٠,٥ و١ ميكرون. ولو أن بعضها قد يزيد عن ذلك مثل خلايا النوع *Streptococcus* والتي يتراوح قطرها من ٧٥, و١,٢٥ µ. أما الخلايا العصوية فيتراوح طولها بين ٢ و٥ ميكرونات وعرضها من ٠,٥ و١ ميكرون. غير أن هناك نوعا من التطرف في هذه الأحجام نظرا لوجود أنواع من البكتريا يصل طولها إلى ١٠٠ ميكرون وقطرها يتراوح بين ١ و٢ ميكرون. وهناك أنواع أخرى تبلغ حدا من الصغر يجعل من الصعوبة مشاهدتها بالمجهر الضوئي ويصل طولها ٠,١-٠,٣ ميكرون.

ويمكن قياس أبعاد خلايا البكتريا بسهولة وبدقة بواسطة بعض القطع الخاصة التي يزود بها المجهر الضوئي مثل الشريحة الميكرومترية Stage micrometer والعدسة العينية الميكروميترية Ocular micrometer.

ولتقريب الإحساس بحجم خلية البكتريا، فإننا نذكر المثال التالي: فالبوصة المكعبة مثلا تستوعب داخلها ٩ تريليونات خلية بكترية من الحجم العادي، وبعملية حسابية نستنتج أن عدد تريليون خلية ١,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ تزن ١جم تقريبا. وبصفة عامة، في الغالب، عند فحص خلية البكتريا فإننا نكبرها ١٠٠٠ مرة بالعدسة الزيتية في المجهر الضوئي. ولو طبقنا هذا المعدل للتكبير على ذبابة منزلية واحدة، فإن حجمها سوف يصل إلى ٣٠ قدما.

وبحساب نسبة مساحة السطح الخارجي للخلية إلى حجمها فإننا نحصل على نسبة عالية جدا مقارنة بالكائنات الأكبر حجما. وهذا يعنى أن خلية البكتريا تملك مساحة سطحية خارجية هائلة جدا تمكنها من امتصاص كميات هائلة من مصادرها الغذائية، وبالتالي ينعكس على نشاطها الأيضي والتكاثري الهائل.

شكل الخلية البكترية المفردة

تأخذ خلايا البكتريا المفردة أحد الأشكال التالية:

١- خلايا شبه دائرية ويطلق عليها البكتريا الكروية Cocci ومفردها Coccus.

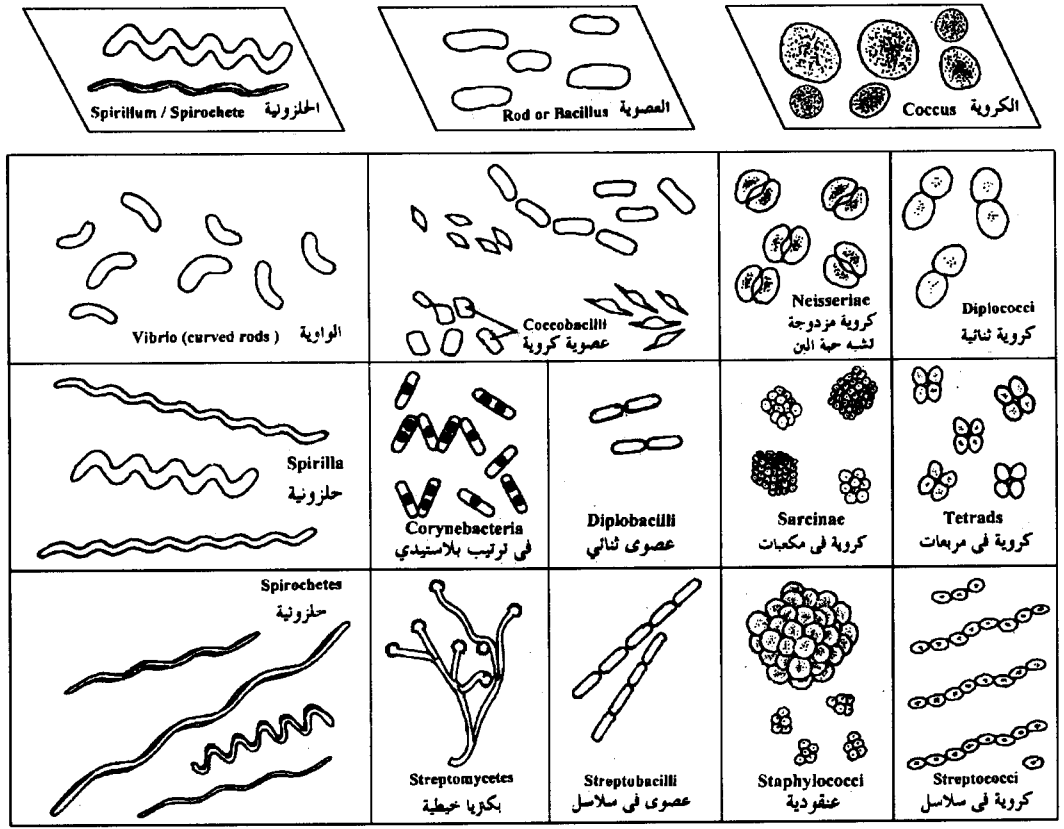
٢- خلايا عصوية مستقيمة ويطلق عليها البكتريا العصوية Bacilli ومفردها Bacillus، وهذه تتفاوت تفاوتا كبيرا في طولها وعرضها من جنس لآخر.

٣- خلايا عصوية منحنية، ويطلق عليها Curved rods، وهذه تختلف في درجة انحناء الخلايا. فعندما تكون درجة الانحناء بسيطة والخلية قصيرة يطلق عليها مصطلح Comma bacteria. وعندما تكون متعرجة بعدة انحناءات يطلق عليها Spirillum.

ونظرا لبعض الاختلافات الفردية في تركيب جدار الخلية، نتيجة تأثير العناصر الغذائية في البيئة أو عوامل وراثية، فإن بعض التغير في الأشكال المعتادة للخلايا قد تظهر في البيئة. ويطلق على هذه الظاهرة مصطلح Pleomorphism. فعلى سبيل المثال نجد النوع البكتري *Corynebacterium diphtheriae* ذا الشكل العصوي قد يأخذ أشكالا عديدة أخرى مثل الخيطي أو المنحني أو المندمج الأطراف نتيجة هذه الظاهرة.

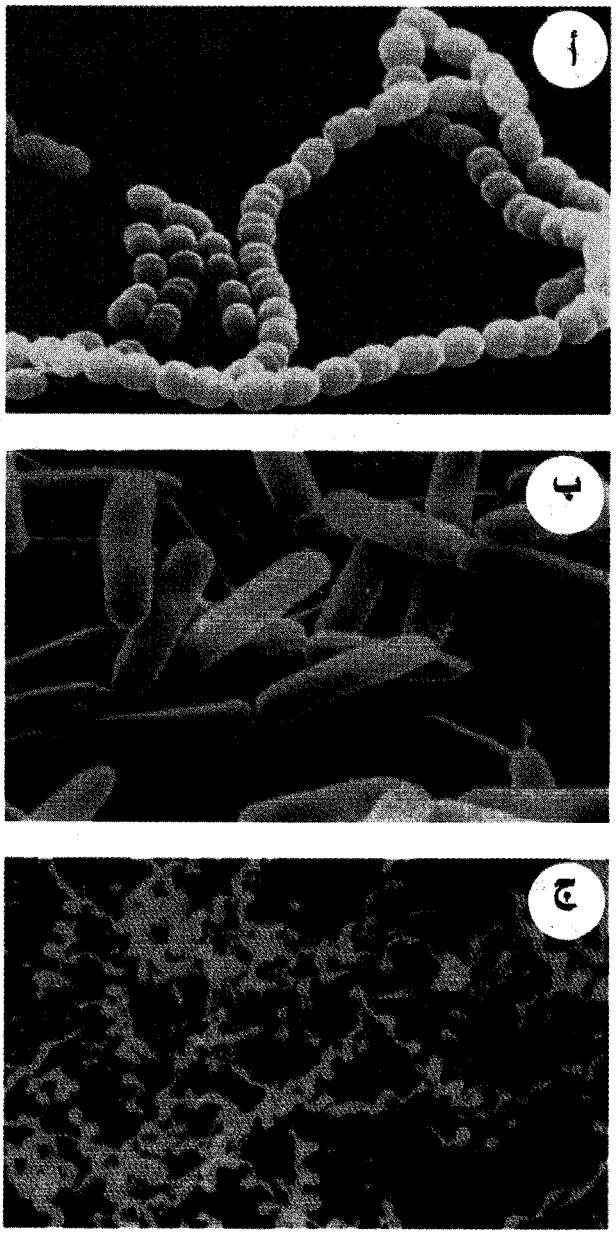
تجمعات خلايا البكتريا

تتكاثر البكتريا لاجنسيا أساسا بواسطة الانقسام البسيط في اتجاه موازٍ للمحور الأصغر من محوري الخلية. وعند اكتمال انقسام الخلية فإن الخليتين الناتجتين إما أن تنفصلا عن بعضهما وتمارس كل خلية نشاطها مستقلة، أو تظل الخلايا الناتجة عن الانقسام ملتصقة بعضها مع بعض مكونة مجموعات خلوية تختلف في شكلها وطريقة تركيبها تبعا لاتجاه الانقسام وعدد الانقسامات ونوع الخلية البكترية. وتشكل هذه التجمعات الناتجة عن الانقسام، ومن ثم التصاق نواتج هذا الانقسام، صفات مميزة يستفاد منها في عمليات دراسة وتعريف الأنواع البكترية المختلفة (الأشكال أرقام ٤١، ٤٢، ٤٣، ٤٤). ونظرا لأن الخلايا الكروية تستطيع أن تنقسم في كلا الاتجاهين لأن محوريها متقاربا الطول، فإن التجمعات الناتجة عنها تكون أكثر تنوعا مقارنة بالخلايا العصوية والمنحنية.



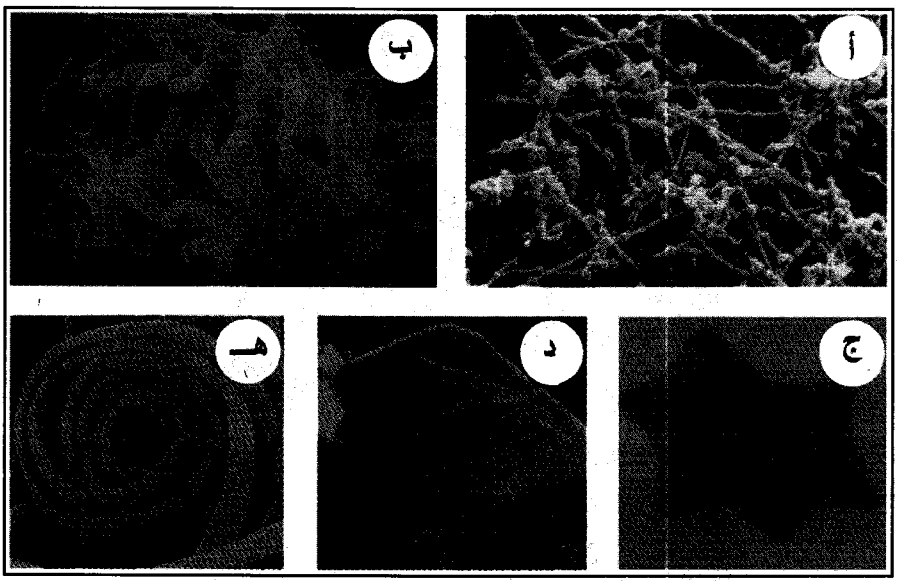
الشكل رقم (٤١). المجموعات البكترية المختلفة من حيث الشكل والتجمعات.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)



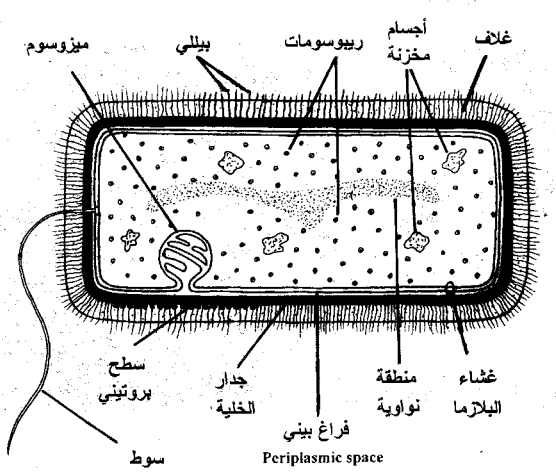
الشكل رقم (٤٢). صورة من المجهر الإلكتروني لمجموعات الأشكال الرئيسية الشائعة في عالم البكتريا:
أ) كروي سلسلي، ب) عصوي، جـ) منحن.

(عن: McKane and Kandel, 1996)



الشكل رقم (٤٣). بعض الأشكال غير الشائعة لخلايا البكتريا:
(أ) الميكوبلازمـا، (ب) مراحـل النمو الأولي للبكتريا الخيطية (الأكتينومايسيتات)،
(جـ) البكتريا *Stella* ذات شـكل يشـبه النجمـة، (د) البكتريـا المربعـة Arcula،
(هـ) تركيب معقد لبكتريا *Simonsiella muelleri*.

(عن: McKane and Kandel, 1996)



الشكل رقم (٤٤). أجزاء خلية بكترية عصوية.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

أ) الخلايا العصوية Bacilli

١ - عصوية ثنائية Diplobacilli

٢ - عصوية سلسلية Streptobacilli

ب) الخلايا الكروية Cocci

١ - كروية ثنائية Diplococcus

٢ - كروية سلسلية Streptococcus

٣ - كروية رباعية Tetracoccus

٤ - كروية مكعبة Sarcina

٥ - كروية عنقودية Staphylococcus

جـ) الخلايا المنحنية Curved rods

وهذه توجد في صورة منفردة دائما وليست لها تجمعات.

ويلاحظ أن الخلايا البكترية تبدي أحيانا تغيرا ملحوظا في أشكالها وتجمعاتها عندما تنمو تحت ظروف غير مناسبة. وقد تعددت النظريات حول مسببات هذه التشوهات غير الطبيعية، منها ما يعزوها إلى مهاجمة طفيليات بكتيرية، أو أن مجرد الظروف البيئية غير المناسبة تدفع البكتريا إلى النمو بهذه الصورة غير الطبيعية. وعلى أي حال فإن كلا التفسيرين قد يكون فيه شيء من الحقيقة لتفسير هذا النمو غير الطبيعي الذي يطلق علية Involution form.

التركيب الدقيق للبكتريا Fine Structure of Bacteria

الفحص المجهري لخلايا البكتريا بواسطة المجاهر الحديثة يوضح أن هناك مكونات داخل الجدار الخلوي للبكتريا وأخرى خارج هذا الجدار، كما يتضح أن بعض هذه المكونات تكون أساسية في جميع خلايا البكتريا (مثل الجدار الخلوي والسيتوبلازم) بينما توجد مكونات أخرى في أنواع بكتيرية محددة.

وسوف نحاول هنا أن نتتبع الأجزاء المختلفة لخلية بكتريا مثالية (تضم جميع المكونات) من الخارج إلى الداخل، ونتحدث بنوع من التفصيل عن هذه الأجزاء.

١ الأسواط البكترية Flagella

السوط البكتري هو ذلك التركيب المتناهي في الدقة والذي يشبه الشعر، والذي يخرج من التركيب الحبيبي الموجود في السيتوبلازم تحت الغشاء الخلوي مباشرة ويخترق جدار البكتريا إلى الخارج. وسوط البكتريا هو ذلك العضو المسئول عن الحركة Motility في الخلية البكترية. ويتكون السوط من ثلاثة أجزاء رئيسية (الجسم القاعدي Basal body - التركيب الخطافي Hook-like structure - الجزء الخيطي الطويل خارج الجدار الخلوي) ويبلغ طوله عدة أضعاف طول الخلية، بينما يبلغ سمكه ١٠-٢٠ نانومترا، ويتكون أساسا من وحدات بروتينية تختلف عن بروتين الخلية نفسها.

وتشكل الأسواط وسيلة الحركة في أغلب أنواع البكتريا العصوية والمنحنية، بينما يندر وجود هذا العضو في البكتريا الكروية. ويستعمل السوط في البكتريا كوسيلة من وسائل تقسيم الأنواع البكترية وتعريفها. من حيث عدد الأسواط Flagellates الموجودة وطريقة توزيعها على الخلية... إلخ. ويمكن تقسيم خلايا البكتريا تبعا لطريقة توزيع الأسواط على سطحها إلى المجموعات التالية:

أ) عديمة الأسواط Atrichous

ب) أحادية السوط القمي Monotrichous

جـ) عديدة الأسواط القمية Lophotrichous

د) محيطية الأسواط Peritrichous

هـ) ذات أسواط عديدة عند طرفي الخلية Kophotrichous

و) ذات سوط واحد عند كل طرف Amphitrichous

ونظرا لصغر حجمها المتناهي، فإنه يصعب مشاهدة الأسواط بوسائل الفحص المجهري العادية في المجهر الضوئي، لذلك تستعمل وسائل خاصة للمساعدة في مشاهدة الأسواط (سوف يتم التحدث عنها بالتفصيل في باب صبغ البكتريا).

وهناك اختبار بسيط يمكن بواسطته التأكد من أن البكتريا متحركة أم لا. ويتلخص في وضع كمية بسيطة من اللقاح البكتري (عدد من الخلايا) على سطح بيئة

شبه صلبة، وتحضينها على الدرجة الملائمة، وبعد عدة أيام يلاحظ النمو البكتري على سطح البيئة، فإذا كان النمو منتشرا على مساحة واسعة من سطح البيئة، وغير مقتصر على منطقة وجود اللقاح، فهذا يعني أن خلايا البكتريا تحركت على سطح البيئة وتكاثرت بعيدا عن منطقة اللقاح.

٢ - الزوائد الشعرية Pili

تحتوي العديد من أنواع البكتريا السالبة لصبغة جرام G.negative على زوائد شعرية تحيط بجسم الخلية تعرف باسم Pili وهذه الزوائد تختلف عن الأسواط حيث لا تؤدي أي دور في حركة الخلية. فهي توجد في كل الأنواع المتحركة وغير المتحركة. كما أنها أصغر وأقصر وأكثر انتشارا على سطح الخلية مقارنة بالأسواط. ولهذه الزوائد وظائف عديدة ومختلفة في خلايا البكتريا، فمنها ما يسمى Sex pili وتؤدي دورا في نقل المادة الوراثية من خلية لأخرى أثناء عمليات التزاوج البكتري. وهناك أنواع أخرى من هذه الزوائد الشعرية تؤدي دورا في تثبيت خلايا البكتريا على الأسطح المختلفة، وهذه مهمة لأنها تساعد بعض أنواع البكتريا على تثبيت نفسها على الأنسجة الحيوانية والنباتية والحصول على غذائها من هذه الأنسجة.

٣ - العلبة Capsule

يحاط الجدار الخلوي من الخارج لأغلب أنواع البكتريا بطبقة هلامية رقيقة يطلق عليها اسم الكبسولة (العلبة) Capsule، ويتأثر سمك هذه الطبقة بنوع البيئة الغذائية التي تنمو عليها البكتريا. ففي بعض الأحيان تكون هذه الطبقة رقيقة جدا لا تتجاوز جزءا من عرض الخلية، وفي أحيان أخرى يصل سمكها إلى ما يزيد عن عرض الخلية بأكملها. ورغم اختلاف الرأي حول منشأ هذه الطبقة، فإن الرأي الأكثر قبولا هو أن المادة المكونة لهذه الطبقة تفرزها خلية البكتريا، ونظرا لشدة لزوجتها فإنها تظل متماسكة في صورة طبقة تحيط بجدار الخلية. وقد لوحظ أن البكتريا ذات الكبسولة

Capsulated النامية في بيئة معينة تؤدي، لشدة لزوجتها، إلى زيادة لزوجة هذه البيئة كما هو الحال في الحليب.

ومع أن هذا الغلاف (الكبسولة) لا يعتبر جزءا حيويا من تركيب خلية البكتريا (إذ لا تموت البكتريا بفقده حيث يمكن إزالته بسهولة دون أن يؤدي إلى موت الخلية)، فإنه يلعب دورا هاما في نشاط بعض أنواع البكتريا (وبالذات المرضية منها). وفي بعض الأنواع تشكل الكبسولة (غلافا واقيا للخلية) إضافة إلى كونه مصدرا غذائيا إضافيا يمدها ببعض العناصر الغذائية التي تحتاجها (أما في الأنواع الممرضة) فإن الكبسولة تعتبر جزءا هاما جدا في زيادة القدرة على إحداث المرض للخلية، ويحميها من تأثير الأجسام المضادة للجسم، لدرجة أن بعض أنواع البكتريا المرضية تفقد قدرتها على إحداث المرض Virulent إذا فقدت الكبسولة. وقد تسبب بعض أنواع البكتريا المكونة للكبسولة مشاكل في بعض الصناعات الغذائية، حيث يؤدي على سبيل المثال، تكتل وتجمع أعداد من البكتريا المكبسلة في صورة كتل في انسداد الأنابيب وإعاقة سريان المحاليل في مصانع السكر والورق، وبالتالي يؤثر في استمرار العمل وكذلك رداءة المنتج النهائي.

ويتأثر تركيب الكبسولة لحد ما بالبيئة الغذائية التي نمت عليها الخلية، وبالنوع البكتري الذي يكونها. غير أنه وبصفة عامة وجد أنها تتكون من مواد جيلاتينية تعطي عند تحللها النهائي سكر الهكسوز والبنتوز، إضافة إلى وجود مادة تشبه مادة الميوسين Mucin الموجودة في المخاط Mucus. وفي بعض الحالات تم استخلاص حمض اليورونيك كمنتج نهائي لعمليات تحليل الكبسولة. وتحيط الكبسولة أحيانا بخلية واحدة، وأحيانا أخرى تحيط بعدد من الخلايا مكونة كتلا لزجة يطلق عليها اسم Zooglea. وهناك أنواع من البكتريا يطلق عليها اسم Stalk bacteria تنتج المواد المكونة للكبسولة بغزارة في أحد جانبي الخلية مقارنة بالجانب الآخر مما ينتج عنه خيوط جيلاتينية G.stalks تأخذ أشكالا متنوعة عندما تنقسم الخلية. وفي بعض الأحيان يلتصق أحد طرفي هذه الخيوط بالأجسام الصلبة التي توجد فيها الخلايا. وتوجد هذه الأنواع

من البكتريا في المياه العذبة وفي البيئات البحرية، حيث تشكل قدرة البكتريا على الالتصاق بالأجسام الصلبة (الأنابيب) أهمية كبيرة لنمو وبقاء البكتريا في هذه البيئة.

٤- الأغشية Sheaths

هناك بعض أنواع البكتريا، وبالذات تلك المتواجدة في المياه العذبة والبيئات البحرية، تحاط بأغلفة أنبوبية صلبة نوعا يطلق عليها Sheaths، وهذه الأغلفة تتكون من مركبات معدنية غير ذائبة مثل أكاسيد الحديد والمنغنيز تترسب حول الخلية كنواتج لعمليات التحول الأيضي Metabolism للخلية. وتستفيد خلية البكتريا من معادن الحديد والمنغنيز الذائبة في بيئتها المنتشرة فيها في تكوين هذه الأغلفة الصلبة، وقد يحاط هذا الغلاف بعدد من الخلايا وتبدو هذه الخلايا متراصة في صورة سلاسل طويلة. ولا يعتبر هذا الغلاف جزءا حيويا من تركيب الخلية. وتوجد أنواع البكتريا المكونة لهذا الغلاف بكثرة في بيئات المياه العذبة الغنية بالمادة العضوية، وفي جداول المياه الملوثة ومياه المجارى

٥- جدار الخلية Cell Wall

الجدار الخلوي هو ذلك التركيب الصلب الذي يحيط بالمكونات الحية للخلية، ويلي تركيب الكبسولة من الداخل. وقد أثبتت الدراسات المجهرية بوضوح وجود هذا التركيب والذي يتراوح سمكه بين ١٠ و٣٥ نانومترا ويشكل من ١٠-٤٠٪ من الوزن الجاف للخلية ويعطي هذا التركيب بصلابته الشكل الثابت للخلية، ويعتبر أساسيا في نمو وتكاثر الخلية، وباستثناء أنواع الميكوبلازما فإن جميع أنواع البكتريا تمتلك هذا التركيب الصلب. وقد كان يتم فصل جدار خلايا البكتريا في السابق باتباع وسائل معملية بدائية تؤدي إلى احتمال تلوث الجدر المفصولة ببقايا السيتوبلازم، وبالتالي يؤدى إلى عدم الدقة في نتائج التحليل الكيميائي لمكونات الجدار. غير أنه طورت فيما بعد وسائل حديثة تسمح بفصل الجدار، مع تلاشي عمليات التلوث والاختلاط

بسيتوبلازم الخلايا، وذلك بتعريض الخلية لموجات صوتية ذات تردد عال Ultrasonic تؤدي إلى تكسير الجدار، ومن ثم فصله بواسطة الطرد المركزي. كما أن المجهر الإلكتروني أظهر بوضوح لا يقبل الجدل وجود جدار البكتريا، وأمكن تمييزه بوضوح عن المكونات الداخلية الأخرى.

وإضافة إلى إعطاء القوام الصلب والثابت للخلية، فإن الجدار يؤدي دورا هاما في بقاء الخلية متماسكة ومنعها من الانفجار نتيجة عمليات الانتفاخ التي تحدث للخلية في المحاليل المائية. فنظرا لوجود البكتريا غالبا في محاليل مائية منخفضة التركيز فإنها تمتص كميات زائدة من الماء إلى داخلها، ولولا وجود هذا الجدار بتركيبه الصلب المرن لانفجرت الخلية نتيجة امتصاص كميات كبيرة من الماء ونتيجة لفهم التركيب الدقيق للجدار وطريقة عمله أمكن إحراز تقدم هائل في مجال صناعة الأدوية، وبالذات تلك التي تستعمل في القضاء على البكتريا المرضية مثل المضادات الحيوية. ويتركز عمل هذه الأدوية على تدمير مركب الPeptidoglycan الموجود في جدار البكتريا، وبالتالي تصبح الخلية عرضة للتحلل ولا تملك أي مقاومة. كما أن بعض المواد المطهرة في الكحوليات تقتل البكتريا عن طريق تدمير جدارها الحيوي ويتركز تأثير بعض الإنزيمات الموجودة في اللعاب والدموع على تدمير مركب Peptidoglycan كوسيلة لتدمير خلايا البكتريا وحماية الجسم منها، لأنه بتدمير هذا المركب (P.G) يفقد الجدار صفة الصلابة المرنة وتنفجر الخلية بسهولة.

وبدراسة التركيب الكيميائي للجدار وجد أن الصلابة المرنة التي يتميز بها ترجع إلى وجود متبلمرات يطلق عليها Peptidoglycan (P.G)، وهي جزيئات كبيرة تتكون من وحدات صغيرة متكررة من ثلاثة أنواع من المكونات هي:

- N-acetylglucosamine (AGA)
- N-acetylmuramic acid (AMA)
- ببتيدات مكونة من أربعة أو خمسة أحماض أمينية هي:

L-alanine, D-alanine, D-glutamic acid, Lysine or Diaminopimelic acid.

ويحتوي الجدار أيضا على بعض المركبات التي ترتبط مع جزيئات البيبتيدوجلايكان المذكور أعلاه مثل : Protein, Polysaccharides, Teichoic acid, Lipopolysaccharide, Lipoprotein.

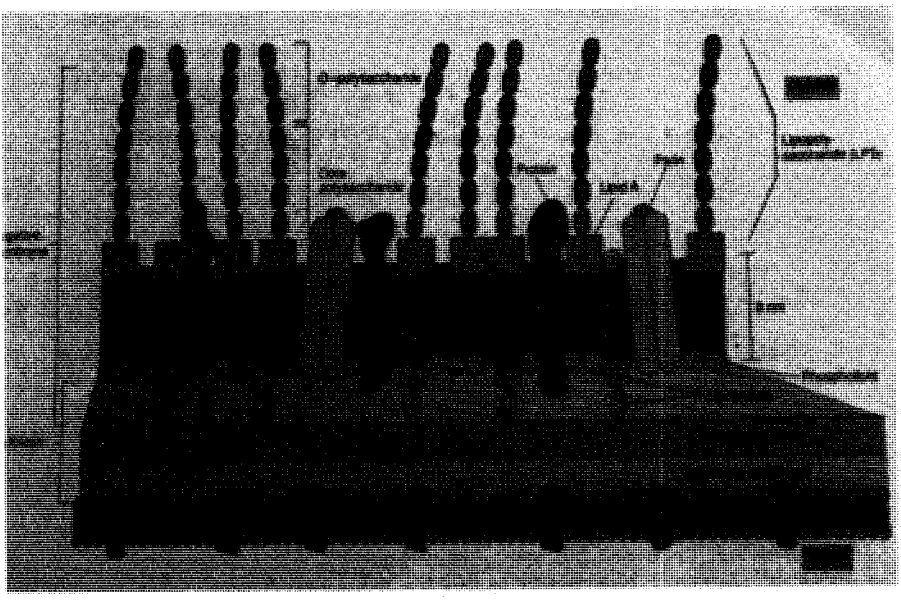
ويلاحظ أن بعض مكونات الجدار مثل البيتيدوجلايكان Peptidoglycan ، Diaminopimelic acid ، Teichoic acid تعتبر من السمات المميزة لجدر خلايا البروكاريوتك Procaryotic cells. كما يلاحظ أن هناك بعض الاختلافات في تركيب الجدار بين أنواع البكتريا المختلفة. وتتركز هذه الاختلافات في نوع الحموض الأمينية الموجودة وطريقة ارتباطها بعضها مع بعض، بينما تظل المكونات الأخرى ثابتة. وقد ثبت أن وجود هذه المتبلمرات (P.G) هو الذي يعطي للجدار الاختلافات في تركيب الجدار الخلوي. حيث أظهرت الدراسات وجود اختلافات جوهرية في تركيب الجدار بين البكتريا الموجبة والسالبة لصبغة جرام، وتعتبر هذه الاختلافات مهمة لفهم طريقة الاختلاف في سلوك هاتين المجموعتين تجاه المعاملات المختلفة مثل صبغة جرام، وتأثرها بالمضادات الحيوية، ... إلخ.

ومع أن سبب اختلاف استجابة أنواع البكتريا المختلفة لصبغة جرام مازال يحتاج إلى مزيد من الفهم، فإن الشيء الأكثر قبولا في الوقت الراهن هو أن هذا الاختلاف عائد إلى اختلاف تركيب جدر الخلايا البكترية. فمثلا يحتوي جدار البكتريا السالبة على نسبة عالية من الدهون Lipids (مركبات دهنية وشبه دهنية) مقارنة بجدر البكتريا الموجبة. كما أن جدر الخلايا السالبة لصبغة جرام أقل سمكا مقارنة بالموجبة (الشكلان رقما ٤٥ ، ٤٦).

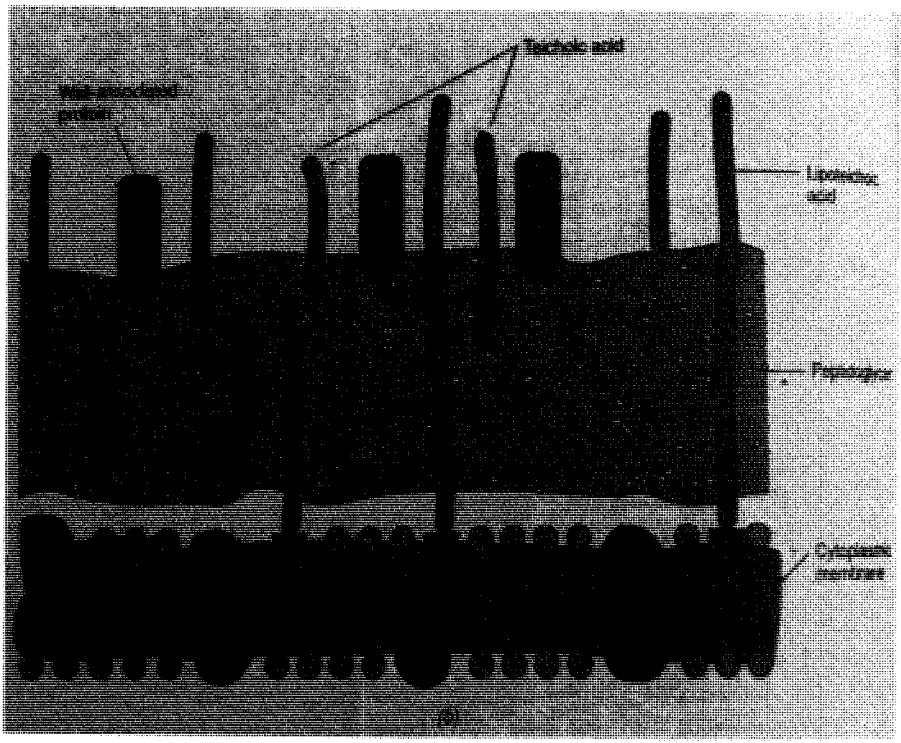
وقد أثبتت التجارب أنه أثناء عملية الصبغ، عند معاملة البكتريا السالبة بالكحول، يؤدى ذلك إلى استخلاص الدهون الموجودة في الجدار مما ينتج عنه زيادة مسامية الجدار، وبالتالي يسهل استخلاص صبغة الكريستال البنفسجي التي تم صبغ الجدار بها في بداية العملية الصبغية، وتحل محلها صبغة الصفرانين التي تضاف عقب استخلاص الصبغة الأولى بالكحول. أما بالنسبة للموجبة لصبغة جرام فإنه نظرا

لانخفاض محتوى جدارها من الدهون فإنه عند معاملتها بالكحول تستخلص كمية من المياه من الجدار الخلوي Dehydration وينتج من ذلك ضيق مسام الجدار وبالتالي تحبس صبغة الكريستال البنفسجي داخل الجدار، ويصعب استخلاصها.

وهناك تفسير آخر ينص على أن جدار البكتريا السالبة لصبغة جرام G^- bacteria يحتوي على كمية أقل من مركب Peptidoglycan وهذا يعني وجود عددا أقل من الروابط العرضية في الجدار مقارنة بالبكتريا الموجبة G^+. وكنتيجة لذلك فإن مسامات الجدار تظل كبيرة بما فيه الكفاية لاستخلاص صبغة الكريستال البنفسجي حتى بعد معاملتها بالكحول. أما في البكتريا الموجبة نظرا لزيادة كمية مركب Peptidoglycan والذي يعني بالضرورة زيادة الروابط العرضية في الجدار فإن المعاملة بالكحول تؤدي إلى تضييق هذه المسامات، وبالتالي عدم السماح لصبغة الكريستال البنفسجي بالخروج من الجدار (Madigons, *et al.*, 1997).



الشكل رقم (٤٥). تركيب جدار خلية بكتيرية موجبة لصبغة جرام.



الشكل رقم (٤٦). تركيب جدار خلية بكترية سالبة لصبغة جرام.

(عن : Madigons *et al.* 1997)

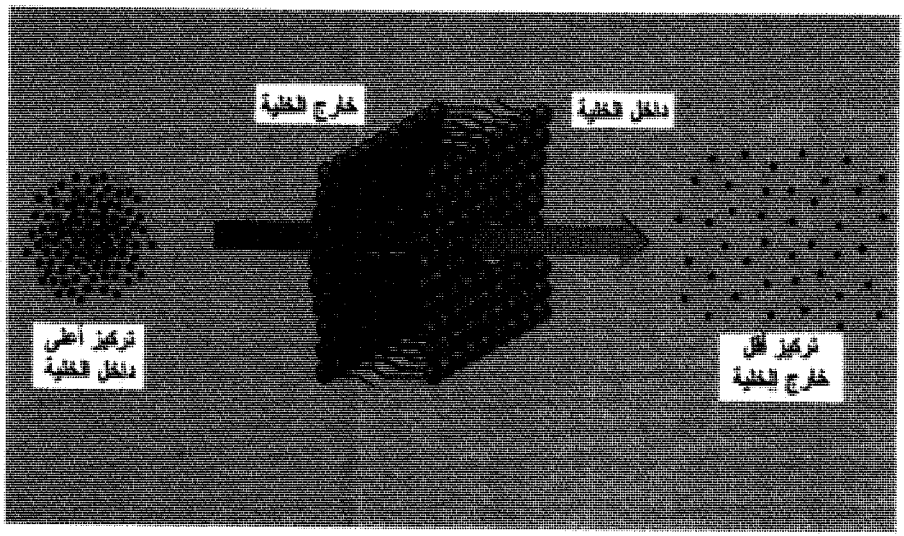
وبالرغم مما ذكر فإن الباب يظل مفتوحا لمزيد من الدراسات في هذا المجال لفهم طبيعة هذا الاختلاف. وإضافة إلى الاختلاف في الاستجابة للصبغات فإن هناك اختلافات فسيولوجية بين كل من البكتريا السالبة والموجبة لصبغة جرام. فمثلا تكون البكتريا السالبة لصبغة جرام أكثر حساسية للمضاد الحيوي ستربتومايسين، بينما تكون الموجبة أكثر حساسية للمضاد بنسيلين. وكذلك البكتريا الموجبة تكون أكثر تحملا ومقاومة لتأثير الضغط الميكانيكي وللإنزيمات مقارنة بالبكتريا السالبة (الجدول رقم ٣).

٦- الغشاء السيتوبلازمي Cytoplasmic Membrane

يقع هذا الغشاء مباشرة تحت الجدار الخلوي من الداخل مشكلا طبقة رقيقة جدا يصل سمكها إلى ٧,٥ نانومتر، وتطلق عليه عدة أسماء منها Plasma membrane, Protoplasmic membrane ويؤدي هذا الغشاء دورا مهما بالنسبة للخلية ويتحكم في خروج ودخول المواد الكيميائية الذائبة في السوائل إلى الخلية. بحيث يستطيع هذا الغشاء- بكفاءة عالية- السماح بدخول الكميات المناسبة من السوائل لاحتياج الخلية. ومن ثم خروج الكميات الفائضة عن الحاجة وفضلات الخلية. كما يوفر هذا الغشاء الميكانيكية البيوكيميائية لمرور الأيونات المعدنية، والسكريات، والأحماض الأيونية، وغيرها من نواتج عملية الأيض، خلال الغشاء. فبعض هذه الجزيئات تنتقل بحرية تامة خلال الغشاء، بينما البعض الآخر ينتقل بمساعدة جزيئات بروتينية حاملة ووجود هذه البروتينات أو غيابها في الغشاء البلازمي يحدد قدرة أي جزء على المرور خلال الغشاء في أي اتجاه كان. وفي خلايا البروكاريوتك فإن الجزيئات تنتقل خلال الغشاء بإحدى الصور التالية (الانتشار البسيط، والانتشار بالمساعدة، والانتقال الإيجابي).

الانتشار البسيط Simple diffusion (Osmosis)

وهذا النوع من الانتشار يقصد به حركة الجزيئات الذائبة في المحاليل من وإلى داخل الخلية خلال الغشاء السيتوبلازمي استنادا إلى درجة التركيز، حيث تنتقل الجزيئات من الوسط ذي التركيز الأعلى إلى الوسط ذي التركيز الأقل (الشكل رقم ٤٧). وهذه العملية غير متخصصة، أي أنها تسمح بمرور جميع الجزيئات التي يسمح حجمها بذلك تبعا لدرجة التركيز، فالخلية لا تستهلك أي طاقة لتسهيل عملية الانتقال هذه، حيث تتم عملية حركة الجزيئات إلى أن يحدث توازن بين الوسطين الخارجي والداخلي، وعندها تتوقف عملية الانتقال. فجزيئات الماء والأكسجين وثاني أكسيد الكربون والجزيئات الأخرى المتعادلة تنتقل خلال فتحات مؤقتة تنشأ في الغشاء نتيجة إعادة ترتيب مكونات الجدار لنفسها والتي تتم بصورة مستمرة. أما جزيئات الدهون الصغيرة فإنها لا تحتاج إلى فتحات كي تنتقل خلالها، وإنما تذوب في طبقات الدهون الموجودة في الغشاء وتنتقل خلالها.



الشكل رقم (٤٧). الانتشار البسيط Simple diffusion: تنتقل الجزيئات خلال الجدار من الوسط ذي التركيز الأعلى إلى الوسط ذي التركيز الأقل.

الانتشار بالمساعدة Facilitated diffusion

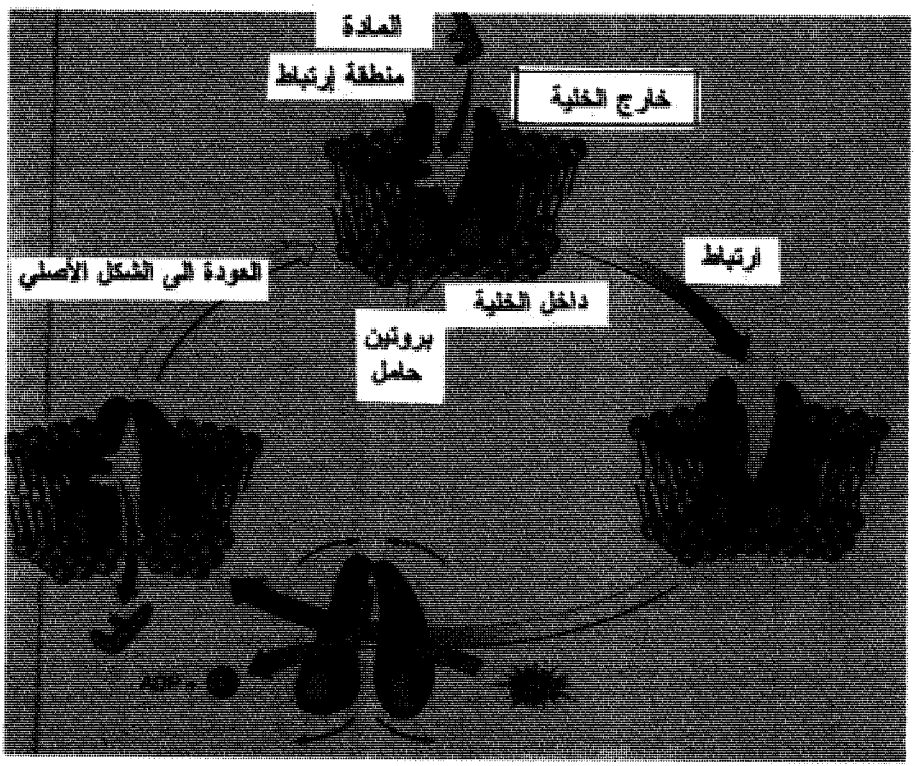
تفيد هذه العملية في نقل السكريات البسيطة والجزيئات الصغيرة، غير القابلة للذوبان في الدهون، والمرور خلال الغشاء البلازمي، حيث ترتبط هذه الجزيئات مع بروتينات مستقبلة متخصصة موجودة في الغشاء البلازمي، وترافق هذه المستقبلات الجزيئات خلال طبقة الغشاء وتطلقها في الاتجاه الآخر (الشكل رقم ٤٨)، وتزيد هذه الطريقة معدل الانتشار خلال الغشاء، ولا تتطلب هذه العملية أي طاقة من الخلية، لأنها تتم تبعا لظاهرة اختلاف التركيز من الأعلى إلى الأقل بعكس الحال في ظاهرة الانتشار النشيط (الإيجابي) (MaKane and Kandel, 1996)



الشكل رقم (٤٨). الانتشار بالمساعدة Facilitated diffusion: تنتشر الجزيئات خلال الجدار من الخارج إلى داخل الخلية بمساعدة البروتين الحامل الموجود في الجدار.

الانتشار النشيط (الإيجابي) Active diffusion

بعكس الانتشار البسيط، فإن هذه العملية، والتي تتم في الاتجاه المعاكس لتركيز السوائل، تحتاج إلى طاقة لإتمام حدوثها، وتتم هذه العملية في خلايا البروكاريوتك والإيوكاريوتك بنقل الجزيئات في الاتجاه المعاكس لتركيز السوائل (الشكل رقم ٤٩). ولكي تتم هذه العملية فإن الجزيئات يتحتم عليها الارتباط بجزيئات بروتينية حاملة متخصصة لهذا الغرض وموجودة في الغشاء البلازمي، وبتغير شكل هذه البروتينات فإنها تسمح تلقائيا بنقل هذه الجزيئات إلى الاتجاه الآخر للغشاء وتطلقها في الجهة المعاكسة. ويتطلب هذا التغيير المستمر في شكل الجزيئات البروتينية الحاملة طاقة كيميائية تطلقها من مخزونها من الـ ATP.



الشكل رقم (٤٩). الانتشار النشط Active diffusion: في اتجاه معاكس للتركيز الأعلى بمساعدة البروتينات الحاملة في الغشاء الخلوي، حيث تعرف هذه البروتينات على الجزيئات التي ترتبط بها وتمدها بالطاقة اللازمة لاندفاعها معاكسة للتركيز الأعلى.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

وبعكس العملية السابقة، فإن الانتقال الإيجابي هو عملية على درجة عالية من التخصص يسمح بمرور السوائل بصورة تفضيلية واختيارية، كما يسمح بتجمع محاليل ذات تركيزات عالية داخل الخلية مقارنة بما هو موجود في الوسط الخارجي. وتعتبر هذه العملية على درجة عالية من الأهمية، خاصة في الأوساط التي تتميز بانخفاض تركيز العناصر فيها مثل بيئات المحيطات، حيث تلجأ البكتريا إلى تجميع تركيزات عالية من هذه العناصر اللازمة لتغذيتها حتى تستطيع النمو بصورة طبيعية. وتمكنها هذه

الميكانيكية من نقل بعض الجزيئات السامة والمخلفات إلى خارج الخلية ضد تركيز المحلول، ولولا وجود هذه الظاهرة لأدى الأمر إلى موت الخلايا تحت هذه الظروف.

ميزوزوم Mesosome

يلاحظ أن الغشاء السيتوبلازمي ينثني إلى داخل السيتوبلازم مكونا عطفة يطلق عليها اسم ميزوزوم، وتكون هذه العطفة متصلة مع الغشاء السيتوبلازمي، وتوجد غالبا في المنطقة التي يبدأ عندها الغشاء بالانقسام قبل انقسام الخلية، وتكون متصلة بمنطقة النواة. ويعتقد أن الميزوزوم يؤدي دورا في تكوين الجدار الخلوي، وفي عملية انقسام المحتويات النووية للخلية.

٧- السيتوبلازم Cytoplasm

السيتوبلازم هو ذلك السائل اللزج القوام، الذي يشكل الجزء الأكبر من محتوى الخلية الداخلي، ويضم مختلف التراكيب الحيوية للخلية، ويحيط به الغشاء السيتوبلازمي، ويضم في الغالب ثلاث مناطق هي:

أ) المنطقة السيتوبلازمية Cytoplasmic Area

وتكون حبيبية القوام وغنية بجزيئات يطلق عليها اسم ريبوسومات Ribosome وهي اتحاد بروتين مع الحامض النووي RNA، وتشكل مركز تكوين (تخليق) Synthesizing البروتين داخل الخلية. وتوجد هذه الحبيبات في جميع أنواع الخلايا، (Procaryotic or Eucaryotic).

ب) المنطقة النووية Nuclear Area

يختلف التركيب النووي في خلية البكتريا عن غيرها من خلايا الإيوكاريوت Eucaryote، ويفتقر التركيب النووي لوجود كروموسومات مميزة ومحددة، كما يفتقر إلى تركيب النوية وإلى الغشاء النووي المحيط بالنواة، حيث يقتصر التركيب الواحد على كروموسوم واحد يحتل مركز الخلية ويلتصق مع تركيب الميزوزوم المذكور آنفا، ويأخذ الكروموسوم شكل خيط ملتف حول نفسه ترتب عليه الصفات الوراثية في

صورة جينات ترتيبا طوليا. ويطلق على التركيب النووي لخلية البكتريا : Chromatine body, Bacterial genome, Bacterial chromosome. وسيتم الحديث بتفصيل أكثر في الجزء الخاص بالوراثة في البكتريا.

جـ) السيتوبلازم المخزون (الحبيبات السيتوبلازمية) Cytoplasmic inclusion

تتجمع بعض المواد الكيميائية داخل سيتوبلازم الخلية مكونة حبيبات يُطلق عليها الحبيبات المخزنة Reserved granules ، أو Inclusion. وهذه الحبيبات قد تكون :

١- حبيبات ميتاكروماتين Metachromatine granules : ويطلق عليها هذا المصطلح بسبب اصطباغها بصبغة الأنيلين Aniline بصورة مشابهة للكروماتين. ويمكن مشاهدة هذه الحبيبات بسهولة بواسطة المجهر الضوئي. وهذه الحبيبات شائعة في أنواع بكتيرية معينة مثل بكتريا الدفتريا وبعض بكتريا حمض اللاكتيك. ويعتبر وجود هذه الحبيبات ذو أهمية كبيرة في تشخيص بعض المسببات المرضية ، وتعريف بعض أنواع البكتريا.

٢- حبيبات الكبريت Sulpher granules : وتتكون هذه الحبيبات نتيجة ترسب الكبريت في فجوات في خلية البكتريا لبعض الأنواع التي تنمو في مياه محتوية على كبريتيد هيدروجين مثل الينابيع الكبريتية أو بعض مياه المجاري.

٣- حبيبات الزيوت والشبيهة بالدهون Fat globules : وتتكون في بعض أنواع البكتريا ويمكن مشاهدتها بسهولة عند صبغها بالصبغات الذائبة في الدهون.

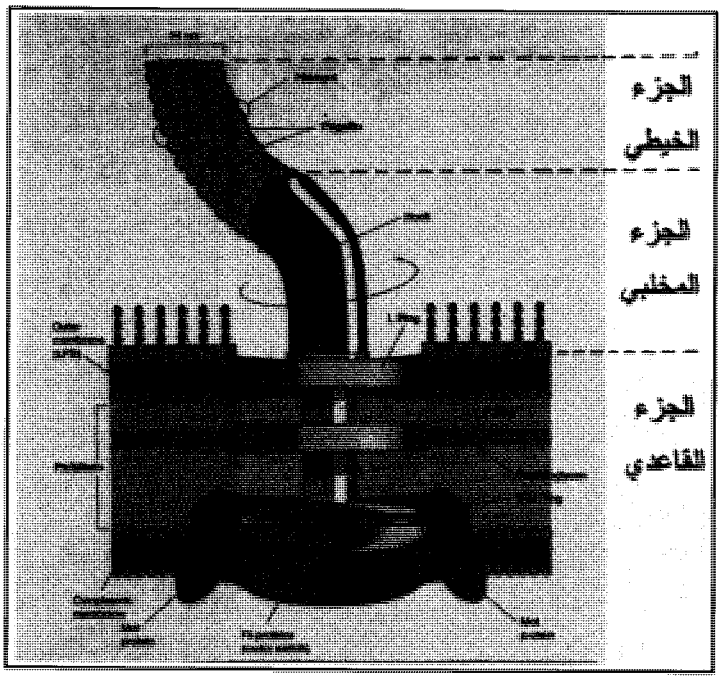
وهناك الكثير من الدلائل التي تشير إلى أن هذه الحبيبات المخزونة هي غذاء احتياطي تخزنه البكتريا لحين الحاجة إليه ، ويلاحظ اختفاء هذه المواد من الخلية البكترية في فترات التكاثر ، وفترة شح الغذاء في البيئة ، بينما تزداد كمياتها في البيئات الغنية عند نمو البكتريا.

السوط البكتري Bacterial Flagella

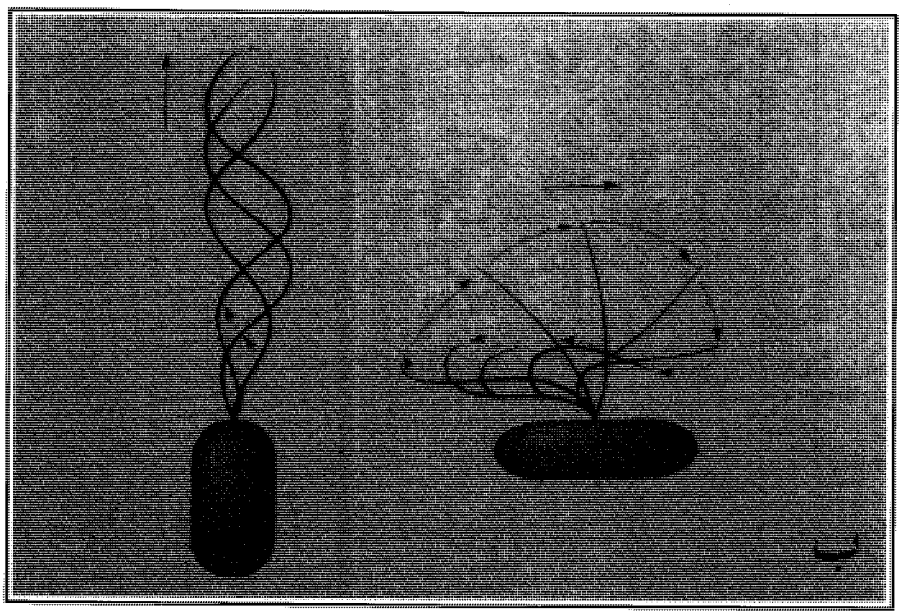
يعتبر السوط في مجموعة خلايا البروكاريوتك Procaryotic من التراكيب المعقدة والتي ليس لها مثيل في الكائنات الحية الأخرى. ويلعب هذا السوط الدور الأساسي في

حركة الخلايا البكترية وتمكينها من الحركة بسهولة في السائل الذي تعيش فيه. ونظرا للدقة المتناهية في حجم السوط الكبير فإنه يلزمنا تقنية خاصة وتكبيرات عالية في المجهر الإلكتروني لتحديد وتوضيح أجزائه والتي تتكون أساسا من (الجزء الخيطي، والجزء الخطافي، والجزء القاعدي) (الشكل رقم ٥٠أ). فالجزء الخيطي يأخذ شكلا أنبوبيا ليفيا ملتفا من وحدات بروتينية تسمى Flagillin ذات وزن جزيئي يتراوح بين ٣٠,٠٠٠ و٦٠,٠٠٠ ويبلغ قطره ٢٠ نانومترا، يدخل عند أسفله في تركيب أنبوبي منحن يسمى الخطاف Hook، الذي يلتحم في جسم الخلية بواسطة الجسم القاعدي Basel body (ويختلف الجسم القاعدي والخطاف في تركيبهما عن الجزء الخيطي، وهما أكثر عرضا منه)، فالجزء الخطافي يتكون من وحدات بروتينية مختلفة عن الجزء الخطي. أما الجزء القاعدي فهو أكثر تعقيدا من بقية الأجزاء ويتكون مثلا في نوع *E.coli*، وأغلب الأنواع السالبة لصبغة جرام من أربع حلقات متصلة من العمود الوسطي، فالحلقتان الخارجيتان P, L متحدتان مع طبقة الليبوبولي سكاريد Lipopolysaccharides، وببتيدوجليكان Peptidoglycan وبالتالي الحلقة الداخلية M ملامسة للغشاء السيتوبلازمي. وبالنسبة للأنواع الموجبة لصبغة جرام فيرجح أنها تحتوي على حلقتين فقط، إحداهما داخلية مرتبطة مع الغشاء السيتوبلازمي وأخرى خارجية متحدة مع Peptidoglycan.

ويسمح هذا التركيب للجزء الخيطي بالدوران حول نفسه ٣٦٠درجة (وليس كما كان يعتقد سابقا بأنه يدور دورات قصيرة منتظمة إلى اليمين وإلى اليسار). وبدوران السوط عكس اتجاه دوران الساعة Anticlockwise، فإن خلية البكتريا تدور في اتجاه عقارب الساعة Clockwise وتندفع للأمام (الشكل رقم ٥٠ب). وبصفة عامة يمكن الجزم بأن جميع الخلايا المنحنية ونصف الخلايا العصوية وعدد قليل جدا من الخلايا الكروية تتحرك بالأسواط، وتختلف الخلايا البكترية فيما بينها تبعا لعدد الأسواط وتوزيعها على سطح الخلية (وتعتبر هذه الصفات من العوامل الهامة المستعملة في تصنيف الأنواع البكترية).



أ

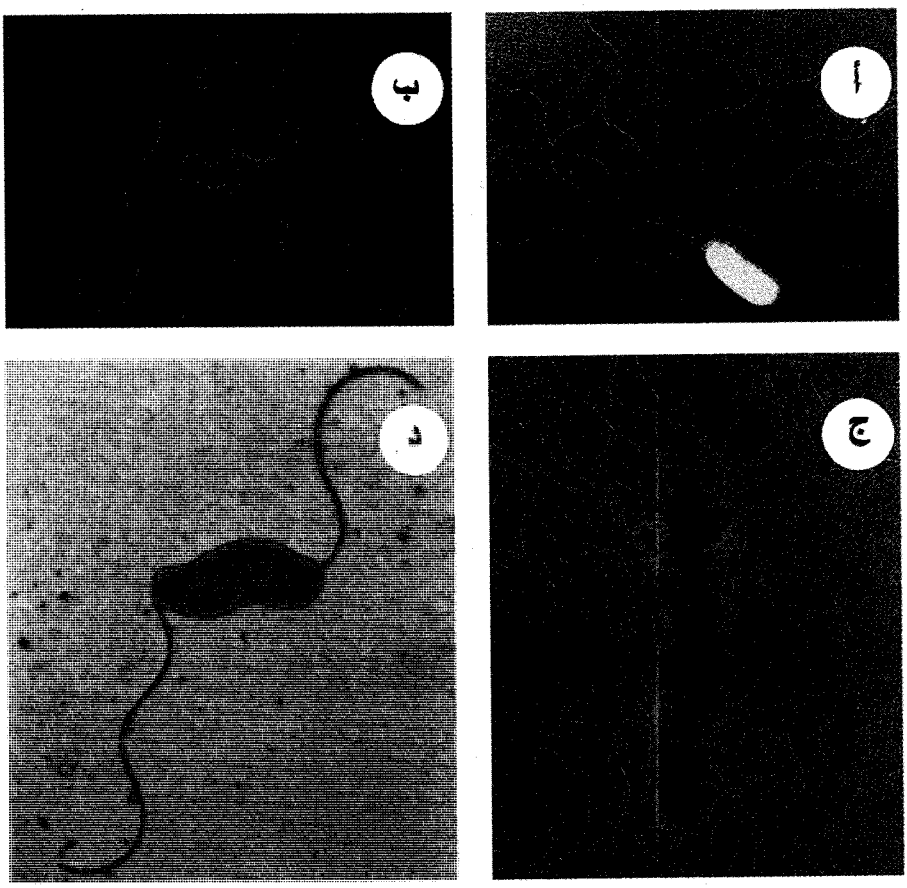


ب

الشكل رقم (٥٠). (أ) التركيب التفصيلي للسوط البكتري. (ب) اتجاه حركة السوط.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

ويؤثر عدد الأسواط وطريقة توزيعها في مدى سرعة الخلية عند حركتها. وإذا تطلب الأمر ضرورة التعرف على عدد الأسواط وتوزيعها، فإن هناك تقنيات خاصة لصبغ ودراسة هذه الأعضاء المتناهية في الصغر بالمجهر الضوئي مثل ترسيب مركبات خاصة تزيد حجم السوط واستعمال مواد تزيد قدرته على الاصطباغ. كما أنه يمكن استعمال المجهر الإلكتروني لرؤية وقياس حجم هذه الأسواط بدقة (الشكل رقم ٥١).



الشكل رقم (٥١). توزيع الأسواط على سطح الخلية البكتيرية: (أ) Lophotrichous، (ب) Monotrichous، (جـ) Peritrichous، (د) Amphitrichous.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

الخيوط المحورية Axial Filament

تتميز أنواع البكتريا الحلزونية الشكل Spirochetes بحركتها المميزة ذات الطبيعة الخاصة التي يطلق عليها الحركة الثعبانية، والتي يولدها اثنان أو أكثر من الخيوط اللولبية Coils، التي يطلق عليها Axial filament. وهذا النوع من الأسواط هو خيط رفيع طويل مدمج داخل أنبوب خطافي Hook، ويلتف على امتداد جسم الخلية في المنطقة المحصورة من الجدار الخلوي والغشاء السيتوبلازمي، ولديه القدرة على الحركة الانقباضية أو الالتفافية محدثا حركة الخلية في السائل بصورة متعرجة.

ميكانيكية حركة البكتريا بالأسواط Mechanism of Bacterial Motion by Flagella

هناك عديد من النظريات لتفسير ميكانيكية حركة البكتريا بالأسواط. فقد أصبح واضحا أن ميكانيكية حركة الخلايا في مجموعة الـ Procaryotic، والتي منها البكتريا، تختلف عن تلك المتبعة في مجموعة الـ Eucaryotic مثل الأوليات.

وبصفة عامة فقد أصبح الرأي القائل إن خلايا البكتريا تتحرك بواسطة ميكانيكية دوران السوط حول نفسه بسرعة كبيرة في اتجاه معاكس لعقارب الساعة مقبولا، مما يؤدي بدوره إلى التفاف جسم الخلايا في اتجاه عقارب الساعة، ودفع الخلية للحركة للأمام. فالحركة في وسط مائي بالنسبة لخلية البكتريا تعتبر عملية صعبة جدا، لأن هذا الوسط المائي يعتبر على درجة عالية من اللزوجة، بالنسبة لخلية البكتريا، تشبه مادة المولاس (العسل الأسود اللزج). ويجب عليها الحركة داخل هذا السائل بفعل حركة السوط المحورية. وإذا توقف السوط عن الحركة تقف خلية البكتريا مباشرة (Madigons, *et al.*, 1997).

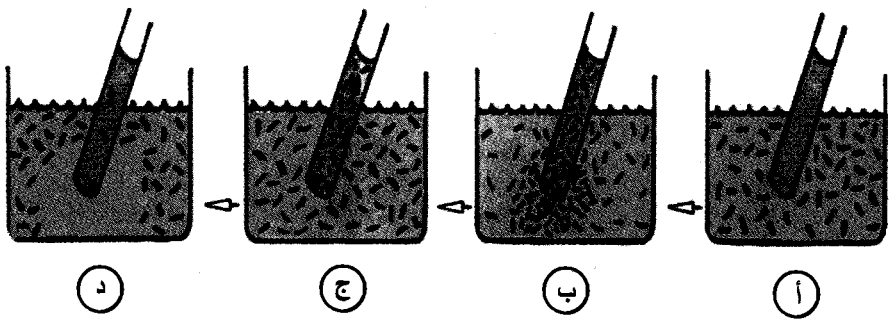
وبالرغم من هذه اللزوجة النسبية للسائل والذي يشكل عامل مقاومة عال لحركة الخلية، فإن متوسط سرعة خلية البكتريا يتراوح بين٢٠ و٩٠ ملليميكرون (mμ)/ثانية أي يساوي ما يوازي ٢-١٠٠ ضعف طول الخلية. ولتقريب الإحساس بهذه السرعة، فالإنسان البالغ السرعة لا يستطيع الجري أكثر من ٥ أضعاف طول جسمه في الثانية الواحدة.

ونظرا لأن خلية البكتريا تتحرك بفعل دوران السوط ذي القوام الصلب نوعا، فإنه يرجح أن يكون هناك تأثير حركي يشبه الموتور عند قاعدة السوط لتوليد الحركة الدورانية للسوط نفسه. واستنادا لهذه الفرضية فإن السوط يلتف حول نفسه كنتيجة لتداخل بين الحلقة S والحلقة M (كما يوضح الشكل رقم ٤٤). فالعمود المثبت لقاعدة السوط يمتد من الجزء الخطافي في الحلقة M داخل الغشاء السيتوبلازمي شبه السائل، ولهذا يستطيع أن يدور حول نفسه Rotate بحرية تامة في الغشاء السيتوبلازمي. وفي المقابل فإن الحلقة S مثبتة في الجدار الخلوي (في الأنواع الموجبة لصبغة جرام)، ولا تستطيع القيام بالحركة الدورانية كما هو الحال في الحلقة M. وعليه فيرجح أن حركة دورانية سوف تنشأ إذا تداخلت الحلقات بطريقة أو بأخرى. غير أن التفاصيل الدقيقة المؤكدة لحركة الجزء القاعدي من السوط غير معروفة بصورة تامة.

ظاهرة الحساسية الكيميائية Chemotaxis

أصبح من المؤكد أن خلايا البكتريا لا تتحرك دائما في المحلول بصورة عشوائية، بل تأكد أن هذه الحركة تتأثر بنوع العناصر الكيميائية الموجودة في المحلول، فهناك عناصر جاذبة تتحرك البكتريا في اتجاهها مثل بعض السكريات والأحماض الأمينية. كما توجد مواد طاردة تدفع البكتريا للحركة بعيدا عنها مثل العناصر الضارة ومخلفات الخلايا البكترية في البيئة، ويطلق على هذه الظاهرة اسم Chemotaxis (الشكل رقم ٥٢)، إضافة إلى تأثير بعض العوامل البيئية مثل درجة الحرارة والضوء والجاذبية.

ويمكن إثبات هذه الظاهرة بملء أنبوبة شعرية بمواد جاذبة ووضعها في معلق بكتري، وعند بدء سريان المواد الجاذبة من الأنبوبة تندفع خلايا البكتريا إلى داخل الأنبوبة في اتجاه المواد الجاذبة. وفي المقابل إذا وضعنا قرصا مشبعا بمواد طاردة في وسط طبق بتري من الآجار يحتوي على نمو بكتري. يلاحظ بعد فترة أن البكتريا تتحرك بعيدا عن منطقة القرص المشبع، وتتكون حوله منطقة خالية من النموات البكترية.



أ ــ إدخال أنبوبة مفتوحة الطرفين فى معلق بكتيري .
ب ــ تنجذب البكتريا وتتجمع بأعداد كبيرة داخل الأنبوبة المحتوية على مواد جاذبة .
ج ــ تتجمع البكتريا داخل أنبوبة محتوية على محلول متعادل (محلول ملحي) بنسبة مساوية لانتشارها خارج الأنبوبة .
د ــ تنتشر البكتريا بعيداً عن الأنبوبة المحتوية على مواد طاردة .

الشكل رقم (٥٢). تجربة الأنابيب الشعرية لدراسة ظاهرة استجابة البكتريا للمواد الكيميائية Chemotaxes.

(عن : Madigons *et al.*, 1997)

ويلاحظ أن البكتريا تستجيب للتركيزات المنخفضة من المواد الجاذبة (حوالي 10^{-8}) في بعض السكريات، بينما تكون الاستجابة للمواد الطاردة فقط عند التركيزات العالية. ويتم الاستجابة لهذه العناصر الطاردة والجاذبة من خلال مستقبلات كيماوية Chemoreceptors على سطح الخلية. وقد تم اكتشاف ٢٠ مستقبلا للعناصر الجاذبة و١٠ مستقبلات للعناصر الطاردة. وهذه المستقبلات هي بروتينات يرجح أنها توجد إما في منطقة الغشاء السيتوبلازمي أو في الفراغ بين الغشاء السيتوبلازمي والجدار البكتري S.

ويلاحظ أن الخلايا البكترية في محلول خال من العناصر الكيماوية تتحرك بصورة عشوائية. فالخلية البكترية تتحرك في خط مستقيم أو منحن انحناء بسيطا حيث تتحرك للأمام A run لعدة ثوان ثم تتوقف Tumbles ، ثم تعاود الحركة في اتجاهات مختلفة عشوائية وهكذا. ويلاحظ أن البكتريا المتحركة في وسط يحتوي على نسبة من العناصر الجاذبة يقل فيها عدد الوقفات Tumbles ، ويزداد عدد حركاتها إلى الأمام Runs.

وقد أثبتت نتائج الأبحاث التي أجريت لاستقصاء ميكانيكية الحركة الكيميائية Chemotaxis على بكتريا *Escherichia coli* أن حركة الخلية للأمام تعزى إلى حركة السوط حول نفسه عكس اتجاه عقارب الساعة ، بينما التوقف يعود إلى حركة السوط في اتجاه عقارب الساعة. وتحتوي خلية *E.coli* على أربعة مستقبلات كيماوية Chemoreceptors لها القدرة على تمييز كل من الحموض الأمينية على التوالي (Aspartate & Maltose - Serine dipeptide - Ribose & Galactose) ، ويطلق على هذه المستقبلات الكيماوية Methyle-accepting Chemotaxis Proteins (Mc Ps).

وتوجد هذه المستقبلات عند الطرف الأمامي للخلية العصوية. غير أن هذه المستقبلات McPs لا تؤثر مباشرة في الحركة الدورانية للسوط ، ولكنها تؤثر من خلال سلسلة من البروتينات وبكفاءة وسرعة هائلة ، بحيث إن مجرد ملامسة المستقبل للعنصر المحفز من الممكن أن يطلق الحركة بسرعة تصل إلى ٢٠٠ جزء من الألف من الثانية. ومع أن المواد الحافزة تتحد غالبا مباشرة مع McP فإن هناك حالات خاصة تتم فيها العملية بطريقة غير مباشرة ، حيث تتحد المواد الحافزة مع بروتينات خاصة تقوم هي بدورها بربطها على McP.

وباختصار يمكن القول إن الاستجابة الكيميائية في عملية حركة البكتريا هي عملية معقدة جدا ، ويشترك فيها عدد كبير من البروتينات وصورتان من صور Convalent protein regulation. وبالإضافة إلى الاستجابة الكيميائية فإن بعض البكتريا تستجيب أيضا إلى الضوء Phototaxis ، والبعض الآخر يستجيب إيجابا وسلبا للأكسجين Aerotaxis ، فالكائنات التي تحتاج للأكسجين تتحرك في اتجاه الأكسجين ، والتي تنمو في غياب الأكسجين تبتعد عنه.

الجراثيم البكترية Bacterial Endospores

هناك عديد من الأبحاث التي تشير إلى أن طبيعة تركيب خلية البكتريا تعطيها القدرة على التكيف مع الظروف البيئية القاسية وغير المناسبة. غير أنه لا يوجد في عالم الميكروبات ما يمكن أن يقارن بتركيب الجراثيم البكترية في قدرتها الفائقة على تحمل مختلف الظروف البيئية غير المناسبة وضمان استمرار الحياة للخلية.

وكلمة جرثومة، قد يكون لها أكثر من معنى في عالم الأحياء الدقيقة، فهي بصورة عامة تعني أي أجسام دقيقة شبه خلوية تتكون نتيجة عملية تكاثر جنسي أو خضري للكائنات الدقيقة. والجراثيم قد تتفاوت لدرجة كبيرة من حيث الشكل والمنشأ والوظيفة، فالجراثيم البكترية والتي هي محور مناقشتنا، يُطلق عليها مصطلح الجراثيم الداخلية Endospores لأنها تتكون داخل الخلية، وهي لا تؤدي دورا في العملية التكاثرية (لأن الخلية الخضرية لا تنتج إلا جرثومة واحدة فقط والجرثومة عندما تنمو تعطى خلية خضرية واحدة) ولكنها تلعب دورا له علاقة ببقاء الخلية واستمرارية حياتها، فهي تلعب دورا هاما في بقاء الخلية على قيد الحياة تحت ظروف نقص الغذاء والرطوبة في بيئتها. وهذا الحال بعكس ما هو موجود في الفطريات حيث تعتبر الجراثيم الفطرية وسيلة تكاثرية هامة، لأن الفطر ينتج عديدا من أنواع الجراثيم وبأعداد هائلة. فالجراثيم الداخلية في البكتريا هي أجسام كامنة Dormant تنتجها أجناس البكتريا الموجبة لصبغة جرام مثل *Sporosarcina, Clostridium, Bacillus*، حيث تتميز هذه الأجناس بوجود طورين في حياتها، الطور الخضري والطور الجرثومي. فالطور الخضري هو ذلك الطور النشيط والحيوي والقادر على النمو والذي يستطيع في مرحلة من مراحل حياته، استجابة لمؤثرات وراثية، أن يدخل في مرحلة تحول يتكون نتيجتها جراثيم داخلية ويطلق على هذه المرحلة Sporogenesis، وبمجرد تكوين هذه الجراثيم، فإنها تدخل في مرحلة خمول وسكون تامة، وتستعمل بعض صفات الجراثيم من حجمها وشكلها وموضعها داخل الخلية في تعريف بعض أنواع البكتريا.

ومع أن الدراسات التي أجريت لاستكشاف أسرار قدرة الجراثيم على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، فإن السبب الحقيقي مازال مثارا للجدل والدراسة ولم يتم

الجزم به. فعلى سبيل المثال كان يُعتقد حتى وقت قريب أن حمض دابيكولنيك Dipicolinic acid والذي يشكل حوالي ١٥٪ من الوزن الجاف للجرثومة متحدا مع أيونات الكالسيوم هو المسؤول عن قدرة الجرثومة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، إلا أن هذا الاعتقاد أصبح مثار شك عندما تم عزل أنواع من الجراثيم المتطفرة وراثيا والخالية من حمض Dipicolinic acid ، (Prescott, *et al.*, 1996).

ومن الافتراضات التي تذكر في هذا المجال أن عملية انخفاض نسبة الرطوبة في الجرثومة تلعب دورا هاما في قدرتها على تحمل الحرارة العالية والإشعاعات. وملخص القول أن عملية مقاومة الجراثيم البكترية للحرارة والإشعاعات قد تكون محصلة كلا العاملين المذكورين أعلاه، إضافة إلى أقلمة بروتينات الجرثومة وقدرتها على الثبات عند درجات الحرارة المرتفعة.

وتبدأ الخلية البكترية في الدخول في طورها الجرثومي (التجرثم Sporulation) عند نقص العناصر الغذائية في بيئتها، حيث يمكن أن تتم هذه العملية في عدة خطوات (الشكل رقم ٥٣) ندرجها في النقاط التالية:

١ - تكون خيط حلزوني من المادة البروتينية في وسط الخلية.

٢ - يبدأ الغشاء الخلوي في تكوين انثناءات داخلية إلى داخل الخلية لكي يفصل جزء من الحامض النووي DNA والسيتوبلازم ويحيط به ويكون بذلك غلاف الجرثومة المبدئية.

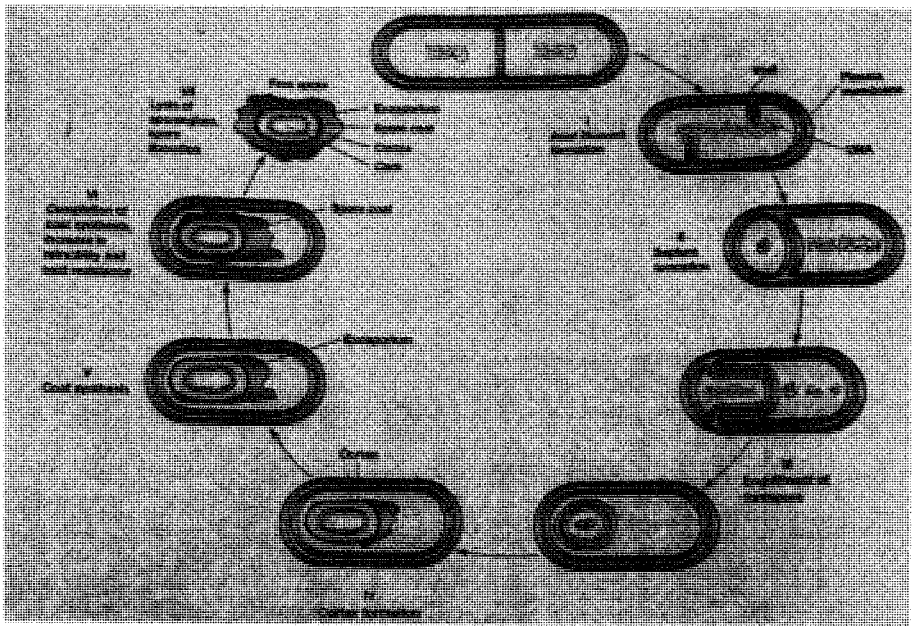
٣ - يستمر الغشاء الخلوي في النمو مكونا غلافا ثابتا يحيط بالجرثومة المبدئية.

٤ - تبدأ القشرة Cortex في التكون في الفراغ من الغشاءين المحيطين بالجرثومة البدائية، ويبدأ الكالسيوم وحمض Dipicolinic acid بالتجمع في هذه المنطقة.

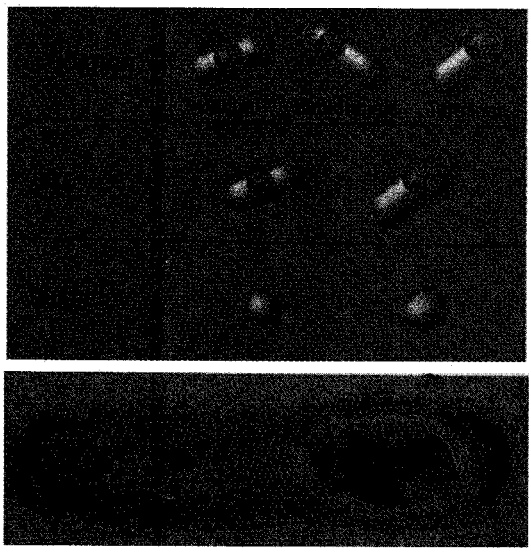
٥ - يبدأ الغلاف البروتيني بالتكون حول القشرة Cortex.

٦ - تبدأ الجرثومة في النضج وتنتج الجرثومة الكاملة (الشكل رقم ٥٤).

٧ - تقوم الإنزيمات المحللة في تحليل الغلاف الجرثومي (الحافظة الجرثومية) وتنطلق الجرثومة.



الشكل رقم (٥٣). خطوات تكون الجراثيم البكترية.



الشكل رقم (٥٤). أ) شكل وموقع الجرثومة البكترية داخل الكيس الجرثومي.
ب) صورة من المجهر الإلكتروني لخلية بكترية متجرثمة.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

وقد أوضحت الدراسات أن من أهم التحولات البيوكيميائية التي تحدث خلال عملية التجرثم هي: انخفاض حاد يصل إلى قرب الصفر في المحتوى المائي لسيتوبلازم الجرثومة المبدئية، وعند اكتمال نضج الجرثومة الداخلية يتوقف فيها جميع صور النشاط الأيضي Metabolism. وتصبح مكونات الجرثومة الناضجة المنخفضة المحتوى المائي جدا مقتصرا على الحمض النووي DNA وجزء بسيط من RNA وريبوسومات وإنزيمات وكمية من بعض الجزيئات الصغيرة مثل الحمض العضوي المسمى Dipicolinic acid مع كمية من أيونات الكالسيوم. حيث يعتبر هذا التركيب الأخير ذا أهمية بالغة في استعادة الجرثومة لنشاطها الأيضي عندما تصبح الظروف البيئية مناسبة، ولهذا السبب يطلق على سيتوبلازم الجرثومة اسم Sporoplasm تمييزا له عن سيتوبلازم الخلية الخضرية.

ومن أهم خصائص الجراثيم البكتيرية كما أسلفنا، قدرتها الفائقة على مقاومة العديد من الظروف البيئية غير المناسبة مثل الحرارة المرتفعة، والأشعة قصيرة الموجات، والمواد الكيماوية، والمواد المعقمة، وعمليات التجفيف وللتدليل على ذلك، فإنه جدير بالإشارة أن بعض الدراسات ذكرت أنه تم عزل جراثيم محتفظة بحيويتها يرجع عمرها إلى ٣٠٠٠ عام، وذلك ضمن حفريات في التربة، كما أنه تمت الإشارة حديثا إلى أن أحد الباحثين في كاليفورنيا قام بعزل جراثيم نشطة من بعض الحفريات التي يرجع عمرها إلى ٢,٥ مليون عام.

ونظرا لقدرة الجراثيم البكتيرية على التحمل، وحقيقة أن هناك عديدا من الأنواع البكترية المتجرثمة والتي منها أنواع مرضية وأنواع تفرز إفرازات سامة Toxins في المواد الغذائية تؤدى إلى تسممها مثل النوع *Clostridium botulinum* والنوع *Bacillus anthracis* المسبب لمرض الجمرة الخبيثة. فقد كانت للجراثيم البكترية أهمية كبيرة في علم الميكروبيولوجيا وبالذات في المجالات الغذائية والطبية والصناعية، حيث يتحتم علينا في هذه المجالات التأكد من تعقيم مختلف المواد المستخدمة بطريقة سليمة.

ولما كانت الجراثيم البكترية لها قدرة فائقة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، فقد كان من الضروري استخدام التعقيم بالحرارة مع الضغط Autoclaving للتأكد من القضاء الكامل على أي جراثيم قد تكون موجودة. كما تشكل الجراثيم أداة مفيدة للدراسة والبحث في معرفة أسرار تكون العديد من المكونات البيولوجية المعقدة، والتي تقوم بها خلية البكتريا أثناء تحولها إلى جرثومة في مدى ساعات قليلة. وقد أوضحت دراسات المجهر الإلكتروني تفاصيل دقيقة عن تركيب الجراثيم البكترية، حيث يتضح أن الجرثومة البكترية تتكون من خمسة أجزاء رئيسية، فهي تتكون من الخارج إلى الداخل من الأجزاء التالية:

١- طبقة الExosporium وهي طبقة رقيقة جدا تحيط بالجرثومة من الخارج.

٢- غلاف الجرثومة Spore coat وهو غلاف سميك نوعا غير منفذ للسوائل، ويتكون من عدة طبقات من البروتينات. ويعتقد أنه يؤدي دورا في عملية مقاومة الجرثومة للمواد الكيميائية.

٣- القشرة Cortex وتشغل تقريبا نصف حجم الجرثومة، وتتكون من مركبات يطلق عليها Peptidoglycan (بروتينات معقدة).

٤- جدار الجرثومة Spore cell wall ويحيط بالبروتوبلازم.

٥- منطقة المركز Core أو البروتوبلازم الجرثومي، ويتكون من أحماض نووية.

إنبات الجراثيم

تقضى الجراثيم حياتها في حالة سكون تام لفترة قد تقصر أو تطول، تبعا لتوافر الظروف المناسبة، وعندما تتوافر الظروف المناسبة لنمو الجرثومة، فإن سلسلة من التغيرات الكيميائية والحيوية تحدث داخل الجرثومة لتحويلها إلى خلية خضرية. ومن أهم العوامل المحفزة لإنبات الجرثومة هو توافر الرطوبة (الماء)، وبعض العوامل الكيميائية (عناصر غذائية)، والبيئة المناسبة. ويلاحظ أن حالة إنبات الجرثومة وتحولها إلى الخلية الخضرية تتم بسرعة كبيرة قد تصل إلى ساعة ونصف، بعكس حالة التجرثم

والتي تأخذ ما يتراوح بين ٨ و١٠ ساعات. ومن أمثلة العناصر الكيميائية المحفزة لعملية الإنبات بعض الجزيئات العضوية الصغيرة مثل الأحماض الأمينية أو الأملاح غير العضوية، حيث تقوم هذه العناصر بتحفيز جدار الجرثومة لتكوين إنزيمات هاضمة، والتي تقوم بدورها بهضم وتحليل منطقة القشرة Cortex للجرثومة، وبالتالي تعريض منتصفه (المركز Core) للماء، ويبدأ السيتوبلازم بامتصاص الماء والعناصر، ويحدث عديد من التحولات الكيميائية لعكس الحالة التي كان عليها من قبل، حيث يزداد الحجم، وتنخفض كثافة السيتوبلازم، ويخرج من الغلاف الجرثومي، ويتحول إلى خلية خضرية كاملة تمارس نشاطها.

الأسس المستخدمة في تعريف البكتريا وتقسيمها

Principles Used for Identification and Classification of Bacteria

نظرا لوجود أنواع البكتريا مختلطة في بيئاتها المختلفة سواء في التربة أو في لعاب الإنسان أو قطرات المياه، ... إلخ. فقد كان من الطبيعي ومن الضروري وضع أسس ثابتة ودقيقة لتمكيننا من تعريف أنواع البكتريا المختلفة، وتحديد مكانها التقسيمي، لأن ذلك سوف يفيدنا كثيرا، وبالذات في المجال الطبي لتحديد المسببات المرضية وتعريفها، وبالتالي علاجها. وتتعدد الأسس والوسائل المتبعة في تعريف البكتريا والتي تبدأ بعمليات عزل وتنمية المستعمرات النقية، ومن ثم إجراء عمليات الفحص والدراسة المجهرية والبيوكيميائية والسيرولوجية. فالفحص النظري Macroscopic والمجهري Microscopic من الممكن أن يحدد تعريف البكتريا حتى درجة الجنس، بينما يحتاج تحديد النوع إلى دراسات بيوكيميائية وفسيولوجية ووراثية. ومن ثم تؤخذ النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسات وتحلل من خلال برامج خاصة في الحاسب الآلي لتحديد موقع العينة البكترية تقسيميا بدرجة دقيقة. ويجب ملاحظة أنه لا يمكن اتباع جميع الوسائل المذكورة مع جميع أنواع البكتريا. فمثلا هناك عدد قليل من الأنواع البكترية يمكن تعريفها في أجهزة أتوماتيكية خاصة في المعمل، تقوم بتحليل نوع

الأحماض الدهنيـة المحتويـة عليها الخلايا، وبالتالي تحديد موقعها التقسيمي، بينما أنـواع أخـرى تعـرف عـن طريـق صبغـات جرام وبعض الفحوص الفسيولوجية... إلخ.

والأسس المختلفة المستخدمة بصفة عامه في تعريف البكتريا هي:

١ – الصفات الظاهرية النظرية Macroscopic Morphology

وتشمل الشـكل العـام للمستعمرات البكتريـة مـن حيـث الحجـم، القـوام، الصبغات، سرعة وطبيعة النمو سواء على الأجار أو البيئات السائلة.

٢ – الصفات الظاهرية المجهرية Microscopic Morphology

ومـن أهمها الشكل العام للخلية تحت المجهر، صبغة جرام، صبغة الصمود للأحماض، موضع وحجم الجرثومة، ...إلخ. إضافة إلى بعض الصفات التي يمكـن تحديدها بالمجهر الإلكتروني مثل الأسواط، الجدار، والأهداب، ...إلخ.

٣ – الخصائص البيوكيميائية والفسيولوجية Physiological & Biochemical Characters

تعتبر الخصائص الإنزيمية وغيرهـا مـن الخصـائص البيوكيميائيـة مـن الطـرق التقليدية الهامة التي يعتمد عليها في تعريف البكتريا، ومن أمثلتها تحليل السكريات والقـدرة علـى تحليـل بعـض المركبـات الكيميائيـة والبروتينـات، والاسـتجابة لتأثـير المضادات الحيوية، ...إلخ.

٤ – التحليل الكيميائي Chemical Analysis

ومـن أمثلته التحليـل الكيميـائي لمكونـات خلية البكتريـا مثـل تحليـل البيبتيـدات الموجودة في الجدار البكتيري والليبيدات الموجودة في الغشاء الخلوي.

٥ – التحليل السيرولوجي Serological Analysis

تحتوي خلايا البكتريا على جزئيات خاصة يطلق عليها اسم أنتيجينات Antigens ، والتي يمكن التعرف عليها بواسطة الجهاز المناعي. وعندما يتعرف الجهاز المناعي للجسم على هذه الأنتيجينات فإنه يقوم بإنتاج جزيئات بروتينية يطلق عليها الأجسام المناعية Antibodies ، تقوم بالاتحاد والالتصاق على الأنتيجينات. وهذه العملية على درجة عالية من التخصص بحيث يمكن استعمال أجسام مضادة محددة لتعريف أنواع البكتريا المختلفة ، ويمكن إتمام هذه العملية بسرعة كبيرة وببساطة.

٦ – تحليل الحمض النووي DNA باستعمال الأسس الوراثية

أصبح معروفا أن ترتيب ونوع الأحماض النووية على الكروموسومات يعتبر من الصفات الثابتة لكل نوع. واستنادا لهذه الحقيقة فقد أصبح من الممكن استعمال تقنيات خاصة يطلق عليها عمليات التهجين Hybridization في تعريف الأنواع البكتيرية المختلفة ، وذلك بتحليل عينات من أحماض نووية DNA. وتعتمد هذه التقنية على أخذ أجزاء صغيره من حمض نووي أحادى Single strand (سواء DNA أو RNA) يطلق عليه مصطلح Probe يكون ممثلا للترتيب في نوع بكتيري معين. وبتثبيت هذه العينات على ورق حساس Blotter paper ، وتثبيت عدد من العينات Probes على نفس الورقة ، ثم يلاحظ من خلال علامات واضحة أن هذه العينات ارتبطت تماما مع العينة الأصلية للـ DNA في المناطق المتماثلة معها على خيط الحمض النووي ، (وهو ما يطلق عليه Hybridization). ويلاحظ من المناطق التي ارتبطت بها العينات مع الـ DNA موضع الاختبار مدى العلاقة التقسيمية ، أو صلة القربى بين البكتريا التي اخذ منها DNA موضع الاختبار وبين الأنواع التي أخذت منها العينات.

٧ – ترتيب الحموض النووية وتحليل الحمض النووي RNA

يعتبر ترتيب القواعد النيتروجينية في الحمض النووي Ribosomal RNA أحد الدلائل القوية على مدى العلاقة التطورية ودرجة القربى بين الأفراد. فمن المعروف أن

الريبوسومات تقوم بوظيفة تخليق البروتينات في الخلية، وتميل إلى أن تحتفظ بمحتواها من الحمض النووي ثابتا لمدد طويلة جدا دون تغيير. وعلى ذلك، فقد كان أي تغيير أساسي في ترتيب الحموض الأمينية (القواعد النيتروجينية) في الحمض النووي RNA يعتبر مؤشرا على اختلاف في الأحوال التطورية. وتستعمل هذه التقنية بدرجة عالية من الدقة في التعريف حتى درجة النوع Species.

تقسيم البكتريا Classification of Bacteria

تقسم الكائنات الحية بصفة عامة لتسهيل عمليات الدراسة من الناحية الأكاديمية، ولتحديد وتعريف الأنواع المختلفة في المجالات التطبيقية الطبية وغيرها، مما يساعد في التعامل معها. بدأ تقسيم البكتريا منذ حوالي ٢٠٠ سنة مضت، فقد تم تعريف وتسمية وتقسيم آلاف الأنواع البكترية. وقد تعددت الأسس التي بنى عليها النظام التقسيمي واختلفت وتطورت بتطور وسائل البحث العلمي. فقد كان التقسيم في السابق يعتمد على الشكل العام والتجمعات والصفات المزرعية كأسس للتقسيم. غير أنه وبتطور وسائل البحث العلمي، وبالذات في المجال الوراثي والبيوكيميائي، أصبح واضحا أن مجرد التشابه في الصفات العامة كالشكل والنمو والاستجابة للصبغات المختلفة لا يعكس بالضرورة علاقة قربى بين الأنواع المتشابهة. وحتى وقتنا الراهن فإنه لا يوجد نظام تقسيمي واحد يجمع عليه العاملون في مجال الأحياء الدقيقة، فجميع الأنظمة المتداولة قابلة للتغير والتبديل والإضافة، كنتيجة للكم الهائل من المعلومات التي تخرجها المختبرات ومراكز البحوث في مجال علم الأحياء الدقيقة. وسنتطرق هنا إلى ثلاثة فقط من أكثر الأنظمة التقسيمية شيوعا.

١ - النظام التقليدي الأشمل للتقسيم، والمعروف بنظام بيرجي، وهو عبارة عن مفتاح تقسيمي يسمى Bergy's Manual of Determinative Bacteriology يتبع باستمرار مع التحديث منذ عام ١٩٢٣م.

٢ - النظام المبني على تقسيم البكتريا إلى مجموعات استنادا إلى مقارنة ترتيب القواعد النيتروجينية للحمض النووي RNA.

٣ - النظام المبني على مقارنة بعض الصفات المورفولوجية والفسيولوجية لتعريف العوائل البكترية.

ففي الطبعة التاسعة لتقسيم بيرجى قُسمت مملكة البروكاريوتك Procaryotic إلى أربعة أقسام Divisions رئيسية استنادا إلى طبيعة الجدار الخلوي للخلية. وهذه الأقسام هي :

Div.1: Gracilicutes

وتشمل الخلايا البكترية السالبة لجرام ذات جدار خلوي رقيق جدا.

Div.2: Firmicutes

وتشمل الخلايا البكترية الموجبة لجرام ذات جدار خلوي سميك جدا.

Div.3: Tenericutes وتشمل الخلايا البكترية عديمة الجدار الخلوي.

Div.4: Mendosicutes

وتشمل الأنواع البكترية البدائية التي تتميز بجدار خلوي، ونظم تغذية غير عادية.

ويضم القسمين الأوليين أكبر عدد من الأنواع حيث تضم تلك الأنواع الممرضة للإنسان والحيوان والتي تزيد عن ٢٠٠ نوع، والتي تندرج تحت ٤ رتب : Scotobacteria, Firmibacteria, Thallobacteria, Mollicutes.

أما التقسيم استنادا إلى تحليل ومقارنة ترتيب القواعد النيتروجينية للحمض النووي RNA فإنه يحدد ١١ فرعا مستقلا في شجرة البكتريا الحقيقية Eubacteria ويلاحظ أن هناك تشابها في بعض الفروع مع ما هو موجود في تقسيم بيرجي مع اختلاف واضح في العديد من الفروع الأخرى (Prescott, *et al.*, 1996)، وهذه الفروع هي :

١ - البكتريا الحقيقية الموجبة لصبغة جرام، وتشمل : *Bacillus, Clostridium,* Mycoplasma *Mycobacterium, Staphylococcus, Actinomycetes*, and the cell wall free.

٢ - البكتريا الحقيقية السالبة لصبغة جرام، وتشمل البكتريا الأرجوانية Purple bacteria التمثيلية والأنواع غير التمثيلية القريبة منها مثل أنواع الأجناس : *Pseudomonas, Vibrio, Escherichia, Neisseria,* والركتسيا.

٣ - Cyanobactoria وتشمل البكتريا التمثيلية المحتوية على صبغة كلوروفيل أ، مثل أنواع الأجناس *Spirulina, Oscillatoria*.

٤ - Spirochetes وتشمل أنواع البكتريا ذات الخلايا الحلزونية المرنة مثل أنواع الأجناس *Treponema, Borrelia*.

٥ - أنواع البكتريا المتبرعمة والتي تتكون من جدر خلايا تفتقد للمركب المعقد Peptidoglycan الموجود في أغلب الأنواع البكترية مثل أنواع الجنس *Planactomyces*.

٦ - مجموعة البكتريا الصغيرة Bacteroids وتشمل خليطا شكليا وفسيولوجيا من أنواع الأجناس: *Flavobacterium, Fusobacterium, Cytophaga*.

٧ - Chlamydias وتشمل بعض المتطفلات الإجبارية على الفقاريات والتي تفتقد القدرة على القيام بعمليات الأيض Metabolism بصورة مستقلة، كما تفتقد للمركب المعروف باسم Peptidoglycan ويتبعها جنس واحد هو *Chlamydia*.

٨ - بكتريا الكبريت التمثيلية، وهي بكتريا لا هوائية تحتوي على كلوروفيل وتستخدم عنصر الكبريت في عمليات الاختزال الداخلي. ولا تطلق الأكسجين كنتيجة لعمليات التمثيل التي تقوم بها مثل أنواع الجنس *Chlorobium*.

٩ - البكتريا الخضراء غير الكبريتية، وتتميز بكونها خيطيه، تتحرك بالانزلاق، محبة للحرارة المرتفعة، وتقوم بعملية التمثيل الضوئي، ولكنها لا تطلق الأكسجين مثل أنواع الجنس *Chloroflexus*.

١٠ - أنواع نادرة من البكتريا ذات مقاومة عالية جدا للإشعاعات الكهرومغناطيسية مثل أنواع الجنس *Deinococus* spp. الموجبة لصبغة جرام، والجنس العصوي *Thermus* spp. المحبة للحرارة.

١١ - أنواع البكتريا المحبة للحرارة والمستوطنة للمحيطات الحارة مثل أنواع الجنس *Thermotoga*.

والتقسيم المبنى على تحليل الحمض النووي الريبوسومي rRNA فإنه يقسم البكتريا إلى ثلاث مجموعات محددة هي:

١ - البكتريا التي لها قدرة على تخليق الميثان من مركبات غير عضوية بسيطة Methanogenes.

٢ - البكتريا المحبة للملوحة بدرجة كبيرة Halophilic bacteria.

٣ - البكتريا المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة والتي تستخدم الكبريت في عمليات التمثيل الداخلي Metabolic.

إن عالم البكتريا على درجة كبيرة من التفاوت لهذا لا يمكن تعميم افتراضات معينة على جميع أنواع البكتريا في كافة خصائصها البيولوجية مثل الشكل ونظام التغذية وأسلوب معيشتها. فهناك أنواع من البكتريا تتميز بنوع من التطرف في نشاطها وأسلوبها وشكلها، مقارنة بما هو سائد في عالم البكتريا، مثل أنواع البكتريا الكلاميدية والميكوبلازما والبكتريا التمثيلية، ...إلخ.

التغذية في البكتريا Nutrition in Bacteria

تعرف التغذية Nutrition بأنها تلك العملية التي تدخل بموجبها مواد كيميائية تسمى عناصر غذائية Nutrients من الوسط المحيط إلى داخل الخلية، وتستعمل في النشاط الخلوي مثل النمو والتمثيل الغذائي. وبالنسبة لنوع هذه العناصر فإن الميكروبات لا تختلف كثيرا عن بقية الكائنات الحية في احتياجها لها.

وبصفة عامه فإن جميع الكائنات الحية تحتاج إلى بعض العناصر الأساسية مثل (N-Ca-Mn-K-F-S-P-N-O-C-H)، غير أنها تختلف في الصورة الكيميائية التي تستطيع استعمال العنصر فيها، والكمية التي تحتاجها. ويُطلق مصطلح العناصر الضرورية Essential elements على مختلف المواد والجزيئات التي يلزم إمداد الكائن بها لاستمرار حياته. وبمجرد امتصاص هذه العناصر بواسطة الكائن فإنها تدخل في مسار عملية الأيض في المسار الكيميائي للكائن.

وتقسم هذه العناصر الضرورية إلى مجموعتين:

(١) عناصر كبرى Macro-nutrients

وهي تلك العناصر التي يحتاجها الكائن بكميات كبيرة نوعا، وتؤدي دورا أساسيا في التركيب الخلوي والأيضي للخلية، ومن أمثلتها: البروتينات والكربوهيدرات، وأي جزيئات أخرى تحتوي على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين.

(٢) عناصر صغرى (عناصر نادرة) Micro-nutrients (Trace elements)

مثل المنجنيز والزنك والنيكل، والتي توجد بكميات ضئيلة وتؤدي دورا في الفعاليات الإنزيمية والمحافظة على التركيب البروتيني للخلية.

* ويمكن أيضا تقسيم العناصر الغذائية للكائن استنادا إلى محتواها الكربوني إلى:-

(أ) عناصر غير عضوية Inorganic nutrients

وهي ذرات أو جزيئات بسيطة مكونة من جزيئات كربونية وهيدروجين متحدة مع ذرات عناصر أخرى، وتوجد في الخامات المعدنية في التربة وفي المياه وفي الغلاف الجوي.

(ب) عناصر عضوية Organic nutrients

وهي تلك التي تحتوي على عنصري الكربون والهيدروجين فقط، وهي في الغالب مخلفات كائنات حية.

وتحصل البكتريا على هذه الاحتياجات الغذائية من الوسط الذي تعيش فيه، حيث يجب أن تكون العناصر في صورة قابلة للاستفادة منها، مثل صورة الأملاح مثلا. وإذا كانت العناصر العضوية تنشأ أساسا من مخلفات الكائنات الحية، فإن العناصر اللاعضوية لها مصادر عديدة.

الصور الغذائية للميكروبات

تُقسم الكائنات الحية بصفة عامة إلى مجموعات غذائية استنادا إلى عاملين أساسين هما مصدر الكربون ومصدر الطاقة

وفي السابق كانت تقسم الكائنات إلى كائنات ذاتية التغذية Autotrophs، وهي تلك الكائنات التي تعتمد في غذائها على المركبات المحتوية على العناصر غير العضوية. وكائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophs (ويقصد بها الكائنات التي تعتمد في غذائها على الكربون العضوي). وبالنسبة لمصدر الطاقة فإنه توجد لدينا مجموعتان: كائنات تمثيلية Phototrophs، (وهي التي تحصل على طاقتها من الضوء)، وكائنات كيميائية التغذية Chemotrophs وهي التي تحصل على طاقتها من أكسدة العناصر داخل الخلية.

وفي مرحلة لاحقة تم وضع المصطلحان المعبران عن مصدر الكربون والطاقة في مصطلح واحد.وعلى هذا الأساس قسمت الكائنات الحية إلى أربع مجموعات غذائية هي:

١ – كائنات ذاتية ضوئية التغذية Photoautotrophs

وهذه المجموعة تحصل على طاقتها من ضوء الشمس ومصدر كربون غير عضوي، ومن أمثلتها الكائنات التمثيلية مثل الطحالب والنباتات الخضراء والبكتريا التمثيلية.

٢ – كائنات كيميائية ذاتية التغذية Chemoautotrophs

وهذه المجموعة تحصل على طاقتها من الأكسدة الكيميائية لمركبات غير عضوية، ومصدر الكربون فيها غير عضوي، مثل بعض أنواع الجنس *Nitrosomonas* التي تؤكسد الأمونيا إلى نتريت، وكذلك النوع *Thiobacillus thiooxidans* التي تؤكسد الكبريت للحصول على الطاقة اللازمة لاختزال ثاني أكسيد الكربون.

٣ – كائنات ضوئية غير ذاتية التغذية Photoheterotrophs

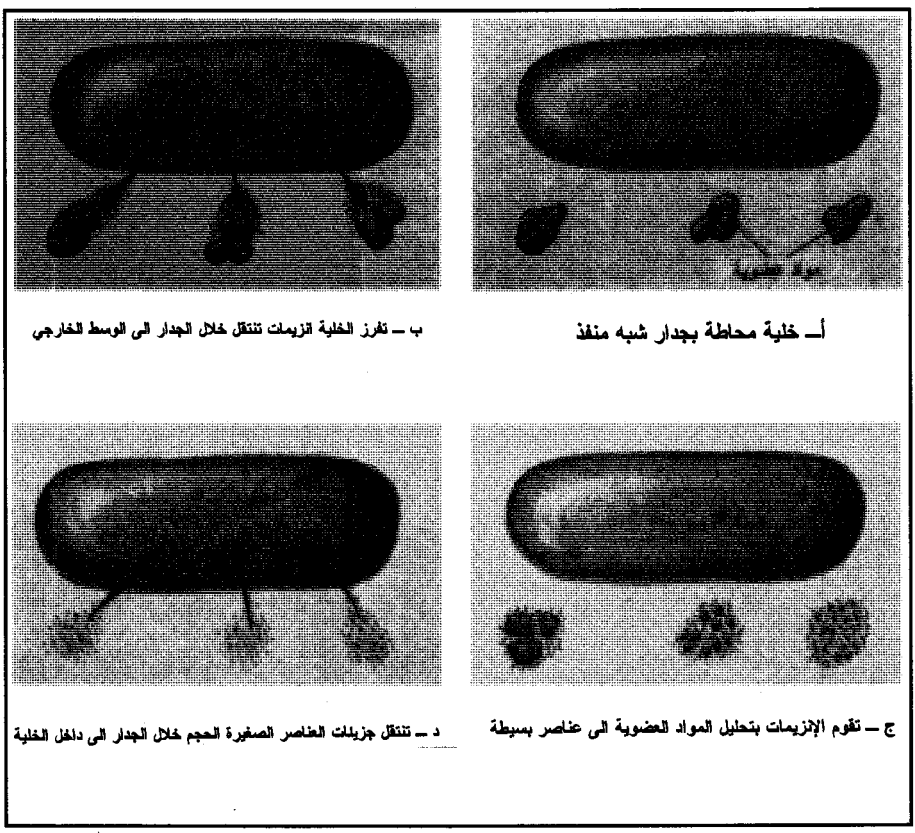
وهذه المجموعة تحصل على طاقتها من ضوء الشمس ومصدر الكربون العضوي، ومن أمثلتها البكتريا الأرجوانية غير الكبريتية.

٤ – كائنات كيميائية غير ذاتية التغذية Chemoheterotrophs

وهذه المجموعة تحصل على طاقتها من الأكسدة الكيميائية للمواد العضوية، ومصدر الكربون فيها مصدر عضوي. ويتبع هذه المجموعة أغلب الكائنات الحية مثل أغلب البكتريا والفطريات، والكائنات الحيوانية.

ولكي تحصل الميكروبات على احتياجها من العناصر الغذائية من الوسط الذي تعيش فيه، فإنه يلزم أولا أن تكون هذه العناصر في صورة جزيئات صغيرة الحجم قادرة

على النفاذ خلال الغشاء الخلوي Cell membrane للخلية. وفي حالة كون هذه الجزيئات كبيرة الحجم، فإن الخلية البكتيرية تفرز إنزيمات خارجية Exoenzyme تنتشر من خلال الغشاء الخلوي خارج الخلية لكي تحلل الجزيئات المكونة للعناصر الغذائية وتفتتها إلى جزيئات صغيرة الحجم تستطيع النفاذ من خلال الغشاء إلى داخل الخلية (الشكل رقم ٥٥).



الشكل رقم (٥٥). خطوات هضم المواد العضوية في البيئة بواسطة الإنزيمات الخارجية في خلايا البكتريا والفطريات.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

ميكانيكية امتصاص العناصر الغذائية Mechanism of Nutrients Absorbency

تحتوي البيئة التي تعيش فيها الميكروبات على العناصر الغذائية التي تمد بها الخلية، كما أن الخلية الميكروبية، وبحكم طبيعتها الحيوية، تحتاج إلى لفظ الفضلات الناجمة عن عملية الأيض إلى خارج جسمها في الوسط المحيط بها. ويؤدي الغشاء الحيوي للخلية دور الممر الذي يسمح بمرور الجزيئات والإفرازات الخلوية في كلا الاتجاهين دخولا وخروجا، وهو الجزء من الخلية المتخصص بحكم تركيبه لأداء هذا الدور.

ومع أن الجدار الخلوي يؤدي دورا جزئيا في عملية انتقال العناصر إلى داخل الخلية، فإن الدور الأساسي في هذه العملية يقوم به الغشاء الخلوي.

ويمكن تمييز ثلاث صور لانتقال العناصر خلال الغشاء من وإلى داخل الخلية وهي:

١ – الانتشار البسيط Simple diffusion

ويتبع هذا الأسلوب القانون الفيزيائي الذي يسمح بانتقال السوائل خلال الغشاء الخلوي بدون أي طاقة أو جهد مباشر من الخلية. ويُطلق على ظاهرة انتقال السوائل خلال الأغشية شبه المنفذة الاختيارية اسم الظاهرة الأسموزية Osmosis. وبموجب هذه الظاهرة فإن الغشاء الخلوي شبه المنفذ يسمح بمرور الماء بسهولة، بينما يستطيع منع مرور بعض الجزيئات الذائبة في الماء. فعلى سبيل المثال عندما يوجد محلولان ذوا تركيزين مختلفين على جانبي الغشاء الخلوي، فإن الماء سوف ينتقل بسرعة من الجانب الأقل تركيزا إلى الجانب الأكثر تركيزا، ويستمر هذا الانتقال حتى يحدث توازن في التركيز بين جانبي الغشاء. وبموجب هذه الظاهرة، فإنه يمكن تمييز ثلاث حالات مختلفة للخلية (الشكل رقم ٥٦):

أ) **Isotonic**: ويقصد به الحالة التي يكون فيها تركيز السوائل متساويا على طرفي الغشاء. أي بين داخل الخلية والوسط الخارجي الذي تعيش فيه، حيث يكون انتقال الماء من الداخل إلى الخارج والعكس متساويا تقريبا، وتكون الخلية في حالة توازن. ويشبه هذا الوضع لحد كبير وضع الخلايا المتطفلة داخل خلايا جسم العائل.

ب) **Hypotonic**: وفي هذه الحالة يكون تركيز السوائل في الوسط الخارجي منخفضا عن التركيز داخل الخلية. وينتج عن ذلك انتقال الماء عبر الغشاء الخلوي إلى داخل الخلية، مما يؤدى إلى انتفاخ الخلية، وبالتالي انفجارها أحيانا عندما تفتقد الخلية للجدار الخلوي. وتمتلك أغلب الخلايا البكترية جدرا ذات تركيب معين تستطيع بميكانيكية خاصة إعطاء الخلية مجالا للانتفاخ وزيادة حجمها دون أن تنفجر. ويؤدى تحطيم هذه المركبات في جدار الخلية إلى فقدانها لهذه الخاصية، وبالتالي تصبح أكثر عرضه للانفجار.

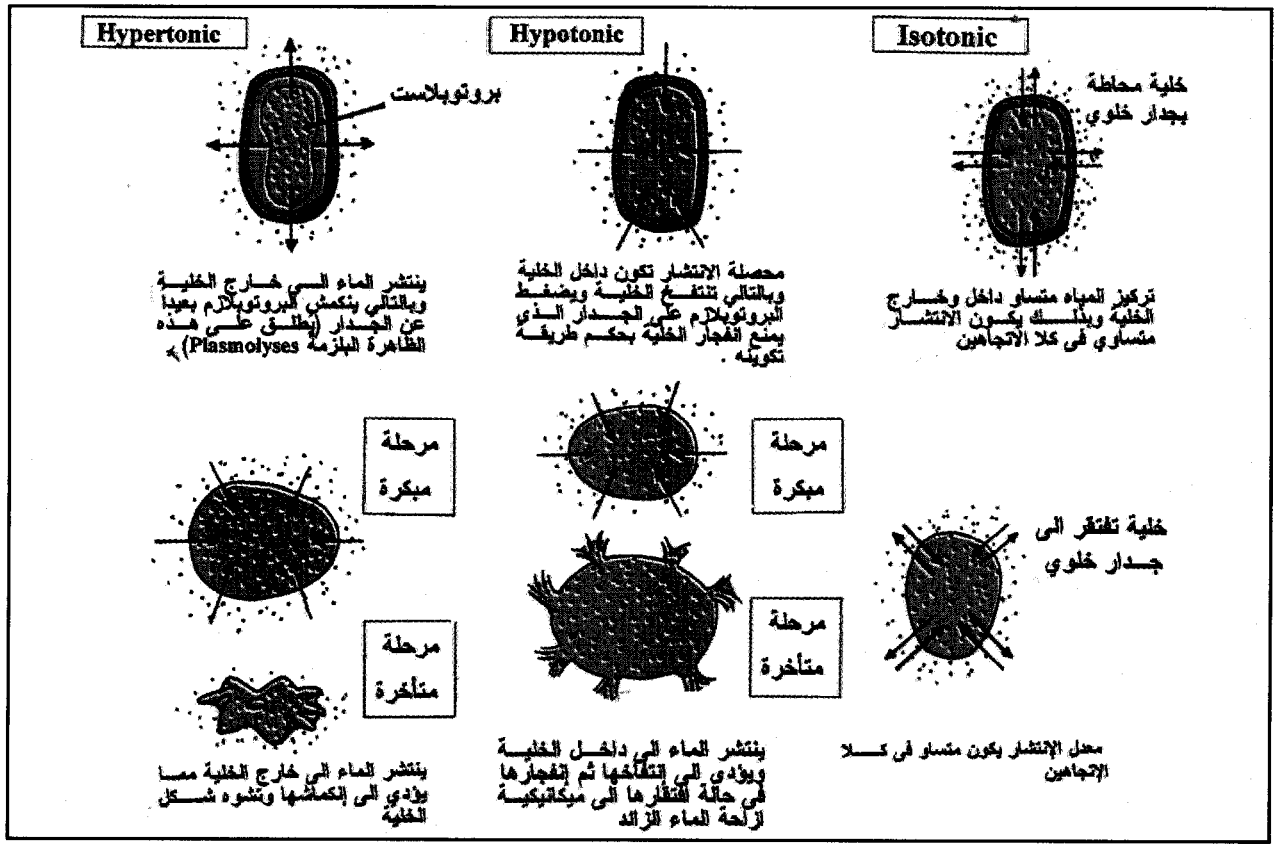
جـ) **Hypertonic**: ويسمح هذا الوضع بانتقال الماء من داخل الخلية إلى الوسط الخارجي، ويعتبر هذا من الأوضاع الخطيرة بالنسبة للخلية، لأنه يؤدى إلى تجريد الخلية من محتواها المائي. ومن صوره الواضحة، عمليات حفظ الأغذية بالتسكير والتملح، والتي تجعل الوسط الخارجي ذا تركيز مرتفع جدا مما يؤدى إلى سحب الماء بكثافة من داخل الخلية.

٢ – الانتقال الإيجابي Active transport

تعيش الميكروبات حرة المعيشة في أوساط فقيرة نوعا للعناصر الغذائية، وبالتالي فإنها لا تستطيع الاعتماد كليا على الحركة السلبية للسوائل إلى داخل الخلية. وكان من الضروري الاعتماد على وسيلة أكثر كفاءة تسمح بانتقال العناصر بكميات وسرعة أكبر. ومن أمثلتها وجود بروتينات خاصة في الغشاء، تساعد على ضخ المزيد من العناصر والسوائل إلى داخل الخلية.

٣ – الانتقال الحجمي Bulk transport

تستطيع بعض الخلايا في مجموعة الأيوكاريوتك أن تنقل جزيئات كبيرة الحجم أو حبيبات أو حتى خلايا أخرى خلال الغشاء الخلوي. وتتم هذه العملية عن طريق إحاطة هذه المواد بفجوات أو حويصلات تنقلها خلال الغشاء إلى داخل الخلية، كما هو الحال في خلايا الأميبا.



الشكل رقم (٥٦). استجابة الخلية لسوائل ذات تركيزات مختلفة.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

التغذية المختلطة Mixotrophs (Mixotrophic)

يستعمل هذا المصطلح للدلالة على قدرة بعض الكائنات على استعمال مواد مختلفة عضوية أو غير عضوية كمصدر للطاقة أو كمصدر للكربون، حيث تكون البكتريا قادرة على النمو إما في وجود الضوء أو في غيابه. ومن الأمثلة على ذلك بكتريا الكبريت الخضراء، حيث تكون قادرة على التمثيل الضوئي وتكوين الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون CO_2 في وجود مادة مانحة للهيدروجين، وهي H_2S. وفي حالات أخرى تستطيع سلالات من نفس نوع البكتريا استعمال الضوء في عملية التمثيل مع استعمال بعض المركبات العضوية البسيطة كمانحة للهيدروجين. ومن أمثلة هذه البكتريا بعض أنواع الجنس *Pseudomonas* spp.، التي تستطيع أن تؤكسد الهيدروجين بواسطة الأكسجين O_2، وتنطلق الطاقة التي تختزل ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات، وذلك عندما تنمو بطريقة ذاتية. وفي نفس الوقت تستطيع أن تعيش بطريقة غير ذاتية حيث يمكنها أن تستغني عن أكسدة الهيدروجين للحصول على طاقتها إذا زرعت في بيئة عادية بها سكريات كمصدر للطاقة والكربون.

التغذية والغذاء

مع أن أغلب أنواع البكتريا لا تستطيع الحصول على احتياجاتها من العناصر الغذائية وهي في صورة أملاح، فإن هناك أنواعا أخرى تستطيع الحصول على هذه العناصر في صورتها الحرة مثل استعمال النيتروجين الجوي في صورته الغازية مثل البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوى من أنواع جنس *Azotobacter*.

وفي عالم البكتريا توجد صور غذائية مختلفة أشد الاختلاف، خاصة فيما يتعلق بالعناصر الأساسية مثل: C، N، ذلك أن نوعا ما من البكتريا تابعا للجنس *Pseudomonas* يستطيع أن يأخذ الكربون في صورة عدد ضخم جدا من المركبات يصل إلى المائة. فعلى سبيل المثال فإنه يستطيع أن يؤكسد الكربون في صورة: جلوكوز، فركتوز، سكروز، مانيتول، جلسرين، حامض بنزويك، كحول مخفف، وعديد من الصور العضوية الأخرى. كما أنه يستطيع استغلال النيتروجين في صور مختلفة كثيرة

مثل: نترات، نشادر، أحماض أمينية. وكذلك يمكن لبعض أنواع هذا الجنس أن تستعمل الكبريت في صورته غير العضوية، إضافة إلى صورته العضوية.

ويبدو أن البكتريا على امتداد عملية تأقلمها التطوري Evolutionary adaptation على مر الأحقاب، قد استطاعت أن تكيف نفسها مع البيئة التي تعيش فيها. ولما كانت هذه البيئات مختلفة أشد الاختلاف فقد كان التأقلم متباينا وغريبا جدا، وذلك أن بعض أنواع البكتريا قد تأقلمت على استعمال حمض الفورميك وأول أكسيد الكربون (وهو غاز سام). كما أن بعض أنواع البكتريا تستطيع أقلمة نفسها بسهولة على المضادات الحيوية حيث يستطيع بعضها استخدام الإستربتومايسين مثلا كمصدر لكل من النتروجين والكربون. وكل ما ذكر أعلاه ما هو إلا أمثلة على قدرة البكتريا على التكيف مع البيئة التي تعيش فيها على مر الأحقاب. فهناك بعض أنواع البكتريا تستطيع تثبيت النيتروجين الجوى، ولكنها إذا عاشت في وسط غني بالمواد النيتروجينية فإنها تفقد قدرتها على تثبيت النيتروجين من الجو (وهو الطريق الأصعب للحصول على النيتروجين).

النمو والتكاثر في البكتريا

Growth and Reproduction in Bacteria

يعرف النمو بصفة عامة بأنه الزيادة المتوازنة في الحجم أو الوزن أو العدد، تبعا لمجال استخدام هذا المصطلح، وفي مجال البكتريا فإن الخلية عندما تتغذى تغذية كافية، وتتهيأ لها الظروف البيئية المناسبة فإنها تنمو بطريقتين:

١٢- نمو في الحجم، أي تزداد كمية البروتوبلازم ويكبر حجم الخلية.

١٢- تنشط في عملية الانقسام، والتكاثر، وبالتالي تزداد أعداد الخلايا البكتيرية في المستعمرة.

فعندما توضع خلية بكترية على بيئة غذائية مناسبة وتحضن تحت ظروف مثالية، فإنها تتكاثر ويزداد عددها زيادة هائلة في مدة قصيرة. فبعض الأنواع يصل عدد

الخلايا فيه إلى أقصى مداه في مدة لا تزيد عن ٢٤ ساعة، حيث يصل عدد الخلايا إلى ١٠-١٥ بليون خلية/ملليمتر. وتتم هذه الزيادة في العدد عن طريق الانقسام الثنائي البسيط Transverse binary fission، أو التكاثر اللاجنسي في الخلية.

ويعتبر هذا النوع من الانقسام هو الوسيلة المعتادة للتكاثر في دورة حياة البكتريا، حيث تتضخم الخلية الأم في الحجم ويتضاعف الكرموسوم وينشأ حاجز عرضي يقسم الخلية عرضيا إلى قسمين متساويين ومتماثلين، كل منهما يحوي نفس الكمية من المادة الوراثية والسيتوبلازم. وتتم هذه العملية بصورة متوالية هندسية وبسرعة كبيرة جدا لأن الخلية البنوية الناتجة تبدأ في الانقسام بمجرد بلوغها مرحلة النضج، ويتم ذلك في بعض الأنواع في مدة ١٨ دقيقة. ويلاحظ أن هذا المعدل في سرعة الانقسام يستمر ما دامت الظروف البيئية المحيطة مناسبة. غير أن الواقع يختلف لأن تراكم النواتج والإخراجات البكتيرية في البيئة يؤدى إلى تدهور الظروف، وبالتالي التأثير السلبي على سرعة الانقسام والتكاثر. (ومن التصورات النظرية لتقريب الإحساس بأعداد البكتريا الناتجة، فإن العلماء يقدرون بأنه في حالة استمرار الظروف البيئية مناسبة للتكاثر بهذا المعدل فإن خلية بكتيرية واحدة تستطيع أن تنتج بعد عدة أيام من التكاثر كتلة من البكتريا تساوي تقريبا حجم الكرة الأرضية). غير أنه من لطف الله بنا أن هذا غير ممكن الحدوث في الواقع.

ومع أن هذه هي الطريقة الأكثر شيوعا للتكاثر في البكتريا، فإن هناك بعض الأنواع تنتهج نهجا مختلفا مثل التكاثر بالتفتت (الأكتينوميسيتات) أو بتكوين البراعم ...إلخ.

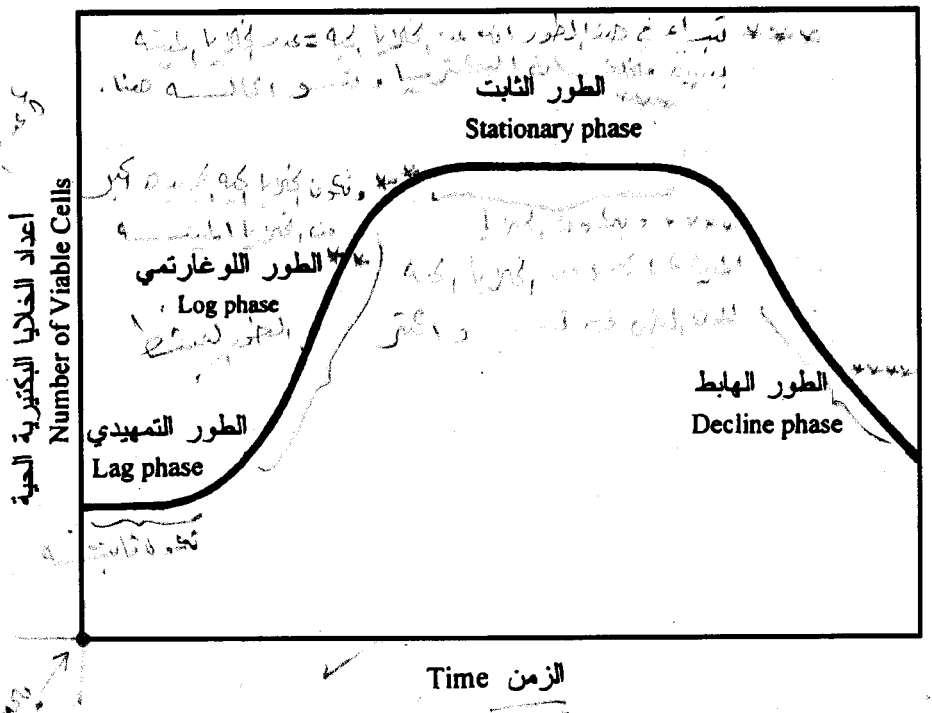
ولا يزال من غير المعروف على وجه التحديد لماذا تقدم البكتريا على الانقسام عندما تصل إلى مرحلة معينة من النمو؟ هل هي نسبة السطح إلى الحجم، أم نسبة المحتويات النووية إلى كمية البروتوبلازم الخلوي، أم احتواء الخلية على كمية من بعض المواد الأيضية اللازمة لإنتاج الطاقة الكافية لحدوث الانقسام، أم أن الخلية تقدم على الانقسام نتيجة زيادة نشاط الإنزيمات المسئولة عن تخليق الجدر الجديدة للخلية؟

إن امتلاك خلايا البكتريا لهذه القدرة الفائقة على التكاثر وزيادة عددها له تأثير ونتائج هامة وكبيرة جدا في مجالات انتشار الأمراض المعدية، ومقاومة الميكروبات وفي مجال التقنية الحيوية.

منحنى النمو البكتري Bacterial Growth Curve

يطلق على الوقت اللازم لإتمام دورة الانقسام Fission cycle من خلية أبوية إلى خليتين بنويتين اسم الزمن الجيلي Generation time أو زمن المضاعفة Doubling time. وما دامت الظروف البيئية المحيطة بالخلية في صورتها المناسبة، فإن عملية التكاثر هذه تتم بصوره ثابتة، أي تتم مضاعفة أعداد الخلايا بعد انتهاء كل زمن جيلي واحد. ويستدل من طول الزمن الجيلي على معدل النمو للكائن. ويتراوح طول الزمن الجيلي للخلايا البكتيرية تحت الظروف المناسبة بين ٣٠ و٦٠ دقيقة. غير أن هناك خلايا يصل فيها هذا الزمن إلى ٥ دقائق، ويصل في أخرى إلى أيام فعلى سبيل المثال هناك النوع *Mycobacterium leprea* يتراوح طول الزمن الجيلي فيها بين ١٠ و٣٠ يوما، بينما يتراوح في الأنواع *Salmonella enteritidis*، *Staphylococcus aureus* بين ٢٠ و٣٠ دقيقة، والأخيرة تفسر سرعة فساد الأغذية بعد فترة قصيرة من تركها عند درجة حرارة الغرفة وحدوث عمليات التسمم، حيث يستطيع عدد بسيط جدا من هذه الخلايا سريعة التكاثر أن يصل إلى عدة ملايين في ساعات معدودة.

ويمكن حساب معدل النمو للمستعمرة البكترية (زيادة عدد أفرادها) باستخدام عدة طرق كمية منها: رسم خط بياني يوضح العلاقة بين أعداد الخلايا المتكونة (إما بصورة فعلية أو لوغاريتمية) وبين الزمن (الشكل رقم ٥٧)، ويلاحظ أنه في حالة رسم العلاقة بين لوغاريتم أعداد الخلايا وبين الزمن، فإنه ينتج لدينا خط مستقيم بينما في حالة استعمال العدد الفعلي للخلايا ينتج لدينا منحنى. وفي الغالب يفضل الخط اللوغاريتمي، وذلك لإمكانية الحصول على أعداد الخلايا بدقة أكثر.



الشكل رقم (٥٧). العلاقة بين لوغاريتم عدد الخلايا الحية مع الزمن (منحنى النمو البكتري).

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

ويمكن حساب عدد خلايا البكتريا في أي مرحلة من مراحل منحنى النمو باستخدام المعادلة التالية: $Ns = (Ni)2^n$ حيث:

Ns = العدد الكلي للخلايا في نقطة ما في منحنى النمو.

Ni = العدد المبدئي الذي بدأت به الانقسام.

n = يرمز لعدد الأجيال.

2^n = عدد الخلايا في الجيل الواحد.

ويلاحظ أنه في حالة معرفة عاملين من العوامل في المعادلة، فإنه يمكن بواسطتها معرفة العاملين الآخرين. ويمكن توضيح ذلك بالمثال التالي على البكتريا *Staphylococcus aureus*. لتقدير عدد الخلايا البكترية الموجودة في طبق طعام ترك لمدة ٤ ساعات في جو دافئ، وبافتراض العدد المبدئي الذي كان موجودا في الطبق Ni هو ١٠ خلايا، فإننا نستطيع تقدير قيمة n بقسمة ٤ ساعات (٢٤٠ دقيقة) على الزمن الجيلي وهو فرضا ٢٠ دقيقة= ٢٤٠/٢٠ =١٢، أي أن $2^n = 2^{12}$ = ٤٠٩٦. أي أن القيمة النهائية لعدد الخلايا في الطبق بعد أربع ساعات = ١٠×٤٠٩٦ =٤٠٩٦٠ خلية. وبنفس المبدأ يمكن تقدير الزمن الجيلي لأي نوع بكتري.

العوامل المحددة لطبيعة نمو المستعمرة البكترية

إن ما ذكر أعلاه هو افتراض نظري يوضح معدلات الانقسام والزيادة العددية لمستعمرة بكترية في حالة ما إذا كان مختلف الظروف البيئية والغذائية في صورها المناسبة. غير أن الواقع يختلف. ففي الأحوال الطبيعية لا يمكن لخلايا البكتريا أن تتكاثر ويتضاعف عددها بصورة لانهائية، فهناك عديد من العوامل التي تمنع خلايا البكتريا من مضاعفة عددها واستمرار الانقسام حتى معدلاته العظمى. فقد أثبتت الدراسات المختبرية أن عدد الخلايا البكترية في المستعمرة يتزايد عددها وفق نمط ثابت Pattern يطلق عليه اسم منحنى النمو Growth curve (الشكل رقم ٥٧)، وهو يوضح العلاقة بين عدد الخلايا الحية في المستعمرة وبين الزمن. ولشرح طبيعة هذا المنحنى وتبسيط فهم أجزائه المختلفة فإن هناك عاملين يجب معرفتهما هما:

١ - إن العناصر الغذائية في المستعمرة البكترية والمساحة التي تستطيع استغلالها هما عاملان محددان، أي قابلان للنفاذ.

٢ - إنه ليست هناك ميكانيكية لإزاحة الفضلات الناتجة من آلاف الخلايا في المستعمرة، أي أنها تتراكم داخل مساحة المستعمرة.

وهذان العاملان، كما سوف نلاحظ، لهما تأثير في طبيعة سرعة التكاثر وعدد الخلايا الحية في المستعمرة خلال مدة زمنية معينة. واستنادا إلى سرعة تكاثر البكتريا داخل المستعمرة فإن منحنى النمو البكتيري (الشكل رقم ٥٧) يُقسم إلى أربعة أطوار هي:

١ - الطور التمهيدي Lag phase

ويمثل المرحلة المبدئية التي تكون فيها الخلايا التي تبدأ بها المستعمرة في مرحلة أقلمة نفسها على الظروف البيئية الجديدة، حيث تبدأ في امتصاص الماء وتنتفخ ويكبر حجمها، وتزداد زيادة بسيطة في العدد، ويكون هذا الجزء أفقيا لحد ما، ويختلف طول هذه المرحلة من نوع بكتيري لآخر.

٢ - الطور النشيط Exponential (Log) phase

ويعتبر هذا الطور أنشط الأطوار في حياة المستعمرة، حيث تكون المواد الغذائية والظروف البيئية في المستعمرة في أفضل صورها، ونتيجة لذلك تتكاثر الخلايا ويزداد عددها زيادة كبيرة جدا، ويأخذ المنحنى شكلا تصاعديا رأسيا بسرعة متزايدة. ويكون هنا عدد الخلايا الجديدة المتكونة أكبر من الخلايا الميتة.

٣ - الطور الثابت Stationary phase

وفي هذه المرحلة يأخذ خط المنحنى شكلا أفقيا ثابتا معبرا عن أن عدد الخلايا الميتة في المستعمرة مساو تقريبا لعدد الخلايا المتكونة نتيجة الانقسام. وسبب هذه الزيادة في الخلايا الميتة هو تدهور الظروف في المستعمرة، مثل نقص الغذاء نتيجة المنافسة الشديدة بفعل زيادة أعداد خلايا المستعمرة، نقص الأكسجين في البيئة، تراكم الإفرازات والفضلات التي تفرزها ملايين خلايا المستعمرة، تغير درجة الحموضة pH. وجميع هذه الظروف تجعل وسط المستعمرة غير ملائم، مما يؤدى إلى موت مزيد من الخلايا.

٤- الطور الهابط (طور الموت) Decline (Death) phase

ويأخذ شكل المنحنى اتجاها منحدرا لأسفل، معبرا عن تزايد عدد الخلايا الميتة في المستعمرة عن الخلايا المتكونة نتيجة ازدياد سوء الظروف البيئية في المستعمرة (المذكورة أعلاه). ويمكن إبطاء سرعة موت الخلايا بوضع هذه المستعمرات داخل الثلاجات في درجة حرارة منخفضة، مما يساعد على بقاء خلايا المستعمرة نشيطة وحيوية لأطول مدة ممكنة.

الأهمية التطبيقية لمنحنى النمو Applied Importance of Growth Curve

يعتبر منحنى النمو البكتري بأجزائه (أطواره) المختلفة المعبرة عن نشاط وحيوية خلايا البكتريا ذا أهمية قصوى في التعامل مع البكتريا، وبالذات في مجالات: مقاومة البكتريا، الإصابات المرضية، فساد الأغذية الميكروبي... إلخ. فعلى سبيل المثال تكون الخلايا البكترية في الطور النشيط أكثر حساسية وعرضة للموت بفعل الحرارة والكيماويات، مقارنة بالأطوار الأخرى.

وبصفة عامة، فإن الخلايا عندما تكون في أوج نشاطها التكاثري، فإنها تكون أكثر عرضه للتأثر بالعوامل التي تؤدي إلى تعطيل عمليات الأيض والتكاثر في الخلية. ومن الناحية المرضية، فإن الخلايا المتكونة في مرحلة الطور النشيط تكون أكثر ضراوة ونشاطا في إحداث المرض مقارنة بتلك الخلايا المتكونة في الأطوار المتأخرة. كما أن معدل الإصابة المرضية يتأثر بسرعة تكاثر الخلايا داخل العائل. فالخلايا في الطور النشيط تتكاثر بسرعة فائقة قد تفوق قدرة الجسم على تكوين الأجسام المضادة للحد من تقدم المرض.

ومن الأمور التي ينصح بها في التعامل مع المستعمرات البكترية في المعمل هو عدم تحضين المستعمرات عند درجة الحرارة المناسبة بعد مرحلة الطور النشيط، لأن ذلك سوف يؤدي إلى سرعة وزيادة أعداد الخلايا، وبالتالي زيادة الضغط على الظروف البيئية والغذائية في المستعمرة وتنتج عنه زيادة موت أعداد أكبر من

المستعمرات وتدهور ظروفها. ويفضل أن تتم عمليات الصبغ لدراسة الخلايا في مرحلة الطور النشيط (باستثناء صبغ الجراثيم)، لأن ذلك سوف يعطى خلايا مكتملة نشيطة توضح أجزاءها المختلفة.

تأثير بعض العوامل البيئية على نمو البكتريا

تتعرض الميكروبات - شأنها شأن بقية الكائنات الحية - لعدد من العوامل البيئية التي تؤثر فيها سلبا وإيجابا. ومن الدراسات البيئية الهامة في علم الميكروبيولوجي دراسة الوسائل والميكانيكية التي تمكن الميكروبات من التعامل مع مختلف هذه العوامل في البيئة المحيطة بها وأقلمة نفسها للمعيشة والتكاثر في ظلها. ومن أهم هذه العوامل البيئية المؤثرة (الحرارة، الأكسجين، درجة الحموضة، الملوحة، الضغط، الإشعاعات).

وتعتبر عملية التأقلم مع العوامل البيئية المحيطة عملية معقدة، وهي عبارة عن محصلة تغيرات بيوكيميائية ووراثية تمكن الكائن من البقاء لمدة طويلة والتكاثر تحت ظروف بيئية معينة. وباختصار يمكن القول إن العوامل البيئية المحيطة تؤثر في فعالية ونشاط إنزيمات الأيض داخل الخلية. وبالتالي فإنه بقدر ما يستطيع النظام الإنزيمي للخلية أقلمة نفسه على التغيرات في ظروف البيئة المحيطة، تستطيع الخلية البقاء والتكاثر تحت هذه الظروف. وسوف نتحدث بنوع من التفصيل عن بعض هذه العوامل:

درجة الحرارة Temperature

تعتبر درجة حرارة البيئة من أهم العوامل المؤثرة في الأحياء الدقيقة، شأنها في ذلك شأن بقية الكائنات الحية. وفي واقع الأمر فإن الأحياء الدقيقة تعتبر أكثر حساسية وتأثرا بدرجة حرارة الوسط الذي تعيش فيه من بقية الكائنات لكونها وحيدة الخلية، وأن أي تغيير في حرارة الوسط ينعكس بسرعة فائقة على درجة حرارة الخلية. وتؤثر درجة الحرارة على نمو الخلية عن طريق تأثيرها الفعلي على النشاط الإنزيمي في عملية الأيض داخل الخلية. ففي درجات الحرارة المنخفضة يلاحظ أنه بارتفاع درجة الحرارة يزداد النشاط الإنزيمي داخل الخلية (بحيث يتضاعف كل ١٠°م). ونتيجة لذلك تزداد

فاعلية مجمل عمليات الأيض داخل الخلية، وبالتالي ينمو الميكروب بمعدل أسرع. هذا ويزداد النشاط الإنزيمي فاعلية بارتفاع درجة الحرارة حتى نقطة معينة تصبح عندها درجة الحرارة مثبطة للنشاط الإنزيمي، وبالتالي يتباطأ النمو. وبمزيد من الارتفاع في درجات الحرارة تصبح قاتلة للخلية عن طريق تدمير النشاط الإنزيمي وتدمير الغشاء الخلوي وإذابة مركبات الدهون الموجودة.

ولكل كائن حي نطاق حراري .Cardinal temp يتحدد بدرجة حرارة صغرى .Minimum temp، ودرجة حرارة عظمى .Maximum temp، ودرجة حرارة مثلى .Optimum temp. ويختلف النطاق الحراري اختلافا كبيرا من نوع بكتري لآخر. ولو أن الدرجة المثلى للنمو تكون دائما أقرب إلى الدرجة العظمى منها إلى الصغرى. كما يلاحظ أن النطاق الحراري لأي نوع لا يكون مطلقا، بل يتغير أحيانا اعتمادا على مجموعة من العوامل البيئية المحيطة بالكائن، مثل درجة الحموضة pH، نوع العناصر الغذائية في البيئة وكميتها.

واستنادا إلى مدى النطاق الحراري، فإنه يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة إلى خمس مجموعات كالتالي:

١ - **Psychrophiles** وتشمل الكائنات التي تفضل المعيشة والنمو عند درجات الحرارة المنخفضة، والتي يكون نطاقها الحراري (.Min صفر °م، .Opt ١٥°م، .Max ٢٠°م). ومن أمثلتها طحلب الكلاميدوموناس *Chlamydomonas nivalis*، والذي يعيش في المحيطات والبحار الباردة، وبعض أنواع البكتريا مثل أنواع الجنس *Pseudomonas*، وأنواع الجنس *Achromobacter*. وتتميز هذه المجموعة بأن النشاط الأيضي والإنزيمي فيها يعمل بكفاءة أكبر عند درجات الحرارة المنخفضة، ويحتوي غشاؤها الخلوي على نسبه عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة. ويلاحظ أن المحتويات الخلوية لهذه الكائنات تبدأ في التفكك والسيلان عند درجات تزيد عن ٢٠°م.

٢- **Psychrotrophs (Facultative Psycrophiles)**: وتضم بعض الأحياء الدقيقة التي تستطيع النمو عند درجة صفر °م مع أن درجتها المثلى تتراوح بين ٢٠ و٣٠°م، والدرجة العظمى لها تصل إلى ٣٥°م. وتضم بعض أنواع البكتريا والفطريات المسؤولة عن فساد الأغذية داخل الثلاجات.

٣- **Mesophiles**: وتشمل الأحياء الدقيقة التي تكون درجتها المثلى بين ٢٠ و٤٥°م، والصغرى ١٥ و٢٠°م، والعظمى تصل إلى ٤٥°م. وتقع أغلب الأحياء الدقيقة بما فيها جميع المسببات المرضية للإنسان- ضمن هذه المجموعة.

٤- **Thermophiles**: وتضم هذه المجموعة الكائنات التي تتراوح درجتها المثلى بين ٥٥ و٦٥°م، والدرجة الدنيا لها ٤٥°م. وتتميز الأنواع التابعة لهذه المجموعة بأن نظامها الإنزيمي يكون أكثر ثباتا وفاعلية عند درجات الحرارة المرتفعة، كما أن غشاءها الخلوي يحتوي على أحماض دهنية مشبعة، وبالتالي فإن غشاءها الخلوي يكون أكثر ثباتا عند الدرجات المرتفعة. وتوجد هذه المجموعة في المواد العضوية المتخمرة والتي تنتج عنها درجات حرارة عالية مثل تخمر السيلاج وفي الينابيع الحارة، ...إلخ. وأغلبها من البكتريا باستثناء بعض أنواع الفطريات.

٥- **Hyperthermophiles**: هناك أنواع من البكتريا تستطيع أن تنمو عند درجات حرارة مرتفعة جداً وتتراوح درجتها المثلى بين ٨٠ و١١٠°م، ودرجتها الدنيا حوالي ٥٥°م. ومن أمثلتها بعض الأنواع التي تستوطن قيعان البحار في المناطق الحارة مثل النوع *Pyrococcus abyssi*.

* الأكسجين Oxygen

تقسم البكتريا إلى خمس مجموعات استنادا إلى طبيعة احتياجها للأكسجين:

١- بكتريا لا تنمو إلا في وجود الأكسجين، أي أن غيابه يؤدى إلى منع نموها. ويطلق عليها اسم بكتريا هوائية إجبارية Obligate aerobic، ومن أمثلتها النوع *Bacillus subtilis*.

٢- بكتريا لا تستطيع النمو في وجود الأكسجين، أي أن وجود الأكسجين في بيئتها يؤدى إلى موتها. وهذه يطلق عليها لاهوائية إجبارية Obligate anaerobic، ومن أمثلتها أنواع الجنس *Clostridium*.

٣- بكتريا لا تحتاج الأكسجين في عملية النمو، ولكنها تستطيع النمو في وجوده بصورة أفضل. وهذه يطلق عليها بكتريا اختيارية Facultative anaerobic، ومن أشهر أمثلتها النوع *Enterococcus faecalis*.

٤- بكتريا لا تحتاج الأكسجين لكي تنمو ولكنها أيضا لا تتأثر بوجوده أو غيابه، أي أنه لا يؤثر فيها سلبا أو إيجابا، ويطلق عليها Aerotolerant anaerobic مثل النوع *Clostridium pasteurianum*.

٥- أنواع قليلة جدا من البكتريا تحتاج إلى كميات ضئيلة من الأكسجين تقل عن النسبة الموجودة في الهواء الجوي (٢٠٪). وهذه البكتريا تحتاج إلى نسبة أكسجين تتراوح بين ٢ و١٠٪، بينما تموت عند التركيزات العالية من الأكسجين، كتلك الموجودة في الهواء الجوى، ويطلق على هذه المجموعة Microaerophilic.

ويلاحظ أن بعض المجموعات الميكروبية يمكن أن يوجد بها أكثر من صورة من صور الاستجابة للأكسجين. وبصفة عامة فإن البكتريا تضم جميع الصور الخمس المذكورة أعلاه بعكس الفطريات التي تكون غالبا هوائية باستثناء الخمائر.

ونظرا للاختلاف الواضح في الاحتياجات الميكروبية للأكسجين، فقد كان من الطبيعي استعمال وسائل وتقنيات مختلفة لتنمية هذه الميكروبات في المختبر، حيث تستخدم وسائل خاصة لتنمية البكتريا اللاهوائية، تعتمد على امتصاص الأكسجين الموجود في البيئة بحيث يصبح جو البيئة لاهوائيا.

درجة الحموضة pH

يستخدم الرمز pH للدلالة على نشاط أيون الهيدروجين H^+ في المحلول، ويعرف بأنه "اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول". ويتراوح قياس الـ pH بين

صفر و ١٤. وتمثل كل وحدة من هذه الوحدات الأربع عشرة (عشرة أضعاف التغير الحادث في التركيز الأيوني للهيدروجين). وتتراوح البيئات التي تنمو فيها الأحياء الدقيقة بين شديدة الحموضة أي pH =١ أو ٢ ، وبيئات قاعدية تصل إلى pH =٩ أو ١٠.

وتؤثر درجة حموضة البيئة تأثيرا كبيرا في نمو الميكروبات ، بحيث يوجد لكل نوع درجة حموضة مثالية ينمو عندها ، ونطاق معين يستطيع النمو خلاله. واستنادا إلى درجة حموضة البيئة فإن الميكروبات تقسم إلى المجموعات التالية :

١ – **كائنات محبة للحموضة المرتفعة Acidophiles :** وهذه تفضل النمو عند درجات حموضة عالية ، بحيث يتراوح أفضل نمو لها عند pH يتراوح بين صفر و٥,٥.

٢ – **كائنات محبة للحموضة المعتدلة Neutrophiles :** وتنمو عند درجات حموضة pH تتراوح بين ٥,٥ و٨.

٣ – **كائنات محبة للقلوية العالية Alkalophiles :** وتفضل النمو عند درجات حموضة pH تتراوح بين ٨,٥ و١١,٥. وبصفة عامة تميل البكتريا والبروتوزوا إلى تفضيل النمو عند الدرجات المعتدلة Neutrophiles ، بينما تميل الفطريات إلى النمو في الوسط الحمضي pH ٤-٦.

غير أن هناك حالات استثنائية منها على سبيل المثال طحلب *Cyanidium caldarium* وبكتريا *Sulfalopus acido caldarius* تفضل دائما المعيشة في الأوساط الحمضية مثل الينابيع الحارة ذات الحموضة المرتفعة ، والتي تتراوح درجة الـ pH فيها بين ١ و٣ ، ودرجات حرارتها مرتفعة جدا.

ومع أن الكائنات الحية الدقيقة تستطيع النمو خلال نطاق واسع من درجة الحموضة ، فإنه هناك حدا معينا لتحملها ، حيث تؤدى الحموضة المرتفعة إلى تدمير الغشاء البلازمي للخلية وتثبيط الغشاء الإنزيمي ونشاط البروتينات في الأغشية المسؤولة

عن نقل بعض العناصر الغذائية إلى داخل الخلية. وغالبا تموت الخلية البكترية إذا وصلت درجة الحموضة داخلها إلى pH ٥-٥,٥. كما أن التغير الحاصل في درجة حموضة الوسط قد يؤدى إلى تخفيض مدى الاستفادة من العناصر الغذائية في الوسط.

وتملك أغلب أنواع البكتريا ميكانيكية خاصة لمساعدتها على أقلمة نفسها للتغير الحاصل في درجة حموضة الوسط. فعلى سبيل المثال تؤدي أيونات البوتاسيوم والصوديوم دورا في تصحيح الاختلافات البسيطة في درجة الحموضة، وفي حالة الارتفاع الكبير في درجة الحموضة فإن هناك ميكانيكية أخرى تتمثل في قدرة البكتريا على تخليق سلسلة من البروتينات التي تؤدي دورا خاصا في زيادة قدرتها على أقلمة نفسها، ويطلق على هذه الميكانيكية "استجابة التحمل للحموضة Acidic tolerance responses".

الملوحة Salinity

نظرا لكون التجويف الداخلي للخلية يفصل عن الوسط الخارجي بواسطة غشاء بلازمي شبه منفذ، فقد كان من الطبيعي أن أي تغيير في الضغط الإسموزي للوسط البيئي سوف يؤثر في المحتوى المائي للخلية. فإذا كان الوسط الخارجي المحيط بالخلية ذا تركيز إسموزي أقل من داخل الخلية Hypotonic، فإن الماء سوف يدخل خلال الغشاء البلازمي إلى داخل الخلية بكميات كبيرة، مما يمكن أن يؤدى إلى انفجارها ما لم توجد ميكانيكية خاصة لموازنة هذا التأثير. وتمتلك أغلب البكتريا والطحالب والفطريات جدارا خلويا صلبا نوعا ما يعطيها الشكل المميز لها ويحفظها من الانفجار. كما أن أغلب الأحياء الدقيقة تمتلك ميكانيكية خاصة تستطيع بواسطتها حفظ الضغط الإسموزي للبروتوبلازم أعلى مما هو في الخارجي (باستعمال محاليل متوافقة Compatible solutions) بحيث يبقى الغشاء البلازمي دائما في حالة انتفاخ ومضغوط في اتجاه الجدار الخلوي.

أما إذا وجدت البكتريا في وسط ذي تركيز أعلى مما هو في داخل الخلية Hypertonic، فإن الماء سوف يخرج من الداخل إلى الوسط الخارجي، مما يؤدى إلى انكماش الغشاء البلازمي وحدوث ما يسمى بعملية البلزمة Plasmolysis والذي يؤدى تدريجيا إلى تجفيف الخلية وتدمير الغشاء البلازمي؛ ومع أن أغلب أنواع البكتريا تعيش في الوسط شبه المتعادل فإن هناك القليل منها يعيش في أوساط مالحة مثل البحار ويطلق عليها محبة للملوحة Halophiles. وهذه الأنواع تفضل النمو عند محاليل ملحية تركيزها حوالي ٢٥٪ من كلوريد الصوديوم NaCl، ولا يقل عن ١٥٪، ومن أمثلتها الجنس *Halobacterium*. ويلاحظ أن هذه الأنواع من البكتريا تمتلك مواصفات خاصة في جدارها الخلوي تمكنها من أقلمة نفسها لهذه الظروف. وهذه البكتريا تتحلل إذا وضعت في أوساط محاليل ذات تركيزات منخفضة Hypotonic. وتستعمل هذه الخاصية في مجال حفظ الأغذية باستعمال عمليات التمليح والتسكير لخلق أوساط ذات تركيزات عالية لمنع نمو البكتريا والفطريات المفسدة للأغذية. غير أن هذه العمليات ليست دائما فعالة، حيث من الممكن أن تنمو بعض الميكروبات ذات القدرة على المعيشة تحت هذه الظروف Osmophiles وتؤدى إلى فساد الأغذية.

الضغط Pressure

إن أغلب أنواع الأحياء الدقيقة تعيش على سطح الأرض وتخضع للضغط الجوي المعتاد - شأنها شأن بقية الكائنات الحية الأخرى - ولا تتأثر بهذا الضغط، غير أن هناك أنواعا أخرى تعيش في أعماق البحار والمحيطات تتحمل ضغوط جوية مرتفعة جدا قد تصل إلى ٦٠٠ ضغط جوى، ويطلق مصطلح Barotolerent على أنواع البكتريا التي تستطيع تحمل الضغوط المرتفعة ولا تتأثر كثيرا بها. وفي المقابل هناك أنواع تفضل المعيشة تحت ضغوط عالية جدا، ويطلق عليها Barophilic وتؤدي هذه الأنواع دورا في تحليل المواد الغذائية والعضوية في أعماق البحار. وقد تم عزل بعضها من أعماق تصل

إلى ١٠٥٠٠ م في البحار. وهذه لا يمكن تنميتها تحت ضغط يقل عن ٤٠٠ أو ٥٠٠ ضغط جوى ودرجة حرارة ٢°م.

الإشعاعات Radiation

تطلق الشمس سيلا من الإشعاعات الكهرومغناطيسية في اتجاه كوكب الأرض. وتتكون هذه الإشعاعات من موجات ذات أطوال مختلفة. وأصبح معلوما أنه كلما قصر طول الموجة الكهرومغناطيسية، زادت طاقتها الإشعاعية، ويقع حوالي ٦٠٪ من أشعة الشمس ضمن مدى الإشعاعات تحت الحمراء، التي تشكل المصدر الأساسي للحرارة على سطح الأرض. ويلاحظ أن سطح الأرض لا تصله إلا نسبة ضئيلة جدا من الإشعاعات التي يقل طولها عن ٢٩٠-٣٠٠ نانومتر، لأن الأشعة فوق البنفسجية التي يقل طولها عن ٢٨٧ نانومترا تمتص بواسطة الأكسجين O_2 الموجود في الغلاف الجوي الذي يتحول إلى غاز الأوزون O_3، حيث يكون الأوزون طبقة يتراوح سمكها بين ٢٥ و٣٠ كيلو مترا تحيط بسطح الكرة الأرضية، والتي بدورها تمتص الإشعاعات فوق البنفسجية ذات الموجات الأطول نوعا من ٢٨٧ نانومترا (Prescot, *et al.*, 1996).

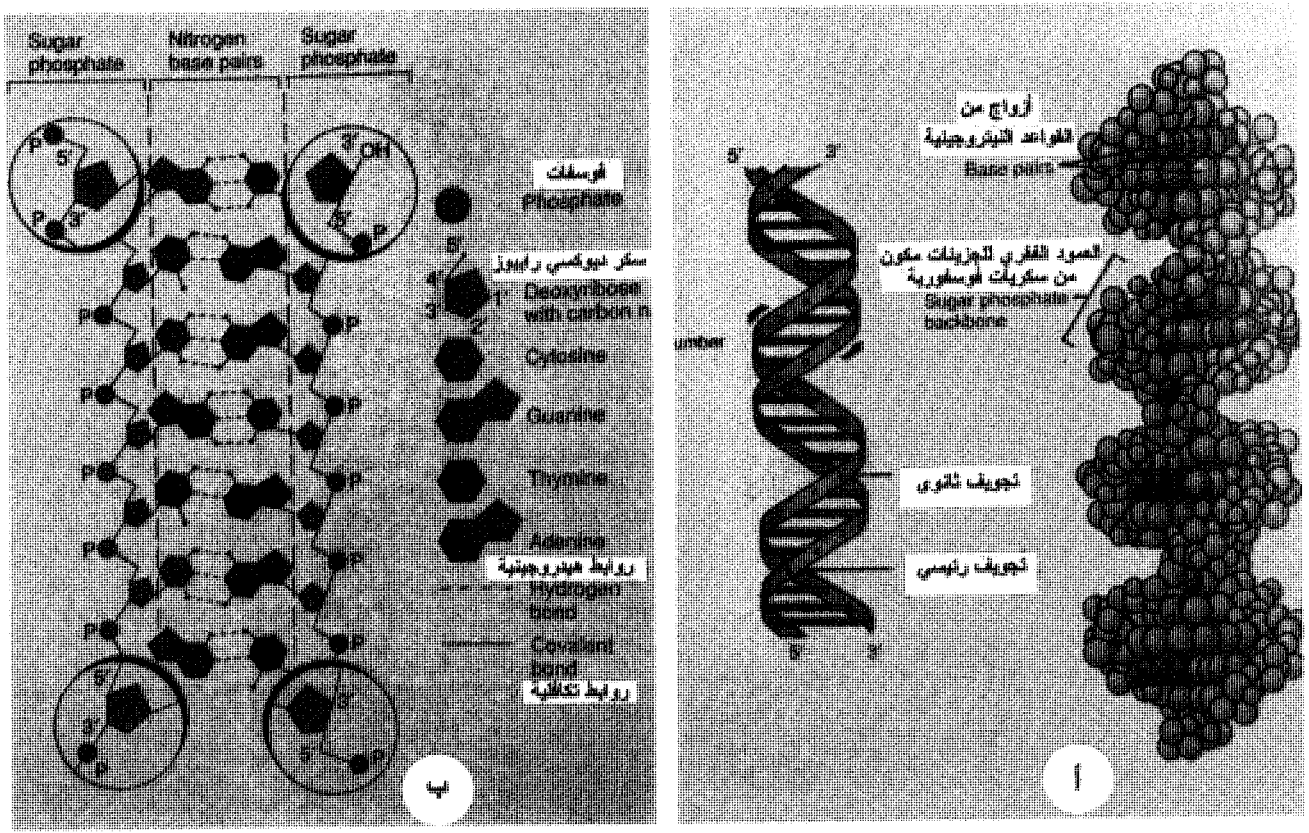
وتعتبر الإشعاعات قصيرة الموجة أو(شديدة الطاقة) ذات تأثير ضار ومدمر على الخلايا الحية، بحيث كلما قصر طول الموجة، زاد تأثيرها الضار والمتمثل في تأين الخلية Ionizing، وقد ثبت أن الأشعة المتأينة عند المستويات المنخفضة تؤدي إلى حدوث الطفرات في الخلايا، وربما تؤدى بصورة غير مباشرة إلى موتها. أما الإشعاعات المتأينة عند مستوياتها العالية فإنها قاتلة حتما للخلية. وتستعمل الأشعة القصيرة مثل فوق البنفسجية UV في عمليات التعقيم في المختبرات لبعض الأجهزة والمعدات. كما أن الأشعة المرئية للشمس (ذات الموجات الطويلة) من الممكن أن تكون ضارة للخلايا في حالة التعرض لها لمدة طويلة وبتركيز كبير، وتحتوي بعض الخلايا على صبغات خاصة تستطيع امتصاص الإشعاعات الشمسية، وتقلل من تأثيرها الضار على الخلية.

الوراثة في البكتريا Genetics in Bacteria

تركيب ووظيفة المادة الوراثية

يعرف الكروموسوم Chromosome بأنه ذلك التركيب الخلوي الذي يتكون من جينات تحمل بدورها الصفات الوراثية، وتتكون من الحمض النووي DNA (Desoxy ribonucleic acid)، وهذا الحمض النووي هو جزيئات كبيرة تتكون من وحدات مكررة يطلق علي الواحدة منها اسم Nucleotide، وكل وحدة من هذه الوحدات تتكون بدورها من قاعدة نيتروجينية (أدينين، ثيامين، سايتوسين أو جوانين) + سكر خماسي يسمى دي أوكسي رايبوز + مجموعة فوسفات. ويوجد الحمض النووي داخل الخلية في صورة خيطين طويلين من الوحدات البنائية ملتفين حول بعضهما ليكونا حلزونا مزدوجا Double helix وكل خيط يمثل ما يشبه الزنبرك، حيث يتبادل في تكوينه وحدات السكر الخماسي مع مجموعة الفوسفات، ويلتحم مع كل وحدة سكر قاعدة نيتروجينية. هذان الخيطان بدورهما يرتبطان بعضهما ببعض بروابط هيدروجينية تربط بين القواعد النيتروجينية في كل خيط (الشكل رقم ٥٨).

وتترتب القواعد النيتروجينية دائما بصورة معينة في الحمض النووي، إذ يرتبط دائما الأدينين (A) مع الثيامين (T) والسيتوسين (C) مع الجوانين (G). ويحتوي الجين الواحد من الحجم المتوسط على حوالي ١٠٠٠ من هذه القواعد النيتروجينية. ويستطيع هذا العدد من القواعد أن يترتب بعضه مع بعض في صورة عدد هائل من الاحتمالات يصل إلى $٤^{١٠٠٠}$. ويفسر هذا العدد الهائل من الاحتمالات في تكوين الجينات قدرة هذه الجينات على اختزان كمية غير محدودة من المعلومات (تحدد جميع الصفات السلوكية والمورفولوجية والتخليقية للكائنات).



الشكل رقم (٥٨). أ) الشكل العام لجزيء حمض نووي (مزدوج الخيط Double stranded)، ب) التركيب المفصل لجزيء الحمض النووي.

(عن: Talaro and Talaro, 1996)

الجنس وانتقال الصفات الوراثية في البكتريا

قبل عملية الانقسام النهائي للخلية البكترية يتضاعف كروموسوم الخلية إلى نسختين متماثلتين يفصل بينهما الحاجز العرضي ويذهب كل كروموسوم إلى خلية بنيوية من الخلايا المتكونة.ويختلف حجم هذا الكروموسوم حسب نوع البكتريا، حيث يتراوح بين كروموسوم الميكوبلازما الذي يمتلك القدرة على تخليق ١٠٠٠ مركب خلوي فقط إلى كروموسوم *Cyanobacteria* (البكتريا الزرقاء) الذي يبلغ عشرة أضعاف ما هو موجود في الميكوبلازما. وتمتلك بكتريا *Escherichia coli* كروموسوما له القدرة على تخليق ٤٠٠٠ مركب تقريبا. إضافة إلى الكروموسوم فإن بعض أنواع البكتريا تختزن معلومات وراثية إضافية في تكوينات يطلق عليها اسم بلازميدز Plasmids وهي أجزاء دائرية من الحمض النووي DNA تستطيع التكاثر وتكرار نفسها بصورة منفصلة من الكروموسومات. ويبلغ حجم البلازميد تقريبا ٠,٠١ من حجم الكروموسوم البكتيري حيث يحتوي أصغر الأنواع على حوالي خمس جينات فقط، بينما يحتوي النوع الأكبر على ١٠٠ جينة. ومع أن البلازميدات لا تعتبر ضرورية لتكاثر ونمو البكتريا فإن لها وظائف هامة حيث تكسب البكتريا القدرة على تخليق مركبات جديدة خارج قدرة الكروموسوم، إضافة إلى قدرتها على إكساب البكتريا صفات هامة مثل مقاومة البكتريا للمضادات الحيوية وإكساب الخلية القدرة على تكوين الزوائد الموجودة على السطح (الأسواط، الزوائد الشعرية، ... إلخ) والتي تمكنها من الالتصاق بسطح العائل وإحداث الإصابة. ويعتبر انتقال الصفات الوراثية من خلية لأخرى وتجميعها في خلية واحدة هو أساس عملية التكاثر الجنسي في الخلية.

ويعتبر علم وراثة البكتريا من أحدث ميادين الدراسة في العلوم البيولوجية، حيث لم يتعد الخمسين عاما. ويعود هذا التأخير إلى عدم توافر التجهيزات العلمية التي تمكن العلماء من مشاهدة التراكيب النووية للخلية البكترية، ومع أنه توجد مساهمات عديدة في هذا المجال، فإنها كانت تعتمد على التخيلات الافتراضية إلى أن أثبت كلا

من تاتم وليدبيرج (Tatum and Lederberg, 1947) بالأدلة القاطعة حدوث التزاوج الجنسي والعبور في سلالات من النوع البكتري *Escherichia coli*. كما أوضح العالم Davis عام ١٩٥٠م بالدليل القاطع أن التزاوج الجنسي بين سلالات البكتريا يلزمه حدوث تلامس حقيقي بين الخلايا المتزاوجة، حيث أثبت ذلك باستعمال أنبوبة على شكل حرف U يفصل بين ذراعيها مرشح زجاجي وملئت ببيئة سائلة ونميت بكل ذراع سلالة من السلالتين المتزاوجتين، وأثناء النمو دُفعت البيئة خلال المرشح بواسطة ضغط الهواء ليساعد في مرور الجزيئات دون الخلايا خلال تغذية المرشح. وعقب السماح بالنمو لفترة كافية لم يتمكن من عزل خلايا ذات تراكيب وراثية جديدة في أي من الذراعين، ولكن بإزالة المرشح مما يسمح بتلامس حقيقي بين الخلايا أمكنه عزل خلايا ذات تراكيب وراثية جديدة.

وهناك عدة ظواهر أثبتت للعلماء - بما لا يدع مجالا للشك - ظاهرة الجنس Sex في البكتريا ونقل الصفات الوراثية من خلية لأخرى.

١ - ظاهرة التحويل Transformation

يقصد بهذه الظاهرة انتقال حمض نووي DNA يحمل صفات وراثية إلى خلية أخرى محدثا تغيرات وراثية في الخلية الجديدة، وقد كان العالم Griffith هو أول من لاحظ هذه الظاهرة عام ١٩٢٨م في بعض سلالات بكتريا الجنس *Pneumococci*. وقد كان هذا الاكتشاف فتحا جديدا في علم الأحياء، لأنه مهد الطريق لأبحاث الهندسة الوراثية التي غيرت - وما تزال تغير كثيرا - من مفاهيم الإنسان التقليدية لعلم الأحياء بصفة عامة وعلم الأحياء الدقيقة بصفة خاصة.

وتختلف أجناس البكتريا في هذه الظاهرة في كيفية تقبلها لجزيء الـ DNA، فبعضها تأخذ جزءا مزدوج الخيط Double stranded وبعضها تأخذ أحادي الخيط Single strand. وتتم عملية التحول بأن يخرج جزئ DNA من الخلية المعطية Donner عن طريق تحلل الخلية حيث يحدث تكسير لجزيء الـ DNA الدائري إلى حوالي ١٠٠-٢٠٠

قطعة، وكل قطعة تتكون من عدد من الجينات (١٠-٢٠ جين)، وقد لوحظ أن هناك أماكن استقبال معينة على سطح الخلية تستقبل أجزاء من الـ DNA لتسهيل دخوله ولوحظ أيضا أن الـ DNA أحادي الخيط يدخل إلى داخل الخلية بصورة أسرع من الخيط المزدوج. وبعد دخوله إلى داخل الخلية فإنه يحدث استئصال لجزء من DNA الخلية المستقبلة، ويدخل مكانه جزء مماثل من شريط مفرد من DNA الخلية المانحة وتكتسب هذه الخلية صفات وراثية جديدة. وتتم عملية التحويل بكفاءة أكثر كلما كانت الخلايا التي تتم بها العملية أكثر قربا من الناحية التقسيمية. ومع أن جزءا بسيطا جدا من DNA الخلية المانحة هو الذي يلتصق بالمادة الوراثية للخلية المستقبلة إلا أن جزء أكبر من DNA الخلية المانحة يجب أن يدخل إلى الخلية المستقبلة لكي تتم العملية، وتوصف الخلية المستقبلة عندما تكون في حالة فسيولوجية ملائمة لاستقبال واحتواء الحمض النووي من الخلية المانحة بأنها متوافقة Compatible.

٢ – ظاهرة التوصيل Transduction

وهذه الظاهرة تشبه سابقتها، غير أنها تتم بواسطة عامل مساعد قد يكون فيروسيا، حيث لوحظ أن بعض الفيروسات عندما تصيب خلايا بكترية وتحللها ثم تنطلق منها وتدخل إلى خلايا جديدة فإنها تنقل معها أجزاء من الحمض النووي (حاملا الصفات الوراثية) للخلية الأولى ويدخلها إلى خلية جديدة ومن ثم يلتصق مع الحمض النووي للخلية الجديدة ويعيد تشكيل الصفات الوراثية Recombination مكسبا إياها صفات وراثية جديدة نقلتها من الخلية الأولى، وقد اكتشفت هذه الظاهرة عام ١٩٥٢م بواسطة العالم Zinder. ويرجح أن الكروموسوم البكتري عند التحليل يتجزأ إلى حوالي ١٠٠ جزء، وأن أحد هذه الأجزاء يدخل بطريق الصدفة إلى أحد رؤوس جزيئات الفيروس البكتيري الذي ينقله بدوره إلى خلية أخرى عندما يصيبها. ولتقريب هذه العملية إلى الأذهان فإننا سوف نشرح دورة حياة البكتريوفاج الخاص ببكتريا *E. coli* وهو من أكثر الفيروسات البكتيرية التي اهتم العلماء بدراستها. فعند إصابة هذا

الفيروس للخلية البكترية ، فإن العملية التي يقوم بها يطلق عليها Generalized transduction حيث يلتصق الفيروس بجدار البكتريا ويحقن حمضه النووي إلى داخل الخلية حيث يقوم هذا الحمض النووي بتحفيز خلية البكتريا على تخليق أحماض نووية فيروسية جديدة إضافة إلى الوحدات البروتينية المكونة للغلاف البروتيني للفيروس. وأثناء حدوث هذه العملية قد يلتصق جزء من كروموسوم الخلية البكترية بطريق الصدفة بالحمض النووي للفيروسات المتكونة. وعندما تتحرر الفيروسات الجديدة المتكونة بعد انفجار الخلية فإن بعضها يحمل أجزاء من كروموسوم البكتريا ، فعندما تصيب هذه الفيروسات (الحاملة للحمض النووي البكتري) خلايا بكتيرية جديدة فإنها لا تسبب في الواقع تحليل الخلية البكترية ، ولكن يتم عملية التحام بين الحمض النووي للخلية العائل الأولية وبين الحمض النووي للخلية العائل الجديدة ، وبذلك يكون الفيروس قد نقل صفات وراثية جديدة.

٣ – ظاهرة الاقتران Conjugation

وفيها تلتصق خليتان بكتريتان مع بعضهما وتنتقل المادة الوراثية من إحدى الخلايا إلى الخلية الأخرى وذلك بمساعدة بلازميدات خاصة في إحدى الخلايا (الشكل رقم ٥٩). فعلى سبيل المثال تحدث هذه الظاهرة في البكتريا السالبة لصبغة جرام بين خليتين تختلفان ظاهريا بأن تحتوي إحدى الخلايا على هدب جنسي Sexpilus واحد على الأقل على سطح الخلية يربط الخليتين بعضهما ببعض أثناء عملية الاقتران ، يتبع ذلك تكوين قناة بين الخليتين ينتقل خلالها الحمض النووي من خلية لأخرى ، ويلاحظ أن هذه العملية هي عملية انتقال صفات وراثية من خلية لأخرى ولا تعتبر عملية تكاثرية بأي حال من الأحوال. كما يلاحظ أن الخلية المانحة تختلف عن المستقبلة في احتوائها على F^+ plasmids (Fertility plasmid) يكسب هذه الخلية كل الصفات الوراثية التي تمكنها من القيام بدور الخلية المانحة بما في ذلك القدرة على تكوين أهداب جنسية Sex pilus ، وقد سجلت هذه الظاهرة لأول مرة في اليابان عام ١٩٥٠م.



الشكل رقم (٥٩). ظاهرة الاقتران Conjugation، وهي إحدى ظواهر الجنس في البكتريا يتم بواسطتها التصاق خليتين بكتريتين بعضهما ببعض بواسطة قناة تنتقل خلالها المادة الوراثية من خلية لأخرى.

(عن : McKane and Kandel, 1996)

لقد كان لاكتشاف ظاهرة التحول الجنسي وانتقال الصفات الوراثية في البكتريا دور كبير في تطور الدراسات والأبحاث في مجال هندسة وراثة البكتريا. والتي تركز على التحكم في نقل صفات وراثية معينة من سلالات بكتيرية إلى أخرى للحصول على سلالات جديدة تحمل صفات مرغوبة لم تكن موجودة أصلا فيها أو إحداث طفرات وراثية معينة بواسطة عوامل فيزيائية أو كيميائية. وقد كانت لهذه النتائج تطبيقات لا حصر لها في المجال الصناعي والزراعي والطبي والعسكري يتمثل في هندسة وإنتاج

سلالات بكترية تحمل صفات مرغوبة في مجالات معينة (ويتم الإشارة إلى بعض هذه الاستخدامات في الباب الثالث).

استخدام العوامل الفيزيائية والكيميائية في مقاومة الأحياء الدقيقة
Control of Microorganisms by Physical and Chemical Factors

مع أن أغلب الميكروبات تعتبر كائنات نافعة وذات أهمية قصوى لحياة وسعادة البشرية، فإن أنشطة بعض الأحياء الدقيقة لها أثر ضار ومدمر على البشرية مثل فساد الأغذية وإحداث الأمراض... إلخ. وعلى هذا فقد كان لابد من إيجاد طرق ووسائل تمكننا من قتل أو تثبيط عمل هذه الأحياء الدقيقة إذا اضطررنا إلى ذلك حماية للبشرية من أضرارها. وقد عرفت البشرية منذ الأزل عدة طرق ووسائل للتعقيم والقضاء على الميكروبات. فقد سجل تاريخ المصريين القدماء والإغريق استعمالهم لوسائل عده في هذا المجال دون أن يفطنوا إلى وجود الأحياء الدقيقة أصلا.

ومن المصطلحات المستعملة في هذا المجال:

التعقيم Sterilization

ويقصد به العملية التي يتم بموجبها قتل أو إزالة جميع الكائنات في الوسط من خلايا حية، جراثيم، فيروسات. ويكون الوسط المعقم خالي كليا من كل خلايا الميكروبات. وقد تتم هذه العملية بعدة طرق، غير أنها إذا استخدمت فيها الكيماويات فإنه يطلق مصطلح Sterilant على المادة المستعملة. ويقصد به قتل أو تثبيط أو إزالة جميع الأحياء الدقيقة المسببة للمرض من الوسط (التطهير Disinfection). ويطلق على المواد الكيماوية المستعملة لتحقيق هذا الغرض اسم Disinfectants ويلاحظ أن الوسط المعامل بالمطهرات لا يكون خاليا تماما من جميع الصور الميكروبية، بل من المحتمل احتواؤه على صور متجرثمة وبعض الميكروبات الحية.

Sanitization

وهذا المصطلح قريب جدا من سابقه، حيث يتم بموجبه تخفيض عدد الأحياء الدقيقة في الوسط إلى مستوى يكون مقبولا بمقاييس الصحة العامة ويستعمل عادة في تنظيف أدوات المطابخ والمطاعم.

Antisepsis

ويقصد به منع الإصابة، ويستعمل في معاملة الأنسجة الحية للإنسان والحيوان لقتل أو تثبيط الميكروبات المرضية ومنعها من إصابة الجسم في هذه المنطقة.

Antiseptics

ويطلق على الكيماويات المستعملة لتحقيق هذا الغرض وهي غالبا غير ضارة لنسيج العائل وغير سامة مثل المقاومة بالمطهرات Disinfection.

Germicides

ويقصد به استعمال مواد كيماوية تؤدى لقتل البروتوبلازم، وبالتالي قتل الميكروب، وهذه قد تكون Bactericide, Fungicide, Viricide.

Bacteriostatic

ويطلق على المواد التي تستعمل لتثبيط ووقف نمو البكتريا، ولكنها لا تقتل البروتوبلازم، ويطلق عليها اسم موقفات البكتريا أو موقفات الفطريات Fungistatic ومن أمثلتها الشهيرة المواد الحافظة للأغذية المعلبة.

وسوف نورد هنا أمثلة على بعض المركبات الكيماوية المستعملة في قتل أو تثبيط الميكروبات، مع الإشارة إلى الحالة التي يستعمل فيها كل مركب (الجدول رقم ١٠).

الجدول رقم (١٠). يوضح أنواع المواد الكيميائية المستخدمة في الحد من النمو الميكروبي وظروف استخداماتها.

المادة الكيميائية	ميكانيكية التأثير	المواد والأدوات	ملاحظات
الهالوجينات	اليود مثبط لوظيفة البروتين، بالإضافة إلى كونه مؤكسد قوى. الكلور يكون عامل مؤكسد قوى هو حامض الهيبوكلوروس والذي يغير في مكونات الخلية.	يستخدم غاز الكلور لتعقيم مياه الشرب كما تُستخدم مركباته في تعقيم أجهزة صناعة منتجات الألبان، وأدوات المائدة.	اليود والكلور يمكن أن يؤثرا كلا بمفرده أو كمكونات في مركبات عضوية أو غير عضوية.
الكحولات	تغير من طبيعة البروتينات، والعمل على عدم ذوبان المواد الدهنية.	تستخدم في تعقيم الثرمومترات الطبية وكذلك عند الحقن وذلك عن طريق مسح الجلد بالكحول حيث تزال الميكروبات التي تؤدى إلى انتقال العدوى، وعادة ما تستخدم مواد مُعقمة إضافية مع الكحولات.	موقفات لنمو البكتريا والفطريات ولكنها غير كفء ضد جراثيم البكتريا وبعض الفيروسات غير المغلفة. والإيثانول (الكحول الإيثيلى) هو أكثر الكحولات استخداما وكذلك كحول الأيزوبروبايل.
المعادن الثقيلة ومركباتها	تغير من طبيعة الإنزيمات والبروتينات الضرورية الأخرى.	تستخدم نترات الفضة لمنع عدوى العيون بالبكتريا من جنس *Gonococcus*. ويستخدم الميركروكروم لمنع العدوى بالميكروبات على الجلد والأغشية المخاطية. كبريتات النحاس توقف من نمو الطحالب.	تعمل المعادن الثقيلة مثل نترات الفضة والزئبق على إيقاف نمو الميكروبات أو على قتلها.

تابع الجدول رقم (١٠).

المادة الكيميائية	ميكانيكية التأثير	المواد والأدوات	ملاحظات
مواد تقلل من التوتر السطحي			
الصابون والمنظفات ذات الأحماض غير المتأينة.	إزالة ميكانيكية للميكروبات من خلال الفرك والحك.	إزالة الجراثيم واستحلاب وإذابة الشحوم والأوساخ.	العديد من أنواع الصابون القاعدية تحتوى على مضادات الميكروبات مثل ثالث كلورو كربون.
المنظفات الحمضية غير المتأينة	قد تشجع على عدم نشاط الأنزيمات الميكروبية أو تغير من خواصها.	للوقاية الصحية في صناعات الألبان والأغذية.	ذات مدى واسع للنشاط، غير سامة وغير متآكلة، سريعة المفعول.
الأحماض العضوية	مثبطة لعملية الأيض وتؤثر بفعالية على الفطريات. ولا ترجع فعاليتها إلى الحموضة.	حامض السوربيك وحامض البنزويك يؤثرا بفعالية عند pH منخفضة. تستخدم البروبينات كثيرا في الشامبوهات ومستحضرات التجميل، ويستخدم بروبيونات الكالسيوم في صناعة الخبز. وكل هذه المجموعة أساسا مضادة للفطريات.	شائعة الاستعمال للحد من نمو الفطريات وبعض أنواع البكتريا في الأغذية ومستحضرات التجميل.
المعقمات الغازية	تغيير طبيعة البروتين	عامل تعقيم ممتاز خصوصا للأشياء التي قد تفسد بالحرارة	المادة الكيميائية
الألدهيدات	تقليل نشاط البروتين	الفورمالين المائي ٧٥٪ أو الفورمالدهيد لحفظ العينات وتقليل فاعلية الميكروبات المستخدمة في صناعة الأمصال. الجلوتار ألدهيد أقل حساسية من الفورمالدهيد ويستخدم في تعقيم الأجهزة الطبية وكذلك في حفظ جثث الموتى.	والجلوتارالدهيد يعتبر معقم سائل.

تابع الجدول رقم (١٠).

المادة الكيميائية	ميكانيكية التأثير	المواد والأدوات	ملاحظات
عوامل أكسدة مؤكسدة		الأسطح الملوثة، بعض الجروح العميقة حيث تعتبر مؤثرة جدا ضد الميكروبات اللاهوائية الحساسة لوجود الأكسجين.	الأوزون يؤخذ في الاعتبار كبديل موضعي للمعاملة بالكلور، أما فوق أكسيد الهيدروجين فيعتبر موقف ضعيف لنمو الميكروبات، وإن كان في نفس الوقت مانع جيد للعدوى.

العوامل المؤثرة على كفاءة المواد المستعملة في مقاومة الميكروبات

تتأثر كفاءة وقدرة العوامل المستخدمة لقتل أو تثبيط نمو الميكروبات بعدد من العوامل من أهمها:

١ – عدد الميكروبات الموجودة في البيئة: حيث تجدر الإشارة إلى أن الزمن اللازم لقتل جزء معين من الميكروبات الموجودة يتناسب مع عدد الميكروبات، فكلما زاد عدد الميكروبات زاد الزمن اللازم للتخلص منها.

٢ – درجة تنوع الميكروبات الموجودة: حيث تتفاوت الميكروبات في درجة حساسيتها للمواد الكيماوية المختلفة. فعلى سبيل المثال تكون الجراثيم أكثر قدرة على تحمل الكيماويات مقارنة بالخلايا الخضرية، كما أن الخلايا الصغيرة حديثة التكوين تكون أكثر قابلية للموت مقارنة بالخلايا الناضجة. وهناك أنواع معينة من البكتريا تكون أكثر قدرة على تحمل ومقاومة المواد المضادة للميكروبات، مقارنة ببقية الأنواع كما هو الحال بالنسبة للنوع *Mycobacterium tuberculosis*.

٣ – درجة تركيز وكثافة المادة المستعملة: ففي غالب الأحوال كلما زاد تركيز المادة الكيميائية أو كثافة العامل الفيزيائي، زاد عدد الميكروبات التي يتم قتلها. ولو أن لهذه الظاهرة بعض الاستثناءات، فعلى سبيل المثال يكون الكحول الإثيلي أكثر كفاءة في القضاء على البكتريا عند تركيز ٧٠٪ منه عند تركيز ٩٥٪.

٤ – **مدة التعرض**: كلما طالت مدة تعرض الأحياء الدقيقة للعامل الكيميائي أو الفيزيائي المستعمل للقضاء عليها، زاد عدد الكائنات التي يقضى عليها.

٥ – **درجة الحرارة**: فلقد ثبت أنه كلما زادت درجة الحرارة التي يتم عندها عملية التطهير والتعقيم، زادت كفاءة العملية. وبعبارة أخرى، يمكن القضاء على عدد أكبر من الأحياء الدقيقة بتركيزات كيميائية أقل إذا كانت درجة حرارة الوسط مرتفعة.

٦ – **طبيعة العوامل البيئية المحيطة بالوسط**: تتأثر كفاءة عملية قتل الأحياء الدقيقة بطبيعة العوامل البيئية المحيطة بالوسط حيث يمكن أن تحتوي البيئة على عوامل قد تؤوي الأحياء الدقيقة الموجودة وتحميها أو بالعكس تساعد على سرعة القضاء عليها. فعلى سبيل المثال، تكون كفاءة عملية التعقيم بالحرارة أعلى عند الوسط الحمضي، وهذا يفسر مدى سهولة القضاء على الأحياء الدقيقة في الفواكه والعصائر الحمضية الوسط مقارنة مع الحال في الأوساط المعتدلة كالحليب مثلا.

كما أن احتواء الوسط على مواد عضوية قد تؤوي الأحياء الدقيقة داخلها بجعل عملية القضاء عليها أصعب. وعلى هذا فقد كان من الضروري تنظيف أي وسط يراد تعقيمه مسبقا كإزالة أي مواد عضوية موجودة تسهيلا لعملية التعقيم.

استخدام بعض الطرق الفيزيائية في القضاء على الميكروبات

تستخدم عدة طرق فيزيائية للقضاء على الميكروبات في مختبرات الميكروبيولوجي، وذلك تبعا لطبيعة الوسط المحتوى على الميكروبات. وهذه الطرق هي: الحرارة، الأشعة فوق البنفسجية، الترشيح، التأين.

١ – الحرارة Heat

وتم شرحها بتفصيل في الباب الأول.

٢ – الأشعة فوق البنفسجية U. V. Radiation

تستعمل الأشعة فوق البنفسجية التي يبلغ طول موجاتها ٢٦٠ نانومترا تقريبا في القضاء على الأحياء الدقيقة. غير أن الأمور التي تحد من استخدام هذه الطريقة هو

عدم قدرة الأشعة فوق البنفسجية على اختراق الحواجز البسيطة مثل الحواجز الزجاجية والمياه والطبقات الرقيقة من الأوساخ... إلخ. وهذا ما يجعل هذه الطريقة قاصرة على الاستخدام في مجالات محددة. ونظرا لكون هذه الأشعة حارقة لطبقة الجلد، فقد كان من الضروري استخدام الاحتياطات اللازمة مثل لبس نظارات خاصة عند وجود الإنسان في أماكن تحتوي على مصدر لهذه الأشعة.

٣ – الأشعة المتأينة Ionizing Radiation

تعتبر الأشعة المتأينة من أفضل الطرق الفعالة في التعقيم والقضاء على صور الأحياء الدقيقة، وذلك لقدرتها الفائقة على الاختراق بسهولة إلى أعماق بعيدة. ويسمى التعقيم بهذه الطريقة بالمصطلح (التعقيم البارد)، حيث تستخدم مادة كوبالت -٦٠ في الحصول على أشعة جاما المستخدمة في تعقيم المضادات الحيوية، والهرمونات، ... إلخ. غير أن ارتفاع تكلفة هذه الطريقة وبعض المحاذير عن سلامة استخدامها تحد من انتشارها الواسع.

عمليات الأيض في البكتريا Metabolism

تعرف التفاعلات الأيضية للخلية بأنها مجمل ما يحدث من تفاعلات كيميائية في الخلية لهدم وتحليل المواد الغذائية ومن ثم إعادة بناء مكونات الخلية وما يصحب ذلك من انطلاق الطاقة وإعادة استخدامها. وتقسم عملية الأيض إلى نوعين:

١ – عملية الهدم Catabolism: وتشمل تحليل مواد التفاعل مثل العناصر والمواد الغذائية المعقدة بداخل الخلية وانطلاق الطاقة.

٢ – عملية البناء Anabolism: وتشمل بناء وتخليق المكونات الخلوية لبناء خلايا جديدة وإصلاح المكونات الخلوية التالفة.

وتتشابه عمليات الأيض في خلية البكتريا مع ما هو موجود في الخلايا الحيوانية والنباتية الراقية لحد كبير باستثناء بعض الاختلافات في النشاط الإنزيمي الداخل في هذه التفاعلات.

الإنزيمات البكترية Bacterial Enzymes

تعرف الإنزيمات بصفة عامه بأنها مواد عضوية تنتجها الخلايا الحية وتعمل كعوامل مساعدة Catalysts في التفاعلات البيوكيميائية المختلفة. وجدير بالإشارة أن الإنزيمات لا تؤثر في قيمة المواد الناتجة أو نوعها، فهي فقط عوامل مساعدة.

وتتأثر قدرة الإنزيمات وفعاليتها بالحرارة ودرجة الحموضة. فمثلا لكل إنزيم مدى حراري معين يعمل فيه بحيث يزداد النشاط الإنزيمي بارتفاع درجة الحرارة حتى حد معين تبدأ بعدها الحرارة في التأثير السلبي على الإنزيم وتحطيمه ووقف نشاطه. أي أن الحرارة المرتفعة توقف النشاط الإنزيمي.

والشيء نفسه يمكن أن يقال بالنسبة للحموضة حيث تعمل معظم الإنزيمات على مدى pH يتراوح بين ٥ و٨، وقد تزيد أحيانا.

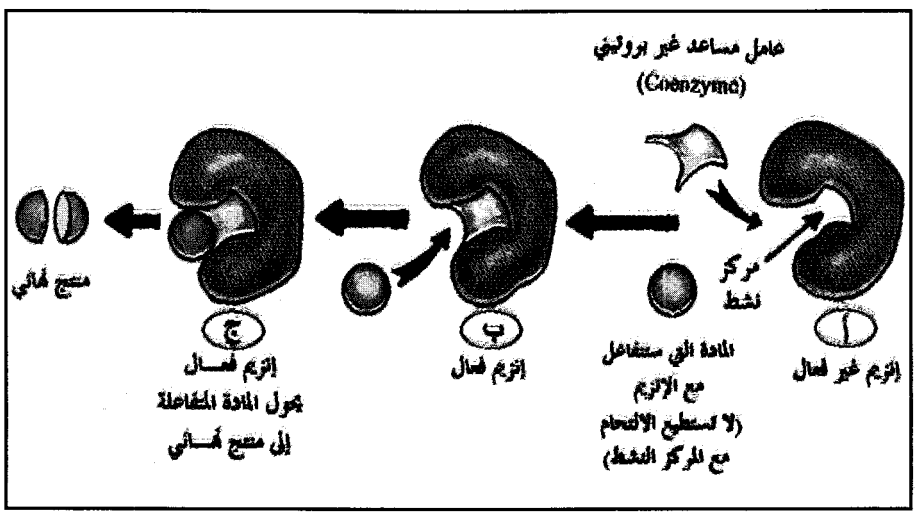
وقد وجد أن أغلب الإنزيمات تبدي تخصصا واضحا تجاه مواد التفاعل، بينما هناك إنزيمات أخرى تتمتع بمدى تخصصي واسع، فهي على سبيل المثال تهاجم أي مادة كيميائية تحتوي على رابطة ببتيدية في تركيبها (-CO-NH).

ويوضح هذا التخصص الإنزيمي في البكتريا أن الأنواع البكترية التي تقوم بعديد من التفاعلات الإنزيمية تحتوي بالضرورة على نظام إنزيمي يضم عديدا من الإنزيمات كل منها يتخصص في تفاعل معين. وقد تكون هذه التفاعلات مرتبطة بعضها ببعض بحيث يوفر أحدهما مواد تفاعل للإنزيمات الأخرى بمعنى أنه تنشأ بالخلية سلسلة من التفاعلات المرتبطة والتي يعتمد كل منها على الآخر، فإذا تعطل عمل أي من هذه الإنزيمات تعطلت سلسلة التفاعلات المرتبطة بها.

وتتميز التفاعلات الإنزيمية بأنها تفاعلات عكسية، أي أن الإنزيم الذي يساعد على إتمام تفاعل في اتجاه معين يمكنه أيضا أن يساعد على إتمام التفاعل في الاتجاه المضاد. فعندما تنمو خلايا بكترية في بيئة غذائية فإن النشاط الكيميائي لهذه الخلايا يتمثل في تحليل المواد الغذائية المكونة للبيئة ومن ثم بناء مواد خلوية جديدة، ولتحقيق هذه العملية تفرز البكتريا نوعين من الإنزيمات: إنزيمات خارجية Exoenzymes تقوم

بتحليل مكونات البيئة، وإنزيمات داخلية Endoenzymes تقوم بعملية بناء المواد الخلوية الجديدة.

ويلاحظ أن أغلب الإنزيمات تتكون من جزأين، أحدهما ذو طبيعة بروتينية ويعرف باسم Apoenzyme، والجزء الآخر غير بروتيني ويعرف باسم المرافق الإنزيمي Coenzyme. وعادة يكون كل جزء من الجزأين منفردا غير فعال في سير التفاعلات الكيميائية، حيث يلزم وجود الجزأين متحدين لسير التفاعل. ويعرف التركيب الإنزيمي الكامل باسم Holoenzyme (الشكل رقم ٦٠).



الشكل رقم (٦٠). دور الأجزاء المكملة للإنزيم في طبيعة عمله: أ) الجزء البروتيني من الإنزيم منفردا يكون غير فعال، ب) عند الالتحام المؤقت من الجزء البروتيني بالجزء غير البروتيني المسمى (Co-Enzyme) أصبح الإنزيم فعالا، جـ) بعد الالتحام المؤقت يصبح المركز النشط في الإنزيم مهيأ لاستقبال المادة التي يعمل فيها الإنزيم Substrate وتتم عملية التفاعل.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

أنواع الإنزيمات البكترية

تقسم الإنزيمات تبعا للتفاعلات التي تعمل فيها كعوامل مساعدة، فمثلا الإنزيمات التي تساعد في إزالة الهيدروجين تسمى Dehydrogenase، والتي تساعد في إزالة الهيدروكسيل تسمى Decarboxylase. كما يشار إلى الإنزيم علاوة على ذلك باسم مادة التفاعل التي يعمل عليها الإنزيم مثل Pyruvic decarboxylase. وتحتوي خلايا البكتريا على عدد كبير من الإنزيمات التي تقوم بالمساعدة في العديد من التفاعلات مثل:

١ – تفاعلات الأكسدة والاختزال Oxidaion and Reduction

كيميائيا يطلق على المادة تأكسدت إذا ما فقدت إلكترونات، واختزلت إذا اكتسبت إلكترونات. وعندما تحدث عملية أكسدة فإنه في المقابل تحدث عملية اختزال، لأن الإلكترونات التي تفقدها مادة معينة تكتسبها مادة أخرى. ويلاحظ أن عمليات الأكسدة ليست مقصورة على اتحاد المواد بالأكسجين لأن هناك أنواعا من البكتريا يمكنها أن تنمو في غياب الأكسجين (البكتريا اللاهوائية)، ولكنها تكون قادرة على الحصول على الطاقة اللازمة لها من عمليات الأكسدة. لذلك كان من الضروري أن نميز بين عمليات الأكسدة البيولوجية التي تستعمل الأكسجين الغازي وتلك التي لا تستعمله، حيث تعرف عملية الأكسدة البيولوجية الهوائية التي تستعمل الأكسجين الغازي باسم التنفس Respiration، بينما الأكسدة البيولوجية غير الهوائية في غياب الأكسجين تسمى باسم التخمر Fermentation، وكلتا العمليتين تعتبران طرقا أساسية للحصول على الطاقة اللازمة للخلية الحية. وعمليات الأكسدة والاختزال تتم بمساعدة الإنزيمات المزيلة للهيدروجين Dehydrogenase.

٢ – تفاعلات التحلل المائي Hydrolysis

إنزيمات التحلل المائي هي المسؤولة عن عمليات الهضم التي يتحلل فيها البروتين إلى أحماض أمينية، والدهون إلى أحماض دهنية وجليسرين، والكربوهيدرات إلى سكريات عديدة ثم سكريات أحادية.

وتختلف الإنزيمات المحللة للبروتينات في درجة تخصصها، فبعضها يهاجم البيبتيدات ذات السلاسل الطويلة أو الجزيئات البروتينية المعقدة في حالتها الطبيعية، وبعضها يهاجم البروتين فقط بعد تفكك جزيئاته، والبعض يهاجم البيبتيدات قصيرة السلاسل. ويحدث نفس الشيء بالنسبة للإنزيمات المحللة للكربوهيدرات، فهناك نوع من التخصص، لأن بعض البكتريا تستطيع إفراز إنزيمات تحلل الكربوهيدرات العديدة مثل النشا والسيلولوز، وبعضها يقتصر نظامه الأنزيمي على تحلل السكريات البسيطة والأحادية. فالنشا مثلا يتم تحليله عن طريق إنزيمين: إنزيم الأميليز Amylaseويحلل النشا إلى مالتوز ومن ثم يدخل إنزيم المالتيز Maltase لتحليل المالتوز إلى جلوكوز. والسيليولوز أيضا يتحلل على مرحلتين إلى سكر جلوكوز.

٣ – إزالة مجموعات الأمين Deamination

وهذه العملية تتم على مرحلتين، فعلى سبيل المثال يقوم إنزيم L-Glutamic acid deaminase الموجود في بكتريا *E.coli* بإزالة الهيدروجين من الحمض الأميني وتحويله إلى صورة أمينو، ثم يحدث تحلل مائي لحمض أمينوجلوتاميك الناتج وينتج أمونيا.

٤ – إزالة مجموعات الكربوكسيل Decarboxylation

وتتم إزالة مجموعات الكربوكسيل من الأحماض الأمينية أو الأحماض الكيتونية بواسطة إنزيمات الكربوكسيليز Carboxylase.

الميكوبلازما والركتسيا

Mycoplasma and Rickettsia

لقد بدا واضحا وجليا من خلال الدراسات الواسعة التي أجريت على الفيروسات أن هناك بونا شاسعا يفصل بينها وبين أبسط صور الكائنات الوحيدة الخلية المعروفة بالبكتريا من حيث التركيب والنشاط البيولوجي... إلخ. وقد قاد هذا العلماء إلى الافتراض بوجود كائنات أخرى وسطا بين البكتريا والفيروسات تمثل حلقة وصل بين المجموعتين بحيث تتمتع ببعض الصفات المشتركة لهما.

وقد وجد أن الميكوبلازما Mycoplasma والركتسيا Rickettsia من الممكن أن تملأ هذا الفراغ.

الميكوبلازما Mycoplasma

هي مجموعة من الكائنات تتمتع ببعض صفات الفيروسات وبعض صفات البكتريا. فمن حيث الحجم فهي متناهية الصغر تضاهي أحيانا حجم الفيروسات الصغيرة، ويتراوح قطرها بين ١٢٥ و١٥٠ ملليكرونا وتستطيع النفاذ من المرشحات البكتيرية. غير أنها تختلف عن الفيروسات في قدرتها على النمو على البيئات الصناعية داخل المعمل. وبذلك يمكن اعتبارها من أصغر الخلايا الحية التي تستطيع الاعتماد على نفسها والنمو بعيدا عن الخلايا الحية.

ومن حيث التركيب الداخلي فهي تشبه الخلية الحية في احتوائها على نفس البروتينات والأحماض النووية غير أنها توجد في صورة بدائية بحيث تفتقد الخلية إلى الجدر الخلوية التي تعطيها الشكل الثابت المميز، وتستعيض عن ذلك بوجود غشاء رقيق مرن شبه منفذ وبالتالي فهي غير ثابتة الشكل.

وتتجلى الأهمية الاقتصادية لهذه المجموعة في احتوائها على عدد من الأنواع التي تسبب أمراضا قاتلة للإنسان والحيوان.

وتوضع ضمن تقسيم البكتيريا في رتبة منفصلة تسمى Mycoplasmatales.

الركتسيا Rickettsia

الركتسيا هي أحد الكائنات الحية المتناهية الصغر والتي تم اكتشافها عام ١٩٠٩م بواسطة العالم Taylor Rickett عند فحصه لدم حشرات القمل المتغذي على جسم إنسان مصاب بمرض التيفوس. وكان أيضا أول من وصف المراحل العصوية من هذه الكائنات والتي توجد في دم الإنسان المصاب بالحمى المعروفة باسم حمى جبال روكي ذات النقط Rocky Mountain Spotted-fever. ومن الجدير بالذكر أن هذا العالم قد مات

نتيجة لإصابته بمرض التيفوس الذي اكتشف مسببه. وعلى سبيل المثال نتج عن الإصابة بهذا الميكروب ٣٠ مليون حالة إصابة من حمى التيفوس، و٣ ملايين حالة وفاة حدثت في روسيا وشرق أوروبا ما بين ١٩١٨، ١٩٢٢م بنفس هذا المرض. وتخليدا لأعماله في هذا المجال فقد قام العالم Lima-De Roka بإطلاق اسم Rickettsia على هذه المسببات المرضية فيما بعد.

وتقع هذه الكائنات في منطقة وسط بين الفيروسات والبكتيريا فهي تتميز ببعض مميزات البكتريا من حيث صفاتها التركيبية، فهي ذات تركيب خلوي متميز لها جدار خلوي يحيط بسيتوبلازم يحتوي على أحماض نووية وبها نظام إنزيمي، وتتكاثر بالانشطار البسيط كما هو الحال في البكتريا. ومن جهة أخرى، فهي تتمتع بصفات الفيروسات من حيث قدرتها على المرور من المرشحات البكترية (حيث يبلغ قطرها ٠,٥ ميكرون) وكونها إجبارية التطفل أي أنها لا يمكن تنميتها إلا داخل خلايا حية (ولو أنه أمكن أخيرا تنمية بعض أنواعها معمليا على بيئات صناعية محتوية على مستخلص دماء) وتختلف عن الفيروسات في أنه يمكن صبغها ودراستها بالمجهر الضوئي العادي (وتأخذ غالبا صبغة جرام السالبة) كما أنها تقوم بأنشطتها البيولوجية بصورة مستقلة بعكس الفيروسات، وتأخذ أشكالا عدة منها الكروي والعصوي.

وتكتسب الركتسيا أهميتها الاقتصادية في قدرتها على التطفل على الإنسان وإحداث العديد من الأمراض المعدية الخطيرة والتي تنتقل بواسطة بعض أنواع الحشرات. وتتطفل الركتسيا أساسا على عدد من الحشرات والمفصليات وتعيش إما داخل الخلايا المبطنة للأمعاء، وفي هذه الحالة تنتقل عن طريق براز هذه الحشرات، أو تعيش داخل خلايا الغدد اللعابية، حيث تنتقل عن طريق اللعاب عند قيام الحشرات بلدغ الإنسان.

ومن أهم الأمراض التي تسببها الركتسيا للإنسان:

١ - **حمى التيفوس**: ومنها حمى التيفوس الوبائي الذي يسببه النوع *Rickettsia prowazekii* وينتقل عن طريق القمل من إنسان لآخر. وحمى التيفوس المستوطن الذي يسببه النوع *R. mooseri* ويُنتقل عن طريق البراغيث.

٢ – مرض حمى الجبال الصخرية والجدري الركتسي: ويسبب المرض الأول النوع *R.rickettsii* وينقله القراد، أما الجدري الركتسي فيسببه النوع *R. akari* وتنقله حيوانات الحلم من الجرذان إلى الإنسان.

٣ – حمى الخنادق: ويسببها النوع *R. quindona* وتنتشر هذه الحمى أثناء الحروب وتنقلها بعض أنواع القمل. ويعتبر هذا النوع الوحيد الذي أمكن تنميته على بيئات صناعية.

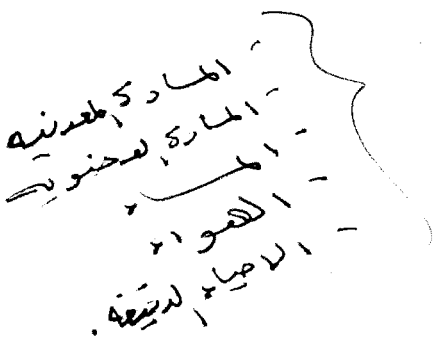
وتستخدم اللقاحات Vaccines في علاج العديد من الأمراض التي تسببها الركتسيا حيث تستجيب بعض أنواعها لهذه الطريقة وتمنع تكاثرها.



الباب الثالث

الميكروبيولوجيا التطبيقية
Applied Microbiology

• ميكروبيولوجيا التربة • ميكروبيولوجيا الأطعمة
• ميكروبيولوجيا الألبان • ميكروبيولوجيا المياه
والمجاري • الأمراض النباتية • الميكروبات والبيئة
والإنسان


- الماء كمعدنية
- المادة العضوية
- الملح
- الهواء
- الأحياء الدقيقة.

الفصل الحادي عشر

ميكروبيولوجيا التربة
Soil Microbiology

- مكونات التربة • الحيوانات الصغيرة في التربة
- تحليل المادة العضوية في التربة • منطقة الريزوسفير
- الأهمية الميكروبية لنسبة الكربون للنيتروجين في التربة • دورة الكربون في الطبيعة • دورة النيتروجين في الطبيعة

تُعرف التربة بأنها تلك الطبقة المفككة من سطح الأرض والتي تختلف عن الطبقة الصخرية العميقة، وتشكل ذلك المورد الذي يعتمد عليه الجنس البشري في إمداده بمقومات حياته بصفة عامة.

وتتكون التربة من الوجهة الزراعية من خمسة مكونات أساسية هي: المادة المعدنية، والمادة العضوية، والماء، والهواء، والأحياء الدقيقة، ولا توجد جميع هذه المكونات بكميات ثابتة في جميع أنواع الأراضي، بل تختلف باختلاف موقع التربة.

مكونات التربة Soil Composition

١ - المادة المعدنية Mineral Mater

يتكون الجزء المعدني في التربة من تلك الحبيبات الصخرية المفتتة بفعل عوامل التعرية على امتداد السنين. وتحتوي هذه الأجزاء على عدد من العناصر المعدنية مثل

C, H, N, P, K, Fe, Cu, Mn, Zn, Ba, Mg, Cl، والتي يحتاجها النبات بكميات مختلفة لإمداده باحتياجاته الغذائية. وتتوقف مقدرة التربة الإنتاجية وخصوبتها على قدرتها على إمداد النباتات باحتياجها من المادة الغذائية بالكميات المناسبة. ويشكل الجزء المعدني نسبة تقل عن نصف حجم التربة. ويختلف حجم الحبيبات التي يتكون منها الجزء المعدني من حبيبات صغيرة لا ترى إلا بالمجهر (طين) إلي حبيبات كبيرة (رمل). ويعتمد التصنيف العام لنوع التربة على حجم ونوع هذه الحبيبات.

٢ – المادة العضوية Organic Mater

الجزء العضوي من مكونات التربة يطلق عليه مصطلح الدبال Humus وهو محصلة عمليتين حيويتين تقوم بهما ميكروبات التربة هما تحليل المادة العضوية، وتخليق مركبات عضوية جديدة. ويعتبر الدبال مخزنا رئيسيا للعناصر الغذائية للأحياء الدقيقة المستوطنة للتربة. فعند وصول المخلفات النباتية والحيوانية إلى التربة، فإنها تتعرض للتحلل الميكروبي، مما يؤدي إلي اختفاء معالمها الأصلية، وتكوين مجموعات متباينة من المركبات العضوية التي تخضع بدورها لعمليات تحلل أخرى حتى تتحول في النهاية إلي مركبات عضوية معقدة التركيب ذات لون بنى وأسود.

ويختلف تركيب الدبال باختلاف موقع التربة الذي يتأثر بدرجات الحرارة السائدة ومعدل سقوط الأمطار ونسبة وجود المادة المعدنية، ولهذا فإنه لا يمكن تحديد تركيب ثابت محدد لهذا الجزء العضوي من مكونات التربة. وتمتص جذور النباتات ما يحتاجه النبات من عناصر غذائية من التربة بحيث تصل العناصر الجاهزة مباشرة إلي داخل جذور النباتات الملاصقة لحبيبات المادة العضوية في التربة، بينما تقوم الجذور بإفراز غاز ثاني أكسيد الكربون وبعض الأحماض العضوية، والتي تشكل بدورها عاملا محفزا للفعاليات الكيميائية بالتربة، مؤدية إلى إطلاق وتهيئة بعض العناصر من صورها المعقدة بحيث تصبح جاهزة لاستعمال النبات.

٣ – هواء التربة Soil Air

تشكل الفراغات البينية بين حبيبات التربة حيزا يشغله الماء والهواء بنسب مختلفة، ففي الترب الزراعية العادية يشكل الهواء حوالي ٥٠٪ من حيز الفراغات. فإذا كانت نسبة الرطوبة تقل عن ٥٪ فإن الهواء يشكل شبكة متصلة داخل التربة. أما إذا زادت عن ذلك فإنه يأخذ شكل فراغات هوائية منفصلة. وأحيانا يمتص الهواء إلي داخل غرويات التربة Soil colloids أو يذوب في مياه التربة. فعندما توجد كميات زائدة من المياه في التربة فإن الرطوبة النسبية لهواء التربة قد تصل إلي ١٠٠٪ وهذا بدوره يحفز النشاط الميكروبي في التربة. ونظرا للنشاط الكيميائي العالي في التربة الزراعية فقد كان هناك تداخل وترابط وثيق بين هواء وماء التربة.

٤ – مياه التربة Soil Water

تملأ المياه الفراغات البينية في التربة بنسب مختلفة، فعند غمر التربة بالماء تُملأ هذه الفراغات، وتتفاوت نسبة الماء إلي الهواء باختلاف الظروف البيئية المختلفة. وبصفة عامه تعتبر نسبة رطوبة ٥٠٪ في التربة هي النسبة الأمثل لنمو النبات. وعند إضافة الماء إلي التربة فإن العناصر الغذائية تذوب في الماء مشكلة محلولا غذائيا. ويظل هذا المحلول المائي في التربة في حالة ديناميكية متغيرة بفعل عدد من العوامل البيئية المحيطة مثل (التبخير، والتسميد، والري، ... إلخ) حيث يؤثر مجمل هذه العوامل على تركيز العناصر في مياه التربة.

٥ – الأحياء الدقيقة Soil Microflora

تشكل الكائنات الحية الدقيقة جزءا حيويا وهاما من مكونات التربة، ذلك أن حبيبات الرمل المفتتة وحدها لا تكون تربة زراعية. ويزداد عدد الأحياء الدقيقة في التربة المزروعة عنها في الأراضي البور، ذلك أن التربة المزروعة تحتوي على نسبة عالية من المادة العضوية، وهذا بالضرورة يعنى وجود أعداد أكبر من الأحياء الدقيقة. وتُقسم

الكائنات الحية في التربة إلى عدة مجموعات: بعض الحيوانات الصغيرة Small animals، والأوليات Protozoa، والطحالب Algea، والفطريات Fungi، والبكتريا Bacteria، والفيروسات Viruses.

الحيوانات الصغيرة في التربة Small Animals of Soil

وتشمل هذه المجموعة بعض الكائنات الحيوانية مثل الديدان الأرضية، والحشرات، والنمل ... إلخ وهذه تؤدي دورا هاما في تهوية التربة وتحسين صرفها عن طريق حركتها المستمرة وابتلاعها لحبيبات التربة ثم إخراجها مرة أخرى. كما تساعد في تحسين خصوبة التربة بخلطها للمواد العضوية وغير العضوية. كما أن أجسامها تتحلل بعد موتها وتكون جزءا من عناصر المادة العضوية (الدبال) في التربة.

الأوليات (البروتوزوا) Protozoa

وتشمل هذه المجموعة عددا من الأوليات مثل الأميبات والسوطيات والهدبيات وهي وحيدة الخلية ويتغذى أغلبها على المواد العضوية المتحللة، إضافة إلي هضمها للكائنات الدقيقة مثل البكتريا والطحالب والخمائر، باستثناء القليل منها الذي يحتوي على الكلوروفيل ويقوم بعملية التمثيل الضوئي. وتوجد هذه المجموعة في التربة الزراعية بأعداد تزيد على ١٠×١,٥ ° وفي حالات خاصة تصل إلي ١٠×٣ ° خلية في الجرام الواحد. وتتميز بقدرتها على التحوصل والبقاء في التربة ومقاومة الظروف غير المناسبة لسنين طويلة. وبالنسبة للغالبية العظمى من هذه المجموعة والتي تتغذى على المواد العضوية فإنه يمكن تمييز نوعين منها هما:

Saprobic Feeders

وهذه النوعية تتغذى على المادة العضوية وهي في صورتها الذائبة مع المواد المعدنية الأخرى، وهذا النوع غير شائع في التربة ولا يعرف مدى أهميته.

Phagotrophes

ويعرف أفراد هذا النوع بالأنواع المفترسة، حيث تلتهم الخلايا الميكروبية من بكتريا وخلافه وكذلك الجزيئات العضوية.

ومع أن البروتوزوا تنتشر بأعداد كبيرة في التربة، فإن دورها في التربة الزراعية لا يعرف عنه الكثير باختلاف دورها في تنظيم حجم المجتمع البكتيري بتغذيتها على أعداد كبيرة من البكتريا، كما أن هناك دلائل تشير إلي أن للبروتوزوا دورا في الإسراع ببعض التحولات البكتيرية مثل استخدام النتروجين الغازي أو تحلل المركبات العضوية المحتوية على الفوسفور.

الطحالب Algea

تنتشر الطحالب في جميع أنواع الأراضي تقريبا، حيث توجد رطوبة وكمية من بعض العناصر المعدنية مثل N, K, P, Mg, S, Fe، في الطبقة السطحية وتحت سطح التربة مباشرة في المنطقة التي يصلها قدر كاف من ضوء الشمس يضمن لها القدرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي (وفي) الغالب تكون الأنواع الموجودة في التربة من الطحالب وحيدة الخلية أو ذات الخيوط القصيرة بعكس الأنواع المائية مثل (البكتريا الزرقاء، والخضراء، وديياتومات، والخضراء المصفرة).

(وتؤدي) الطحالب دورا إيجابيا في تحسين خواص التربة، حيث تقوم الأنواع التي تعيش في الطبقة السطحية بعملية التمثيل الضوئي، وبالتالي زيادة نسبة الكربون العضوي في هذه المنطقة من التربة، كما أنها تعمل على تجميع حبيبات التربة، وبالتالي تقلل من تأثير عوامل الانجراف. وتقوم بعض الأنواع بتثبيت النتروجين الجوي في التربة، وبالتالي زيادة خصوبتها. ومن أكثر الأجناس كفاءة في عملية تثبيت النيتروجين الجوي:

Anabaena, Calothrix, Chrococcus, Nostoc, Oscillatoria, Scytonema, Tolypothrix

وتستعمل أنواع من الطحالب المثبتة للنيتروجين (البكتريا الزرقاء) على نطاق واسع في مزارع الأرز. وعندما تنمو الطحالب على أسطح الصخور فإنها تؤدي إلى تآكلها ونتيجة لموت هذه الطحالب فإنها توفر المادة العضوية التي تشجع نمو أنواع من الفطريات والبكتريا.

الفطريات Fung

مع أن الفطريات لا تشكل نسبة كبيرة من مجمل الأحياء الدقيقة في التربة إلا أنها تمثل جزءا كبيرا من الكتلة الحية للميكروبات، نتيجة غزارة نموها على صورة هيفات متشابكة، ويتراوح عددها بين ٢,٥×١٠^٥ و١٠^٦ في الجرام الواحد. وتعتبر الفطريات هي المسؤول الأول عن تحلل المادة العضوية في الأوساط الحمضية.

وتعتمد الفطريات في توزيعها على مدى توفر المادة العضوية القابلة للأكسدة، لأنها من الكائنات غير ذاتية التغذية ويختلف عددها باختلاف كمية المادة العضوية في التربة. ويؤدي إضافة مخلفات المحاصيل والتسميد الأخضر أو أي مادة عضوية كربونية إلي التربة إلي زيادة في أعداد الفطريات وبالذات أنواع الأجناس *Penicillium, Mucor, Fusarium, Aspergillus*. كما تعتبر درجة الحموضة pH من العوامل الأساسية الأخرى التي تتحكم في نشاط وتركيب مجتمع الفطريات. فمع أن الفطريات - بصفة عامة - تفضل الأوساط الحمضية، فإن هناك أنواعا منها تفضل الوسط المتعادل أو القاعدي.

ويؤثر مستوى رطوبة التربة أيضا على انتشار الفطريات، حيث يؤدي انخفاض مستوى الرطوبة إلي انخفاض ملحوظ في مستوى نشاط الفطريات، رغم تحمل بعضها لدرجة تقرب من الجفاف. كما أن الزيادة الكبيرة في الرطوبة لها تأثير معاكس على نمو الفطريات نتيجة تأثيره على محتوى التربة من الهواء.

ويضم مجتمع الفطريات في التربة أنواعا ممرضة للنبات تساعدها بعض التركيبات الفسيولوجية مثل الجراثيم الكونيدية والكلاميدية مع الأجسام الحجرية على البقاء في

التربة لمدد طويلة ومقاومة الظروف البيئية الصعبة حتى في عدم وجود عوائلها مثل الأنواع التابعة لأجناس: *Botrytis, Rhizoctonia, Thielaviopsis, Phytophthora, Fusarium*.

وهناك بعض أنواع فطريات التربة تقوم بافتراس أنواع من الأوليات (البروتوزوا) والنيماتودا وتقضى عليها مثل أنواع الأجناس *Dactylella, Dactylaria*. كما توجد أحيانا بعض الأنواع الفطرية الممرضة للإنسان في التربة حيث تنتقل إلي الجسم عن طريق الجروح في أقدام الأشخاص الحفاة. ويعتبر النوع *Histopharia capsulatian* من أكثر الأنواع الممرضة شيوعا في العالم، حيث وجد أن حوالي ٣٠ مليون فرد أصيبوا به في الولايات المتحدة الأمريكية حيث يستوطن الترب الزراعية الملوثة بمخلفات الدجاج والطيور... إلخ.

* وهناك بعض أنواع الفطريات تتعايش بطريقة فريدة مع بعض النباتات الراقية مكونة مع جذورها التركيب المعروف باسم الفطريات الجذرية (الميكورهيزا Mycorrhiza)، حيث تنشأ علاقة تكافلية بين الجذر والفطر. ويندر وجود هذه الفطريات في الوسط المحيط إلا على مقربة شديدة من الجذور (حيث لا يمكن اعتبارها من فطريات التربة)، لأنها تتخذ فقط من جذور بعض النباتات، والتعايش معها، موطنا بيئيا مناسبا لمعيشتها. وهذا يعتبر صورة تكافلية تحصل معها الفطريات على احتياجاتها من الفيتامينات والأحماض الأمينية (التي لا تستطيع تخليقها) من النبات، بينما تحفز الفطريات جذور النبات على امتصاص بعض العناصر الغذائية مثل الفوسفور، والنيتروجين، والكبريت، لدرجة أن بعض النباتات لا يمكن أن تنمو في الترب الفقيرة لبعض العناصر إلا إذا احتوت التربة على هذا النوع من الفطريات. ومن أشهر أنواع الفطريات الجذرية (الميكورهيزا) تلك الأنواع التابعة للأجناس: *Boletus, Lactarus, Amanita, Phona, Armillaria*.

الأكتينوميسيتات Actinomycetes

هي مجموعة من البكتريا، وتوجد في الطبقة السطحية من التربة بأعداد قليلة لا تقارن بالبكتريا أو الفطريات. وتؤدي دورا محدودا في تحلل المواد العضوية، كما تعتبر

قدرتها التنافسية محدودة في التربة. غير أن بعضها يعتبر من المسببات المرضية النباتية الهامة التي تعيش في التربة مثل مرض جرب البطاطس الذي يسببه النوع *Streptomyces scabies*. كما أن بعضها يؤدي دورا في إفراز مضادات حيوية في التربة تحلل أنواع ميكروبية أخرى، وبالتالي تؤثر على التوازن الميكروبي في التربة.

البكتريا Bacteria

تعتبر البكتريا من أكبر مجموعات الأحياء الدقيقة المتواجدة في التربة، حيث تصل أعدادها في التربة الخصبة إلي ١٠^٨ خلية/جرام واحد. ويمكن تقسيم بكتريا التربة إلي قسمين رئيسين:

١ - الأنواع الأصلية المستوطنة Indigenous bacteria

وهي تلك الأنواع التي تستوطن التربة بصفة طبيعية ودائمة حيث تتكاثر فيها وتساهم بفعالية كبيرة في النشاطات الكيميائية والحيوية بها.

٢ - الأنواع الوافدة Invaders

وتشمل الأنواع التي تصل إلي التربة مع مياه الأمطار أو مع أنسجة النباتات المريضة ومخلفات النباتات والحيوانات. وهذه الأنواع تظل حية لفترة من الوقت، ولكنها لا تشارك بطريقة فعالة في عمليات تحويل العناصر في التربة.

وتضم المجموعة الأولى Indigenous أنواعا تتميز بسرعة استجابتها لإضافة العناصر الغذائية العضوية، وهي أنواع نشيطة في عمليات التحول الغذائي، لذلك فإن هذه البكتريا تستجيب لعمليات التسميد العضوي للتربة بإضافة المواد العضوية، فتزداد أعدادها وتظل كثافتها عالية طالما توافرت هذه العناصر، ثم تتناقص الأعداد عند نفاذ مصدر الغذاء من التربة. وتختلف أعداد البكتريا في التربة تبعا للطريقة المستعملة لعد البكتريا، فقد وجد مثلا أن العدد يصل إلي ٢٠٠مليون/جرام في التربة الجافة في حالة اتباع طريقة العد بالأطباق، بينما تعطي طريقة العد المباشر أضعاف هذا العدد وذلك في نفس التربة. ويعود الاختلاف في العدد إلي عوامل عديدة منها اختلاف الاحتياجات

الغذائية والبيئية للخلايا بحيث تنمو تلك الخلايا التي تناسبها الظروف المتاحة. فهناك الهوائية، وغير الهوائية، وتلك التي تحتاج إلى عناصر غذائية خاصة في بيئاتها. ومثل تلك العوامل تجعل من الصعب تنمية جميع الأنواع في بيئة واحدة.

ويتأثر عدد البكتريا في التربة وأنواعها بنوع التربة، فمثلا يزداد عدد البكتريا في أراضي النباتات العشبية، مقارنة بأراضي النباتات الاقتصادية، نظرا لكثافة المجموع الجذري وزيادة معدل إمداد التربة بالمواد العضوية المتخلفة عن الجذور.

وتؤثر العوامل البيئية تأثيرا كبيرا على أعداد البكتريا مثل: الحرارة، والرطوبة، والحموضة، والتهوية، والمادة العضوية. فالرطوبة تعتبر حيوية في التربة لزيادة التكاثر الميكروبي، غير أن زيادتها عن اللازم يؤثر سلبيا على التبادلية الغازية في التربة وتحد من النشاط الميكروبي. وتتحكم الحرارة في مجمل العمليات الحيوية، وبالتالي لا تؤثر فقط على نشاط وأعداد البكتريا ولكن تؤثر على الأنواع الموجودة فتسود تلك الأنواع التي تعيش عند درجات الحرارة السائدة، وتتغير الأنواع بتغير الدرجة الحرارية السائدة. ويؤثر محتوى التربة من المادة العضوية بحيث تزداد الأعداد بإضافة المواد الكربونية مثل عمليات التسميد الأخضر وحرث مخلفات المحاصيل في التربة، ويكون النشاط ملحوظا خلال الشهور الأولى، ثم يتناقص تدريجيا إلي أن يعود إلى مستواه الطبيعي بعد حوالي سنة. ويؤثر أيضا عمق التربة، ففي المناطق المعتدلة تنتشر الميكروبات حتى عمق متر واحد، وتتركز كثافتها حتى عمق عدة سنتيمترات من السطح. أما على سطح التربة فيقل العدد نتيجة شدة الحرارة ونقص الرطوبة. وكذلك تؤثر درجة الحموضة (pH) في التربة على نوعية الميكروبات السائدة، فالأراضي الزراعية الحمضية تغلب فيها الفطريات، والقلوية تزداد فيها البكتريا.

وتؤدي البكتريا دورا هاما في تحليل المواد العضوية المعقدة في التربة. فعلى سبيل المثال يتم تحليل الصور البروتينية المعقدة مثل الجلود وشعر الحيوانات وحوافرها بواسطة بعض أنواع بكتريا *Pseudomonas, B. subtilis* وأنواع الجنس *Clostridium*. كما

أن هناك صورا أخرى من المواد النيتروجينية مثل اليوريا والتي تحللها الأنواع *Bacillus pasteurii, Sarcina urea* مطلقة النشادر بمساعدة الإنزيم Urease.

الفيروسات Viruses وهي أدق صور التراكيب الحيوية حيث لا يمكن الاستدلال عليها ومشاهدتها إلا بالمجهر الإلكتروني، وتتجلى أهميتها الاقتصادية في كونها أحد المسببات المرضية الهامة للنبات، ولهذا السبب فقد حظيت هذه الكائنات باهتمام بالغ لدراسة سلوكها واستجابتها لعوامل التربة المختلفة. ومن أهم مجموعات الفيروسات التي يحتمل أن يكون لها أهمية زراعية، تلك الأنواع التي لها القدرة على تحليل البكتريا المكونة للعقد الجذرية في النباتات البقولية التابعة للجنس البكتري *Rhizobium*. ويمكن عزل هذا النوع من الفيروسات من التربة المزروعة بالبرسيم الحجازي أو من جذور النبات، حيث تؤدي إصابة البكتريا داخل العقد البكترية بهذه الفيروسات إلى خسائر اقتصادية كبيرة نتيجة تدهور المحصول.

وتشكل التربة الزراعية مأوى لبعض أنواع الفيروسات الممرضة والتي تستطيع البقاء في التربة لمدد قد تصل إلى العام كما هو الحال في فيروس تبرقش (موزايك) التبغ. وتستطيع الفيروسات البقاء في التربة الزراعية والاحتفاظ بقدرتها على إحداث المرض ثم تنتقل إلى النباتات الحديثة عند زراعتها في التربة. ومن أشهر فيروسات التربة (الفيروسات المسببة لأمراض التبرقش في القمح والشوفان والتبغ، وتلك المسببة لأمراض التضخم العرقي في الخس والتبقع الحلقي في البطاطس). وقد لوحظ أن حيوية ونشاط الفيروسات يزداد في الترب الرطبة ويتأثر سلبا في الترب الجافة. كما تؤثر درجة حموضة التربة على طول فترة احتفاظ الفيروسات بحيويتها في التربة حيث تكون التربة ذات الوسط المتعادل أكثر ملاءمة لاحتفاظ الفيروسات بحيويتها مقارنة بالتربة الحمضية الوسط. وقد لوحظ أن نيماتودا التربة والحشرات الموجودة في التربة تؤدي دورا إيجابيا في إصابة النباتات بفيروسات التربة.

تحليل المادة العضوية في التربة

Biodegradation of Organic Matter in Soil

تتكون المادة العضوية في التربة من أنسجة نباتية وحيوانية تتفاوت لحد كبير في مكوناتها تبعا لنوع الغطاء النباتي، وطبقة التربة، ومعدل الأمطار، ... إلخ.

وتبقى المادة العضوية في حالة من التغير المستمر في مكوناتها وطبيعتها، ويمكن أن نحدد ثلاثة مكونات رئيسية للمادة العضوية هي: المواد النباتية، والمخلفات الحيوانية، والخلايا الميتة للكائنات الحية الدقيقة. فالنباتات على امتداد مرحلة نموها تقوم بتكوين مركبات كربونية بواسطة عملية التمثيل الضوئي وبعضها يثبت النيتروجين الجوى تكافليا مكونا مركبات نيتروجينية، ويقوم النبات بامتصاص العناصر المعدنية الميسرة من التربة لكي تدخل في تكوين العديد من المركبات العضوية المعقدة. ونتاج جميع هذه الفعاليات هو بناء أنسجة نباتية ناضجة من جذور وأوراق وثمار وسيقان النبات. ويستخدم الإنسان بعض أجزاء هذه النباتات الناضجة في غذائه، كما تستخدم أنواع معينة كأعلاف لتغذية الحيوانات. وهذه الأجزاء التي يستخدمها الإنسان أو الحيوان في غذائه تعود مرة أخرى إلى التربة في صورة مخلفات وإخراجات عضوية.

ويمكن تقسيم المخلفات النباتية في التربة من حيث تكوينها إلى: سكريات عديدة، وليجنين، وبروتينات. فالسكريات العديدة عبارة عن جزيئيات مركبة من السكريات، وتتكون من وحدات صغيرة من السكريات الأحادية، ومن أمثلتها السليولوز، والهيميسليولوز، واللجنين وهو عبارة عن مركبات كربونية معقدة تتكون في الأنسجة الخشبية للنبات، بينما تشكل المواد البروتينية الجزء الأكبر من بروتوبلازم الخلايا. إضافة إلي ما سبق هناك مكونات أخرى في أنسجة النبات مثل: دهون، وشموع، وأحماض دهنية، وكحولات، وكيتونات، وهرمونات، وأصباغ، ... إلخ، وهذه توجد بنسب مختلفة حسب نوع النبات.

هناك أيضا المخلفات الحيوانية والتي تختلف في تركيبها حسب مصدرها، فعندما تضاف هذه المواد العضوية المذكورة أعلاه إلى التربة تبدأ الكائنات الحية الدقيقة

الموجودة في التربة بتحليل هذه المكونات بدرجة متخصصة، بحيث يتزايد عدد الميكروبات في التربة زيادة كبيرة، وتتزايد تلك الأنواع المتخصصة في تحليل نوع المادة العضوية المضافة. فتحليل المادة العضوية هو أحد أهم وظائف الأحياء الدقيقة والتي عن طريقها يتم توفير ثاني أكسيد الكربون اللازم لعمليات التمثيل الضوئي. ولولا عمليات التحليل الميكروبي هذه لتراكمت المواد العضوية بكميات هائلة على سطح الأرض ولأصبحت الحياة شبه مستحيلة على هذا الكوكب.

وتقوم الكائنات غير ذاتية التغذية بوظيفة تحليل المواد العضوية، ويتأثر تحلل المادة العضوية بعدة عوامل منها نسبة وجود المادة العضوية في التربة، والعمليات الزراعية، ودرجة الحرارة، والرطوبة، ودرجة الحموضة، وعمق التربة، والتهوية، ... إلخ.

ويتناسب معدل تحلل المواد النباتية مع محتوى أنسجتها من النيتروجين، فالمركبات الغنية في محتواها البروتيني يتم تحليلها بمعدل أسرع. ولما كانت الأنسجة النباتية تحتوي تقريبا نفس النسبة من الكربون والذي يمثل تقريبا ٤٠٪ من وزنها الجاف فإنه يمكن اتخاذ نسبة الكربون/النتروجين C/N كأساس لمقارنة جودة المادة العضوية ومعدل تحللها، وبالتالي جودة التربة.

فإذا كان المحتوى النيتروجيني منخفضا أي أن نسبة C/N واسعة، فهذا يعني أن تحلل المادة العضوية بطيء، فحين تضاف المادة العضوية للتربة فإنها لا تتحلل كليا وإنما يتبقى منها جزء غير متحلل، فالمادة العضوية التي تضاف للتربة تهاجمها محللات السليولوز مثل الفطر *Aspergillus*، والبكتريا *Clostridium* فيتحول السليولوز إلي مصدر كربوني بسيط تستغله كائنات حيه دقيقة أخرى أو يستغله النبات الراقي. ونفس الشيء يحدث للبروتين حيث يهاجم بواسطة محللات البروتين مثل الأنواع التابعة لأجناس الميكروبات غير ذاتية التغذية ويتحلل إلي صور بسيطة يستغلها النبات. وتزداد جودة التربة كلما نشطت الميكروبات في هذا الاتجاه، وتقل كلما قلت. فالأراضي التي تتكدس فيها المادة العضوية وترتفع فيها نسبة C/N تكون أقل خصوبة من تلك التي تنخفض فيها نسبة C/N.

وبصفة عامه فإنه يمكن تمييز ثلاث مراحل خلال عملية تحليل المادة العضوية :

- المرحلة الأولى : اختفاء الأنسجة النباتية والحيوانية بتأثير الإنزيمات الميكروبية.
- المرحلة الثانية : يتم فيها تخليق خلايا ميكروبية جديدة فتظهر أنواع البروتين والسكريات والأحماض النووية الخاصة بالفطريات والبكتريا.
- المرحلة الثالثة : هي تكوين نواتج التمثيل الغذائي التي تفرزها الميكروبات.

منطقة الريزوسفير Rhizosphere

يرتبط النبات الموجود في التربة بالكائنات الحية الدقيقة الموجودة حول منطقة الجذور ارتباطا وثيقا. وتتميز هذه الكائنات القريبة من منطقة الجذور بخواص تجعلها مختلفة عن غيرها من ميكروبات التربة ، حيث يهيئ النبات وسطا فريدا من نوعه لهذه الميكروبات في الوقت الذي تتأثر فيه الجذور بنشاط هذه الميكروبات. وعليه فإن للعلاقة الموجودة بين الكائنات الحية الدقيقة والنبات الراقي تأثيرا واضحا على خصوبة التربة. ويطلق على الوسط البيئي المحيط بمنطقة الجذور مصطلح الريزوسفير Rhizosphere. حيث تقسم هذه المنطقة إلى منطقة داخلية ملاصقة لأسطح الجذور ، وأخرى خارجية تشتمل على منطقة التربة المجاورة. وتكون المنطقة الأولى أكثر كثافة ونشاطا من الناحية الميكروبية حيث تفرز النباتات بعض نواتج تمثيلها الغذائي إضافة إلي أنسجتها المتحللة ، في حين تقوم هذه الميكروبات ببعض التأثيرات المفيدة للجذور.

وأظهرت الدراسات وجود مجتمع كثيف جدا من الميكروبات على سطح الجذور وفي المنطقة المحيطة بها مباشرة ، حيث تكثر البكتريا يتبعها الفطريات والأكتينوميسيتات. ويتأثر عدد ونشاط الميكروبات الملاصقة للجذور أكثر من تلك التي في المنطقة التي تليها بعوامل عدة منها نوع النبات المزروع و عمر النبات ، حيث تختلف طبيعة إفرازات النباتات المختلفة وبالتالي تؤثر سلبا وإيجابا على نوع الميكروبات السائدة في هذه المنطقة.

ونظرا لكثافة ونواتج هذه الميكروبات فقد كانت هناك باستمرار حالة من التضاد Antagonism ، والتعاون Association ، بين المجموعات الميكروبية مثل إفراز بعض

الميكروبات لمواد منشطة لنمو ميكروبات أخرى، أو إفراز مواد سامة أو مضادات حيوية تقلل أو تثبط نمو ميكروبات أخرى، مما يفسح المجال لانتعاش أنواع ميكروبية معينة، أو يؤدي إلي حماية النبات من الإصابة ببعض الأمراض.

ومن صور التأثير الفعال للميكروبات في منطقة الريزوسفير، وجد أن هناك ارتباطا بين ميكروبات الريزوسفير ومناعة كثير من سلالات النباتات لبعض الأمراض التي تنتقل عن طريق التربة. فعلى سبيل المثال وجد أن كثيرا من سلالات بعض النباتات الحساسة للإصابة بمرض الذبول الوعائي الذي يسببه الفطر *Fusarium oxysporum* تشجع جذورها نمو البكتريا والأكتينوميستات والفطريات بأعداد كبيرة، مقارنة بتلك الأصناف المقاومة.

ومع أن ميكروبات منطقة الريزوسفير أساسا من الميكروبات غير المرضة فإن الكثافة الكبيرة وعملية التضاد والتعاون في هذه المنطقة قد يكون لها أهمية خاصة على الميكروبات المرضة المنتقلة عن طريق التربة، فهذه العلاقات المتبادلة قد تؤدي إلى الحد من، أو تثبيط، الميكروبات المرضة، وأحيانا تؤدي بطريق غير مباشر إلى تهيئة ظروف معينة وملائمة لهذه الميكروبات المرضة.

الأهمية الميكروبية لنسبة الكربون للنيتروجين في التربة

Microbial Importance of C/N Ratio in Soil

لكل مجموعة من الميكروبات قيمة معينة لنسبة C/N، ففي الفطريات تكون ١٠/١، والبكتريا ٥/١، والأكتينوميسيتات ٦/١. ولهذه القيمة أهمية في محافظة التربة على مصدر نيتروجيني يصلح للاستغلال بواسطة النبات. ولتوضيح ذلك نضرب المثال التالي: فإذا فرض أننا أضفنا إلي التربة كمية من البرسيم (سماد أخضر) قدرها ٤٠ رطلا وحرث في الأرض، وأن هذا البرسيم يحتوي ٤٠٪ كربون، ٢,٥٪ نيتروجين، فإذا افترضنا أن الميكروبات بصفة عامة تستغل ٢٥-٣٠٪ من الكربون، فمعنى هذا أن نسبة الكربون المستغلة تساوى ١٢٪ من الكمية المضافة من البرسيم. وفي المقابل تكون

نسبة النيتروجين التي سوف تستغل تساوى ١٢×١/٥ = ٢,٤٪ (بافتراض أن البكتريا هي التي تقوم بعملية التحليل لأن نسبة C/N في البكتريا هي ١/٥)، وبما أن نسبة النيتروجين N في البرسيم هي ٢,٥٪ فهذا يعنى أن هناك ١,٠٪ فقط هو الزائد عن حاجة البكتريا سوف يتحول إلى أمونيا ثم نترات تساعد في زيادة المحتوى النيتروجيني غير العضوي، وبالتالي زيادة خصوبة التربة.

أما إذا افترضنا أن نسبة الكربون المستغلة كانت ٤٠٪ من كمية الكربون، فإن النسبة التي سوف تستغل من الكمية المضافة سوف تساوى ١٦٪ وهذا يعنى أن كمية النيتروجين المستغلة بواسطة البكتريا تساوى ١٦ × ١/٥ = ٣,٢٪، مما يعنى أن كمية النتروجين في نبات البرسيم المضاف لا تكفي لنمو البكتريا، وعلى هذا فسوف تستفيد البكتريا النامية بكل أو بمعظم محتوى التربة من النيتروجين، وبالتالي يلزم إضافة مخصبات نيتروجينية للتربة حتى تحافظ على خصوبتها. إذا فإن نسبة C/N في التربة من ناحية، والميكروبات السائدة من ناحية أخرى مهم جدا في تحديد خصوبة التربة.

دورة الكربون في الطبيعة Carbon Cycle in Soil

يعتبر الكربون أحد العناصر البالغة الأهمية للأحياء بصفة عامة لأنه أساس بناء الخلية وتحتوي الأنسجة النباتية والخلايا الميكروبية على نسبة عالية من الكربون تمثل ٤٠-٥٠٪ من وزنها الجاف تحصل عليها من ثاني أكسيد الكربون CO_2 الموجود في الجو والذي يشكل نسبة ٠٣,٠٪ من حجم الغازات في جو الأرض.

ومجمل دورة الكربون تتلخص في تثبيت CO_2 في المواد العضوية النباتية والميكروبية من خلال عملية التمثيل الضوئي ثم انطلاقه ثانية إلى الجو.

وبعملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها النباتات والطحالب يتحول ثاني أكسيد الكربون الجوى (اللاعضوى) إلى كربون عضوي كما في المعادلة الآتية:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{ضوء}]{\text{كلوروفيل}} (HCHO) + O_2$$

ثم ينتقل هذا الكربون المثبت في النبات إلى الحيوان (غير ذاتي التغذية) والذي لا يستطيع الاستفادة من ثاني أكسيد الكربون الجوى مباشرة كما يفعل النبات، وعند تحول ثاني أكسيد الكربون إلى الصورة العضوية النباتية والحيوانية والميكروبية، يصبح من غير الممكن للنباتات أن تستعمله في بناء خلايا نباتية جديدة. ولكي تتمكن النباتات من استعماله، فلابد أن يتحول الكربون العضوي إلى الصورة الغازية الأولى CO_2.

ولو نظرنا إلى الكميات الكبيرة من النباتات، والكميات الهائلة من الحيوانات المعتمدة عليها، لتصورنا أن هذه النسبة القليلة من CO_2 الجوى قد تنفد يوما ما، وبنفادها تنعدم الحياة، ويتجلى هنا واضحا الدور الكبير للكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بتحليل البقايا النباتية والحيوانية والتي تعيد CO_2 في صورته غير العضوية إلى الجو ثانية فلولا الميكروبات وتحليلها للمواد العضوية النباتية والحيوانية لتكدست المواد العضوية في التربة بما فيها من كربون ولانعدمت الحياة على هذا الكوكب. ولكن عند موت النبات والحيوان والكائنات الحية الدقيقة نفسها تتعرض بقاياها لعمل الكائنات الحية الدقيقة فتحللها وتطلق منها CO_2. ففي التربة الزراعية تتحلل المواد العضوية إلى الدبال الذي يكون مصيره النهائي CO_2 الجوى من جديد.

ومما سبق نجد أن دورة الكربون تبدأ من الحصول على CO_2 من الجو ثم تنتهي بانطلاقه إلى الجو، وهكذا تدور دورة الكربون (الشكل رقم ٦١).

دورة النيتروجين في الطبيعة Nitrogen Cycle in Soil

من المعروف أن النيتروجين يشكل النسبة الكبرى من حجم الغازات في جو الأرض، إذ تبلغ نسبته ٧٨,١٪ من جو الأرض. كما تمثل البروتينات حوالي ١٦٪ من المواد العضوية الموجودة في الكون. وبين الصورة الغازية البسيطة للنيتروجين والصورة المعقدة البروتينية له توجد صور عديدة جدا تساهم الكائنات الحية الدقيقة في تحويلها من صورة إلى أخرى أكثر أو أقل تعقيدا، وأن أبسط صورة يوجد عليها النيتروجين في الطبيعة هو النيتروجين الجوي، وهو بهذه الصورة الغازية خامل ولا يستطيع أن يستفيد

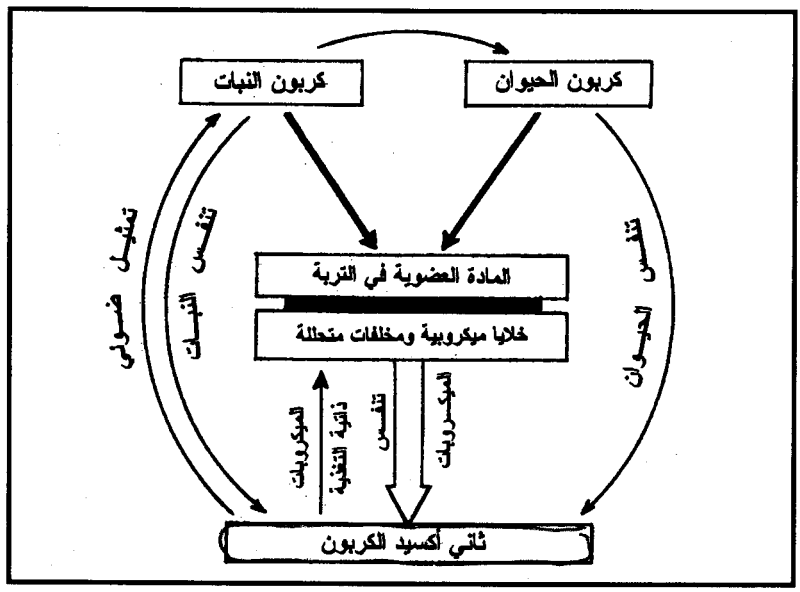
منه النبات مباشرة ولابد من تحويله إلى الصورة المعدنية Mineralization كي يصبح قابلا للامتصاص من قبل النبات. ويثبت النيتروجين الجوى بعدة طرق منها :

أولا: التثبيت الكيميائي Chemical Fixation

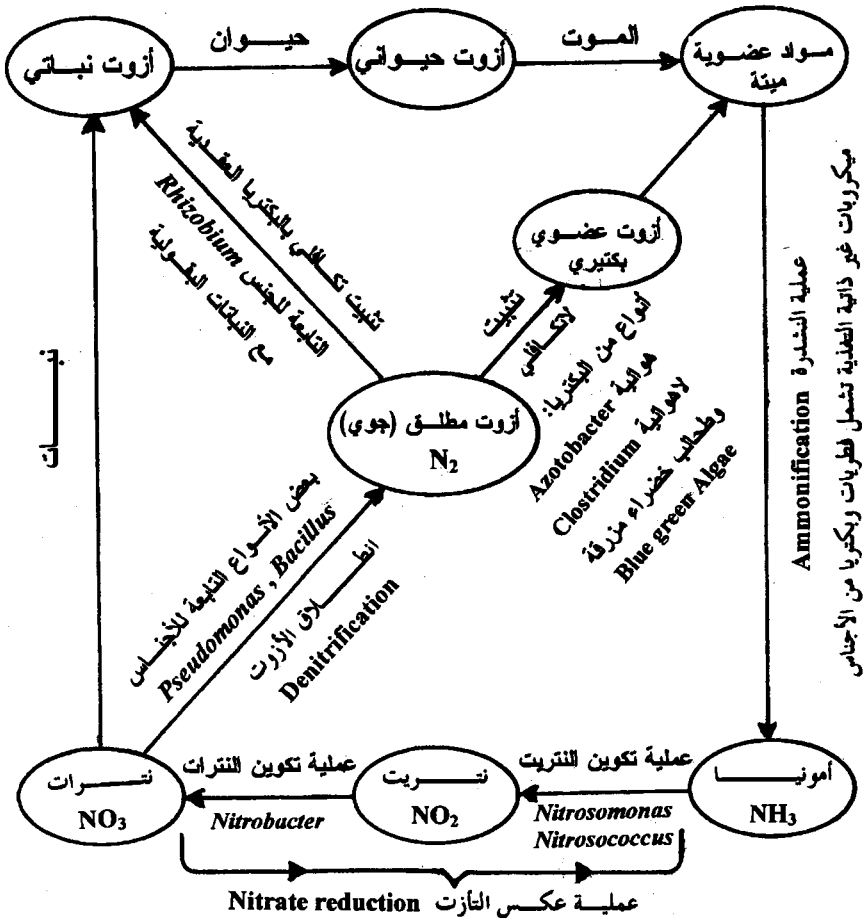
ويتم ذلك في مصانع الأسمدة النيتروجينية، وفيه يتم تحويل النيتروجين إلى نشادر ويتم ذلك تحت درجات حرارة وضغوط مرتفعة جدا تصل إلى حوالي ٢٠٠°م و٢٠٠ ض ج، مما يجعلها عملية مكلفة اقتصاديا.

ثانيا: التثبيت الحيوي للنيتروجين الجوى Biological Nitrogen Fixation

وتقوم به مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة تحت درجات حرارة الجو العادي، وكذلك الضغط الجوى العادي، وذلك بمساعدة إنزيم يوجد في هذه الكائنات يسمى إنزيم النيتروجينيز Nitrogenase الذي يحول النيتروجين الجوى إلى أمونيا والتي تشكل العنصر الهام في تكوين الأحماض الأمينية، وبالتالي البروتين (الشكل رقم ٦٢).



الشكل رقم (٦١). دورة الكربون في الطبيعة.



الشكل رقم (٦٢). دورة النتروجين في الطبيعة.

(عن: طه، ١٩٧١م)

وينقسم التثبيت الحيوي للنيتروجين الجوى إلى:

أ) تثبيت حيوي لا تكافلي Non-Symbiotic nitrogen fixation

وتقوم به مجموعة كبيرة من البكتريا نذكر منها:

١ - البكتريا الممثلة للضوء **Phototrophic Bacteria (Photobacteria)**: ويتبعها ما يسمى البكتريا الزرقاء Cyanobacteria

٢ - البكتريا غير الممثلة للضوء **Scotobacteria**: وتوجد منها مجموعتان:

- مجموعة البكتريا الهوائية ومنها: النيتروجينوباكتر Azotobacter ويمكنها أن تثبت حوالي ١٨ مجم نيتروجين لكل ١ جم سكر؛ الأزوموناس Azomonas؛ البيارنكيا Beijerinckia؛ الدركسيا Derxia؛ الكلبسيلا *Klebsiella pneumoniae*، الأزوسبيريللام Azospirillum، وهي تثبت النيتروجين في الحالة الحرة أو بالتعاون مع جذور بعض النباتات مثل نبات الذرة حيث وُجدت هذه البكتريا على سطوح الجذور وفي الصفيحة الوسطى Middle lamella لخلايا الجذور، ولذلك يطلق عليها (مثبت النيتروجين شبه التكافلي Semi-Symbiotic N_2-Fixer) يوجد عديد من الميكروبات الأخرى نذكر منها: *Bacillus polymyxa*, Corynebacterium ولكن قدرتها على التثبيت ضعيفة.

- مجموعة البكتريا غير الهوائية المثبتة للنيتروجين الجوى: مثل *Clostridium pasteurianum* وهو من الميكروبات اللاهوائية الحتمية، وهو يثبت كمية من النيتروجين أقل من النيتروجينوباكتر (٢-١٠ ملليجرام نيتروجين لكل ١ جم سكر ممثل)، لكن أعداده بالتربة تزيد عن أعداد النيتروجينوباكتر.

ب) تثبيت حيوي تكافلي **Symbiotic nitrogen fixation**

١ - التكافل بين الريزوبيا والنباتات البقولية Rhizobium-Legume symbiosis: كما في الأجناس: Rhizobium سريعة النمو (٣-٤ أيام)، وتتكافل مع بعض المحاصيل البقولية، Bradyrhizobium بطيئة النمو (٧-١٠ أيام)، ويتكافل مع البعض الآخر من المحاصيل البقولية.

٢ - التكافل بين الريزوبيا والنباتات غير البقولية Rhizobium-non legume symbiosis.

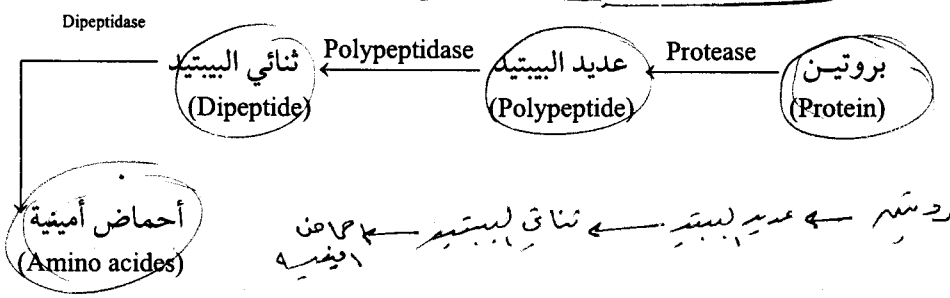
٣ - التكافل بين الأكتينوميسيتات والنباتات غير البقولية Actinomycetes-non legume symbiosis.

عملية النشدرة Ammonification

ويتم في نهايتها خروج النشادر من البروتين على مرحلتين:

المرحلة الأولى: مرحلة التحلل المائي Hydrolysis

وفيها يتحول البروتين إلى أحماض أمينية كما يلي:



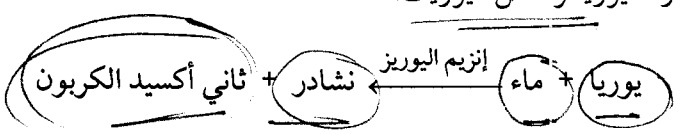
وتقوم بهذه العملية العديد من أجناس البكتريا وبعض الفطريات:

- من البكتريا: بعض الأنواع التابعة للأجناس: *Bacillus, Clostridium, Pseudomonas* وبعض الأكتينوميستيات.
- ومن الفطريات: بعض الأنواع التابعة للأجناس: *Mucor, Aspergillus, Penicillium.*

المرحلة الثانية: مرحلة تحول الأحماض الأمينية إلى نشادر

ويتم ذلك بنزع مجموعة الأمين منها Deamination عن طريق إنزيمات تسمى Deaminases.

نشدرة اليوريا وحمض اليوريك:



$$CO(NH_2)_2 + H_2O \xrightarrow{\text{Urease}} 2NH_3 + CO_2$$

تقوم بهذه العملية أنواع من الأجناس: *Sarcina, Bacillus* حيث تستخدم هذه البكتريا الأمونيا وأملاح الأمونيوم كمصدر للنيتروجين.

عملية التأزت (النترتة Nitrification)

وهي عملية أكسدة الأمونيا إلى نترات في التربة، وهي تتم على مرحلتين:

المرحلة الأولى: أكسدة الأمونيا إلى نتريت بواسطة البكتريا وأهمها أنواع الجنس *Nitrosomonas* كما يلي:

$$2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + Energy$$

المرحلة الثانية: أكسدة النيتريت إلى نترات. تقوم بها البكتريا وأهمها أنواع الجنس *Nitrobacter*، وبكتريا *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* هوائية ذاتية التغذية الكيماوية Chemoautotrophs:

$$2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2HNO_3 + Energy$$

وتعتبر عملية التأزت (النترتة) مفيدة لخصوبة التربة، ولذلك يلزم توفير العوامل المساعدة لها مثل:

١- درجة الحموضة pH تتراوح بين ٦,٥ و٨.
٢- حرارة التربة تتراوح بين ٢٥ و٣٠°م.
٣- رطوبة التربة تتراوح بين ٥٠ و٦٠٪.
٤- تهوية جيدة.
٥- وجود بعض المواد العضوية في التربة.
٦- سرعة عملية النشدرة تؤدي إلى سرعة عملية النترتة.

اختزال النترات Nitrate Reduction

وتتم بطريقتين:

الأولى: اختزال النترات إلى نشادر

وتتم تحت الظروف اللاهوائية، ويقوم بها عدد كبير من البكتريا اللاهوائية الاختيارية ومنها أنواع الجنس *Clostridium*:

$$HNO_3 + 2H^+ \longrightarrow NO_2^- + H_2O$$

$$2NO_2^- + 10H^+ \longrightarrow 2H_2O + 2NH_2OH$$ (هيدروكسيل آمين)

$$NH_2OH + 2H^+ \longrightarrow NH_3 + H_2O$$

الثانية: انطلاق النيتروجين Denitrification

ويقصد بهذه العملية تحويل النترات إلى نيتروجين جوي $N_2 \rightarrow NO_3$. وتتم تحت الظروف اللاهوائية مثل غمر التربة بالماء، وتساهم فيها أنواع من الفطريات والأكتينوميسيتات والبكتريا. ومن البكتريا التي تقوم بهذه العملية أنواع من أجناس عديدة منها: *Pseudomonas, Bacillus, Corynebacterium*.

ويلاحظ أن الميكروبات التي تقوم بهذه العملية هوائية اختيارية حيث تستخدم الأكسجين الجوي في الأكسدة في الظروف الطبيعية، وعند غياب الأكسجين تقوم بالأكسدة عن طريق اختزال النترات.

علاقة اختزال النترات وانطلاق النيتروجين بتلوث البيئة

Denitrification and Environmental Pollution

من الأضرار الزراعية لهذه العملية قلة مستوى النيتروجين الميسر للنباتات، كما يؤدي إلى فقد السماد النيتروجيني من التربة. أما من ناحية الأضرار على البيئة فهي تكوين الغازات التي لها تأثير ضار على طبقة الأوزون مثل ثاني أكسيد النيتروجين NO_2، أكسيد النيتروجين NO، أكسيد النيتروز N_2O:

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O_3 \longrightarrow NO + 2O_2$$

ونتيجة للتسميد المعدني الزائد بالأسمدة النيتروجينة فإن مستوى النترات في التربة سوف يزداد ويتبع ذلك تكوين النيتريت والأكاسيد النيتروجينية الغازية والتي سوف تصل إلى الإنسان والحيوان عن طريق مياه الشرب وعن طريق الخضار والفواكه الملوثة بها، حيث تتحد مع الأمينات الموجودة بالجسم وتتحول إلى نيتروزأمين الذي يعتبر من العوامل التي قد تسبب مرض السرطان.

الفصل الثاني عشر

ميكروبيولوجيا الأطعمة
Food Microbiology

- حفظ الأطعمة • التسمم الغذائي • فساد الأغذية
- تصنيع الأغذية بواسطة الميكروبات

يستطيع المرء أن يُجزم بأن جميع الأطعمة ومنتجاتها المختلفة تكون في أغلب الأحوال ملوثة بالميكروبات، باستثناء تلك الأطعمة التي تنتج تحت ظروف محكمة التعقيم، وبصفة عامة تجد الميكروبات طريقها للوصول إلى الأطعمة بأعداد كبيرة عن طريق مصادر مختلفة كالهواء والتربة ومياه الري وغيرها من المصادر أثناء عمليات النقل والتصنيع والتخزين. وتشكل نسبة ضئيلة من الميكروبات التي توجد على سطح الأطعمة مصدرا لبعض الأنشطة المفيدة مثل ميكروبات التخمر. غير أن الغالبية العظمى من ملوثات الأطعمة هي ميكروبات تسبب فساد الأطعمة وتعفنها. فنظرا لأن أطعمة الإنسان تشكل في نفس الوقت مصدرا غنيا لإمداد الميكروبات باحتياجاتها الغذائية فقد كان هناك مجال للمنافسة بين الميكروبات وبين الإنسان والحيوان على هذه المصادر الغذائية، ومن ذلك تنشأ احتمالات الفساد. وتحمل بعض الأطعمة أنواعا من الميكروبات الممرضة والتي من الممكن أن تكون وسيلة مهمة للعدوى بها وانتشارها. كما أن انتشار بعض الميكروبات المنتجة للسموم بواسطة الأطعمة يشكل خطرا بالغا على الإنسان لقدرتها على إفراز مواد سامة في الأطعمة تنتقل إلى الإنسان مسببة أضرارا قد تؤدي إلى الموت.

ومما سبق ذكره تتضح الأهمية القصوى للاهتمام بميكروبات الأطعمة من الناحية الصحية والاقتصادية. وقد نشأت أفرع لعلم الميكروبيولوجيا تعنى بهذا الموضوع مثل علم (ميكروبيولوجيا الأطعمة، وميكروبيولوجيا الألبان). وسنتناول هنا بالذكر ونوع من التفصيل بعض المجالات التي يؤدي فيها النشاط الميكروبي دورا في تصنيع أو فساد الأغذية، والمواضيع المتعلقة بذلك.

حفظ الأطعمة Food Preservation

بتقدم صور حياة المجتمعات على وجه الأرض وتكوين المجتمعات الحضرية في صورة مدن بعيدة عن مصادر الإنتاج الزراعي، وانتشار الغزوات الحربية التي تضطر الجيوش للابتعاد لمدد طويلة في مناطق بعيدة، وإبحار السفن لشهور في عرض البحر، وتنوع مواسم الإنتاج الغذائي، ... إلخ. كل هذه العوامل دعت الإنسان إلى التفكير في وسيلة لحفظ المواد الغذائية في صورة سليمة محتفظة بمواصفاتها لمدة طويلة تمكنه من استهلاكها في غير مواسم إنتاجها، وتموين السفن والجيوش بها لاستهلاكها على امتداد شهور وسنين طويلة بعد إنتاجها. وقد نجح الإنسان في ذلك الهدف وتوصل إلى عدة وسائل تتفاوت كفاءتها في حفظ الأغذية. وذلك بجعل الظروف البيئية في الغذاء غير ملائمة لنمو الميكروبات المفسدة. ويعتبر الفرنسي نيكولاي أمبرت أول من ابتدع طريقة لحفظ المواد الغذائية بالعلب عام ١٨٠٢م بناء على تكليف نابليون بونابرت لإمداد جيوشه الغازية في أنحاء العالم بالمواد الغذائية. ومعظم أغذية الإنسان التي يستهلكها تعتبر بيئة صالحة لنمو الميكروبات (باستثناء الحبوب والسكريات الجافة)، لذلك فهي عرضة للتحلل والفساد والتعفن، وبالتالي يلزم العمل على حفظها وتخزينها بطريقة آمنة سليمة حتى يمكن استخدامها في الأوقات والأماكن التي يندر وجودها فيها.

وأهم طرق الحفظ هي: درجات الحرارة المنخفضة، ودرجات الحرارة المرتفعة، والمحاليل المركزة، والمواد الحافظة، والتجفيف، ... إلخ.

١- درجات الحرارة المنخفضة:

هناك عدة وسائل لحفظ الأغذية باستعمال درجات الحرارة المنخفضة التي تؤدي إلى وقف نمو الميكروبات ووقف نشاطها، وبالتالي منع الفساد واحتفاظ الغذاء بمواصفاته ومن هذه الوسائل:

- الحفظ في مكان بارد (١٠-١٥°م) مع ضمان تيار هوائي جيد لمنع ارتفاع الرطوبة، وتُستعمل لحفظ المحاصيل السوقية والدرنية.
- الحفظ بالتبريد في الثلاجات والبرادات (٢-٧°م) مثل اللحوم والفواكه والألبان.
- الحفظ بالتجميد (-١٨°م أو أقل)، وهناك التجميد السريع والبطيء لحفظ اللحوم والخضروات لمدة طويلة.

٢- درجات الحرارة المرتفعة:

تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعا لحفظ الأغذية، وذلك لكفاءتها العالية ومن أهم وسائلها:

أ) **البسترة**: وتستعمل فيها درجة حرارة أقل من درجة الغليان لضمان قتل جزء كبير من الميكروبات وجميع الميكروبات المرضية، وتستعمل في المحاليل التي تتأثر بدرجات حرارة الغليان مثل الألبان ومنتجاتها والعصائر.

ب) **الغليان**: ويستعمل للقضاء على جميع أنواع البكتريا غير المتجرثمة في الأغذية التي لا تفسد بالبكتريا المتجرثمة.

ج) **درجات أعلى من ١٠٠°م**: وذلك باستعمال المعقمات بالبخار تحت ضغط لضمان القضاء على كل صور الميكروبات بما فيها المتجرثمة في المادة الغذائية.

٣- المحاليل المركزة:

مثل محاليل السكر أو الملح في حفظ الفواكه والمخللات، وذلك لخلق ضغط إسموزي عال يؤدي إلى انكماش وتجفيف بروتوبلازم خلايا الميكروبات ووقف نشاطها.

٤- التجفيف

ويعتمد على إزالة الماء من الأغذية لدرجة لا تسمح للميكروبات بالنمو، وقد تكون بطرق طبيعية كالشمس والهواء أو بطرق صناعية.

٥- المواد الكيميائية الحافظة

حيث تضاف بعض المواد للأغذية لمنع نمو الميكروبات عليها، مثل بنزوات الصوديوم. وأحيانا تتكون المواد الحافظة في الطعام أثناء إعداده مثل حمض اللاكتيك في المخللات. ويجب أن تكون المواد المضافة عديمة التأثير السيئ على صحة الإنسان، وهناك قوانين في كثير من الدول تحدد نوع المواد الحافظة المصرح بإضافتها.

التسمم الغذائي Food Poisoning

يقصد بالتسمم الغذائي تلك الأعراض المرضية الفجائية التي تنتاب الإنسان نتيجة تناوله مادة غذائية محتوية على مواد سامه مثل: مواد كيماوية سامة، فطريات سامة، سموم بكتيرية، تكاثر بعض أنواع البكتريا في المواد الغذائية.

ويعنينا في هذا المجال تلك الحالات التي تنشأ عن السموم البكتيرية والتي من أعراضها اضطراب الجهاز الهضمي المصحوب بالقيء والإسهال، ومن صور التسمم البكتيري في الغذاء الأكثر شيوعا هي:

١- التسمم البوتشليني Botulism

والمتسبب فيه وجود سموم Toxins تفرزها بكتريا النوع *Clostridium botulinum* في الأطعمة مثل الخضروات، وبعض الفواكه مثل المشمش، والكمثرى، واللحوم، والأسماك، وهو من حالات التسمم الخطيرة التي قد تؤدي إلى الموت. فعند نمو الميكروب في الأطعمة غير الحمضية تنتج رائحة تزنخ كريهة، بينما لا تلاحظ هذه الرائحة في الأطعمة الحمضية. ونظرا إلى أن هذا الميكروب متجرثم فقد كان من

الضروري الاهتمام بالتعقيم عند درجات حرارة أعلى من ١٠٠°م، أي استعمال الضغط، لضمان قتل البكتريا المتجرثمة، غير أن السموم نفسها تفقد سميتها عند درجة ١٠٠°م.

٢- التسمم بالبكتريا الكروية العنقودية *Staphylococci*

ويشبه هذا النوع صور التسمم البوتشليني من حيث كونه يحدث نتيجة إفراز البكتريا للسم في المادة الغذائية، غير أنه أقلّ خطورة منه حيث إنه لا يؤدي غالبا للوفاة إذ يمكن أن يستعيد المصاب نشاطه في مدى يومين أو ثلاثة. وتفرزه البكتريا من نوع *S. pyogenes*. والأطعمة الأكثر عرضه له هي البيض والجبن والسمك واللحوم وأفضل طرق الاحتياطات هي وضع الأطعمة في ثلاجات عقب طهيها.

٣- التسمم البكتيري بالسالمونيلا *Salmonella*

وتسببه أنواع من الجنس البكتيري *Salmonella* ومنها:

(أ) أنواع تصيب الإنسان، وينتج عنها حمى التيفويد مثل النوع *S. typhi*، وحمى الباراتيفويد بالنوع *S. paratyphi*.

(ب) أنواع تصيب الحيوانات مسببة لها أعراضا تشبه الحمى التيفودية في الإنسان، وإذا تناول الإنسان أطعمة ناتجة من هذه الحيوانات المصابة فإنه يصاب بحالات التسمم وعموما فان حالات التسمم بهذا النوع قليلة وليست شائعة حيث تحدث إثر تناول اللحوم من حيوانات مصابة بالحمى التيفودية دون طبخها جيدا، كما أنها يمكن أن تنتقل عن طريق الألبان والجبن المختلفة. وعملية البسترة كفيلة بالقضاء على هذا الميكروب في الألبان.

فساد الأغذية Food Spoilage

يعرف الفساد الغذائي بصفة عامة بأنه التغير في لون أو طعم أو رائحة المادة الغذائية نتيجة تحللها، غير أنه ليس من السهل الحكم على الغذاء من ناحية فساده أو

صلاحيته للأكل، فقد يكون ما يحسبه أحد الأفراد صالحا للأكل لا يعتبر كذلك بالنسبة لفرد آخر. فعلى سبيل المثال يرغب بعض الناس في تخزين أو إنضاج اللحوم لفترة قبل استخدامها، بينما يرى آخرون أن هذا التخزين يفسد اللحم. ويعتبر التخمر اللاكتيكي في بعض الأطعمة فسادا لها، بينما يشجع هذا التخمر في صناعة المخللات. ويعتبر التعفن نوعا من التحلل غير المرغوب فيه، غير أنه عندما يحدث في بعض أنواع الجبن يعطيها طعما مرغوبا. ويعتبر هذا الجبن من أفضل الأنواع وأغلاها ثمنا مثل نوع "جبن لجار".

ويعزى الفساد الغذائي لعدة أسباب، منها ما يعزى للإنزيمات الموجودة في النبات أو الحيوان (مصدر المادة الغذائية)، أو بفعل ميكروبي، أو كلاهما معا. ويعنينا في هذا المجال الحديث عن الفساد الميكروبي، حيث توجد الميكروبات كما أسلفنا على الأطعمة الخام غير المجهزة. وإذا أتيحت الفرصة (الظروف الملائمة) لهذه الميكروبات فإنها تحدث التغييرات المختلفة في المادة الغذائية فيصيبها الفساد. وتتوقف طبيعة الفساد على نوع الميكروب المسبب وطبيعة المادة الغذائية وتركيبها، والظروف البيئية المحيطة بها.

ولكن ما هو الفساد الغذائي؟ وكيف تصل الأحياء الدقيقة إلى الغذاء؟

إن الكائنات الحية الدقيقة - بحكم طريقة تغذيتها - تعتمد في غذائها، في أغلب الأحوال، إما على مواد عضوية غير حية أو على كائنات حية (نباتية أو حيوانية)، حيث تقوم بإفراز إنزيمات تحلل وتكسر المركبات المعقدة في هذه المواد إلى جزيئات صغيرة تستطيع المرور إلى داخل جسم الكائن الحي الدقيق ومن ثم الاستفادة منه.

ونتيجة لهذه العملية تنشأ لدينا عدة ظواهر طبيعية، فإذا كانت الكائنات الدقيقة تستمد غذاءها من كائن حي آخر عن طريق عملية التطفل Parasitism أو التكافل Symbiosis فإنه قد تنشأ لدينا ظاهرة المرض Disease. فإذا كان الكائن الحي الدقيق يستمد غذاءه من مواد عضوية غير حية ففي هذه الحالة تنشأ لدينا إما ظاهرة مفيدة وهي تحلل المواد العضوية، والتي تتم من خلالها دورة العناصر في الطبيعة (أشرنا

إليها)، أو ظاهرة ضارة وهي فساد الأغذية والمواد المخزونة نتيجة تحللها، وبالتالي تغير طبيعتها وتكون مواد مختلفة في الرائحة والقوام وقد تكون سامة، فالمواد المخزونة إذا كانت مواد نباتية (خضار، فاكهة، ... إلخ) طازجة فإنها تحتوي على محتوى ميكروبي تنقله معها من الحقل، وذلك إما من التربة الزراعية أو من الميكروبات العالقة في الجو بحيث تترسب على مجموعها الخضري أو من خلال مياه الري. ويختلف المحتوى الميكروبي هذا من حيث النوع والكم من نبات لآخر ومن منطقة لأخرى ومن موسم لآخر. فبعض المواد النباتية يساعد تركيبها الكيميائي والمورفولوجي على الاحتفاظ بنوعيات وكميات أكبر من الميكروبات، مقارنة بأنواع أخرى، فمثلا ذات السطح الأملس محتواها الميكروبي أقل بكثير من ذات السطح المغطى بالشعيرات أو الخشن. وتشكل الأجناس البكتيرية التالية الغالبية العظمى من الأنواع الموجودة في التربة والتي قد تعلق بالنباتات: *Bacillus, Pseudomonas, Streptococcus, Escherichia, etc.* بينما تحتوي مياه الري غالبا على الأجناس: *Pseudomonas, Proteus, Chromobacterium, Bacillus, Micrococcus, etc.*

كما أن الإنسان قد يساعد على تلوث المنتجات النباتية خلال عمليات النقل والتعبئة بأنواع ميكروبية أخرى. وكذلك خلال عمليات التخزين في المستودعات، وبالذات إذا كانت الظروف غير مناسبة مثل ارتفاع نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة، فإن ذلك يساعد على سرعة تكاثر هذه الميكروبات العالقة، ويستطيع بعضها مثل الفطريات اختراق الأنسجة إلى الداخل وتحليل المكونات، بينما تعتمد البكتريا على الجروح التي قد تحصل للمنتجات النباتية خلال عمليات النقل والتخزين في الدخول إلى داخل الأنسجة وتحليلها.

أما المنتجات الغذائية الحيوانية مثل اللحوم ومنتجاتها والدواجن والألبان ومشتقاتها فإنها تشكل بيئة غذائية مثلى لنمو وتكاثر الأحياء الدقيقة، كذلك فإن احتمالات تلوثها وفسادها تصبح كبيرة جدا. غير أن نوع الميكروبات التي تنمو فيها وكمياتها تتفاوت تبعا لمكوناتها الغذائية وعلى ظروف الإنتاج والتخزين.

ومع أن بعض المنتجات الغذائية تحمل محتوى ميكروبيا ذا فائدة اقتصادية مثل ميكروبات التخمر Fermentation، فإن البعض الآخر قد يحتوي على ميكروبات ممرضة للإنسان تنتقل عن طريق الغذاء، أو ميكروبات تفرز مواد سامة Toxins تجعل المادة الغذائية غير قابلة للاستعمال الآدمي. وبصورة عامة فإن الميكروبات تحتاج إلى محتوى من الرطوبة يتراوح بين ٥ و١٥٪ داخل المادة الغذائية، ودرجة حرارة تتراوح بين ٧ و٦٠°م حتى تستطيع أن تنمو وتحدث التغيرات غير المرغوبة في المظهر والطعم والرائحة وهو ما يعرف بالفساد الغذائي.

ويمكن توضيح نواتج تحلل وفساد مختلف المكونات الغذائية بالرسم التالي:

Protein foods + Proteolytic microorganisms ⟶ amino acids + amines + ammonia + hydrogen sulphide (رائحة كريهة)

Carbohydrate foods + Carbohydrate - fermenting microorganisms ⟶ acids + alcohols + gases

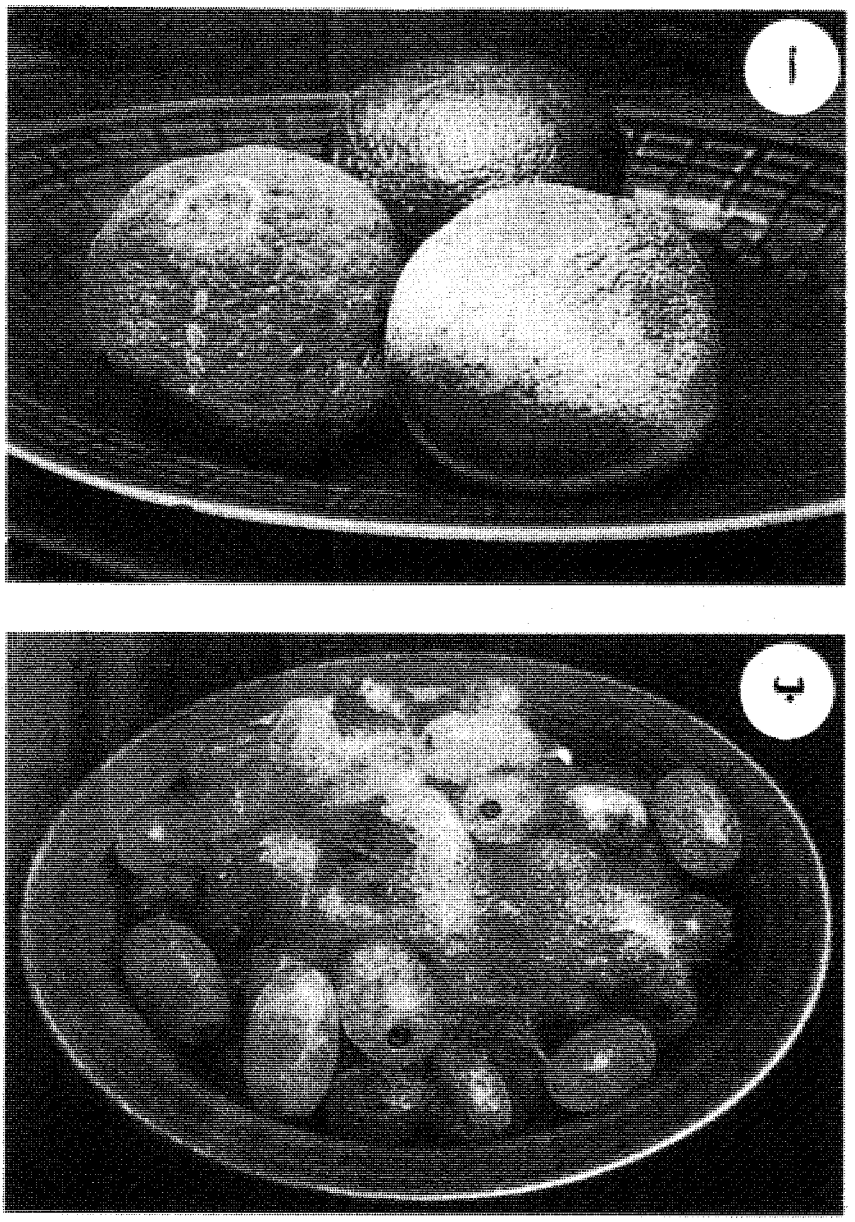
Fatty foods + Lipolytic microorganisms ⟶ fatty acids + glycerol

وسنذكر أمثلة توضح صور الفساد التي تحدث لمختلف المواد الغذائية.

(١) **السكر ومنتجاته** يفسدان بواسطة الفطريات والخمائر إذا وصل إليهما الماء.

(٢) **الخضروات والفواكه** وتزداد احتمالات الفساد عند تمزيق الأنسجة النباتية، ومن أمثلته العفن الطري بفعل بكتريا *Erwinia carotovora* العفن الرمادي الذي تسببه أنواع الفطر *Botrytis* spp.، العفن الأزرق الذي يشاهد على الموالح ويسببه الفطر *Penicillium* (الشكل رقم ٦٣)، وغيره كثير. وهذه تحدث على الخضراوات والفواكه أثناء فترة النقل والتخزين، وبالذات إذا كانت الظروف ملائمة للميكروب (رطوبة عالية وحرارة مرتفعة)، كما يساعد تجريح وتمزق أنسجة الخضروات والفواكه على سرعة إصابتها.

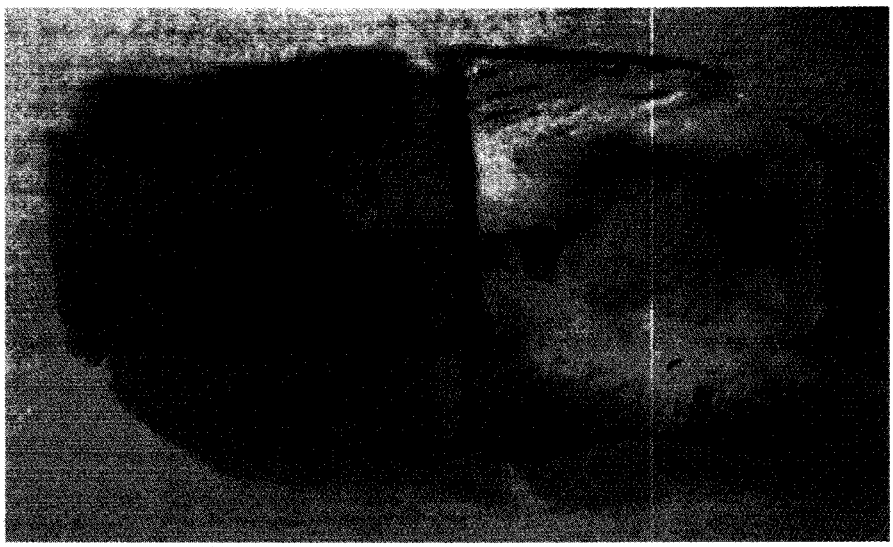
(٣) **المخللات** ويحدث لها فساد أولي بواسطة الفطريات والخميرة التي تكون غشاء على السطح ثم تحلل الأحماض الموجودة في المادة الغذائية.



الشكل رقم (٦٣). أ) تعفن وفساد ثمار البرتقال بواسطة أنواع من فطر البنسيليوم، ب) تعفن وفساد ثمار العنب بواسطة أنواع من فطر الريزوبس.

(عن : Prescott, *et al.*, 1996)

٤ **فساد اللحوم.** يتعرض اللحم للفساد نتيجة للإنزيمات الموجودة فيه، وكذلك نتيجة فعل الميكروبات، ويعتبر اللحم بيئة مثالية للميكروبات لاحتوائه على الماء وعلى نسبه عالية من المواد النيتروجينية وعوامل النمو. ومن أهم صور الفساد في اللحم: اللزوجة، وتغير لون اللحم، وحموضة اللحم، و الروائح الغريبة نتيجة تكوين أحماض، وتحلل الدهون، ونموات فطر *Mucor* عند درجة التجمد، والتعفن حيث يتحلل البروتين، وتتصاعد روائح كريهة بفعل النوع البكتيري *Clostridium* (الشكل رقم ٦٤).



الشكل رقم (٦٤). مقارنة بين قطعة لحم سليمة وأخرى فاسدة بواسطة فطريات العفن.

(عن: Prescott, *et al.*, 1996)

٥ – **فساد الأسماك.** يعتبر السمك أكثر قابلية للفساد من اللحم، لأن إنزيمات السمك المسببة للتحلل أسرع في عملها من تلك الموجودة في اللحوم. كما أن حموضة السمك منخفضة، مما يشجع نمو الميكروبات. ومن العلامات الدالة على فساد

الأسماك : تغير الألوان الزاهية ، وظهور ألوان صفراء وبنية ، وازدياد المادة اللزجة على الجلد وفي الخياشيم ، واختفاء المظهر البراق للعين وتغور العين وانكماشها ، وتحول لون الخياشيم إلى الرمادي أو الأصفر بدلا من الأحمر القاني ، ومن أهم الصفات طراوة اللحم بحيث يخرج العصير منه عند الضغط عليه ، ويستمر الانخفاض مكان الإصبع الضاغط موجودا ، مع تغير في الرائحة وظهور روائح غير مرغوبة.

٦- **فساد البيض**. البيض السليم الطازج غالبا ما يكون خاليا من الميكروبات ، ويبقى كذلك ما دامت القشرة الخارجية سليمة بدون كسر ، إلا أن تبلل القشرة بالماء يشجع نمو الفطريات وبالتالي اختراق الخيوط الفطرية القشرة إلى داخل البيضة. ونظرا لاحتواء البيض على نسبة كبيرة من الماء والبروتين فإن الفساد يكون سريعا بمجرد دخول الميكروبات إلى داخل البيضة ، وأول هذه الصور هو تحلل البروتين وصعود الروائح الكريهة ، وظهور صورة العفن الأخضر بواسطة أنواع من بكتريا *Pseudomonas* حيث يمكن أن يحدث عند درجة الصفر المئوي ، والعفن الأسود بواسطة أنواع الجنس البكتري *Proteus* حيث يسود الصفار وتظهر الروائح الكريهة.

فساد الأغذية المعلبة Spoilage of Canned Food

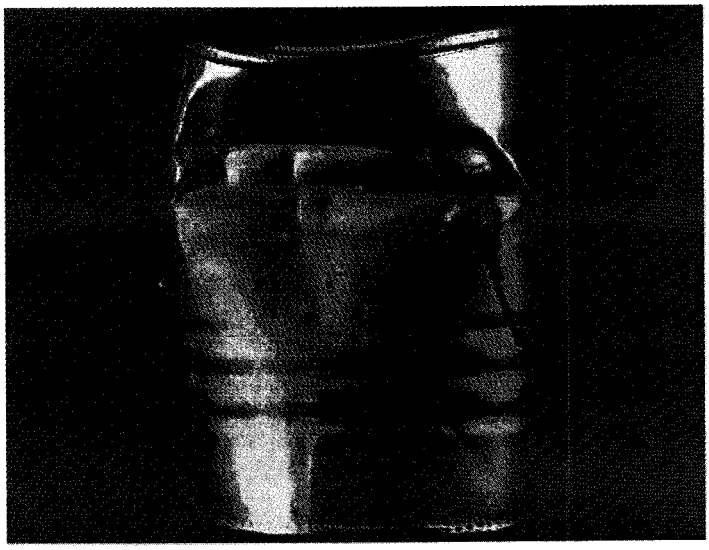
هناك أربعة أنواع من الفساد تحدث للأغذية قليلة ومتوسطة الحموضة نتيجة فعل بكتريا متجرثمة (الشكل رقم ٦٥) وهي كالآتي :

١- الفساد الحمضي Flat-Sour ويحدث للخضراوات المعلبة حيث تنمو الجراثيم بعد المعالجة الحرارية غير الكافية وتسبب الفساد. ولا يكون هناك أي انتفاخ في العلبة ، ولكن يظهر الفساد عند تذوق المادة الغذائية.

٢- الفساد الغازي يرمز له بالرمز "T-A" ويؤدي إلى انتفاخ العلبة ، كما تلاحظ حموضة الغذاء عند تذوقه.

٣- الفساد الكبريتيدي ، ولا يحدث فيه انتفاخ ، غير أنه عند فتح العلبة يلاحظ اللون الأسود للمادة الغذائية نتيجة تكون كبريتور الحديد. ويرجع هذا الفساد إلى فعل بكتريا *Clostridium nigrificans*.

٤ - الفساد التعفني، ويحدث للأغذية البروتينية كاللحوم والأسماك المعلبة نتيجة فعل بكتريا محبه للحرارة المتوسطة، وتتميز بإنتاج غاز مصحوب بروائح غير مقبولة.



الشكل رقم (٦٥). مع أن التعليب يعتبر من طرق الحفظ الجيدة للأطعمة، فإن عدم إتقان هذه الطريقة قد يؤدي إلى تلف المادة المحفوظة وما ينتج عن ذلك من تشوه لشكل العلبة، وحدوث تسرب للمادة المعلبة.

وتحدث جميع صور الفساد السابقة بفعل الميكروبات التي تكون قد تركت بعد عملية التعقيم أما إذا وجد تنفيس في العلب يسمح بدخول الميكروبات من الجو الخارجي، فإن هناك احتمالات لصور أخرى من الفساد.

وهناك أنواع من الفساد غير الميكروبي يطلق عليه الفساد الكيميائي، ويحدث في الأغذية الحمضية، وكلما ارتفعت حرارة التخزين اشتد الفساد والانتفاخ حتى يؤدي إلى انفجار العلبة كما هو الحال في المخللات والكرنب والطماطم.

ومما سبق يتضح مدى الأهمية القصوى التي يجب أن نوليها في التعامل مع المواد الغذائية الطازجة والمعلبة بحيث تغسل المواد الغذائية التي تؤكل طازجة مثل الفواكه

وبعض أنواع الخضراوات جيدا بالماء المحتوى على بعض المواد المطهرة (بنزوات الصوديوم) التي تنتج لهذا الغرض. أما تلك التي تؤكل مطبوخة، فيجب التأكد من طبخها جيدا لضمان قتل أي ميكروبات قد تكون موجودة فيها، وبالذات صور الأغذية السريعة المنتشرة الآن (الهامبرجر، ...) بحيث يجب التأكد من تسويتها جيدا قبل تناولها، لأن اللحم النيئ ونصف المطبوخ يكون عرضة لنقل عديد من الميكروبات الخطيرة، ومن أمثلتها *E. coli*.

تصنيع الأغذية بواسطة الميكروبات

Microbes and Food Industry

تستخدم الميكروبات في تحضير بعض أنواع الأغذية مثل:

١ - صناعة الخبز

حيث تضاف الخميرة إلى العجين المعد لصناعة الخبز وذلك لتخميرها. وهذه العملية هامة لإنتاج خبز إسفنجي ذي مسامية يسهل مضغه وهضمه، إضافة إلى إحداث بعض التفاعلات الكيميائية الإنزيمية تنتج عنها مواد كيميائية تكسب الخبز مذاقا مرغوبا. وتقوم الخميرة في هذه العملية بتحليل السكر الموجود في الدقيق وتنتج ثاني أكسيد الكربون + كحول، حيث يؤدي CO_2 إلى انتفاخ العجين، أما الكحول المتكون بكميات قليلة فإنه يطرد أثناء عملية الخبيز.

٢ - صناعة الخل

يعرف الخل بأنه المادة الناتجة من المواد السكرية أو النشوية بتأثير التخمر الكحولي يليه التخمر الخليكي، وينتج التخمر الكحولي بفعل بعض أنواع الخميرة مثل النوع *Saccharomyces cerevisiae* والتي تنتج كحول + ثاني أكسيد الكربون. يلي ذلك عملية التخمر الخليكي التي تحول الكحول الإثيلي المتكون إلى حمض خليك. وتقوم بهذه العملية مزارع مختلطة من أنواع بكتريا حامض الخليك.

٣ - المخللات

تعتبر طريقة صناعة المخللات من الطرق المرغوبة لحفظ الخضراوات، ومبدأ التخليل يعتمد على إضافة ملح يقوم بتكوين محلول مركز في الوسط الخارجي يؤدي إلى سحب العصير من خلايا النبات والذي يحتوي بدوره على مواد سكرية، حيث تقوم البكتريا بتحليل هذه السكريات وبتكوين حمض اللاكتيك الذي يسبب الحفظ، إضافة إلى إعطاء الخضراوات طعما مرغوبا جدا، ولذلك تستعمل كفاتحات للشهية. ومن فوائد الملح أيضا تثبيط نمو بعض الميكروبات غير المرغوبة مثل بعض أنواع الجنس *Flavobacterium* spp. وهناك عدة أنواع من البكتريا المسؤولة عن عملية التخمر من أنواع الأجناس: *Lactobacillus* spp., *Streptococcus* spp. ويتم حفظ المخللات عند درجات حرارة منخفضة في الثلاجة لوقف عملية التخمر الزائدة.

الفصل الثالث عشر

ميكروبيولوجيا الألبان

Dairy Microbiology

• مصادر تلوث الحليب • تبريد الحليب • بسترة الحليب • التغيرات التي تحدث في الحليب بفعل الميكروبات • اختبارات الكشف عن صلاحية الحليب للاستهلاك • الأمراض التي تنتقل عن طريق الحليب • منتجات الألبان وعلاقتها بالميكروبات

يعتبر الحليب من أغنى المواد الغذائية، لاحتوائه على كامل العناصر المناسبة للنمو من سكريات، بروتينات، فيتامينات، ... إلخ. وهو مركب مائل للحموضة حيث تصل درجة الحموضة إلى pH ٦,٦، أي أنه قريبا من التعادل، ويناسب نمو الميكروبات وبالذات البكتريا. ولهذه الأسباب فقد كان من الضروري الحرص على نظافة الحليب وإبعاد التلوث عنه قدر المستطاع، لأنه إذا وصلت البكتريا إليه وجدت فيه الظروف المناسبة فتتكاثر وتغير من صفاته وتفسده. أما إذا كانت البكتريا ممرضة فإن الضرر يصبح أكبر. والحليب يكون خاليا من الميكروبات عند بداية إفرازه من الغدد الثديية، وتبدأ الميكروبات تتسرب إليه عن طريق الحلمات، أما إذا كان الحيوان مريضا فإن عدد البكتريا يزداد زيادة كبيرة في الحليب، ويلاحظ أن هناك عديدا من الميكروبات الممرضة للحيوان يمكن أن تنتقل إلى الإنسان عن طريق الحليب.

مصادر تلوث الحليب Sources of Milk Contamination

من أهم مصادر تلوث الحليب :

١ – الهواء: ويقصد به هواء الإسطبل الذي يوجد فيه الحيوان.

٢ – جلد الحيوان: فإذا كان الجلد قذرا، فإنه يكون مصدرا أخطر للتلوث، ذلك أن جراما واحدا من روث الحيوان قد يحتوي على ١٥بليون خلية بكتيرية مقارنة ببضعة ملايين في جرام من التربة. ولتقليل احتمالات هذا التلوث، فإنه يتم مسح الضرع والحلمات بقطعة قماش مبللة بمحلول مطهر قبل الحلب مباشرة. ومن أهم الميكروبات الملوثة عن طريق هذا المصدر بكتريا القولون Coliform bacteria، وأنواع الجنس *Clostridium*.

٣ – أواني الحليب: فكلما كانت الأواني صدئة أو فيها شقوق، فإن بقايا الحليب تترسب فيها وتنمو عليها الميكروبات. لذلك كان من الضروري غسلها بمحاليل مطهرة ثم تجفيفها قبل استعمالها.

٤ – الحلاب: يجب أن يكون الحلاب نظيف اليد والملابس، وصحته العامة جيدة، لأن الميكروبات من الممكن أن تنتقل من يده أو ملابسه إلى الحليب، ويصبح المستهلك عرضة للعدوى.

٥ – الذباب: تحمل الذبابة الواحدة تقريبا حوالي مليون خلية بكتيرية، وبالتالي تشكل مصدرا خطيرا للتلوث، وبالذات إذا كانت الميكروبات من النوع الممرض.

تبريد الحليب Milk Cooling

إذا تُرك الحليب بعد حلبه عند درجة حرارة الجو العادية يشجع الميكروبات الموجودة فيه على النمو والتكاثر بسرعة، وبالتالي تغير صفاته وفساده. لذلك كان من المرغوب فيه حفظ الحليب بعد حلبه عند درجة حرارة منخفضة (١٠°م)، وذلك لإبطاء أو وقف النشاط الميكروبي فيه. ومع أن التبريد إلى الدرجات المنخفضة يؤدي إلى إبطاء أو وقف النشاط الميكروبي في الحليب فإن الوصول به إلى درجة التجمد يعتبر أمرا

غير مرغوب فيه، لأنه يفقده بعض خواصه الجيدة ومظهره الطبيعي، ويصبح غير مستحب للمستهلك.

بسترة الحليب Milk Pasteurization

تعرف عملية البسترة بأنها التسخين إلى درجة تقل عن الغليان لمدة معينة، وهي كافية لقتل كل البكتريا الممرضة، وبعض الأنواع الأخرى غير المتجرثمة. وكان أول من ابتدع هذه العملية هو العالم الفرنسي لويس باستير عام ١٨٦٦م، وسميت العملية باسمه. وأهم ما يميز هذه العملية هو قتل الميكروبات المرضية في الحليب مع احتفاظه بصفاته من حيث اللون والطعم والقيمة الغذائية (بعكس الغليان الذي قد يفقد الحليب بعض خواصه الجيدة).

وهناك طريقتان للبسترة:

١ – **الطريقة البطيئة Holding method**: ويسخن فيها الحليب على درجة ٦١,٦٧°م (١٤٣°ف) لمدة ٣٠ دقيقة.

٢ – **الطريقة السريعة Flash method**: وهنا يسخن الحليب على درجة ٧١,٦٧°م (١٦١°ف) لمدة ١٥ ثانية. ثم يبرد مباشرة في كلتا الحالتين إلى درجة ١٠°م.

وكان يعتبر ميكروب السل *Mycobacterium tuberculosis* من أكثر الميكروبات الممرضة في الحليب مقاومة للحرارة، وبما أن درجة حرارة البسترة تكون كافية للقضاء على هذا الميكروب، فقد كان من الطبيعي أن تقضي هذه العملية على جميع الميكروبات الممرضة الأخرى التي تكون أقل تحملا للحرارة من ميكروب السل. ولذلك يجب حفظ الحليب جيدا بعد عملية البسترة، وإلا أصبحت العملية غير ذات جدوى إذا حدث التلوث مرة أخرى.

وقد تم تعديل درجات البسترة بالطريقة الحوضية (البطيئة) حيث تم زيادتها من ٦١,٧°م لمدة ٣٠ دقيقة إلى ٦٢,٨°م لمدة ٣٠ دقيقة عقب اكتشاف احتمال تلوث

الحليب بميكروب ركتسيا *Coxiella burnetii* المسبب لمرض حمى المجازر (حمى كيو Q-Fever) والذي يستطيع تحمل درجات البسترة السابقة (٦١,٧°م). ويوضح الجدول رقم (١١) المتطلبات الحرارية لنظم البسترة المختلفة، كما تم إقراره من إدارة الخدمات الصحية بالولايات المتحدة الأمريكية.

الجدول رقم (١١). يوضح المتطلبات الحرارية لنظم البسترة.

المنتج والطريقة	الزمن – درجة الحرارة
طريقة الحوض	
الحليب	٣٠ دقيقة/١٤٥°ف (٦٢,٨°م)
القشدة	٣٠ دقيقة/١٥٠°ف (٦٥,٦°م)
مخلوط المثلجات القشدية	٣٠ دقيقة/١٥٥°ف (٦٨,٣ °م)
الطريقة السريعة	
الحليب	١٥ ثانية/١٦١°ف (٧١,٧°م)
القشدة	١٥ ثانية/١٦٦°ف (٧٤,٤°م)
مخلوط المثلجات القشدية	٢٥ ثانية/١٧٥°ف (٧٩,٤°م)
جميع المنتجات	٢ ثانية/٢٨٠°ف (١٣٧,٨°م)

اختبار كفاءة عملية البسترة: اختبار الفوسفاتيز Phosphatase Test

يوجد إنزيم الفوسفاتيز بصورة طبيعية في الحليب الخام، ومن خصائص هذا الإنزيم أنه يتكسر ويفسد بواسطة عملية البسترة، لذلك يكون وجوده في الحليب المبستر علامة على عدم كفاءة عملية البسترة، والعكس صحيح. ويتم الاختبار بإضافة مادة "إسترات فوسفات الفينول" إلى عينه من الحليب، فيؤثر الإنزيم على هذه المادة وينفصل الفينول الذي يمكن الكشف عنه بكشاف الفولين Follin الذي يعطى لونا أزرق مع الفينول.

التغيرات التي تحدث في الحليب بفعل الميكروبات

Microbial Alterations of Milk

تحدث الميكروبات عديدا من التغيرات الكيميائية في الحليب، والتي يمكن التعرف عليها بسهوله عن طريق الرائحة أو التذوق. وأحيانا تحدث تغيرات في القوام تؤدي إلى تجبن الحليب أو إكسابه اللزوجة... إلخ، ومن أهم هذه التغيرات:

١ – الحموضة Acidity

عند ترك الحليب فترة طويلة عند درجة حرارة الغرفة، تتكاثر بعض الميكروبات فيه بسرعة فتخمر سكر اللاكتوز، ومن أهم هذه الميكروبات *Streptococcus lactis* وتحول السكر إلى حمض لاكتيك رافعة درجة الحموضة إلى pH ٤,٣، مما يؤدي إلى تجبن الحليب، وعند هذه الدرجة تنمو وتزداد أنواع أخرى مثل أنواع الجنس *Lactobacillus* والتي ترفع درجة الحموضة إلى pH ٤، وهذه الأنواع تصل إلى الحليب عن طريق الأواني والروث والتربة...إلخ.

ومن أهم أجناس البكتريا المكونة لحمض اللاكتيك في الحليب: *Lactobacillus, Streptococcus, Pediococcus, Leuconostoc*.

٢ – التخمر الغازي في الحليب Gaseous Fermentation of Milk

تنمو بعض الميكروبات في الحليب وتنتج غازات مثل H_2, CO_2 (وهذه تنتج من المواد الكربوهيدراتية)، CO_2 وأمونيا (من المركبات البروتينية)، وأحيانا تنتج أحماض مع هذه الغازات. ومن أهم الميكروبات التي تقوم بهذه التفاعلات:

أ) ميكروبات مجموعة القولون مثل: *Escherichia coli, Anterobacter aerogenes*، والتي تصل إلى الحليب عن طريق التلوث بمياه المجاري.

ب) بكتريا متجرثمة لاهوائية، مثل أنواع الجنس *Clostridium*، وتصل إلى الحليب عن طريق الروث والتربة.

جـ) الخميرة، وتسبب فساد بعض منتجات الحليب مثل الشرش والقشدة والجبن، حيث تحلل سكر اللاكتوز. أما الحليب المحتوى على البكتريا فلا تستطيع الخميرة منافستها، وبالتالي لا تحدث أي فساد فيه.

٣ - تحلل بروتين الحليب Proteolysis

يكون هذا التحلل مصحوبا بطعم مر، ويحدث عند درجات الحرارة المنخفضة حيث يحدث تخثر للحليب وينتج كمية من الشرش، وأحيانا يكون مصحوبا بحموضة. ومن الميكروبات التي تحدث هذه العملية الأجناس: *Micrococcus, Proteus, Pseudomonas, Flavobacterium*.

٤ - الحليب اللزج Slimy Milk

وهو نوع من الفساد يصبح الحليب معه متماسكا وبه لزوجة واضحة، وعند زيادة هذه الحالة يظهر الحليب كالعجين، وتسبب هذه الحالة أنواع من البكتريا المكونة للكبسولة، ومن أشهرها النوع *Alkaligenes viscosus*.

٥ - تلون الحليب Milk Coloration

يتأثر لون الحليب الطبيعي بتغير التركيب الكيميائي، وقد يحدث هذا التغير بفعل عدد من الميكروبات مثل:

أ) اللون الأزرق، ويحدث بفعل نمو بكتريا *Pseudomonas syncyanea*.

ب) اللون الأصفر، ويحدث بفعل نمو بكتريا *Pseudomonas synyantha*.

جـ) اللون الأحمر، ويحدث بفعل نمو بكتريا *Serratia marcescens* والتي تنتج مادة حمراء.

اختبارات للكشف عن صلاحية الحليب للاستهلاك

هناك عدة طرق للكشف عن نظافة الحليب وصلاحيته للاستهلاك (الجدول رقم ١٢)، من أهمها:

١ – طريقة عد البكتريا

وتعتبر هذه من أهم طرق الكشف عن صلاحية الحليب، وهناك طريقتان لعد بكتريا الحليب:

أ) طريقة الأطباق

وفيها يؤخذ حجم معين من الحليب، ويخفف بماء معقم، ثم يؤخذ منه حجم معلوم وينمى على بيئة مناسبة، ويتم عد المستعمرات النامية ثم يضرب في مقلوب التخفيف فنحصل على العدد الحقيقي في العينة الأصلية.

ب) طريقة العد المجهري (طريقة بريد Breed)

وفيها تؤخذ كمية محددة صغيرة من عينة الحليب ويتم نشرها على مساحة محددة على شريحة خاصة تسمى شريحة بريد، ويتم عد الخلايا البكتيرية في هذه المساحة مجهريا بعد صبغ الشريحة بصبغة الميثيلين الأزرق، ومن ذلك يمكن معرفة عدد الخلايا في ١سم^3 من الحليب.

الجدول رقم (١٢). يوضح العلاقة بين عدد خلايا البكتريا في الحليب وصلاحيته للاستهلاك.

درجة الحليب	عدد البكتريا في ١سم^3 من الحليب	عدد بكتريا القولون في ١سم^3 من الحليب	اشتراطات أخرى
١ – لبن خام			
معتمد	لا يزيد عن ١٠,٠٠٠	لا يزيد عن ١٠	خلو المواشي والأشخاص من الأمراض.
أ	لا يزيد عن ٢٠٠,٠٠٠		
ب	لا يزيد عن مليون		
ج	أكثر من مليون		
٢ – لبن مبستر			
معتمد	لا يزيد عن ٥٠٠	لا يزيد عن ١	يحضر من لبن خام معتمد.
أ	لا يزيد عن ٣٠,٠٠٠	لا يزيد عن ١٠	يحضر من لبن خام سالب للفوسفاتيز.
ب	لا يزيد عن ٥٠,٠٠٠		يحضر من لبن خام ب.
ج	يزيد عن ٥٠,٠٠٠		

٢ – اختبار بكتريا القولون

إن وجود بكتريا القولون في الحليب يعتبر دلالة على تلوثه بمياه المجاري أو بروث الحيوانات. ويعتبر وجود هذا النوع من البكتريا بأعداد كبيرة في الحليب دليلا على تلوث الحليب، بينما وجود أعداد بسيطة منها يعتبر أمرا مقبولا. ويمكن الكشف عنها بتلقيح عينة حليب مخففة بالماء في بيئة خاصة تسمى بيئة ماكونكي، وبعد التحضين لفترة كافية تظهر النتيجة في صورة حمض أو غاز أو كلاهما معا، ومنها يستدل على وجود بكتريا القولون.

٣ – اختبار أزرق الميثيلين

وهو اختبار غير مباشر لعد البكتريا في الحليب. والمبدأ هو أن البكتريا في الحليب عندما تتكاثر فإنها تستهلك الأكسجين الذائب، مما يؤدي إلي تكوين مواد مختزلة، فعند إضافة أزرق الميثيلين يتم اختزاله ويختفي اللون الأزرق، وكلما قصرت المدة التي يختفي فيها اللون الأزرق دل ذلك على زيادة أعداد البكتريا، والعكس صحيح.

٤ – اختبار الريزازورين Resazurin

وفكرة هذا الاختبار تقريبا هي نفس فكرة الميثيلين الأزرق، فعند إضافة صبغة الريزازورين إلى عينة من الحليب يزرق اللون، وعند تحضينها على درجة ٣٧°م لمدة ساعة، يلاحظ تغير اللون إلى الأحمر في حالة الحليب الملوث، وإذا لم يتغير اللون كان هذا دلالة على نظافة الحليب.

٥ – اختبار الراسب

إن زيادة كمية الراسب من عينة الحليب يعتبر دلالة على سوء ظروف الإنتاج وتلوث الحليب، ويمكن اختبار ذلك بوضع عينة حليب في جهاز للطرد المركزي، ثم فحص الراسب الناتج.

الأمراض التي تنتقل عن طريق الحليب

Milk Transmitted Diseases

كما ذكرنا سابقا فإن الحليب يعتبر من الأغذية والبيئات الأكثر مناسبة لنمو الميكروبات، وبالتالي كان من الطبيعي أن يشكل مصدرا محتملا وهاما لنقل الميكروبات الممرضة بطريقتين:

أ) الحيوان المريض

ب) الأشخاص العاملون في حلب وتجهيز الحليب إذا كانوا من الحاملين للأمراض.

ومن أهم الأمراض التي تنتقل عن طريق الحليب:

١ – مرض السل Tuberculosis

يسبب هذا المرض النوع البكتري *Mycobacterium tuberculosis*، وينتقل إلى الحليب عن طريق الحيوانات المصابة بهذا المرض، ويعتبر من أكثر الميكروبات الممرضة مقاومة للحرارة، غير أن عملية البسترة الجيدة كفيلة بالقضاء عليه.

٢ – التهاب الضرع Mastitis

وتسببه بكتريا *Streptococcus agalactiae*، غير أنه لا يسبب عدوى للإنسان، أما إذا كان الالتهاب ناتجا من بعض أنواع أخرى من الجنس *Streptococcus*، فإن الشخص الذي يتناول الحليب يكون معرضا للإصابة بالحمى القرمزية أو التهاب الحلق.

٣ – الحمى المالطية Brucellosis

إن إصابة الماشية بأنواع من بكتريا البروسيلا مثل *Brucella abortus, B. melitensis* يسبب لها حمى تسمى الحمى المالطية، والتي تسبب إجهاضا للماشية. وينتقل هذا الميكروب إلى الإنسان مسببا له هذا النوع من الحمى الخطيرة.

٤ – الحمى القلاعية Foot and Mouth Disease

يتسبب هذا المرض عن الإصابة بالفيروس. ومن أعراضه ارتباك في الهضم وتقرحات في الغشاء المخاطي للفم وعلى الجلد، خصوصا بين أصابع القدم. وقد توجد تقرحات على الضرع والحلمات، وبتقدم الإصابة يؤدي إلى وفاة الحيوانات بأعداد كبيرة.

٥ – الحمى التيفودية Typhoid Fever

وينتقل الميكروب المسبب لهذا المرض إلى الحليب عن طريق العمال المصابين بالحمى التيفودية والذي تسببه البكتريا *Salmonella typhi*، لذلك كان الاهتمام بالحالة الصحية للعمال على درجة كبيرة من الأهمية.

٦ – الدفتريا Diphtheria

ويسببها ميكروب *Corynebacterium diphtheriae*، وتصل إلى الحليب عن طريق الأشخاص المصابين بهذا المرض.

٧ – الزحار Dysentery

ويسببه النوع البكتيري *Shigella dysenteriae* وينتقل إلى الحليب عن طريق المرضى أو عن طريق التلوث بالمياه المستخدمة في غسيل أواني الحليب.

٨ – الكوليرا Cholera

ويسببه النوع *Vibrio cholerae*، ويعتبر الحليب من الوسائط المحتملة لنقل هذا المرض والذي يصل إلى الحليب عن طريق أشخاص مصابين بالمرض.

٩ – شلل الأطفال Poliomyelitis

ويسببه نوع من الفيروسات يسمى *Poliovirus*، وينتقل عن طريق التلوث ببراز الأشخاص المصابين بالمرض.

١٠ – التهاب الكبد الوبائي Hepatitis

وهو مرض فيروسي (توجد منه عدة سلالات أ، ب، ج ...)، ويعتبر الحليب من أهم وسائل انتقال السلالة (أ) التي تنتقل عن طريق الأغذية، ويصل إلى الحليب عن طريق الأيدي الملوثة بالتربة واستعمال مياه غير نظيفة، ويتحمل هذا الفيروس تأثير الكلور في المياه.

منتجات الألبان وعلاقتها بالميكروبات

Dairy Products and its Relation with Microbes

١ – الأيسكريم Ice cream

تتم صناعته من منتجات الحليب (قشدة + البيض + الحليب) حيث يتم تجميده، والمفروض أن درجة التجمد هذه توقف النشاط الميكروبي، إلا أنه وجد أن بعض الميكروبات الممرضة تستطيع تحمل هذه الدرجة. فعلى سبيل المثال وجد أن ميكروب السل يستطيع البقاء حيا لمدة طويلة. كما أن بكتريا التيفويد تظل حية لمدة تصل إلى شهر.

٢ – الزبد Butter

وجد من نتائج التجارب أن الميكروبات الممرضة تستطيع البقاء والاحتفاظ بحيويتها لمدد مختلفة، غير أن استعمال قشدة متخمرة في صناعة الزبد قد يخفض تلك المدة بمقدار الربع تقريبا.

٣ – الجبن Cheese

وهو من أهم منتجات الحليب التي يتم تصنيعها عن طريق تخمر الحليب بفعل بعض أنواع بكتريا حمض اللاكتيك، ثم يتم فصل الشرش المتكون، وتترك المادة المتخمرة لمدة معينة حتى تتم عملية التسوية يحدث خلالها تغير في القوام والطعم والشكل. وتجرى عملية التخمر إما بواسطة بكتريا حمض اللاكتيك أو إضافة المنفحة

وهي مستخرج إنزيمي من معدة العجول الصغيرة يحتوي على إنزيم الرنين Rennin أو بهما معا. وهناك بعض أنواع البكتريا القادرة على إفراز إنزيم الرنين.

ويلزم أن يكون الحليب المستعمل لإنتاج الجبن ذا محتوى منخفض جدا من الميكروبات حتى لا تنافس هذه الميكروبات الأنواع الأصلية الموجودة في البادئ المستعمل لصناعة الجبن، لذلك كان لابد من بسترة الحليب قبل استعماله.

وتتوقف مدة بقاء الميكروبات الممرضة في الجبن على عوامل عده منها درجة حرارة الحفظ (حرارة التسوية) ودرجة الحموضة والملح والرطوبة. وبصفة عامه وجد أن تخزين الجبن على درجات حرارة منخفضة يزيد من احتمالات بقاء الميكروبات محتفظة بحيويتها في الجبن، كما أن زيادة نسبة الملح والحموضة يخفض من مدة حيوية الميكروبات المرضية.

٤ – الحليب المجفف Dried (Powder) milk

يجفف الحليب بإزالة الماء منه، وبالتالي تصبح نسبة الرطوبة منخفضة لدرجة لا تسمح بنمو الميكروبات.

٥ – الحليب المكثف Condensed milk

حيث يسحب ما نسبته ٦٠٪ من الماء الموجود، وبالتالي ترتفع نسبة سكر اللاكتوز إلى حوالي ١١,٥٪ وهي نسبة من السكر تحول دون نمو بعض الميكروبات وتبطئ نمو أنواع أخرى.

٦ – الحليب المخمر Fermented milk

وينتج التخمر نتيجة تحول سكر اللاكتوز إلى حمض لاكتيك بفعل أنواع من الميكروبات، مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الحموضة وبالتالي حفظ الحليب من الفساد حيث تقف الميكروبات المحللة للبروتين. وينصح بتبريد الحليب بعد تخميره لوقف النشاط الميكروبي وتثبيت الحموضة عند الدرجة المطلوبة.

الفصل الرابع عشر

ميكروبيولوجيا المياه والمجاري

Water and Sewage Microbiology

• التلوث بالميكروبات المرضية • المسح الصحي لمصادر المياه • وجود الميكروبات في الماء وعلاقتها بصلاحيته للشرب • الاختبارات الميكروبيولوجية للكشف عن صلاحية المياه • مياه المجاري والصرف الصحي

قال الله سبحانه وتعالي: ﴿ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ﴾ (الآية ٣٠، سورة الأنبياء)، وتفسير هذه الآية الكريمة أن الماء يشكل مصدر الحياة لجميع صور الكائنات على وجه الأرض، من إنسان وحيوان ونبات، أي لا يمكن أن يستغني عنه على الإطلاق. ومادام الأمر كذلك فقد كان من الطبيعي والضروري إعطاء أهمية ومكانة خاصة لنوع المياه التي يستهلكها الإنسان من حيث النظافة وخلوها من الملوثات، وبالذات الميكروبية. وقد تأكد العلماء في منتصف القرن التاسع عشر أن الماء يشكل وسيلة لنقل الأمراض وخاصة الكوليرا. وقد أعقبت هذا الاكتشاف دراسات مكثفة عن البيئة الميكروبية للمياه أدت إلي زيادة المعلومات المتوافرة لدينا عن هذا الموضوع ونتج عن ذلك إنشاء فرع علم ميكروبيولوجيا المياه والمجاري الذي يعنى بهذا النوع من الدراسة.

فمن الحقائق التي أصبحت معروفة أن الماء يغطي ٧٥٪ من سطح الكرة الأرضية، ومن هذه الحقائق أيضا أن المياه على سطح الكرة الأرضية والرطوبة العالية في الغلاف الجوي المحيط بالأرض تتحد في صورة دائمة مكونة ما يسمى الدائرة المائية Hydrological cycle، فمياه البحار والمحيطات تتبخر وتتكثف ثم تسقط في صورة أمطار... وهكذا.

وبحكم تعرض الماء للهواء في صورته البخارية، وأثناء جريانه على سطح الأرض فإنه يصبح من المؤكد احتواؤه على الميكروبات بصورها المختلفة. غير أن الماء باعتباره بيئة فقيرة من الناحية الغذائية فإنه لا يسمح بنمو وتكاثر الميكروبات فيه، وبخاصة الأنواع الرمية. غير أنه يشكل بيئة مناسبة لنمو الطحالب، والتي تنتج بدورها مواد عضوية تشكل بيئة مناسبة لنمو البكتيريا والتي تشكل بعد موتها مصدرا غذائيا إضافيا لأنواع أخرى من البكتيريا.

وتقسم البكتيريا الموجودة في المياه إلي مجموعتين:

١ - مجموعة طبيعية.

٢ - مجموعة تصل إلى المياه من التربة والهواء والفضلات.

وتقسم المياه إلى أربعة أنواع:

١ - المياه الجوية: وتتضمن مياه الأمطار والثلوج وهذه تكاد تكون خالية من الميكروبات في بداية الأمر، ثم لا تلبث أن تتلوث بمرورها في طبقات الجو بواسطة الميكروبات العالقة في الهواء، وعند وصولها إلي الأرض يزداد التلوث بميكروبات موجودة على سطح الأرض.

٢ - المياه السطحية: وتشمل مياه الأنهار والبحيرات. وهذه تحتوي على الميكروبات التي تصل إليها من الهواء ومن سطح الأرض، وتزداد هذه الميكروبات في حالة تلوثها بمياه المجاري. وتحتوي مياه القنوات والأنهار، والتي تنبع من مناطق صخرية غالبا، على عدد قليل من الميكروبات وعندما تمر في أراض زراعية فإنها تجرف معها كميات من المواد العضوية مشكلة مصدرا غذائيا تتكاثر عليه وتزداد أعداد الميكروبات.

٣- المياه الجوفية: عندما تتسرب المياه إلي جوف الأرض فإن طبقات التربة تعمل كمرشحات تمنع مرور الميكروبات، وبالتالي فإنه كلما كانت المياه الجوفية عميقة كان احتمال وجود الميكروبات فيها احتمالا بسيطا جدا.

٤ - مياه البحار: تحتوي مياه البحار على فلورا ميكروبية تأقلمت على الوسط المالح، وبعض الميكروبات التي تعيش في مياه البحار لا تستطيع العيش في بيئة ذات ملوحة منخفضة، والعكس صحيح، فبكتريا المياه العذبة تموت إذا وضعت في مياه البحار.

نمو البكتريا في الماء

نظرا لفقر الماء إلي العناصر الغذائية فإن معظم البكتريا التي تصل إلي الماء لا تستطيع النمو فيه، غير أنها يمكن أن تعيش لفترات متفاوتة قد تصل إلي عدة شهور، أما الأنواع الممرضة فإنها لا تستطيع النمو في هذا الوسط المائي، وبصفة عامة فإن الماء إذا كان باردا أو نظيفا فإن البكتريا المرضية يمكن أن تعيش فيه لمدة أطول مقارنة بالماء الدافئ.

وإذا نمت البكتريا المكبسلة (المحتوية على كبسولة) في الماء فإنها تكون مواد لزجة، وتصعب إزالتها ويؤدي نمو هذا النوع من الميكروبات والطحالب والبرتوزوا إلي أن يجعل الماء ذا رائحة كريهة وغير صالح للاستعمال.

وكثيرا ما يؤدي حفظ الماء في خزانات إلى نمو الطحالب والبرتوزوا، والتي تتحلل بعد موتها بواسطة أنواع من البكتيريا مخلفة روائح كريهة.

التلوث بالميكروبات المرضية

Contamination with Pathogenic Microbes

تعتبر مياه المجاري هي المصدر الوحيد لتلوث مياه الشرب بالميكروبات المرضية، وهذه المياه إذا كان مصدرها أناسا أصحاء فإنها في الغالب لا تحتوي على ميكروبات

مرضية، أما إذا كانت ناتجة عن أشخاص مرضى فإنها تشكل مصدرا خطيرا للعدوى. ومن أهم الأمراض التي تنتقل بواسطة مياه المجاري: التيفويد، والباراتيفويد، والدوسنتاريا، والكوليرا، لذلك فإن الأشخاص الذين يستعملون مياه الأنهار والبحيرات التي تلقى فيها مياه المجاري يكونون عرضة للإصابة بعديد من الأمراض. وإذا حدث تسرب من مياه المجاري إلي بئر أو مصدر مائي للشرب فإنه يصبح من غير المأمون استعماله للشرب. ولذلك فقد كان من الطبيعي والضروري اختبار الماء ميكروبيولوجيا وكيماويا لضمان سلامته.

المسح الصحي لمصادر المياه Sanitary Survey

تقوم السلطات الخاصة بإمداد المدن بالمياه بإجراء عدد من المسوحات والمراقبة على المياه لضمان وصولها سليمة إلى المستهلك. وتتلخص هذه الإجراءات في:-

١- التفتيش على المصدر الأولي للمياه وأخذ عينات منه على فترات متفاوتة للتحليل الميكروبي.

٢- التفتيش على محطة تنقية المياه وطريقة أجراء العمليات المختلفة.

٣- التفتيش على شبكة توزيع المياه على المستهلكين وضمان سلامة المواسير، وعدم وجود تسرب أو ترسب ميكروبي داخل المواسير.

وجود الميكروبات في الماء وعلاقتها بصلاحيته للشرب

Effect of Water Microbes on its Suitability as Drinking Water

عند الكشف ميكروبيولوجيا على المياه - لاختبار مدى صلاحيتها للاستعمال الآدمي - لا ينصح باتخاذ وجود الميكروبات المرضية دليلا على صلاحية وعدم صلاحية الماء، وذلك للأسباب التالية:

١- نظرا لأن الميكروبات المرضية لا تعيش مدة طويلة في المياه النقية، فإن التلوث بهذه الميكروبات قد لا يظهر في العينات التي تؤخذ إلى المعمل.

٢- إذا وجدت هذه الميكروبات بأعداد بسيطة فإنه لا يمكن اكتشافها معمليا بالفحص المعملي المعتاد.

٣- نظرا لأن نتائج الكشف المعملي لا تظهر إلا بعد حوالي ٢٤ ساعة فإنه خلال هذه المدة يكون بعض الأشخاص قد استعملوا المياه الملوثة وحدثت العدوى.

ولهذه الأسباب المذكورة أعلاه فإن الكشف عن التلوث بالميكروبات المرضية في الماء يتم بطريق غير مباشر عن طريق اختبار وجودها بما يسمى بالميكروبات الدالة Indicator microorganisms ، ويقصد بهذا المصطلح أن هذه الميكروبات إذا وجدت في الماء فإنها تعتبر دلالة أكيدة على تلوث المياه بفضلات براز من الإنسان أو من كائنات حيوانية ، وهذا يعني أن الاحتمال قائم بنسبة عالية على وجود ميكروبات مرضية في هذه المياه.

ومن أهم الصفات المميزة للميكروبات الدالة :

١ - وجودها في المياه الملوثة وعدم وجودها في المياه الصالحة للشرب.

٢ - تلازم وجودها مع الميكروبات المرضية في الماء.

٣ - العلاقة النسبية بين أعداد هذه الميكروبات وكمية التلوث.

٤ - تتميز بقدرة أعلى من الميكروبات المرضية على العيش في المياه.

٥ - هي في ذاتها غير ضارة للإنسان.

٦ - وجودها في المياه بأعداد أكبر من الميكروبات المرضية ، وبالتالي يسهل الكشف عنها معمليا.

٧ - يسهل اكتشافها بطرق الفحص المعملي البسيطة. ومن أشهر أنواع هذه الميكروبات : *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Enterobacter aerogenes*.

الاختبارات الميكروبيولوجية للكشف عن صلاحية المياه

Microbiological Tests of Water Purity

هناك طرق معتمدة للكشف الميكروبيولوجي على صلاحية المياه للاستعمال ، وتتلخص في :

أ) طريقة عد الأطباق Plate Method

حيث تؤخذ عينة من الماء وتلقح بها أطباق بتري ثم تحضن، ويتم تقدير عدد المستعمرات في الطبق، ومع أن هذه الطريقة لا ينصح بها في اختبارات المياه، لأن وجود عدد بسيط من الميكروبات المرضية قد يكون أكثر خطرا من وجود عدد كبير من ميكروبات غير مرضية، غير أن هذه الطريقة قد تكون مفيدة لتقدير مدى كفاءة عمليات التنقية والتطهير.

ب) اختبار مجموعة القولون

يستعمل عدد من البيئات الخاصة للكشف عن وجود ميكروبات القولون، ويعتمد هذا الاختبار على ثلاث خطوات متتالية هي:

١ – الاختبار الاحتمالي Presumptive test

تؤخذ عينة المياه بطريقة معقمة وترج ٢٥ مرة، ثم يؤخذ منها ١٠سم^{٣} توضع في بيئة مرق أحمر الفينول واللاكتوز المحتوية على أنبوبة درهام المقلوبة ثم تحضن على درجة ٣٧°م لمدة ٢٤ ساعة وتؤخذ النتائج:

- فإذا حصلنا على حامض + غاز (بعد ٢٤ساعة) تكون العينة ملوثة بمياه المجاري.
- وإذا لم نحصل على غاز (بعد ٢٤ ساعة)، نحضن ٢٤ ساعة أخرى وتؤخذ النتائج، فإذا لم نحصل على غاز (بعد ٤٨ ساعة) تكون العينة غير ملوثة بمياه المجاري.
- إذا حصلنا على حامض + غاز (بعد ٤٨ ساعة) يجرى على هذه العينة – والتي تصبح في هذه الحالة مشكوكا فيها – الفحص التالي (الاختبار التحقيقي).

٢ – الاختبار التحقيقي Confirmed test

يخطط من العينة المشكوك فيها بواسطة الإبرة ذات العقدة على طبق يحتوي على بيئة Eosine methylene blue agar (EMBA)، وذلك على نصف الطبق، ويخطط

بالنصف الآخر بكتريا *Escherichia coli*، وتحضن لمدة ٢٤ ساعة على درجة حرارة ٣٧°م، وتؤخذ النتائج، فإذا وجد تشابه بين مستعمرات الـ *E.coli* والمستعمرات المشكوك فيها والتي تتميز باللمعان المعدني المخضر ومستعمرات من ٢-٣ ملم ذات مركز غامق، يكون هناك احتمال كبير بتلوث المياه بمياه المجاري، ويجرى عليها الفحص التالي (الاختبار التكميلي أو النهائي).

٣ - الاختبار التكميلي Completed test

يؤخذ بالإبرة ذات العقدة من المستعمرات المشكوك فيها وتلقح البيئتان التاليتان: بيئة مرق أحمر الفينول واللاكتوز، وبيئة آجار مغذ مائل، وتحضن على ٣٧°م لمدة ٢٤ ساعة، وتؤخذ النتائج: فإذا حصلنا على حامض + غاز في بيئة مرق أحمر الفينول واللاكتوز، وبفحص النمو على بيئة الآجار المغذي مجهريا، فإذا كانت نتيجة الفحص عصويا قصيرا سالبا لصبغة جرام غير متجرثم، نجزم أن العينة ملوثة بمياه المجاري.

وهناك فحص آخر سريع يميز بين بكتريا *E.coli* وبقية مجموعة الكوليفورم يسمى اختبار إكيمان Eijkman test، وهو مبني على أن بكتريا *E.coli* تستطيع أن تنمو وتنتج حامضا + غاز، إذا ما حضنت على درجة حرارة ٤٤°م لمدة ٢٤ ساعة بينما بقية أنواع الكوليفورم لا تستطيع النمو على هذه الدرجة.

جـ) الكشف عن الميكروبات الأخرى خلاف ميكروبات القولون

هناك أنواع من الميكروبات غير الضارة في حد ذاتها ولكن وجودها في الماء يسبب تغييرا في الرائحة واللون والطعم، كما أن ترسبها في الأنابيب قد يؤدي إلى تعطيل أو وقف سريان الماء ومن أمثلتها: البكتريا اللزجة، بكتريا الكبريت، الطحالب.

ومن الشروط الواجب توافرها عند إجراء الفحوص الدورية للكشف عن صلاحية المياه هي:

١ - أن تؤخذ العينة في زجاجات معقمة.

٢ - أن تكون العينة ممثلة للمصدر الذي أخذت منه تمثيلا جيدا.

٣ - تفادي أي تلوث للعينة بعد أخذها من المصدر.

٤ - يجب إجراء الفحص مباشرة بعد أخذ العينة.

✻ مياه المجاري والصرف الصحي Sewage Waste Water

تعرف مياه الصرف الصحي بأنها إنتاج المياه المستعملة من أي مجتمع بشري وتقسم إلي الأقسام التالية :

١ - مياه الصرف الصحي للاستعمال المنزلي، وتشمل المخلفات البشرية ومياه الغسيل وكل ما يذهب إلي أنابيب الصرف من استعمالات منزلية.

٢ - مخلفات استعمالات مياه المصانع والتي تشمل الزيوت والأحماض، والمخلفات النباتية والحيوانية.

٣ - المياه الأرضية السطحية ومياه الأمطار التي تجد طريقها إلي نظام الصرف الصحي.

✻ أهم صفات مياه المجاري Sewage Water Specifications

١ - الصفات الفيزيائية والكيميائية Physical and Chemical Properties

تتكون مخلفات الصرف الصحي من حوالي ٩٩,٩٪ من الماء، وتشكل المخلفات الصلبة نسبة ضئيلة جدا يعبر عنها بالجزء في المليون، إلا أنه في ضوء الكميات الهائلة من المخلفات التي تعالجها محطات الصرف الصحي فإنه تنتج كميات هائلة من المواد الصلبة تقدر بالأطنان. كما أن العناصر الكيميائية في هذه المخلفات ضئيلة ومتفاوتة من حيث الحجم والنوع من المجتمعات المختلفة، ومن وقت إلى آخر، تبعا لنوع المصانع الموجودة، وطبيعة مياه المجتمعات، ونوع المواد المستخدمة في المنازل مثل مواد التنظيف، ... إلخ.

٢ - الاحتياج البيولوجي للأكسجين Biological Oxygen Demand

يعرف الاحتياج البيولوجي للأكسجين "بأنها كمية الأكسجين التي تحتاجها الأحياء الدقيقة لإتمام عملية التحلل الهوائي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي"، ويعبر عنه بالرمز (BOD) Biological Oxygen Demand وتعتبر قيمة الـ BOD دلالة على كمية المواد العضوية في مياه الصرف الصحي، فكلما كانت قيمة BOD مرتفعة كان هذا دلالة على وجود كمية أكبر من المواد العضوية قابلة للأكسدة في مياه الصرف الصحي.

٣ - الصفات الميكروبيولوجية Microbiological Properties

تحتوي مياه الصرف الصحي على أعداد هائلة من البكتيريا والفطريات والفيروسات والبرتوزوا. فالملليلتر الواحد قد يحتوي على ملايين من الخلايا البكترية من أنواع بكتريا القولون وأنواع الأجناس *Streptococcus* العُصَوِيَّة والجنس *Proteus* إضافة إلى أنواع ميكروبية أخرى تأتي عن طريق المخلفات الصناعية أو المياه الجارية وتحدث هذه الكائنات الدقيقة تغيرات بيوكيميائية كبيرة في مخلفات الصرف الصحي وتتوقف كفاءة عملية معاملة مياه الصرف الصحي على طبيعة هذه التغيرات.

معاملة مخلفات الصرف الصحي Sewage Water Treatment

من الطبيعي أنه لا يمكن التخلص من مياه مخلفات الصرف الصحي دون معاملتها، نظرا لما يمكن أن تسببه من أضرار فادحة على البيئة والإنسان، مثل: احتمال نشر الأمراض، وتلوث بعض المياه المستعملة للسباحة، وتسربها إلى مصادر مياه الشرب، وانتقال المواد السامة والأمراض إلى بعض الأحياء البحرية، ومن ثم انتقالها للإنسان، وتلوث البيئة، ... إلخ.

وفي ضوء ما سبق فقد كان من الضروري معاملة هذه المياه والمخلفات لإزالة، أو تقليل، خطرها على البيئة قبل التخلص منها. وهناك طريقتان:

١ – الوحدات البسيطة Simple units

وهذه تستعمل للمجتمعات الصغيرة كالفنادق وخلافه، وتعتمد على تجميع مياه الصرف الصحي في خزانات مقفلة. يتم في البداية ترسيب المواد الصلبة فيها بواسطة مواد مساعدة، يلي ذلك استعمال أنواع من البكتيريا اللاهوائية في تحليل المخلفات الصلبة (الشكل رقم ٦٦).

وبعد ذلك يتم ضخ هذه المخلفات بعد تحليلها تحت سطح التربة لكي تتم عمليات تحلل إضافية بواسطة البكتريا اللاهوائية. وهذه الطريقة تكون في الغالب غير مكتملة، لأن الناتج يظل حاملا للروائح الكريهة، كما إن احتمال تسربها إلى مياه الشرب بعد ضخها تحت سطح التربة احتمال قائم.

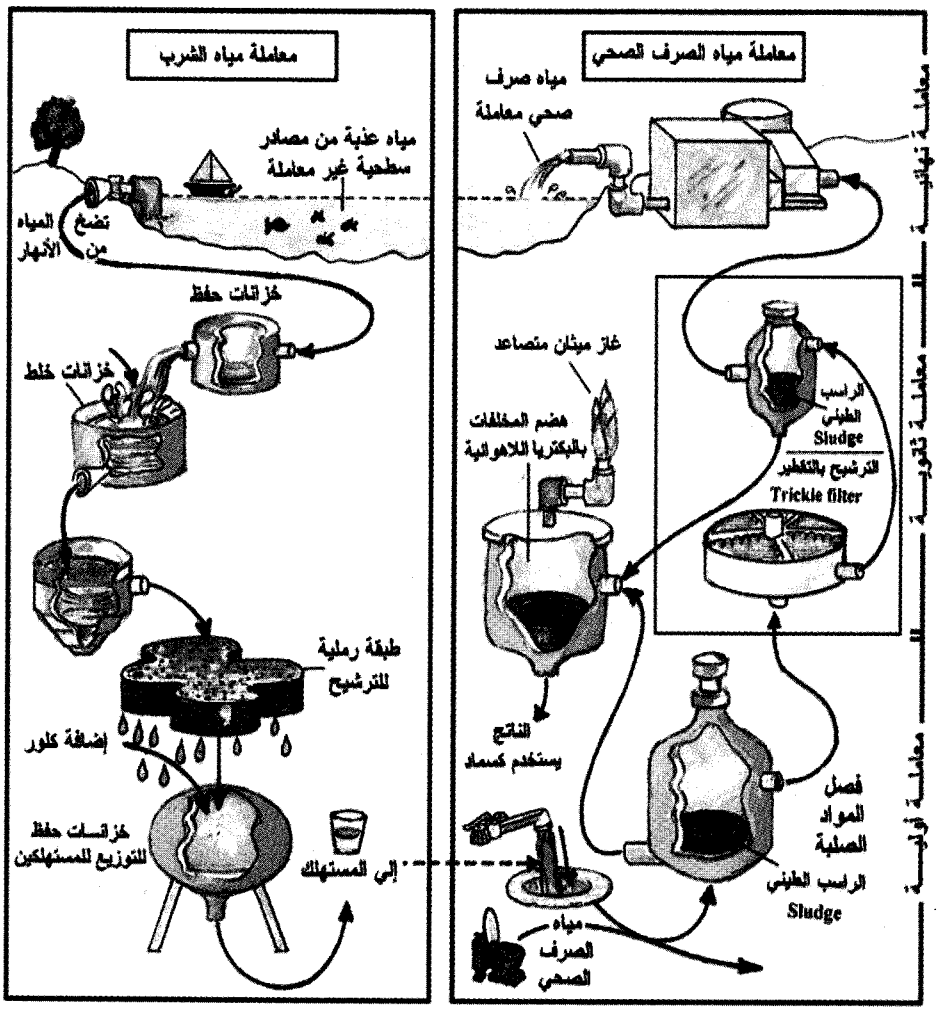
٢ – وحدات معالجة الصرف الصحي المتكاملة

Modern conventional sewage treatment plant

وهذه وحدات ضخمة تستعملها السلطات المسؤولة عن هذا القطاع لضمان معالجة كميات هائلة من المخلفات وضمان خلوها من الميكروبات والنواتج الضارة. وفي هذه الوحدات تعتمد المعاملة على ثلاث مراحل مختلفة (الشكل رقم ٦٦):

المرحلة الأولى: المعاملة الأولية Primary treatment، وتشمل إزالة المخلفات الصلبة بأحجامها المختلفة، ثم ترسيب المواد الصلبة العالقة Sludge.

المرحلة الثانية: المعاملة الثانوية (الحيوية) Secondary (Biological) treatment: ويتم فيها تحليل المواد العضوية الصلبة المترسبة من المرحلة الأولى على عدة مراحل بواسطة أنواع من البكتريا في خزانات ذات تهوية للسماح بالبكتريا الهوائية بإجراء عملية التحليل، ثم بعد ذلك تحويل المخلفات الناتجة إلى خزانات غير مهواة للسماح للبكتريا اللاهوائية بالقيام بعملية تحليل إضافية للتخلص من كل النواتج الصلبة.



الشكل رقم (٦٦). أ) خطوات معاملة مياه الصرف الصحي حتى تصبح صالحة للاستخدام في المجـــالات الزراعية بصورة آمنة.

ب) معاملة مياه الشرب من مصادرها الطبيعية حتى الوصول إلى المستهلك.

ومن الأنواع البكترية والفطرية المستعملة في وحدات معالجة الصرف الصحي الأجناس التالية :

١ - بكتريا سالبة لصبغة جرام مثل : *Alcaligenes, Zoogloea, Pseudomonas, Flavobacterium, Achromobacter*.

٢ - أجناس الفطريات : *Sepedonium, Ascoidea, Fusarium, Geotrichium, Subbaromyces, Trisporom*.

المرحلة الثالثة: المعاملة المتقدمة Advanced wastewater treatment. ويتم في هذه المرحلة التخلص من أي عناصر ملوثة قد تكون باقية بعد المرحلة السابقة ، مثل الحبيبات الصغيرة وعناصر مركبات الفوسفات والنتريت. ثم معاملتها بالكلور لضمان القضاء على أي ميكروبات قد تكون باقية.

وفي هذه المرحلة يكون لدينا ناتج نظيف غير ملوث ذو محتوى BOD منخفض يمكن ضخه إلى البحار أو الأنهار أو داخل التربة ، أو استعماله في ري المزروعات ، ... إلخ ، دون أي احتمال يخشى منه.

الفصل الخامس عشر

الأمراض النباتية
Plant Diseases

- المسببات المرضيـــة • أعـــراض الأمراض النباتيـــة
- انتشار الأمراض النباتية • قابلية النبات للإصابـــة بالأمراض • الأمراض الفطرية • الأمراض البكتريـــة
- الأمـــراض النيماتوديـــة • الأمـــراض الفيروسية
- وسائل مكافحة الأمراض النباتية

علم أمراض النبات Plant Pathology هـو أحد فروع علـم الميكروبيولوجي التطبيقية، ويختص بدراسة العوامل المختلفة التي تتعلـق بنمـو النبـات نمـوا سـليما، ومـا قـد يصيبه تحت ظروف معينه من اضطرابات فسيولوجية أو انحرافات شكلية تؤثر سـلبا علـى نمـوه الطبيعي وإنتاجه.

وهناك عدة تعريفات للمرض منها: **"أن المرض هو أي انحراف يظـــهر علـــى النبات يجعله مختلفا في المظهر أو السلوك عن الحالة الطبيعية لمثل هذا النبـــات"**. ومـن التعريفات الأكثر شمولا: **"أن المرض هو ظاهرة فسيولوجية قد يحدثها عامل أو أكـثر من عوامل البيئة أو نتيجة تأثير كائنات حية متطفلة، مما يؤدي إلى ضعـــف النبـــات المصاب كليا أو جزئيا أو موته، الأمر الذي ينتج عنه انخفاض في القيمة الاقتصاديـــة للمحصول من حيث الكم والنوعية"**.

ويُعتبر العالم بريفوسـت Prevost هـو أول مـن نبـه الأذهـان إلى الطبيعـة الطفيليـة للميكروبات عام ١٨٠٧م، غير أن العالم الألماني أنتوني دى بـاري Antony De Bary

يعتبر هو مؤسس ورائد علم أمراض النبات الحديث بدراساته المكثفة عن الأمراض النباتية، وبالذات مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس، وصدأ القمح. ثم وضع العالم روبرت كوخ تلك الفرضيات المعروفة باسمه، والتي يمكن بواسطتها إثبات العلاقة الحقيقية بين المسبب المرضي والعائل.

المسببات المرضية Disease Causing Agents

قد تكون كائنات حية طفيلية، أو عوامل غير طفيلية أو فيروسات.

١ – المسببات الطفيلية Parasitic Agents

الأمراض الطفيلية هي تلك الناشئة من إصابة النبات بكائن حي آخر يُطلق عليه اسم الطفيل Parasite، ويُعرف بأنه كائن حي يعيش في أو على كائن حي آخر يختلف عنه في الرتبة التقسيمية يسمى العائل Host.

وهذه الطفيليات قد تكون فطريات أو بكتريا أو ديدانا ثعبانية، أو تكون نباتات متطفلة.

٢ – المسببات غير الطفيلية Non-Parasitic Agents

وتشمل عاملا أو عدة عوامل من عوامل البيئة غير الملائمة لنمو النبات، إما في البيئة المحيطة بالجذر أو بالمجموع الخضري، مثل انحرافات درجات الحرارة، أو وجود شوائب أو مواد سامة في الجو، أو زيادة أملاح التربة، ... إلخ.

٣ – المسببات الفيروسية Viral Agents

وهذه – كما أسلفنا – وحدات حيوية غير حية بذاتها. تتطفل إجباريا على النبات مسببة له الأمراض.

أعراض الأمراض النباتية

Symptoms of Plant Diseases

يظهر على النبات المريض بعض العلامات التي تدل على طبيعة المرض. وتسمى هذه الأعراض Symptoms ، وهي انعكاس للتغيرات الفسيولوجية الداخلية التي تحدث في النبات. ومن أهم هذه الأعراض :

١ - تغير اللون الطبيعي للنبات Discoloration

٢ - الموت الموضعي للأنسجة أو الأعضاء Necrosis

٣ - تثقيب الأوراق Shot hole

٤ - تغيرات في طبيعة النمو Alteration in habit

٥ - الأورام Tumors

٦ - التقزم Stunting

٧ - موت البادرات Damping-off

٨ - الذبول Wilt

٩ - جفاف (تحنيط) الثمار Mummification

انتشار الأمراض النباتية

Transmission of Plant Diseases

يعتبر معرفة طرق انتشار الأمراض النباتية من الأمور الهامة التي تساعد في تحديد طرق المقاومة السليمة.

ومن أهم طرق انتشار الأمراض النباتية :

١ - الانتشار بواسطة الهواء Transmission by Air

تنتقل الجراثيم بواسطة الرياح ، وعندما تقع على النسيج النباتي المناسب ، وتتهيأ لها الظروف المناسبة ، تنمو وتحدث العدوى.

٢ – الانتشار بواسطة الماء Transmission by Water

يعمل الماء وسطا تسبح فيه الطفيليات المتحركة وجراثيمها، وتنتقل من مكان لآخر، ثم تتسرب إلى التربة وتلامس الجذور محدثة العدوى.

٣ – الانتشار عن طريق الحشرات Transmission by Insects

يحمل كثير من أنواع الحشرات على جسمه عديدا من أنواع المسببات المرضية مثل البكتريا والفطريات والفيروسات، والتي تنتقل من نبات إلى آخر إما بواسطة تجريح أنسجة النبات، أو بامتصاص رحيق الأزهار.

٤ – الانتشار بواسطة الإنسان Transmission by Man

ينقل الإنسان الأمراض النباتية إما عن طريق نقل مواد نباتية ملوثة من مكان لآخر، أو عن طريق العمليات الزراعية باستخدام أدوات غير نظيفة تنتقل بها المسببات المرضية من نبات مريض إلى آخر سليم... إلخ.

٥ – الانتشار بواسطة الكائنات الحية الأخرى Transmission by Other Organisms

مثل الديدان الثعبانية والقواقع والطيور وغيرها، والتي يمكن أن تنقل الأمراض من مناطق موبوءة إلى أخرى خالية منها.

٦ – الانتشار بواسطة التقاوي Transmission by Seeds

تتلوث التقاوي إما بأن تكون مختلطة بالجراثيم المرضية أو تحملها على سطحها الخارجي. وفي أحيان أخرى تحمل الجراثيم داخل أنسجة التقاوي، لذلك كان من الضروري ضمان استخدام تقاو سليمة معاملة بالمبيدات الفطرية.

٧ – الانتشار بواسطة التربة والسماد Transmission by Soil and Organic Fertilizers

تعتبر الأسمدة العضوية، الحيوانية بالذات ونقل التربة من مكان لآخر وسيلة هامة لنقل المسببات المرضية.

قابلية النبات للإصابة بالأمراض

Infection Ability to Disease

تتوقف قدرة أي كائن حي على التطفل على العائل النباتي على قدرته في الحصول على غذائه من هذا العائل. ويُطلق على قدرة الطفيلي على الإصابة وإحداث المرض القدرة الإمراضية Virulence، أما رد الفعل الذي يحدثه النبات العائل ضد هجمات الطفيلي فيطلق عليه Host reaction. فإذا كان الطفيلي قادرا على إحداث المرض بدرجة شديدة في عائل ما، فإنه يُعتبر شديد القدرة الإمراضية Virulent، ويكون هذا العائل قابلا للإصابة Susceptible، أما إذا كان الطفيلي خفيف القدرة الإمراضية فإنه يسمى Avirulent ويكون العائل مقاوما Resistant.

وبصفة عامة فإنه لا توجد مناعة مطلقة في النبات ضد الأمراض، بل توجد درجات متفاوتة من المقاومة للمرض، بعضها وراثي وبعضها مكتسب. وتحمل بعض النباتات صفات مورفولوجية تؤدي إلى حمايتها نوعا ما من الإصابة بالأمراض مثل وجود طبقة شمعية على سطح الأوراق، أو وجود شعيرات مدببة، ...إلخ. كما أن بعض النباتات لديها القدرة على إفراز مركبات كيميائية تؤدي إلى قتل جزء من النسيج المصاب بحيث تحد من انتشار المرض في الأنسجة المجاورة، أو تؤدي إلى تغيير الظروف داخل العصارة النباتية بحيث تصبح غير مناسبة لنمو وتكاثر الطفيلي.

وبصفة عامة فإن المسببات المرضية الطفيلية تُحدث المرض في النبات إما نتيجة نموها وتكاثرها داخل النسيج، أو بإفراز مواد كيماوية تحدث تغيرات فسيولوجية داخلية، وتُقسم هذه المركبات التي تفرزها الميكروبات إلى:

١ – الإنزيمات Enzymes

هي مواد كيميائية تؤدي إلى تحليل وتكسير المكونات الداخلية للأنسجة النباتية، وبالتالي يفقد النسيج قدرته على القيام بوظيفته الطبيعية، ومنها إنزيمات تحلل المواد البكتينية، والكربوهيدراتية، والبروتينية.

٢ – سموم Toxins

هذه أيضا مواد كيميائية سامه تفرزها الميكروبات المرضية داخل النسيج النباتي حيث تتداخل مع بعض الفعاليات الأيضية داخل النبات وتؤدى إلى تعطيلها، ومن أشهرها سموم Aflatoxins.

٣ – الهرمونات Hormones

وهذه تفرزها المسببات المرضية داخل الخلايا النباتية بحيث تؤدى إلى تحفيز الخلايا لزيادة سرعة انقسامها زيادة كبيرة Hyperplasia، وزيادة حجم الخلايا Hypertrophia، بحيث تظهر في صورة تورمات سرطانية على أنسجة النبات المصابة تعيق النبات عن أداء وظائفه الطبيعية.

ويمكن تقسيم الأمراض النباتية حسب الكائنات التي تسببها إلى: أمراض فطرية، وأمراض بكتيرية، وأمراض نيماتودية، وأمراض فيروسية. وفيما يلي أمثلة لبعض هذه الأمراض.

الأمراض الفطرية Fungal Diseases

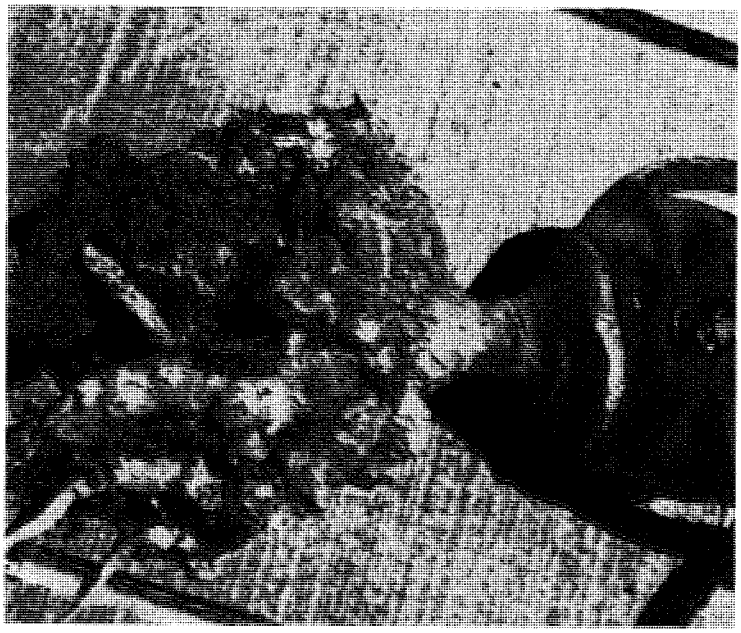
أولا: الأمراض التي تسببها أنواع الفطريات اللزجة

مرض الجذر الصولجاني Club Root للعائلة الصليبية

ويسببه الفطر *Plasmodiophora brassica*

يصيب هذا المرض النباتات في الترب الحمضية سيئة الصرف. ويهاجم الفطر الجذور، مسببا لها انقسامات سريعة للخلايا وتضخما غير عادي في أحجامها. حيث تأخذ أطراف الشعيرات الجذرية شكلا منتفخا يشبه شكل المضرب Club-shaped، وهو الذي يعطي لهذا المرض اسمه المميز. ونتيجة لذلك تتأثر قدرة الجذور على امتصاص الماء والعناصر الغذائية بصورة طبيعية. وفي بداية مراحل الإصابة، يبدو الجزء الخضري للنبات طبيعيا ليس عليه أي أعراض ولا يمكن التفريق بينه وبين النباتات السليمة، إلا

أنه وبتقدم مراحل الإصابة تظهر أعراض الذبول على الأوراق وبالذات في الأجواء الدافئة. غير أن النبات يعود إلى حالته الطبيعية في المساء عندما تنخفض درجة الحرارة. وبتقدم المرض يبدأ معدل النمو في البطء وتظهر النباتات مصفرة ومتقزمة، وإذا حدثت الإصابة في مراحل مبكرة من النمو (مرحلة البادرات)، فإنها قد تؤدي إلى موت النبات. أما إذا حدثت الإصابة في مراحل متقدمة من النمو فإن تأثيرها على المجموع الخضري قد لا يكون كبيرا، مع التأثير الواضح على منطقة الجذور (الشكل رقم ٦٧).



الشكل رقم (٦٧). أعراض الإصابة بمرض الجذر الصولجاني Club root على نباتات العائلة الصليبية، والذي يسببه الفطر *Plasmodiophora brassica*.

وتحتوي الأجزاء المنتفخة من الجذور على أعداد كبيرة من الجراثيم الكامنة. فعندما تتحلل هذه الجذور في التربة تنطلق منها الجراثيم وتظل كامنة في التربة لحين تتهيأ الظروف المناسبة لها فتنمو إلى جراثيم متحركة Zoospores لكل منها سوطان غير

متساويين في الطول. وقد ثبت من الدراسات أن جذور نباتات الكرنب تفرز مواد خاصة في التربة تحفز هذه الجراثيم على النمو من الطور الكامن إلى الطور النشيط أو المتحرك الذي يسبح في اتجاه العائل، وعندما يقترب من الجذور وقبل الإصابة يتحول هذا الطور المتحرك إلى الطور الأميبي Plasmodium الذي يلتصق بالشعيرات الجذرية ثم يخترقها ويدخل بكامله إلى داخل الجذر حيث تبدأ الإصابة.

المكافحة: لم يثبت من التجارب أن اتباع الدورات الزراعية أو استنباط الأصناف أعطى أي نتائج فعالة لمقاومة هذا المرض. لذلك يلجأ إلى اتباع خطوات معينة من شأنها تغيير الظروف البيئية للتربة بصورة تصبح معها غير ملائمة لنمو وبقاء هذا الطفيل.

ومن أهم هذه الخطوات العمل على تحسين الصرف في التربة، وتقليل الحموضة، مما قد يتطلب إضافة كميات من الجير إلى التربة. كما أن إضافة المبيدات الزئبقية إلى تربة المشتل قد يخفف لحد كبير من نسبة الإصابة بالمرض.

مرض الجرب المسحوقي في البطاطس Powdery Scab of Potato

ويسببه الفطر *Spongospora subterranea*

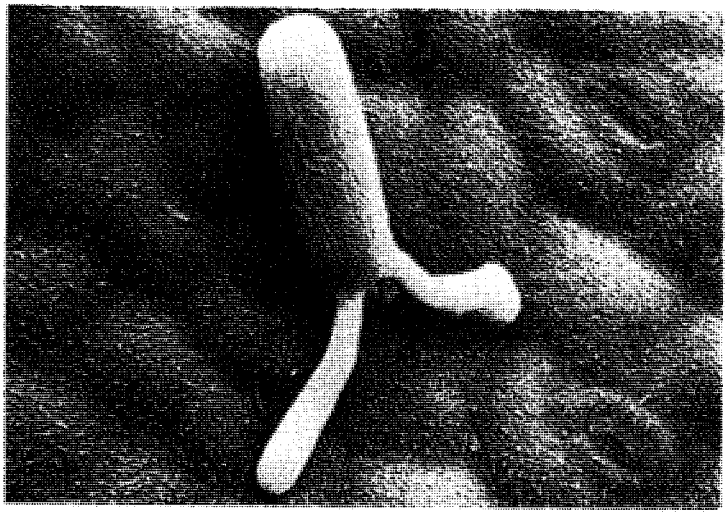
يشبه في دورة حياته النوع *Plasmodiophora brassica* لحد كبير. حيث يشترك النوعان في كون الطور الخضري لهما عبارة عن بلازموديوم يعيش داخل أنسجة العائل ثم ينطلق منها عندما تتحلل الجذور معطيا أكياسا اسبورانجية بها جراثيم سابحة باسم Zoospores.

ويصيب هذا الطفيل الطبقات الخارجية من درنات البطاطس دون أن يتغلغل إلى الأنسجة الداخلية حيث يلجأ النبات حال الإصابة إلى تكوين طبقات فلينية تعزل الأنسجة السطحية للدرنة عن الأنسجة الداخلية. وعلية فإن الأعراض تقتصر على تشويه السطح الخارجي لسطح الدرنة في صورة بقع تشبه الجرب، وهذه تؤدي إلى انخفاض القيمة الاقتصادية للمحصول.

وتبدأ الأعراض على الدرنات النامية في صورة بقع صغيرة مستديرة تتسع تدريجيا متحولة إلى بثرات مرتفعة السطح عن مستوى سطح الدرنة، وبتقدم الإصابة

تنفجر القشرة السطحية للبثرة، وتظهر مكانها كتل في صورة مسحوق ذي لون قاتم، وهذه الكتل هي الجراثيم الساكنة للفطر المسبب للمرض. وعند جفاف الدرنة تتحول هذه الجراثيم إلى مسحوق بني ينتشر على سطح الدرنة.

وعندما تنتشر هذه الجراثيم الساكنة وتتهيأ لها ظروف مناسبة تنبت مكونة جراثيم سابحة ذات سوطين غير متساويين في الطول تسبح في التربة وتصيب الشعيرات الجذرية للبطاطس والطماطم. ويلاحظ أنها تفقد أسواطها قبل اختراق الشعيرات الجذرية متحولة إلى بلازموديوم. وداخل أنسجة الجذور يتحول البلازموديوم إلى أكياس للجراثيم الهدبية Zoosporongia ومن هذه الأكياس تخرج الجراثيم الهدبية إلى التربة وتهاجم خلايا العائل، أو أنها تندمج في أزواج مكونة الخلايا الملقحة Zygote. وهذه بدورها يمكنها إحداث إصابات جديدة باختراقها للشعيرات الجذرية. وبعد فترة تنقسم نواة الزيجوت عدة انقسامات ميتوزية معطية بلازموديوم عديد الأنوية. وهذا بدوره يتجزأ إلى عدة أجزاء كل منها له القدرة على الانتقال من خلية لأخرى، مما يساعد على انتشار العدوى داخل قشرة العائل.



الشكل رقم (٦٨). جرثومة فطر على سطح ورقة نبات، يلاحظ تكوين أنابيب جرثومية Germ tube تمهيدا لاختراق سطح الورقة، والانتشار داخل النسيج النباتي.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

ثانيا: الأمراض التي تسببها أنواع الفطريات الحقيقية Eumycota

مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس Late Blight

ويسببه الفطر *Phytophthora infestans*

ويتبع هذا الفطر شعبة الفطريات البيضية Phylum: Oomycota ، ويسبب مرض اللفحة المتأخرة Late blight للعائلة الباذنجانية ، خاصة البطاطس حيث يعتبر أحد أهم وأخطر أمراض البطاطس المعروفة. وقد ظهر هذا المرض بصورة وبائية لأول مرة عام ١٨٤٥م في أيرلندا ، وقضى حينئذ على كامل محصول البطاطس في هذا البلد ، مما سبب مجاعة شديدة أدت إلى موت وهجرة مئات الألوف من سكان هذا البلد. ومنذ ذلك التاريخ عرف هذا المرض كأحد أخطر وأهم أمراض البطاطس.

يتميز هذا الفطر بميسيلوم طويل غير مقسم Co-enocytic يكون حوامل سبورانجية متفرعة وغير محدودة النمو تحمل في نهاياتها أكياسا سبورانجية ذات شكل ليموني. ومع استمرار نمو الحامل ، وعند قرب نضج الكيس الأسبورانجى ينتفخ طرف الحامل قليلا ، ثم يواصل نموه مما يؤدي إلى دفع الكيس جانبا. وتتكرر هذه العملية عدة مرات خلال فترات نمو الحامل ، مما يعطي للحامل شكلا مميزا بوجود انتفاخات متتابعة تحدد أماكن خروج الأكياس الأسبورانجية ، وعند نضج الأكياس الأسبورانجية تنفصل وتسقط حيث تظل كامنة حتى تتهيأ لها الظروف البيئية الملائمة. وتعتبر الحرارة والرطوبة أهم العوامل تحديدا لنمو الفطر ، حيث يعتبر الجو المشبع بالرطوبة مناسبا لتكوين الأكياس الأسبورانجية. وتنبت الأكياس الأسبورانجية بأحد طريقين ، فعند درجة حرارة ١٠-١٥°م تنبت إنباتا غير مباشر بتكوين جراثيم هدبية سابحة Zoospores (حيث يكون الكيس الواحد من ٣-٨ جراثيم) وعند خروج هذه الجراثيم تسبح في الماء ثم تفقد أهدابها ، وتنبت محدثة العدوى (الشكل رقم ٦٩). أما في درجة الحرارة التي تزيد عن ٢٥°م فإن الكيس الأسبورانجي ينبت إنباتا مباشرا مكونا أنبوب إنبات ينمو ويحدث العدوى. ويلاحظ أن العدوى تزداد فرصتها في الظروف البيئية التي تسود فيها درجات الحرارة المنخفضة والرطوبة العالية. أما التكاثر الجنسي فيحدث نادرا ، حيث

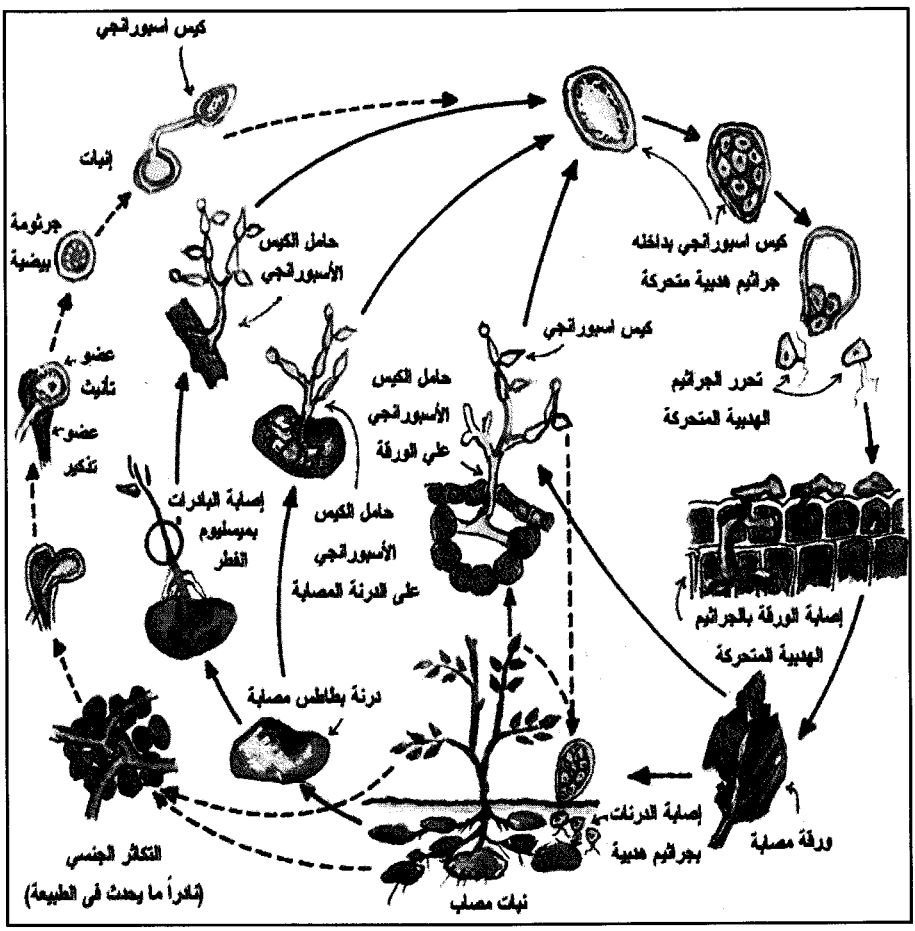
يجب أن يتم التزاوج بين نوعين من أعضاء التزاوج Oogonia, Anthridium ، وتتكون نتيجة لذلك جراثيم بيضية سميكة الجدار Oospores تنمو بدورها مكونة أنابيب إنبات تنتج أكياسا اسبورانجية.

أعراض المرض Symptoms: تظهر أعراض المرض على الأجزاء الهوائية للنبات، وكذلك على الدرنات، فتظهر الإصابة على قمة وحواف الأوراق في شكل بقع مائية غير محددة، ثم تتسع حتى تعم جميع أجزاء الورقة. وعند ارتفاع الرطوبة تظهر على السطح السفلي للورقة نموات زغبية بيضاء هي الحوامل الأسبورانجية. وبتقدم المرض تجف الأوراق المصابة، ويتغير لونها إلى البني القاتم. وتظهر أعراض الإصابة على الساق في صورة تقرحات بنية اللون تمتد إلى أسفل وتتسبب في جفاف الساق وتشققه طوليا فيصبح هشا سهل الكسر. ويبدأ ظهور الأعراض في بداية الموسم بصورة واضحة على مجموعه من النباتات المتجاورة والتي تشكل بؤرة لانتشار المرض في بقية أجزاء الحقل.

وتظهر أعراض الإصابة على الدرنات في صورة بقع غير منتظمة منخفضة قليلا عن سطح الدرنة، ويميل لون التبقع إلى اللون البني أو البنفسجي القاتم. وعند تقطيع الدرنة المصابة فإن الأنسجة تحت مواقع البقع تظهر بلون بنى محمر وتنتشر الإصابة إلى داخل الدرنة فتسبب عفنا جافا. وكثيرا ما تحدث إصابات ثانوية تعمل على تحول العفن الجاف إلى عفن طري.

دورة المرض Disease cycle: يكمن الفطر في صورة ميسيليوم داخل الدرنات المصابة، ثم ينتشر في أنسجة الدرنة (الشكل رقم ٦٩). وعند زراعة هذه الدرنات ينمو بسرعة وينتشر حتى يصل إلى الأجزاء الهوائية للنبات، ثم يكون حوامل الأكياس الأسبورانجية التي تخرج من الثغور والفتحات الطبيعية، ثم تنضج هذه الأكياس وتنفصل عن الحوامل وتنتشر بواسطة الأمطار والرياح، وعندما تسقط على نباتات بطاطس مبتلة بالماء وتنمو بالطرق المذكورة أعلاه فإنها تعيد عملية الإصابة، حيث تكون أنابيب إنبات تخترق طبقة الكيوتيكل المغطية لسطح الورقة أو تدخل عن طريق

الثغور وتكون ميسيلوم ينمو ويتفرع بين خلايا النسيج. وتؤدى الإنزيمات التي يفرزها الفطر إلى تحلل خلايا النسيج وقتلها. وتستغرق الدورة من حدوث الإصابة لحين تكوين الأكياس الأسبورانجية حوالي ٤ أيام تحت الظروف المناسبة. ومن ذلك يتضح أنه على امتداد الموسم الزراعي يتم تكوين العديد من الأجيال، وتتكرر الإصابة، وتتسع دائرة المرض، ويتدهور حال النباتات المصابة، نتيجة موت المجموع الخضري ونقص إنتاج الدرنات بدرجة كبيرة.



الشكل رقم (٦٩). دورة مرض اللفحة المتأخرة في البطاطس والطماطم المتسببة عن فطر فيتوفثورا إنفستانس.

(عن: Agrios, 1978)

تبدأ المرحلة الثانية من الإصابة في الحقل عندما تسقط الأكياس الأسبورانجية على سطح الأوراق وعلى التربة، حيث توجد الدرنات، فتهاجم الجراثيم السابحة Zoospore الدرنات وتدخل عن طريق الجروح أو الاختراق المباشر، حيث تكون ميسيلوم ينمو متفرعا بين الخلايا، ويكون ممصات Haustoria تخترق الخلايا وتتغذى عليها. ويلاحظ أن جزءا كبيرا من الدرنات التي تحمل المرض ولا تظهر عليها الأعراض في الحقل ينمو داخلها الفطر وتتعفن أثناء فترة التخزين.

المكافحة: للسيطرة على هذا المرض يجب اتباع برنامج متكامل يتلخص في الخطوات التالية:

١ - استعمال أصناف نباتية مقاومة للمرض.

٢ - التخلص من الدرنات المصابة أثناء التخزين.

٣ - استخدام درنات سليمة أثناء الزراعة.

٤ - قطع المجموع الخضري للنباتات المصابة وحرقها في الحقل قبل عملية الحصاد.

٥ - يجب مراعاة التوازن في عملية التسميد، لأن زيادة التسميد الآزوتي يزيد احتمالات الإصابة.

٦ - استخدام الرش بالمبيدات الكيميائية الفطرية كرشات وقائية قبل حدوث الإصابة. ومن المركبات التي لها أثر فعال: المانكوزيب، كلوروثالونيل، ومركبات النحاس.

مرض الذبول المفاجئ في البادرات (الذبول الطري في البادرات)

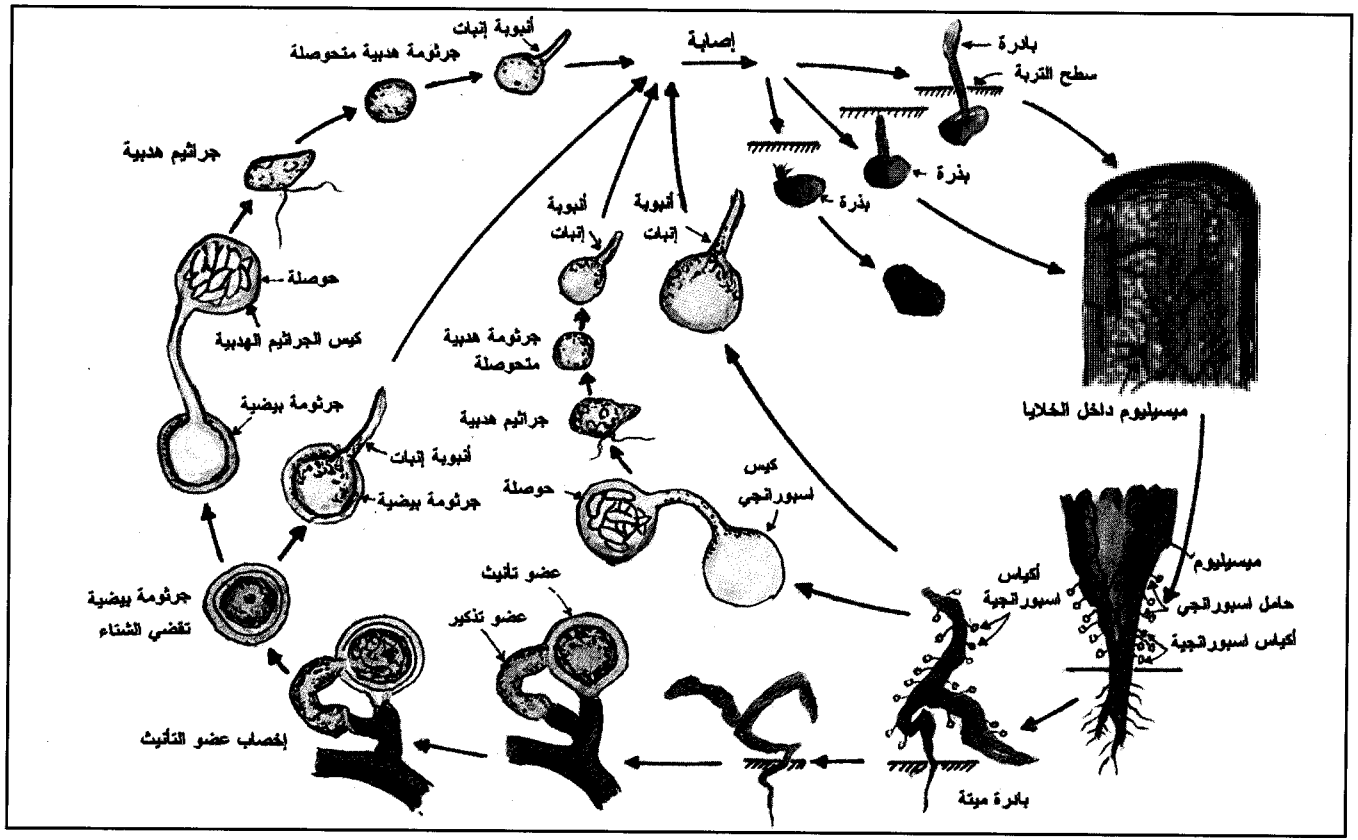
ويسببه الفطر *Pythium* spp

الأعراض: تحدث الإصابة للبذور النابتة أو البادرات تحت سطح التربة، فتسبب عفنا للبذور Seed decay وموت البادرات. ويسمى طور المرض في هذه الحالة طور الإصابة قبل ظهور البادرات Pre-emergence damping off، أو تحدث الإصابة بعد الإنبات وظهور البادرات فوق سطح التربة، حيث تغمر السويقة الجنينية السفلى عند

بمستوى سطح التربة وتذبل وتموت، مما يؤدي إلى سقوط الجزء الأخضر من البادرة فوق سطح التربة، ويسمى طور المرض في هذه الحالة طور الإصابة بعد تكشف وظهور البادرات فوق سطح التربة Post-emergence damping off. ويتطفل الفطر المسبب للمرض بأن تخترق هيفاته خلايا أنسجة البذرة النابتة أو البادرة، فيسبب موتها، وبعد ذلك تعيش هيفات الطفيل مترممة على بقايا الأنسجة الميتة والمواد العضوية التي قد توجد في التربة إلى أن يحين موعد الزراعة في الموسم التالي، فيهاجمها الفطر ويعيد دورة حياته.

دورة المرض Disease cycle: عند ملامسة أنابيب الإنبات أو ألياف الميسيليوم الموجودة في التربة لأنسجة العائل (بذرة أو بادرة غضة) إما بطريق المصادفة أو بالتأثير المحفز لإفرازات العائل التي تعمل كمواد جاذبة للجراثيم السابحة للفطر وللميسيليوم والذي ينمو في اتجاه هذه الإفرازات، عندها يدخل الفطر البذور بفعل الاختراق المباشر إلى قلب البذرة، ثم يفرز الإنزيمات التي تذيب مكونات الجنين، وباستمرار نمو وتغلغل الفطر داخل أنسجة العائل وإفرازاته الإنزيمية يحلل المحتويات البروتوبلازمية للخلايا، ويؤدي في النهاية إلى انهيار النظام الخلوي وجدر الخلايا، وبذلك تموت البذور وتتحول إلى كتل متعفنة مليئة بالفطر ومنتجات تحلل العائل (الشكل رقم ٧٠).

وبالنسبة لإصابة جذور وسيقان البادرات الغضة فإنها تبدأ وتتطور بنفس التدرج المذكور أعلاه، وتبدأ الإصابة غالبا في المنطقة التي تحت سطح التربة مباشرة، حيث يخترق الميسيليوم خلايا الساق في هذه المنطقة، ويقوم بتحليل جدر مكونات الخلايا مما تنتج عنه انهيار تام لأنسجة وخلايا هذه المنطقة. وبتطور الإصابة تصل إلى الأنسجة التي تعلو سطح التربة وتتغلغل إلى الأنسجة الخشبية للساق وتحللها، وعندما يصبح النسيج النباتي مهترئا وغير قادر على دعم البادرة، فإنها تسقط وتموت.



الشكل رقم (٧٠). دورة مرض موت البادرات، وتعفن البذور المتسبب عن فطر البيثيم.

(عن: Agrios, 1978)

ويلاحظ أن الإصابة إذا حدثت في مرحلة متأخرة عندما تكون البادرة كبيرة السن نوعا وخلاياها مكتملة النمو وذات جدر سميكة فإن تطور المرض يتوقف عند نقطة قريبة من منطقة الإصابة. وتقتصر الأعراض على بقع صغيرة فقط. ومن ذلك يتضح أن الأنسجة المكتملة النمو والتطور تشكل عامل جيد لمقاومة هذا الفطر بفعل سمك جدر الخلايا وتطور تركيب الجدر. ويمكن أن تحدث إصابة الجذور في أي مرحلة من مراحل نمو النبات، حيث تبدأ من أطراف الجذور ثم تغزو بقية المجموع الجذري مسببة تحلل وتلف المجموع الجذري. ويلاحظ أن الخضروات الطازجة والفواكه وجميع أجزاء النبات من الممكن أن تكون عرضة للإصابة بهذا الفطر في الحقل وأثناء التخزين والنقل. أو في أي مرحلة من مراحل تسويقها. وتبدأ الإصابة في حالة ملامسة الثمرة لتربة مبتلة ملوثة بهذه الفطريات حيث يدخل الفطر إلى الثمرة ويخترق أنسجتها الداخلية، ويحلل مكوناتها وتنمو طبقة كثيفة من الميسيليوم تحيط بجميع أجزاء الثمرة تقريبا.

المكافحة

١ - في الصوب الزجاجية من الممكن تطهير التربة بالكيماويات أو تعقيمها حراريا لقتل الفطر فيها (غير أن هذه الطريقة مكلفة وصعبة في الزراعات المكشوفة).

٢ - استعمال بذور معاملة بالمبيدات قبل زراعتها. ومن المبيدات الفطرية المستعملة لهذا الغرض: ثيرام ,Diazoben, Captan, Chloranil.

٣ - رش النباتات بالمبيدات الفطرية الجهازية.

٤ - تحسين ظروف التهوية والرطوبة في التربة بتحسين الصرف واعتدال الري. وعدم زراعة محاصيل من نفس العائل لمدة سنتين على الأقل.

مرض البياض الزغبي على العنب Downey Mildew

ويسببه الفطر *Plasmopara viticola*

الأعراض: هذا المرض من الأمراض الشائعة والمنتشرة في أغلب بقاع العالم، ويصيب الأجزاء الخضراء الغضة والثمار والسيقان تحت ظروف الرطوبة المرتفعة.

وتظهر أعراض المرض في صورة بقع صفراء وحمراء محددة بعروق الورقة على السطح العلوي للأوراق تقابلها على السطح السفلي نموات زغبية رمادية داكنة هي الحوامل والأكياس الأسبورانجية للفطر (الشكل رقم ٧١). وبتقدم الإصابة تتحد البقع بعضها مع بعض مكونة مساحات كبيرة على سطح الورقة. وفي الإصابات الشديدة تغطى جميع النموات الحديثة للنبات بنموات الفطر الزغبية. وأخيرا تتحول الأنسجة المصابة إلى اللون البني وتموت. أما الثمار المصابة في مراحل نموها المبكرة فإنها تصبح جلدية مجعدة وينخفض محتوى السكر فيها وتصبح غير قابلة للاستعمال الآدمي. وتحت ظروف البيئة المناسبة للمرض قد تتراوح نسبة التلف بين ٥٠ و٧٥٪ للمحصول في موسم واحد.



الشكل رقم (٧١). أعراض الإصابة بمرض البياض الزغبي على ورق العنب والذي يسببه الفطر *Plasmopora viticola*.

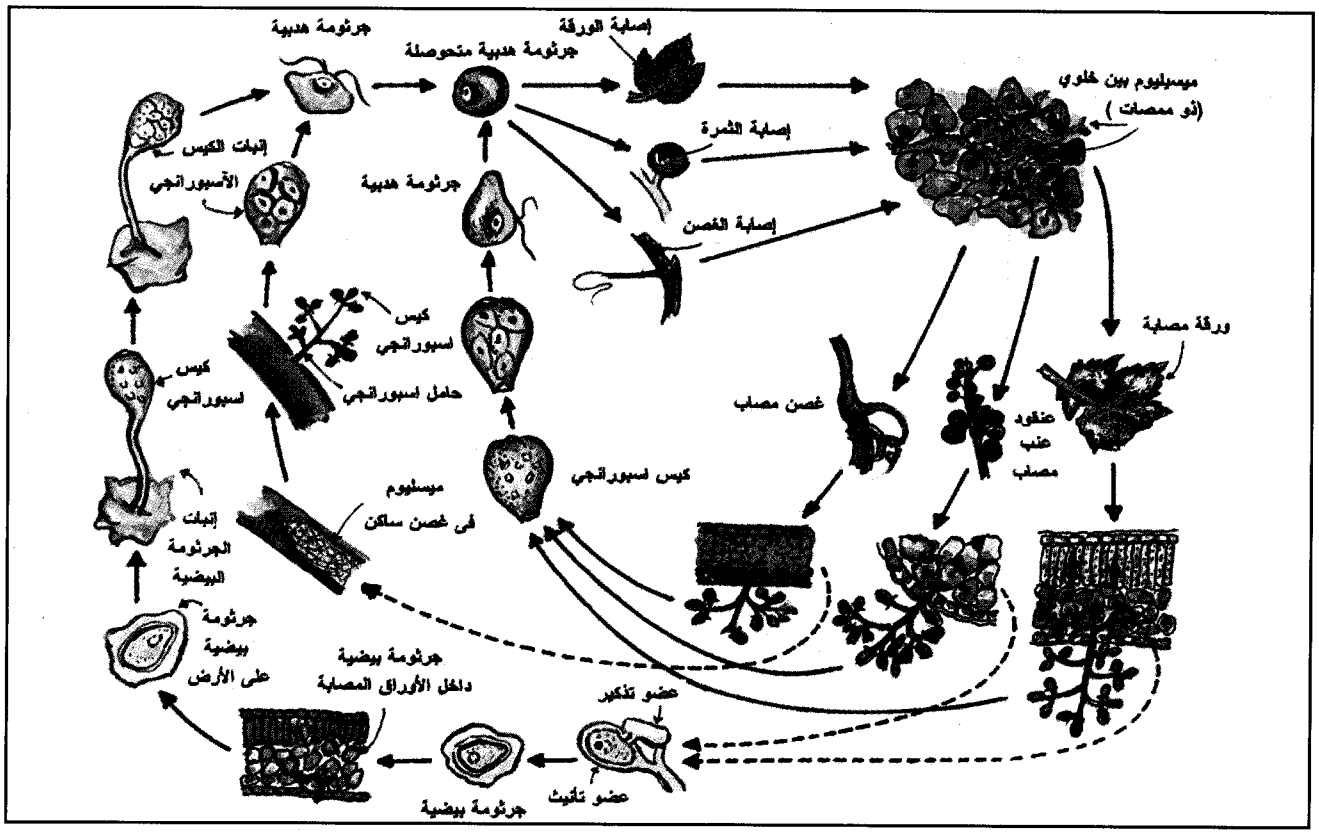
دورة المرض Disease cycle: يقضي هذا الفطر فترة السكون Overwintering في صورة جراثيم بيضية Oospores على أوراق وبقايا النباتات الميتة. وفي حالات معينة قد يكمن في صورة ميسيليوم داخل البراعم النامية. وفي فصل الشتاء تتحلل هذه البقايا النباتية المحتوية على الجراثيم البيضية وتنطلق منها الجراثيم. وفي فصل الربيع عند سقوط الأمطار تنمو هذه الجراثيم البيضية مكونة جراثيم هدبية Zoospores حيث تنقل بواسطة الرياح أو قطرات الأمطار المتناثرة إلى مسافات بعيدة. وعندما تقع هذه الجراثيم الهدبية أو الأكياس الأسبورانجية على أوراق نباتية مبتلة تبدأ عملية الإصابة حيث يخترق الفطر سطح الورقة السفلي وينتشر الميسيليوم بين خلايا الأنسجة مطلقا ممصاته Haustoria إلى داخل الخلايا لامتصاص المواد الغذائية (الشكل رقم ٧٢).

وعندما يصل الميسيليوم إلى الفراغات التي تحت الثغور، فإنه يكون طبقة سميكة من الهيفات تخرج منها الحوامل الأسبورانجية إلى الخارج. ومن هذه البقع المصابة تنتشر أعداد كبيرة من الأكياس الأسبورانجية بواسطة الرياح والأمطار التي تنتج بدورها أعدادا كبيرة من الجراثيم الهدبية تقوم بإحداث إصابات ثانوية للنباتات السليمة، وهكذا تتسع دائرة الإصابة. وتتراوح الفترة من بدء الإصابة إلى تكوين الأكياس الأسبورانجية بين ٥ و١٨ يوما اعتمادا على درجة الحرارة والرطوبة.

ويصيب الفطر الأنسجة البرانشيمية للساق، مسببا تشوه وتضخم هذه الأنسجة وامتلاء الفراغات البينية في النسيج بكتل من الميسيليوم - وبتقدم الإصابة تموت خلايا الساق، وتتحول المناطق المصابة إلى بقع ميتة بنية اللون.

وتصاب الثمار اليافعة أيضا حيث يتغلغل الميسيليوم في المسافات البينية، ويتم تحليل وتدمير الخلايا الحاملة للكلوروفيل، وينتج عن ذلك موت الثمار كليا وتحولها إلى اللون البني.

وفي نهاية الموسم يكون الفطر جراثيم بيضية Oospores في الأوراق القديمة المصابة، وأحيانا على الثمار والسيقان أيضا.



الشكل رقم (٧٢). دورة مرض البياض الزغبي على العنب المتسبب عن الفطر ***Plasmopora viticola***.

(عن : Agrios, 1978)

المكافحة

١ - اتباع إجراءات صحية مناسبة مثل جمع وحرق البقايا النباتية المصابة في الحقل.

٢ - استعمال أصناف مقاومة من العنب.

٣ - وضع برنامج للرش الوقائي بالمبيدات الفطرية. ومن المبيدات الفطرية الفعالة: مخلوط بوردو، فيربام Ferbam، كابتان Captan.

مرض العفن الطري Soft Rot في الخضروات والفواكه

ويسببه الفطر *Rhizopus stolonifer*

الأعراض: تبدأ الإصابة في صورة بقع مائية على الأجزاء المصابة، وتتحول إلى قوام طري ثم تفقد هذه البقع الرطوبة وتتمزق بعض أجزاء النسيج أثناء عملية النقل، ويخرج سائل أبيض مصفر من هذه المناطق، يتبع ذلك خروج خيوط الميسيليوم إلى خارج النسيج من هذه الجروح بكثافة بحيث تغطى هذه الأجزاء بطبقة من الحوامل الأسبورانجية التي تحمل في نهاياتها أكياسا أسبورانجية سوداء اللون. وعندما تتبلل الأجزاء الأخرى السليمة من الأنسجة تمتد إليها النموات الفطرية بكثافة حتى تظهر بوضوح من خارج الحاويات المحتوية على هذه الثمار المصابة. ويلاحظ أنه في بداية الإصابة يخرج من الأجزاء المصابة رائحة خفيفة مقبولة، سرعان ما تتحول إلى رائحة نفاذة كريهة عقب مهاجمة البكتريا والخمائر لهذه الأنسجة. ونتيجة لفقد الرطوبة من هذه الأجزاء المصابة، فإنها إما أن تتحول إلى أنسجة جافة ميتة أو تتحلل الأنسجة في صورة عفن طري مائي القوام.

دورة المرض Disease cycle: تظل الجراثيم الأسبورانجية عالقة في الهواء على مدار العام، وعندما تقع على جزء من أنسجة نباتية مثل الثمار والجذور أو الدرنات... إلخ، فإنها تنمو، حيث يفرز الفطر إنزيمات محللة للبكتين تقوم بتحليل الصفيحة الوسطية للخلايا (وظيفة الصفيحة الوسطية هي تثبيت الخلايا في مكانها داخل النسيج). وعند إذابة الصفائح الوسطية للخلايا فإن الخلايا تصبح مفككة محاطة من كل الجوانب بنواتج التحليل، وعند الضغط عليها فإنها تتحرك بسهولة في كل اتجاه،

مكونة ما يعرف بالعفن الطري. تفرز الإنزيمات المحللة للبكتين من قمم الخيوط الفطرية، وبالتالي تقوم هذه الإنزيمات بتحليل الصفيحة الوسطية وتفصل الخلايا عن بعضها قبل وصول الميسيليوم، وعندما يصل الميسيليوم إلى هذه المناطق، فإنه يقوم بإفراز إنزيمات محللة للسيلولوز تقوم بتحليل جدر الخلايا وبالتالي هدم وتحليل كامل الخلية. ويلاحظ أن الميسيليوم ينمو فقط بين الخلايا Intercellular ولا يخترقها. حيث يكون بعد فترة من الإصابة محاطا بنواتج التحليل والخلايا المتحللة. وبتقدم الإصابة يخرج الميسيليوم من الطبقة الجلدية Epiderm من خلال الجروح المتكونة عليها إلى الخارج، مكونا مدادات Stolens وأشباه جذور قادرة على تثبيت نفسها على السطح مكونة أشباه جذور لأسفل، وحوامل سبورانجية لأعلى...وهكذا.

وفي حالة الثمار اللحمية الغضة السليمة مثل ثمار الخوخ والمشمش، والتي تكون ملامسة لثمار مصابة، فإن الميسيليوم يستطيع اختراق الأنسجة السليمة دون الحاجة لوجود جروح عليها، لأن طبقة الجلد الخارجية لهذه الثمار يكون قد تم ترطيبها بواسطة الإنزيمات الموجودة في الثمار المصابة الملامسة لها. ويتم تكوين الجراثيم الأسبورانجية في مدى عدة أيام من الإصابة، وتستطيع هذه الجراثيم إحداث إصابة جديدة مباشرة حال تكوينها. أما الجراثيم الزيجوية فإنها تتكون في مراحل لاحقة عندما تبدأ المواد الغذائية تنضب من الأنسجة المصابة، وفي الحالات التي توجد فيها خيوط فطرية من سلالات متوافقة فقط Compatible. ونظرا لأن الجراثيم الزيجوية الجنسية يتم تكوينها بعد فترة سكون، فإن أغلب الإصابات التي تحدث أثناء التخزين تتم بواسطة جراثيم أسبورانجية لا جنسية، بينما تتم الإصابة داخل أوعية نقل المنتجات بواسطة الهيفات النامية من خلال أسطح ثمار مصابة متعفنة وليست بواسطة جراثيم.

وقد لوحظ أن من أهم العوامل المؤثرة على بدء عملية الإصابة هي درجة الحرارة والرطوبة ومستوى نضج أنسجة الثمار.

ومن الممكن - تحت الظروف غير الملائمة لهذه العوامل المذكورة - أن يتم إبطاء نمو ونشاط الفطر، ويسمح للعائل بتكوين طبقة خلايا فلينية، وعوامل أخرى توقف كليا عملية تطور الإصابة ونمو الفطر.

المكافحة Control

١ - نظرا لأن الجروح تعتبر من أهم منافذ دخول الفطر، فقد كان ضمان عدم حدوث جروح وإصابات في أنسجة الثمار، والتخلص من الأجزاء المصابة أو تخزينها منفصلة من أهم طرق المكافحة.

٢ - معاملة الأوعية المستخدمة للنقل والتعبئة بمواد كيميائية مطهرة مثل كبريتات النحاس.

٣ - ضبط درجات الحرارة أثناء فترة التخزين والنقل بحيث تكون غالبا تحت ١٠°م بالنسبة للأنواع الغضة. وبالنسبة للأنواع الأخرى الصلبة مثل البطاطس الحلوة وما شابهها تكون حرارة ٢٥-٣٠°م ورطوبة ٩٠ لمدة ١٠-١٤ يوما كافية لتكوين طبقة فلينية سميكة تغطي النسيج. ويتم بعد ذلك خفض درجات الحرارة إلى ١٢°م.

٤ - من الممكن خفض احتمالات الإصابة بعدد من الإجراءات مثل تغليف الثمار، ومعاملة بعضها بمبيدات فطرية مثل داي كلوران Dichloran.

أمراض البياض الدقيقي Powdery Mildew

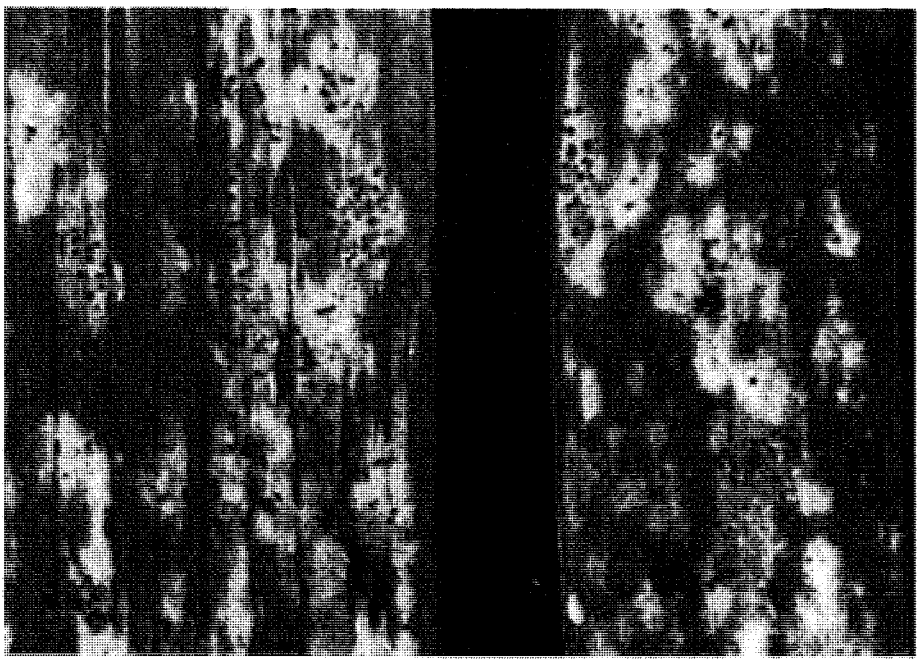
ومن أشهرها أمراض البياض الدقيقي التي تصيب الحبوب بصفة عامة.

ويسببه الفطر *Erysiphe graminis*

يصيب هذا الفطر حوالي ١٠٠ نوع من أنواع الحبوب النجيلية والحشائش، وينتشر في جميع أنحاء العالم، ولكنه يكون سائدا في المناطق المعتدلة. وينمو ميسيليوم الفطر بغزارة على سطح الأوراق، ثم يرسل ممصات Haustoria تخترق خلايا البشرة مكونة داخلها تفرعات تشبه الأصابع تمتد في الاتجاه الطولي لخلية العائل. وتنمو الحوامل الكونيدية التي تحمل جراثيم كونيدية إلى الأعلى على هيئة سلاسل طويلة. وتتكرر الإصابة أثناء الموسم عن طريق انتشار الجراثيم الكونيدية وانتقالها بواسطة الهواء، وتتكون الثمار الآسكية في نهاية الموسم بعد إزهار النبات وتكوين السنابل، ثم تظل ساكنة في النبات أو مختلطة بالتربة حتى تعيد الإصابة في الموسم التالي.

وتتميز هذه المجموعة من المسببات المرضية بقدرتها على تكوين سلالات فسيولوجية متخصصة تصيب أنواعا معينة من النباتات: حيث يصيب الشعير *E. graminis hordei*، ويصيب القمح *E. graminis tritici*، ويصيب الشيلم *E. graminis secolis*.

الأعراض: وتظهر أعراض المرض على هيئة اصفرار وتجعد في الأوراق وتقزم النباتات المصابة، ويلاحظ على الأوراق المصابة جزء من أنسجة خضراء تتحول إلى اللون الأحمر ثم البني، يتبعها موت النباتات المصابة (الشكل رقم ٧٣)، كما تصاب النباتات بظاهرة الرقاد وتذبل رؤوس أزهار النباتات المصابة. ومن المظاهر المميزة للمرض تكوين كتل ميسيليومية تشبه النسيج القطني بيضاء مائلة إلى اللون البني على سطح الأنسجة المصابة وهي عبارة عن الكونيديات والهيفات والأجسام الثمرية. ومن هذا المظهر أخذ المرض اسمه المميز. وبصفة عامة يعتبر هذا المرض أكثر خطورة في النباتات العصيرية.



الشكل رقم (٧٣). أعراض الإصابة بمرض البياض الدقيقي للنجيليات على أوراق القمح.

المكافحة

١ - استخدام أصناف نباتية مقاومة.

٢ - استخدام بعض المبيدات الفطرية المتخصصة مثل روبيجان.

أعفان جذور الأشجار المتسبب عن فطريات عيش الغراب

Mushroom Root Rots of Trees

تتسبب أعفان جذور الأشجار الناتجة عن فطريات عيش الغراب والمنتشرة بدرجة واسعة في جميع بقاع العالم خسائر كبيرة لكل من الثمار وأشجار الغابات وكذلك أشجار الزينة. وعفن الجذور المتسبب عن فطريات عيش الغراب، والذي يحدث في التربة الثقيلة نسبيا الموجودة في المناطق الباردة يسببه الفطر *Armillariella mellea*. بينما العفن الذي يحدث في المناطق الممطرة الموجودة في المناطق الحارة والاستوائية يسببه الفطر *Clitocybe tobescens*.

ويعطى كل من الفطرين السابقين نفس الأعراض المرضية، وإن كانت الصفات التشخيصية للمسبب تختلف في كل منها.

وأول أدلة على وجود المرض هو حدوث تدهور بطئ في النمو يصحبه اصفرار في المجموع الخضري، ويبدأ المرض في الجذور حيث تحاط الجذور الطرفية بالفطر. وأحيانا تتحدد منطقة الإصابة في مثل هذه النباتات كالموالح والكريز بما ينتج حولها من تقرحات وصموغ تتكون بالقرب من منطقة التاج، وغالبا ما تكون المنطقة الميتة محددة في منطقة الجذر، ولكن في بعض الأحيان قد تتكون المنطقة الميتة في قاعدة الساق.

وتحدث العدوى عندما يحدث التلامس بين ميسيليوم الفطر والجذور الحديثة للنبات القابل للإصابة، وفي أثناء مرحلة الاختراق فإن تفرعات الميسيليوم تنمو على سطح الجذور المصابة وتلتصق عليها بواسطة إفراز بعض المواد الجيلاتينية. وبمجرد أن يصاب النبات فإن الفطر يستمر في تشعبه خلال الأنسجة حتى بعد موت النبات، لذا فالفطر يستطيع أن يعيش لفترة طويلة في الجذور المتحللة للنباتات المصابة.

وفي بعض الأحيان وجد الفطر على ارتفاع يتراوح بين ١٠ و٢٠ قدما فوق سطح الأرض في الأشجار التي ظلت موجودة في مكانها بعد موتها فترة تتراوح بين سنتين وأربع سنوات. وقد لوحظ أن مرض عفن الجذور يظهر سريعا في التربة الرطبة الدافئة.

المكافحة Control : يمكن منع الفطر المسبب من دخول المناطق الخالية من المرض إذا ما أخذت الاحتياطات اللازمة، كأن تكون الشتلات المستوردة خالية من المرض.

وبمجرد أن يستوطن أي من الفطرين في منطقة ما، فإنه يمكن استئصاله عن طريق إزالة النباتات المصابة وحرق المجموع الجذري المصاب أو بالمعاملة الكيميائية للتربة الملوثة. وتستخدم في معالجة التربة الملوثة بنجاح مواد كيميائية مثل بروميد الميثيل أو الفورمالدهيد أو ثنائي كبريتيد الكربون.

وعند اكتشاف المرض مبكرا في أحد نباتات الزينة أو إحدى أشجار الفاكهة فإنه يمكن حمايتها باستئصال الجزء المصاب، ويتم الاستئصال عن طريق إزالة كل الجذور وإعدامها، ثم معالجة أماكن الجروح بالمواد التي يطلق عليها كاسيات الجروح Wound dressing. وفي حالة أشجار الموالح يمكن تقليل شدة المرض باستعمال أصول مقاومة مثل النارنج.

أمراض التفحم Smut Diseases

هناك نوعان من أمراض التفحم استنادا لطريقة تكشف الأعراض:

١ – التفحم السائب في القمح والشعير Loose Smut

ويسببه الفطر *Ustilago tritici* للقمح، *Ustilago nuda* للشعير

التفحم السائب يطلق عليه أحيانا التفحم العاري أو الرأس السوداء. ولا يمكن تمييز النباتات المصابة عن السليمة بوضوح إلا بعد تكوين السنابل حينما تكون خالية من الحبوب والأجزاء الزهرية الأخرى، ولا يبقى من السنبلة إلا المحور الأصلي لها يغطيه مسحوق أسود كثيف من الجراثيم التيليتية للفطر المسبب (الشكل رقم ٧٤ أ، ب).

وتظهر السنابل المصابة قبل السليمة، ثم تتطاير جراثيم الفطر وتنتشر في الهواء. وفي هذا الوقت تكون السنابل السليمة في طور الإزهار، فإذا ما وقعت جراثيم الفطر على الأزهار تنبت وتخرج منها هيفات فطرية تتحد لتكوين عضو الاختراق الذي يخترق المياسم، ومنها إلى مبايض الأزهار، وعند تكوين السنابل يدخل الميسيليوم في جميع السنيبلات ويتكاثر داخل مبايض الأزهار ويكون عددا كبيرا جدا من الجراثيم وتقضى على جميع الأجزاء الزهرية، وتظهر السنابل المصابة وقد تحولت حبوبها إلى كتل من مسحوق أسود يشبه الهباب.

المكافحة Control

١ - زراعة أصناف مكافحة.

٢ - معالجة الحبوب بالحرارة لقتل ميسيليوم الفطر كما يلي: تنقع الحبوب في ماء تتراوح حرارته بين ٢٠ و٣٠°م لمدة ٢-٤ ساعات لتنشيط الميسيليوم الساكن، ثم تغمر الحبوب بعد ذلك في ماء ساخن على حرارة ٥٢°م لمدة ١٠ دقائق، ثم توضع في ماء بارد ثم تجفف جيدا.

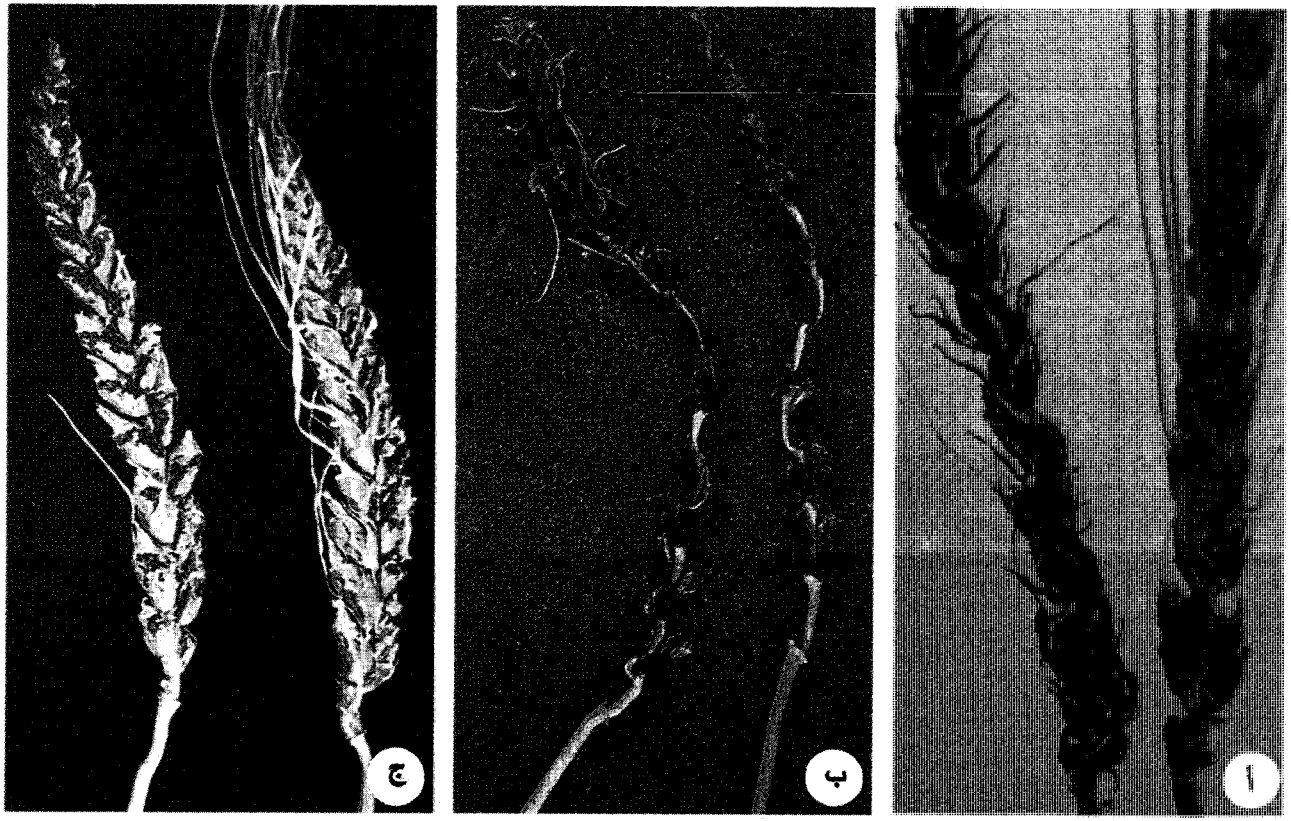
٢ - التفحم المغطى (النتن) في القمح Covered Smut (Bunt) of Wheat

ويسببه الفطر *Tilletia foetida*

وتعتبر جميع أجزاء النبات حساسة للإصابة بمرض التفحم النتن في القمح حيث تبدو السنابل المصابة عادة قصيرة ومفلطحة (الشكل رقم ٧٤جـ).

وفي الأصناف ذات السفا يتكسر السفا ويتساقط، والحبوب المصابة تشبه الحبوب السليمة إلا أنها تصبح مملوءة بكتلة سوداء من جراثيم التفحم، وعند كسرها فإنه يخرج منها جراثيم ذات رائحة تشبه رائحة السمك المتعفن، وهذه الرائحة ترجع إلى زيادة تركيز مادة داي إيثانول أمين Diethanol amine .

وفي حالة عدم الاهتمام بالمكافحة فإنه من الممكن أن يسبب خسائر فادحة تتمثل في نقص المحصول ورداءة الحبوب السليمة، حيث تكون ملوثة بالجراثيم السوداء للفطر والرائحة الكريهة المنبعثة منها.



الشكل رقم (٧٤). أعراض الإصابة بأمراض التفحم في القمح: أ) التفحم السائب (مرحلـــة مبكـــرة)، ب) التفحم السائب (مرحلة متقدمة)، جـــ) التفحم المغطى.

المكافحة Control

١ - معالجة الحبوب الملوثة بجراثيم الفطر من الخارج بالمطهرات الفطرية النحاسية مثل Thiram , Captan أو PCNB.

٢ - استعمال الدورة الزراعية والأصناف المكافحة في حالة ما إذا كانت جراثيم الفطر ملوثة للتربة.

٣ - معاملة التربة بمبيد Hexachlorobenzene يقضى على جراثيم فطر التفحم النتن الكامنة في التربة.

٤ - كثير من الأصناف الصلبة تعتبر مكافحة للمرض، بينما تختلف الأصناف التي تستخدم في صناعة الخبز *T. vulgare* في درجة مقاومتها.

مرض صدأ الحبوب Cereal Rusts

ويسببه النوع *Puccinia graminis*

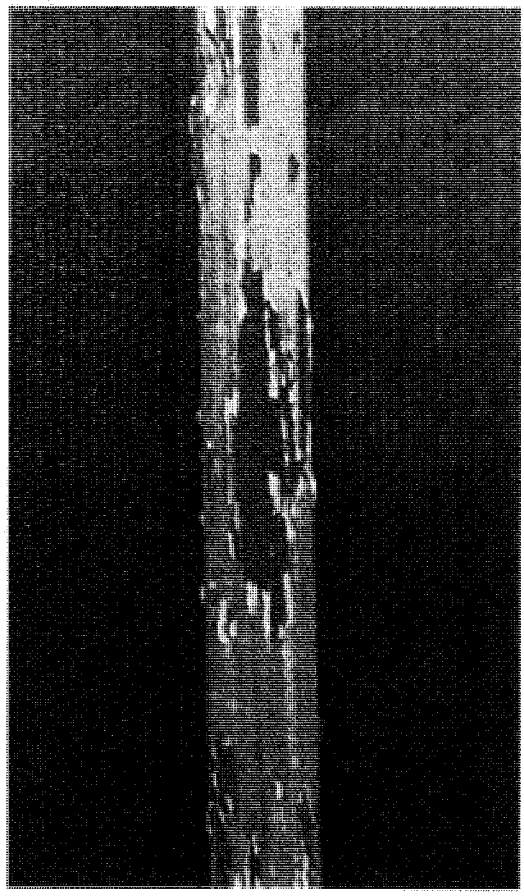
يعتبر هذا النوع من أهم وأخطر الأمراض التي تصيب الحبوب على الإطلاق، ويضم عددا من تحت الأنواع Sub-species كل منها يصيب نوعا معينا من الفصيلة النجيلية. أهمها على الإطلاق ذلك الذي يصيب نباتات القمح *Puccinia graminis tritici*.

وقد لوحظ وجود درجة عالية من التخصص، فهو يحتوي على عدد كبير من السلالات التي تختلف في درجة إصابتها. ويسبب هذا الفطر مرض صدأ الساق الأسود في القمح (الشكل رقم ٧٥)، حيث سجل وجوده وانتشاره في عدد من مناطق المملكة، والذي يتطلب إكمال دورة حياته وجود عائلين نباتيين مختلفين هما:

١ - الفصيلة النجيلية (العائل الابتدائي).

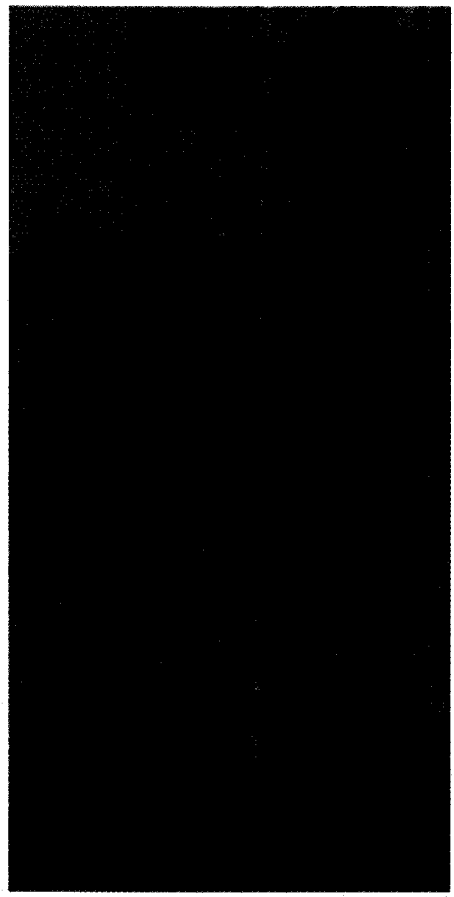
٢ - نبات الباربري (العائل الثانوي).

ويعرف باسم الصدأ ذي العائلين Heteroecious أي أن الفطر يمضى فترة من دورة حياته على نبات القمح أو أي نبات نجيلي، ويمضى الفترة الباقية على عائل آخر وهو نبات الباربرى *Berberis vulgaris*، وبعض أنواع أخرى من عائلة الباربري، وكذلك جنس ماهونيا Mahonia. وتنقل جراثيم المرض مسافات هائلة بواسطة الرياح والمواد الزراعية الملوثة لهذا يظهر المرض في مناطق لا يوجد فيها العائل الثانوي.



الشكل رقم (٧٥). أعراض الإصابة بصدأ الساق على نبات القمح.

الأعراض Symptoms: تظهر الأعراض على هيئة بثرات صفراء برتقالية (يحتوي كل منها على عدد كبير من الجراثيم اليوريدية) ومنتشرة طوليا على السيقان والأوراق المصابة (الشكل رقم ٧٦). ومن أهم خصائص هذا الفطر قدرته الفائقة على تكوين السلالات الفسيولوجية Physiological races. وهي سلالات جديدة من الفطر تنشأ بفعل الطفرات الوراثية ينتج عنها نشوء سلالة لديها القدرة على كسر حاجز مكافحة النباتات المكافحة، وبالتالي إحداث المرض. وكذلك فإنه لا ينصح باستمرار زراعة نفس السلالة من القمح لمدة طويلة حتى لا تصاب بسلالات جديدة من الفطر.



الشكل رقم (٧٦). أعراض الإصابة بمرض صدأ الأوراق في مراحله الأولية على نبات القمح.

المكافحـــة Control: هناك عدة طرق لمكافحة هذا المرض تتفاوت في درجة فعاليتها تبعا لعوامل عديدة، ومن أهم طرق المكافحة:

١ - استعمال أصناف مكافحة من النباتات.

٢ - إبادة العوائل البديلة للفطر.

٣ - هناك بعض المبيدات الفطرية التي بدأت تظهر فعالية في مكافحة هذا المرض.

٤ - الاعتدال في التسميد النيتروجيني.

الأمراض البكترية Bacterial Diseases

كان الاعتقاد السابق هو أن البكتريا لا تسبب أمراضا للنبات، نظرا لعدم قدرتها على اختراق النسيج النباتي (كما هو الحال في الفطريات)، ولأن العصارة النباتية تميل إلى الحمضية مما لا يتناسب مع معيشة ونمو البكتريا. غير أنه ثبت فيما بعد قدرة البكتريا على إحداث المرض للنبات حيث تستطيع خلايا البكتريا الدخول عن طريق الفتحات الطبيعية من ثغور وعديسات، وكذلك من الجروح التي تحدث في أنسجة النبات. كما أنها تستطيع أقلمة نفسها على عصارة النبات. ويعتبر العالم فارونين Varonin أول من نبه الأذهان عام ١٨٦٦م إلى وجود بكتريا ممرضه في أنسجة نبات الفول. كما يعتبر العالم إروين سميث Erwin Smith المؤسس لعلم أمراض النبات البكترية لتعدد الدراسات والأبحاث التي أجراها في هذا المجال.

ويعرف في الوقت الراهن حوالي ١٨٠ نوعا بكتريا تسبب أمراضا للنبات، وجميعها من الأنواع الطفيلية الاختيارية، أي أنها من الممكن أن تعيش مترممة في التربة، إضافة لقدرتها على إحداث المرض. وتتبع هذه الأنواع ثمانية أجناس هي:
Pseudomonas, Xanthomonas, Rhizobium, Agrobacterium, Corynbacterium, Erwinia, Bacillus, Streptomyces.

تقسيم الأمراض البكترية Classification of Bacterial Diseases

تقسم الأمراض البكترية على أساس نوع الضرر الذي تحدثه للنبات إلى:

١ – أمراض التقرح Necrosis Diseases

حيث يكون تلف الأنسجة محدودا في منطقة صغيرة من النباتات مثل مرض تبقع أوراق الفاصوليا، أو يكون تبقعا غير محدود يصيب جميع الأوراق وتؤدي إلى موت النبات مثل مرض اللفحة النارية Fire blight في التفاح. وتمتاز البكتريا المسببة لهذه الأمراض بقدرتها على إفراز كميات من إنزيم البكتينيز الذي يذيب الصفيحة الوسطية للخلايا مسببا تفككها.

٢ – أمراض الذبول Wilt Diseases

وتسبب ما يعرف بالضرر الاتلافي غير المباشر Indirect necrosis حيث يؤدي هذا المرض إلي موت بعض الأعضاء غير المصابة بالميكروب، ذلك أن الميكروب قد يصيب الأسطوانة الوعائية، فيسبب انسدادها نتيجة النمو الغزير والإفرازات الصمغية فتعوق سير العصارة، وتؤدي إلى موت الأنسجة التي تغذيها هذه الأوعية في مناطق أخرى من النبات.

٣ – أمراض التضخم Hyperplastic Diseases

وهذه تنتج عن انقسام سريع في الخلايا في مناطق مختلفة من أنسجة النبات حيث تسمى هذه الظاهرة Hyperplasia، أو قد تتورم الخلايا بصورة تفوق الحجم الطبيعي وتسمى هذه الظاهرة Hypertrophia، وبذلك تفقد هذه الأعضاء القدرة على القيام بوظائفها الطبيعية، مثل مرض التدرن التاجي، ويحدث ذلك نتيجة إفرازات هرمونية تؤدي إلى تهيج الخلايا وزيادة حجمها وسرعة انقسامها.

كما يمكن تقسيم الأمراض البكتيرية على أساس نوع النسيج النباتي المصاب إلى:

١ – **الأمراض البرانشيمية**: حيث يصيب الميكروب أنسجة العائل البرانشيمية.

٢ – **الأمراض الوعائية**: حيث يصيب الميكروب أنسجة العائل الوعائية.

٣ – **الأمراض الجهازية**: حيث يصيب الميكروب أنسجة العائل الوعائية والبرانشيمية.

٤ – **الأمراض التورمية**: حيث يكون الميكروب نموات شاذة في أنسجة العائل.

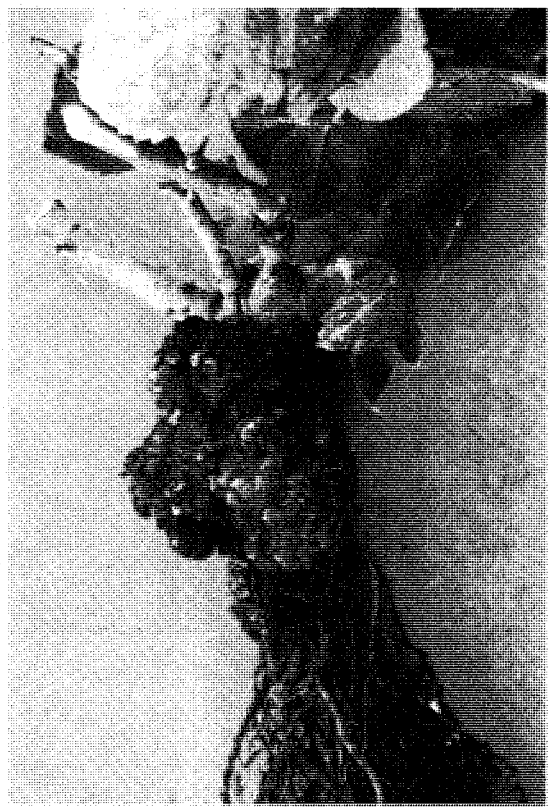
ومن أمثلة الأمراض البكتيرية الشائعة تحت ظروف المملكة العربية السعودية:

مرض التدرن التاجي Crown Gall

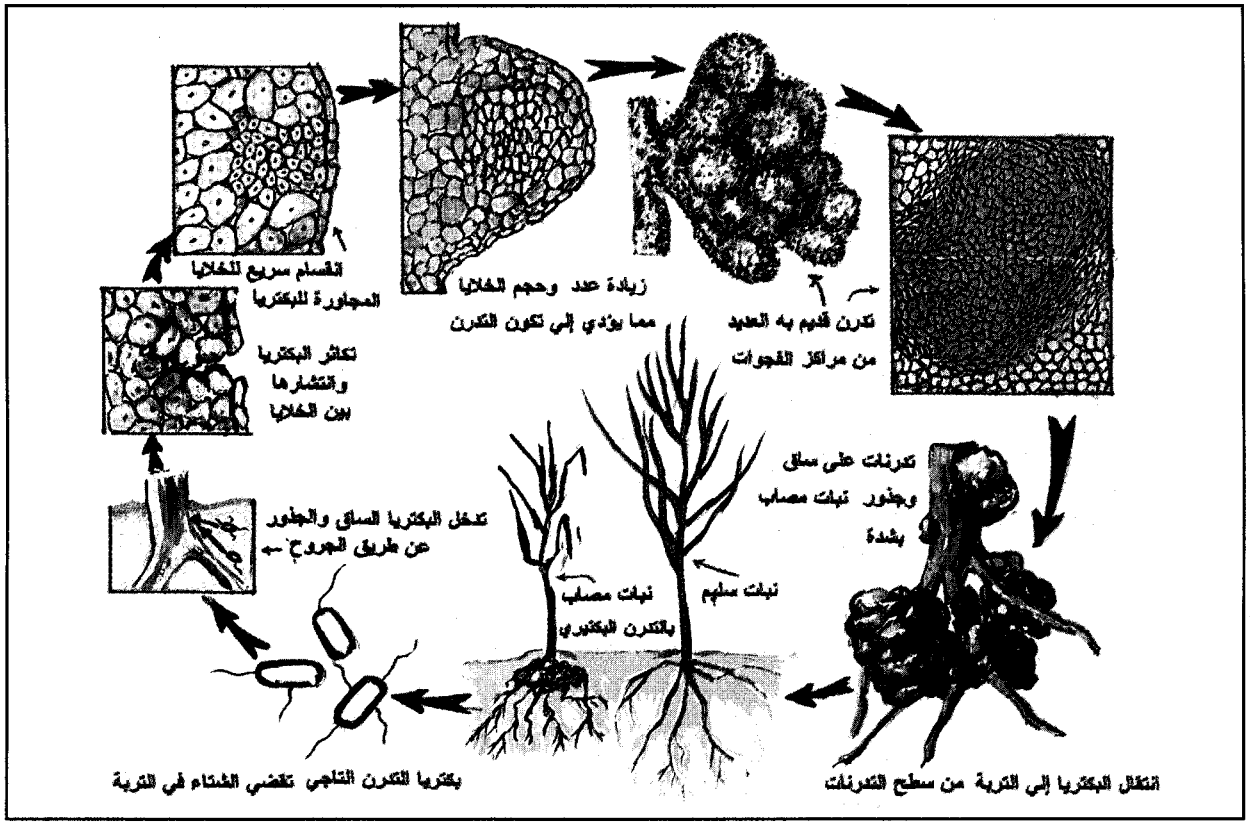
وتسببه بكتريا *Agrobacterium tumefaciens*

ينتشر هذا المرض في أغلب بقاع العالم، ويعتبر العالم E.Smith أول من عزى هذا المرض لمسببه الحقيقي، ويصيب هذا المرض حوالي ١٦٠ جنسا من النباتات، ويكون ضرره أكبر على الشتلات الصغيرة.

الأعراض Symptoms: يظهر في صورة أورام في منطقة التاج (الشكل رقم ٧٧)، وتتوقف مدى صلابة هذه الأورام على نوع العائل، فتكون طرية في الحوليات وصلبة على الأشجار الخشبية، وتكون في بادئ الأمر ذات لون فاتح ثم تزداد دكانة، وتظهر الأورام الأولى في مكان الإصابة بالبكتريا، ثم تظهر أورام ثانوية في مناطق بعيدة على السوق والفروع وفي أعناق الأوراق. وقد وجد أن الأورام الثانوية تكون خالية من البكتريا المسببة للمرض، مما يرجح أنها تظهر نتيجة انتقال نواتج إفرازات البكتريا إلى هذه المناطق. وهذه الأورام تحدث نتيجة سرعة غير عادية في انقسام الخلايا بفعل الهرمونات التي تفرزها البكتريا، ويطلق على الزيادة الهائلة في عدد الخلايا مصطلح Hyperplasia، والزيادة في حجم الخلايا مصطلح Hypertrophia (الشكل رقم ٧٨).



الشكل رقم (٧٧). أعراض الإصابة بمرض التدرن التاجي على الورد والذي تسببه بكتريا ***Agrobacterium tumifaciens***.



الشكل رقم (٧٨). دورة مرض التدرن التاجي المتسبب عن البكتريا ***Agrobacterium tumifaciens***.

(عن: Agrios, 1978)

وقد ثبت من الدراسات أن راشح البكتريا المسببة للمرض يحتوي على هرمون جبرلين (أوكسن) وله نشاط فسيولوجي واضح في النبات. وقد لوحظ أن البكتريا تتكاثر وتعيش في الجزء الخارجي من الورم.

صفات المسبب المرضي: يتميز هذا النوع البكتري بأنه عصوي قصير، يكون مستعمرات بيضاء لامعة اللون ذات حافة مستديرة، وهي هوائية إجبارية. وتوجد منها عدة سلالات فسيولوجية تختلف في قدرتها على إحداث المرض، وهي تعيش لفترات طويلة في التربة إذا كانت درجة الحموضة ملائمة، وتفقد قدرتها الإمراضية إذا انخفضت درجة الحموضة عن ٥ pH .

حدوث الإصابة: يدخل المسبب إلى الجذر عن طريق الجروح التي تنشأ من العمليات الزراعية أو بفعل الحشرات والديدان الثعبانية.

المكافحة Control

١ - تطهير التربة أو إضافة أسمدة معدنية تزيد من حموضتها.

٢ - تجنب كل ما يؤدي إلى جرح الجذور أو السيقان عند منطقة التربة.

٣ - يمكن تثبيط نمو البكتريا بمعاملة الأورام ببعض أنواع المضادات الحيوية مثل البنسلين والستربتومايسين.

٤ - استئصال الأورام بكشطها من جذوع الأشجار، وتقليم الفروع الصغيرة المصابة ثم تطهير المنطقة بأحد المطهرات مثل عجينة بوردو.

٥ - ثبت أن زيادة التسميد النيتروجيني والبوتاسي يسبب نقصا في حجم الأورام.

مرض التقرح البكتري على الحمضيات

Citrus Bacterial Canker Disease (CBCD)

وتسببه البكتريا *Xanthomonas campestris* pv. *citri*

من الأمراض المستوطنة منذ زمن بعيد في جنوب شرق آسيا بالهند وجاوة ثم انتقل منها إلى اليابان والصين وغيرها، وانتقل إلى الولايات المتحدة الأمريكية عام

١٩١٠م على شتلات استوردت من اليابان، ثم انتشر بصورة وبائية في بضع ولايات أمريكية.

وقد اكتشفه في المملكة العربية السعودية الدكتور برنارد أوبير، والدكتور فضل الله في ديسمبر عام ١٩٨٣م على عشر أشجار بمنطقة صبياء بجيزان، ثم انتشر بسرعة بمنطقة جيزان إلى أكثر من ١٢٠٠٠ شجرة، تم استئصال ٩٠٠٠ منها. كما وجد المرض على حوالي ٣٠٠٠ شجرة عام ١٩٨٥م بنجران تم استئصالها، ثم انتشر المرض شمالا ثم وصل إلى المنطقة الغربية في جدة ومكة المكرمة والطائف والمدينة المنورة، ويخشى من انتشاره إلى غيرها من المناطق، نظرا لسهولة انتشاره (الزيات وآخرون، ١٩٩٧م).

صفات المسبب المرضي: بكتريا عصوية قصيرة سالبة لصبغة جرام، مستعمراتها كرأس الدبوس بعد ٣٦ساعة، وبعد أربعة أيام تصبح صفراء ناعمة ولامعة، تسيل الجيلاتين وتخثر اللبن وتحلل النشا ولا تختزل النترات. ويوجد منها على الأقل ثلاث سلالات مختلفة في قدرتها الإمراضية وفي إصابة الأنواع المختلفة من الحمضيات وهي:

أ) سلالة التقرح الأسيوي (A): هي الأكثر انتشارا في العالم، وهي منتشرة حاليا بالمملكة العربية السعودية، وتصيب البرتقال والنارنج والليمون الأضاليا بدرجة قليلة. كما تصيب الجريب فروت والبرتقال ثلاثي الأوراق والليمون البنزهير بدرجة كبيرة.

ب) سلالة التقرح الكاذب (B)

جـ) سلالة تقرح الليمون البنزهير ©

العوائل القابلة للإصابة: أكثر الأنواع قابلية للإصابة هي: الجريب فروت *Citrus paradisi*، والليمون البنزهير *C.aurantifolia*، والليمون الحلو *C.limettioides*، والبرتقال ثلاثي الأوراق *Poncirus trifoliata*.

والأنواع المتوسطة القابلية للإصابة هي: البرتقال *C.sinensis*، والنارنج *C.aurantium*، والليمون المخرفش *C. jambhiri*.

أما الأنواع المكافحة فهي اليوسفي والنارنج لحد ما، أما الكلامنتين فهو عالي المكافحة.

أعراض الإصابة بالمرض Disease symptoms: تظهر كبقع مميزة على كل أجزاء الشجرة فوق سطح التربة، خاصة على الأوراق والأفرع والثمار الصغيرة وغير الناضجة، وذلك بعد حوالي سبعة أيام من حدوث العدوى، فتتكون على الأوراق الصغيرة بقع صغيرة ومستديرة صفراء اللون ومرتفعة قليلاً على السطح السفلي أولا، ثم على كلا السطحين، ذات حواف زيتية لامعة. ثم تنفجر هذه البقع وتظهر ممتلئة بنموات إسفنجية متضخمة لونها أصفر في صورة حلقات متحدة المركز والذي يكون منخفضا عن السطح فيما يشبه فوهة البركان، وبذلك تتكون تقرحات فلينية ذات ملمس خشن، وهي تحاط علي الأوراق بهالة صفراء. ويتراوح قطرها على أوراق البرتقال والليمون بين ٣ و٥ ملليمترات، وعلى أوراق الجريب فروت بين ٨ و١٢ ملليمترا. وتظهر علي الثمار غير الناضجة تقرحات تتراوح بين ٢ و٥ ملليمترات مظهرها إسفنجي خشن ومنخفضة في وسطها تشبه فوهة البركان، وهي أكثر وضوحا عن تقرحات الأوراق، ولها حافة زيتية لامعة، ولا تحيط بها هالة صفراء، وتؤدي إلى تشوه الثمار فتصبح غير صالحة للتسويق، أما عند إصابة الثمار الناضجة فإن التقرحات تكون صغيرة جدا ومحدودة قطرها من ٠,٦-١,٥ ملليمتر. كما تتكون تقرحات مماثلة على الأغصان والفروع قد يصل قطرها إلى ٨سم وبمضي الوقت تؤدي إلى موت الأغصان المصابة. وتسقط الأوراق وتظهر الأشجار يابسة معراة من أوراقها، كما قد تتكون تقرحات على جذوع الأشجار.

وللتحقق من الإصابة، يتم عدوى أوراق يتم نزعها من الأشجار بواسطة البكتريا المعزولة حيث تظهر عليها التقرحات بعد أسبوع من العدوى.

دورة المرض Disease cycle: تكمن خطورة هذا المرض في سهولة انتشاره بطرق ميكانيكية عن طريق مقصات التقليم والآلات الزراعية، وملابس العمال وأيديهم،

وأجسام الطيور والحشرات، والشتلات والثمار المصابة وصناديق التعبئة. كما تمثل البكتريا التي تكمن في التقرحات على الأغصان المصابة من الموسم السابق المصدر الرئيسي للإصابة الأولية. وتخرج البكتريا من هذه التقرحات على هيئة إفرازات بكتيرية عن طريق الأمطار، ثم تنتشر بالوسائل الميكانيكية السابق ذكرها. وعند وصول البكتريا إلى أسطح الأوراق أو الفروع أو الثمار الحديثة فإنها تدخل عن طريق الفتحات الطبيعية مثل الثغور والعديسات، أو من خلال الجروح التي تحدثها الحشرات، أو الرياح المحملة بالرمال. وبعد ذلك تستقر البكتريا بمنطقة القشرة لتحدث الإصابة بها، كما أن الرطوبة العالية والأمطار وحرارة تتراوح بين ٢٠ و٣٠°م خلال فترة الحضانة تساعد على تكشف الأعراض بعد حوالي ٧-١٠ أيام من العدوى.

المكافحة Control

١ - تطبيق إجراءات الحجر الزراعي الدولي والداخلي بكل دقة وحسم.

٢ - استئصال الأشجار المصابة وحرقها في موقعها.

٣ - ترش الأشجار المحيطة بالشجرة المصابة من جميع الجهات بأحد مبيدات الأعشاب مثل الدايكوات Diuquat.

٤ - إبادة الأعشاب والعوائل الثانوية.

٥ - يجب أن يراعي العمال شروط النظافة الزراعية.

٦ - تقليم الأشجار المتبقية مع تعقيم المقصات والسكاكين بغمرها في محلول فورمالين ٥٪، أو كلوركس ٥٪، ثم غسلها جيدا بالماء، ثم تدهن بالزيت حتى لا تصدأ.

٧ - غمس الثمار وكذلك صناديق التعبئة البلاستيكية في محلول كلورين (٠,٢ جم/لتر ماء) لمدة دقيقتين.

٨ - التوقف عن إنشاء مشاتل حمضيات بالمناطق الموبوءة.

٩ - متابعة المزارع بالمناطق الموبوءة بعد استئصال الأشجار المصابة منها، والتعامل بسرعة مع أي إصابة جديدة حتى نتأكد من سلامة المنطقة بأكملها.

الأمراض النيماتودية Nematodes Diseases

النيماتودا هي حيوانات غير مفصلية دودية الشكل ذات أحجام مختلفة منها ما هو صغير جدا لا يرى إلا بواسطة المجهر (٠,٥-٥ مم طولا ، ٠,٢-١٠٠ ميكرون عرضا). وتعيش معظم أنواع النيماتودا في الماء والتربة ، وتتغذى على المواد العضوية الميتة ، أو على كائنات حية أخرى مثل البكتريا والفطريات. كما أن بعضها يتغذى على أنواع أخرى من النيماتودا. وتعرف في الوقت الراهن المئات من أنواع النيماتودا المتطفلة على النبات.

ويمكن تمييز أنواع النيماتودا المتطفلة عن غير المتطفلة عن طريق فحص أجزاء الفم. فالنيماتودا التي تتغذى على البكتريا لها أجزاء فم بدون رمح ، بينما التي تتغذى على الفطريات لها رمح قصير. أما تلك التي تتطفل على النباتات فتتميز بوجود رمح أجوف قابل للانقباض وتستخدمه في اختراق الخلايا أثناء تغذيها على النبات.

وتشمل مراحل دورة حياة النيماتودا : البيض ، وأربعة أطوار يرقية ، والطور الكامل. وأثناء دورة الحياة يتبع كل طور يرقي انسلاخ تحل فيه طبقة كيوتيكل جديدة مكان الطبقة القديمة ، وبعد تطور اليرقات تبدأ في التغذية على العائل النباتي ، وهنا يحدث معظم الضرر على النبات.

تتكاثر معظم النيماتودا جنسيا ، ولكن هناك بعض الأنواع التي تكون فيها الذكور نادرة أو غير موجودة ، وفي مثل هذه الحالات فإن النيماتودا تتكاثر بكريا ، ويكمل عديد من أنواع النيماتودا دورة حياتها بسرعة في البيئة الدافئة ، ولكن بعض الأنواع تأقلمت على درجات الحرارة المنخفضة ، وهذه تتطور ببطء عندما تكون الحرارة مرتفعة. وتختلف أنواع النيماتودا في الوقت اللازم لإكمال دورة حياتها ، فبعضها تكون جيلا واحدا في موسم النمو والبعض الآخر ينتج عدة أجيال.

والنيماتودا المتطفلة على النبات إجبارية التطفل ، وتقسم إلى مجموعات حسب طريقة تغذيتها ، فمنها خارجية التطفل Ectoparasitic تتغذى بإدخال رمحها فقط إلى

داخل أنسجة جذور العائل، بينما الأنواع داخلية التطفل Endoparasitic تتغذى بإدخال كامل جسمها إلى أنسجة الجذور، وتكتسب النيماتودا أسماءها تبعا للأعراض التي تسببها مثل نيماتودا تعقد الجذور، أو تتعلق بوجود صفات مورفولوجية مميزة مثل نيماتودا الحوصلات أو النيماتودا الكلوية.

وسوف نتحدث بتفصيل عن أمثلة من الأمراض النيماتودية الشائعة في المملكة.

نيماتودا تعقد الجذور Root Knot Nematode

تعتبر نيماتودا تعقد الجذور أخطر نيماتودا نباتية على الإطلاق، لعدة أسباب منها:

١ - أنها تصيب أكثر من ٢٥٠٠ نوع نباتي.

٢ - تستطيع العيش بدون عائل في التربة لمدة قد تصل إلى سنتين.

٣ - لها مدى عائلي واسع، فهي تصيب معظم المحاصيل النباتية (الخضار، الفاكهة، المحاصيل الحقلية، نباتات الزينة، الحشائش، والأشجار).

وتنتج عن الإصابة بها خسائر اقتصادية فادحة.

أنواع نيماتودا تعقد الجذور

تم تعريف مالا يقل عن ٧٠ نوعا من نيماتودا تعقد الجذور، يتركز بعضها في مناطق معينة وبعضها الآخر منتشر في جميع أنحاء العالم. ويعتبر النوعان التاليان هما الأكثر انتشارا، حيث يشكلان حوالي ٩٥٪ من أنواع نيماتودا تعقد الجذور، وهما: نيماتودا تعقد الجذور اليابانية، ونيماتودا تعقد الجذور الجنوبية.

الأعراض Symptoms

على المجموع الخضري: هناك تشابه كبير بين أعراض الإصابة بالأمراض النيماتودية بشكل عام وبين أمراض النبات المختلفة، وكذلك الأعراض الناجمة عن الجفاف ونقص العناصر الغذائية في التربة. وتظهر مواقع الإصابة في الحقل في شكل بقع

مصفرة متناثرة، ويشاهد التقزم والضعف العام على النبات. ويرجع هذا إلى عدم قدرة الجذور على امتصاص الماء والعناصر الغذائية نتيجة الخلل الوظيفي الذي أصاب الجذور.

على المجموع الجذري: من أهم الأعراض المميزة لهذا المرض وجود انتفاخ على الجذور (عقد). ولكي يتم التأكد من أن هذه العقد ناجمة عن إصابة نيماتودية وليس عن عقد بكتيرية، فإنه يلزم فحص هذه العقد في المختبر تحت المجهر لمشاهدة أطوارها اليرقية داخل العقدة (الشكل رقم ٧٩).

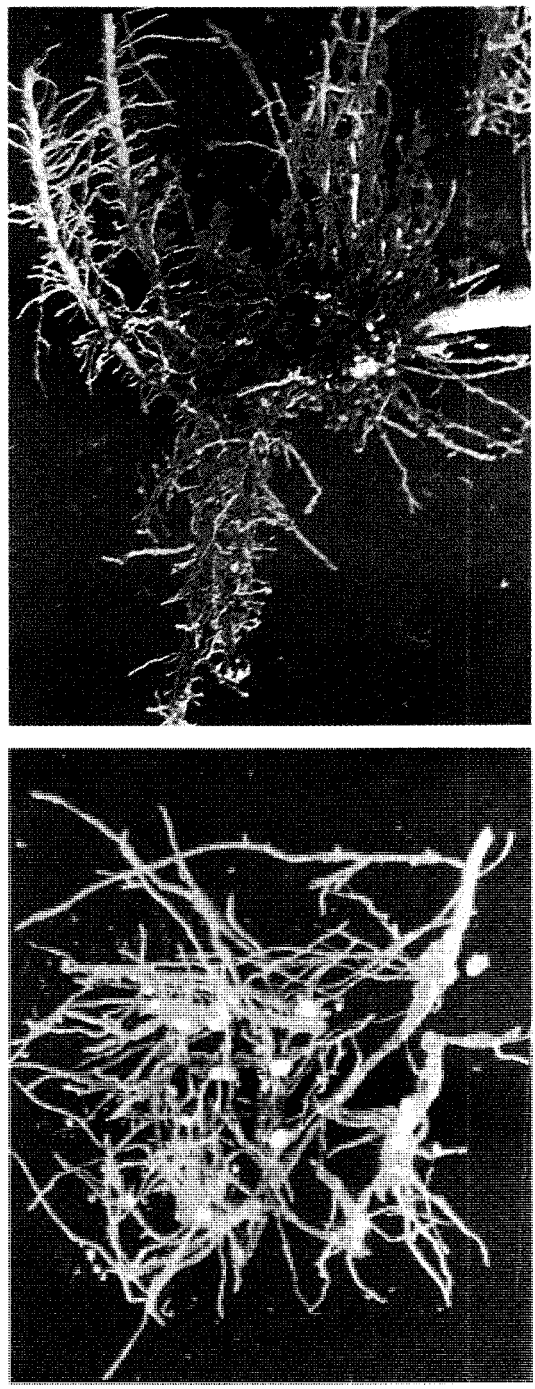
دورة الحياة Life Cycle

تبدأ دورة الحياة بوضع البيض في كيس جيلاتيني، يبرز عادة على سطح الجذور ويتطور الجنين إلى الطور اليرقي الأول داخل البيض، حيث ينسلخ أول انسلاخ له داخل البيضة. يفقس البيض عند توافر الظروف المناسبة وتخرج منه يرقات الطور اليرقي الثاني، وهو الطور القادر على إصابة النبات، حيث يتجه إلى الجذور عن طريق استقبالها لمنبهات خاصة صادرة منه. ويخترق هذا الطور الشعيرات الجذرية للنبات العائل عند القمة النامية عن طريق الرمح الموجود في مقدمة جسم النيماتودا، ثم يتجه إلى منطقة القشرة، ومنها إلى منطقة الاستطالة، ويستقر به المقام عند منطقة الأسطوانة الوعائية للجذور، وتبدأ في التغذية فيزداد قطر الجسم، وينسلخ ثلاثة انسلاخات لكي يتكون في النهاية الطور الكامل للإناث والذكور. فتأخذ الإناث الشكل الكمثرى. أما الذكور فتستعيد الشكل الدودي وتترك الجذور إلى التربة.

وتستغرق دورة الحياة في الفصول الدافئة ما يتراوح بين ٣ و٤ أسابيع.

طرق انتشار المرض Disease Transmission

تتلخص طرق انتشار هذا المرض في العوامل التالية:



الشكل رقم (٧٩). بعض مظاهر الإصابة بالنيماتودا على جذور النبات.

١ - *التربة:* حيث لوحظ أن الترب الرملية الخفيفة تكون أكثر ملاءمة لانتشار وتكاثر هذا النوع من النيماتودا، كما أن نقل التربة من منطقة موبوءة إلى أخرى يؤدي إلى نقل وانتشار النيماتودا.

٢ - *المياه:* يعتبر الماء من أهم وسائل نقل النيماتودا وبالذات في المزارع التي تستعمل طرق الري بالغمر، لأنها تؤدي إلى جرف النيماتودا من المناطق المصابة إلى المناطق السليمة.

٣ - *طرق الزراعة* : إن عدم إتباع الدورات الزراعية المناسبة يؤدي إلى زيادة انتشار المرض وتكاثر النيماتودا، كما أن نقل الشتلات المصابة من منطقة لأخرى يؤدي إلى انتشار هذا المرض.

٤ - *الحشائش*: تعتبر الحشائش عاملا هاما في انتشار وتكاثر نيماتودا تعقد الجذور، خاصة التابعة لعوائل نباتية شديدة الحساسية لهذا النوع. لذلك فقد كان من الضروري الاهتمام بمكافحة الحشائش، لأنها تعتبر عائلا ثانويا في حالة غياب العائل الأساسي.

٥ - *عدم النظافة الزراعية* : إن عدم اتباع قواعد النظافة الزراعية يعتبر عاملا أساسيا في نقل وانتشار نيماتودا تعقد الجذور عن طريق الآلات والأدوات الزراعية الملوثة، وكذلك أحذية العمال.

المكافحة Control

١ - استخدام سلالات نباتية مكافحة، فقد تم استنباط سلالات مكافحة لعديد من أصناف الخضروات، فإن ارتفاع أسعارها قد يحد أحيانا من استخدامها.

٢ - اتباع نظام الدورات الزراعية المناسبة، بحيث تزرع نباتات مكافحة أو غير عائلة للنيماتودا.

٣ - معاملة التربة:

أ) المعاملة الحرارية: إما باستخدام بخار الماء على عمق ٢٥ سم بدرجة ٨٢-٩٣°م وبالذات في الصوب الزجاجية، أو التعقيم الشمسي، وبالذات خلال أشهر الصيف في المزارع المكشوفة.

ب) المعاملة الكيميائية: حيث تعامل التربة بالمبيدات الكيميائية، وتستخدم هذه الطريقة ضمن برنامج مكافحة متكامل بعد دراسة جدواها الاقتصادية. وذلك باستخدام المبيد المناسب للمحصول المناسب. وهذه قد تكون معاملة جزئية أو معاملة كلية حسب طريقة الإصابة.

٤ - طرق زراعية تكميلية:

أ) العناية بالتسميد العضوي.

ب) إزالة النباتات المصابة.

جـ) العناية الجيدة بالنبات لرفع درجة مقاومته.

نيماتودا حوصلات الحبوب Cyst Nematodes

يسبب هذا النوع من النيماتودا أضرارا شديدة لمحاصيل الحبوب على المستوى العالمي، وتقدر الدراسات التي أجريت في المملكة العربية السعودية بأن نسبة الفقد في محصول القمح والشعير المصاب قد تصل إلى ٩٣,٥٪ (اليحيى وآخرون، ١٤١٧هـ)، مما يدل على مدى الخطورة التي تشكلها نيماتودا حوصلات الحبوب كآفة رئيسية على محصول القمح والشعير في المملكة.

أعراض المرض Disease Symptoms

على المجموع الخضري: تظهر مواقع الإصابة في الحقل في شكل بقع صفراء متناثرة تبعا لمواقع وجود النيماتودا، ويلاحظ التقزم والضعف العام على النباتات، كما يلاحظ عدم قدرة النباتات على تكوين الخلفات، وبتقدم الإصابة تذبل النباتات وتموت.

على المجموع الجذري: عند حدوث الإصابة في بداية الموسم يشاهد تقصف عام للجذور مع تفرع غزير للجذور الجانبية والثانوية (الشكل رقم ٧٩). ويرجع ذلك إلى مهاجمة يرقات الطور اليرقي الثاني لمناطق القمم النامية في الجذور. وبتقدم الإصابة وتطور النيماتودا يمكن مشاهدة الإناث الناضجة بالعين المجردة وهي بيضاء ملتصقة بالجذور من الخارج.

دورة حياة المسبب المرضي

يكون الطور اليرقي الأول داخل البيضة، ثم ينسلخ إلى الطور اليرقي الثاني، وهو ما يزال داخل البيضة. يفقس البيض عند توافر الظروف البيئية المناسبة بمساعدة عامل الفقس (تنبيهات من العائل)، فيخرج الطور اليرقي الثاني القادر على إحداث الإصابة، حيث يتحد هذا الطور مع العائل ويحدث الإصابة عن طريق اختراق الجذر. ويتغذى داخل الجدار، ثم يتحول إلى الطور اليرقي الثالث، ثم الرابع الذي بدوره يتحول إلى ذكور وإناث، ويلاحظ أنه يحدث انسلاخ بين كل طور وآخر. بينما تخرج ذكور النيماتودا من الجذور إلى الخارج، تظل الإناث داخل الجذور تتغذى وتبيض، ثم تتحول إلى حوصلات بنية اللون بعد موتها محتفظة بالبيض داخلها. تتكرر دورة الحياة في العام التالي عند توافر العائل والظروف المناسبة. ويكون هذا النوع جيلا واحدا في العام.

طرق انتشار الآفة

١ - نقل التربة الزراعية الملوثة بنيماتودا الحوصلات.

٢ - بواسطة الآلات والأدوات الزراعية الملوثة.

٣ - الرياح وخاصة في المناطق التي تشتد فيها العواصف الترابية مما يسبب نقل الحوصلات السطحية في الأتربة المتطايرة.

المكافحة Control

١ - الحجر الزراعي: حيث يحظر نقل المواد والتربة الملوثة في المناطق السليمة سواء على المستوى المحلي أو الدولي.

٢ - النظافة الزراعية:

أ) التأكد من خلو جميع الأدوات والآلات الزراعية من الترب الملوثة العالقة بها.

ب) غسيل الآلات الزراعية وإطارات الجرارات غسيلا جيدا قبل وبعد العمليات الزراعية.

جـ) ضرورة التخلص من الحشائش النجيلية التي تنمو داخل حقول القمح أو على قنوات الري.

٣ - إتباع دورات زراعية مناسبة: يراعى عدم تكرار زراعة القمح أو المحاصيل الأخرى القابلة للإصابة في الحقول الموبوءة.

٤ - التعقيم الشمسي: أثبتت الدراسات جدوى استخدام الطاقة الشمسية في المناطق التي تتميز بالجو الحار والشمس الدائمة في تعقيم التربة، وتعتبر من الطرق الفعالة في القضاء على النيماتودا في التربة، وتؤدي إلى خفض أعداد الآفات على الجذور بنسبة تصل إلى ٦٧٪ (اليحيى وآخرون، ١٤١٧هـ). وتتم هذه العملية بتغطية التربة بغطاء بلاستيكي شفاف منفذ لفترة تتراوح بين ٤ و٨ أسابيع. ويفضل استعمال طبقتين من البلاستيك، لأنه يؤدي إلى رفع درجة الحرارة في التربة إلى ٥٠°م في عمق ٥-١٠سم.

٥ - المكافحة الكيميائية: تستعمل المبيدات النيماتودية ضمن استراتيجية المكافحة المتكاملة لنيماتودا حوصلات الحبوب، حيث يمكن اتباع دورة زراعية لمحاصيل غير عائلة، يتبع ذلك تعقيم شمسي، ثم يستخدم المبيد النيماتودي المناسب.

ويوصى باستعمال المكافحة الكيميائية في نطاق ضيق، وتحت إشراف متخصصين بسبب سميتها وارتفاع ثمنها.

الأمراض الفيروسية Viral Diseases

يعتبر العالم إيفانوسكي عام ١٨٩٢م أول من أكتشف أن المادة المسؤولة عن مرض تبرقش الدخان توجد في عصير النباتات المصابة، وتمكن فيما بعد العالم ستانلي عام ١٩٣٥م من عزل بروتين متبلور من عصير نباتات دخان مصاب بالتبرقش أمكنه إحداث المرض في نباتات سليمة (وهو الفيروس) (Stanley, 1935).

وتعتبر الفيروسات من المسببات المرضية الخطيرة للنبات حيث تأتى في المرتبة الثانية من حيث الضرر بعد الفطريات، وتتجلى خطورتها في سرعة انتقالها إلى

النباتات السليمة، وسرعة انتشارها وصعوبة مقاومتها. وفيما يلي أمثلة لبعض الأمراض الفيروسية الشائعة.

مرض تبرقش الطماطم Tomato Mosaic Virus (TMV)

وهو مرض واسع الانتشار في معظم بلاد العالم التي تزرع الطماطم.

المسبب المرضي

يتسبب هذا المرض أساسا عن فيروس تبرقش التبغ Tobaco mosaic virus، وأحيانا تحدث إصابة مزدوجة بفيروس تبرقش التبغ وفيروس القرعيات. وينتقل الفيروس ميكانيكيا أثناء فترة النمو الخضري للنبات عن طريق أيدي العمال أو الشتلات. ويستطيع الفيروس الاحتفاظ بحيويته في الأوراق الجافة، ومن الممكن أن ينتقل عن طريق البذور، كما يمكن أن ينتقل عن طريق التربة الملوثة بطماطم مصابة من الموسم السابق. ويستطيع الفيروس الاحتفاظ بحيويته لمدة ٤ أشهر أو تزيد في التربة، كما ينتقل عن طريق العمليات الزراعية الروتينية، وبخاصة عمليات التطعيم.

الأعراض Symptoms

الإصابة المبكرة بهذا المرض للبادرات تسبب تقزم النبات وموته المبكر، أما إصابة النباتات الكبيرة في العمر فتتميز بتبرقش أوراقها، حيث تظهر فيها في البداية بقع خضراء باهتة أو صفراء مختلطة باللون الأخضر الطبيعي. فإذا ما ارتفعت نسبة الرطوبة وانخفضت الحرارة فإن أوراق النباتات تبدو خيطية الشكل، وتصبح فصوص الورقة رمحية، بالإضافة إلى أعراض التبرقش. أما إذا كانت الحرارة مرتفعة والرطوبة منخفضة فإن أعراض التبرقش تظهر دون الأوراق الرمحية، ولا تظهر أعراض على الثمار إلا نادرا، حيث تكون الثمار مفصصة تفصيصا غائرا. وقد وجد أن الإصابة تؤدي إلى خفض نسبة عقد الثمار بنسبة تتراوح بين ٢٠ و ٥٠٪.

المكافحة Control

١ - معاملة بذور الطماطم بمحلول ١٪ برمنجنات بوتاسيوم لمدة ٣ دقائق لإبادة الفيروسات الموجودة على السطح.

٢ - عدم زراعة النباتات في أراض موبوءة بالمرض.
٣ - إزالة الحشائش التي تتبع العائلة الباذنجانية.
٤ - مكافحة الحشائش بصفة عامة.
٥ - تخزين البذور بعد استخراجها من الثمار لمدة ٤شهور على الأقل في مخازن جيدة التهوية.
٦ - الحقن بالسلالات الضعيفة لوقاية النباتات من السلالات شديدة المرضية للفيروس (أي نظام المكافحة المتبادلة Cross-protection).

مرض التبرقش الأصفر على الكوسة Zucchini Yellow Mosaic Virus (ZYMV)

يعتبر هذا المرض من أخطر وأكثر الأمراض الفيروسية انتشارا في المملكة العربية السعودية على نباتات الخيار والكوسة، إضافة إلى عوائل أخرى مثل الشمام والبطيخ، وتظهر الأعراض في صورة تبرقش واصفرار وتقزم، وغالبا ما يأخذ شكل الورقة المظهر الخيطي، كما يسبب تشوهات في الثمار والبذور.

ويمتلك الفيروس قدرة على تغيير تركيبه الوراثي، مما ينشأ عنه تكوين سلالات عديدة تختلف من حيث نوع الأعراض التي تسببها. وللفيروس القدرة على العدوى حتى بعد تسخينه لمدة ١٠ دقائق عند درجة حرارة ٧٠°م، أي أنه يتحمل درجات الحرارة المرتفعة.

طرق انتقال الفيروس

١ - انتقال ميكانيكي عن طريق الاحتكاك أو اللمس المباشر بين النباتات.
٢ - انتقال عن طريق الحشرات مثل المن.
٣ - انتقال عن طريق البذور المصابة.

وقد تم تسجيل هذا المرض لأول مرة في المملكة العربية السعودية عام ١٩٨٧م، وهو منتشر في جميع مناطق المملكة ويسبب خسائر فادحة في محاصيل النباتات التي يصيبها. وقد أوضحت الدراسات أن نسبة الخسائر في مزرعة خيار مصاب بهذا

الفيروس تصل إلى ٨٥,٣٪. وقد أعتبر هذا المرض العدو الأول لمحصول الخيار في المملكة.

المكافحة Control

١ - إزالة مصادر العدوى: مثل النباتات البرية، وتجنب زراعة المحاصيل العائلة متجاورة.

٢ - استخدام بذور نظيفة خالية من الفيروسات.

٣ - إزالة النباتات المصابة من الحقل في المراحل المبكرة من الإصابة(عندما تكون النباتات المصابة محدودة العدد).

٤ - رش النباتات بالزيوت المعدنية(مع الماء).

٥ - مكافحة الحشرات الناقلة للمرض.

٦ - تجنب العدوى الميكانيكية عن طريق الأدوات المستخدمة في العمليات الزراعية.

٧ - استخدام أصناف مكافحة من النباتات.

٨ - استخدام نظام المكافحة المتبادلة بأن تعدى النباتات بسلالة ضعيفة من الفيروس لوقايتها ضد السلالات التي تسبب خسائر فادحة.

٩ - تطبيق نظام الحجر الزراعي.

وسائل مكافحة الأمراض النباتية

Methods of Plant Diseases Control

تتوقف الطرق المتبعة لمكافحة الأمراض النباتية على طبيعة انتقال وانتشار المرض. وبصفة عامة، فإنه يمكن تلخيص الطرق المتبعة لمكافحة الأمراض في:

١ - القوانين والتشريعات Legal Methods

ويقصد بها تلك اللوائح والأنظمة التي تمنع وتحد من دخول المسببات المرضية من أماكن موبوءة إلى أماكن خالية منها، وهو ما يطلق عليه اسم الحجر الزراعي.

وقد ازدادت أهمية هذه الطريقة بزيادة حركة انتقال التجارة والأشخاص بين الدول بحرية أكبر، حيث يحتمل أن ينقلوا معهم أجزاء نباتية مصابة. وتلزم هذه القوانين استخراج شهادة صحية عند نقل شتلات أو بذور أو أجزاء نباتية من بلد إلى آخر.

وتشريعات وزارة الزراعة في المملكة خير دليل على الالتزام بهذه الأساليب الفعالة بالنسبة للحد من انتشار سوسة النخيل الحمراء، حيث تمنع الأنظمة نقل أي فسائل نخيل من المناطق المصابة إلى مناطق أخرى داخل المملكة قبل التفتيش عليها من قبل أخصائيين في هذا المجال، وإصدار شهادات خاصة بخلوها من هذه الحشرة.

٢ – الإبادة Eradication

تلجأ بعض الدول أحيانا إلى إبادة العائل النباتي لمرض معين، إذا ظهر في منطقة محددة خوفا من انتشاره خارج هذه المنطقة، وأحيانا يلجأ إلى إبادة العائل الثاني للطفيل حتى يصبح الطفيل عاجزا عن إتمام دورة حياته.

٣ – المكافحة بالطرق الزراعية Agricultural Methods

وتمثل إحدى أهم طرق مكافحة الأمراض، والغرض منها هو استخدام الطرق الزراعية المختلفة لتحقيق الظروف المثلى لنمو المحصول بزيادة قدرته على مكافحة المسببات المرضية، وكذلك لجعل الظروف البيئية غير ملائمة لنمو الطفيلي، وتشمل هذه الطرق، اختيار المكان المناسب للمحصول، وتغيير مواعيد الزراعة، وإضافة المخصبات للتربة لتغير ظروفها، وتغيير مسافات الزراعة وعمقها، والدورات الزراعية، وعمليات الري والصرف، واقتلاع النباتات المريضة.

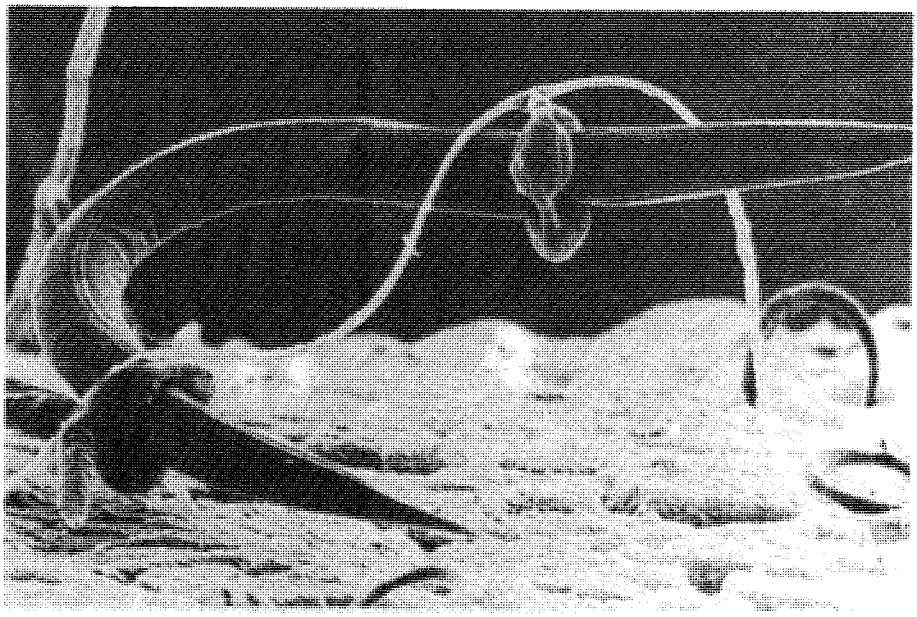
٤ – المكافحة الكيميائية Chemical Control

رغم ما يثار حول دور المبيدات الكيميائية في تلوث البيئة وأضرارها الجانبية الأخرى، فإن هذه الطريقة لا تزال وستظل لسنين طويلة قادمة هي الطريقة الأكثر

فعالية في مكافحة الأمراض النباتية، نظرا لسرعة تأثيرها، وبقاء فاعليتها لمدة طويلة، وسهولة تنفيذها، وتشمل المبيدات الفطرية، والنيماتودية، والمضادات الحيوية للبكتريا. وهناك مئات بل الآلاف منها تختلف في تركيبها وطريقة عملها ومدى فعاليتها، ... إلخ.

٥ – المكافحة بالطرق البيولوجية Biological Control

ويقصد بها استعمال كائنات طفيلية تستطيع أن تتطفل على الكائن المرضي، مثل استخدام بعض أنواع من الفطريات تتطفل على فطريات أخرى، أو على الديدان الثعبانية (الشكل رقم ٨٠). ويمكن أيضا تغيير ظروف التربة بحيث تصبح أكثر ملاءمة للطفيلي، وأقل ملاءمة للكائن المرضي.



الشكل رقم (٨٠). التفاف هيفات فطر Dactylaria على جسم دودة ثعبانية (نيماتودا) تمهيدا لامتصاص محتوياتها والقضاء عليها، وهي إحدى صور المقاومة الحيوية في الطبيعة.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

٦ – استنباط أصناف نباتية مكافحة Resistant Varities

تعتبر زراعة الأصناف المكافحة أو المنيعة من أفضل وأهم طرق مكافحة الأمراض بالنسبة لبعض الأمراض الخطيرة، كأمراض الذبول الوعائي وأمراض الأصداء. وقد تركزت الجهود في مراكز البحوث في أنحاء العالم على إنتاج أصناف نباتية جديدة يتوافر فيها عديد من الصفات المرغوبة، إضافة إلى قدرتها على مكافحة الأمراض.

الفصل السادس عشر

الميكروبات والبيئة والإنسان

Microbes, Environment, and Man

• إنتاج الطاقة البديلة • تحليل النفط • إنتاج النفط • مقاومة تأثير الصقيع على النباتات • المكافحة البيولوجية • تحليل وتكسير المخلفات الصناعية • استخلاص المعادن • استخدام تقنيات الهندسة الوراثية • حل مشكلة نقص الغذاء • تحليل المبيدات الزراعية • البلاستيك البكتري • المساعدة في خفض نسبة تلوث الهواء • المساعدة على الاكتشافات البترولية وخام الذهب • ميكروبات البحار • استخدامات أخرى

تعرف البيئة بصفة عامة بأنها "**مجمل العوامل الخارجية التي تؤثر على كائن أو مجموعة من الكائنات في منطقة معينة**". وتشترك جميع البيئات في الطبيعة Natural environment، سواء كانت بيئة تربة أو بحارا أو أعماق الأرض... إلخ، في أنها جميعا تحتوي على كائنات حية دقيقة.وهذه الأحياء الدقيقة تقوم بوظيفتين رئيسيتين في البيئة هما:

١ - تخليق مركبات جديدة من CO_2 وبعض المركبات غير العضوية، وهو ما يسمى المنتجات الأولية Primary products.

٢ - تحليل المواد العضوية المتراكمة في الطبيعة.

وكنتيجة لهذه الأدوار، وما ينتج عنها وما يؤثر فيها من عوامل، فإن الأحياء الدقيقة تؤدي دورا هاما ومؤثرا في البيئة والتي محورها الإنسان بالنسبة لدراستنا. وعلى

امتداد التاريخ البشرى كان الإنسان يراقب ويستفيد من نشاط الأحياء الدقيقة في البيئة التي يعيش فيها دون أن يكون له دور في التحكم في هذا النشاط، بالحد منه أو رفع كفاءته، إلى أن بدأت فترة نشأة علم الميكروبيولوجيا، وبدأ العلماء في اكتشاف الطبيعة البيولوجية لتلك الظواهر البيئية وربطها بالأحياء الدقيقة، التي تؤدي دورا في حدوثها، إلى أن وصل إلى درجة عالية من التحكم في مختلف أنشطة الأحياء الدقيقة وأدوارها ووظائفها عن طريق نقل الجينات الوراثية المتحكمة فيها، مما يعرف حاليا بالهندسة الوراثية. وأصبح العلماء قادرين على بناء وتعديل الكائنات الحية الموجودة أصلا من نبات وحيوان وميكروبات، وذلك بإدخال جينات وراثية تحمل صفات مرغوبة لم تكن أصلا موجودة فيها، وبالتالي نحصل على أصناف جديدة من الحيوان والنبات والميكروبات. وتعرف التقنيات التي تستخدم هندسة الوراثة في إنتاج كائنات حية جديدة تستخدم لأغراض تجارية وصناعية باسم التقنية الحيوية Biotechnology. ونتيجة لاستخدام هذه التقنيات، فقد فتحت آفاق واسعة لا حدود لها لاستخدامات الميكروبات في مختلف مجالات البيئة التي تخدم رفاهية الإنسان في المجال الزراعي والصناعي والطبي والعسكري... إلخ. ومن أمثلة الاستخدامات التطبيقية للتقنية الحيوية.

إنتاج الطاقة البديلة Production of Alternative Energy

يعتبر إنتاج الطاقة البديلة Alternative energy عن طريق التحويل الحيوي Bioconversion للمواد العضوية (الفضلات) بواسطة الأحياء الدقيقة من الصناعات التي بدأت تكتسب اهتماما كبيرا في كثير من الدول، وبالذات دول العالم الصناعي. ويعتبر غاز الميثان Methane أحد أهم مصادر الطاقة الناتجة من النشاط الحيوي للأحياء الدقيقة على كتل الفضلات المتراكمة Biomass.

كما يمكن على سبيل المثال استخراج كميات كبيرة من غاز الميثان من فضلات الأبقار في مزارع الإنتاج الحيواني بواسطة النشاط الميكروبي، غير أن زيادة استعمال المضادات الحيوية في غذاء الحيوان كان له أثر سلبي على هذا الأمر.

وفي الصناعات الزراعية يمكن استخدام المخلفات الزراعية في إنتاج مصادر بديلة للطاقة، وهناك مثلا الوقود المسمى Gasohol ويتكون من (٩٠٪ بنزين +١٠٪ إيثانول من المخلفات الزراعية)، ويستعمل على نطاق واسع في الولايات المتحدة الأمريكية، ويُتوقع المزيد في هذا المجال.

تحليل النفط Biodegradation of Hydrocarbons

يعتبر تلوث البحار والمحيطات بالنفط الخام من أهم وأخطر الملوثات للبيئة البحرية، وعلى امتداد السنوات الماضية حدث عديد من الكوارث في هذا المجال. ونظرا لطبيعة النفط الخام المعقدة فإنه يصعب التخلص منه، ويحتاج الأمر إلى تضافر جهود متنوعة في عديد من المجالات.

ويعتبر التحليل الميكروبي للبترول الخام والمنتجات البترولية من الأمور ذات الأهمية القصوى على المستوى البيئي والاقتصادي. فنظرا لأن البترول يتكون من جزيئات هيدروكربونية (غنى بالمواد العضوية) فقد كان من الطبيعي أنه عندما يوجد تحت ظروف هوائية ووجود نسبة من الرطوبة، فإنه يتعرض للتحليل من قبل بعض الميكروبات. ويُعتبر نمو الميكروبات في خزانات تخزين الوقود من الأمور غير المرغوبة، بينما يشجع هذا النمو في حالات التلوث النفطي في البحار وعلى اليابسة، ويُطلق مصطلح Bioremediation على عمليات تنظيف وإزالة الملوثات سواء كانت نفطية أو خلاف ذلك بواسطة استعمال الميكروبات.

وتعتبر البكتريا والفطريات وبعض الخمائر من العوامل الرئيسية المحللة للنفط ومنتجاته، حيث تقوم هذه الكائنات بأكسدة الجزيئات الهيدروكربونية المكونة للنفط. وقد لوحظ أن الهيدروكربونات البسيطة مثل الميثان Methane يتم تحليله بواسطة مجموعات ميكروبية متخصصة من البكتريا يُطلق عليها أسم Methanotrophic bacteria (Madigons, *et al.*, 1997).

وبصفة عامة فإن عملية تحليل الجزيئات الهيدروكربونية المكونة للنفط لا تتم بصورة مرضية إلا تحت ظروف معينة من درجة الحرارة ودرجة حموضة pH والرطوبة، ووجود الأكسجين وبعض العناصر غير العضوية الضرورية. ففي حالة وجود بقع نفطية ملوثة في البحار مثلا فإن البكتريا تلتصق بهذه الجزيئات وتقوم بتحليلها.

ومن البكتريا المحللة للنفط أنواع تابعة للأجناس البكترية: *Mycobacterium, Corynebacterium, Pseudomonas*. وفي حالة وجود العوامل المساعدة المذكورة أعلاه فإن البكتريا تؤكسد هذه الجزيئات، بينما تظل السلاسل الطويلة من المركبات الأليفاتية والأروماتية لكي يتم التخلص منها فيما بعد بواسطة عمليات تحلل ميكروبي أخرى، أو عمليات التنظيف الميكانيكي. وقد أوضحت التجارب أنه تحت الظروف المثالية فإن حوالي ٨٠٪ من المكونات غير المتطايرة يتم أكسدتها بواسطة البكتريا في مدة تتراوح بين ٦ أشهر وسنة، بينما تبقى بعض السلاسل الهيدروكربونية الأكثر تعقيدا تظل مدة أطول وقد تتسرب إلى الأعماق.

ولتقريب الإحساس بأهمية دور الميكروبات في التخلص من البقع النفطية الملوثة للبحار، فإننا نذكر بأن عمليات تنظيف بقع النفط الناتج من تسرب ١١ مليون جالون من الناقلة Exxon Valdez عام ١٩٨٩م في أحد أكبر حوادث التلوث النفطي بلغت ١,٥ بليون دولار، وقد لوحظ خلال عمليات التطهير التي تمت في هذه الحالة أن عمليات رش كميات من خليط من بعض العناصر غير العضوية أدى إلى الإسراع في عمليات تكسر البقع النفطية وانجرافها إلى أعالي البحار.

ولا تزال الدراسات جارية في الوقت الراهن لتطوير وإنتاج سلالات من البكتريا ذات كفاءة أكبر في تحليل السلاسل الهيدروكربونية المعقدة، وبالتالي زيادة قدرتها على عمليات التخلص من البقع النفطية في حالات التلوث.

إنتاج النفط Petroleum Production

إضافة إلى دور الميكروبات في تحليل النفط ومركباته، فقد اتضح من الدراسات أن هناك أنواعا ميكروبية أخرى من الممكن أن تكون أداة هامة لإنتاج مركبات نفطية

متجددة. فقد ثبت أن بعض أنواع الطحالب مثل النوع *Botryococcus braunii* التي تنمو في صورة مستعمرات، تفرز أثناء مراحل نموها مركبات هيدروكربونية ذات سلاسل طويلة معقدة تشبه مكونات النفط. كما وُجد أن حوالي ٣٠٪ من الوزن الجاف لهذه الخلايا يتكون من مكونات نفطية.

وقد دفعت هذه النتائج العلماء إلى مزيد من الاهتمام باستعمال هذه الميكروبات وأنواع أخرى كمصادر مختلفة لإنتاج مصادر نفطية متجددة، خاصة أن الدراسات أثبتت أن النفط الموجود في مناطق معينه من العالم نشأ وتكون من أنواع خاصة من الطحالب مثل النوع *B. braunii* نمت في السابق في أعماق البحيرات.

مقاومة تأثير الصقيع على النباتات

Prevention of Frost Formation on Plant Leaves

هناك بعض أنواع البكتريا مثل النوع *Pseudomonas syringae* يمكن نشرها على النباتات الحساسة للصقيع في الفصول والمناطق الباردة، فتعمل على تكوين الصقيع حولها، وبالتالي منع تكونه على سطح الأوراق وحمايتها من التأثير القاتل للصقيع والتجمد في الفصول الباردة، وبالتالي تمنع تدمير المحاصيل بواسطة الصقيع، وما يلي ذلك من تعرضها للإصابة بالأمراض.

المكافحة البيولوجية Biological Control

في ضوء الاستخدام المتزايد للمبيدات الكيميائية لمكافحة الحشرات وما يتبع ذلك من أثر سيئ على البيئة نتيجة تراكم هذه الكيماويات وأثرها على مصادر المياه وتلوث الهواء، فقد اتجه العلماء إلى البحث عن وسائل بديلة. ومن الوسائل البديلة التي يعول عليها العلماء كثيرا باعتبارها أكثر أمانا على المدى البعيد، استعمال الطفيليات والمفترسات كوسيلة لمكافحة الأمراض والآفات الزراعية، وهو ما يطلق عليه مصطلح "المكافحة البيولوجية Biological control".

وقد بدأت هذه الفكرة منذ أمد طويل، وتدرجت في عدة مراحل حتى وقتنا الراهن. ومن أهم الكائنات الحية المستخدمة في هذه الطريقة استعمال بعض أنواع الفطريات والبكتريا في القضاء على بعض الحشرات والمسببات المرضية. ويعتبر العالم Agostin Bassi من أوائل العاملين في هذا المجال إذ أشار عام ١٨٣٥م إلى أن الفطر *Beauveria bassiana* يصيب بعض الحشرات، وإلى إمكانية استخدام هذا الفطر في القضاء على الحشرات الضارة.

كما تمكن العالم Audouin عام ١٨٣٩م من نقل فطر المسكاردين من أنواع عديدة من الآفات الحشرية. كما دون أول تقرير عن المكافحة البيولوجية التطبيقية أشار فيه إلى موت بعض الحشرات على الأشجار نتيجة تخلص مربيي ديدان الحرير من الديدان المريضة بإلقاء مخلفات صواني التربية حاملة هذه اليرقات فوق أشجار التوت. ومن أمثلة الأنواع البكترية المستخدمة في الوقت الراهن في مجال المكافحة الحيوية النوع البكتري *Bacillus thuringiensis* والذي أُستخدم في البداية في مكافحة يرقات فراشة دقيق البحر الأبيض المتوسط *Angasta kuehniella*، ثم تبع ذلك استخدام هذه البكتريا في مكافحة العديد من الحشرات الضارة للنبات والإنسان مثل البعوض حيث يتم رش مستنقعات ومناطق انتشار اليرقات بهذه البكتريا، فعندما تلتهمها اليرقات فإنها تؤدى إلى موتها. وقد وُجد أن سبب ذلك عائد إلى أن هذا النوع من البكتريا يكون في طوره الجرثومي فقط حبيبات متبلورة أُطلق عليها اسم σ- Endotoxin وُجد أن لها تأثيرا ساما جدا على أنواع خاصة من الحشرات، وهناك الآن العديد من سلالات هذه البكتريا تستخدم على نطاق واسع في المكافحة الحيوية للعديد من الحشرات الضارة. وهناك أيضا بعض أنواع الفيروسات والتي تستخدم في هذا المجال.

تحليل وتكسير المخلفات الصناعية
Biodegradation of Industrial Wastes

مع تقدم المجتمعات الصناعية ازدادت المخلفات الناتجة من المصانع والاستخدام البشري، نوعا وكما، والعديد من هذه المخلفات يتكون من جزيئات كيماوية متبلمرة

ومعقدة جدا، وعند تراكمها يتسبب عنها تلوث البيئة ومصادر المياه. وقد أجريت العديد من الدراسات حول دور الأحياء الدقيقة في تحليل وتكسير هذه المركبات العضوية المعقدة وهو ما يطلق عليه اسم Biodegradation. وتم اكتشاف العديد من أنواع البكتريا التي تؤدي دورا هاما وفعالا في تحليل هذه المركبات المعقدة. وقد استخدم علم الهندسة الوراثية في بناء أنواع من البكتريا قادرة على تحليل عدة أنواع من هذه المركبات الصناعية في نفس الوقت، ومن أشهرها في المجالات البيولوجية النوع البكتري *Pseudomonas putida*.

استخلاص المعادن Microbial Leaching

عمليات التعدين تشكل مصدرا مهما لاستخلاص العديد من المعادن الثمينة والهامة في حياتنا. ومع ازدياد الضغط على خامات المعادن الموجودة بزيادة الاستغلال فإن عمليات التعدين التقليدية تزداد كلفة وآثارها الجانبية الملوثة للبيئة تزداد تفاقما. وفي هذا المجال فإن هناك نسبة متزايدة من الخام تكون نسبة المعادن الثقيلة فيها منخفضة، وبالتالي فإن كلفة استخراجها تصبح غير اقتصادية. وقد توصل العلماء إلى أنواع من الأحياء الدقيقة لديها القدرة على استخلاص المعادن الثقيلة من الخامات التي تحتوي على نسب بسيطة، ويشكل استخلاصها بالطرق التقليدية كلفة غير اقتصادية. ومن أنواع البكتريا المستخدمة في هذا المجال النوع *Thiobacillus ferrooxidans* والتي تستخدم لاستخلاص العديد من المعادن مثل النحاس واليورانيوم حيث تساهم هذه البكتريا في استخلاص حوالي ٢٥٪ من كمية النحاس المستخرج في الولايات المتحدة (Madigons, *et al.*, 1997).

استخدام تقنيات الهندسة الوراثية
Genetic Engineering Techniques

وذلك في نقل بعض جينات البكتريا إلى بعض النباتات لجعلها أكثر مقاومة للتأثير الجانبي للمبيدات وبالذات مبيدات الحشائش، ولبعض الحشرات الضارة

والفيروسات والعديد من الأمراض البكترية والفطرية لإكسابها صفات وخصائص لم تكن موجودة فيها أصلا. حيث يستطيع النبات بعد تعديله وراثيا بواسطة جينات من أنواع ميكروبية خاصة أن يقضي على بعض المسببات المرضية من بكتيرية وفطرية.

وبالرغم من تقدم تقنيات نقل الصفات الوراثية من كائن إلى آخر - وبالذات في الأحياء الدقيقة - فإن العلماء وقفوا حائرين أمام تقنية إدخال وحدات وراثية منقولة Cloned genes إلى داخل خلايا النبات لإكسابها صفات جديدة ومرغوبة نظرا لوجود جدار سميك وصلب لخلايا النبات، إلى أن تنبهوا إلى قدرة البكتريا *Agrobacterium tumefaciens* المسبب لمرضى التدرن التاجي للنبات على حقن صفاتها الوراثية Plasmid DNA إلى داخل خلايا النبات وإدخالها إلى الجينات النباتية، ويتم ذلك في الطبيعة بسهولة (الشكل رقم ٨١). واستعمل العلماء هذه المعلومات في فتح آفاق جديدة في عالم الزراعة، وذلك باستخدام هذا النوع البكتيري كحامل لإدخال صفات وراثية مرغوبة إلى داخل النبات وبالتالي إنتاج أصناف نباتية جديدة لها صفات مرغوبة متميزة، وأطلق على هذه النباتات اسم Transgenic plants، ومن أمثلتها الواضحة:

أ) إنتاج سلالات من النباتات لها قدرة على تحمل التأثيرات الضارة لمبيدات الحشائش (لأن العديد من مبيدات الحشائش عند رشها بالحقل تقتل الحشائش ولكنها تحدث أحيانا آثارا ضارة بالنبات الأصلي)، وهذا يؤدي إلى حماية المحاصيل وتقليل الخسائر وجعل استعمال المبيدات أكثر أمانا في الحقل بالنسبة للنبات.

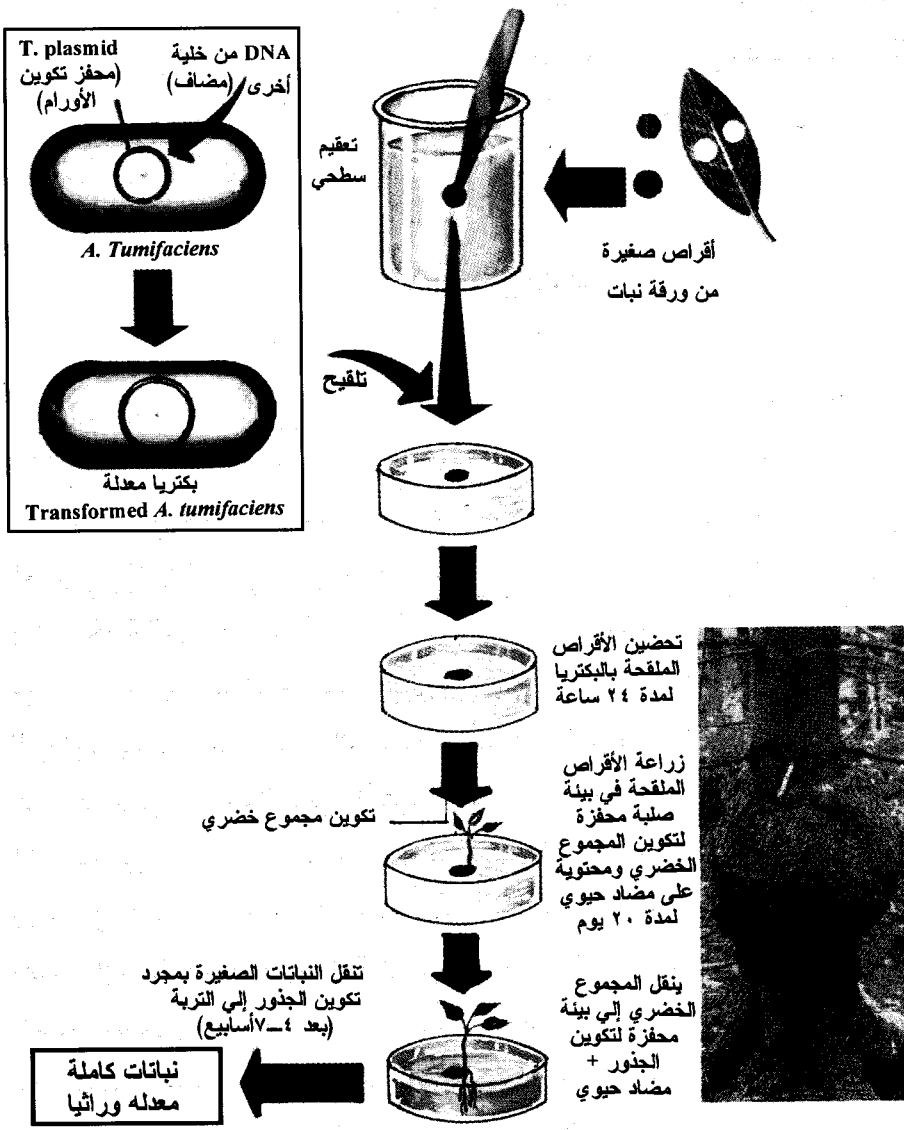
ب) قام العلماء بنقل الجينات المسؤولة عن إنتاج البلورات السامة القاتلة للحشرات من بكتريا *Bacillus thuringiensis* وحقنها في النباتات بواسطة بكتريا *Agrobacterium tumefaciens*، ونجحوا في إنتاج سلالات نباتية جديدة مقاومة للعديد من الحشرات الضارة، وبالتالي تخفيض تكاليف الوقاية وحماية البيئة من استعمال الكيماويات وزيادة الإنتاج بتقليل الفاقد.

جـ) إنتاج نباتات مقاومة لبعض الأمراض الفيروسية، حيث تم حقن الحمض النووي RNA لبعض الفيروسات غير الممرضة Avirulant إلى داخل النباتات بواسطة بكتريا *A. tumefaciens*، وقد استطاع العلماء نتيجة لذلك من الحصول على سلالات نباتية جديدة ذات مقاومة عالية لأمراض فيروسية معينة.

حل مشكلة نقص الغذاء

Solving of Food Deficiency Problem

تؤدي الأحياء الدقيقة دورا هاما ومتزايدا في إنتاج صور الغذاء غير التقليدية، وبالتالي في حل مشكلة نقص الغذاء، ويعكف علماء هندسة وراثة الأحياء الدقيقة على بناء أنواع ميكروبية جديدة لها قدرة عالية على إنتاج الإنزيمات والأحماض العضوية والأمينية... إلخ والتي تستخدم كمدخلات في العديد من الصناعات الغذائية، وذلك بكلفة أقل وبكميات أكبر مما كان مستخدما في السابق. وهناك أنواع لها قدرة عالية على تحويل مصادرها الغذائية إلى بروتين، وبالتالي تشكل مصدرا غنيا وهاما للبروتين البشرى. فعلى سبيل المثال يستطيع النوع الفطرى *Fusarium mineara* أن يحول كل ١كجم من مصدره الغذائي (المحتوى فقط على جلوكوز وأملاح غير عضوية) إلى ١٣٦جم من البروتين، ويضاعف وزنه كل ٦ ساعات مقارنة بالدجاجة التي تضاعف وزنها كل ٣ أسابيع وتحول كل ١كجم من غذائها إلى ٤٩ جم من البروتين. وقد تم اعتماد الأغذية المصنعة من هذا الفطر من قبل السلطات العلمية والغذائية في بريطانيا باعتباره مصدرا غذائيا آمنا للإنسان، كما أن مصطلح Single cell protein (SCP) أصبح من المصطلحات المتداولة في مجال الميكروبيولوجي ومجال الأغذية، حيث يعبر عن قدرة بعض الكائنات الحية الدقيقة على النمو بسرعة على البترول الخام أو أحد مشتقاته أو بعض المواد العضوية البسيطة واستخدامه كمصدر هام للكربون والنيتروجين، وتقوم الخلايا ببناء وتخزين نسبة بروتين عالية في جسمها بحيث تصبح نسبة البروتين في الخلية تقارب ٨٠٪ من مجمل وزنها. ومن الميكروبات المستخدمة في هذا المجال نوع الخميرة



الشكل رقم (٨١). استخدام تقنية الهندسة الوراثية في إنتاج نباتات معدلة وراثيا Recombinant plants:
أ) تحت الظروف العادية تصيب بكتريا *A. tumifaciens* النباتات مسببة لها تورمات سرطانية وتدرنات. وهذه البكتريا تحتوي على بلازميدات محفزة لتكوين الأورام يطلق عليها T. plasmids. وعند نقلها بالطرق الوراثية إلى خلايا النبات فإنها ترتبط مع كروموسوم =

Candida tropicales. كما تنتج الآن البكتريا كميات هائلة من هذا البروتين الميكروبي ويستعمل بنجاح كعلف عالي القيمة ورخيص للحيوانات. ومازالت الأبحاث جارية لحل بعض العقبات التي تعترض إمكانية استخدامه في الغذاء البشرى للإنسان.

وقد استطاع علماء وراثة الأحياء الدقيقة بواسطة تقنيات الهندسة الوراثية إنتاج سلالات جديدة من البكتريا المثبتة للنيتروجين *Rhizobium* على النباتات البقولية لها قدرة متفوقة في تثبيت كميات من النيتروجين، تفوق بمراحل تلك التي تثبتها السلالات الموجودة في الطبيعة، وبالتالي يساعد ذلك على سرعة نمو النباتات وزيادة المجموع الخضري والمساعدة على زيادة الإنتاج الغذائي زيادة كبيرة. غير أن العلماء مازالوا يحاولون حل بعض العقبات التي تعترض نشر هذه البكتريا في التربة الزراعية في الحقل.

ومنذ ما يزيد عن ٣٠ عاما مضت بدأ مربو الأبقار في استخدام المضادات الحيوية كإضافات إلى عليقة الحيوانات، وذلك لمنع إصابتها بالأمراض البكتيرية، ولأثرها الواضح في زيادة معدل نمو الحيوان، حتى وصل عدد الحيوانات التي يتم تربيتها بهذه الطريقة إلى ٨٠٪. غير أنه وبعد فترة من استخدام هذا المركب بدأ العلماء يتنبهون إلى

النبات، ب) يستخدم هذا البلازميد لإدخال جينات غريبة تحمل صفات مرغوبة إلى داخل الخلية النباتية وفق الخطوات التالية: (١) تقطع أقراص صغيرة من أوراق النبات، (٢) يتم إدخال DNA غريب إلى داخل خلية البكتريا للارتباط بالبلازميد الذي تم تعديله بحيث لا يسبب أوراما للنبات وإنما يحتوي على جين يحمل صفات مقاومة لتأثير المضاد الحيوي (وبذلك أصبحت لدينا بكتريا *A. tumifaciens* تحتوي على بلازميد معدل لا يسبب أورام للنبات) ويحمل الصفات الجديدة المراد إدخالها للنبات، جـ) يتم تلقيح أقراص النبات بالبكتريا المحتوية على بلازميد معدل الذي ينقل بلازميد البكتريا إلى خلايا النبات، د) يتم تنمية خلايا النبات على بيئة محتوية على مضاد حيوي، حيث تنمو فقط الخلايا المحتوية على البلازميد، بينما يقتل المضاد الحيوي تلك الخلايا النباتية التي لا تحتوي على البلازميد الذي يضم الجين المقاوم لتأثير المضاد الحيوي، هـ) هذه الخلايا النامية يتكون منها نباتات كاملة محتوية على الجينات الجديدة وبالتالي نحصل على نباتات تحمل الصفات المرغوبة التي تم إدخالها إليها.

(عن: McKane and Kandel, 1996)

الأضرار التي من الممكن أن تنشأ عن ذلك. حيث تكتسب البكتريا الممرضة للحيوان مناعة ضد هذه المضادات الحيوية، ثم تنتقل هذه المناعة إلى أنواع بكتيرية ممرضة للإنسان فتزداد ضراوتها في إحداث المرض (لأنه ثبت أن البكتريا الحيوانية والبشرية من الممكن أن تتبادل الصفات الوراثية بسهولة فيما بينها)، إضافة إلى أنه من الممكن أن تنتقل بعض الإصابات البكتيرية عن طريق أكل لحم حيوانات مصابة إلى الإنسان. ومن أمثلة ذلك احتمالات انتقال التسمم ببكتريا Salmonella حيث لاحظ العلماء أن هناك ٢٠-٣٠٪ من حالات تسمم السالمونيلا تعود إلى مناعة هذه الأنواع ضد المضادات الحيوية.

تحليل المبيدات الزراعية Biodegradation of Pesticides

كان الاعتقاد السائد عند بداية استخدام المبيدات الكيماوية في مكافحة الآفات الزراعية أن هذه الكيماويات تتحلل بعد فترة من رشها أي بعد أداء وظيفتها في قتل الآفات بواسطة ميكروبات التربة Biodegradation، وبالتالي يختفي تأثيرها. غير أنه وبمرور الوقت وبزيادة إنتاج أنواع من المبيدات Synthesized ذات التركيب الجزيئي المعقد اتضح أن عملية تحلل هذه المركبات في التربة بواسطة ميكروبات التربة ليس بالأمر السهل، فالمبيدات الكيماوية الزراعية تعتبر أحد أهم المركبات الكيماوية المخلقة (أي التي لا توجد في الطبيعة)، ويطلق عليها مصطلح Xenobiotics ويوجد في الوقت الراهن ما يزيد عن ١٠٠٠ مركب من هذه المبيدات (مبيدات حشائش، وحشرية، وفطرية) (Madigons, *et al.*, 1997). ومن المعروف أن الاستخدام المكثف لهذه المبيدات يؤدي إلى تراكمها في الطبيعة، ونظرا لكونها مركبات سامة (ولهذا الغرض فهي تستخدم)، فإن تراكم كميات هائلة منها في الطبيعة يعتبر من الأمور غير المرغوبة والخطيرة على البيئة. لذلك فقد كان الاهتمام بتحلل هذه المركبات في الطبيعة والتخلص منها أمرا جديرا بالاهتمام والدراسة.

ومن هذه الدراسات وجد أن بعض هذه المركبات تشكل مصادر مناسبة لإمداد بعض ميكروبات التربة بالكربون والطاقة. وعندما تكون هذه المركبات عرضة للتحلل بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، فإنها من المؤكد سوف تختفي من التربة بعد فترة من الزمن، وهذا من الأمور المرغوبة، لأنه يؤدى إلى منع تراكم هذه المركبات السامة. غير أنه قد وجد أن هذه المركبات تتفاوت بدرجة كبيرة في قابليتها للتحلل الميكروبي، كما أن عملية التحلل الميكروبي لهذه المبيدات تتأثر بدرجة كبيرة بعدد من العوامل الأخرى مثل درجة الحرارة، والحموضة pH، والتهوية، ومحتوى التربة من المواد العضوية. فعلى سبيل المثال فإن بعض المبيدات الحشرية الكلورونية Chlorinated pesticides صعبة التحلل لدرجة أنها من الممكن أن تبقى في التربة لمدة قد تصل إلى ١٠ سنوات، كما أن اختفاء المبيد من التربة وتحلله لا يعنى بالضرورة أنه تحلل بفعل الميكروبات، فهو من الممكن أن يكون قد اختفي بفعل عوامل أخرى مثل التطاير أو التحلل الكيماوي أو الغسيل بواسطة مياه الري إلى أعماق التربة. أما فيما يتعلق بالتحليل الميكروبي فإن بعض هذه المبيدات يمكن أن تتحلل كليا إلى CO_2 ويختفي من التربة (حيث تشكل مصدرا للكربون والطاقة للميكروبات) فيما يتحلل بعضها جزئيا أو يقاوم التحلل الميكروبي، كما أن بعض المبيدات لا يتحلل ميكروبيا إلا إذا احتوت التربة على بعض المواد العضوية التي تعمل كمصادر طاقة مبدئية للميكروبات، وتسمى هذه الظاهرة باسم Cometabolism.

ومن الأمور الخطيرة التي تمت ملاحظتها أنه في الحالات التي يكون فيها التحلل الميكروبي للمبيدات جزئيا فإنه قد تنتج لدينا مركبات ثانوية تكون أكثر سمية من المركب الأصلي، مشكلة مصدرا جديدا لتلويث البيئة غير معروف التركيب، ويصعب التعامل معه.

ويعتبر موضوع تحلل المبيدات الزراعية بواسطة الميكروبات من الأمور التي تجذب اهتمام العلماء في الوقت الراهن، نظرا لأن هذه المجموعة من المركبات لم تنشأ إلا حديثا في مدة الخمسين سنة الماضية، وبالتالي فإن انتشار ميكروبات قادرة على

تحليلها في الطبيعة يعتبر من الأمور المفيدة في دراسة التطور الميكروبي في الطبيعة، ومن أجناس البكتريا الشائعة، والتي تضم أنواعا محللة للمبيدات الزراعية الجنس *Pseudomonas*. ويخلص العلماء إلى نتيجة مؤداها بأنه بمرور الوقت وزيادة الكميات المستخدمة من هذه المبيدات فإنه ستوجد لدينا - بفعل التطور الطبيعي للميكروبات - أنواع ميكروبية ذات صفات وراثية قادرة على التحلل الكامل لهذه المركبات الكيماوية في الطبيعة.

البلاستيك البكتري Bacterial Plastic

يعتبر الاستخدام المكثف للمواد البلاستيكية في عمليات التعبئة والتغليف في وقتنا الراهن أحد أكثر الملوثات البيئية إزعاجا، وذلك لصعوبة التخلص منها، لأن عمليات تحليلها إن لم تكن مستحيلة، فهي تأخذ سنوات طويلة حتى تختفي من البيئة. وفي محاولة العلماء المستمرة للبحث عن حلول لهذه المشكلة البيئية، تم اكتشاف أنواع من البكتريا لها القدرة على تخليق مواد بلاستيكية ذات صفات متميزة مقارنة بتلك التي تصنع من المواد البترولية، وأطلق على هذه المركبات الجديدة اسم البلاستيك البكتري Bacterial plastic (Madigons, *et al.*, 1997). ومن أهم ما يميز هذه المواد البلاستيكية:

١ - امتلاكها لصفات فيزيائية جيدة لا توجد في البلاستيك الصناعي.

٢ - قابليتها للتحلل بسهولة في البيئة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة، وبالتالي التغلب على مشاكل تلوث البيئة.

ومن أنواع البكتريا المستعملة لهذا الغرض النوع *Alcaligenes eutrophus* وقد وجد أن هذا النوع عند تنميته على بيئة تحتوي على مصدر رخيص للكربون مثل الجلوكوز فإنه يكون قادرا على إنتاج كميات كبيرة من المواد البلاستيكية Poly-B-hydroxyalkanoate (PHAs)، بحيث تصل نسبة هذه المواد من الوزن الجاف للخلية إلى ٨٠٪، وتم بعد ذلك استخلاص هذه المواد من الخلايا وتحويلها إلى بودرة أو

أقراص تستخدم كمواد بلاستيكية خام ذات مواصفات فيزيائية متفوقة وسعرها منافس وقابلة للتحلل البيئي ميكروبيا، وقد تم فعلا إنشاء بعض المصانع لهذا الغرض في المملكة المتحدة.

المساعدة في خفض نسبة تلوث الهواء

Solving of Air Pollution Problem

إضافة إلى استخدام بعض أنواع الميكروبات في تحليل البقايا الكيميائية وغير الكيميائية الملوثة للبيئة، فإن هناك مجالا آخر من مجالات التلوث الخطيرة والذي يؤمل أن تؤدي البكتريا دورا إيجابيا في التعامل معه، والتقليل من آثاره الضارة والمدمرة إلى حد كبير، ونقصد بذلك مشكلة الأمطار الحمضية الناتجة من ذوبان ثاني أكسيد الكبريت المتصاعد في الجو (من وقود السيارات المحتوي على الكبريت، ومحطات الكهرباء، والمصانع...) في الأمطار وبخار الماء مكونا حمض الكبريتيك، في صورة أمطار حمضية ذات تأثير مدمر على البشرية. وكان الحل المتاح لهذه المشكلة هو إزالة الكبريت من الوقود المستعمل (البترول) قبل استعماله بالطرق الكيماوية، وقد قدرت الاستثمارات التقريبية لإزالة الكبريت من البترول الخام في الولايات المتحدة الأمريكية بالطرق التقليدية بـ ٢٥ مليار دولار، إضافة إلى ٦ مليارات دولار سنويا، مما يعني إضافة جديدة لأسعار الوقود وبالتالي زيادة في أسعار جميع الخدمات والسلع المعتمدة على استعمال هذا الوقود. غير أنه تم أخيرا عزل نوع من البكتريا تسمى *Rhodococcus rhodocrous* والتي تستطيع إزالة الكبريت من البترول الخام دون أن يؤثر على نوعية وتركيب البترول. ويتوقع العلماء أن يتم تحفيز هذه البكتريا على إفراز هذا الإنزيم المسؤول عن إزالة الكبريت من البترول، ومن ثم فصله بكميات تجارية وإضافته إلى البترول الخام بحيث يصبح لدينا إمداد مستمر، وبتكلفة يسيرة لإزالة أحد أهم مسببات تلوث الهواء.

المساعدة على الاكتشافات البترولية وخام الذهب

Oil and Gold Exploration

وجد العلماء أن هناك غازات هيدروكربونية طيارة تتصاعد من التربة التي تختزن في أعماقها احتياطات بترولية، كما أنه تم عزل أنواع من البكتريا التي لها القدرة على استغلال هذه الغازات الطيارة كمصادر غذائية. وقد فكر العلماء في استغلال هذه الظاهرة في المساعدة على الكشف عن البترول بوسائل غير مكلفة، وهو ما أطلق عليه Bioindicator أي المؤشرات الحيوية. فعلى سبيل المثال عند تنمية هذه الأنواع من البكتريا على بيئة محتوية على تربة من المناطق التي يشتبه في احتوائها على مخزون بترولي، فإن البكتريا سوف تنمو فقط في حالة وجود هذه الغازات الهيدروكربونية المتطايرة، أي أن نمو البكتريا يعتبر نتيجة إيجابية مبدئية على وجود البترول، وعدم نموها يعتبر نتيجة سلبية. أما في المناطق التي يشتبه في وجود مخزون خام الذهب فيها، فإنه تم عزل وتقدير نسبة وجود هذا النوع البكتري *Bacillus cereus* في هذه التربة، حيث أثبتت الدراسات الحديثة أن هذا النوع البكتري يوجد بنسبة مضاعفة في عينات التربة القريبة من مناطق خامات الذهب، مقارنة بالعينات من الترب العادية.

ميكروبات البحار Marine Microbes

تمكن العلماء من عزل مركبين على الأقل من بعض أنواع البكتريا المعزولة من الأعماق السحيقة في البحار والمحيطات. وقد أثبتت هذه المركبات قدرة جيدة على مقاومة فيروس الإيدز. غير أن الدراسات على هذه الميكروبات واجهها العديد من الصعوبات بسبب فشل محاولات تنمية هذه الميكروبات في المعمل.

استخدامات أخرى Other Uses

إضافة إلى ما ذكر أعلاه، فهناك استخدامات أخرى لا حصر لها للميكروبات في حياتنا يتوقع أن تتبلور وتصبح حقائق في حياتنا في المستقبل. ومن أمثلتها:

١ - المساعدة في تتبع والقبض على لصوص البنوك باستعمال ميكروبات معينة على أوراق البنكنوت تساعد على تتبع اللصوص.

٢ - استعمال أنواع من البكتريا مثل أنواع الجنس *Halobacterium* في إنتاج بروتينات تستجيب للتيار الكهربائي بطريقة تشبه شرائح الكمبيوتر، وبالتالي يمكن استخدامها في صنع شرائح أصغر حجما.

٣ - استخدام الميكروبات في صناعة الأنسجة وأوراق الطباعة، وبالتالي تخفيض ثمنها بصورة كبيرة، إضافة إلى التحكم في النوعية، حيث يمكن إنتاج ألياف سليولوزية طويلة جدا وذات نوعية متميزة بواسطة النوع البكتيري *Acetobacter xylinum*.

٤ - Biosensors: ويقصد بها تلك الأجهزة الحساسة والتي يدخل في تصنيعها كائنات دقيقة حية ذات حساسية لبعض المواد الكيماوية، ثم ربط هذه الاستجابة الحيوية بنظام قراءة إلكتروني. ويستفاد من هذا النظام في الكشف عن المواد التي توجد بكميات ضئيلة جدا يصعب كشفها بالطرق التقليدية مثل مراقبة تلوث البيئة وفي المجال الطبي. فعلى سبيل المثال فإن السموم الملوثة لمصادر مياه الشرب نتيجة النشاط الأيضي البيولوجي فيها يمكن الكشف عنه بقياس الإشعاعات الضوئية المنطلقة من أنواع البكتريا المضيئة مثل النوع *Photobacterium phosphoreum*، والذي يتم ربطه بجهاز حساس للضوء وشاشة ضوئية توضح شدة الضوء المنبعث، وتستخدم أيضا في قياس تركيز سكر الجلوكوز في مجرى الدم، وتلوث الجو بالملوثات الكيميائية، وتلوث أجواء المعارك العسكرية ببعض الغازات السامة.

المراجع

أولا: المراجع العربية

إبراهيم، ع.م.؛ و ح. العروسي؛ وس. ميخائيل؛ و م.ع. عبد الرحيم (١٩٧٤م). *أمراض النبات*. الإسكندرية: دار المطبوعات الحديثة.

أبو الدهب، م.ك.؛ و م.ع. الجعراني (١٩٧٦م). *البكتريا*. الإسكندرية: دار المطبوعات الجديدة.

أبو الدهب، م.ك.؛ و ح.م. الكشير؛ و س.أ. القزاز؛ و ع.ع. شعيب (١٩٩٧م). *علم البكتيرات*: الجزء الأول. القاهرة: دار المعارف.

أبو زنادة، ح.ع.؛ و م.أ. محمود (١٩٨٥م). *المجهر والنبيات الدقيقة*. الرياض: عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود.

أعضاء هيئة التدريس، قسم وقاية النبات، كلية الزراعة (١٩٩٢م). *أساسيات وقاية المزروعات*. الرياض: عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود.

بودين، أ.ب. (١٩٩١م). *تشخيص الأمراض النباتية*. ترجمة: أبو الهيجاء، ز. و ص. الحسيني. الرياض: الهيئة العربية للكتاب.

توفيق، م.ف. (١٩٩٣م). *المكافحة البيولوجية للآفات الحشرية*. جمهورية مصر العربية: وزارة الزراعة والاستصلاح الزراعي.

جمال الدين، أ.ف.؛ و ع. توفيق و ع. سري و م.م.الزيات (١٩٨٥م). *أمراض المحاصيل البستانية*. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

جوزفين أ. تلدن (١٩٦٧م). *الطحالب وأواصر حياتها (أساسيات علم الطحالب)*، ترجمة: بدور وآخرون. القاهرة: مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر.

الحازمي، أ.س. (١٩٩٢م). *مقدمة في نيماتولوجيا النبات*. الرياض: عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود.

حسن، أ.ع. (١٩٩٤م). *تربية النباتات المقاومة للأمراض والآفات*. القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع.

حسن، ى.م.؛ و ى. والي (١٩٦٩م). *الإشعاع الذري في المجال الزراعي*. القاهرة: دار المعارف.

دانيل، ر. (١٩٨٦م). *أساسيات الأمراض النباتية*. القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع.

روبنسون، آر.كي. (١٩٩١م). *ميكروبيولوجيا الحليب ومنتجاته*. الجزء الأول. ترجمة: المهيزع، أ.؛ و ح. أبو طربوش؛ و ح.الكنهل؛ و أ.أبو لحية؛ و م.البحيري. الرياض: النشر العلمي والمطابع، جامعة الملك سعود.

سالرز، وآخرون (١٩٥٦م). *علم الأحياء الدقيقة*. ترجمة: طه، ص. وآخرون. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

الشيخلي، ج.؛ و أ.ن. محمد (١٩٧٧م). *علم ميكروبيولوجيا الأغذية والألبان*. الرياض: جامعة الرياض.

طرابلسي، أ.ي.؛ و ع.ت. أبو هيلة؛ و ر. الصم (١٩٨٩م). *الأحياء التطبيقية*. المملكة العربية السعودية: وزارة المعارف.

طرابلسي، أ.ي.؛ و ج.س. الشيخلي (١٩٧٩م). *الميكروبيولوجيا العملية*. الرياض: عمادة شؤون المكتبات، جامعة الرياض.

طه، ص. (١٩٧١م). *البكتريولوجيا الزراعية*. القاهرة: المركز القومي للأعلام والتوثيق.

طه، ص.؛ و س.ز. محمود (١٩٦٦م). *ميكروبيولوجيا الأراضي*. القاهرة: دار المعارف.

العروسي، ح. (١٩٧٤م). *غذاء المستقبل من الكائنات الدقيقة*. الرياض: مطبوعات جامعة الرياض.

العروسي، ح.؛ و ع. وصفي (١٩٧٤م). *المملكة النباتية*. الإسكندرية: دار المطبوعات الجديدة.

الزيات، م.ح.؛ و ص. إ. القعيط؛ و ف.م. عبدين (١٩٩٧م). *أهم أمراض أشجار الحمضيات في المملكة العربية السعودية وطرق الوقاية منها ومكافحتها*. المملكة العربية السعودية: وزارة الزراعة والمياه، إدارة الإرشاد والخدمات الزراعية.

محمود، س.ز.؛ و ع. عبد الحافظ؛ و م. الصاوي (١٩٨٨م). *ميكروبيولوجيا الأراضي*. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

محمود، س.ز.؛ و ع. علام (١٩٨٠م). *أمراض النبات البكتيرية والفيروسية*. القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية.

مصطفى، ع.م. (١٩٧٣م). *علم الفيروسات*. الرياض: عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود.

اليحيى، ف.ع.؛ و أ.س. الحازمي؛ و أ.ع. إبراهيم (١٤١٨هـ). *نيماتودا حوصلات الحبوب في المملكة العربية السعودية*. الرياض: مطبوعات مركز الإرشاد، كلية الزراعة، جامعة الملك سعود.

اليحيى، ف.ع.؛ و أ.س. الحازمي؛ و ع.ت. عبد الرازق (١٤١٧هـ). *نيماتودا تعقد الجذور (أو آفة سرطان الجذور)*. الرياض: نشرة إرشادية، كلية الزراعة، جامعة الملك سعود.

ثانيا: المراجع الأجنبية

Agrios, G. N. (1978). *"Plant Pathology"*. USA: Academic Press Inc.

Alexander, M. (1961). *"Introduction to Soil Microbiology"*. New York: John Wiley & Sons. Inc.

Alexander, N.G. and H. Nikaido (1995). *"Microbial Biotechnology: Fundamentales of Applied Microbiology"*. W. H. Freenan Co.

Alexopoulas, C.J. and C.W.Mims (1979). *"Introductory Mycology"*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.

Alexopoulas, C. J., C.W. Mims, M. Blackwell (1996). *"Introductory Mycology"*. 4th ed. New York: John Wiley & Sons.

Brawn, U. (1987). "A Monograph of the Erysiphales (Powdery Meldews)". *Novahedw. **89***: 1-700.

Buchanan, R. E. and E. D. Buchanan (1956). *"Bacteriology"*. New York: The Macmillan, Co.

Cherret, J. M.; J. B. Ford.; I. V. Herbert and A. J. Probert (1971). *"The Control of Injurious Animals"*. England: The English Univ. Press Ltd.

Davis, B. D. (1950). "Non-filterability of the agents of genetic recombination in *E. coli*". *J. Bacteriology*, ***60***, 507 (652).

Dickinson, C. H. and J. A. Lucas (1982). *"Plant Pathology and Plant Pathogen"*. London: Blackwell Scientific Puplications Ltd.

Garbutt, J. W. and A. J. Bautelt (1972). *"Experimental Biology With Microorganisms"*. London: Butterworths.

Fahy, P. C. and G. J. Persley (1983). *"Plant Bacterial Diseases, A Diagnostic Guide"*. New York, London: Academic Press.

Fincham, J. R. S. (1965). *"Microbial and Molecular Genetics"*. England: The English Univ. Press Ltd.

Ford, B. J. (1976). *"Microbe Power, Tomorrow Revolution"*. London: Macdonald & Jane's.

Griffith, F. (1928). "Significance of Pneumococcal types". *England J. Hyg., Cambridge **27***, 113 (574-575).

Hayes, W. (1968). *"Genetics of Bacteria and Their Viruses"*. Blackewell Scientific Puplications.

Henery, D. F. (1984). *"Fundamental of Soil Science"*. New York: John Wiley & Sons.

Ingle, M. R. (1986). *"Microbes and Biotechnology"*. London: Basil Blackwell Ltd.

Kruif, P.D.E. (1953). *"Microbe Hunters"*. New York: Harbrace Paperback Library, Arcourt, Brace & World, Inc.

Kuhnelt, W. (1976). *"Soil Biology"*. Faber and Faber (Publishers).

Lee, Robert Edward (1989). *"Phycology."* 2nd ed. England: Cambridge University Press, Cambridge.

Lenihan, J. and W. W. Fletcher (1975). *"Food Agriculture, and The Environment"*. London: Blackie, Son. Ltd.

Luria, S.E. and J.E.Darnell (1967). *"General Virology"*. New York: John Willey & Sons, Incrop.

Madigons, M.T., J. M. Marlinko and J. Parker (1997). *"Biology of Microorganisms"*. USA: Prentice-Hall Inc.

Mariawo, F. L. and B. H. Rolla (1971). *"Principles of Pathobiology"*. England:. Oxford Univ. Press Publications.

McKane Larry and Kandel Judy (1996). *"Microbiology: Essentials and Applications"*. 2nd ed. USA: McGraw-Hill, Inc.

Meyer, B. S., D. B. Anderson and R. H. Bohning (1960). "Introduction to Plant Physiology". England: D.Van Nostrand Company.

Michael, J., J. Pelczar and E. C. S. Chan (1981). *"Elements of Microbiology"* England: Mc-Graw, Hill. Int. Book Co.

Ministery of Agric. Fisheries and Food (1968). *"Bacteriological Techniques For Dairy Purposes"*. London.

Nemerow, N.L. (1978). *"Industrial Water Pollution"*. Addison-Wesley Publishing Co. Inc.

Old, R. and S. Primrose (1985). *"Principles of Gene Manipilation"*. England: Blackwell Scientific Publication.

Parry, T. J. and R. K. Pawsey (1973). *"Principles of Microbiology for Students of Food Technology"*. England: Hutchinson Educational.

Prescott, L. M., J. P. Hartey and D. A. Klein (1996). *"Microbiology"*. Wm, C. Brown Publishers.

Rangaswami, G. (1966). *"Agriculture Microbiology"*. Bombay: Asia Publishing House.

Robards, A. W. (1968). *"Electron Microscopy and Plant Ultrastructure"*. Buterworth and Co. Publishers, Ltd.

Soythey, J. P. F. (1965). *"Plant Nematology"*. London: Ministry of Agriculture Fisheries, and Food.

Stainer, R. Y., M. Doudroff and E. Adelbeig (1971). *"General Microbiology"*. London, New York: The Macmillan Press Ltd.

Stanley, W. M. (1935). "Isolation of Crystalline Protein Possessing the Properties of the Tobacco-Mosaic Virus". *Science* ***81***, 644-645 (150).

Stevenson, G. (1967). *"The Biology of Fungi, Bacteria and Viruses"*. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd.

Talaro, K. and A. Talaro (1996). *"Foundations in Microbiology"*. 2nd ed. U.S.A.

Tatum, E. L. and Lederberg, J. (1947). "Gene Recombination in Bacteria *Eschrechia coli*". *J. Bact.*, **53:** 673-684.

Tortora, J. G., F. R. Berdell and C. L. Chrstine (1986). *"Microbiology: An Introduction"*. The Benjamin, Cunnings Publishing Co. Inc.

Webster, J. (1980). *"Introduction to Fungi"*. London, New York: Cambridge.

Westphal, A. (1976). *"Protozoa"*. Blackie & Sons Ltd.

Zheng, R.V. (1985). *"Genera of Erysiphales"*. *Mycotaxon, **22:*** 209- 263.

Zinder, N. D. and J. Lederberg (1952). "Genetic exchange in Salmonella". *J. Bacter.* ***64:*** 679.

شرح المصطلحات العلمية
Glossary

A

Acid fast stain	صبغة الصمود للأحماض (صبغة تصبغ بها بعض أنواع البكتريا مثل بكتريا الدرن ولا يمكن إزالتها بالكحول الحامضى).
Acidic tolerant response	رد الفعل المتحمل للحموضة (الميكانيكية الخاصة التى تستطيع بواسطتها بعض أنواع البكتريا موازنة تأثير الحموضة المرتفعة في الوسط الذي تعيش فيه).
Acidophiles	محب للحموضة العالية (الكائنات التى تفضل المعيشة عند رقم حموضة تقل عن ٥,٥).
Active transport	النقل النشط (حركة الجزيئات خلال الغشاء الخلوى في اتجاه معاكس لتركيز الجزيئات في المحلول ويتطلب طاقة تمده بها الخلية).
Adenoviruses	فيروسات غدية.
Adsorbtion sites	مناطق محددة على سطح غلاف الفيروس تدمص على مناطق الاستقبال الموجودة في سطح خلية العائل عند بدء عملية الإصابة الفيروسية.
Aerobic	هوائية (كائنات تحتاج إلى الأكسجين لكى تعيش وتنمو، وهى قد تكون اختيارية أو إجبارية).
Aerotaxis	حساسية تجاه الهواء (الحركة في اتجاه أو بعيدا عن مصدر وجود الأكسجين).
Aerotolerant an aerobic	يطلق على الأحياء الدقيقة التى لا تحتاج إلى الأكسجين لمعيشتها ولكن وجوده لا يثبطها.
Agar	أجار (كربوهيدرات معقدة تنتج من بعض أنواع الطحالب وتستخدم لتنمية الأحياء الدقيقة).

Agglutinate	تلازن (تفاعل بين الأنتيجينات والأجسام المضادة يؤدى إلى شل حركة الأنتيجينات).
Aids: Acquired Immunodeficiency Syndrome	الإيدز (مرض نقص المناعة المكتسبة، وهى أعراض مرضية تنتج عن تدمير الجهاز المناعى في الجسم بواسطة فيروس (HIV) وهو مرض قاتل).
Alfa-Endotoxin	بللورات تتكون داخل الطور الجرثومى لبكتريا *Bacillus thuringiensis* سامة جدا لأنواع من الحشرات وتستخدم في المقاومة الحيوية لبعض الحشرات.
Algin	الجين (منتج طحلبى) يستخدم في التصنيع الغذائى.
Alkalophiles	محب للوسط القلوى (كائنات تفضل النمو في درجات القلوية المرتفعة تزيد عن pH ٨,٥).
Allantoic cavity	التجويف الرهالى (تجويف داخل البيضة الملقحة يحقن فيه الفيروس لإكثاره).
Amphitrichous	خلية بكتيرية ذات سوط واحد عند كل طرف.
Amphoteric	متردد (لوصف نشاط الأحماض الأمينية).
Anabolism	البناء الأيضى (جزء من عملية الأيض يتم فيها بناء جزيئات معقدة من مركبات بسيطة).
Anaerobic	لاهوائية (كائنات لا تحتاج إلى الأكسجين لإتمام نموها ومعيشتها وبعضها يموت في وجود الأكسجين).
Anthridium	خلية تكاثر مذكرة (موجودة في بعض أنواع الفطريات والطحالب).
Antibiotics	مضادات حيوية (مواد كيميائية تفرزها بعض الأحياء الدقيقة وتكون بتركيزاتها المنخفضة ضارة أو قاتلة لكائنات أخرى).
Antibodies	أجسام مضادة (البروتينات التى تفرز داخل الجسم عند دخول أنتجين ولها القدرة على الالتحام معه ووقف تأثيره) وهي إحدى وسائل الجسم الدفاعية.
Antigen	أنتجين (مادة تحفز رد الفعل المناعى عند دخولها إلى داخل الجسم لتكوين أجسام مضادة).
Antisepsis	مطهرات (تقتل الميكروبات ولا تؤثر على النسيج البشرى).
Antiseptic surgery	الجراحة تحت ظروف معقمة.
Apoenzyme	الجزء ذو الطبيعة البروتينية من الإنزيم ولا يمكن أن يعمل بصورة مستقلة.
Apothecia	اسم يطلق على الأجسام الثمرية القرصية (القمعية) الشكل ولها فتحة إلى الخارج والتى تكونها الفطريات الأسكية.

Apportunistic pathogens المسببات المرضية الإنتهازية (وهى الميكروبات غير المرضة تحت الظروف المعتادة ولكنها تتحول إلى ميكروبات مرضية عند غياب المنافسة الطبيعية من قبل أنواع الميكروبات الأخرى التى تقضى عليها المضادات الحيوية دون أن تؤثر على هذه الميكروبات).

Ascocarp الجسم الثمري (تكوين تكاثري عبارة عن مجموعة من الأكياس الأسكية محاطة بغلاف من الهيفات).

Ascogenous hyphae خيوط فطرية خاصة تتكون منها الزقوق.

Ascogonium مولد زقى لوصف الخلايا التى تنشأ منها الزقوق في الخيط الفطرى.

Atrichous بكتريا عديمة الأسواط.

Attenuated اختيار سلالات غير ممرضة (موهنة) من الميكروبات ولكنها قادرة على تحفيز الجهاز المناعي عند حقنها داخل الجسم لتكوين أجسام مضادة.

Autotrophs ذاتية التغذية (الكائنات التي لها القدرة على استغلال غاز ثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون).

Auxochrome الأكسى كروم (العامل المؤين في الصبغة).

Avirulent فاقد القدرة على إحداث المرض.

Axial filament مصطلح يطلق على أسواط البكتريا الحلزونية.

B

Bacterial DNA polymerase إنزيم.

Bacteriocide قاتل البكتيريا (مواد كيميائية تقتل بروتوبلازم البكتريا).

Bacteriostatic موقف البكتريا (مواد كيميائية تبطء نمو البكتريا وتوقفه ولكنها لا تقتلها).

Barophiles محبة للضغط العالي (كائنات لا تستطيع النمو إلا عند درجات الضغط المرتفعة جدا).

Barotolerant متحمل للضغط العالي (كائنات تستطيع تحمل درجات ضغط عالي جدا ولكنها تفضل النمو عند درجات الضغط الجوي العادي).

Basel body الجسم القاعدى (أحد أجزاء السوط البكترى).

Bergis's manual of systemic bacteriology دليل بيرجى لتقسيم البكتيريا.

Bioconversion التحويل الحيوي (في الميكروبيولوجيا الصناعية تستخدم الأحياء الدقيقة لتحويل بعض المواد إلى صور كيميائية جديدة مختلفة في خواصها عن الأصل).

Biodegradation تدهور وتحلل المواد نتيجة النشاط الميكروبى.

Biological Oxygen Demand (BOD)	كمية الأكسجين التي تستهلكها الأحياء الدقيقة الهوائية، وتستخدم كدلالة على كمية المواد العضوية القابلة للتحلل والموجودة في الماء، وبالتالي دلالة على صلاحية الماء للاستعمال.
Bioremidation	العملية التي تستخدم فيها الأحياء الدقيقة في إزالة أو تحويل المواد السامة والضارة في البيئة إلى نواتج غير ضارة.
Biosencors	أجهزة حساسة يدخل في تصنيعها كائنات حية دقيقة ذات حساسية لبعض المواد الكيميائية، ويتم ربط هذه الاستجابة الحيوية بنظام قراءة إلكتروني.
Biosphere	الغلاف الجوي المحيط بالأرض والذي تعيش فيه الكائنات الحية.
Biotechnology	استخدام الكائنات الحية الدقيقة لإنتاج مواد كيميائية تستخدم في الأغراض الصناعية.
Bismuth sulfide agar	بيئة أجار كبريتيد البزموث.
Blooms	يطلق على الترسبات الكبيرة للطحالب في البحار والمحيطات.
Blotter paper	ورق حساس يستعمل لتثبيت عينة من الحمض النووي عند تحليله.
Body lotion	ملطف الجسم.
Botulism	التسمم البوتشيليني (وينتج عن إفراز سموم في الأغذية بواسطة بكتريا *Clostridium botulinum*، وهو تسمم خطير قد يؤدي إلى الموت.
Brucellosis	مرض الحمى المالطية الذي تسببه بكتريا بروسيللا وينتقل إلى الإنسان عن طريق الحليب من الحيوانات المريضة.
Buff balls	الكور المنتفخة (نوع من الفطريات البازيدية).
Bulk transport	الانتقال الجماعي (للمواد الصلبة الكبيرة خلال الغشاء وهي إحدى صور التغذية في الأوليات).
Bullet-shaped	شكل يشبه الرصاصة (شكل للفيروسات).

C

Capsid	الغلاف البروتيني للفيروس والذى يحيط بالحمض النووى.
Capsomers	كبسومرز (وحدات بروتينية تكون الغلاف البروتينى للفيروس).
Cardinal temperature	النطاق الحرارى (لكل كائن حى نطاق حرارى يعيش فيه يحدد بدرجة عليا ودرجة دنيا ودرجة مثلى).
Carnivors	آكلات اللحوم (الكائنات التى تتغذى على اللحوم).

Catabolism عملية الهدم (إحدى صور عمليات الأيض داخل الخلية والتى من خلالها تهدم المواد الغذائية للحصول على الطاقة).

Chemoautotrophs كيميائية ذاتية التغذية (الكائنات التى تستخدم مواد غير عضوية كمصدر للطاقة وثاني أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون).

Chemoreceptors مستقبلات كيميائية (جزيئات بروتينية خاصة توجد في جدر وأغشية خلايا البكتريا).

Chemotaxis حركة الكائن الحى الدقيق في اتجاه أو بعيدا عن المواد الكيميائية (الحساسية الكيميائية).

Chemotrophs كيميائية التغذية (تحصل على طاقتها من التفاعلات الكيميائية الداخلية).

Chick embrio culture بيئة جنين الكتكوت، وهى من البيئات المستعملة لتنمية وإكثار الفيروسات.

Chorioalloni membrane الغشاء المنبارى الكريولى، وهو غشاء يحيط بالجنين في البيضة الملقحة يحقن فيه الفيروس لإكثاره.

Chromophore حامل الصبغة (العامل الذى يعطى للمادة لونها المميز).

Chromosome كروموسوم (الجزء داخل النواة الذى يحمل الجينات وهو مسؤول عن نقل الصفات الوراثية).

Cleistothecia اسم يطلق على الأجسام الثمرية المغلقة الكروية الشكل والتى تكونها الفطريات الأسكية.

Cloned genes جينات الخلية الملتحمة مع الجينات الغريبة التى تم إدخالها إلى الخلية بواسطة تقنية الهندسة الوراثية لإكسابها صفات جديدة.

Co- enzyme المرافق الإنزيمى (الجزء غير البروتيتنى من الإنزيم) .

Co-enocytic structure تركيب مدمج خلوى (يطلق على الخيوط الفطرية غير المقسمة).

Coli phage أحد أنواع الفيروسات البكتيرية التي تصيب بكتريا *E.coli* وهو من أكثر الفيروسات التى خضعت للدراسة.

Colonies تجمعات ظاهرة للعين المجردة لخلايا بكتيرية على بيئة صلبة تكون ناشئة عن انقسام نفس خلايا النوع.

Cometabolism التحول الأيضى (الغذائى) داخل الخلية لمادة معينة بينما تعمل مادة أخرى كمصدر للطاقة أو الكربون لإتمام هذه العملية.

Compatable solution محلول متوافق (المحلول الذى يتجمع داخل السيتوبلازم لموازنة التأثير الاسموزي للخلايا التي تنمو في محاليل عالية التركيز).

Compost البيئة الغذائية المعدة للزراعة (وهى خليط من التربة والسماد بنسب معينة).

Conifers مخروطيات (أحد أقسام المملكة النباتية).

Conjugation الأقتران (انتقال المادة الوراثية من خلية لأخرى عن طريق التلامس بين الخلايا).

Contractle sheath غلاف منقبض (في ذيل البكتريوفاج).

Covalent bonds الروابط التكافلية (روابط كيميائية غير أيونية تتكون باشتراك الإلكترونات من ذرتين مختلفتين.

D

Damping-off مرض الخناق (يصيب البادرات الصغيرة ويؤدي إلى رقادها وموتها ويسببه فطر *Pythium*).

Decimal reduction time الزمن اللازم لحفظ عدد الأحياء الدقيقة إلى ٠,١ من عددها الأصلي في بيئة معينة.

Decline phase الطور الهابط لوصف أحد مراحل منحنى نمو البكتريا (وعندها تسوء ظروف البيئة ويموت عدد أكبر من الخلايا).

Dehydrogenase الإنزيم الخاص بإزالة الأيدروجين.

Dermonotrophic virus فيروسات الجلد.

Desmids من الطحالب الخضراء وحيدة الخلية.

Dessication سحب الماء (تجفيف).

Diatomite ترسبات في البحار والمحيطات من الطحالب الدياتومية.

Diffraction interference microscope المجهر المتفاوت التداخل.

Dikariotic ميسيليوم ثنائي (ناتج من اتحاد خيطين ميسيليوم متوافقين وراثيا) ويصبح قادرا على الإصابة.

Disease cycle دورة المرض ويقصد بها سلسلة التغيرات التي تحدث أثناء فترة تطور المرض بما في ذلك أطوار المسبب المرضي وتأثير المرض على العائل.

Disrupt يقطع (يقاطع).

DNA (Desoxy ribo nucleic acid) حامض نووي يتكون من (قاعدة + سكر خماسي + فوسفور) ويوجد بنسبة عالية في نواة الخلية.

Dormant كامن (تظل الخلايا حية ولكن لا يمارس الكائن أي نشاط لفترة من الزمن).

Dry heat sterilization التعقيم بالهواء الجاف.

E

Ectodesmata فتحات خاصة على جدر خلايا النبات تلعب دورا في امتصاص الماء والمواد الغذائية وتدخل منها الفيروسات.

Electromagnetic كهرومغناطيسى (توليد مجال مغناطيسى باستخدام طاقة كهربائية).

Endoenzyme إنزيم داخلى (إنزيمات تفرزها الخلية داخليا في عمليات الأيض).

Enriched culture مزارع مدعمة (استخدام بيئات اختيارية وظروف تحضين خاصة لعزل الكائنات الحية الدقيقة مباشرة من العينات الطبيعية).

Ergometrin أرجومترين (مواد سامة شديدة القلوية توجد في الأجسام الحجرية لبعض أنواع الجنس الفطري كلافيسبس وتسبب مرض الأرجوت للماشية عند تناولها مع الأعشاب المصابة).

Ergot أرجوت (مرض للماشية ينتج عن تناول طعام يحتوي على حبوب ملوثة بجراثيم الفطر *Claviseps purpurea*).

Ergotoxin أرجوتوكسين (مواد سامة شديدة القلوية توجد في الأجسام الحجرية لبعض أنواع الجنس الفطري كلافيسبس وتسبب مرض الأرجوت للماشية عند تناولها مع الأعشاب المصابة).

Estrogen أستروجين (هرمون تفرزه بعض أنواع البكتريا).

Eucaryotic كائنات ذات نواة متطورة.

Evolationary adaptation التأقلم التطوري (لوصف عمليات التطور التى حدثت للكائنات الحية لكي تؤقلم نفسها مع التغير الحاصل لبيئاتها على مر الزمن).

Exonzeymes إنزيمات خارجية (يفرزها الميكروب في الخارج لتحليل مكونات البيئة التى يعيش فيها).

Exosporium طبقة رقيقة جدا تحيط بالجرثومة من الخارج.

Exponential phase الطور النشط (أكثر أطوار منحنى النمو البكتيرى نشاطا).

Eye spot النقطة العينية (توجد في بعض أنواع الأوليات).

F

Faculatative اختياري (لوصف الكائنات التي لا يتأثر نموها بوجود أو غياب عامل بيئي معين مثل الأكسجين).

Ferns سرخسيات (أحد أقسام المملكة النباتية ـ نباتات بدائية).

Fertility plasmids بلازميدات الخصوبة (توجد في خلايا البكتريا حيث يحول الخلية البكتيرية إلى خلية مانحة في عملية نقل الصفات الوراثية).

Flagillin	الوحدات البروتينية المكونة للجزء الخيطى من السوط البكتبرى.
Flat-sour	صورة من صور فساد المواد الغذائية المعلبة.
Flora	فلورا (مصطلح يطلق على الكائنات الحيوانية التى تستوطن منطقة معينة) .
Fluorescent antibody technique	تقنية الأجسام المضادة الفلورسينية.
Fluorescent isothiosyonate (FICT)	فلوريسين أيزوسيونات.
Fluorescent isothiosyoriate	فلوريسين أيزوثيوثيوريات
Fluorescent substrate	مادة فلورسينية.
Fragmentation	التفتت (صورة من صور التكاثر في الطحالب الخيطية).
Fungistatic	مثبطات للفطريات (لا تقتل الفطريات ولكن توقف نموها).

G

Gametes	أمشاج (في البروكاريوتيك- الخلية الجرثومية أحادية الصبغة التي تنشأ عن الانقسام الاختزالي).
Gasohol	نوع من الوقود يتكون من خليط من الكحول + البنزين بنسبة ١ : ٩.
Gelatine plate technique	تقنية أطباق الجيلاتين (طريقة تنمية الميكروبات على أطباق الجيلاتين والتى اقترحها روبرت كوخ عام ١٨٨٢م واستخدمت بنجاح في العديد من الدراسات في مجال الميكروبيولوجيا.
Generalized transduction	نقل المادة الوراثية من بكتريا إلى بكتريا أخرى بواسطة البكتيروفاج.
Generation time (doubling time)	الزمن الجيلى (الزمن اللازم لكى تتم الخلية انقسامها أو يضاعف عدد خلايا المستعمرة) .
Germ theory of disease	نظرية المرض الجرثومية (النظرية التى أثبتت أن المرض ينشأ عن كائنات حية دقيقة وقد وضعها العالم روبرت كوخ).
Germicide	قاتل للجراثيم (مواد كيميائية تستخدم في التعقيم).
Gliding	انزلاق (لوصف إحدى طرق حركة البكتريا بدون أسواط).
Globuline gamma	مصل يستخدم لمنع ادمصاص الفيروس على سطح خلية العائل.
Growth curve	منحنى النمو (منحنى يوضح العلاقة بين لوغاريتم عدد خلايا البكتيريا والزمن).

H

Halophiles	محب للملوحة (كائنات تفضل النمو في الأوساط ذات الملوحة المرتفعة).

Haploid أحادي الصبغة (تحتوي على نسخة واحدة من كلا نوعي الكروموسومات عند الانقسام).

Hemolytic anemia فقر الدم.

Hetero gamy تزاوج أمشاج مختلفة.

Heterocaryotic لوصف الميسيليوم (في الفطريات الأسكية) الذي ينشأ من جرثومة متعددة الأنوية.

Hexomers البروتينات الموجودة في زوايا الغلاف البروتيني المحيط بالحمض النووي في الفيروسات عديدة الأوجة Helical.

Holoenzyme التركيب الإنزيمي الكامل بجزأيه البروتيني وغير البروتيني.

Homocaryotic لوصف الميسيليوم (في الفطريات الأسكية) الذي ينشأ من جرثومة وحيدة النواة.

Host عائل (الكائن الذي يعيش عليه أو بداخله الطفيلي ويسبب له المرض).

Hyberdizatian تكوين مناطق اتصال بين الأحماض النووية المتوافقة من مصادر مختلفة وتكوين أحماض نووية مزدوجة جديدة.

Hydrological cycle يقصد بها دورة المياه في الطبيعة من تبخر المياه وتحولها إلى سحب ثم سقوط الأمطار... وهكذا.

Hyperthermophils البكتريا المحبة للحرارة العالية جدا (درجة نموها المثلى ٨٠°م أو تزيد).

Hypertone لوصف الحالة عندما يكون تركيز المحلول في الخارج أعلى من التركيز داخل الخلية.

Hypotonic عندما يكون تركيز المحلول خارج الخلية منخفضا مقارنة بالتركيز داخلها.

I

Icosohedral إيكوزوهيدرال (لوصف الشكل الظاهري للفيروسات عديدة الأوجه الذي له ٢٠ وجه).

Inactivated مثبط (تم إضعاف فعاليته بفعل عوامل فيزيائية أو كيميائية).

Inciniration التعقيم بالحرق (من طرق التعقيم يتم بواسطتها حرق المادة الملوثة وتحويلها إلى رماد).

Inoculum اللقاح (العدد المبدئي من الميكروبات الذي يتم تلقيح البيئة به).

Intercellular بين خلوي (يقصد به نمو الخيوط الفطرية للفطر الطفيلي بين الخلايا).

Intracellular داخل الخلايا (يقصد به نمو الخيوط الفطرية للفطر الطفيلي داخل الخلايا).

Involution نمو غير طبيعي (في البكتريا).

Iso-electric point نقطة التعادل الكهربي (يكون فيها عدد الشحنات الموجبة مساويا للسالبة في البيئة).

Isotonic عندما يكون تركيز المحلول خارج الخلية وداخلها متساويا.

K

Koch postulates فروض كوخ (خطوات تتبع لتأكيد الإصابة المرضية بمكروب معين).

Kophotrichous بكتريا ذات كتلة من الأسواط عند كل طرف.

L

Latent period فترة سكون (للفيروس داخل الخلية قبل بدء نشاطه).

Log phase الطور التمهيدي (المرحلة الأولى من منحنى النمو البكتيري وهي مرحلة الأقلمة على الظروف البيئية الجديدة).

Lyophilization (Freez drying) الحفظ بالتجفيف مع التجميد (تجفيد) وهو تجفيف المادة بسرعة عندما تكون المادة في حالة تجمد.

Lysogeny لوصف عملية التعاون بين الحمض النووي الفيروسي وحمض خلية العائل وانتقال الحمض النووي الفيروسي إلى الأجيال البكتيرية التالية.

Lysomal proteases إنزيم خاص يقوم بتحليل وإزالة الغلاف البروتيني للفيروس.

Lysosome فقاعات صغيرة داخل الخلايا تحتوي على إنزيمات محللة.

Lysozyme ليسوزيم (إنزيم يحلل جدر خلايا البكتريا وذلك بتحليلها لمركب الببتيدوجلايكان) ويوجد في أغلب إفرازات الجسم.

Lytic cycle دورة التحليل (يطلق على الإصابة الفيروسية التي تنتهي بتحليل خلية العائل).

M

Macrocyclic rusts أصداء ذات دورة حياة طويلة (بها أكثر من عائل) لوصف أمراض الأصداء التي تصيب النجيليات.

Meat broth بيئة مرق اللحم، وهي من البيئات السائلة لتنمية البكتريا.

Meningitis الحمى الشوكية (التهاب الغشاء السحائي)، وهو مرض بكتيري يصيب مخ الإنسان أو عموده الفقري.

Mesophiles البكتريا المحبة لدرجة الحرارة المتوسطة حوالى ٣٧°م. .

Mesosome الميزوزوم (ثنية إلى الداخل في الغشاء السيتوبلازمي) لخلايا البروكاريوتك وتلعب دورا في تكوين الجدار الخلوي.

Messenger مرسل RNA (الدور الذى يلعبه DNA الفيروسى فى حال حقنه داخل خلية العائل).

Metabolism الأيض (التمثيل الغذائي) وهو محصلة كافة العمليات الكيميائية التي تتم داخل خلية الكائن الحى.

Metachromatine ميتاكروماتين (حبيبات فوسفاتية مخزنة في خلية البكتريا).

Methane غاز الميثان (أحد نواتج تحلل الهيدروكربونات النفطية).

Microaerophilic الكائنات التي تحتاج الأكسجين بنسب تقل عن الكمية الموجودة في الهواء الجوي لكي تنمو.

Minerilization عملية المعدنة (تحويل المواد العضوية إلى صورة غير عضوية، وهي عملية تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة).

Mitosis انقسام غير مباشر للخلايا.

Monera مملكة المونيرا، وهي إحدى الممالك الخمس في تقسيم ويتكر، وتضم كائنات وحيدة الخلية بدائية النواة.

Monolayer tissue culture مزرعة نسيجية وحيدة الطبقة (إحدى طرق عزل وإكثار الفيروسات).

Monotrichous بكتريا ذات سوط واحد في أحد طرفيها.

Mosses الحزازيات، وهى أحد أقسام المملكة النباتية وتضم نباتات بدائية.

Multilayer عديد الطبقات.

Mycelia sterillia الميسيليوم العقيم.

Mycelium الغزل الفطرى (مجموعة خيوط فطرية متداخلة تكونها فطريات العفن).

Mycoplasma الميكوبلازما (كائنات دقيقة وسط بين البكتريا والفيروسات).

Mycorrhiza الميكورايزا (فطريات متكافلة مع جذور بعض النباتات).

N

Natural acquired immunity المناعة الطبيعية المكتسبة (المناعة التى يكتسبها الجسم ضد ميكروب معين نتيجة إصابة سابقة بالميكروب.

Neurotrophic virus فيروسات الأعصاب.

Neutrophiles محب للوسط المتعادل (لوصف الكائنات التى تفضل النمو في الأوساط المتعادلة).

Nitrification النترتة (ويقصد به العملية التي يتم بها تحويل النتروجين الداخل في تركيب الأمونيا إلى نترات ونتريت).

Noformacin مضاد حيوي له القدرة على منع تكاثر فيروس تبرقش الدخان.

Non-photosynthetic غير تمثيلية ضوئية.

Nucleotide اللبنة الأساسية المكونة للحمض النووي DNA أو RNA، وتتكون من (قاعدة + سكر خماسى + فوسفور).

O

Oogamy لوصف عملية التكاثر الجنسى في الطحالب الراقية باتحاد خلية مؤنثة وأخرى مذكرة.

Oogonium خلية تكاثرية أنثوية (توجد في بعض أنواع الفطريات والطحالب).

Optimum الحد الأمثل (الذى تكون عنده الظروف أكثر ملائمة).

Osmophiles لوصف الكائنات التى تستطيع العيش في المحاليل عالية التركيز.

Overwintering بيات شتوى (وهو القدرة على الدخول في حالة كمون طوال فترة الشتاء، ثم يعاود الكائن نشاطه بعد انتهاء فصل الشتاء).

P

Pall meloid كتل جيلاتينية متجمعة من خلايا الطحالب نتيجة لعملية الانقسام المستمر.

Parasite طفيلي (كائن يعيش على أو داخل كائن حي أخر يحصل منه على غذائه. وتنتج عن ذلك ظاهرة المرض).

Pathogenicity القدرة على إحداث المرض.

Pebrine مرض معد يصيب دودة القز ويسببه نوع من الأوليات يسمى *Nosoma bombycis* ويطلق أيضا على مرض مشابه يسببه الفطر *Botrytis bassiana*.

Pellicle طبقة شبه صلبة تقع تحت الغشاء البلازمى في كثير من أنواع البروتوزوا والطحالب.

Pentomers الوحدات البروتينية على الأوجه المسطحة للفيروس في الغلاف البروتينى.

Peptidoglycen ببتيدوجلايكان (طبقة صلبة في جدار خلايا بعض أنواع البكتيريا تتكون من N-acetyle glucosamine, N-acetyl muramic acid مرتبة في طبقات متعامدة متصلة بعضها مع بعض بواسطة سلاسل من الأحماض الأمينية.

Periplastic space فراغ بيني (بين جدار الخلية والغشاء السيتوبلازمي في خلايا البكتريا السالبة لصبغة جرام).

Perithecia اسم يطلق على الأجسام الثمرية القارورية (الدورقية) الشكل.

Peritichous بكتريا محيطية الأسواط (يوجد العديد من الأسواط تحيط بالخلية من جميع الجوانب).

pH مصطلح لقياس درجة حموضة السائل، ويساوي "اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول".

Phagocytosis ظاهرة الالتهام (التهام الخلية للمواد الصلبة) مثل التهام الأميبا لخلايا البكتريا في البيئات المائية.

Phagotrophic يطلق على الكائنات التى تتغذى بالتهام الطعام الصلب من بيئتها وتكوين فقاعات تحيط بالطعام داخل الخلية.

Photoautotrophs ضوئية ذاتية التغذية (كائنات تستخدم الضوء كمصدر وحيد للطاقة وثانى أكسيد الكربون كمصدر وحيد للكربون).

Photosynthetic تمثيلية ضوئية (الكائنات التى تحول ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية).

Phototaxis حساسية تجاه الضوء (الحركة في اتجاه مصدر الضوء).

Phototocitice حركة الخلية تجاه الضوء.

Phytoplankton لوصف الكائنات النباتية التمثيلية التى تعيش في البيئات المائية في المناطق التى يصلها الضوء.

Pili بيلى(هدب على جدار خلية البكتريا)، وهى خيوط صغيرة تنتشر على سطح خلية البكتريا وتلعب دورا في التصاق البكتريا بالسطوح الصلبة وفي انتقال الصفات الوراثية أثناء عملية الاقتران.

Plantarum Genera اسم الكتاب الوافي الذي ألفه مؤسس علم الفطريات العالم الإيطالي Pier Antoia Micheli.

Plasma clot culture مزرعة بلازمية تجلطية (لتنمية الفيروسات).

Plasmids حمض نووى دائرى الشكل يوجد داخل الخلية بصورة مستقلة عن الكرموسوم.

Plasmodia بلازموديوم (طور أميبي) وهي كتلة بروتوبلازمية عديدة الخلايا تكونها الفطريات اللزجة (Plasmodium).

Pleomorphism بليومورفزم (ظاهرة تغير الأشكال).

Poly-B-hydroxyalkamoate (PHAS) مواد بلاستيكية تنتجها بعض أنواع البكتريا عند تنميتها على بيئات خاصة وتصل نسبتها من الوزن الجاف للخلية إلى ٨٠٪.

Polyhedral عديد الأوجة (لوصف شكل الفيروس).

Polysaccharide جزيئات سكرية عديدة مكونة من تكرار عدد من السكريات الأحادية.

Polyviruses الفيروسات المتعددة.

Powdery meldew البياض الدقيقي (مرض فطري يصيب مدى واسعا من العوائل النباتية).

Primary treatment معادلة أولية (فصل أغلب المواد الصلبة من مخلفات الصرف الصحى في المرحلة الأولية من معاملتها).

Probes عينات (يقصد بها هنا عينات الحمض النووي).

Procaryotic بروكاريوتيك (كائنات حية ذات نواة بدائية).

Progametangia خلية أمشاج بدائية.

Progestron هرمون بروجسترون.

Protista بروتستا (الطلائعيات) مملكة تضم كائنات حية دقيقة.

Psycrophiles البكتريا المحبة لدرجة الحرارة المنخفضة (تقل عن ٢٠°م).

Pyrenoid مركز تخزين النشا (في الطحالب).

Pyruvic decarboxylase الإنزيم الخاص بإزالة مجموعات الكربوكسيل من حمض البيروفيك.

R

Rabies داء الكلب (مرض فيروسى يصيب الإنسان).

Receptor sites مناطق استقبال (مناطق من جزيئات محددة على سطح الخلية يلتصق عليها الفيروس عند بدء الإصابة).

Receptors destroying enzymes (RDE) إنزيمات تستعمل لتدمير مناطق استقبال الفيروسات على سطح الخلايا.

Recombination إعادة التوصيل (تستعمل لوصف عملية وصل قطعتين من الحمض النووى DNA من مصادر مختلفة).

Resistance يقصد به مقاومة الجسم المتخصصة وغير المتخصصة ضد المرض، أيضا عدم حساسية الميكروب للمضادات الميكروبية.

Resolving (Resolution) power قوة التمييز (الإيضاح) وهى القدرة على تمييز شيئين متجاورين بصورة محددة وواضحة وتستخدم لوصف كفاءة المجاهر.

Rhematoid arthritis روماتيزم التهاب المفاصل.

Rheumatism الروماتيزم.

Rhizosphere المنطقة المحيطة مباشرة بجذور النبات، وهي أنشط منطقة ميكروبيا، ويطلق عليها المنطقة (الجذر محيطية).

Rickettsia الركتسيا (كائنات دقيقة وسط بين البكتريا والفيروسات).

Rocky mountain spotted fever حمى الجبال الصخرية المنقطة تسببها الركتسيا.

Roller tube culture مزرعة الأنبوبة اللفافة (المدحرجة) من طرق تنمية إكثار الفيروسات.

S

Sclerotia الجسم الحجري (نسيج فطري صلب يتكون من قشرة خارجية صلبة ونخاع داخلي برنشيمي قادرة على مقاومة الظروف الصعبة لمدة طويلة والبقاء حية).

Secondry treatment معاملة ثانوية (التحلل البيولوجى للمواد العضوية في مخلفات الصرف الصحى بعد المعاملة الأولية).

Sewage waste water كامل مخلفات الاستعمال المنزلي والصناعي التي تذهب إلى شبكة الصرف الصحي من الحمامات والمصانع وكافة الاستعمالات المنزلية.

Sexually compatable متوافق جنسيا.

Sheath أغلفة أنبوبية صلبة تحيط ببعض أنواع البكتريا.

Shelf fungi فطريات الأرفف (من أنواع الفطريات البازيدية).

Simple diffusion الانتشار البسيط (إحدى صور انتقال السوائل خلال الغشاء الخلوي بفعل الظاهرة الإسموزية).

Single cell protein (SCP) بروتين وحيد الخلية (البروتين المستخرج من الخلايا الميكروبية لاستخدامه كمصدر غذائي للإنسان والحيوان).

Slime molds أعفان لزجة (كائنات غير تمثيلية تتميز ببعض صفات الفطريات وبعض صفات الأوليات في تكوين الكتل البروتوبلازمية المتحركة المسماه بلازموديوم).

Smear غشاء (يستعمل هنا لوصف الغشاء البكتيري الذي يحضر على الشريحة قبل صبغها).

Soil flora يقصد بها جميع الكائنات الحيوانية التي تستوطن التربة.

Spawn الكتل التنموية المحتوية على الجراثيم التي تستعمل لزراعة فطر عيش الغراب.

Spikes نتوءات بروتينية على سطح بعض الفيروسات المغلفة.

Spontanious generation (obiogenesis) التوالد الذاتي (نظرية نشأت عقب اكتشاف الأحياء الدقيقة لوصف نشأة الحياة من مواد غير حية).

Spontaneous induction لوصف عملية انفصال الحمض النووي للفيروس عن كروموسوم خلية العائل وبدء عملية التكرار المعتادة.

Sporodochies (sporodochium) وسادة أسبورية (انتفاخ يحتوي على هيفات حاملة للجراثيم الكونيدية).

Stage micrometer شريحة ميكروميترية مقسمة إلى وحدات صغيرة تقاس بالميكرون، وتوضع على مسرح المجهر.

Stalk خيوط جيلاتينية تكونها بعض أنواع البكتريا في جهة واحدة.

Standard condition الظروف السائدة (المعتادة).

Stationary phase الطور الثابت (في منحنى النمو البكتيري طور ركود).

Steroids الستيرويدات (مركبات كيميائية، لبيدات رباعية الحلقات تلعب دورا في توازن الغشاء الخلوي).

Stink horms القرون العفنة (من أنواع الفطريات البازيدية).

Stock culture collection المجموعة المزرعية الإحتياطية.

Stoichiometrical properties خصائص التكافؤ.

Stolens نموات فطرية يكونها الفطر لتثبيت نفسه على البيئة.

Strigmata زوائد توجد أعلا الحوامل الكونيدية وتحمل بدورها سلسلة من الجراثيم الكونيدية.

Stroma الوسائد الهيفية (كتلة من نسيج فطري متصلب يوجد داخلها عدد من الأجسام الثمرية كما هو الحال في فطر الأرجوت).

Substrate المادة التي يعمل عليها الإنزيم.

Sulpher granules حبيبات كبريت (من الحبيبات المخزنة داخل خلايا البكتريا).

Symbiosis تكافل (تبادل منفعة بين كائنين يمد كل منهما الآخر بمواد غذائية يحتاجها ولا يستطيع تكوينها بنفسه).

Synnema ضفيرة كونيدية (كتلة من الجراثيم الكونيدية الرطبة والجافة محمولة على قائم من الحوامل الكونيدية.

T

Three dimension ثلاثى الأبعاد.

Toodstoole مصطلح يطلق على أنواع عيش الغراب (المشروم) السامة.

Toxins السموم التى تفرزها البكتريا والفطريات وتلعب دورا في إحداث المرض.

Transduction التحويل (إحدى صور نقل الصفات الوراثية في البكتريا عن طريق عامل وسيط).

Transformation التوصيل (إحدى صور نقل الصفات الوراثية في البكتريا بدون عامل وسيط).

Transgein plants النباتات التى تنتج من تقنية الهندسة الوراثية بإدخال جينات وراثية جديدة فيها.

Trophic الطور الخضرى في الأوليات (عكس الطور المتحوصل).

U

Unglazed porcelain بورسالين غير مصقول.

V

Vaccine لقاح (ميكروب مضعف أو سموم غير قادرة على إحداث المرض، ولكن تكون قادرة على تحفيز الجهاز المناعي للجسم للدفاع ضد السبب المرضي).

Vesicles حويصلات (مستودعات صغيرة)داخل الخلايا.

Virion الفيروس الخامل خارج الجسم ويتكون من حمض نووى محاط بغلاف بروتينى.

Viropexis مجموعة فيروسات محتواة داخل خلية العائل بواسطة ظاهرة الالتهام.

Virulent يطلق على المسبب المرضي ذي القدرة الإمراضية العالية.

Virus الفيروس النشيط عندما يكون داخل خلية العائل ويكون من حمض نووي فقط DNA أو RNA.

Volutine فوليوتين (نيتروجين مخزن داخل خلايا البكتريا).

Volunrable معرض للإصابة.

X

Xenobiotics مركبات كيميائية لا توجد أصلا في الطبيعة ويتم تركيبها وتصنيعها كيميائيا في المعامل أو المصانع.

X-ray analyser محلل الأشعة السينية (جهاز لتحليل صور الأشعة السينية).

Z

Zonation تحديد المناطق.

Zooglea مجموعة من الخلايا تحيط بها كبسولة واحدة.

Zooplankton لوصف الكائنات الحيوانية الصغيرة للبروتوزوا التي تعيش في البيئات المائية، وتتغذى على الكائنات التمثيلية وعلى بعضها البعض.

Zygot خلية ثنائية الصبغة تنتج من اتحاد خليتين جنسيتين كل منها أحادية الصبغة (ويطلق عليها اللاقحة أو الخلية الملقحة).

ثبت المصطلحات

أولا: عربي – إنجليزي

أ

إبرة تلقيح	Inoculation needle (loop)
أبو إنزيم	Apoenzyme
أجار	Agar
أجار الدم	Blood agar
أجار كبريتيد البزموث	Bismuth sulfide agar
أجار ماكونكي	MacConkey agar
أجار ملح المانيتول	Mannitol salt agar
إجبارية التطفل	Obligate parasite
أجسام ثمرية	Fruiting bodies
أجسام مضادة	Antibodies
أحادي الجنس	Unisexual
أحادي الصبغة	Haploid
أحادي الطبقة	Monolayer
أحادية النواة	Monocaryon
الاحتياجات الحيوية من الأكسجين	Biological oxygen demand (BOD)

Nutritional requirements	الاحتياجات الغذائية
Biosensors	الحساسات الحيوية
Amino acids	أحماض أمينية
Presumptive test	اختبار احتمالي
Phosphatase test	اختبار الفوسفاتيز
Eijkman test	اختبار إيكمان
Confirmed test	الاختبار التأكيدي
Completed test	الاختبار التكميلي
Penitration	اختراق
Selective (Facultative)	اختياري
Spontaneous induction	إدخال ذاتي
Adsorption	ادمصاص
Ergot	إرجوت
Ergotoxin	إرجوتوكسين
Ergometrin	إرجومترين
Degerming	إزالة الجراثيم
Salting-out	إزالة ملحية
Methylene blue	أزرق الميثيلين
Aspertate	أسبرتيت
Sporangia	أسبورانجيا (جمع)
Sporangium	أسبورانجيوم (مفرد)
Cellulose esters	استرات السليولوز
Bloody diarrhea	الإسهال الدموي
Axial filament	أسواط البكتريا الحلزونية
Ethanol acetone	الأسيتون الإيثيلي

Aeciospores	أسيوسبورز
Rhizoids	أشباه جذور
Radiation	إشعاع
Non-ionizing radiation	أشعة غير مؤينة
UV radiation	أشعة فوق بنفسجية (ضوء فوق بنفسجي)
Lichens	أشنات
Macrocyclic rusts	أصداء ذات دورة حياة طويلة
Macrocycle rust	أصداء طويلة الدورة
Shellfish	الأصداف السمكية
Chlorosis	اصفرار
Brightness	إضاءة
Darkness	إظلام
Recombination	إعادة التوصيل
Organs	أعضاء
Molds	أعفان (العفن)
Slime molds	أعفان لزجة
Membrane filter	أغشية ترشيح
Sheath	أغلفة أنبوبية
Conjugation	الاقتران
Ectodesmata	اكتوديزماتا
Ochromones	أكرومونس (من الطحالب)
Oxidation	أكسدة
Auxochrome	الأكسى كروم
Carnivores	آكلات اللحوم
Asci	أكياس أسكية

Zoosporongia	أكياس الجراثيم الهدبية
Hepatitis	التهاب الكبد الفيروسي (التهاب الكبد الوبائي)
Algin	ألجين (منتج طحلبي)
Alpha-endotoxin	ألفا - أندوتوكسين
Pseudopodia	الأمبيات
Rust diseases	أمراض الأصداء
Hyperplastic disease	أمراض التضخم
Smut diseases	أمراض التفحم (التفحمات)
Necrosis diseases	أمراض التقرح
Wilt diseases	أمراض الذبول
Gametes	أمشاج
Amoebae	الأميبا
Immunifluorescence	أمينوفلورسين
Germ tubes	أنابيب جرثومية
Antigen	أنتجين
Osmosis	الانتشار الإسموزي
Simple diffusion	الانتشار البسيط
Facilitated diffusion	الانتشار بالساعدة
Bulk transport	الانتقال الجماعي
Anthrax	الأنثراكس
Anthridium	أنثريديم
Gliding	انزلاق
Amylase	إنزيم أميليز
Protease	إنزيم بروتيز
Polypeptidase	إنزيم بولي ببتيداز

Bacterial DNA polymerase	إنزيم بوليميريز بكتيري
Endoenzyme	إنزيم داخلي
Dipeptidase	إنزيم داي ببتيديز
Decarboxylase	إنزيم ديكربوكسيليز
Dehydrogenase	إنزيم ديهيدروجينيز
Cellulase	إنزيم سليوليز
Carboxylase	إنزيم كربوكسيليز
Lysozyme	إنزيم ليسوزيم
Lysomal proteases	إنزيم ليسومال بروتيز
Maltase	إنزيم المالتيز
Nitrogenase	إنزيم نيتروجينيز
Urease	إنزيم اليوريز
Enzymes	إنزيمات
Exoenzymes	إنزيمات خارجية
Deaminases	إنزيمات دي أمينيز
Denitrification	انطلاق الأزوت
Influenza	الأنفلونزا
Fission	انقسام
Binary fission	انقسام ثنائي
Transverse binary vision	الانقسام الثنائي المستعرض
Mitosis	انقسام غير مباشر
Multiple-fission	انقسام متعدد
Meiosis	انقسام النواة اختزاليا (انقسام اختزالي)
Indigenous bacteria	الأنواع البكتيرية الأصلية المستوطنة
Aniline	أنيلين

أواوجونيم	Oogonium
أواوجيمي	Oogamy
أوتوكلاف	Autoclave
الأورام	Tumors
أورامين - او (صبغة)	Ouromin-o
الأوليات	Protozoa
الإيدز	Aids
أيزوتونك	Isotonic
أيزوثيوسيانات الفلورسين (صبغة)	Fluorescein isothiocyanate (FICT)
أيزوجاميس	Isogamous
أيضي	Metabolic
ايكوزوهيدرال	Icosohedral
ايوكاريوتك	Eucaryotic

ب

بازيديوم (جمع)	Basidia
بازيديوم (مفرد)	Basidium
باليلويد	Pallmeloid
ببتيدات عديدة	Polypeptides
ببتيدوجلايكان	Peptidoglycan
ببرين (مرض)	Pebrine disease
بروتستا (الطلائعيات)	Protista
بروتين وحيد الخلية	Single cell protein (SCP)
بروسيللوسيس	Brucellosis

Procaryotic	بروكاريوتيك
Pasteurization	البسترة
Ring spot	بقعة حلقية
Monotrichous	بكتريا أحادية الأسواط
Amphitrichous	بكتريا أحادية السوط
Purple bacteria	البكتريا الأرجوانية
Eubacteria	البكتريا الحقيقية
Cyanobacteria	البكتريا الخضراء المزرقة (البكتريا الزرقاء)
Stella	بكتريا ذات شكل يشبه النجمة
Bacteroids	البكتريا الصغيرة
Staphylococci	البكتريا العنقودية
Atrichous	بكتريا عديمة الأسواط
Diplobacilli	بكتريا عصوية ثنائية
Streptobacilli	بكتريا عصوية في سلاسل
Coliform bacteria	بكتريا القولون
Cocci	بكتريا كروية (جمع)
Coccus	بكتريا كروية (مفرد)
Diplococcus	بكتريا كروية ثنائية
Tetracoccus	بكتريا كروية رباعية
Barotolerant	بكتريا متحملة للضغط
Kophotrichous	بكتريا متعددة الأسواط
Actinomycetes	بكتريا متفرعة
Barophilic	بكتريا محبة للضغط
Methanotrophic Bacteria	البكتريا المحللة للميثان
Peritrichous	بكتريا محيطية الأسواط

Arcula	بكتريا مربعة
Phototrophic bacteria (Photobacteria)	البكتريا الممثلة للضوء
Spirillum	بكتريا منحنية عدة انحناءات
Comma bacteria	بكتريا واوية
Bacteriophage	بكتريوفاج
Plasmodia	بلازموديوم
Fertility plasmids	بلازميدات الخصوبة
Plasmids	بلازميدز
Bacterial blastic	البلاستيك البكتيري
Plastic polymers	بلاستيك متبلمر
Plasmolyses	البلزمة
Pleomorphism	بليومورفيزم
Anabolism	البناء الأيضي
Penicillin	البنسيلين
Unglazed porcelain	بورسالين غير مصقول (الخشن)
Selective media	بيئات اختيارية
Differential media	البيئات التفريقية
Solid media	بيئات صلبة
Natural media	بيئات طبيعية
Environment	البيئة
Chick embryo culture	بيئة جنين الكتكوت
Natural enviroment	بيئة طبيعية
Culture media	بيئة مغذية
Overwintering	بيات شتوي
Beijerinckia	بيارنكيا

البياض الدقيقي	Powdery mildew
بيلي	Pili
بين خلوي	Intercellular

ت

التأقلم التطوري	Evolationary adaptation
تباين الثالوس	Heterothallus
التبرعم	Budding
التبرقش	Mosaic
تثبيت	Fixing
تثبيت حيوي تكافلي	Symbiotic nitrogen fixation
تثبيت حيوي لا تكافلي	Non-symbiotic nitrogen fixation
التثبيت الحيوي للنيتروجين الجوي	Biological nitrogen fixation
تثقيب الأوراق	Shot hole
تجرثم	Sporogenesis (sporulation)
التجفيد	Lyophilization (Freez drying)
التجويف الرهالي	Allantoic cavity
التحام	Fussion
تحت صف الفطريات البازيدية المتباينة	Phramobasidiomycetidae
تحت صف الفطريات البازيدية المتماثلة	Holobasidiomycetidae
تحت صف الفطريات التليوميسيتية	Teliomycetidae
تحت نوع	Sub-species
تحديد المناطق	Zonation
تحلل البذور	Seed decay
التحلل الحيوي (التحلل الميكروبي)	Biodegradation

Hydrolysis	التحلل المائي
Serological analyses	تحليل سيرولوجي
Chemical analyses	تحليل كيميائي
Premature lyses	تحليل مبكر
Transduction	التحويل
Bioconversion	التحويل الحيوي
Synthesizing	تخليق
Fermentation	تخمر
Ultra sonic	تردد عال جدا
Filtration	الترشيح
Holoenzyme	التركيب الإنزيمي الكامل
Somatic structure	التركيب الخضري
Chromatine body	التركيب النووي لخلية البكتريا
Co-enocytic structure	تركيب مدمج خلوي
Hook-like structure	تركيب يشبه الخطاف
Saprophytism	الترمم
Isogamy	تزاوج أمشاج متشابهة
Hetero gamy	تزاوج أمشاج مختلفة
Botulism	التسمم البوتشيليني
Food poisoning	تسمم غذائي
Homothallus	تشابه الثالوس
Deformation	التشوه
Antagonism	التضاد
Disinfection = Disinfestation	تطهير
Plasmodial development	التطور البلازموديومي

Sterilization	التعقيم
Dry heat sterilization	التعقيم بالحرارة الجافة
Inciniration	التعقيم بالحرق
Nutrition	تغذية
Mixotrophic (Mixotrophs)	التغذية المختلطة
Discoloration	تغير اللون الطبيعي
Fragmentation	التفتت
Bunt of wheat	التفحم المغطى (النتن) في القمح
Differential	تفريقي
Stunting	التقزم
Classification	تقسيم
Classification of bacteria	تقسيم البكتيريا
Classification of fungi	تقسيم الفطريات
Classification of virus	تقسيم الفيروسات
Fluorescent antibody technique	تقنية الأجسام المضادة الفلورسينية
Gelatin plate technique	تقنية أطباق الجيلاتين
Biotechnology	التقنية البيولوجية
Reproduction	تكاثر
Sexual	جنسي
Symbiosis	تكافل
Rhizobium-lugume symbiosis	التكافل بين الريزوبيا والنباتات البقولية
R-Non lugume symbiosis	التكافل بين الريزوبيا والنباتات غير البقولية
Replication	تكرار
Agglutinate	تلازن
Inoculation	تلقيح

التمثيل الضوئي	Photosynthesis
التمثيل الغذائي	Metabolism
تمثيلية ضوئية (تمثيلية)	Photosynthetic
تناقض	Contrast
تنفس	Respiration
تهجين	Hybridizatian
توافق	Compatibility
التوالد الذاتي	Spontaneous generation (obiogenesis)
تورم الخلايا (زيادة حجم الخلايا)	Hypertrophia
التحويل	Transformation
توقف	Tumble

ث

ثقوب	Pores
ثلاثي الأبعاد	Three dimension
ثنائي الجنس	Bisexual
ثنائي الصبغة	Diploid
ثنائي العائل	Heteroccious
ثنائية النواة	Dicaryons

ج

جازهول (وقود)	Gasohol
جاما جلوبيولين	Globuline gamma
جامتنجيا	Gametangia
جبن كامبرت	Camembert cheese
جدار الخلية	Cell wall

Spore cell wall	جدار خلية الجرثومة
Sporangiospores	جراثيم اسبورانجية
Aplanospores	جراثيم اسبورانجية غير متحركة
Ascospores	جراثيم أسكية
Oidium	الجراثيم الأويدية (مفرد)
Oidia	الجراثيم الأويدية (جمع)
Basidiospores	جراثيم بازيدية
Blastospores	جراثيم برعمية
Oospores	جراثيم بيضية
Teliospores	جراثيم تيليتية
Sexual spores	جراثيم جنسية
Endospores	جراثيم داخلية
Bacterial endospores	جراثيم داخلية بكتيرية
Zygospores	جراثيم زيجية
Chlamydospores	جراثيم كلاميدية
Zoospores	جراثيم متحركة (جراثيم سابحة)
Arthrospores	جراثيم مفصلية
Uridiospores	جراثيم يوريدية
Antiseptic surgery	الجراحة تحت ظروف معقمة
Apple scab	جرب التفاح
Exosporium	جرثومة خارجية
Sporozoa	الجرثوميات
Ascocarp	الجسم الثمري
Sclerotia	الجسم الحجري

الجسم القاعدي	Basel body
جفاف (تحنيط) الثمار	Mummification
جل أجار	Agar-gel
جنس	Genus
جنس ماهونيا (نبات عشبي)	*Mahonia*
جهاز قياس درجة الحموضة	pH meter
جينات منقولة	Cloned genes

ح

حامل الصبغة	Chromophore
الحبر الهندي	Indian ink
حبيبات	Granules
حبيبات دهنية	Fat granules
حبيبات الطين	Colloids
حبيبات كبريت	Sulpher granules
حبيبات محتواة	Inclusion
حبيبات مخزنة	Reserved granules
حبيبات ميتاكروماتين	Metachromatine granules
الحد الأعلى	Maximum
الحد الأمثل	Optimum
الحرارة الرطبة	Moist heat
حركة	Motility
حركة للأمام	Run
حركة الخلية تجاه الضوء	Phototoctice
الحزازيات	Mosses

Susceptible	حساس
Chemotaxis	حساسية كيميائية
Incubator	حضان (حاضن)
Injection	حقن
Slimy milk	الحليب اللزج
Skim milk	حليب منزوع الدسم
Itaconic acid	حمض ايتاكونيك
Tannic acid	حمض التانيك
Teichoic acid	حمض تيشويك
Gluconic acid	حمض الجلوكومين
Amino acetic acid	حمض الخليك الأميني
Dipicolinic acid	حمض ديبكولنيك
Nucleic acid	حمض نووي
Typhoid fever	الحمى التيفودية
Rocky mountain spotted fever	حمى الجبال الصخرية المنقطة
Meningitis	الحمى الشوكية
Q-fever	حمى كيو
Puerperal fever	حمى النفاس
Conidiophores	حوامل الجراثيم الكونيدية (حامل كونيدي)
Sporangiophores	الحوامل السبورانجية (حامل سبورانجي)
Cyst	حوصلة
Vesicles	حويصلات
Animalcules	حيوانات صغيرة

خ

Ectoparasitic	خارجية التطفل

Physiological and biochemical characters	الخصائص الفسيولوجية والبيوكيميائية
Hook	خطاف (خطافي)
Parent cells	خلايا أبوية
Sporogenous cells	خلايا تكاثرية
Progametangia	خلية أمشاج بدائية
Donner	الخلية المعطية (المانحة)
Damping-off	الخناق
Hypha	خيط فطري (خيوط فطرية)
Filament	خيطي
Strands	خيوط
Stalk	خيوط جيلاتينية
Aseptate hypha	خيوط فطرية غير مقسمة
Septate hyphae	خيوط فطرية مقسمة
Coils	خيوط لولبية

د

Rabies	داء الكلب
Cyclic	دائري
Intracellular	داخل الخلايا
Endoparasitic	داخلية التطفل
Indicator	الدال (المؤشر)
Diethanol amine	داى ايثانول آمين
Dichloran	دايكلوران
Temperature	درجة الحرارة
Minimum temperature	درجة الحرارة الدنيا

Diphtheria	الدفتريا
pH indicator	دليل الحموضة
Bergis's manual of determinative bacteriology	دليل بيرجي لتقسيم البكتيريا
Lipids	دهون
Fission cycle	دورة الانقسام
Lytic cycle	دورة التحليل
Cyclic turnover	دورة التحويل
Hydrological cycle	الدورة المائية
Disease cycle	دورة المرض
Diatomes	الدياتومات
Desmids	ديزميدز

ذ

Autotrophs	ذاتية التغذية
Tail	ذيل

ر

Acidic tolerant response	رد الفعل المتحمل للحموضة
Ultra thin	رقيق جدا
Rickettsia	الركتسيا (دركتسيات)
Renine	رنين (إنزيم)
Covalent bonds	الروابط التكافلية
Rheumatism	الروماتيزم
Rhematoid arthritis	روماتيزم التهاب المفاصل
Ribosome	ريبوسوم
Rhizosphere	ريزوسفير

Resazurine	ريزازورين (صبغة)
Dysentery	الزحار

ز

Ascus	زق (كيس أسكي)
Generation time (doubling time)	الزمن الجيلي
Doubling time	زمن المضاعفة
Hypertropia	زيادة حجم الخلايا
Cider oil	زيت السيدر

س

Steroids	الستيرويدات
Dessication	سحب الماء
Ferns	سرخسيات
Hyperplasia	سرعة انقسام الخلايا
Ribose	سكر أحادي الرايبوز
Polysaccharides	سكريات عديدة
Physiological races	سلالات فسيولوجية
Toxins	سموم
Flagella	سوط
Flagellata	السوطيات
Zoophlagellates	سوطيات حيوانية المعيشة
Phytophlagellates	السوطيات نباتية التغذية
Cytoplasm	السيتوبلازم
Sporoplasm	سيتوبلازم الجرثومة
Ectoplasm	السيتوبلازم الخارجي

Endoplasm	السيتوبلازم الداخلي
Cytoplasmic inclusion	السيتوبلازم المخزن

ش

Ascomycotina	شعبة الفطريات الأسكية (الزقية)
Basidiomycotina	الفطريات البازيدية
Zygomycotina	الفطريات الزيجوية
Deutromycetes	الفطريات الناقصة
Stage micrometer	شريحة ميكروميترية
Clearing of veins	شفافية العروق
Morphology	الشكل العام
Bullet-shaped	شكل يشبه الرصاصة
Phase contrast objectives	مجهر تباين الأطوار

ص

Simple stain	الصبغ البسيط
Differential stain	الصبغ التفاضلي
Gram negative stain	الصبغ السالب لجرام
Gram positive stain	الصبغ الموجب لجرام
Photosynthetic pigments	صبغات تمثيلية
Carotenoides	صبغات الكاروتين
Stain	صبغة
Flagella stain	صبغة الأسواط
Endospore stain	صبغة الجراثيم
Gram stain	صبغة جرام

صبغة الحبيبات	Granules stain
الصبغة السالبة	Negative stain
الصبغة السالبة للكبسولة	Capsule negative stain
صبغة سودان -٣-	Sudan-3
صبغة الصمود للأحماض	Acid fast stain
الصبغة الموجبة	Positive stain
الصفات الظاهرية المجهرية	Microscopic morphology

ض

الضرر الاتلافي غير المباشر	Indirect necrosis
ضغط	Pressure
ضغط إسموزي (الضغط الاسموزي)	Osmotic pressure
ضفيرة كونيدية	Synnema
ضماد الجرح (كاسيات الجروح)	Wound dressing
ضوء فوق بنفسجي	Ultra violet light
ضوئية ذاتية التغذية	Photoautotrophs

ط

طائفة (صف)	Class
الطاقة البديلة	Alternative energy
الطبقة الجلدية	Epiderm
طحالب	Algae
الطحالب الباسيلية	Bacillariophyceae
الطحالب البنية	Phaeophyceae
الطحالب البيرية	Pyrrophyta
الطحالب الحمراء	Rhodophyta

الطحالب الخضراء	Chlorophyta
الطحالب الذهبية	Chrysophyta
طرد مركزي عال	Ultra centrifuge
طريقة الأطباق المخطوطة	Streak plate method
طريقة الأطباق المصبوبة	Pour plate method
طريقة الأطباق المنشورة	Spread plate method
طريقة ورق الترشيح	Filter paper method
طفرات	Mutation
طفيل	Parasite
الطور التمهيدي	Lag phase
الطور الثابت	Statianary phase
الطور الخضري في الأوليات	Trophic
الطور الكامل	Perfect stage
الطور النشط	Exponential phase
الطور الهابط	Decline phase
تحت طائفة الخمائر الناقصة	Blastomycetidae

ظ

ظاهرة الالتهام	Phagocytosis
الظاهرة الفلورسينية	Fluorescence
الظروف القياسية	Standard condition

ع

عائل	Host
عائلة	Family

Objective Lens	عدسة شيئية
Ocular lens	عدسة عينية
Ocular micrometer	عدسة عينية ميكرومترية
Electromagnetic lens	عدسة كهرومغناطيسية
Polyhedral	عديد الأوجه
Polypeptide	عديد الببتيد
Multilayer	عديد الطبقات
Lophotrichous	عديدة الأسواط القمية
Co-enocytic hypha	عديدة الأنوية
Lenticele	العديسات
Diuquat	عشبي
Curved rod	عصوي منحن
Bacilli	عصوية مستقيمة
Organic	عضوي
Brown rot	العفن البني
Red bread molds	عفن الخبز الأحمر
Bread Black molds	عفن الخبز الأسود
Soft rot	عفن طري
Bacteriology	علم دراسة البكتريا
Algology	علم دراسة الطحالب
Parasitology	علم دراسة الطفيليات
Mycology	علم دراسة الفطريات
Virology	علم دراسة الفيروسات
Immunology	علم المناعة
Parasitism	عملية التطفل

عملية النشدرة	Ammonification
عملية الهدم	Catabolism
عناصر صغرى	Micronutrients
عناصر ضرورية	Essential elements
عناصر عضوية	Organic nutrients
عناصر غذائية	Nutrients
عناصر غير عضوية	Inorganic nutrients
عناصر كبرى	Macro nutrients
عناصر نادرة	Trace elements
عنق الأوزة	Goosenecked

غ

غاز الميثان	Methane
غرويات التربة	Soil colloid
غزل فطري	Mycelium
غشاء (الغشاء)	Smear
الغشاء البلازمي	Plasma membrane
الغشاء السيتوبلازمي	Cytoplasmic membrane
غشاء خلوي	Cell membrane
غلاف (ظرف)	Envelope
غلاف الجرثومة	Spore coat
غلاف منقبض	Contractile sheath
غير تمثيلية ضوئية	Non-photosynthetic
غير ذاتية التغذية	Heterotrophs
غير صامد للأحماض	Non-acid fast

Avirulent	غير ممرض

ف

Phycoerythrin	الفايكوايرثرين
Phycobilines	فايكوبيلنيز
Phycocyanin	الفايكوسيانين
Latent period	فترة سكون
Angasta kuehniella	فراشة دقيق البحر الأبيض المتوسط
Koch postulates	فروض كوخ
Food spoilage	الفساد الغذائي
Pucciniaceae	الفصيلة البكسينية
Coleosporiaceae	الفصيلة الكوليوسبورية
Melampsoraceae	الفصيلة الميلاميسورية
Biomass	الفضلات المتراكمة
Yeast	فطر الخميرة (اسم إنجليزي)
Bread mold fungus	فطر عفن الخبز
Parasitic fungi	فطر متطفل
Saccharomyces	فطرة الخميرة (جنس)
Fungi	فطريات
Shelf fungi	فطريات الأرفف
Ascomycetes	فطريات أسكية
Marine Ascomycetes	فطريات أسكية تعيش في البحار والمحيطات
Pyrenomycetes	الفطريات الأسكية الحقيقية
Discomycetes	الفطريات الأسكية القرصية
Bird's nest fungi	فطريات أعشاش الطير

الفطريات البيضية	Oomycetes
فطريات التفحم	Smut fungi
الفطريات الحقيقية	Eumycota
الفطريات الخيشومية	Gill fungi
الفطريات الزيجوية	Zygomycetes
الفطريات اللحمية	Fleshy fungi
الفطريات اللزجة (الدنيئة)	Myxomycota
فقر الدم	Hemolytic anemia
الفقع (الكمأة)	Truffle
فلورا	Flora
فوق بنفسجي	Ultra violet
فوليوتين	Volutine
فيروس تبرقش التبغ	Tobaco mosaic virus (TMV)
فيروس خامل	Virion
فيروسات الأعصاب	Neurotrophic virus
فيروسات الجلد	Dermonotrophic virus
الفيروسات المتعددة	Polyviruses
فيروسات غدية	Adenoviruses

ق

قاتل البكتيريا	Bactericide
قاتل للجراثيم	Germicide
قاتل للفيروسات	Viricide
القدرة التخليقية	Synthetic ability
القدرة على إحداث المرض	Pathogenicity
القدرة على الإمراض	Virulence

القرون العفنة	Stink horms
قشرة الجرثومة	Cortex
قلويات	Alkaloids
قوة الادمصاص	Adsorption force
قوة التمييز	Resolving (Resolution) power

ك

كائنات تتحمل الحرارة العالية جدا	Hyperthermophils
كائنات حية دقيقة	Microorganisms
كائنات ضوئية غير ذاتية التغذية	Photoheterotrophs
كائنات غير ذاتية التغذية الكيميائية	Chemoheterotrophs
كابتان	Captan
كامن	Dormant
الكبسولة (العلبة)	Capsule
كبسومرز	Capsomers
كتل لتنمية المشروم	Spawn
كحول حامضي	Acid-alcohol
كربول الفوكسين	Carbol fuchsin
الكرستال البنفسجي	Crystal violet
كروموسوم	Chromosome
كروموسومات الخلية البكتيرية	Bacterial chromosome
الكلوروفيل	Chlorophyll
كهرومغناطيسي	Electromagnetic
الكور المنتفخة	Buff balls
كولي فاج	Coliphage
كونيديا (جمع)	Conidia

Conidium	كونيديم (مفرد)
Chitin	كيتين
Colloidal chemistry	كيمياء الغرويات
Chemotrophs	كيميائية التغذية
Chemoautotrophs	كيميائية ذاتية التغذية

ل

Asexul	لاجنسي
Zygot	اللاقحة
Obligate anaerobic	لاهوائية إجبارية
Facultative anaerobic	لاهوائية اختيارية
Sarcodina	اللحميات
Late blight	اللفحة المتأخرة
Fire-blight	اللفحة النارية
Inoculum	اللقاح
Vaccine	لقاح
Leukemia	لوكيميا
Helical (Hylical)	لولبي
Lipoprotein	ليبوبروتين
Lipopoly saccharides	ليبوبولي سكاريد

م

Bioindicator	المؤشرات البيولوجية
Ionizing	مؤينة
Soil water	ماء التربة
Substrate	المادة التي يعمل عليها الإنزيم
Xenobiotics	المبيدات الكيماوية الزراعية

Chlorinated pesticides	مبيدات مكلورة
Encysted	متحوصل
Amphoteric	متردد
Saprophytic	مترمم
Sexually compatible	متوافق جنسيا
Mordant	مثبت الصبغة
Semi-symbiotic N_2-fixer	مثبت النيتروجين شبه تكافلي
Inactivated	مثبط
Bacteriostatic	مثبط لنمو البكتريا
Fungistatic	مثبطات للفطريات
Stock culture collection	المجموعة المزرعية الاحتياطية
Scanning electron microscope	المجهر الإلكتروني المساح
Transmission electron microscope	المجهر الإلكتروني النفاذ
Phase contrast microscope	مجهر تباين الأطوار
Bright field microscope	مجهر الحقل المضيء
Fluorescence microscope	المجهر الفلورسيني
Ultra violet microscope	المجهر الفوق البنفسجي
Diffraction interference microscope (DIM)	المجهر المتفاوت التداخل
Dark field microscope	مجهر المجال المظلم
Mesophiles	محب للحرارة المتوسطة
Psycrophiles	محب للحرارة المنخفضة
Acidophiles	محب للحموضة
Alkalophiles	محب للقلوية
Halophiles	محب للملوحة
Microaerophilic	محب لنسب الهواء الضئيلة

Neutrophiles	محب للوسط المتعادل
X-ray analyzer	محلل الأشعة السينية
Compatible solution	محلول متوافق
Mucus	مخاط
Conifers	مخروطيات
Lipid solvent	مذيب دهون
Co-enzyme	المرافق الإنزيمي
Pyrenoid	مراكز تخزين النشا
Messenger RNA	مرسل RNA
Downey mildew	مرض البياض الزغبي على العنب
Zucchini yellow mosaic virus	مرض التبرقش الأصفر على الكوسة
Tomato Mosaic Virus	مرض تبرقش الطماطم
Loose smut	مرض التفحم السائب
Wheat bunt	مرض تفحم القمح
Citrus bacterial canker disease (CBCD)	مرض التقرح البكتيري على الحمضيات
Mastitis	مرض التهاب الضرع
Typhoid	مرض التيفوئيد
Club root	مرض الجذر الصولجاني
Powdery scab of potato	مرض الجرب المسحوقي في البطاطس
Foot and mouth disease	مرض الحمى القلاعية
Cancer	مرض السرطان
Tuberculosis	مرض السل
Poliomyelitis	مرض شلل الأطفال
Cereal rust	مرض صدأ الحبوب
Stem rust	مرض صدأ الساق

Cholera	مرض الكوليرا
Otomycosis	مرض يصيب الرئة
Meat broth	مرق اللحم
Nutrient broth	مرق مغذ
Primary products	مركبات جديدة مخلقة
Core	مركز الجرثومة
Enrichment culture	مزارع مدعمة
Minelayer tissue cultures	المزارع النسيجية وحيدة الحركة
Double stranded	مزدوج الخيط
Roller tube culture	مزرعة الأنبوبة اللفافة
Plasma clot culture	مزرعة بلازمية تجلطية
Mixed culture	مزرعة مختلطة
Broth culture	مزرعة مرق
Monolayer tissue culture	مزرعة النسيج أحادي الطبقة
Tissue culture	مزرعة نسيجية
Pure culture	مزرعة نقية
Catalyst	مساعد
Apportunistic pathogens	المسببات المرضية الانتهازية
Circular	مستدير
Colonies	مستعمرات
Chemoreceptors	مستقبلات كيماوية
Methyle-accepting	مستقبلات ميثيل
Linear	مستقيم
Sanitary survey	المسح الصحي
Mushrooms	المشروم

Serum	مصل
Food additives	مضافات غذائية
Attenuated	مضعف (تم إضعافه)
Disinfectant	مطهر
Antisepsis	مطهرات
Bioremediation	المعالجة الحيوية
Reflective index	معامل الانكسار الضوئي
Phenol co-efficient	المعامل الفينولي
Primary treatment	معاملة أولية
Advanced waste water treatment	المعاملة المتقدمة لمياه الصرف الصحي
Secondary (Biological) treatment	معاملة ثانوية
Minerilization	المعدنة
Single stranded	مفرد الخيط
Arthropods	مفصليات الأرجل
Resistance	مقاومة
Septa	مقسم
Mycota	مقطع تنتهي به أسماء الأقسام
Mycotina	مقطع تنتهي به أسماء تحت الأقسام
Mycitida	مقطع تنتهي به أسماء تحت الطائفة
Mycetales	مقطع تنتهي به أسماء الرتب
Biological control	المكافحة الحيوية
Condenser	مكثف
Dark field condenser	مكثف المجال المظلم
Phagotrophic	ملتهمة
Bile salt	ملح الصفراء

Salinity	الملوحة
Virulent	ممرض
Haustoria	ممصات
Animalia	المملكة الحيوانية
Plantae	مملكة النبات (المملكة النباتية)
Cleistothecia	من الأجسام الثمرية
Zooplankton	من الحيوانات المائية
Aspergillin, Flavicin, Funagalin	من المضادات الحيوية
Adsorption sites	مناطق ادمصاص
Receptor sites	مناطق استقبال
Natural acquired immunity	المناعة الطبيعية المكتسبة
Artificially acquired immunity	المناعة المكتسبة
Primary metabolites	منتجات أيضية أولية
Secondary metabolites	منتجات أيضية ثانوية
Growth curve	منحنى النمو
Bacterial growth curve	منحنى النمو البكتيري
Spirilla	منحنية
Prism	منشور
Inhibition zone	منطقة تثبيط
Cytoplasmic area	المنطقة السيتوبلازمية
Nuclear area	المنطقة النووية
Poly-B-hydroxyalkamoate (PHAS)	مواد بلاستيكية بكتيرية
Fluorescent substances	مواد فلورسينية
Ascogonium	مولد زقي
Monera	المونيرا

Metachromatine	ميتاكروماتين
Mesosome	الميزوزوم
Dikariotic	ميسيليوم ثنائي
Mycelia sterillia	الميسيليوم العقيم
Microbiology	ميكروبيولوجي
Dairy microbiology	ميكروبيولوجيا الألبان
Soil microbiology	ميكروبيولوجيا التربة
Water and sewage microbiology	ميكروبيولوجيا المياه والمجاري
Um	ميكروميتر
Micron	ميكرون
Mycoplasma	الميكوبلازما
Mycorrhiza	الميكورايزا
Mucin	الميوسين

ن

Transgenic plants	نباتات معدلة وراثيا
Nitrification	النترتة
Earth stars	النجوم الأرضية
Dehydration	نزع الماء
Deamination	نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية
Cardinal temperature	النطاق الحراري
Metric system	النظام المتري للقياس
Germ theory of disease	نظرية المرض الجرثومية (النظرية الجرثومية للمرض
Local lesion	نقط موضعية
Necrosis	النقط الميتة
Isoelectric point	نقطة التعادل الكهربي

Eyespot (stigma)	النقطة العينية
Generalized transduction	نقل المادة الوراثية
Active transport	النقل النشط
Involution	نمو غير طبيعي
Micronucleus	نواة صغيرة
Macronucleus	نواة كبيرة
Species	نوع
Poliovirus	نوع من الفيروسات
Noformacin	نوفورماسين
Root knot nematode	نيماتودا تعقد الجذور
Cyst nematodes	نيماتودا الحوصلات
Nucleotide	نيوكلوتيد

هـ

Haloenzyme	هالوانزيم
Sexpilus	هدب جنسي
Ciliata	الهدبيات
Estrogen	هرمون الاستروجين
Progestron	هرمون بروجسترون
Hormones	الهرمونات
Soil air	هواء التربة
Obligate aerobic	هوائية إجبارية
Hypertonic	هيبرتونك
Hypotonic	هيبوتونك
Heterocaryotic	هيتروكريوتك

و

Blotter paper	ورق حساس
Stroma	الوسائد الهيفية
Sporodochia (sporodochium)	وسادة أسبورية
Clamp connection	الوصلات المقبضية (الروابط الكلابية)
Sanitization	الوقاية الصحية

ي

Rotate	يدور حول نفسه
Disrupt	يقطع (يقاطع)

ثانيا: إنجليزي – عربي

A

Acid-alcohol	الكحول الحمضي
Acid fast stain	صبغة الصمود للأحماض
Acidic tolerant response	رد الفعل المتحمل للحموضة
Acidophiles	محب للحموضة
Actinomycetes	بكتريا متفرعة
Active transport	النقل النشيط
Adenoviruses	فيروسات غدية
Adsorption	ادمصاص
Adsorption force	قوة الادمصاص
Adsorption sites	مناطق ادمصاص
Advanced waste water treatment	المعاملة المتقدمة لمياه الصرف الصحي
Aeciospores	أسيوسبورز
Aerotaxis	حساسية تجاه الهواء
Aerotolerant anaerobic	غير هوائية متحملة للهواء
Agar	أجار
Agar-gel	جل أجار
Agglutinate	تلازن
Aids	الإيدز
Algae	طحالب
Algin	الجين (منتج طحلبي)
Algology	علم دراسة الطحالب

Alkaloids	قلويات
Alkalophiles	محب للقلوية
Allantoic cavity	التجويف الرهالي
Alpha-endotoxin	الفا أندوتوكسين
Alternative energy	الطاقة البديلة
Amino acetic acid	حمض الخليك الأميني
Amino acids	أحماض أمينية
Ammonification	عملية النشدرة
Amoebae	الأميبا
Amphitrichous	بكتريا أحادية السوط
Amphoteric	متردد
Amylase	إنزيم أميليز
Anabolism	البناء الأيضي
Angasta kuehniella	فراشة دقيق البحر الأبيض المتوسط
Aniline	أنيلين
Animalcules	حيوانات صغيرة
Animalia	المملكة الحيوانية
Antagonism	التضاد
Anthrax	الأنثراكس
Anthridium	أنثريديم
Antibodies	أجسام مضادة
Antigen	أنتجين
Antisepsis	مطهرات
Antiseptic surgery	الجراحة تحت ظروف معقمة
Antiseptics	كيماويات لمنع الإصابة

Aplanospores	جراثيم اسبورانجية غير متحركة
Apoenzyme	أبو إنزيم
Apothecia (Apothecium)	نوع من الأجسام الثمرية
Apple scab	جرب التفاح
Apportunistic pathogens	المسببات المرضية الانتهازية
Arcula	بكتريا مربعة
Arthropods	مفصليات الأرجل
Arthrospores	جراثيم مفصلية
Artificially acquired immunity	المناعة المكتسبة
Asci	أكياس أسكية
Ascocarp	الجسم الثمري
Ascogenous hyphae	خيط فطري زقي
Ascogonium	مولد زقي
Ascomycetes	فطريات أسكية
Ascospores	جراثيم أسكية
Ascus	زق (كيس أسكي)
Aseptate hypha	خيوط فطرية غير مقسمة
Asexual	لاجنسي
Aspergillin	من المضادات الحيوية
Aspertate	أسبرتيت
Atrichous	بكتريا عديمة الأسواط
Attenuated	مضعف (تم إضعافه)
Autoclave	أوتوكلاف
Autoclaving	التعقيم بالبخار المضغوط
Autotrophs	ذاتية التغذية

Auxochrome	الأكسى كروم
Avirulent	غير ممرض
Axial filament	أسواط البكتريا الحلزونية

B

Bacillariophyceae	الطحالب الباسيلية
Bacilli	عصوية مستقيمة
Bacteria	بكتريا
Bacterial chromosome	كروموسومات الخلية البكتيرية
Bacterial DNA polymerase	إنزيم بوليميريز بكتيري
Bacterial endospores	جراثيم داخلية بكتيرية
Bacterial growth curve	منحنى النمو البكتيري
Bacterial plastic	البلاستيك البكتيري
Bactericide	قاتل البكتيريا
Bacteriology	علم دراسة البكتريا
Bacteriophage	بكتريوفاج
Bacteriostatic	مثبط لنمو البكتريا
Bacteroids	البكتريا الصغيرة
Barophilic	بكتريا محبة للضغط
Barotolerant	بكتريا متحملة للضغط
Basel body	الجسم القاعدي
Basidia	بازيديوم (جمع)
Basidiospores	جراثيم بازيدية
Basidium	بازيديوم (مفرد)
Basipetal	نوع من الجراثيم الكونيدية
Beijerinck	عالم ميكروبيولوجي

Beijerinckia	بكتريا مثبتة للنتروجين
Bergis's manual of determinative bacteriology	دليل بيرجي لتقسيم البكتيريا
Bile salt	ملح الصفراء
Binary fission	انقسام ثنائي
Bioconversion	التحويل البيولوجي
Biodegradation	التحلل الحيوي
Bioindicator	المؤشرات البيولوجية
Biological control	المكافحة الحيوية
Biological entities	وحدات حيوية
Biological nitrogen fixation	التثبيت الحيوي للنيتروجين الجوي
Biological oxygen demand (BOD)	الاحتياجات الحيوية من الأكسجين
Biomass	الفضلات المتراكمة
Bioremediation	المعالجة الحيوية
Biosensors	الإحساس الحيوي
Biosphere	المجال الحيوي
Biotechnology	التقنية البيولوجية
Bird's nest fungi	فطريات أعشاش الطير
Bisexual	ثنائي الجنس
Bismuth sulfide agar	أجار كبريتيد البزموث
Blastomycetidae	طويئفة الخمائر الناقصة
Blastospores	جراثيم برعمية
Blood agar	أجار الدم
Bloody diarrhea	الإسهال الدموي
Blooms	ترسيبات طحلبية بحرية
Blotter paper	ورق حساس

Botulism	التسمم البوتشيليني
Bread black molds	عفن الخبز الأسود
Bread mold fungus	فطر عفن الخبز
Bright field microscope	مجهر الحقل المضيء
Brightness	إضاءة
Brilliant green	صبغة
Broth culture	مزرعة مرق
Brown rot	العفن البني
Brucellosis	بروسيللوسيس
Budding	التبرعم
Bulk transport	الانتقال الحجمي
Bullet-shaped	شكل يشبه الرصاصة
Bunt of wheat	التفحم المغطى (النتن) في القمح

C

Camembert cheese	جبن كاممبرت
Cancer	مرض السرطان
Capsid	كابسيد
Capsomers	كبسومرز
Capsule	الكبسولة (العلبة)
Capsule negative stain	الصبغة السالبة للكبسولة
Captan	كابتان
Carbol fuchsin	كربول الفوكسين
Carboxylase	إنزيم كربوكسيليز
Cardinal temperature	النطاق الحراري
Carnivores	آكلات اللحوم

Carotenoides	صبغات الكاروتين
Caseine hydrolysate	محلل الكازين
Catabolism	عملية الهدم
Catalyst	مساعد
Cell membrane	غشاء خلوي
Cell wall	جدار الخلية
Cellulase	إنزيم سليوليز
Cellulose esters	استرات السليولوز
Cereal rust	مرض صدأ الحبوب
Chemical analyses	تحليل كيميائي
Chemoautotrophs	كيميائية ذاتية التغذية
Chemoheterotrophs	كائنات غير ذاتية التغذية الكيميائية
Chemoreceptors	مستقبلات كيماوية
Chemotaxis	حساسية كيميائية
Chemotrophs	كيميائية التغذية
Chick embryo culture	بيئة جنين الكتكوت
Chitin	كيتين
Chlamydospores	جراثيم كلاميدية
Chlorinated pesticides	مبيدات مكلورة
Chlorophyll	الكلوروفيل
Chlorophyta	الطحالب الخضراء
Chlorosis	اصفرار
Cholera	مرض الكوليرا
Chromatine body	التركيب النووي لخلية البكتريا
Chromophore	حامل الصبغة

Chromosome	كروموسوم
Chrysophyta	الطحالب الذهبية
Chytridiomycota	شعبة الفطريات الكتيريدية
Cider oil	زيت السيدر
Ciliata	الهدبيات
Circular	مستدير
Citrus bacterial canker disease (CBCD)	مرض التقرح البكتيري على الحمضيات
Clamp connection	الوصلات المقبضية (الروابط الكلابية)
Class	طائفة (صف)
Classification	تقسيم
Classification of bacteria	تقسيم البكتيريا
Classification of fungi	تقسيم الفطريات
Classification of virus	تقسيم الفيروسات
Clearing of veins	شفافية العروق
Cleistothecia	من الأجسام الثمرية
Cloned genes	جينات
Club root	مرض الجذر الصولجاني
Cocci	بكتريا كروية (جمع)
Coccus	بكتريا كروية (مفرد)
Co-enocytic hypha	عديدة الأنوية
Co-enocytic structure	تركيب مدمج خلوي
Co-enzyme	المرافق الإنزيمي
Coils	خيوط لولبية
Coleosporiaceae	الفصيلة الكوليوسبورية
Coliform bacteria	بكتريا القولون

Coliphage	كولي فاج
Colloidal chemistry	كيمياء الغرويات
Colloids	حبيبات الطين (غرويات الطين)
Colonies	مستعمرات
Comma bacteria	بكتريا واوية
Compatibility	توافق
Compatible solution	محلول متوافق
Completed test	الاختبار التكميلي
Compost	خليط (مزيج)
Condenser	مكثف
Confirmed test	الاختبار التأكيدي
Conidia	كونيديا (جمع)
Conidiophores	حوامل الجراثيم الكونيدية
Conidium	كونيديم (مفرد)
Conifers	مخروطيات
Conjugation	الاقتران
Contractile sheath	غلاف منقبض
Contrast	تناقض
Control	يسيطر على
Core	مركز الجرثومة
Cortex	قشرة الجرثومة
Counter stain	الصبغة المضادة
Covalent bonds	الروابط التكافلية
Crystal violet	الكرستال البنفسجي
Culture media	بيئة مغذية

Curved rod	عصوي منحن
Cyanobacteria	البكتريا الخضراء المزرقة
Cyclic	دائري
Cyclic turnover	دورة التحويل
Cyst	حوصلة
Cyst nematodes	نيماتودا الحوصلات
Cytoplasm	السيتوبلازم
Cytoplasmic area	المنطقة السيتوبلازمية
Cytoplasmic inclusion	السيتوبلازم المخزن
Cytoplasmic membrane	الغشاء السيتوبلازمي

D

Dairy microbiology	ميكروبيولوجيا الألبان
Damping-off	الخناق
Dark field condenser	مكثف المجال المظلم
Dark field microscope	مجهر المجال المظلم
Darkness	إظلام
Deaminases	إنزيمات
Deamination	نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية
Decarboxylase	إنزيم ديكربوكسيليز
Decimal reduction time	زمن الاختزال العشري
Decline phase	الطور الهابط
Deformation	التشوه
Degerming	إزالة الجراثيم
Dehydration	نزع الماء
Dehydrogenase	إنزيم ديهيدروجينيز

Denitrification	انطلاق الأزوت
Dermatotrophic virus	فيروسات الجلد
Desmids	ديزميدز
Dessication	سحب الماء
Deutromycotina (Deutromycetes)	تحت قسم الفطريات الناقصة
Diatomes	الدياتومات
Diatomite	ترسبات بحرية دياتومية
Dicaryons	ثنائية النواة
Dichloran	دايكلوران
Diethanol amine	داى ايثانول آمين
Differential	تفريقي
Differential media	البيئات التفريقية
Differential stain	الصبغ التفريقي (التفاضلي)
Diffraction interference microscope (DIM)	المجهر المتفاوت التداخل
Dikariotic	ميسيليوم ثنائي
Dipeptidase	انزيم داي بيبتيديز
Diphtheria	الدفتريا
Dipicolinic acid	حمض ديبكولنيك
Diplobacilli	بكتريا عصوية ثنائية
Diplococcus	بكتريا كروية ثنائية
Diploid	ثنائي الصبغة
Discoloration	تغير اللون الطبيعي
Discomycetes	الفطريات الأسكية القرصية
Disease cycle	دورة المرض
Disinfectant	مطهر

Disinfection = Disinfestation	تطهير
Disrupt	يقطع (يقاطع)
Diuquat	مبيد عشبي
Division	قسم
DNA (Desoxy ribo nucleic acid)	حمض النووي
Donner	الخلية المعطية (المانحة)
Dormant	كامن
Double helix	لولب مزدوج
Double stranded	مزدوج الخيط
Doubling time	زمن المضاعفة
Downey mildew	مرض البياض الزغبي على العنب
Dry heat sterilization	التعقيم بالحرارة الجافة
Dysentery	الزحار

E

Earth stars	النجوم الأرضية
Ectodesmata	إكتوديزماتا
Ectoparasitic	خارجية التطفل
Ectoplasm	الستوبلازم الخارجي
Eijkman test	اختبار إيكمان
Electromagnetic	كهرومغناطيسي
Electromagnetic lens	عدسة كهرومغناطيسية
Encysted	متحوصل
Endoenzymes	إنزيمات داخلية
Endoparasitic	داخلية التطفل
Endoplasm	السيتوبلازم الداخلي

Endospore stain	صبغة الجراثيم
Endospores	جراثيم داخلية
Enrichment culture	مزارع مدعمة
Envelope	غلاف (ظرف)
Environment	البيئة
Enzymes	إنزيمات
Eosine methylene blue agar (EMBA)	بيئة أجار
Epiderm	الطبقة الجلدية
Ergometrin	إرجومترين
Ergot	إرجوت
Ergotoxin	إرجوتوكسين
Essential elements	عناصر ضرورية
Estrogen	هرمون الاستروجين
Ethanol acetone	الأسيتون الإيثيلي
Eubacteria	البكتريا الحقيقية
Eucaryotic	إيوكاريوتك
Eumycota	الفطريات الحقيقية
Evolationary adaptation	التأقلم التطوري
Exoenzymes	إنزيمات خارجية
Exosporium	جرثومة خارجية
Exponential phase	الطور النشيط
Exxon Valdez	اسم ناقلة نفط
Eyespot (stigma)	النقطة العينية

F

Facilitated diffusion	الانتشار بالساعدة

Facultative	اختياري
Facultative anaerobic	لاهوائية اختيارية
Family	عائلة
Fat granules	حبيبات دهنية
Fermentation	تخمر
Ferns	سرخسيات
Fertility plasmids	بلازميدات الخصوبة
Filament	خيطي
Filter paper method	طريقة ورق الترشيح
Filtration	الترشيح
Fire-blight	اللفحة النارية
Fission	انقسام
Fission cycle	دورة الانقسام
Fission yeasts	الخمائر المنقسمة
Fixing	تثبيت
Flagella	سوط
Flagella stain	صبغة الأسواط
Flagellata	السوطيات
Flagellates	عديد الأسواط
Flagillin	فلاجيلين
Flat sour	طعم لاذع
Flavicin	من المضادات الحيوية
Fleshy fungi	الفطريات اللحمية
Flora	فلورا
Fluorescein isothiocyanate (FICT)	أيزوثيوسيانات الفلورسين (صبغة)

Fluorescence	الظاهرة الفلورسينية
Fluorescence microscope	المجهر الفلورسيني
Fluorescent antibody technique	تقنية الأجسام المضادة الفلورسينية
Fluorescent substances	مواد فلورسينية
Food additives	مضافات غذائية
Food poisoning	تسمم غذائي
Food spoilage	الفساد الغذائي
Foot and mouth disease	مرض الحمى القلاعية
Fragmentation	التفتت
Fruiting bodies	أجسام ثمرية
Funagalin	من المضادات الحيوية
Fungi	فطريات
Fungicide	مبيد فطري
Fungistatic	مثبطات الفطريات
Fussion	التحام

G

Gametangia	جامتنجيا
Gametes	أمشاج
Gasohol	جازهول (وقود)
Gelatin plate technique	تقنية أطباق الجيلاتين
Generalized transduction	نقل المادة الوراثية
Generation time (doubling time)	الزمن الجيلي
Genus	جنس
Germ theory of disease	نظرية المرض الجرثومية
Germ tubes	أنابيب جرثومية

Germicide	قاتل للجراثيم .
Gill fungi	الفطريات الخيشومية
Gliding	انزلاق
Globuline gamma	جاما جلوبيولين
Gluconic acid	حمض الجلوكونيك
Goosenecked	عنق الأوزة
Gram negative stain	الصبغ السالب لجرام
Gram positive stain	الصبغ الموجب لجرام
Gram stain	صبغة جرام
Granules	حبيبات
Granules stain	صبغة الحبيبات
Growth curve	منحنى النمو

H

Halophiles	محب للملوحة
Haploid	أحادي الصبغة
Haustoria	ممصات
Helical	لولبي
Hemolytic anemia	فقر الدم
Hepatitis	التهاب الكبد الفيروسي
Heterogamy	تزاوج أمشاج مختلفة
Heterocaryotic	هيتروكريوتك
Heteroecious	ثنائي العائل
Heterothallus	تباين الثالوس
Heterotrophs	غير ذاتية التغذية
Hexamers	عديد الأوجه

Holobasidiomycetidae	تحت صف الفطريات البازيدية المتماثلة
Holoenzyme	التركيب الإنزيمي الكامل
Homothallus	تشابه الثالوس
Hook	خطاف
Hook-like structure	تركيب يشبه الخطاف
Hormones	الهرمونات
Host	عائل
Humus	سماد عضوي
Hybridizatian	تهجين
Hydrological cycle	الدورة المائية
Hydrolysis	التحلل المائي
Hylical	لولبي
Hymenomycetes	الفطريات البازيدية غشائية البازيديم
Hyperplastic disease	أمراض التضخم
Hyperplasia	سرعة انقسام الخلايا
Hyperthermophils	كائنات تتحمل الحرارة العالية جدا
Hypertonic	هيبرتونك
Hypertrophia	تورم الخلايا
Hypha	خيط فطري
Hyphae	خيوط فطرية
Hypotonic	هيبوتونك

I

Icosohedral	إيكوزوهيدرال
Immunifluorescence	امينوفلورسين
Immunology	علم المناعة

Inactivated	مثبط
Inciniration	التعقيم بالحرق
Inclusion	حبيبات محتواة
Incubator	حضان
Indian ink	الحبر الهندي
Indicator	الدال (المؤشر)
Indigenous bacteria	الأنواع البكتيرية الأصلية المستوطنة
Indirect necrosis	الضرر الاتلافي غير المباشر
Influenza	الأنفلونزا
Infusoria	كائنات حيوانية صغيرة
Inhibition zone	منطقة تثبيط
Injection	حقن
Inoculation	تلقيح
Inoculation needle (loop)	إبرة تلقيح
Inoculum	اللقاح
Inorganic nutrients	عناصر غير عضوية
Intercellular	بين خلوي
Intracellular	داخل الخلايا
Involution	نمو غير طبيعي
Ionizing	مؤينة
Isoelectric point	نقطة التعادل الكهربي
Isogamous	أيزوجاميس
Isogamy	تزاوج أمشاج متشابهة
Isotonic	أيزوتونك
Itaconic acid	حمض ايتاكونيك

K

Koch postulates	فروض كوخ
Kophotrichous	بكتريا متعددة الأسواط

L

Lag phase	الطور التمهيدي
Late blight	اللفحة المتأخرة
Latent period	فترة سكون
Lenticele	العديسات
Leukemia	لوكيميا
Lichens	أشنات
Linear	مستقيم
Lipid solvent	مذيب دهون
Lipids	دهون
Lipopoly saccharides	ليبوبولي سكاريد
Lipoprotein	ليبوبروتين
Local lesion	نقط موضعية
Loose smut	مرض التفحم السائب
Lophotrichous	عديدة الأسواط القمية
Lyophilization (Freez drying)	التجفيد
Lysogeny	ليسوجيني
Lysomal proteases	إنزيم ليسومال بروتيز
Lysosome	فجوة داخل الخلية تحتوي إنزيم محلل يسمى (ليوزيم)
Lysozyme	إنزيم ليسوزايم
Lytic cycle	دورة التحليل

M

MacConkey agar	آجار ماكونكي
Macro nutrients	عناصر كبرى
Macroconidia	كونيديا كبرى
Macrocycle rust	أصداء طويلة الدورة
Macrocyclic rusts	أصداء ذات دورة حياة طويلة
Macronucleus	نواة كبيرة
Macroscopic	فوق ميكروسكوبي
Mahonia	جنس ماهونيا (نبات عشبي)
Maltase	إنزيم المالتيز
Maltose	مالتوز
Mannitol salt agar	آجار ملح المانيتول
Marine Ascomycetes	فطريات أسكية تعيش في البحار والمحيطات
Mastitis	مرض التهاب الضرع
Maximum temperature	الحد الأعلى
Meat broth	مرق اللحم
Meiosis	انقسام النواة اختزاليا
Melampsoraceae	الفصيلة الميلاميسورية
Membrane envelope	ظرف الغشاء
Membrane filter	أغشية ترشيح
Meningitis	الحمى الشوكية
Mesophiles	محب للحرارة المتوسطة
Mesosome	الميزوزوم
Messenger RNA	مرسل RNA
Metabolic	أيضي

Metabolism	التمثيل الغذائي
Metabolize	يمثل غذائيا
Metachromatine	ميتاكروماتين
Metachromatine granules	حبيبات ميتاكروماتين
Methane	غاز الميثان
Methanotrophic bacteria	البكتريا المحللة للميثان
Methyle-accepting (McPs)	مستقبلات كيماوية
Methylene blue	أزرق الميثيلين
Metric system	النظام المتري للقياس
Microaerophilic	محب لنسب الهواء الضئيلة
Microbiology	ميكروبيولوجي
Microconidia	كونيديا صغرى
Micron	ميكرون
Micronucleus	نواة صغيرة
Micronutrients	عناصر صغرى
Microorganisms	كائنات حية دقيقة
Microscopic morphology	الصفات الظاهرية المجهرية
Minelayer tissue cultures	المزارع النسيجية وحيدة الحركة
Minerilization	المعدنة
Minimum temperature	درجة الحرارة الدنيا
Mitosis	انقسام غير مباشر
Mixed culture	مزرعة مختلطة
Mixotrophic (Mixotrophs)	التغذية المختلطة
Moist heat	الحرارة الرطبة
Molds	أعفان

Monera	المونيرا
Monocaryon	أحادية النواة
Monolayer	أحادي الطبقة
Monolayer tissue culture	مزرعة النسيج أحادي الطبقة
Monotrichous	بكتريا أحادية الأسواط
Mordant	مثبت الصبغة
Morphology	الشكل الظاهري
Mosaic	التبرقش
Mosses	الحزازيات
Motility	حركة
Mucin	الميوسين
Mucus	مخاط
Multilayer	عديد الطبقات
Multiple-fission	انقسام متعدد
Mummification	جفاف (تحنيط) الثمار
Mushrooms	المشروم
Mutation	طفرات
Mycelia sterillia	الميسيليوم العقيم
Mycelium	غزل فطري
Mycetales	مقطع تنتهي به أسماء الرتب
Mycitida	مقطع تنتهي به أسماء تحت الطائفة
Mycology	علم دراسة الفطريات
Mycoplasma	الميكوبلازما
Mycorrhiza	الميكورايزا
Mycota	مقطع تنتهي به أسماء الأقسام

Mycotina	مقطع تنتهي به أسماء تحت الأقسام
Myxomycota	الفطريات اللزجة (الدنيئة)

N

Naked virion	فيروس عار
Natural acquired immunity	المناعة الطبيعية المكتسبة
Natural enviroment	بيئة طبيعية
Natural media	بيئات طبيعية
Necrosis	النقط الميتة
Necrosis diseases	أمراض التقرح
Negative stain	الصبغة السالبة
Nest's fungi	فطريات الأعشاش
Neurotrophic virus	فيروسات الأعصاب
Neutrophiles	محب للوسط المتعادل
Nitrification	النترتة
Nitrogenase	انزيم نيتروجينيز
Noformacin	نوفورماسين
Non- acid fast	غير صامد للأحماض
Non- ionizing radiation	أشعة غير مؤينة
Non-photosynthetic	غير تمثيلية ضوئية
Non-symbiotic nitrogen fixation	تثبيت حيوي لاتكافلي
Nuclear area	المنطقة النووية
Nucleic acid	حمض نووي
Nucleotide	نيوكلوتيد
Nutrient broth	مرق مغذ
Nutrients	عناصر غذائية

Nutrition	تغذية
Nutritional requirements	الاحتياجات الغذائية

O

Objective lens	عدسة شيئية
Obligate aerobic	هوائية إجبارية
Obligate anaerobic	لاهوائية إجبارية
Obligate parasite	إجبارية التطفل
Ochromones	أكرومونس (من الطحالب)
Ocular lens	عدسة عينية
Ocular micrometer	عدسة عينية ميكرومترية
Oidium	الجراثيم الأويدية (مفرد)
Oidia	الجراثيم الأويدية (جمع)
Oogamy	أواوجيمي
Oogonium (Oogonia)	أواوجونيم
Oomycetes	الفطريات البيضية
Oospores	جراثيم بيضية
Optimum	الحد الأمثل
Organic	عضوي
Organic nutrients	عناصر عضوية
Organs	أعضاء
Osmosis	الانتشار الإسموزي
Osmotic pressure	ضغط إسموزي
Otomycosis	مرض يصيب الرئة
Ouromin-o	أورامين - او (صبغة)
Overwintering	بيات شتوي

Oxidation	أكسدة
Oxygen	الأكسجين

P

Pallmeloid	باليلويد
Parasite	طفيلي
Parasitic fungi	فطر متطفل
Parasitism	عملية التطفل
Parasitology	علم دراسة الطفيليات
Parent celles	خلايا أبوية
Pasteurization	البسترة
Pathogenicity	القدرة على إحداث المرض
Pattern	شكل
PCNB	نوع من المبيدات الفطرية
Pebrine disease	ببرين (مرض)
Pellicle	بيليكل
Penitration	اختراق
Penicillin	البنسيلين
Penicillum	لفظ لاتيني بمعنى (الفرشاة)
Pentomers	بينتوميرز
Peptidoglycan	ببتيدوجلايكان
Perfect stage	الطور الكامل
Perithecia	نوع من الأجسام الثمرية
Peritrichous	بكتريا محيطية الأسواط
pH	درجة الحموضة
pH indicator	دليل الحموضة

pH meter	جهاز قياس درجة الحموضة
Phaeophyceae	الطحالب البنية
Phagocytosis	ظاهرة الالتهام
Phagotrophic	ملتهمة
Phase contrast condenser	من المكثفات
Phase contrast microscope	مجهر تباين الأطوار
Phase contrast objectives	شيئية تباين الأطوار
Phenol co-efficient	المعامل الفينولي
Phosphatase test	اختبار إنزيم الفوسفاتيز
Photoautotrophs	ضوئية ذاتية التغذية
Photoheterotrophs	كائنات ضوئية غير ذاتية التغذية
Photosynthesis	التمثيل الضوئي
Photosynthetic	تمثيلية ضوئية
Photosynthetic pigments	صبغات تمثيلية
Phototaxis	حساسية تجاه الضوء
Phototoctice	حركة الخلية تجاه الضوء
Phototrophic bacteria (Photobacteria)	البكتريا الممثلة للضوء
Phototrophs	ضوئية التغذية
Phramobasidiomycetidae	تحت صف الفطريات البازيدية المتباينة
Phycobilines	فايكوبيلنيز
Phycocyanin	الفايكوسيانين
Phycoerythrin	الفايكوايرثرين
Phylum (Phyl)	قبيلة
Physiological and biochemical characters	الخصائص الفسيولوجية والبيوكيميائية
Physiological races	سلالات فسيولوجية

Phytophlagellates	السوطيات نباتية التغذية
Phytoplankton	فيتوبلانكتون
Pili	بيلي
Plantae	مملكة النبات
Plasma clot culture	مزرعة بلازمية تجلطية
Plasma membrane	الغشاء البلازمي
Plasmids	بلازميدز
Plasmodia (Plasmodium)	بلازموديوم
Plasmodial development	التطور البلازموديومي
Plasmolyses	البلزمة
Plastic polymers	بلاستك متبلمر
Pleomorphism	بليومورفيزم
Poliomyelitis	مرض شلل الأطفال
Poliovirus	نوع من الفيروسات
Poly-B-hydroxyalkamoate (PHAS)	مواد بلاستيكية بكتيرية
Polyhedral	عديد الاوجه
Polypeptidase	إنزيم بولي بيبتيداز
Polypeptide	عديد الببتيد
Polysaccharides	سكريات عديدة
Polyviruses	الفيروسات المتعددة
Pores	ثقوب
Positive stain	الصبغة الموجبة
Pour plate method	طريقة الأطباق المصبوبة
Powdery mildew	البياض الدقيقي
Powdery scab of potato	مرض الجرب المسحوقي في البطاطس

Premature lyses	تحليل مبكر
Pressure	ضغط
Presumptive test	اختبار احتمالي
Primary consumer	مستهلك أولي
Primary metabolites	منتجات أيضية أولية
Primary producer	منتج أولي
Primary products	مركبات جديدة مخلقة
Primary treatment	معاملة أولية
Prism	منشور
Procaryotic	بروكاريوتيك
Progametangia	خلية أمشاج بدائية
Progestron	هرمون بروجسترون
Protamine sulphate	سلفات البروتامين
Protease	إنزيم بروتيز
Protista	بروتستا (الطلائعيات)
Protoplasmic membrane	الغشاء البروتوبلازمي
Protozoa	الأوليات
Protozoology	علم دراسة البروتوزوا
Pseudopodia	الأمبيات
Psychrotrophs	كائنات محبة لدرجات الحرارة المنخفضة
Psycrophiles	محب للحرارة المنخفضة
Pucciniaceae	الفصيلة البكسينية
Puerperal fever	حمى النفاس
Puff balls	الكور المنتفخة
Pure culture	مزرعة نقية

Purple bacteria	البكتريا الأرجوانية
Pyrenoid	مراكز تخزين النشا
Pyrrophyta	الطحالب البيرية

Q

Q-fever	حمى كيو

R

Rabies	داء الكلب
Radiation	إشعاع
Receptor sites	مناطق استقبال
Receptors destroying enzymes (RDE)	نوع من الإنزيمات
Recombination	إعادة التوصيل
Red bread molds	عفن الخبز الأحمر
Reflective index	معامل الانكسار الضوئي
Renine	رنين (إنزيم)
Replication	تكرار
Reproduction	تكاثر
Resazurine	ريسازورين (صبغة)
Reserved granules	حبيبات مخزنة
Resistance	مقاومة
Resolving (Resolution) power	قوة التمييز
Respiration	تنفس
Rhematoid arthritis	روماتيزم التهاب المفاصل
Rhizobium-lugume symbiosis	التكافل بين الريزوبيا والنباتات البقولية
Rhizoids	أشباه جذور
Rhizosphere	ريزوسفير

Rhodophyta	الطحالب الحمراء
Ribonucleic acid (RNA)	نوع من الحموض النووية
Ribose	سكر احادي الرايبوز
Ribosomal DNA	ريبوسومال DNA
Ribosomal RNA	ريبوسومال RNA
Ribosome	ريبوسوم
Rickettsia	الركتسيا
Ring like diffraction plate	قرص تشتيت الضوء
Ring spot	بقعة حلقية
R-Non lugume symbiosis	التكافل بين الريزوبيا والنباتات غير البقولية
Rocky mountain spotted fever	حمى الجبال الصخرية المنقطة
Roller tube culture	مزرعة الأنبوبة اللفافة
Root knot nematode	نيماتودا تعقد الجذور
Rotate	يدور حول نفسه
Run	حركة للأمام
Rust diseases	أمراض الأصداء

S

Sabouraud's glucose agar	من البيئات الفطرية
Saccharomyces	فطرة الخميرة (جنس)
Saccharomycetaceales	رتبة (تتبعها الخمائر)
Salinity	الملوحة
Salting-out	إزالة ملحية
Sanitary survey	المسح الصحي
Sanitization	الوقاية الصحية
Saprophytic	مترمم

Saprophytism	الترمم
Sarcodina	اللحميات
Scale	أغلفة تحيط بالطحالب الذهبية
Scanning electron microscope	المجهر الإلكتروني المساح
Schaeffer-fulton endospore stain	صبغة
Sclerotia	الجسم الحجري
Secondary consumers	مستهلك ثانوي
Secondary metabolites	منتجات أيضية ثانوية
Secondary (Biological) treatment	معاملة ثانوية
Seed decay	تحلل البذور
Selective	اختياري
Selective media	بيئات اختيارية
Semi-symbiotic N_2-fixer	مثبت النيتروجين شبه تكافلي
Septa	مقسم
Septate hyphae	خيوط فطرية مقسمة
Serological analyses	تحليل سيرولوجي
Serum	مصل
Sexpilus	هدب جنسي
Sexual	جنسي
Sexual spores	جراثيم جنسية
Sexually compatible	متوافق جنسيا
Sheath	أغلفة أنبوبية
Shelf fungi	فطريات الأرفف
Shell	صدفة
Shellfish	الأصداف السمكية

Shot hole	تثقيب الأوراق
Simple diffusion	الانتشار البسيط
Simple stain	الصبغ البسيط
Single cell protein (SCP)	بروتين وحيد الخلية
Single stranded	مفرد الخيط
Skim milk	حليب منزوع الدسم
Slime molds	أعفان لزجة
Slimy milk	الحليب اللزج
Smear	غشاء
Smut diseases	أمراض التفحم
Smut fungi	فطريات التفحم
Soft rot	عفن طري
Soil air	هواء التربة
Soil colloid	غرويات التربة
Soil microbiology	ميكروبيولوجيا التربة
Soil microflora	فلورا التربة
Soil water	ماء التربة
Solid media	بيئات صلبة
Somatic structure	التركيب الخضري
Spawn	كتل لتنمية المشروم
Species	نوع
Spikes	سبايكز
Spirilla	منحنية
Spirillum	بكتريا منحنية عدة انحناءات
Spontaneous generation (obiogenesis)	التوالد الذاتي

Spontaneous induction	إدخال ذاتي
Sporangiophores	الحوامل السبورانجية
Sporangiospores	جراثيم اسبورنجية
Sporangium	أسبورانجيوم (مفرد)
Sporangia	أسبورانجيا (جمع)
Spore cell wall	جدار خلية الجرثومة
Spore coat	غلاف الجرثومة
Sporodochia (sporodochium)	وسادة أسبورية
Sporogenesis (sporulation)	تجرثم
Sporogenous cells	خلايا تكاثرية
Sporoplasm	سيتوبلازم الجرثومة
Sporozoa	الجرثوميات
Spread plate method	طريقة الأطباق المنشورة
Stage micrometer	شريحة ميكروميترية
Stain	صبغة
Stalk	خيوط جيلاتينية
Standard condition	الظروف القياسية
Staphylococci	البكتريا العنقودية
Statianary phase	الطور الثابت
Stella	بكتريا ذات شكل يشبه النجمة
Stem rust	مرض صدأ الساق
Sterigmata	سترجماتا
Sterilant	معقم
Sterilization	التعقيم
Steroids	الستيرويدات

Stink horms	القرون العفنة
Stock culture collection	المجموعة المزرعية الاحتياطية
Stolens	ستولنز (مدادات)
Stone fruit	الفاكهة الحجرية
Strands	خيوط
Streak plate method	طريقة الأطباق المخطوطة
Streptobacilli	بكتريا عصوية في سلاسل
Streptomycin	ستربتومايسين
Stroma	الوسائد الهيفية
Stunting	التقزم
Sub-species	تحت نوع
Substrate	المادة التي يعمل عليها الإنزيم
Subunit	وحدة صغيرة
Sudan-3	صبغة سودان -٣-
Sulpher granules	حبيبات كبريت
Susceptible	حساس
Symbiosis	تكافل
Symbiotic nitrogen fixation	تثبيت حيوي تكافلي
Synnema	ضفيرة كونيدية
Synthesizing	تخليق
Synthetic ability	القدرة التخليقية

T

Tail	ذيل
Tannic acid	حمض التانيك
Teichoic acid	حمض تيشويك

Teliomycetidae	تحت صف الفطريات التليوميسيتية
Teliospores	جراثيم تيليتية
Temperature	درجة الحرارة
Tetracoccus	بكتريا كروية رباعية
Thermal death point (TDP)	نقطة الموت الحراري
Thermal death time (TDT)	زمن الموت الحراري
Thermophiles	كائنات محبة للحرارة المرتفعة
Three dimension	ثلاثي الأبعاد
Tissue culture	مزرعة نسيجية
Toadstoole	تودستولز (نوع من الفطريات البازيدية)
Tobaco mosaic virus (TMV)	فيروس تبرقش الدخان
Tomato Mosaic Virus	مرض تبرقش الطماطم
Toxins	سموم
Trace elements	عناصر نادرة
Transduction	التحويل
Transformation	التوصيل
Transgenic plants	نباتات معدلة وراثيا
Transmission electron microscope	المجهر الإلكتروني النفاذ
Transverse binary vision	الانقسام الثنائي المستعرض
Trichomycetes	الفطريات الشعرية
Trophic	الطور الخضري في الأوليات
Truffle	الفقع (الكمأة)
Tuberculosis	مرض السل
Tumble	توقف
Tumors	الأورام

Typhoid	مرض التيفوئيد
Typhoid fever	الحمى التيفودية

U

Ultra centrifuge	طرد مركزي عال
Ultra sonic	تردد عال جدا
Ultra thin	رقيق جدا
Ultra violet	فوق بنفسجي
Ultra violet microscope	المجهر الفوق البنفسجي
Um	ميكروميتر
Unglazed porcelain	بورسالين غير مصقول
Unisexual	أحادي الجنس
Urease	إنزيم اليوريز
Uredinales (rusts)	رتبة الأصداء
Uridiospores	جراثيم يوريدية
Ustilaginales (smuts)	رتبة التفحمات
UV Radiation	أشعة فوق بنفسجية

V

Vaccine	لقاح
Vesicles	حويصلات
Viricide	قاتل للفيروسات
Virion	فيروس خامل
Virology	علم دراسة الفيروسات
Viropexis	الفيروسات المحتواة
Virulence	القدرة على الإمراض
Virulent	ممرض

Virus	فيروس نشيط
Volutine	فوليوتين

W

Water and sewage microbiology	ميكروبيولوجيا المياه والمجاري
Wheat bunt	مرض تفحم القمح
Wilt	الذبول
Wound dressing	ضماد الجرح (كاسيات الجروح)

X

Xenobiotics	المبيدات الكيماوية الزراعية
X-ray analyzer	محلل الأشعة السينية

Y

Yeast	فطر الخميرة (اسم إنجليزي)

Z

Zonation	تحديد المناطق
Zoogloea	زوجليا
Zoophlagellates	سوطيات حيوانية المعيشة
Zooplankton	من الحيوانات المائية
Zoospores	جراثيم متحركة
Zoosporongia	أكياس الجراثيم الهدبية
Zucchini yellow mosaic virus	مرض التبرقش الأصفر على الكوسة
Zygomycetes	الفطريات الزيجوية
Zygospores	جراثيم زيجية
Zygot	اللاقحة

كشاف الموضوعات

أ

اثيونين ١٨٥
أجسام ثمرية ٢٠١، ٢٢٢، ٢٢٦، ٢٢٩، ٢٣٤
أجسام ثمرية قارورية ٢٢٢
أجسام ثمرية قرصية ٢٢٢
أجسام ثمرية مغلقة ٢٢٢
الأجسام الحجرية ٢٢٢، ٢٢٩
الأجسام المناعية ١٨٦
أحادي الصبغة ٢٢٢، ٢٣٢، ٢٤٥
اختبار إيكمان ٣٩١
اختبار الريزازورين ٣٨٠
الادمصاص ١٦٥، ١٦٨، ١٦٩، ١٧٣، ١٧٦، ١٨٢، ١٨٤
الإرجوت ٢١٨، ٢٢٢
إرجوتوكسين ١٩٤
إرجومترين ١٩٤
أرشيزوا ١٢٢
الأزوسبيريللام ٣٥٥
الأزوموناس ٣٥٥
استجابة التحمل للحموضة ٣١٠
الإسهال الدموي ١٣٦
الأسواط (السوط) ٦٩، ١٠٨، ١٢٨، ١٥٢، ٢٥٦، ٢٥٨، ٢٧١، ٢٧٢، ٢٧٣، ٢٧٤، ٢٧٥، ٢٧٦، ٢٧٨، ٣١٥
أشباه الجذور ٢١٦
الأشعة المؤينة ٩٨، ٩٩
الأعفان (العفن) ١٢١
اقتران ١٣١، ١٣٣، ١٣٦، ١٤٥، ٣١٨، ٣١٩
اكتينوميسيتات ٣٧، ٢٩٩، ٣٤٣، ٣٥٥
التهاب الضرع ٣٨١
التهاب الكبد الوبائي (التهاب الكبد الفيروسي) ٢٥، ٩٣، ١٣٨، ١٧٩، ٣٨٣
التهاب المفاصل (الروماتويد) ٣٩
التهاب المفاصل الروماتزمية ٣٩
الالتهاب السحائي ١٣٨
الإلتهام (التهام) ١٤، ١٣٢، ١٣٥، ١٣٦، ١٦٤، ١٧٦
الألجين ١٥٥
الأمطار الحمضية ٤٦٣
الأنابيب الشعرية ٢٧٧

أنابيب جرثومية ٢٤٥، ٤٠٥
الأنبوبة اللفافة ١٨٨
الانتشار البسيط ٢٦٦، ٢٦٧، ٢٩٤
أنتوني ليفنهوك ٤، ٥
انثراكس ١٣، ٢٧
أنجستروم ٤٢، ٤٣، ٤٦
الانزلاق ١٢٨، ١٣٣، ١٣٦
إنزيم الأميليز ٣٣٠
إنزيم المالتيز ٣٣٠
إنزيمات داخلية ٣٢٨
انقسام اختزالي ١١٧، ١٥٢، ٢٢٢
الانقسام الثنائي البسيط ٢٩٩
الأنوفيللس ١٣٦، ١٣٧
أهداب جنسية ٣١٨
أوتوكلاف ٩٣، ٩٤، ١٠٠
أوديم ١٩٨
أوكسي كروم (أكسوكروم) ٥٧
الإيدز ٢٥
الأيض ٣٢٦

ب

باستير ١٠، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ٢٧، ٣٣، ٩٥، ١٨٧، ٣٧٥
بثرات ٢٤٦
برتوزوا ٢٣، ٤٤، ٨٧، ١١٣، ١١٥، ١١٩، ١٢٧، ١٢٨، ١٣٠، ١٣١، ٣٤٠، ٣٤١، ٣٨٧، ٣٩٣
البروتستا ١١٥، ١١٩، ١٢٠، ١٢١، ١٢٢، ١٢٩، ١٣٩
بريفوست ٣٩٧
بكتريوفاج ١٥٨، ١٦١، ١٦٢، ١٦٦، ١٦٧، ١٦٨، ١٦٩، ١٧٠، ١٧٣، ١٧٦، ١٧٨، ١٨٤، ٣١٧
البكتيريا الزرقاء ١١٩، ١٤٨، ٣١٥، ٣٤٢، ٣٥٥
بكتيريا القولون (ميكروبات القولون) ٣٧٤، ٣٨٠، ٣٩٠، ٣٩١
بلاذموديوبلوروميكوتا ٢١٠
البلازمودفورية ٢٠٧
بلازموديوم ١٩٧، ٢٠٩، ٢١٠، ٤٠٥
البلاستيك البكتيري ٤٤٩، ٤٦٢
البلزمة ٩٧، ١٠١، ٢٩٦، ٣١١
البوغيات ١٣٣، ١٣٦
بيئات اختارية ٧٩
بيرجي ٢٨٧، ٢٨٨
بيلي ١١٦، ١٧٠، ٢٥٦
بين الخلايا ٤١٧

ت

تأقلمها التطوري ٢٩٨
تبرقش ١٥٧، ١٨٠، ٣٤٦، ٤٤٢، ٤٤٣، ٤٤٤
التجفيد ٩٧
التجويف الرهلي ١٨٧
التحام جنسي ٢١٥
التحليل السيرولوجي ٢٨٦
التخمر ٣٥، ١٩٣، ٣٢٩، ٣٦٦، ٣٧٢، ٣٧٧

تربتوفان ١٨٥
التركيب الخطافي (الجزء المخلبي) ٢٥٨، ٢٧٢، ٢٧٣
تريبانوسوما ١٣٤
التسمم البوتشيلني ٣٦٣
التسمم الغذائي ٣٦٢
التضاد ٣٤٩
التطفل ١٩١، ٣٦٤
التطور البلازمودي ١١٢
التغذية المختلطة ٢٩٧
التفتت ١٤٥، ١٥١، ٢١٩، ٢٢٠
التفحم (التفحمات) ١٦، ٢٦، ١٩٤، ٢٠٦، ٢٣٩، ٢٤٤، ٤٢١، ٤٢٢، ٤٢٣، ٤٢٤
تقزم ٢٤٥، ٣٩٩
التكافل ١٩٢
التلازن ١٧٤
التهجين ٢٨٦
التوالد الذاتي ٧، ٨، ٩، ١٠

ث

ثنائية الصبغة ٢٣٢

ج

الجذر صولجاني ٤٠٢، ٤٠٣
الجراثيم الأسكية (الزقية) ٢٠١، ٢١٨، ٢٢١، ٢٣٤، ٢٣٩
الجراثيم البازيدية ٢٠١، ٢٣٩
جراثيم بيضية ٢٠١، ٢١٢، ٢١٣
الجراثيم السابحة ٢٠٨، ٢١٢، ٤٠٤، ٤٠٥
الجراثيم الكلاميدية ١٩٨، ١٩٩، ٢١٩
الجراثيم المفصلية ١٩٨
جراثيم هدبية ٢١١، ٢١٣، ٤٠٦، ٤٠٨، ٤١١، ٤١٤
الجرانيولوز ٧٠
الجسم القاعدي ٢٧٢
الجلايكوجين ١٠٨
جلوبيولين جاما ١٨٤

ح

حاضن ٧٩، ٩٢
الحامل الكونيدي ٢٢٠
الحجر الزراعي ٤٤٥
الحقن ١٦٤
حلزون مزدوج ٣١٣
الحليب اللزج ٣٧٨
حمض نووي أحادي (مفرد) ١٦١، ١٦٦، ١٦٧، ٢٨٦
الحمى التيفودية ٣٨٢
الحمى المالطية ٣٨١
حمى النفاس ١٣
حمى كيو ٣٧٩

خ

خلايا أبوية ١٩٨
الخلايا المنحنية ٢٥٧
الخيوط المحورية ٢٧٥

د

الدائرة المائية ٣٨٦

دايكلوران ٤١٨
الدبال ٣٣٨، ٣٤٠
الدركسيا ٣٥٥
الدروسوفيلا ٢٣٠
الدفتيريا ١٤، ٣٨٢
دورة المرض ٤٠٧، ٤٠٨، ٤١٠، ٤١١، ٤١٤، ٤١٥، ٤١٦، ٤٣٠، ٤٣٣
الدياتومات ١٤١، ١٤٤، ١٤٩، ١٥٣

ذ

ذاتية التغذية ٧٥، ٢٩٢، ٣٥٣

ر

الرقروق ٢٣٣، ٢٣٤
الركتسيا ٤٣، ٣٣٠، ٣٣١، ٣٣٢، ٣٣٣، ٣٧٦
الروابط التكافلية ٨٩، ٣١٤
الروابط الكلابية ٢٤٠
روبرت كوخ ١٣، ٣٩٨
روبيجان ٤٨٠
الريزوسفير ٣٤٩، ٣٥٠

ز

الزحار ٣٨٢
زمن المضاعفة ٣٠٠
الزيجوت ٢٠٩، ٢١٢

س

السباون ٢٤٣
سبيروجيرا ١٤٥
الستروما ٢٢٤
الستيرويدات ٣٩
السلالات الفسيولوجية ٢٤٦، ٤٢٥
سورداريالس ٢٢٩

ش

الشريحة الميكرومترية ٢٥٢
شلل الأطفال ١٧٩، ١٨٢، ١٨٥، ٣٨٢

ص

صبغة جرام ٦٢، ٦٣
الصبغة السالبة ٦٢، ٦٨
الصدأ (الأصداء) ١٦، ٢٠٦، ٢٣٩، ٢٤٤، ٢٤٥، ٢٤٦، ٢٤٧، ٢٤٨، ٣٩٨، ٤٢٤، ٤٢٦، ٤٤٨
الصدأ ذو العائلين ٢٤٨، ٤٢٤

ض

ضوئية غير ذاتية التغذية ٢٩٢

ط

الطاقة البديلة ٤٤٩، ٤٥٠
الطبقة الجلدية ٤١٧
طريقة بريد ٣٧٩
طفرات ٢٤٦، ٣١٢
الطلائعيات ١٠٧، ١١٥
الطور الأميبي ٤٠٤

ظ

الظاهرة الأسموزية ٢٩٤
الظاهرة الفلورسينية ٤٩
الظروف القياسية ١٠٣

ع

العـــائل ١٣٧، ٢١٣، ٣٩٨، ٤٠١، ٤١٠، ٤٢٤، ٤٢٦
عدسات كهرومغنطيسية ٥٢، ٥٥
العدسة العينية الميكرومترية ٢٥٢
العديسات ٢١٣
عملية البناء ٣٢٦
عملية الهدم ٣٢٦

غ

غرويات التربة ٣٣٩
الغزل الفطري ١٩٧، ٢١٩، ٢٣٠
الغشاء ٣٠٩
الغشاء البكتيري ٦١، ٦٣، ٦٧، ٦٨
الغشاء البلازمـي ٨٩، ٢٣١، ٢٥٩، ٢٦٦، ٢٦٧، ٣١٠، ٣١١
الغشاء الخلوي ٨٩، ١١٦، ١٦٥، ٢٨٠
الغشاء المنباري الكريولي ١٨٧
غير ذاتية التغذية ٧٥، ٢٩٢

ف

فايكوايراثرين ١٤٧
فايكوبيلنيز ١٤٧
فايكوسيانين ١٤٧
فترة السكون ٤١٤
الفساد الغذائي (فسـاد الأغذية) ٣٦٣، ٣٦٤، ٣٦٩
فطريات الأرفف ٢٣٩
الفطريـــات الجذريـــة ١٩٢، ٢١٤، ٢٣٣، ٢٤٢
الفطريات الخيشومية ٢٤٢
الفطريـــات اللزجـــة ١١٢، ١١٤، ١١٩، ١٩٧، ٢٠٧، ٢٠٨، ٢٠٩
فطريات عقيمة ٢٣٥
الفقع ١٩٤، ٢١٨
فولفوكس ١٤٣، ١٤٤
الفوليوتين ٧٠
فينيل ألانين ١٨٥

ق

القدرة الإمراضية ٤٠١
القدرة التخليقية ١٥٩
القرون العفنة ٢٣٩
قوة التمييز ٤٦، ٥٢

ك

كابتان ٤١٦
الكبسولة (العلبة) ٦٨، ٢٥٩، ٢٦٠
الكلبسيلا ٣٥٥
الكتيريدية ٢٠٣
الكرات النافخة ٢٣٩، ٢٤١
الكربوكسيل ٣٣٠
كربول فوكسين ٦٢، ٦٧
كرومستا ١٢٢
كلاميدوموناس ١٥١، ١٥٢، ٣٠٦
كلوروفيـل ١٠٨، ١١٣، ١٣٣، ١٣٩، ١٤١، ١٤٢، ١٤٧، ١٤٩، ١٥٠، ١٥٣، ١٥٥، ٢٨٩، ٣٤٠، ٣٥١، ٤١٤

الكمأة ١٩٣، ٢٣٣، ٢٣٤
الكوليرا ٢٨، ٣٨٢، ٣٨٨
الكوليفاج ١٨٥
الكونيديات ١٩٨
كيميائية ذاتية التغذية ٢٩٢
كيميائية غير ذاتية التغذية ٢٩٢

ل

لاقحة ١٤٥، ١٥٢
اللفحة المتأخرة ٤٠٦
اللقاح (اللقاحات) ٣٨، ٧٨، ٧٩، ١٨٧، ٢٥٩، ٣٣٣
الليبوبروتين ١٧٣
الليشمانيا ١٣٤
ليكوسين ١٥٠

م

ماكونكي ٨٠، ٣٨٠
مثبتات الأصباغ ٥٨
المجموعة المزرعية ٨١
محبة للحموضة المرتفعة ٣٠٩
محبة للحموضة المعتدلة ٣٠٩
محبة للقلوية العالية ٣٠٩
مخلوط بوردو ٤١٦
مدادات ٤١٧
المدمج الخلوي ١١٢، ١١٥، ١٩٥
المرافق الأنزيمي ٣٢٨
المرشحات الغشائية ٩٦
المرق المغذي ٧١، ١٠٣
مزارع أجنة الدجاج ١٨٧
المزارع البلازمية التجليطية ١٨٨
المزارع المختلطة ٧٢
المزارع النسيجية وحيدة الطبقة ١٨٨
مزارع نقية ١٩، ١٧٢
مزدوج الخيط ٣١٤، ٣١٦
المسببات المرضية ٤٠١، ٤٤٥
مستقبلات كيماوية ٢٧٧، ٢٧٨
المشروم ١٢١، ١٩٤
معامل الانكسار الضوئي ٤٧
المعامل الفينولي ١٠٣
المعدنة ٣١، ٣٥٣
المكافحة البيولوجية ٤٤٧، ٤٤٩، ٤٥٣، ٤٥٤
المكافحة المتبادلة ٤٤٤، ٤٤٥
المكثف ٤٦
ممصات ١٥٦، ١٩٧، ٢١٢، ٢٢٧، ٤٠٩، ٤١٤، ٤١٧
منشور ٥٢
المنطقة النووية ٢٧٠
المواد الفلوريسنية ٤٩
المواد المترددة ٥٩
موت البادرات (الموت المفاجئ) ٢٣٨، ٣٩٩، ٤٠٩، ٤١١
المونيرا ١١٩، ١٢٠، ١٢١، ١٢٢، ١٣٩
ميتوكسنين ١٨٥
الميسليوم المتعدد الأنوية ٢١٩
الميكروبات الدالة ٣٨٩

الميكوبلازمـــا ٢٥٦، ٣١٥، ٣٣٠، ٣٣١، ٣٤٣
الميكورهيزا ٢١٤، ٢٤٢
الميثاكروماتين ٢٧١

ن

النترتة ١٥، ٣٥٧
النتروجينوباكتر ٣٥٥
النظرية الجرثومية ١١، ١٢
نقطة التعادل الكهربي
نوفورميسين ١٨٦
نيدهام ٧
نيكولاي امبرت ٣٦٠
نيوروسبورا ١٨٥
النيوكليوتيدات ١٦٠

هـ

الهالوجينات ٣٢٢
الهندسة الوراثية (هندسة الوراثة) ٣١٩، ٤٥٠، ٤٥٥، ٤٥٨
هيبوكريالس ٢٢٩
الهيستون ١١٧

و

الوحدات البروتينية ١٦٢، ١٦٣، ١٦٤، ١٧٢
وحدة بروتينية ١٦٧
الوسائد الهيفية ٢٢٤