منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الزراعية

علـم الفطـــريات

الدكتور
جـودة توفيق فضـول
أستاذ في قسم وقاية النبات

الدكتور
وليـــد غازي نفّــاع
أستاذ في قسم وقاية النبات

جامعة دمشـــــق

1429 - 1430هـ

2009 - 2008 م

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المحتـــويـــات

المقـــدمة 11

لمحة تاريخية.....15

الفصل الأول : الأهمية الاقتصادية للفطريات

أولاً : فوائد الفطريات الاقتصادية.....19

- الفطريات في الصناعة.....19

- الفطريات في الطب.....21

- الفطريات في التغذية.....22

- استخدامات أخرى للفطريات.....23

ثانياً : أضرار الفطريات.....24

- السموم الفطرية 26

الفصـــل الثاني : مورفولوجيا المشيجة الفطرية

أولاً : تركيب جسم الفطريات 33

ثانياً : الخيوط الفطرية Hyphae.....35

ثالثاً : نمو الخيوط الفطرية.....37

رابعاً : تفرع الخيوط الفطرية 39

خامساً : تشكل الحواجز العرضية في الخيوط الفطرية ..... 41.

سادساً : التركيبات الجسمانية المتخصصة 46

سابعاً : بنية الخلية الفطرية 62

ثامناً : انقسام النواة 68

الفصل الثالث : التكاثر عند الفطريات Reproduction of fungi

أولاً : التكاثر اللاجنسي 73

ثانياً : التكاثر الجنسي 88
ثالثاً : دورة الحياة الجنسية الجانبية عند الفطريات.....98
رابعاً : إنبات الأبواغ 102
خامساً : فترة الراحة أو السكون عند الفطريات.....104
سادساً : تحرر أو انطلاق الأبواغ 105
سابعاً : انتشار الفطريات 109

الفصل الرابع : تصنيف الفطريات Classification of fungi

أولاً : الأسس والقواعد العامة في التصنيف.....115
ثانياً : التسمية Nomenclature.....123

الفصل الخامس: قسم الفطريات العارية Division Gymnomycota

أولاً : مقدمـــــــــة 125
ثانياً : تصنيف الفطريات العارية.....126
ثالثاً : صف المخاطيات النباتية Class Plasmodiophoromycetes ...126

الفصل السادس: صف الفطريات الكيتريدية Class Chytridiomycetes

أولاً : مقدمـــــــــة 133
ثانياً : تكاثر الفطريات الكيتريدية.....134
ثالثاً : رتبة الكيتريديالس Order Chytridiales 135
رابعاً : رتبة بلاستوكلاديالس Order Blastocladiales 150
خامسا : رتبة الكيتريديات الخيطية Order Hyphochytridiales 155

الفصل السابع: صف الفطريات البيضية Class Oomycetes

أولاً : الصفات العامة للفطريات البيضية.....157
ثانياً : رتبة السابروليجينالس Order Saprolegniales 161

ثالثاً : رتبة بيرونوسبورالس Order Peronosporales 168
- فصيلة بيثياسيه Family Pythiaceae.....170
- فصيلة بيرونوسبوراسيه Family Peronosporaceae 179
- فصيلة ألبوجيناسيه Family Albuginaceae.....185

الفصل الثامن: تحت قسم الفطريات الزيجية Sub-division Zygomycotina

أولاً : الصفات العامة للفطريات الزيجية 191
ثانياً : صف الفطريات الزيجية Class Zygomycetes 192
- رتبة الميكورالس Order Mucorales 192
- رتبة جلومالس Order Glomales 204
- رتبة الزوباجالس Order Zoopagales 206
- رتبة إنتوموفثورالس Order Entomophthorales 206

الفصل التاسع: تحت قسم الفطريات الزقية Sub-division Ascomycotina

أولاً : الصفات العامة للفطريات الزقية 211
ثانياً : تحت صف الفطريات الزقية الأولية Hemiascomycetidae.....223
- رتبة الاندوميسيتالس Order Endomycetales 224
- رتبة فطريات التجعد Order Taphrinales 231
ثالثاً : الفطريات الزقية ذات الثمار الكروية Plectomycetidae 235
- رتبة اليوروشيالس Order Eurotiales 236
- رتبة ايريسيفالس Order Erysiphales 246
رابعاً : الفطريات الزقية الخصيبة Hymenoascomycetidae.....255
♦ الفطريات الزقية ذات الثمار الدورقية Pyrenomycetes 255
- رتبة الزيلاريالس Order Xylariales 256
- رتبة الكلافيسبتالس Order Clavicipitales 260

- رتبة الهيبوكريالس Order Hypocreales 267
♦ الفطريات الزقية ذات الثمار الطبقية Discomycetes 267
- الزقيات الطبقية غير الغطائية..... 269
- الزقيات الطبقية الغطائية..... 272
- رتبة البيزيزالس Order Pezizales 272
- الزقيات القرصية تحت الأرضية..... 277
خامساً : الفطريات الزقية المسكنية Loculoascomycetidae..... 283

الفصل العاشر: تحت قسم الفطريات الدعامية

Sub-division Basidiomycotina

أولاً : الصفات العامة للفطريات الدعامية..... 287
ثانياً : الفطريات كاملة الدعامة Holobasidiomycetidae..... 298
♦ مجموعة الفطريات الدعامية المعدية Gasteromycetes 298
- رتبة الهيمينوجاسترالس Order Hymenogastrales..... 300
- رتبة الفللالس Order Phallales..... 301
- رتبة الليكوبيردالس Order Lycoperdales 302
- رتبة النيدولاريالس Order Nidulariales 304
♦ مجموعة الفطريات الدعامية الخصيبة Hymenomycetes..... 306
- رتبة الأفيللوفورالس Order Aphyllophorales 306
- رتبة الأكاريكالس Order Agaricales 309
ثالثاً : الفطريات متباينة الدعامة Heterobasidiomycetidae..... 317
- رتبة أوريكولاريالس Order Auriculariales..... 317

رابعاً : الفطريات الدعامية المتقسمة Teliomycetidae.....320
- رتبة فطريات التفحم Order Ustilaginales.....321
- رتبة الأصدئة Order Uredinales……333

الفصل الحادي عشر: تحت قسم الفطريات الناقصة

Sub-division Deuteromycotina

مقدمـــــــة 355
أولاً : الرتبة الشكلية الخيطية : Form-order Hyphales 358
ثانياً : الرتبة الشكلية : Form-order Melanconiales.....364
ثالثاً : الرتبة الشكلية : Form-order Sphaeropsidales 366
رابعاً : الرتبة الشكلية : Form-order Agonomycetales.....371

الفصل الثاني عشر : بيئة الفطريات وعلاقتها مع الكائنات الحية الأخرى

أولاً : مقدمة 373
ثانياً : العوامل البيئية المؤثرة على نمو الفطريات..... 374
ثالثاً : طرائق معيشة الفطريات.....378
- المتعايشات الجذرية (الميكوريزا) Mycorrhiza.....383
- الأشَنَات أو الشيبيات Lichens 390
رابعاً : علاقة الفطريات مع الفطريات الأخرى.....402
خامساً : علاقة الفطريات مع الفقاريات.....405
سادساً : علاقة الفطريات مع الحشرات.....406
سابعاً : الفطريات الممرضة للعناكب.....411
ثامناً : علاقة الفطريات مع الديدان الخيطية (النيماتودا).....412
تاسعاً : علاقة الفطريات مع الإنسان.....417

قائمة المصطلحات العلمية 419
المراجع العلمية.....425

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

المقدمـــــــــة

عرف الإنسان الفطريات وعلاقتها بغيرها من الأحياء منذ فجر التاريخ، وأدرك أهميتها في جوانب عديدة من حياته البدائية، وتكشفت له غنى خصائصها، وتباينها في مكونات الوسط الحيوي وأنماطه البيئية في جغرافية الكون، وازداد شغفه في التعرف إلى كينوناتها، والإحاطة بأسرارها، وكما توصل بالتجربة، وقوة الملاحظة، لاستخدامها في طعامه، فجعلها ركناً من أركان غذائه. وتمكن من تمييز الأنواع السامة منها واستبعادها، وقد استخدمها في الكيد من أعدائه وقادته عبر التاريخ. كما استخدمها في الاختمارات المتنوعة، فصنع منها أنواعاً من المشروبات الكحولية والخلّيّة، وأدرك فوائدها الطبيّة فاعتمد أنواعاً عديدة منها في علاج الأمراض الباطنية والجلدية، وقد تخلل تلك العصور استخدامات غريبة لبعض أنواعها التي تؤثر في العقل والإدراك (الهلوسة).

وسنعرض في السرد التاريخي لتطور المفاهيم حول الفطريات عبر العصور إلى أن استقامت بركائز أساسية لعلم خاص بها هو علم الفطريات Mycology. وقد أخذ هذا العلم بالتقدم والتطور مع بداية القرن العشرين، وتشعبت فروعه. كما رافق ذلك تنوعاً في طرائق العمل العلمي والبحث المنهجي في ميادينه مستفيداً من الثورة العلمية المدهشة في علم الوراثة والكيمياء والتقانات الحيوية.

يعتبر هذا الكتاب (علم الفطريات) ضرورة علمية نقدمه لطلاب الجامعات، والدراسات العليا، والباحثين والدارسين المهتمين في الجامعات العربية بهذا العلم وتقاناته، وتطبيقاته. وقد تمّ إعداده وفق الخطة الدراسية الحديثة لكلية الزراعة في جامعة دمشق. وراعينا في تأليفه تعريف الطلاب والدارسين بماهية الفطريات، وبنياتها، وتعضياتها، وكينوناتها، وأنماط معيشتها، وطرائق تكاثرها قبل التعمق في الدراسات البيوكيميائية.

وللفطريات أهمية في ميدان وقاية النبات لما تسببه من أمراض للحاصلات الزراعية، وأشجار الفاكهة، ونباتات الزينة والحراج، والذي يترتب عنه كماً هائلاً من الفاقد في الإنتاج قد يصل إلى 30 – 100%، وخسائر اقتصادية تضر بالقطاع الزراعي والاقتصاد الوطني. كما تلعب الفطريات في الوقت ذاته دوراً محورياً في المكافحة الحيوية للأمراض النباتية، والآفات الحشرية، والديدان الخيطية وغيرها في الزراعة. ولا يتوقف ذلك عند هذا الحد، بل تلعب الفطريات دوراً هاماً في الصناعات الغذائية، والخمور، إضافة إلى أهميتها في الصناعات الدوائية.

وقد وجدنا من المفيد العرض للدراسات الفسيولوجية، والبيوكيميائية، والوراثية والبيئية في أماكن مختلفة في مسارد الكتاب دون التوسع بها، وذلك التزاماً بالخطة الدراسية من جهة، والالتزام بحدود الكتاب الجامعي من جهة أخرى.

كما أولينا موضوع تقسيم الفطريات وتحليتها (الوصف الشكلي) جانباً هاماً من الشرح الدقيق المدعّم بالتراسيم والأشكال الضرورية للتعضيات والبنيات والدورات الحياتية، والصور التوضيحية، واستعرضنا اقتراحات عديدة في التصنيف المستندة طبعاً إلى قناعات أصحابها العلمية، ولكنها في نفس الوقت لا تلقى إجماعاً عالمياً، وقد راق لنا كما العديد من علماء الفطريات تكريس مملكة مستقلة لها هي مملكة الفطريات Myceteae، وتقسيمها إلى أقسام Divisions، وتحت أقسام Subdivisions، وصفوف وتحت صفوف ورتب وفصائل.....إلخ. وكما فعل Alexopoulos لاقت الفطريات المخاطية Myxomycetes اهتماماً نظراً لقلة المعلومات عنها في المراجع الرئيسية.

يهدف هذا الجهد بتقديم الكتاب باللغة العربية، إلى تسهيل مهمة الطالب والباحث. كما اعتمدنا في إعداده النهج العربي الأصيل الذي سلكه الكثيرون من الأوائل الذين أبرزوا، وبكل همة واقتدار، الوجه الجميل للغة العربية، إسهاماً في إحيائها كلغة بديعة البيان والتعبير، غزيرة المفردات، موسيقية الألفاظ، وإظهاراً لمقدرتها على العطاء، ومجاراة السيل الجارف لتقديم المعارف والابتكارات العلمية، وكفاءتها في مواجهة

التجديد والتطور. ولعل ذلك واجبا قوميا نادى به السيد الرئيس الدكتور بشار الأسد، رئيس الجمهورية العربية السورية، حيث دعا إلى الاهتمام باللغة العربية، هويتنا وكينونتنا، وحفاظاً على مكانتها الدولية التي أقرتها الأمم المتحدة كإحدى اللغات الرسمية للعمل في منظمة الأمم المتحدة ومؤسساتها في أنحاء العالم لأنها لغة أمة ذات حضارة عريقة، استوعبت فيما مضى ولازالت علوم الإنسانية، وصهرتها في بوتقتها اللغوية، والفكرية، فكانت بحق لغة الآداب كما هي لغة الفكر والكتابة والعلوم.

نرجو من الله – العلي القدير – أن نكون قد أصبنا الهدف الذي قصدناه، وحققنا من هذا الكتاب، تقديم مادة علمية مستساغة لطلابنا ومن يسعى إليه من الدارسين والباحثين، لتحقيق المنفعة العلمية المرجوة، والفائدة العملية المتوخاة. كما نأمل أن يسد هذا الكتاب ثغرة في المكتبة العربية، وإن كنا لا ندعي الكمال، فإننا نرحب بكل ملاحظة، أو اقتراح يسهم في تطويره، والتوفيق من الله.

المؤلفان

وقل رب زدني علما
Damascus University

لمحـــــــة تاريخيّـــــــة

شهد القرن العشرون ومنذ بداياته، تقدماً ملحوظاً في جميع العلوم، ونهضة ملموسة بذل فيها العلماء جهوداً مضنية، فقد وهبوا حياتهم للبحث والتنقيب، وكان لهم الفضل في تطور الوسائل والتقانات، وأساليب البحث والتحليل، شمل ذلك معظم حقول المعرفة، وميادين التجربة، حيث تتالت خلالها شلالات من الاكتشافات العلمية العظيمة، وسيل عارم من الاختراعات المذهلة التي أدت بطبيعة الحال إلى تغيرات جذرية، وقفزات نوعية، انعكست على الطبيعة ومكوناتها، والحياة البشرية وركائزها، وقد شمل هذا التقدم التبصر في المجهول، وإظهار المكنون، وتحويل المادة من صورة إلى صورة أخرى، حقق الإنسان من خلالها نقلة هائلة في البناء الحضاري والتكنولوجي والصناعي، فتعددت المدارس، وتفرعت العلوم، وتشعبت الاختصاصات، مما أدى إلى التنوع الحضاري بين الأمم بقدر ما حققته من تقدم، وما اكتسبته من تكنولوجيا، وما امتلكته من صناعات متفردة.

اهتم الإنسان بالتعرف على الكائنات الحية الدقيقة منذ فجر التاريخ. وكان للفطريات النصيب الأكبر من اهتمامه بسبب كبر أحجامها وسهولة تداولها وحفظها. وكذلك التخمير والمشروبات الناتجة عنه لاستساغته طعمها وتلذذه بآثارها. واستخدم الإنسان الثمار الدعامية والزقية Mushrooms & Truffles في الطقوس الدينية والغذاء والدواء وغيرها. ويمكن تسجيل بعض المحطات التاريخية في سعي الإنسان وراء الفطريات والكمأة في بيئاتها، ودأبه في التعرف عليها واستعمالاتها باختصار:

- استخدم الكهنة الفطر *Fomitopsis officinalis* أثناء الطقوس الدينية الوثنية.

- سجل يوروبيدس Euripides (480 – 406 ق.م) أول وفاة لامرأة وأفراد أسرتها نتيجة التغذية على الثمار الفطرية الدعامية.

- عرف أرسطو Aristottle (384– 322 ق.م) الفطريات، وحاول تحديد نشأة الكائنات الحيّة الدقيقة من مواد غير حيّة، ويُعَدُّ ذلك بدء ولادة نظرية التوالد الذاتي Spontaneous generation.

- درس ثيوفراستوس Theophrastus (372– 287 ق.م) الفطريات، وتعجّب منها لكونها بدون جذور وساق وأوراق وبراعم وأزهار وثمار.

- وجد الباحثون الكرات النافخة Puffballs في زجاجات محفوظة من أيام القيصر الروماني هارديان Hardian (138– 117 ق.م)، وقد ثبت للأوروبيين فيما بعد بأنها توقف النزيف.

- عرف الروماني Pliny (79– 23 ق.م)، ولأول مرة، الفطريات التي تؤثر في العقل والإدراك (الهلوسة) Hallucinogenic.

- صنع البحّاثة Antony vanleeuwen hoock (1632– 1723 م) العدسات المكبرة، وسجّل عام 1673 أول مشاهداته للأوليات Protozoa والجراثيم والخمائر والفطريات، وأعد كتابه "أسرار الطبيعة المكتشفة بالمجهر"، وصمم العديد من المجاهر وحيدة العدسة.

- بدأت زراعة الفطر عام 1650 في فرنسا، ثم انتقلت إلى أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية.

- صنع روبرت هوك Robert Hooke (1663) مجهراً معقداً من ثلاث عدسات، والمجهر المائي Aquatic microscope. وذكر في كتابه الشهير Micrographia بأن الفطريات والأعفان تنتمي إلى الكائنات المجهرية، ولم يذكر أية طريقة لتكاثرها.

- استخدم الحطّابون في أمريكا الشمالية الكتل الخيطية للفطر *Fomitopsis officinalis* لوقف نزيف الجروح.

- اكتشف هنود الأنديز في أمريكا الجنوبية (1765) الثمار الفطرية الزقية الزاهية اللون (برتقالي أو أصفر) على فروع الزان لأنواع الجنس *Cyttaria* الذي ينتمي إلى الفطريات الزقية، وقد صنّفها العالم Miles Berkeley عام 1841.

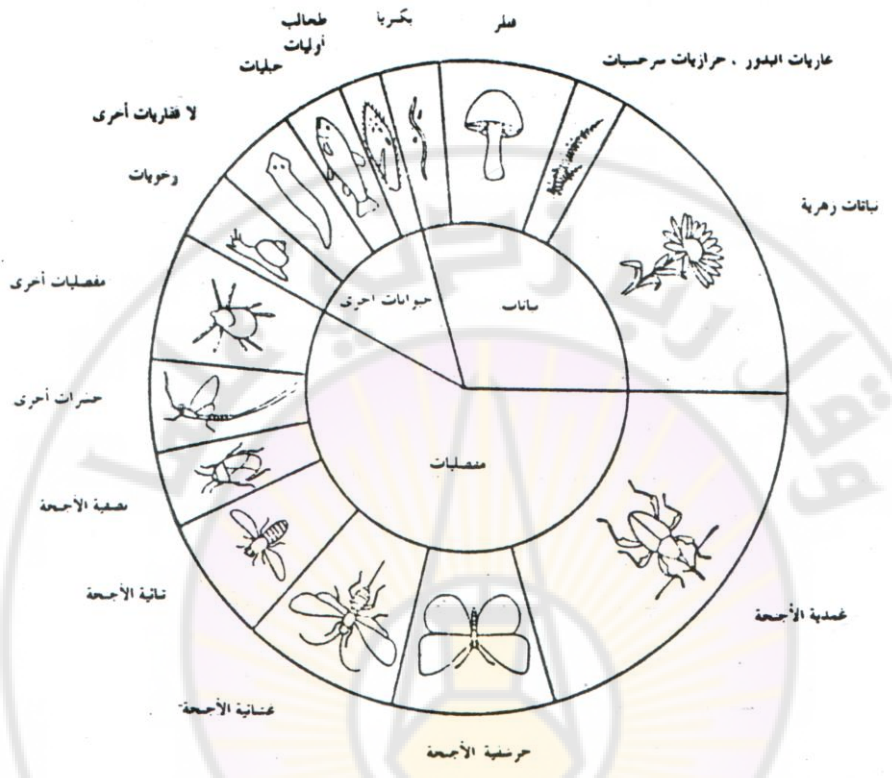
- جمعت خلال الفترة 1750 – 1850 معلومات دقيقة عن علاقة الفطريات بالأمراض النباتية، وكان الفضل في ذلك للعلماء Michelli، و Fabricius، و Tillet، و Privost، و Fontana وغيرهم، وهم الرواد الأوائل في تأسيس علم أمراض النبات وتحديد مفهوم العامل الممرض والوبائيات وآليات التطفل، كما عزَّز هذا العلم وأرسى دعائمه العالم De Bary.

وقد عرف الإنسان الفوائد الطبية للفطريات، كما أسلفنا، منذ فجر التاريخ، فبعد أن كان يستعملها بحكم التجربة أضحى العالم في يومنا هذا يعرف فوائدها ويستخرج منها العقاقير كالمضادات الحيوية ومشتقاتها، والأحماض العضوية، والكثير من المواد المستخدمة في مكافحة الآفات المختلفة.

كما استخدم الإنسان الفطريات في صناعة الأجبان والأغذية، الأمر الذي حسّن من قيمتها الغذائية، وسهولة هضمها، وارتفاع أسعارها.

لقد اكتشف الإنسان علاقة الفطريات بغيرها من الأحياء (الشكل أ)، فكشف عن ظواهر التعايش، والتطفل، والترمم، وتوصّل إلى استخدامها في مجال المكافحة الحيوية.

وكغيره من العلوم الأساسية، بدأ علم الفطريات بالتقدم منذ بداية القرن العشرين، وتشعبت فروعه، وتنوعت طرائق البحث العلمي في ميادينه، وتنوعت الدراسات وتوسعت آفاقها مستفيدة من التقدم السريع في علم الوراثة والنبات والكيمياء ....الخ، وخاصة مع إطلالة الوثبة الرائدة في التقانات الحيوية، ولازالت الفطريات جزءاً فاعلاً في الوسط الحيوي تتفاعل معه وتتأقلم وتتنوع بفضل ما تملكه من مخزون وراثي يمكّنها من إنتاج سلالات جديدة وأنماط وراثية متنوعة.



الشكل (أ): الأعداد النسبية للفطريات والنباتات والحشرات في الطبيعة (كل درجة تساوي 4200 نوعاً)

ويعود الفضل إلى العلماء والدارسين والباحثين عبر التاريخ وإلى يومنا الحاضر في تعريف ماهيّة الفطريات، وتقسيمها أو تصنيفها، والكشف عن سلوكها وأنماط حياتها، وتفاعلاتها مع المادة والوسط وفي جميع الميادين (الطب، والصيدلة، والزراعة، والحرب البيولوجية، والهندسة الوراثية، وميكروبيولوجيا الفضاء .....الخ.

الفصل الأول

الأهمية الاقتصادية للفطريات

أولاً– فوائد الفطريات الاقتصادية

عرف الإنسان فوائد الفطريات منذ العصور القديمة عندما بدأ باحتساء الخمور والتغذية على الخبز وتناول الأجبان. ورغم أن معرفة الإنسان لها تعود إلى أكثر من 250 سنة، قلما يمر بنا يوم دون أن ينالنا منفعة أو يصيبنا ضرر من الفطريات.

تعد الفطريات هي المسؤولة بوجه خاص إلى جانب الجراثيم (البكتيريا) عن تفتت وتحليل المادة العضوية وإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون (Co_2) الذي تستخدمه النباتات الراقية في عملية التركيب الضوئي.

الفطريات في الصناعة

يستخدم الإنسان منذ زمن طويل الفطريات في صناعة غذائه. حتى أصبح الآن استخدام الفطريات في مجال الصناعة، يشكل علماً مستقلاً هو "علم الفطريات الصناعية Industrial mycology" الذي يهتم بدراسة استخدامات بعض الفطريات في الصناعات المختلفة.

1– صناعة الخبز والمشروبات الكحولية: إن أكثر أنواع الغذاء إنتاجاً واستهلاكاً من قبل الإنسان هو الخبز الذي يصنّع بواسطة الفطريات، وكذلك المشروبات الكحولية التي تلعب دوراً هاماً في اقتصاد الكثير من دول العالم.

ويتم تصنيع الخبز والمشروبات الكحولية باستخدام سلالات من فطر الخميرة *Saccharomyces cervisiae*، إذ تقوم الخميرة بتحويل السكر إلى كحول وثاني أوكسيد الكربون : $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$

2 – تستخدم بعض فطريات الخميرة في إنتاج اللبيدات. كما تستخدم بعض الفطريات في إنتاج زيوت تحتوي على أحماض دهنية غير مشبعة مثل حمض غاما- لينولينيك.

3– تستخدم الفطريات في إنتاج العديد من الأحماض العضوية مثل حمض الليمون وحمض الجاليك والجلوكونيك والفيوماريك والماليك والاسكوربيك والعديد من الأحماض العضوية الأخرى. و تمتاز بعض الفطريات باحتوائها على العديد من الأحماض الأمينية.

4 – تعتبر الفطريات مصدراً للكثير من الأنزيمات الصناعية Industrial enzymes التي تستخدم في صناعة البيرة والخبز والحلويات والنبيذ، وإنتاج البنسلين وتخثر اللبن وغيرها. كما تعتبر مصدراً لبعض الفيتامينات مثل الإرجسترول و فيتامين B المركب. وإنتاج بعض الصبغات الطبيعية، مثل الصبغة الحمراء وصبغة بيتا – كاروتين.

5– تستخدم بعض الفطريات في صناعة الورق، مثل فطريات العفن الأبيض المحللة للخشبين. كما تستخدم بعض الفطريات في التنقية الحيوية للمعادن، وفي إنتاج بعض الأحماض التي تستخدم في صناعة العطور والنايلون.

كما ينتج مركب الكيتوزان Chitosan صناعياً، والذي يوجد في الجدر الخلوية لبعض الفطريات، ويستخدم في تنقية مياه الصرف الصحي، كما يستخدم كمادة غروية للصق الورق.

6- تستخدم بعض الفطريات، كما في أنواع الجنس *Penicillium*، في إنضاج الأجبان، إذ يستخدم النوع *Penicillium caseicolum* لتشكيل القشرة المميزة التي تغطي أجبان الكمامبير Camembert. ويعطي الفطر *Penicillium roqueforti* اللون الأزرق لأجبان الروكفورت Roquefort .

7– تستخدم الفطريات في إنتاج العديد من العقاقير الطبية، كالمضادات الحيوية، التي سوف نأتي على ذكرها فيما بعد. وهناك بعض الفطريات التي تستخدم فقط لتحويل جزيئة معقدة إلى أخرى أكثر بساطة يستفاد منها في المجالات المختلفة، وهذا ما يسمى بالتحويل

الحيوي. وكذلك فإن اصطناع الكورتيزونات، المعروف بأنها عملية طويلة جداً بالطرق الكيميائية، تم تحقيقها اعتباراً من المركب Progesterone على أربع مراحل، ثلاث منها تقاد بواسطة الفطريات.

وما هو غير معروف، أو قليل منا يعرفه، هو أن تحضير الكاكاو والشاي والقهوة يحتاج إلى مرحلة تحويلية تتم أيضاً بواسطة الفطريات.

في عمليات التخمير، يمكن استخدام المخلفات كمصدر غذائي للفطريات من أجل إنتاج مواد ذات قيمة. وهذا يسمح بالاستفادة من المخلفات العضوية بكل أشكالها، التي تُنتج بكميات كبيرة في مجتمعاتنا العصرية. ومن أمثلة ذلك، إنتاج الغليسرين بواسطة الخمائر من مخلفات مصانع السكر.

الفطريات في الطب

تُعَدُّ الفطريات مصدراً هاماً لعقاقير طبية ذات قيمة علاجية كبيرة. فقد استخدمت الفطريات منذ قرون طويلة في الطب الشعبي في علاج العديد من الأمراض.

وقد استخدم مخلوط من مسحوق ثمار فطريات الكرات النافخة العملاقة Gaint puff balls مع الثوم كعلاج شعبي فعّال لوقف النزيف الدموي، ومنع تلوث الجروح بجراثيم التقيح. وقد استخدمت الكرات النافخة أيضاً في الحرب العالمية الأولى لتضميد الجروح عند نقص الضمادات الطبية.

كما استُخدم العديد من الأشَنَات في العلاج الشعبي التقليدي في الحضارات الإنسانية القديمة، ومازالت تستخدم حتى وقتنا الحالي، ومثال ذلك أشن الكلب Dog lichen الذي يستخدم في علاج الجروح السطحية الناتجة عن عض الكلاب المسعورة. وكذلك أشن حشيشة الرئة Lung wort الذي يشبه في شكله رئة الإنسان، لذا استخدم في علاج بعض أمراض الرئة.

ومن المعروف الآن قدرة العديد من الفطريات على إنتاج المضادات الحيوية، ومن أهمها البنسلين Penicillin، الذي اكتشفه العالم الإنكليزي سير الكسندر فلمنج Fleming عام 1929، ونال جائزة نوبل للسلام في العلوم الطبية تقديراً لاكتشافه هذا، واستخدم في علاج جرحى الحرب العالمية الثانية. ويمثل هذا المضاد الحيوي مجموعة من المواد المضادة للحيوية، التي تنتج بواسطة الفطر*Penicillium notatum*، والفطر *P. chrysogenum*، وهي فعالة ضد الجراثيم الموجبة لصبغة غرام.

وهناك العديد من المضادات الحيوية الأخرى التي تنتجها الفطريات مثل Griseofulvin الذي يستخدم في علاج بعض الأمراض الجلدية عند الإنسان والحيوان، كما يستخدم في إسعاف المرضى الذين يعانون من الذبحة الصدرية. وكذلك السيفالوسبورينات Cephalosporins، وهي مجموعة من المضادات الحيوية الفعالة ضد الجراثيم. وغيرها من المضادات الحيوية التي لا يمكن ذكرها جميعها هنا.

وفي آسيا، يستخلص العلماء عقاقير طبية من الثمار الفطرية (Carpophores) وأغلب المستخلصات هي سكريات معقّدة (Polysaccharides)، رغم أنها تختلف في تركيبها فإنها ذات قاسم مشترك حيث أنها تقوّي الجهاز المناعي "Immune system " وبدون آثار جانبية أو تكاد لا تذكر .

وقد بيّنت العديد من البحوث العلمية الصينية فعّالية استخدام الفطريات في معالجة بعض الأمراض مثل: خفض الآلام العصبية، وعلاج الخمول العصبي، والتهاب القصبات المزمن، وزيادة مقاومة جسم المريض لارتفاع الحرارة عند الإصابة بالرشح، و معالجة التهاب الكبد الفيروسي، والعديد من الأمراض الأخرى.

الفطريات في التغذية

تدخل الفطريات في غذاء الإنسان الأساسي، حيث كان الإنسان يجمعها من الحقول والغابات، وأصبحت الآن تزرع وتنتج على نطاق واسع. فقد تم إنتاج فطر باريس

(*Agaricus bisporus* أو *Psalliota bispora*) منذ عام 1650، ومازال حتى اليوم واحداً من الفطريات الأكثر استهلاكاً في العالم. وهناك أنواع أخرى أيضاً تزرع وتنتج بكميات كبيرة خاصة الأنواع الخشبية (أي التي تنمو على الأخشاب) مثل الفطر *Lentinus edodes* المستهلك منذ زمن طويل من قبل الشعوب الآسيوية، كما ينتج بكميات كبيرة في أوروبا، وهذا ينطبق على أنواع أخرى من الجنس *Pleurotus* .

وتعد فطريات عيش الغراب ذات قيمة غذائية عالية للإنسان، إذ تحتوي على حوالي 3 – 4 % من وزنها الرطب بروتيناً، كما أنها أيضاً مصدر جيد للعديد من المواد الغذائية الأخرى، مثل الدهن والفوسفور والحديد والثيامين والنياسين. كما أن فطر عيش الغراب التجاري *Agaricus brunnescens* غني أيضاً بحمض الأسكوربيك .

استخدامات أخرى للفطريات

تلعب الفطريات دوراً هاما في المكافحة الحيوية، حيث تستعمل بعض الأنواع في مكافحة الكثير من الحشرات، ومثالها الجنسين *Cordyceps* و *Entomophthora*. كما يستخدم الفطر *Trichoderma* sp. وأنواع الجنس *Paeciliomyces* spp. بشكل واسع في المكافحة الحيوية للعديد من فطريات التربة والنيماتودا.

وهناك بعض الفطريات التي تتعايش مع النبات وتتبادل معه المنفعة كما في الفطريات المتعايشة مع جذور الصنوبريات. وبعض الأجناس الفطرية مثل الفطر *Neotyphodium* الذي يعيش في أنسجة النباتات النجيلية العلفية ويزيد من مقاومتها للديدان الخيطية، ولبعض الحشرات خاصة لحشرات المن، وللفيروسات المنقولة بواسطة الحشرات مثل فيروس موزاييك الزوان (RMV)، وفيروس اصفرار وتقزم الشعير (BYDW). كما يزيد من مقاومة النباتات لبعض الأمراض الفطرية. إضافة إلى أن الفطريات الداخلية من الجنس *Neotyphodium* تحسّن نمو النبات المضيف وخاصة في ظروف الجفاف، وفي حالات نقص الآزوت.

والاستخدام الأكثر غرابة للفطريات، هو استخدامها في معالجة مشاكل تلوث نوعية جداً. إذ يمكن استخدام الخيوط المجففة للفطر *Rhizopus arrhizus* لتخليص المياه من الكادميوم، وهو معدن ثقيل وخطير جداً .

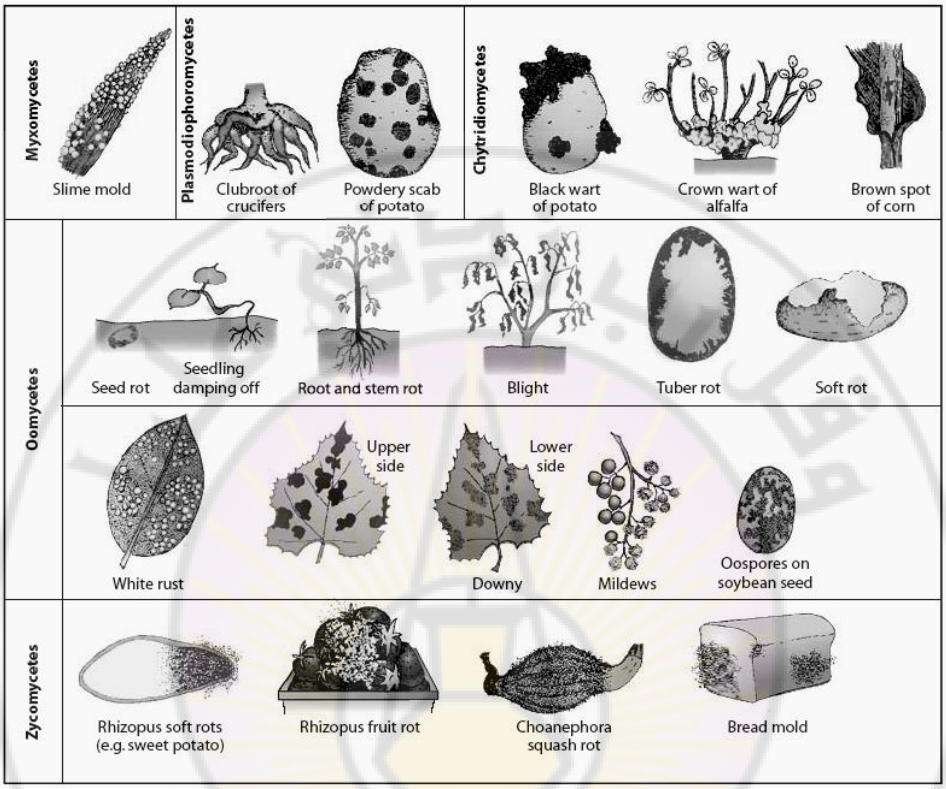
ثانياً – أضرار الفطريات

تسبب الفطريات أمراضاً مختلفة للنباتات كأشجار الفاكهة والأشجار الحراجية ونباتات الزينة والخضار والمحاصيل الحقلية المزروعة منها والبرية (الشكل1–1).

والفطريات المتطفلة مسؤولة عن 75 % من أمراض النبات، وهذا ما يشكل أيضاً مشكلة اقتصادية كبيرة، وتشير التقديرات إلى أن الفقد في المحاصيل قد يصل إلى أكثر من 10 % بسبب الأمراض الفطرية. ومن بينها يمكن أن نذكر أمراض البياض الزغبي والدقيقي والأصدئة والتفحمات والأعفان..... الخ .

وهناك حوادث كثيرة في العالم تدل على كوارث حقيقية يمكن أن تسببها هذه الفطريات، فمثلاً يؤدي الفطر*Phytophthora infestans* المسبب لمرض اللفحة المتأخرة على البطاطا إلى تدمير المجموع الورقي، إضافة إلى أن الدرنات المصابة تحتوي على سموم خطيرة قد تؤدي إلى إجهاض الحوامل أو الشلل عند الولادة. فبين عامي 1843 و 1847 دمّر هذا الفطر حقول البطاطا في ايرلندا مما أدى إلى حدوث مجاعة حقيقية، إذ إن أكثر من مليون من السكان قد ماتوا وحوالي مليون من الشباب هاجروا إلى أمريكا.

والفطريات الرمية، التي تعيش على المواد العضوية الميتة، ليست أقل إزعاجاً للإنسان من الفطريات المتطفلة. فهي تؤدي إلى تخريب حيوي للأخشاب وأوراق الكتابة والجلود والمنسوجات وحتى الدهان...الخ، مما يؤدي إلى تهدم المنازل والجسور الخشبية وأعمدة الخطوط السلكية.



الشكل 1 – 1: بعض الأمراض التي تسببها الفطريات للنباتات (عن Agrios, 2005)

وتؤدي الفطريات إلى فساد المواد الغذائية، مسببة فقداً يتراوح بين 5 – 10 % من المواد الغذائية المنتجة في دول العالم الثالث. وإضافة إلى قدرة الفطريات على إفساد الأغذية الطازجة، يمكنها أيضاً تلويث الأغذية المجففة، مثل البذور بمختلف أنواعها (الفول السوداني، الذرة، القمح، ....الخ)، وكذلك اللبن المجفف، والفاكهة والخضروات المجففة، واللحوم والأسماك المملحة، والمربيات بمختلف أنواعها.

ولبعض الفطريات القدرة على تلويث الأغذية المعلبة بمختلف أشكالها، والثمار والخضروات والفاكهة المعلبة، وذلك لتحمل هذه الفطريات لعمليات البسترة.

تصيب بعض الفطريات الإنسان بكثير من الأمراض الجلدية والباطنية، حتى أصبح علم الفطر الطبي أحد فروع التخصص في ميدان الطب. فعلى سبيل المثال يسبب الفطر *Candida albicans* مرض شائع الانتشار عند الإنسان، والذي تظهر أعراضه على شكل قلاع الفم والحلق، خاصة عند الأطفال.

وتتعرض الحيوانات أيضاً للإصابة بالفطريات، حيث يصيب الفطر *Saprolegnia* أسماك المياه العذبة، ويعرف المرض باسم Saprolegniasis، إذ يهاجم الفطر الأسماك من خلال الجروح، وفتحات الخياشيم، والفم والعيون، وتخترق خيوط الفطر الأنسجة العضلية للأسماك المصابة، كما تصاب العيون، مما يؤدي إلى فقد الأسماك لبصرها وتوقفها عن التغذية، ثم موتها.

ويفرز كثير من الفطريات سموما (Mycotoxins) تؤدي إلى ظهور أعراض تسمم عند الإنسان والحيوان، وحتى النبات. وسوف نتحدث عن هذه السموم الفطرية باختصار، ولكن يمكن العودة إلى كتاب "المرجع في علم الفطريات" للاستزادة حول موضوع السموم الفطرية فيما يتعلق بتركيبها الكيميائي، وخواصها الفيزيائية والكيميائية، وأعراض التسمم بها.

السموم الفطرية Mycotoxins

تشتق هذه التسمية "Mycotoxin" من اليونانية، إذ أن "Mykes" تعني فطر، و "Toxikon" تعني سُم. والسموم الفطرية عبارة عن نواتج تمثيل غذائي ثانوية يقوم بإنتاجها عددٌ من السلالات الفطرية في مراحل معينة من تطورها، وتؤدي لحدوث تغيرات مرضية أو فيزيولوجية للنبات والحيوان والإنسان، تعرف بالتسمم الفطري Mycotoxicosis. ولا تلعب هذه المواد أي دور في حياة الفطريات المنتجة لها. كما أن الأنواع الفطرية المنتجة لهذه السموم لا تختلف في الشكل والنمو عن تلك التي لاتنتجها.

يحدث التسمم الفطري نتيجة التناول المباشر لمواد تحتوي على السم الفطري، كتناول ثمار بعض الفطريات السامة، أو حبوب ملوثة بالفطريات المنتجة لهذه السموم، وهذا ما يدعى بالتسمم الأولي أو الرئيسي "Primary mycotoxicosis". بينما يحدث التسمم الثانوي "Secondary mycotoxicosis" من تناول الآثار المتبقية للسموم الفطرية بعد دخولها في السلسلة الغذائية، ويحدث ذلك عند تغذية الحيوانات على مواد ملوثة بالسموم الفطرية، لتصل إلى الحليب أو اللحم، أو البيض .....الخ.

إن تلوث المواد الغذائية، وخاصة البذور المخصصة للتغذية، بهذه السموم الفطرية يشكل خطراً على المستهلكين لها سواء الإنسان أو الحيوان.

وتشير الدراسات المتعلقة بالسموم الفطرية إلى أن أكثر من ثلثي عدد السموم تنتجه الأجناس *Aspergillus*، و *Penicillium*، و *Fusarium*، إذ يوجد أكثر من 40 نوعاً من الجنس *Aspergillus*، وحوالي 50 نوعاً من الجنس *Penicillium*، وعدد يصعب تقديره من الجنس *Fusarium* قادرة على إنتاج سموم فطرية، إضافة لوجود أكثر من 150 نوعاً من أجناس أخرى مثل *Alternaria*، و *Trichoderma*، و *Cephalosporium*، و *Trichothecium* وغيرها، منتجة أيضاً للسموم الفطرية .

يحدث التسمم الفطري في شكل حاد Acutic أو مزمن Chronic: ويظهر التسمم الحاد نتيجة تناول كمية كبيرة من السُم في فترة زمنية قصيرة، وهو عادة نادر الحدوث، لأن المواد الغذائية شديدة التلوث تبدي عادة علامات غير طبيعية، مثل تلون أو رائحة مميزة، لذلك يمكن ملاحظتها وتميزها بسهولة. أما التسمم المزمن فهو الأكثر انتشاراً وخطورة، وينتج من تناول كميات صغيرة من السُم على عدة جرعات خلال فترة زمنية طويلة. وعادة ما تظهر الأعراض على شكل سرطانات، وتشوهات خلقية، وطفرات، وذلك حسب مستويات التلوث المحتمل وجودها في الأغذية. وتعتبر أعراض التسمم المزمن صعبة التشخيص نظراً لتداخلها مع أعراض الأمراض الأخرى (الدوخة، وعدم التركيز، وصعوبة البلع، والكآبة، وآلام شديدة بالعمود الفقري، واضطرابات الدورة

الدموية، وصعوبة التنفس، وآلام في الأطراف، وطفح جلدي قد يشمل الجسم بكامله، .....الخ). ولا تستجيب هذه التسممات لمختلف أنواع المعالجات الكيميائية والطبيعية، وبالتالي لا يوجد علاج للتسممات الفطرية.

أهم مجموعات السموم الفطرية

1 – السموم التي تنتجها الفطريات صغيرة الحجم Microfungi (المجهرية).

2 – السموم التي توجد في الأجسام الثمرية لبعض الفطريات السامة كبيرة الحجم Macrofungi.

السموم التي تنتجها الفطريات صغيرة الحجم Microfungi

أ – سموم مؤثرة على صحة الإنسان والحيوان

تنتج هذه السموم "Mycotoxins" مجموعة من الفطريات التي تنمو على المواد الغذائية المختلفة، وتؤدي لظهور أعراض تسمم "Mycotoxicoses" عند الإنسان والحيوان عند تناوله لهذه المواد الغذائية الملوثة. وهناك عدد كبير من السموم الفطرية المعروفة، ولكننا سوف نكتفي بالإشارة لبعض المجموعات من هذه السموم، لأنها تسبب في الحقيقة المشاكل الأكثر أهمية، وخاصة خلال فترة تخزين الحبوب.

1 - قلويدات الإرجوت Ergot alkaloids: انتشرت التسممات بهذه المركبات "Ergotism" في أوروبا في العصور الوسطى بشكل وبائي بعد تناول خبز مصنوع من حبوب ملوثة بالأجسام الحجرية Sclerotia للفطر *Claviceps purpurea*، وهو أول تسمم فطري عرفه الإنسان. إذ تحتوي الأجسام الحجرية على قلويدات الإرجولين Ergoline alkaloids بنسبة حوالي 0.1 – 1 % من وزنها.

2 – الأفلاتوكسينات Aflatoxins: يوجد أربعة أنواع من الأفلاتوكسينات وهي: B1 و B2 و G1 و G2، بالإضافة إلى مشتقين إضافيين M1 و M2.

وتفرزها عدة أنواع من الفطر *Aspergillus*. إذ إن النوع *A. flavus* ينتج بشكل أساسي الأفلاتوكسينات B1 و B2، وينتج النوع *A. parasiticus* الأفلاتوكسينات B1 و B2 و G1 و G2. وقد تبيّن حديثاً أن النوعين *A. nomius* و *A. niger* قادران أيضاً على إنتاج الأفلاتوكسينات.

3 – الايبوكسي تريكوتيسينات Epoxytrichothecins: تضم هذه المجموعة أكثر من خمسين مركباً، منها دي أسيتوكسي سكيربينول Diacetoxyscirpenol، والتوكسين T-2، والنيفالينول Nivalenol، والفيوزارينون Fusarenon.

ويقوم بإنتاج هذه السموم الفطرية عدد من الأنواع الفطرية التابعة بشكل خاص للجنس *Fusarium*، نذكر منها: *F. poae* و *F. moniliforme* و *F. culmorum* و *F. graminearum*. كما يقوم بإنتاج هذه السموم العديد من الأجناس الأخرى مثل: *Trichothecium* و *Trichoderma* و *Cephalosporium* و غيرها.

4 – الزيرالينون Zearalenon: تُنتج هذه السموم الفطرية بواسطة أنواع فطرية تابعة للجنس *Fusarium* الموجود على الحبوب أثناء التخزين. ومن أهم هذه الأنواع: *F. roseum* و *F. oxysporum* و *F. moniliforme* و *F. culmorum* و *F. equiseti* و *F. gibbosum*.

5 – الأوكراتوكسينات Ochratoxins: تصادف هذه السموم على معظم الحبوب (قمح – ذرة – فول سوداني – فاصولياء)، ولكن أكثر ما تصادف وتسبب حوادث على الشعير. وتنتجها عدة أنواع من الجنس *Aspergillus*، وعدد من أنواع الجنس *Penicillium*.

6 – السيترينين Citrinin: تصادف هذه السموم بشكل أساسي على الحبوب (قمح، ذرة، شوفان)، ولكن أكبر تركيز لها وجد على الشعير، ولحسن الحظ أن هذه السموم تتفكك نهائياً أثناء صناعة البيرة. وتجدر الإشارة إلى أن هذه السموم تكون في كل الحالات مرافقة للأوكراتوكسينات.

تم أولاً عزل هذه السموم الفطرية من مزارع للفطر *Penicillium citrinum*، ثم تبيّن أن أكثر من 14 نوعاً من الجنس *Penicillium* و الجنس *Aspergillus* تنتج هذه السموم. والمنتج الرئيس لها على الحبوب هو النوع *P. viridicatum*.

7– الباتيولين Patulin: تم عزل هذه السموم أولاً من مزارع للفطر *Penicillium patulum*. ثم تم عزل عدد من المركبات الشبيهة بالباتولين من عدد من الأنواع الفطرية مثل: الكلافاتين (Clavatin) الذي تم عزله من الفطر *Aspergillus clavatus*، والإكسبانسين (Expansin) من الفطر *P. expansum*، والكلافيفورمين (Claviformin) من الفطر *P. claviforme*، والبنيسيدين (Penicidin) من عدة أنواع من البنسيليوم.

ومن المعروف الآن أن الباتيولين يُنتج بواسطة عدد كبير من أنواع الجنسين *Aspergillus* و *Penicillium* إضافة إلى الفطر *Bissochamys nivea* .

8 – الستيريجماتوسيستينات Sterigmatocystins: هذه المركبات قريبة جداً من الأفلاتوكسينات. ويمكن أن تصادف في الشعير المنبت والقمح والخبز والجبن.

يتم إنتاج هذه السموم بكميات كبيرة بواسطة الفطر *Aspergillus versicolor*، ويتم إنتاجها بكميات قليلة بواسطة عدد من الأنواع التابعة للأجناس *Bipolaris*، و *Chaetomium*. إضافة للعديد من أنواع الاسبرجيللوس الأخرى مثل: *A. flavus*، *A. parasiticus*، *A. rubber*، والفطر *Penicillium luteum* .

9 - سموم النيوتيفوديوم Neotyphodium toxins: تنتج أنواع النيوتيفوديوم *Neotyphodium* spp. سموماً فطرية سامة للفقاريات وبشكل خاص للمواشي، ويشبه البعض من هذه السموم الفطرية تلك التي نجدها في الأجسام الحجرية للفطر *Claviceps* المسبب لمرض مهماز الشيلم. ومن هذه المركبات السامة الارجوفالين Ergovaline والكلافين Clavine التي ينتجها النوع *N. coenophialum* في نباتات الهشيمية *Festuca arundinacea* المصابة بالفطر.

كما ينتج النوع *N. lolii* في نباتات الزوان المعمر *Lolium perenne* مادة اللوليترام Lolitrem، وهي مادة سامة على مستوى الأعصاب، إذ تسبب اضطرابات وحركات غير منتظمة وفقد التوازن عند الحيوانات. وتعرف هذه الأعراض بشكل أساسي في نيوزيلاندا تحت اسم "ryegrass staggers"، التي تصيب بالدرجة الأولى الخراف والأحصنة.

ب - السموم المؤثرة على النباتات Phytotoxic mycotoxins

إضافة إلى قدرة عدد كبير من الفطريات على مهاجمة النباتات، مسببة لها أمراضاً مختلفة، فإنها أيضاً قادرة على إنتاج العديد من السموم الفطرية المؤثرة في نمو هذه النباتات. إذ تنتج بعض أنواع الجنس *Alternaria* وخاصة *Alternaria alternata* العديد من السموم الفطرية مثل (AM – toxin، و AT – toxin، و AL – toxin، و Ak – toxin، وحمض الألترناريك وغيرها)، والتي يبدو أنها تلعب دوراً رئيسياً في تخصصية الفطر *Alternaria alternata* تجاه النباتات المضيفة.

ومن أمثلة هذه السموم أيضاً السيراتويولمين Cerato – ulmin الذي تفرزه أنواع من الفطر *Ceratocystis ulmi* المسبب لتدهور أو ذبول الدردار، والكولموماراسمين Culmomarasmin الذي ينتجه الفطر *Fusarium culmorum*، وحمض الفيوزاريك Fusaric acid الذي تنتجه بعض أنواع الجنس *Fusarium*،

والهلمينثوسبورال Helminthosporal الذي ينتجه الفطـر *Helminthosporium* sp. (= *Drechslera* sp.) وطوره الزقي *Cochliobolus sativus*، السام للنباتات النجيلية (قمح – شعير) المصابة به. كما ينتجـه الفطـر *Helminthosporium sacchari* في نباتات قصب السكر المصابة به. وهو متخصص في التأثير على العوائل النباتية.

جـ - السموم المؤثرة على الكائنات الحية الدقيقة الأخرى

مركبات كيميائية تنتجها بعض الفطريات، وتؤثر في نمو كائنات حية أخرى، وتدعى بالمضادات الحيوية Antibiotics. وقد سبق الحديث عن العديد من المضادات الحيوية التي تنتجها الفطريات، وبشكل خاص ضد الجراثيم، واستخداماتها في المجالات الطبية المختلفة.

ولبعض الفطريات المتطفلة خارجياً على النيماتودا القدرة على إنتاج مواد ذات تأثير سام على فرائسها، وتدعى بالسموم النيماتودية Nematotoxins، إذ تعمل على شل حركة الفريسة، ثم موتها بعد فترة قصيرة من حدوث العدوى.

سمـــوم الفطريات كبيـــرة الحجـــــم Macrofungi

تحتوي الأجسام الثمرية لبعض الفطريات كبيرة الحجم، مثل ثمار بعض أنواع فطريات عيش الغراب البرية، على مواد سامة، وقد تكون أحياناً قاتلة. وقد تمت الإشارة إلى بعضها في فصل الفطريات الدعامية، ويمكن العودة إلى كتاب "المرجع في علم الفطريات" (فضول ونفاع، 2006) للمزيد من المعلومات حول هذه السموم الفطرية.

الفصل الثاني

مورفولوجيا المشيجة الفطرية

Morphology of fungal thallus

تركيب جسم الفطريات

يتكـــون جســـم الفطـــر عنـــد بعـــض الفطريـــات مثـــل الفطريـــات المخاطيـــة (Myxomycetes) من كتلة هيولية عديدة النوى وبدون جدر خلوية تدعـى بلاسموديوم (Plasmodium).

أما جسم الفطر في معظم الفطريات الحقيقية يتكون من خيوط فطرية يدعى كل منها Hypha (وجمعها Hyphae)، ومجموع هذه الخيوط الفطرية المكونة لجسم الفطر يعرف باسم المشرة Thallus أو المشيجة Mycelium (وجمعها Mycelia).

وقد يتكون جسم الفطر من خلية واحدة (Unicellular) ذات جدار خلوي حقيقي، ويصادف هذا النمط في بعض الفطريات التابعة لقسم الفطريات الحقيقية Eumycota مثل الخمائر. ويمكن لهذه الخلية أن تتبرعم مرات متتالية لتعطي سلسلة من الخلايا البرعمية المرتبطة بعضها مع بعض ولكنها سهلة الإنفصال لتشكيل ما يدعى بالمشيجة الكاذبة Pseudomycelium، ومن الممكن أن يتشكل أكثر من برعم من خلية واحدة وبالتالي تتشكل سلاسل متفرعة من الخلايا المرتبطة بعضها مع بعض. كما تتمكن بعض الفطريات الخيطية مثل فطريات الميكورالس Mucorales أن تأخذ شكل المشيجة الكاذبة بوجود تركيزات عالية من السكريات في الوسط الذي تنمو فيه.

يمكن أن تأخذ مشيجة الفطر نفسه شكلين مختلفين حسب الوسط الذي تنمو فيه وتدعى في هذه الحالة بالفطريات ذات المشائج ثنائيـــة الشكل Dimorphic thalli كما

هي الحال عند الفطريات المتطفلة داخليا على النباتات أو الحيوانات. فعلى سبيل المثال، تكون الفطريات المتطفلة على الحيوانات وحيدة الخلية وتشبه الخمائر في أنسجة العائل، بينما تشكل مشيجة حقيقية على الأوساط المغذية الصنعية. كما نجد حالات معاكسة لذلك في بعض الفطريات المتطفلة على النباتات مثل فطريات تجعد الأوراق *Taphrina* sp. وبعض أنواع الرتبة Ustilaginales التي تشكل مشيجة حقيقية في أنسجة العائل بينما تشكل مشائج شبيهة بالخمائر على الأوساط المغذية الصنعية.

فمشيجة الفطر يمكن أن تتدرج إذاً من خلايا منفردة سريعة الزوال تشغل أماكن صغيرة ومحددة إلى مشيجة كثيفة وعديدة الخلايا ذات نمو مستمر قد يدوم عقوداً من الزمن في الأخشاب والتربة كما في الفطريات المحللة للأخشاب .

تعطي المشيجة، في دورة الحياة الطبيعية للفطر، تركيبات تكاثرية، ففي بعض الأنماط البسيطة من المشائج، تتحول المشيجة بكاملها إلى خلايا تكاثرية، وتسمى في هذه الحالة بالمشائج الثمرية الكاملة Holocarpic thalli، أما في المشائج الثمرية الحقيقية Eucarpic thalli التي تمثل النموذج الشائع عند معظم الفطريات، فإن جزءاً من المشيجة يتحول إلى أعضاء تكاثرية، والخلايا المتشكلة لهذا الغرض تكون عادة عالية التخصص بالشكل والوظيفة .

عند زراعة الفطريات على الأوساط المغذية ينمو جزء من المشيجة على سطح الوسط، وجزء آخر ينمو حراً في الهواء فوق الوسط المغذي. ويلاحظ وجود بعض الاختلافات بين الخيوط الفطرية الملامسة للوسط والخيوط الحرة :

تشكل الخيوط الفطرية الملامسة للوسط مشيجة دائرية الشكل، بينما تكون الخيوط الحرة على شكل زغب. تحتوي الخيوط الفطرية المحاطة بالوسط المغذي على فجوات كبيرة مملوءة بالمواد الدهنية أو بمواد ادخارية (غلوكوجين و بروتين)، بينما تكون الخيوط الفطرية الحرة فقيرة بهذه المواد، وتمتاز بعض الأنزيمات بأنها أكثر نشاطاً في الخيوط الحرة أو بالعكس، فمثلاً يكون أنزيم سكسينات ديهدروجيناز أكثر نشاطاً في

الخيوط الحرة الهوائية، بينما يكون الأنزيم بيتا – غلاكتوزيداز أكثر نشاطاً في الخيوط المغموسة بالوسط المغذي. كما تمتاز الخيوط الفطرية الحرة في بعض الأجناس ومنها الجنس *Aspergillus* بحساسيتها لنقص الأوكسجين أكثر من الخيوط المغموسة بالوسط المغذي. وتختلف تفرعات الخيوط الحرة عن تفرعات الخيوط الملامسة للوسط، وتملك الخيوط الفطرية الملامسة للوسط المغذي خاصية التثبيت به والادمصاص على المواد الغذائية .

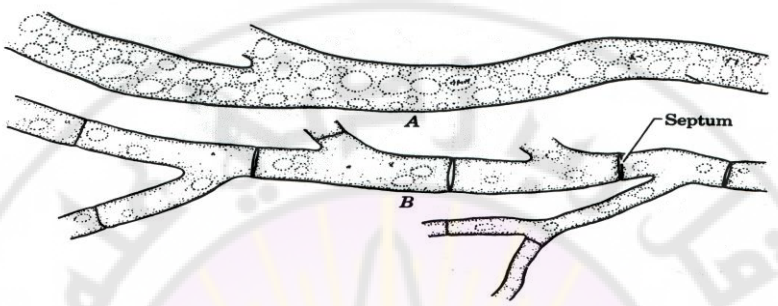
الخيوط الفطرية Hyphae

الـهيفا Hypha هي خيط فطري مجهري متفرع ومؤلف من غلاف خارجي وتجويف داخلي (Lumen) مملوء بالهيولى. وتنشأ الخيوط الفطرية عادة من إنبات الأبواغ Spores حيث تعطي أنبوبة إنبات واحدة أو أكثر (Germ-tube)، والتي تنمو وتستطيل لتشكل خيوطاً فطرية، ولا توجد حدود واضحة بين أنبوبة الإنبات والخيط الفطري حديث التشكل. وتختلف أقطار الخيوط الفطرية تبعاً للأنواع من 1 - 2 ميكرومتراً حتى 50 ميكرومتراً.

عند الفطريات الراقية، تصبح الخيوط الفطرية مقسمة بعدد قليل أو كبير من الجدر العرضية Septa (ومفردها Septum) إلى خلايا. تحتوي الخلية الواحدة على نواة واحدة أو أكثر تبعاً لنوع الفطر ومرحلة تطوره. وللجدر الخلوية ثقوب تسمح بمرور وجريان الهيولى ومكونات الخلية الأخرى من خلية إلى أخرى.

وفي بعض الفطريات تكون الخيوط الفطرية غير مقسمة بحواجز Aseptate، حيث أن المشيجة بكاملها تشكّل خلية عملاقة كثيرة النوى، وتدعى هذه البنية في الفطريات بالمدمجة الخلوية (مشيجة غير مقسمة Coenocytic) (الشكل 2 – 1). وفي بعض الأحيان يشاهد وجود خيوط فطرية غير مقسمة لفطريات ذات خيوط فطرية مقسمة، ويعزى تشكل هذه الخلايا متعددة النوى إلى تأخر ظهور الحواجز، حيث أن

النوى تنقسم عدة انقسامات قبل أن تتكون الحواجز في الخيوط الفطرية، فمثلاً تظهر الحواجز عند الفطر *Neurospora* sp. بعد 24 ساعة من تشكل الخيط الفطري.



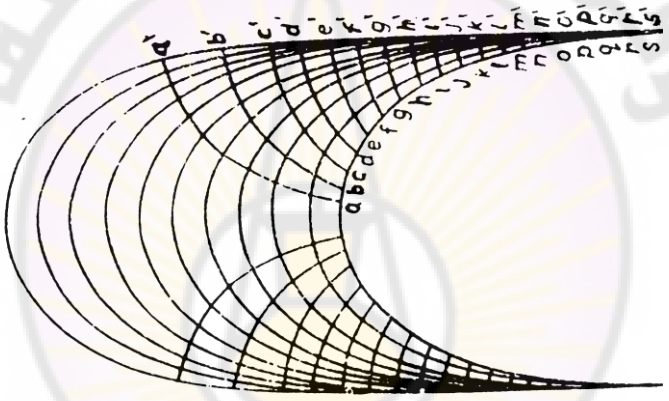
الشكل 2 –1: (A) جزء من خيط فطري غير مقسّم (Coenocytic)، (B) جزء من خيط فطري مقسّم (Alexopoulos, 1962)

تحتوي الفطريات الزقية Ascomycetes والدعامية Basidiomycetes على خيوط فطرية مقسمة، بينما معظم الفطريات السوطية Mastigomycotina تكون خيوطها الفطرية غير مقسمة بحواجز، وتتشكل الحواجز فيها فقط لفصل أعضاء التكاثر عن بقية المشيجة. كما تتكوّن الحواجز العرضية عند عائلتين من رتبة الميكورالس Mucorales وهما Dimargaritaceae و Kicxellaceae، كما وتحتوي الخيوط الفطرية في رتبة Entomophthorales على حواجز عرضية.

يكون جريان الهيولى في بعض الفطريات مثل (Myxomycetes و Mastigomycotina و Zygomycetes) واضحاً في مشيجة الفطر أو الخيوط الفطرية، و يمكن أن يبقى غير واضح في فطريات أخرى حتى تشكل أعضاء التكاثر حيث يشاهد عندئذ جريان الهيولى باتجاه هذه الأعضاء التكاثرية آتية من بعض الخيوط الفطرية التي تصبح مليئة بالفجوات أو فارغة.

1- نمو الخيوط الفطرية Growth of hyphae

بيّن العالم Burglf عام 1924 أن نمو المشيجة ينطلق من قمم الخيوط حيث قام بوضع نقاط من الحبر الصيني على مسافات متساوية على سطح حامل كيس بوغي، وبعد عدة ساعات وجد أن هذه النقاط متباعدة عن بعضها في منطقة القمة فقط بينما بقيت المسافات بين النقاط ثابتة لم تتغير في الجزء السفلي من الحامل مما يدل على أن النمو لم يحدث إلا في القمة تحت الكيس البوغي مباشرة (الشكل 2 – 2).



الشكل 2 – 2: رسم تخطيطي لنمو الخيط الفطري إذ أن العلاقة بين a-b / á-b` و b-c / b`-c` تبيّن النمو القمي للخيط الفطري (هابيل & العظمة، 1986).

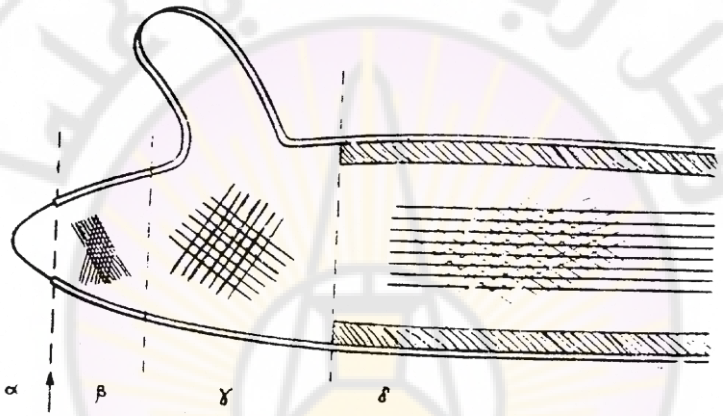
تختلف الخيوط الفطرية في سرعة نموها إذ تتراوح بين 0.1 - 6 مم / ساعة. وتتوقف سرعة النمو على دخول المواد الغذائية ووصولها إلى القمة. ويبلغ طول منطقة النمو الفعّالة بالنسبة لعمليات تصنيع المواد في قمة الخيوط الفطرية حوالي 100 ميكروناً، حيث ترد إلى هذه المنطقة المواد الأولية من الجزء القديم من الخيط الفطري، وتفصل المنطقة الفعّالة عن الجزء القديم من الخيط فجوة كبيرة. ويمكن تقسيم هذه المنطقة القمية حسب وظيفتها إلى أربع مناطق (الشكل 2 - 3).

1– المنطقة α: وهي المنطقة الطرفية من الخيط الفطري وخالية من الجسيمات النشطة.

2– المنطقة β: وهي أكثر المناطق فعّالية ونشاطاً حيث يتم فيها تصنيع المواد.

3– المنطقة γ: وهي منطقة واسعة نسبياً ويبدأ فيها تفرع الخيط الفطري.

4– المنطقة δ: يجري في هذه المنطقة تصنيع مواد الجدار الخلوي.



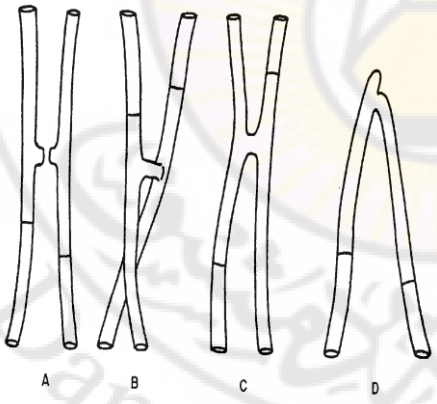
الشكل 2 – 3: تمايز قمة الخيط الفطري إلى أربع مناطق. α: المنطقة الطرفية، β منطقة تصنيع المواد، γ: منطقة تفرع الخيط الفطري، δ: منطقة تصنيع مواد الجدار الخلوي (هابيل & العظمة، 1986).

لقمم الخيوط الفطرية جدار رقيق ومرن يصبح أكثر صلابة كلما ابتعدنا عن القمة. تمتص الخيوط الفطرية المواد الغذائية على شكل محلول عن طريق الجدر الخلوية، بينما يتم هضم المواد الصلبة خارجياً بواسطة أنزيمات يفرزها الفطر عن طريق جدره الخلوية، ومن ثم يتم امتصاصها على شكل محلول. ويبدو أن هذه العملية تحدث ضغطاً داخلياً على الأجزاء الأكثر صلابة من الجدار، ثم ينتقل هذا الضغط إلى القمة المرنة، ومن المحتمل أن يلعب دوراً في استطالة القمم نحو الأمام .

ليس من الضروري أن تكون الخيوط أنبوبية أو أسطوانية الشكل دائماً. ففي الفراغات بين جزيئات التربة تتسع الخيوط الفطرية غالباً لتملأ الفراغ، أو أنها تضيق

أحياناً لتستطيع المرور من مكان ضيق، وبالتالي تصبح غير منتظمة بقطرها لمسافة قصيرة. ويلاحظ عند اختراق جدر خلايا النبات المضيف بأن قمم الخيوط عند الفطريات المتطفلة تضيق غالباً لتشكل دبوس الاختراق "Penetration peg".

والخاصية الأهم لخيوط الفطريات الراقية هي قدرتها على الالتحام Anastomosis (الشكل 2 – 4). حيث تتمكن الخيوط المتجاورة في المشيجة أن تعطي نموات قصيرة يتلامس بعضها مع بعض، كما ويمكن أن يحدث التلامس في قمم الخيوط، ويزول الجدار في نقطة التلامس لتتشكل أنبوبة واحدة تجمع الخيطين الفطريين. وتجدر الإشارة إلى أن وجود عدد من الالتحامات في المشيجة نفسها يخلق شبكة خيطية قوية مما يؤدي إلى جريان سريع للهيولى، وتبادل في النوى والمواد الوراثية. كما ويمكن أن يحدث الالتحام بين مشائج مختلفة من النوع نفسه. وعندما يحدث ذلك في مكان محدد تتشكل نقطة قوية ومغذاة بشكل جيد من أجل إنتاج الإثمارات الفطرية .



الشكل 2 – 4: التحام أنبوبي Anastomosis لخيوط الفطر *Corticium atrovirens* (عن TALBOT، 1971).

2- تفرع الخيوط الفطرية Branching of hyphae

ذكرنا سابقاً أن تفرع الخيط الفطري يحدث عادة من المنطقة γ من القمة، وبالتالي تكون هذه التفرعات جانبية غالباً على الخيط الرئيسي. وتختلف طريقة تفرع الخيط الفطري تبعاً لنوع الفطر:

- قد يكون تفرع الخيط الفطري مفرداً إذ يتكون فرع جانبيٌّ وحيد من المنطقة تحت القمية للخيط الفطري، وهذه الحالة هي الأكثر شيوعاً .

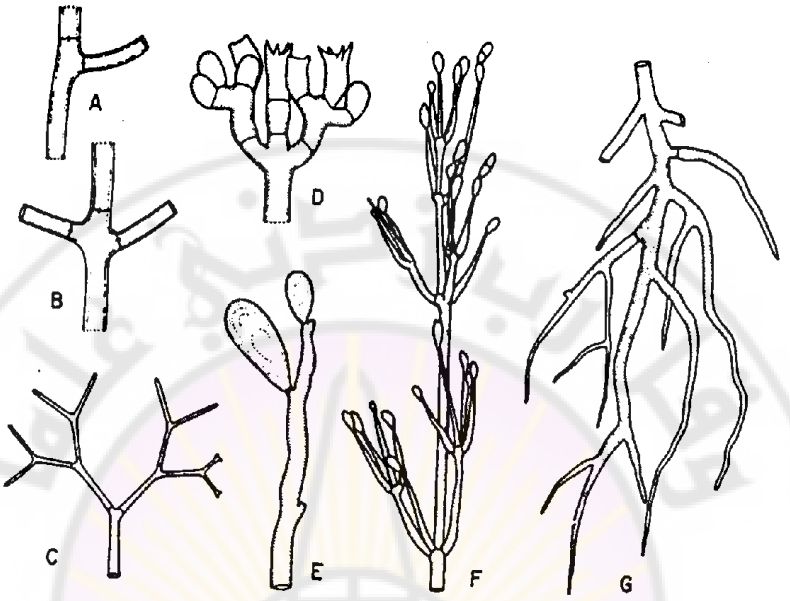
- يمكن في بعض الأحيان أن يتشكل شفع من الفروع الجانبية المتقابلة Opposite كما في الفطر *Tanatephorus cucumeris*.

- يمكن أيضاً أن يخرج ثلاثة أو أكثر من الفروع الجانبية التي تتوضع بشكل حلقي، وتسمى في هذه الحالة دوارية أو حلقية Verticillate كما في الفطر *Cladobotryum* sp.

- يمكن أن يكون التفرع ثنائي الشعبة Dichotomous ويحدث من القمة مباشرة حيث أن قمة الخيط الرئيسي تتوقف عن الاستطالة، وتتشعب إلى فرعين متماثلين لتتابع قمم الخيوط الفرعية نموها كما في الفطر *Piptocephalis* sp.

وبالتالي يمكن أن نميز نمطين من التفرعات: تفرع كاذب المحور Sympodial branching، وفي هذه الحالة لا يلاحظ وجود محور رئيس للتفرعات حيث أن قمم التفرعات المتتالية تتوقف عن النمو ويستمر النمو في الفروع الجانبية الحديثة المتشكلة تحت القمة وبذلك تتشكل سلسلة من الفروع المتتالية بدون محور رئيس. أما الشكل الآخر فهو التفرع وحيد المحور Monopodial branching وهو الأكثر شيوعاً كما في الفطر *Mycotypha* sp. وفي هذه الحالة لا تتوقف قمة الخيط الرئيسي عن النمو، وإنما تحتفظ بقدرتها على النمو وتكون أكثر نشاطاً من الفروع الجانبية المتشكلة تحتها وبالتالي يتشكل محور رئيس لهذه التفرعات (الشكل 2 – 5).

ولهذه الفروع الخيطية الصفات العامة ذاتها للخيوط الأم، كما تستطيع أن تعطي تفرعات ثانوية أخرى وهكذا دواليك. بينما يؤدي نمو الخيوط الأولية إلى ابتعاد المشيجة عن المركز، يؤدي وجود التفرعات الثانوية المتكررة إلى زيادة كثافة المشيجة.



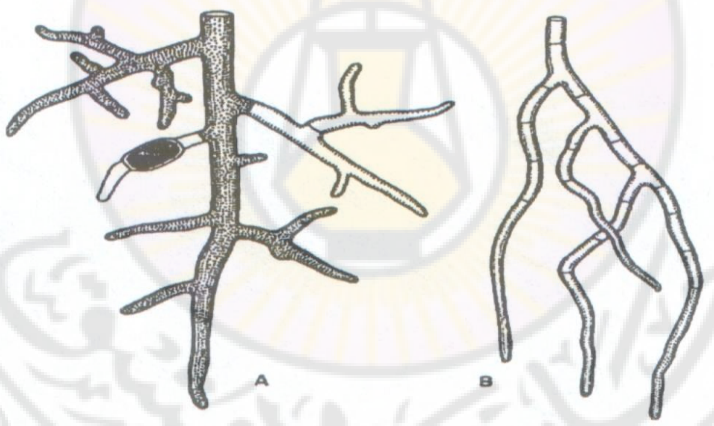
الشكل 2 – 5: تفرع الخيوط الفطرية والحوامل البوغية البسيطة. (A) تفرع جانبي بسيط Simple lateral branching (*Thanatephorus cucumeris*)، (B) شفع من الفروع الجانبية المتقابلة Opposite branching (*Thanatephorus cucumeris*)، (C) تفرع ثنائي الشعبة Dichotomous (*Piptocephalis* sp.)، (D) تفرع سنميّ Cymose (*Botryohypochnus isabellinus*)، (E) تفرع كاذب المحور Sympodial (*Ramularia* sp.)، (F) تفرع دواري أو حلقي Verticillate (*Cladobotryum* sp.)، (G) تفرع وحيد المحور Monopodial (*Mycotypha microspora*). (عن TALBOT، 1971) .

3- تشكل الحواجز العرضية في الخيوط الفطرية Septation of hyphae

تتشكل الحواجز العرضية Septa عند الفطريات الخيطية. و تتشكل هذه الحواجز دائماً بطريقة واحدة إذ ينمو في البداية الغشاء الهيولي في نقطة تشكل الحاجز نحو مركز الخيط الفطري، ثم تتوضع عليه مواد يصنعها الجدار الخلوي. ومن المعروف وجود نوعين من الحواجز هما الحواجز الرئيسة أو الأساسية (الأولية) Primary septa، والحواجز العَرَضيّة Adventitious septa.

أ - الحواجز الرئيسة (الأولية) Primary septa: تتشكل هذه الحواجز مرافقة للانقسام الميتوزي Mitotic والميوزي Meiotic للنواة، حيث أنها تفصل النواتين إحداهما عن الأخرى ليتشكل بذلك خليتان بنتان (الشكل 2 – 6).

ب – الحواجز العَرَضيّة Adventitious septa: تتشكل بغياب الانقسام الميوزي والميتوزي، وتحدث بشكل خاص مترافقة مع التغيرات التي تطرأ على تركيز الهيولى نتيجة حركتها من جزء إلى آخر من الخيط الفطري. فمن المعروف أن الهيولى تتحرك باتجاه القمة آتية من الجزء القديم من الخيط الفطري الذي يصبح على الأغلب فارغاً من الهيولى، وعندئذ يتشكل حاجز عَرَضي على الحافة السفلية لمنطقة تكثف الهيولى لتفصل الجزء الفارغ من الخيط الفطري عن المنطقة المملوءة بالهيولى (الشكل 2 – 6).



الشكل 2 – 6: (A) خيوط الفطر *Mucor* sp. مقسّمة بعدد قليل من الجدر العَرَضيّة مع وجود بوغ كلاميدي، (B) خيوط الفطر *Phialomyces macrosporus* مقسّمة بحواجز رئيسة منتظمة (عن TALBOT ، 1971) .

تتشكل هذه الحواجز عندما تتراجع الهيولى من خيط فطري ملامس لمصدر غذائي، أو عندما تهاجر الهيولى من الأجزاء القديمة من الخيط الفطري باتجاه الأجزاء الحديثة، أو عندما تتحرك الهيولى من المحاور الرئيسة للخيوط الفطرية باتجاه الأعضاء التكاثرية .

وعموماً تكون الحواجز العَرَضيّة غير منتظمة ومتناثرة، وقد تتشكل أحياناً بشكل متتالٍ مرافقة لهجرة الهيولى نحو الأمام حيث تظهر سلسلة من الحواجز المتتالية. و تبقى طبقة محيطية رقيقة من الهيولى وفجوة عملاقة تملأ بقية الفراغ المتشكل في الأجزاء الفارغة من الخيوط الفطرية .

يكون تشكل الحواجز العرضية في خيوط الفطريات الراقية المقسمة إلى خلايا وحيدة أو ثنائية النوى مترافقاً مع الانقسام الميتوزي، وهذا يقتضي أن تتشكل الحواجز عادة خلف القمة النامية، حيث أنها تتشكل بانتظام وبتعاقب قمي، أي أن الحواجز الأحدث في التشكل تكون الأقرب إلى القمة، وتتشكل بذلك خيوط فطرية مقسمة إلى خلايا متشابهة بالحجم، وهذه هي الحواجز الرئيسة .

تسود الحواجز الأساسية في الفطريات الراقية (الزقية Ascomycetes والدعامية Basidiomycetes) وأطوارها اللاجنسية، بينما تكون الحواجز العَرَضيّة نادرة، إلا أنها قد تتشكل عند حدوث تغير في كثافة هيولى الخيوط الفطرية، وخاصة عند تشكل الحويصلات أو الدعامات أو أية زوائد فطرية أخرى.

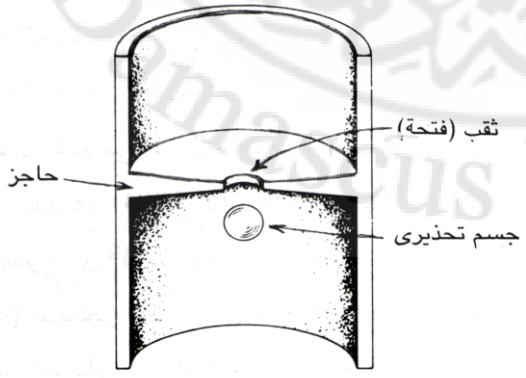
تمتاز الحواجز الأساسية عند الفطريات الدنيا (السوطية Mastigomycotina والزيجية Zygomycotina) بندرتها، خاصة في حالة الفطريات التي تنقسم فيها النواة عن طريق الانقباض، و تكون الحواجز العَرَضيّة عندها هي الشائعة.

هناك اختلافات كبيرة في تركيب الحواجز العرضية عند الفطريات، إذ يلاحظ أن بعض أفراد الفطريات السوطية Mastigomycotina تكوّن حواجز كاذبة Pseudosepta، تمتاز بوجود عدد كبير من الثقوب Multiperforate septum، فتبدو غربالية الشكل. بينما يحتوي الحاجز العرضي في الكثير من الفطريات على ثقب واحد فقط (الشكل 2 – 7)، أو على عدد قليل من الثقوب الضيقة، ولكنها تسمح بتبادل النوى والهيولى بين الخلايا. ونجد هذه الحالة في معظم الفطريات الزقية

Ascomycetes، والكثير من الفطريات الناقصة Deuteromycetes، وبعض الفطريات الدعامية Basidiomycetes كما في أنواع رتبة الصدأ Uredinales.

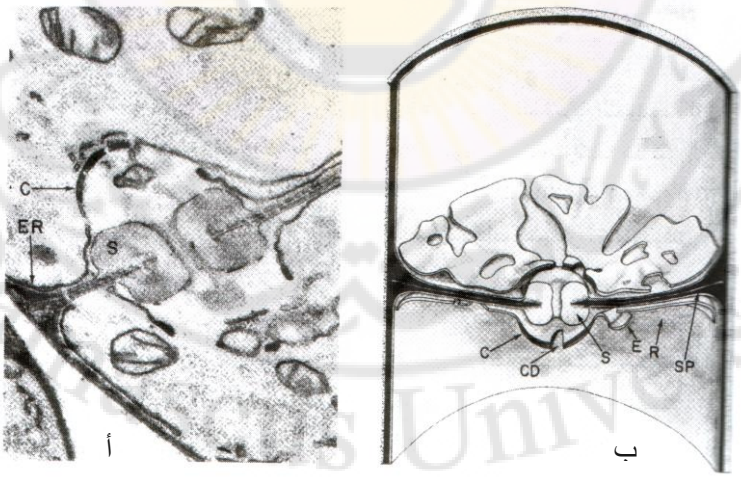
الشكل 2 – 7: نماذج من الحواجز العرضية عند الفطريات.(A) حاجز ذو فتحة واحدة (حاجز حقيقي Euseptum). (B) حاجز عديد الثقوب.

ففي الفطريات الزقية، يكون الحاجز العرضي بسيطاً نسبياً، ويستدق جداره تدريجياً باتجاه الفتحة المركزية، ليبدو في المقطع العرضي بشكل مخروطي، ويلاحظ أيضاً وجود جسم كروي صغير محاط بغشاء مضاعف، وبداخله محتويات حبيبية، يدعى بالجسم التحذيري Woronin body (الشكل 2 – 8). يبقى الجسم التحذيري بمكانه الطبيعي في الهيولى قرب ثقب الحاجز، طالما الخيط الفطري سليماً ونشيطاً. ولكن عندما يصبح الخيط الفطري مسنّاً، أو يتعرض للأذى، فإن الجسم التحذيري يتحرك إلى داخل الفتحة ليشكل سدادة تقوم بفصل هيولى الخلية المسنة أو المهشمة عن هيولى الخلايا السليمة .



الشكل 2 – 8: رسم تخطيطي لحاجز بسيط في الفطريات الزقية ، ويلاحظ وجود الجسم التحذيري Woronin body في الهيولى بجوار فتحة الحاجز (عن عمار، 2002).

بينما في الفطريات الدعامية، وبعض الفطريات الناقصة، يكون الحاجز أكثر تعقيداً، ويدعى بالحاجز المفتوح Dolipore septum، إذ يحيط بثقب الحاجز حلقة سميكة، تأخذ شكل الخاتم، وما يميز هذا الحاجز وجود غطاء فتحة الحاجز Septal pore cap، وهو سميك ومثقب، ويتكون من حبيبات متكاثفة تغطي انتفاخ الحاجز وفتحته (الشكل 2 – 9)، ويتكون غطاء الفتحة من الشبكة الهيولية الداخلية التي توجد قرب الحاجز على كلا الجانبين. ويمكن للهيولى ومكونات الخلية الصغيرة أن تمر بسهولة من خلال الحاجز من خلية إلى أخرى، بينما تحتاج هجرة النوى لبعض التحورات في ثقب الحاجز. ففي الفطر *Rhizoctonia solani* ، تضغط النوى وعضيات الخلية الأخرى على ثقوب المنع في غطاء الفتحة لتمر من خلالها، ثم تتسع فتحة الحاجز لتسمح بمرورها. وقد يتوقف الحاجز المفتوح عن أداء وظيفته، فيتحول إلى حاجز بسيط يسمح بمرور النوى بسهولة من خلية إلى أخرى. ويتم انسداد الحاجز عند تمدد الحلقة المركزية لتغلق فتحته كلياً، أو عند تكاثف بعض المواد الدقيقة لتسد الفتحة.



الشكل 2 – 9: الثقب المفتوح في الفطريات الدعامية. (أ) صورة بالمجهر الإلكتروني لفتحة حاجز مفتوح، تظهر غطاء الفتحة. (ب) رسم تخطيطي لفتحة الحاجز: C: غطاء فتحة الحاجز، CD: الثقب المانع في الغطاء، ER: الشبكة الهيولية الداخلية، S: انتفاخ الحاجز، SP: الحاجز (عن عمار ، 2002) .

التركيبات الجسمانية المتخصصة Specialized somatic structures

تكوّن المشيجة في دورة حياة بعض الفطريات تركيبات جسمانية متخصصة بأداء وظائف محددة، ومن هذه التركيبات:

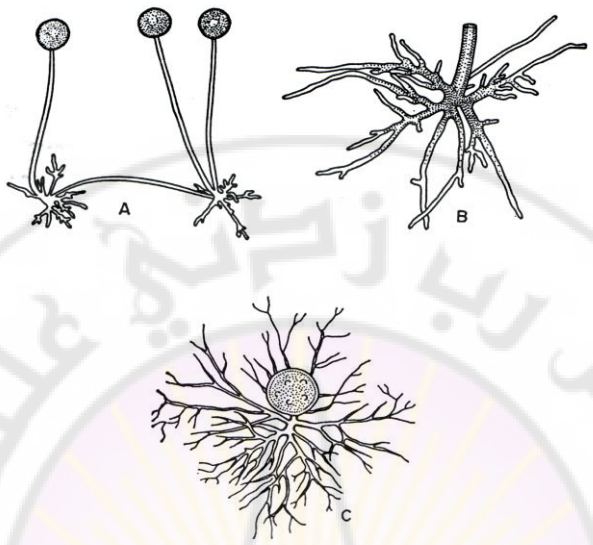
1– أشباه الجذيرات أو الجذيرات الفطرية Rhizoids

الجذيرات الفطرية هي عبارة عن تفرعات خيطية تشبه جذور النباتات تتكون في قاعدة المشيجة أو في قاعدة الحامل البوغي Sporangiophore (الشكل 2– 10). تتخصص في تثبيت المشيجة على الوسط، وتقوم أيضاً بامتصاص الماء والعناصر المغذية. وتتصل عادة كل مجموعة من هذه الجذيرات مع المجموعات الأخرى مشكّلة شبكة واسعة في الوسط بفضل الأرآد أو المدّادات الخيطية الفطرية الهوائية (Stolons) كما هي الحال عند الفطر *Rhizopus* sp. وتنفرد الفطريات الدنيا (Zygomycetes و Chytridiomycetes) بتكوينها، كما وقد تتشكل عند الأنواع المتطفلة والرمية الأخرى.

في بعض الأنواع من الفطريات الكيتريدية ذات المشائج أحادية المركز Monocentric thalli، تعطي الأبواغ السابحة عند إنباتها خيوطاً فطرية جذرية تحمل كيساً بوغياً واحداً أو بوغاً ساكناً كما هي الحال عند الفطر *Rhizophodium* (شكل 2 – 10). في حين تشكل بعض الأنواع الكيتريدية تفرعات جذرية غزيرة تدعى بالمشيجة الجذرية Rhizomycelium يتكوّن عليها عدد كبير من الأكياس البوغية أو الأبواغ الساكنة وتدعى بالمشائج متعددة المراكز Polycentric thalli أي أنها تشكل عدداً من المراكز التكاثرية بدلاً من مركز واحد .

2– الجذور الكاذبة أو السوق الثمرية شبه الجذرية Pseudorrhizas

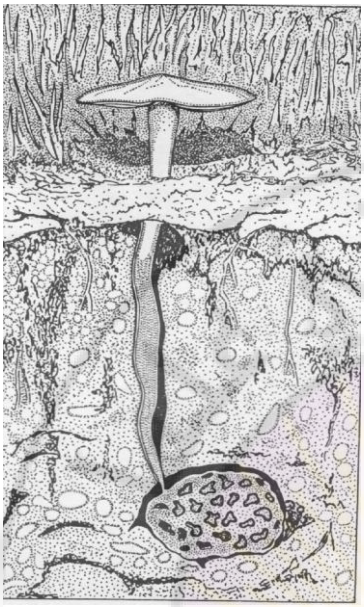
قد تنمو أحيانا مشيجة بعض الفطريات على مصدر غذائي أو مواد مطمورة على مسافة قد تكون كبيرة أحياناً تحت سطح التربة. فمن أجل وصوله إلى سطح التربة لتشكيل



الشكل 2 – 10: الجذيرات الفطرية Rhizoids. (A + B) جذيرات فطرية وخيوط فطرية هوائية (رئد أو مدّادة) Stolons على قاعدة حامل كيس بوغي للفطر .*Rhizopus* sp، (C) جذيرات فطرية على قاعدة كيس بوغي Sporangium للفطر *Rhizophydium sphaerotheca* (عن TALBOT ، 1971) .

أجسامه الثمرية، تتحد الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتشكل عاموداً أسطوانياً أو أكثر له قوام صلب، ليحمل كل منها جسماً ثمرياً على مستوى سطح الأرض. ولو نظرنا لتوضع الجسم الثمري، نجد في الحقيقة أن الجذر الكاذب هو عبارة عن استمرار لساق الجسم الثمري شبيه بالجذر الوتدي حيث يقوم بتأمين الاتصال بين الجسم الثمري ومصادر الغذاء الموجودة على عمق معين تحت سطح التربة.

ينشأ الجذر الكاذب عند الفطر *Oedemansiella radicata* من جذور النباتات الراقية. بينما تنشأ الجذور الكاذبة عند الفطر .*Termitomyces* sp الشائع في أفريقيا من مباني أعشاش النمل الأبيض، وتستطيع أن تقطع أحياناً أكثر من 120 سم قبل أن تصل إلى سطح التربة (الشكل 2 – 11).



الشكل 2 – 11: ثمـرة دعاميـــة للفطـــر *Termitomyces cartilaginous* متشكلة على ساق شبه جذري Pseudorhiza نشأ من قرص للنمل الأبيض على مسافة 0.9 م تحت سطح التربة (عن TALBOT، 1971).

3 – الجدائل أو الحبال الفطرية Rhizomorphs

تتجمع الخيوط الفطرية بعضها مع بعض لتكوين تركيب حبلي كضفائر مجدولة تشبه الجذور شكلاً، وتسهم في نشر الفطر إلى مسافات بعيدة عن منشئه، و توسيع دائرة انتشاره (الشكل 2 – 12). وقد تتشكل الريزومورفات في التربة أو تحت قلف الأشجار كما في الفطر *Armillaria mellea* حيث تتصف الريزومورفات النامية تحت القلف بأنها مسطحة وسوداء اللون مائلة للأسمر المحمر، وتزيد سماكتها عن 5 مم، وتتكون من طبقة خارجية متماسكة من المشيجة القاتمة اللون وقلب داخلي من المشيجة البيضاء، بينما تكون الريزومورفات تحت الأرضية مشابهة لتلك المتشكلة تحت القلف باستثناء أنها أسطوانية الشكل وقطرها أقل بمقدار النصف تقريباً. وتجدر الإشارة إلى أن الفطر *Armillaria* sp. يتمكن من العيش لعدة عقود على الأخشاب الضخمة بصورة رمية، ومن هذا المصدر الغذائي الكبير ينتشر ليهاجم العوائل الحية بواسطة الجدائل الفطرية التي تنمو وتمتد عبر التربة لتلامس جذور النباتات السليمة. وتستطيع الجدائل الفطرية أن

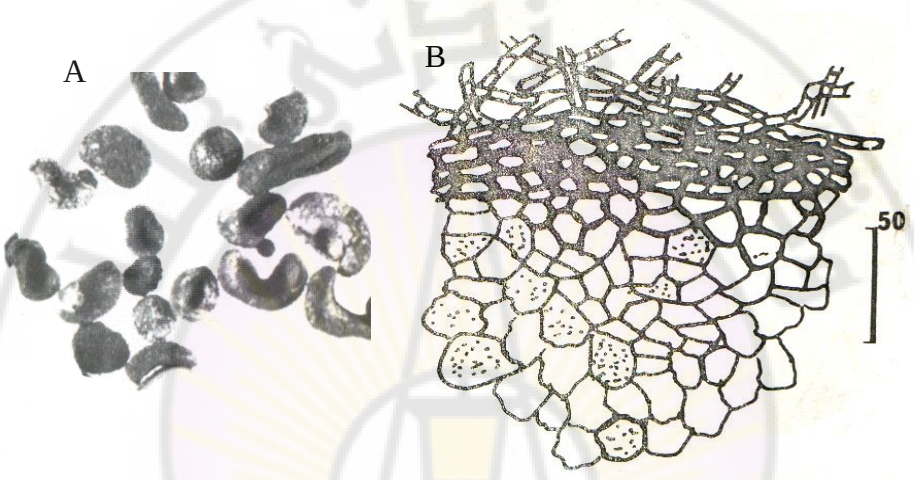
تنمو في الطبقات السطحية من التربة لمسافة تزيد عن ثلاثة أمتار، وتخترق الجذور بفعل الضغط الميكانيكي من جهة والفعل الأنزيمي من جهة أخرى .

الشكل 2 – 12: الجدائل الفطرية Rhizomorphs (عن Agrios، 1978)

4 – الأجسام الحجرية (القاسية) Sclerotia (مفردها Sclerotium)

تنشأ الأجسام الحجرية من تجمع الخيوط الفطرية وتشابكها بعضها مع بعض بتراص شديد، وحباكة نسيجية دقيقة تشبه النسيج البرانشيمي عند النباتات الراقية، مكوّنة كتلاً خيطية (Stromata) مختلفة الأشكال والأحجام تنفصل عن الوسط الذي تتكون عليه وتصبح مستقلة تماماً، وهي ذات قوام صلب ولون داكن وغالباً ما تكون سوداء (الشكل 2 – 13). ويمكن أن تكون الأجسام الحجرية أحياناً مميزة تقريباً لنوع معين ضمن مجال تباين محدد في الشكل والحجم واللون. وتبلغ الأجسام الحجرية الصغيرة Microsclerotia للفطر *Macrophomina phaseoli* عادة حوالي 100 ميكروناً، في حين تصل أبعاد الأنواع الأخرى إلى 2 سم، ومع ذلك تنتج بعض الأنواع أجساماً حجريةً تزن عدة كيلوغرامات بأقطار تصل إلى 25 سم أو أكثر.

تقاوم الأجسام الحجرية الظروف غير المناسبة، كما تختلف في مقاومتها للكيماويات المستخدمة في المكافحة مثل غاز بروميد الميثيل كما هي الحال عند الفطر *Verticillium* sp.



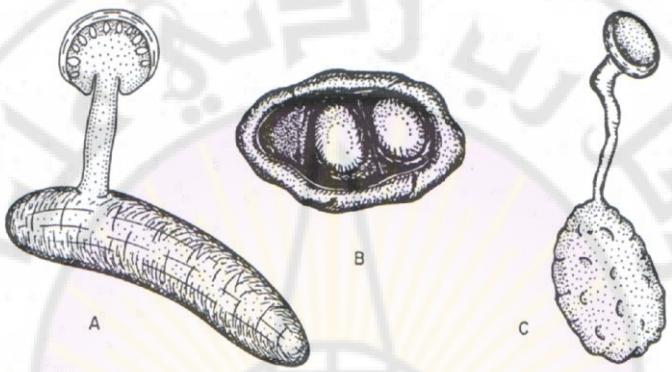
الشكل 2 – 13: (A) أجسام حجرية (قاسية) Sclerotia . (B) مقطع عرضي في جسم حجري.

تختص بعض الأنواع بكفاءة وراثية في تكوين الأجسام الحجرية إذ أنها تتشكل على مزارع فطرية نشيطة ومغذاة بشكل جيد، ولا يرتبط تكوينها عندئذ بسوء الظروف البيئية.

وتعد الأجسام الحجرية وسيلة من وسائل التكاثر والانتشار عند الفطريات، وهي قادرة على مقاومة الظروف غير المناسبة. وتختلف قدرة الأجسام الحجرية على الاستمرار في الحياة باختلاف الفطر المكوّن لها من عدة شهور إلى عدة سنوات، ويرتبط ذلك ببنية الأجسام الحجرية وصلابتها.

إذا وجد الجسم الحجري في ظروف غذائية وبيئية مناسبة، فإنه ينبت ليعيد دورة حياة الفطر من جديد، فقد يعطي الجسم الحجري مباشرة مشيجةً جديدةً كما في الفطر *Sclerotium rolfsii*، أو يمكن أن يعطي تركيبات ثمرية خارجية كما في الفطر

Claviceps sp. و *Sclerotinia* sp.، وقد تتمايز الأجسام الحجرية من الداخل لتكوين إثمارات متمايزة كما في الفطر *Aspergillus alliaceus* (الشكل 2 – 14).



الشكل 2 – 14: إنبات الأجسام الحجرية. (A) إنبات الجسم الحجري إلى ثمرة زقيّة متشكلة خارجياً للفطر *Claviceps purpurea*، (B) ثمار زقيّة كروية مغلقة Cleistothecia متشكلة داخلياً من إنبات الجسم الحجري للفطر *Aspergillus alliaceus*، (C) إنبات الجسم الحجري إلى ثمار زقيّة طبقية قرصية Apothecium والمتشكلة خارجياًعند الفطر *Sclerotinia sclerotiorum*

5 – الأجسام الحجرية الكاذبة Pseudosclerotia ومفردها Pseudosclerotium

الأجسام الحجرية الكاذبة عبارة عن خليط بنيوي من خيوط الفطر ومواد هشة أخرى كالرمل والطين أو بقايا نباتية مختلفة المنشأ. لذا فإنها تختلف عن الأجسام الحجرية بأنها ليست مكوّنة بصورة نقية من مواد فطرية. والشكل الأكثر شيوعاً من الأجسام الحجرية الكاذبة، والتي تمتاز الرميات بمقدرتها على تشكيل مثل هذه الأجسام، تتكوّن من تربة رملية مجبولة مع مشيجة الفطر، وتصادف تحت سطح التربة في قاعدة أشكال مختلفة من الأجسام الثمرية للفطريات الراقية. ففي الفطر *Polyporus basilapiloides* يمكن أن يصل حجم هذه الأجسام إلى 10 سم بالقطر و أكثر من 20

سم بالطول (الشكل 2 – 15)، وتصادف بكثرة في مناطق أشجار المَلُّي (نوع قصير من الأوكاليبتوس الأسترالي)، وتعطي أجساماً ثمريةً بعد أول هطول مطري .

وتشكل بعض الفطريات مثل المورياات Morels والفطريات Gasteromycetes أجساماً حجريةً كاذبة صغيرة الحجم، وخاصة عندما تنمو هذه الفطريات في الترب الرملية. تتشكل الأجسام الحجرية الكاذبة في بعض الأنواع المتطفلة من الفطريات من مشيجة، وبقايا أنسجة نباتية وحيوانية للمضيف. فعلى سبيل المثال، تصبح أجسام يرقات الحشرات المصابة بالفطر *Cordyceps* sp. والثمار المصابة بالفطر *Monilinia* sp. متصلبة وتدعى مُحنّطة Mummy، وهي عبارة عن أجسام حجرية كاذبة حيث يمكنها أن تعطي إثمارات فطرية عند توفر الظروف المناسبة .

الشكل 2 – 15: جسم حجري كاذب Pseudosclerotium للفطر *Polyporus basilapiloides* إذ يلاحظ وجود ثمرة دعامية متشكلة عليه فوق سطح التربة (عن TALBOT ، 1971) .

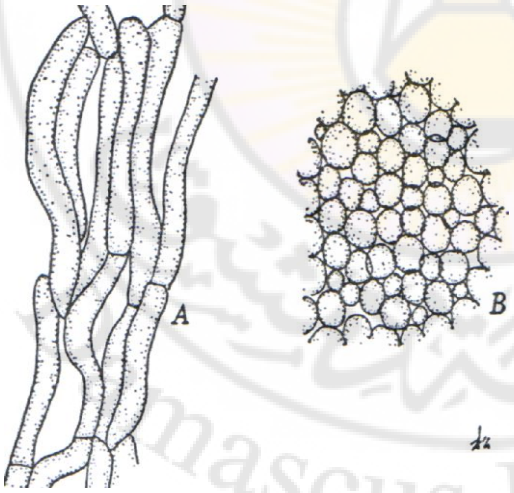
6 – الأنسجة الفطرية Plectenchyma tissue

تطلق تسمية بلكتانشيما Plectenchyma على أي نسيج خيطي فطري محبوك ومتماسك، وقد أتت هذه التسمية من اليونانية إذ أن Pleko تعني يحبك و Enchyma تعني ضمَّ. وهنا يمكننا التمييز بين ثلاثة أنواع من هذه الأنسجة:

الأنسجة الضامة الواصلة Prosenchyma (Pros = يقترب)، أنسجة قليلة الإحكام غير محبوكة بشكل جيد، تترتب فيها الخيوط الفطرية بطريقة متوازية إلى حد ما، والخلايا أسطوانية متطاولة يمكن تمييزها بسهولة (الشكل 2 – 16) .

الأنسجة الضامة الكاذبة Pseudoparenchyma، خلاياها صغيرة ومحبوكة بشكل جيد مع بعضها البعض بحيث تصبح مستديرة أو زاويّة نتيجة الضغط المتبادل فيما بينها و ذات جدار رقيق، وقد تكون بيضوية تشبه خلايا النسيج الضام عند النباتات. تجتمع الخلايا في حزم متراصة، وتفقد الخيوط الفطرية فرديتها ولا يمكن تمييزها (الشكل 2 – 16). وإذا كانت الخلايا ذات جدار ثخين وقاتم اللون تدعى الأنسجة عندئذ بالأنسجة السكليرانشيمية الكاذبة Pseudosclerenchyma.

تكوّن هذه النسج في كل من الأنماط السابقة بنيات إعاشية وتكاثرية متمايزة تختص بها أنواع من الفطريات دون أخرى .

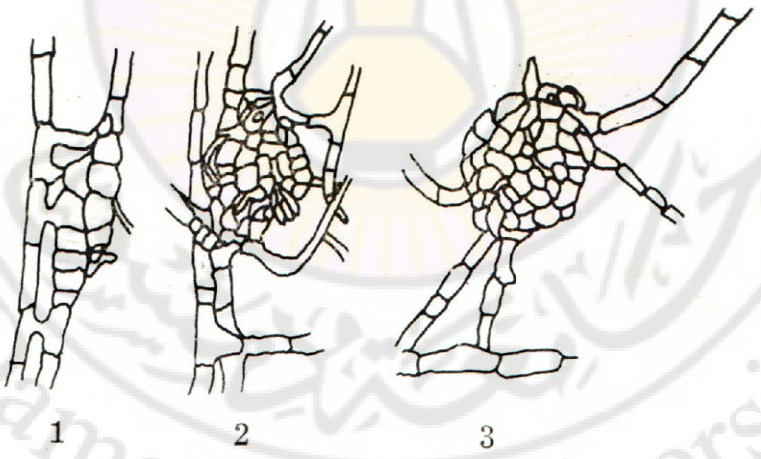


الشكل 2 – 16: الأنسجة الفطرية Plectenchyma: (A) Prosenchyma، (B) Pseudoparenchyma (عن TALBOT، 1971) .

7 – الوسائد أو المطارح الخيطية الفطرية Stromata

يستخدم مصطلح الوسادة الفطرية (ستروما) للإشارة إلى الأنسجة المكوّنة من خيوط فطرية متشابكة ومتراصة (الشكل 2 – 17)، وتتكوّن عادة تحت أو على سطح

العائل، وتأخذ أشكالاً مختلفة فقد تكون على شكل قشور منتظمة أو أجسام كروية أو بيضوية مختلفة الأبعاد والألوان، وتعتبر الستروما مرحلة من مراحل تكوين الإثمارات الفطرية، إذ قد يطرأ عليها تمايز يؤدي إلى تكوين فراغ في مركزها يتحول إلى طبقة خصيبة تعطي الأبواغ ليتشكل بذلك البكنيد أو الوعاء البكنيدي (Pycnidium)، أو إلى أجسام حجرية نظراً لأنها تعطي عند الإنبات أجساماً ثمرية، أو تتمايز الستروما لتكوين الكويمة الكونيدية (Acervulus). وفي الأنماط الأخرى من الأجسام الحجرية التي تنبت مباشرة إلى مشيجة، يمكن النظر إليها على أنها وسادة غير خصبة (عقيمة). ومن جهة أخرى فإن العديد من الجدائل الفطرية (الريزومورفات) هي أيضاً وسائد خيطية فطرية من حيث التركيب، على الرغم من أنها لا تعطي اثمارات فطرية. لذا تعتبر الوسائد الفطرية (الستروما) مادة أساسية للتعضي عند الفطريات .

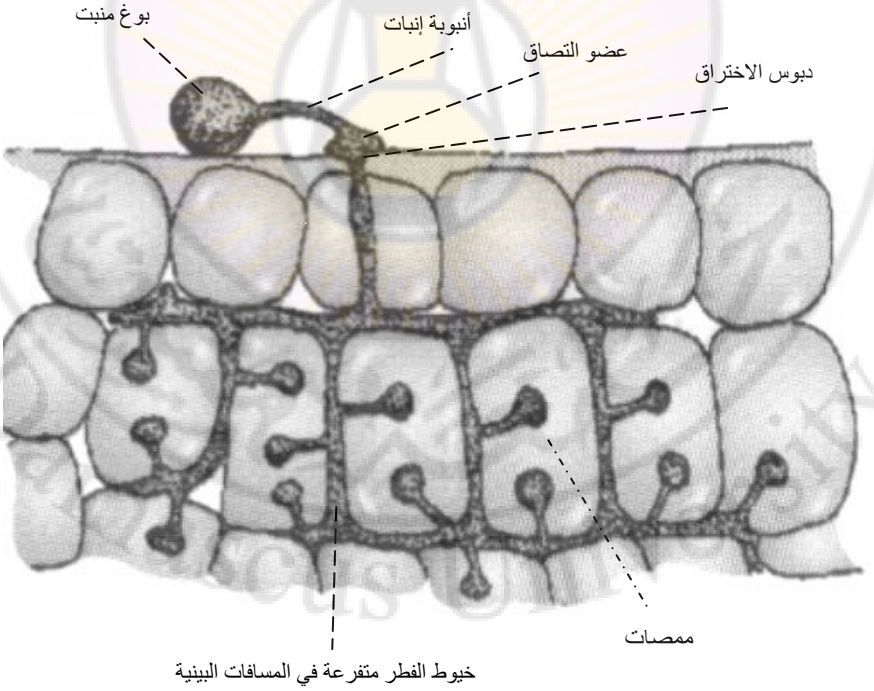


الشكل 2 – 17: مراحل تكوين الوسادة الخيطية الفطرية (الستروما) (عن Agrios ، 1978) .

8 – أعضاء الالتصاق Appressoria (مفردها Appressorium)

أعضاء الالتصاق عبارة عن انتفاخات مفلطحة بسيطة أو مفصصة تتشكل عند التصاق أنابيب الإنبات بسطح صلب أو بقشيرة أوراق النبات، وتكون أحياناً محاطة بمادة لزجة تعزز عملية الالتصاق. تتشكل أعضاء الالتصاق في بعض الفطريات المتطفلة مثل الفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي (Erysiphales)، أو قد تتشكل أيضاً في أنواع أخرى من الفطريات التي تنمو على سطوح صلبة أخرى كالزجاج مثلاً .

تساعد هذه الأعضاء على تثبيت الفطر على سطح العائل أو على السطوح الصلبة الأخرى التي ينمو عليها، ويخرج من وسطه نتوء شوكي بشكل الدبوس يسهل اختراق الفطر لأنسجة العائل (الشكل 2 – 18).



الشكل 2 – 18: أعضاء الالتصاق Appressoria التي تتشكل عند ملامسة أنبوبة الإنبات لسطح الورقة (عن Agrios, 2005) .

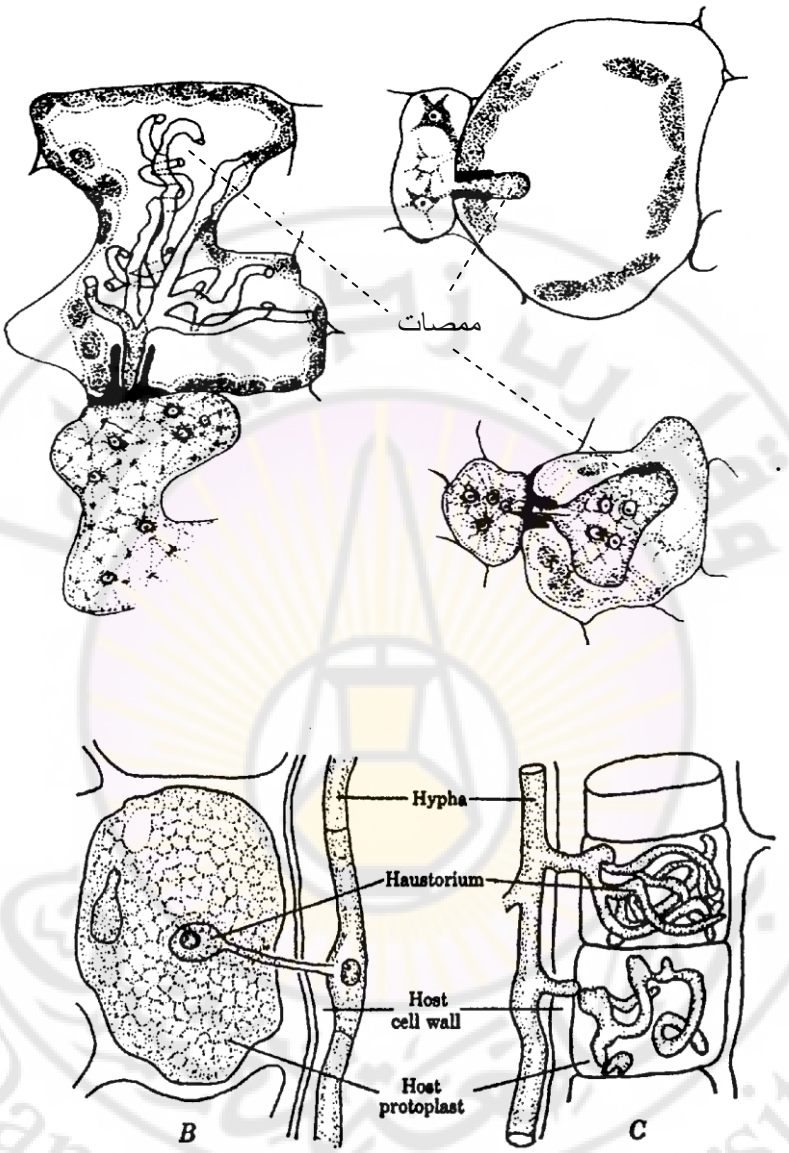
تشجع بعض المواد التي تفرزها الأوراق على تشكل أعضاء الالتصاق كبعض الأحماض مثلاً (Chlorogenic acid في التفاح و Anthranilic acid في الموز)، ويبدو أن هذه المحرضات الكيميائية غير نوعية. بينما تثبط السكريات البسيطة تشكل أعضاء الالتصاق وتشجع نمو أنابيب الإنبات والخيوط الفطرية على سطح الأوراق.

9 – الممصات Haustoria (مفردها Haustorium)

ترسل خيوط الفطريات المتطفلة أعضاء دقيقة تدعى الممصات داخل خلايا النبات تؤمن امتصاص الماء والمواد الغذائية، و تتشكل هذه الممصات إما من الخيوط بين الخلوية أو من أعضاء الالتصاق Appressoria بعد حدوث الاختراق، أو من خيوط خارجية على سطح النبات .

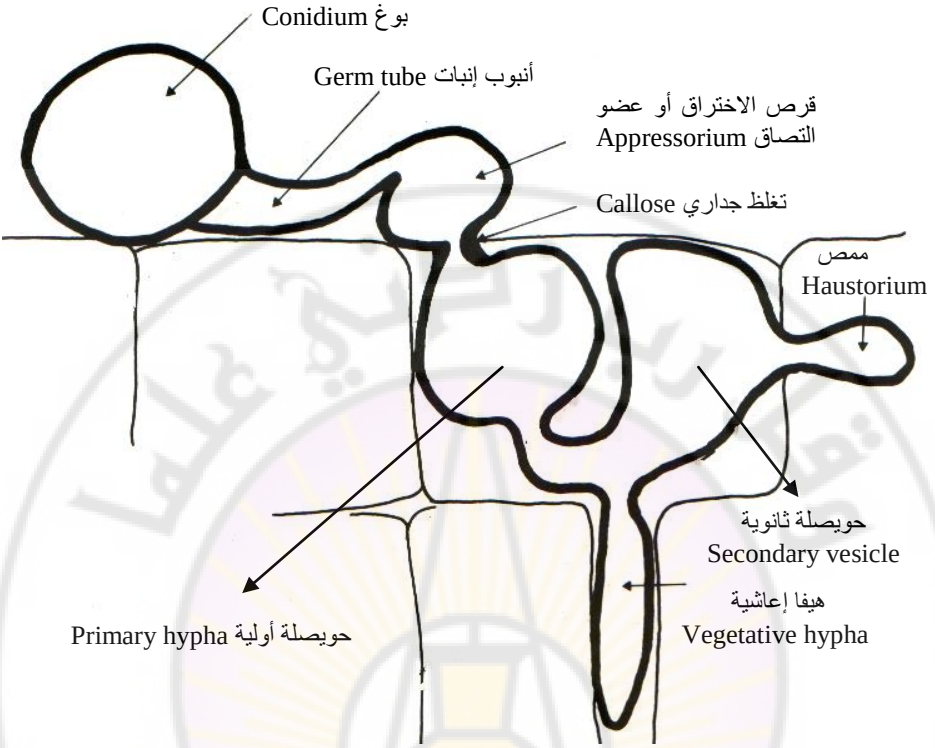
تتشكل الممصات عند الفطريات المتطفلة على النبات، وبشكل خاص عند فطريات الصدأ Uredinales، وفطريات البياض الدقيقي Erysiphales، وفطريات البياض الزغبي Peronosporales. وتأخذ الممصات أشكالاً وأبعاداً مختلفة جداً، فقد تكون كروية أو بيضاوية أو مفصصة أو متفرعة (الشكل 2 – 19)، ويمكن أن نجد العديد منها في الخلية نفسها.

وقد دُرست الممصات بشكل خاص عند فطريات البياض الدقيقي والبياض الزغبي، وقد تبيّن أن هيولى خلايا النبات المضيف ليست مُختَرقة بالممصات ولكنها غالباً مُنغمدة، حيث أن الممصات تكون محاطة بطبقة من الكالوز تدعى Extrahaustorial matrix والتي تكون بدورها محاطة أيضاً بالغلاف الهيولي لخلايا البشرة بحيث تمنع هذه الطبقة التماس المباشر بين الفطر وخلايا النبات المضيف.



الشكل 2 – 19: أشكال مختلفة من الممصات Haustoria

تتشكل أعضاء الالتصاق عند الفطر *Bremia lactucae* المسبب للبياض الزغبي على الخس، ومن ثم يتم الاختراق، وبعد ذلك تتشكل حويصلات أولية وحويصلات ثانوية تعطي بدورها الممصات وخيوط بين خلوية (الشكل 2 - 20).

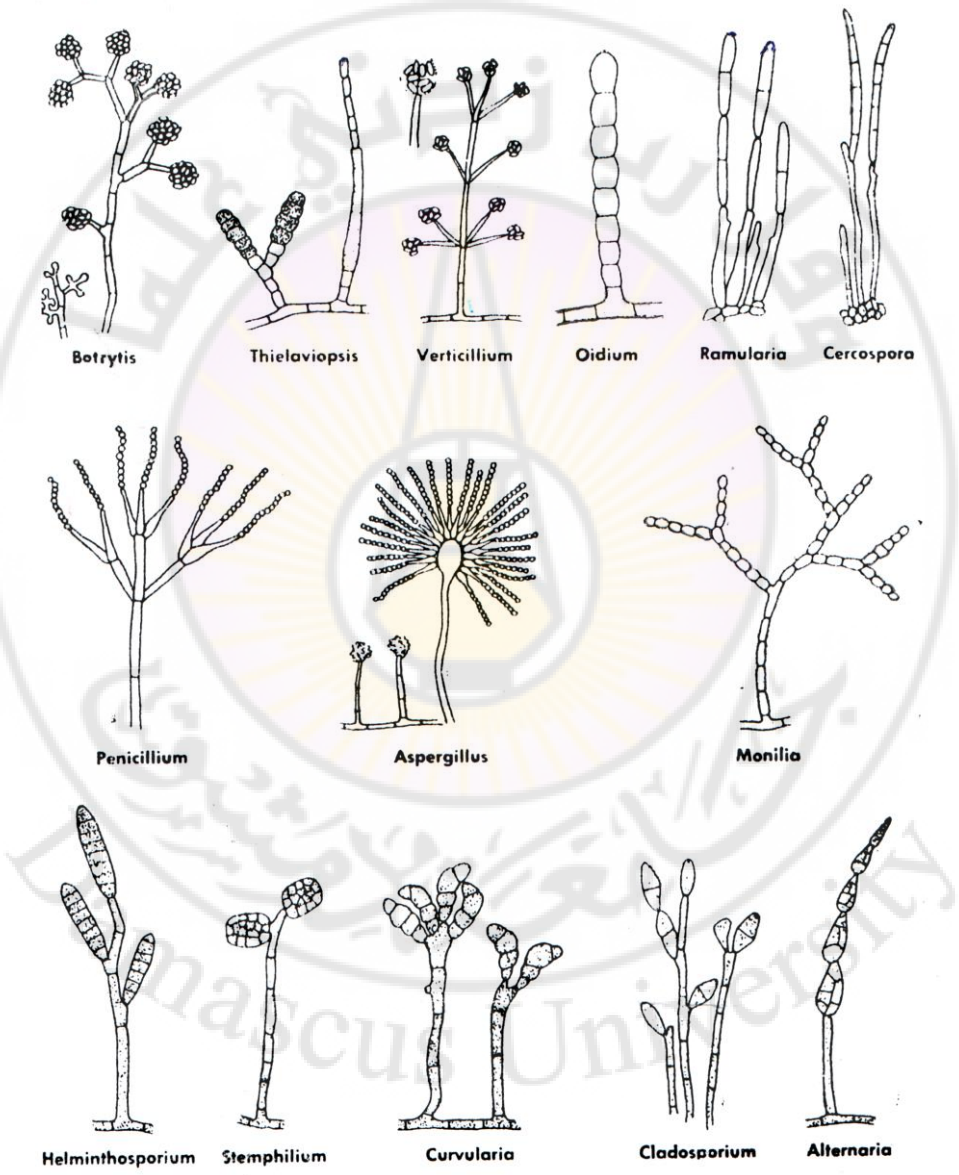


الشكل 2 – 20: تشكل الممصات عند الفطر *Bremia lactucae* المسبب لمرض البياض الزغبي في الخس (عن Corbaz، 1990)

10 – الحوامل البوغية Conidiophores أو Sporophores

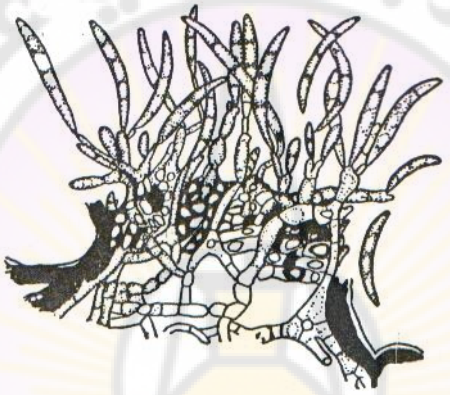
توجد الخيوط الفطرية عادة في أنسجة العائل بين الخلايا Intercellular، ولما كان من الضروري أن تكون الأبواغ معرضة للجو الخارجي كي تستطيع الانتشار بالطرق المختلفة، لذا كان من الضروري تشكيل أعضاء خاصة تنمو إلى خارج الأنسجة لتحمل الأبواغ وتمكنها من الانتشار، وتدعى هذه الأعضاء بالحوامل البوغية Conidiophores. وتتشكل الحوامل البوغية بشكل عامودي على الخيوط الفطرية، وقد تكون مفردة أو بمجموعات، وتختلف الحوامل البوغية بأطوالها وأشكالها وطريقة تفرعها

وعدد الأبواغ التي تتشكل عليها (الشكل 2 – 21)، وتعد كل هذه الصفات من الأسس التي يعتمد عليها في التفريق بين الأجناس الفطرية المختلفة.



الشكل 2 – 21: نماذج مختلفة من الحوامل البوغية عند الفطريات

قد تنمو الحوامل البوغية بأعداد كبيرة بجانب بعضها البعض وترتفع في الهواء، وقد تتلاصق دون اتحاد جانبي فيما بينها لتكون ما يسمى بالحبيكة Sporodochium (الشكل 2 – 22) ، وقد تتلاصق وتتحد جانبياً لتكوين هذه الأعضاء تحت بشرة أوراق العائل وسوقه، وعندما تتمزق البشرة تتعرض الأبواغ للانتشار، ومن أمثلة ذلك بثرات فطريات الصدأ.



الشكل 2 – 22: حبيكة Sporodochium عند الفطر *Fusarium lini* (عن Bolley، 1901)

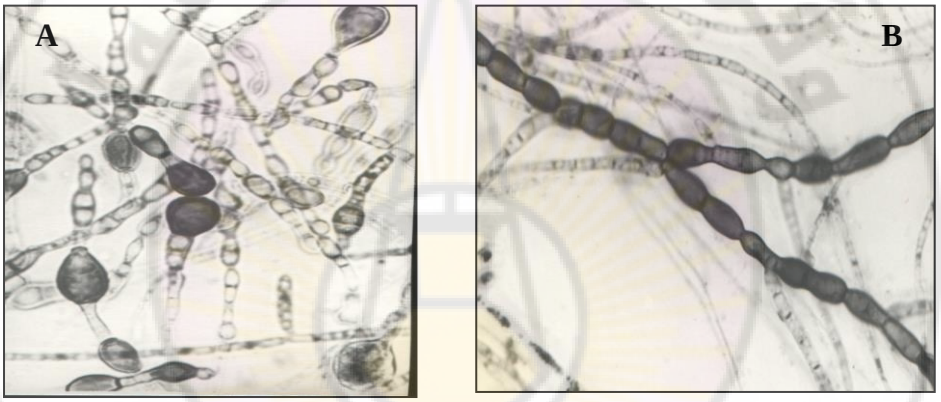
وقد تتكوّن الحوامل البوغية (Basidia) على سطوح الصفائح gills المتكوّنة على السطح السفلي لقبّعة الثمرة الدعامية (Carpophore) لبعض الفطريات الدعامية كما في فطر عيش الغراب.

كما تتكوّن الحوامل البوغية في طبقة متمايزة تغلّف السطح المطل على جوف الأوعية البكنيدية، والأوعية السبرموغونية أو الأوعية المنطفية.

11-– الأبواغ المغطاة أو الكلاميدية Chlamydospores

في بعض الفطريات، وفي شروط خاصة للوسط، يتغلظ جدار الخلية الفطرية التي تمتلئ بالمدخرات الغذائية، وتصبح مستديرة الشكل، وذات غلف عديمة اللون أو قاتمة

لاحتوائها على أصبغة الميلانين. وقد تكون منفردة أو بسلاسل، بينية أو طرفية، وقد يتحول أحياناً الخيط الفطري بالكامل إلى سلسلة من هذه الأبواغ (الشكل 2 – 23). ولا توجد عادة آليات خاصة لانفصال هذه الأبواغ وانتشارها، إلا أنها تنفصل عن بعضها بانحلال القطع أو الأجزاء الخيطية الفطرية التي تفصل بينها، ولهذا تبقى منفصلة على الوسط الذي تشكلت عليه. تعتبر الأبواغ الكلاميدية طريقة من طرق التكاثر اللا جنسي، وهي قادرة على مقاومة الظروف القاسية لتنبت من جديد عندما تصبح الظروف مناسبة.

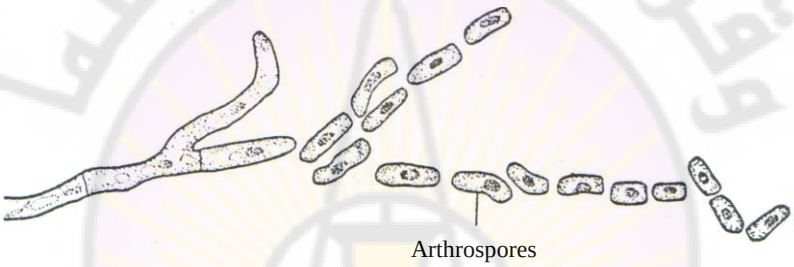


الشكل 2 – 23: نماذج مختلفة من الأبواغ الكلاميدية. (A) أبواغ كلاميدية طرفية وبينية. (B) تحول كل خلايا المشيجة إلى أبواغ مقاومة، وتدعى بالمشيجة الساكنة Resting mycelium . (عن فضول)

ومن أمثلة الفطريات التي تشكل هذا النوع من الأبواغ الفطر *Fusarium* sp. . وتوجد هذه الأبواغ أيضاً لدى الخيوط المسنة من الفطر المائي *Saprolegnia* sp.، وتكون مفردة أو بسلاسل، وفي هذه الحالة فإن الأبواغ المغطاة المتكوّنة تنفصل عن المشيجة وتنتشر في تيارات الماء. وتدعى الأبواغ المغطاة التي تنتشر بهذه الطريقة الأبواغ المائية الحرة Gemmae. وقد يطلق اصطلاح البوغ الكلاميدي أيضاً على الأبواغ التيليتية ثنائية النواة المميزة لفطريات التفحم Ustilaginales، والتي تتشكل بنفس الطريقة.

تمتاز بعض الفطريات بمقدرتها على تحويل جزء من خيوطها إلى سلاسل من الخلايا غليظة الجدر، داكنة اللون، تقاوم ظروف الوسط غير المناسبة، وتدعى بالمشيجة المعمرة Perennial mycelium أو الساكنة Resting mycelium وتتشابه إلى حد كبير مع الأبواغ الكلاميدية كما هي الحال عند الفطر *Verticillium* sp. .

وقد يتجزأ الخيط الفطري إلى خلايا منفصلة تحتفظ كل منها بشكلها المضلع، وتدعى بالأبواغ المفصلية Arthrospores (الشكل 2 – 24).

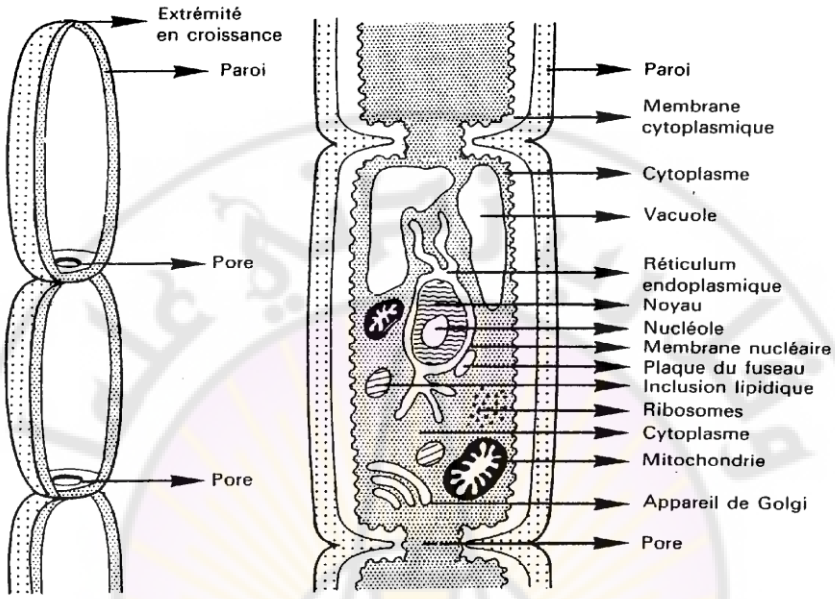


الشكل 2 – 24: الأبواغ المفصلية Arthrospores

بنية الخلية الفطرية Structure of fungal cell

يُعَدُّ التركيب الدقيق للخلية الفطرية متماثلاً سواء أكانت المشيجة وحيدة الخلية أو عديدة الخلايا على الرغم من وجود بعض الاستثناءات. تتشابه خلايا النباتات الراقية والفطريات بتركيبها على اعتبارها من حقيقيات النوى Eukaryotes حيث تحتوي الخلايا على غشاء نووي، ولكنها مختلفة جداً عن الجراثيم و الفطريات الشعاعية Actinomycetes التي لا تحتوي خلاياها على غشاء نووي أي أنها من طلائعيات النوى Prokaryotes.

تحتوي معظم الخلايا الفطرية على جدار خلوي يتوضع عليه من الداخل الغشاء الهيولي الذي يحيط بالهيولى، وكما هي الحال في خلايا النباتات الراقية تحتوي الهيولى على المتقدرات والفجوات والريبوزومات والنواة (الشكل 2 – 25).



الشكل 2 – 25: مخطط تمثيلي يبيّن بنية الخلية الفطرية، والتي تتكوّن من الجدار الخلوي Paroi، الغشاء الهيولي Membrane cytoplasmique، الهيولى Cytoplasme، الفجوات Vacuoles، الشبكة الهيولية الداخلية Reticulum endoplasmique، النواة Noyau، الغشاء النووي Membrane nucleaire، مدخرات ليبيدية Inclusion lipidique، الريبوزومات Ribosomes، المتقدرات Mitochondrie، جهاز غولجي Appareil de Golgi، ثقب في الحاجز العرضي Pore. (Semal *et al*., 1989).

الجدار الخلوي : لقد أظهرت صور المجهر الإلكتروني والأشعة السينية أن جدار خلية الخيط الفطري يتألف عموماً من طبقتين، وأحياناً من عدة طبقات من الألياف، كما هي الحال عند الخلايا النباتية مع وجود اختلاف في التركيب الكيميائي .

يختلف التركيب الكيميائي لجدار الخلية الفطرية باختلاف الأنواع، إذ تتكوّن الجدر الخلوية عند الفطريات عموماً من 80- 90 % من السكريات المعقدة، كما أنها تحتوي على البروتينات والليبيدات والفوسفات المتعددة وبعض الأيونات.

وتتشكل السكريات المعقدة في الجدر الخلوية عند معظم الفطريات من مركب الكيتين، بينما يسيطر السيللوز في الجدر الخلوية للفطريات البيضية Oomycetes، وقد نجد السيللوز والكيتين معاً كما هي الحال عند الفطريات الكيتريدية الخيطية Hyphochytridiomycetes. بينما تتكوّن الجدر الخلوية عند النباتات الراقية بشكل أساسي من السيللوز والبكتين والخشبين.

يشكل الكيتين والسيللوز في الجدر الخلوية أليافاً دقيقة يتخللها عدد من البروتينات والليبيدات حيث تتوضع هذه الألياف في طبقتين متعاكستين، و يكون امتداد الطبقة الداخلية موازياً لمحور الخيط الفطري .

لقد بيّن Garrett (1963) أن الفطريات ذات الجدار الخلوي السيللوزي تكون غير قادرة على تفكيك سيللوز وخشبين النباتات الراقية. بينما تستطيع الفطريات المحللة للأخشاب Wood-rotting fungi، و التي يسيطر الكيتين في جدرها الخلوية، مهاجمة السيللوز في الأخشاب وتنتج العفن البني، أو مهاجمة السيللوز والخشبين معاً لتنتج العفن الأبيض White-rot. وتفرز الفطريات المسببة للعفن الطري Soft-rot والعفن البني Brown-rot على الثمار (مثل الأنواع *Rhizopus* sp. و *Botrytis* sp. و *Monilinia* sp.) أنزيمات محللة للبكتين حيث أنها تقوم بتفكيك البكتينات في الصفيحة الوسطى وجدر خلايا النباتات المضيفة قبل أن تهاجم محتويات الخلية .

كما تحتوي الجدر الخلوية للفطريات على سكريات متعددة تشكل معقدات مع الكيتين والسيللوز، حيث يحتوي الجدار الخلوي عند معظم الفطريات على معقد من الكيتين – الغليكوزات، بينما تحتوي الجدر الخلوية عند الفطريات البيضية Oomycetes على معقد من السيللوز- الغليكوزات، و تمتاز الفطريات الزيجية باحتواء جدرها على معقد من الكيتين – غليكوزات و كيتين – بنتوزات. كما تحتوي الجدر الخلوية لبعض الفطريات على وحدات من السكريات الخماسية والسداسية.

تسيطر الحموض ثنائية الكربوكسيل في الجدر الخلوية للفطريات بحيث يصبح

الوسط حامضياً، ويحتوي الجدار الخلوي على حمض ألفا – أمينوبيمالك، وحمض ثنائي أمين بيمالك حيث يوجد هذا الحمض في الجدر الخلوية للفطريات البيضية كما أنه يوجد في الجراثيم. وتحتوي الجدر الخلوية أيضاً على الليبيدات بشكل دائم، وتختلف هذه الليبيدات عن ليبيدات الهيولى بكونها تتكون من حموض دهنية مشبعة. كما يحتوي الجدار الخلوي على نسبة 1 % من وزنه الجاف من الحمض النووي RNA وبعض الأنزيمات. وقد يكون الجدار الخلوي غير ملّون (شفاف)، أو أنه يكون داكن اللون نظراً لوجود صبغة الميلانين .

يقوم الجدار الخلوي بعدة وظائف فيحافظ على شكل الخلية ويحمي مكوناتها الداخلية، كما يلعب دوراً هاماً في انتخاب المواد الداخلة إلى الخلية، ويجري عليه عدد من تفاعلات اصطناع مكونات الجدار الخلوي، ويتوضع عليه من الداخل الغشاء الهيولي الذي يحيط بمحتويات الخلية .

الغشاء السيتوبلاسمي أو الهيولي: يتكون الغشاء الهيولي من ثلاث طبقات من الليبيدات البروتيدية، ويتوضع عليه عدد من الأنزيمات (الفوسفتاز الحامضي، وادينوزين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate (ATP)، وأنزيمات الأكسدة والإرجاع، وأنزيمات النقل).

الهيولى أو السيتوبلاسما: وهي سائل غروي القوام يحتوي على أنزيمات متعددة، كما تحتوي الهيولى على الحموض الأمينية والحموض النووية وعلى كربوهيدرات وليبيدات.

وتحتوي الهيولى على شبكة هيولية مرتبطة مع الغشاء الهيولي، وتلعب هذه الشبكة دوراً هاماً في مختلف التفاعلات الحيوية في الخلية وتشارك في عملية دخول المواد إلى الخلية وخروج الفضلات منها .

كما تحتوي الهيولى على الميتوكوندريات أو المتقدرات التي تحاط بغشاء هيولي مضاعف، حيث تكون الطبقة الخارجية ملساء والطبقة الداخلية خشنة ومتعرجة، ويوجد

على أغشية المتقدرات عدد كبير من الأنزيمات، وتحتوي أيضا على كمية كبيرة من الحمض النووي DNA (Deoxyribonucleic acid) الخاص بها .

كما يوجد في الخلية الفطرية أيضاً فجوات، يزداد حجمها مع نمو الخيط الفطري، وتنشأ من الشبكة الهيولية أو من أجسام غولجي، كما تختلف وظيفتها حسب مصدرها: فالفجوات التي تنشأ من الشبكة الهيولية تحتوي على المواد الإدخارية للخلية أما الفجوات الناشئة من أجسام غولجي تحتوي على مواد سامة وغريبة .

النواة: تحتوي النواة على غشاء نووي مضاعف ويوجد فيه ثقوب تسمح بمرور الجزيئات الكبيرة من داخل النواة إلى الهيولى، وتوجد المادة الوراثية داخل النواة على شكل خيوط دقيقة تدعى بالشبكة الكروماتينية أو بالكروماتينات (Chromatines) تتكثف قبل الانقسام الخلوي لتشكل ما يدعى بالصبغيات Chromosomes. يتكون الصبغي من الحمض النووي DNA وحمض الهيستيدين Histidine. و يتوقف عدد الصبغيات في النواة على نوع الفطر حيث يتراوح من 2 – 28 ويكون في أغلب الفطريات (8) .

تستخدم بعض المصطلحات للتعبير عن السلوك النووي للخلايا الفطرية :

Monokaryotic cell: تحتوي الخلية على نواة واحدة (Monokaryon) وحيدة الصيغة الصبغية (Haploid) أي أنها تحتوي على عدد (n) من الصبغيات، وهي تمثل الطور وحيد الصيغة الصبغية في دورة الحياة (Haplophase).

Synkaryotic cell: تحتوي الخلية على نواة واحدة ثنائية الصيغة الصبغية (Diploid) أي أنها تحتوي على عدد (2n) من الصبغيات، وهي تمثل الطور ثنائي الصيغة الصبغية في دورة الحياة (Diplophase).

Dikaryotic cell: تحتوي الخلية على شفع من النوى المختلفة (Dikaryon) وحيدة الصيغة الصبغية، ولكنها متممة وراثياً لبعضها البعض، أي أن كل خلية ثنائية النوى تحتوي على صبغي متمم إلى (n+n).

تسمى الخلايا ثناثية النوى (Dikaryon) أحياناً Diploid، وتضم للطور Diplophase من دورة الحياة. وهذا خطأ كبير حيث إن الطور ثنائي الصيغة الصبغية يبدأ بالاندماج النووي وينتهي بالانقسام الميوزي، ويشكل عادة فترة زمنية قصيرة فقط من دورة حياة معظم الفطريات.

تتشكل الخيوط الفطرية ثنائية النوى في الكثير من الفطريات الراقية، وخاصة الفطريات الدعامية Basidiomycetes وفي الكثير من الفطريات الزقية Ascomycetes.

وقد يلاحظ في نفس الفطر وجود ثلاث أطوار للنواة في دورة الحياة (Haplphase – Dikaryophase – Diplophase).

وتطلق التسمية Dikaryotization على العملية التي يتم فيها انتقال الخلية أو المشيجة من الطور وحيد النوى Haplophase إلى الطور ثنائي النوى Diplophase بوجود شفع من النوى وحيدة الصيغة الصبغية في كل خلية، ويطلق خطأً على هذه العملية أحيانا التسمية Diplodization.

Heterokaryotic cell و Homokaryotic cell: تحتوي الخلايا متعددة النوى المتخالفة Heterokaryotic على نواتين مختلفتين وراثياً على الأقل (Heterokaryons). وعندما تكون النوى متماثلة وراثياً تدعى الخلايا Homokaryons. وتجدر الإشارة إلى أن الـ Dikaryon هي حالة خاصة من الـ Heterokaryon حيث إن الخلية تحتوي على نواتين فقط. وتختلف خلايا الخيوط الفطرية متعددة النوى المختلفة وراثياً بعدد ونوع ونسبة كل نمط من النوى الموجودة . ويمكن أيضاً أن نصادف في الخلية نفسها خليطاً من النوى وحيدة الصيغة الصبغية Haploid ومضاعفة الصيغة الصبغية Diploid. وتتشكل ظاهرة تعدد النوى في الفطريات عن طريق الالتحام Anastomosis، أو عن طريق حدوث طفرات في بعض

نوى المشيجة، أو أن يحدث ذلك بشكل طبيعي نتيجة اندماج نوى وحيدة الصيغة الصبغية لتشكيل نوى ثنائية الصيغة الصبغية كما يحدث في التكاثر الجنسي .

انقسام النواة

1 – الانقسام العادي أو الميتوزي Mitosis

دلّت الأبحاث على وجود صيغ متعددة للانقسام العادي في معظم الفطريات، وتختلف عن الانقسام العادي المعروف لدى النباتات الراقية. إضافة لذلك، فإن تفاصيل الانقسام العادي تختلف من فطر إلى آخر، باستثناء بعض الأنواع الفطرية التابعة للجنس *Basidiobolus* من الفصيلة Basidiobolaceae، إذ يجري الانقسام العادي بطريقة مشابهة لما يحدث في النباتات الراقية، والخيوط الفطرية في هذه الأنواع مقسمة إلى خلايا يحتوي كل منها على نواة واحدة كبيرة (حوالي 25 ميكروناً).

وتلاحظ المراحل الأربع الأساسية للانقسام العادي بشكل واضح في خلايا أنواع الجنس *Basidiobolus* ، وهي:

1 – البروفاز Prophase: تتجمع الخيوط الكروماتينية في خيوط كثيفة تدعى بالصبغيات Chromosomes.

2 – الميتافاز Metaphase: تتوضع الصبغيات في هذه المرحلة في مركز النواة.

3 – الأنافاز Anaphase: تتضاعف الصبغيات وتهاجر إلى الأقطاب.

4 – التلوفاز Telophase: تتشكل الأغلفة حول النوى في هذه المرحلة، ومن ثم تنقسم الخلية إلى خليتين.

تتم هجرة الصبغيات نحو الأقطاب في الجنس *Basidiobolus* كما في النباتات الراقية، حيث يشارك المغزل في هذه العملية، وقد اكتشف المغزل في عدد من الأنواع

الفطرية الدعامية. وأثناء انقسام النواة، فإن الأجسام القطبية (Centrioles) تتضاعف وتهاجر إلى القطبين المتقابلين في النواة، ثم تستقر بعد ذلك بجوار أو خلال الغشاء النووي، لتشكل بعد ذلك الأنابيب الدقيقة المكونة لخيوط المغزل، وبالتالي فإن المغزل ينشأ من الأجسام القطبية، إما أثناء هجرتها، أو بعد وصولها لوضعها النهائي عند القطبين المتقابلين في النواة. ويقع المغزل بشكل كامل داخل الغشاء النووي، وتتصل بعض أنابيب المغزل الدقيقة بالصبغيات. يتشكل المغزل عادة في بداية الانقسام النووي، وتحدث هجرة الصبغيات نتيجة للتأثير المتبادل بين المغزل، ومركز الصبغي Centromere.

وفي بعض الأحيان تتحرك الجسيمات القطبية، وتدخل في الغشاء الهيولي للخلية، وتكوّن أجساماً قاعدية أو ريبوزومات متحركة كما في الأبواغ السابحة.

تسلك الصبغيات أثناء الانقسام العادي في معظم الفطريات سلوكاً يختلف عن الانقسام العادي في النباتات الراقية بما يلي :

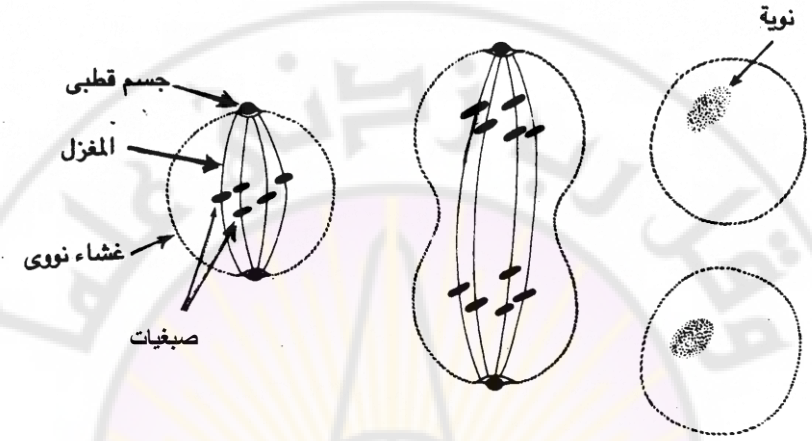
1– هناك اختلاف من حيث اللون بين صبغيات الخلايا الفطرية و صبغيات خلايا النباتات الراقية، مما يؤكد وجود اختلاف في التركيب.

2 – غياب المغزل في معظم الفطريات.

3– في قليل من الفطريات، تتوضع الصبغيات في مرحلة الميتافاز Metaphase على شكل صفيحة متوسطة أو استوائية كما هي الحال في الكائنات الأخرى. بينما في معظم الفطريات تتوزع الصبغيات عشوائياً أثناء مرحلة الميتافاز بدون تكوين صفيحة استوائية. (الشكل 2 – 26).

4 – يحدث في معظم الفطريات ما يدعى بالانقسام العادي الداخلي، إذ تجري جميع مراحل الانقسام داخل الغشاء النووي، الذي لا يختفي عادة، وإنما ينضغط وينحسر في الوسط، وأخيراً ينفصل ليعطي نواتين بنتين (الشكل 2 – 26). وكذلك فإن النوية لا تزول عادة أثناء الانقسام العادي، وقد تأخذ مكانها بالخارج وتنقسم بين النواتين البنتين. وفي

بعض الفطريات، فإن النوية تلقى خارج النواة، وتتناثر وتختفي من النواة، أو تتناثر داخل النواة، ولكن يمكن مشاهدتها أثناء الانقسام العادي.



الشكل 2 – 26: بعض مراحل الانقسام العادي في الفطريات. ويلاحظ عدم زوال الغشاء النووي، وإنما ينحسر في الوسط، وينفصل ليعطي نواتين بنتين (عن عمار، 2002).

2 – الانقسام المنصف أو الاختزالي Meiosis

تمتاز الفطريات التي لها تكاثر جنسي أو قرب جنسي بوجود الانقسام الاختزالي خلال دورة حياتها، كمرحلة أخيرة من مراحل التكاثر الجنسي. وفي هذه الحالة، لا يحدث تضاعف للصبغيات، ومن ثم إعادة توزيع، وإنما تهاجر الصبغيات مباشرة إلى الأقطاب، مما يؤدي إلى اختزال عددها إلى النصف في النوى الجديدة، ونتيجة لهذا الإرجاع تصبح نوى البنات أحادية المجموعة الصبغية (1n). ويحدث الانقسام الاختزالي عادة عند الفطريات بعد الاندماج النووي وتشكل البيضة الملقحة Zygote (2n).

والانقسام الاختزالي في الفطريات أكثر قرباً في طبيعته لما يحدث في الكائنات الأخرى عنه في الانقسام العادي، إذ تتلاشى النوية والغشاء النووي عادة قرب نهاية الطور التمهيدي Prophase. وكما هي الحال في الانقسام العادي، لا تتوزع الصبغيات

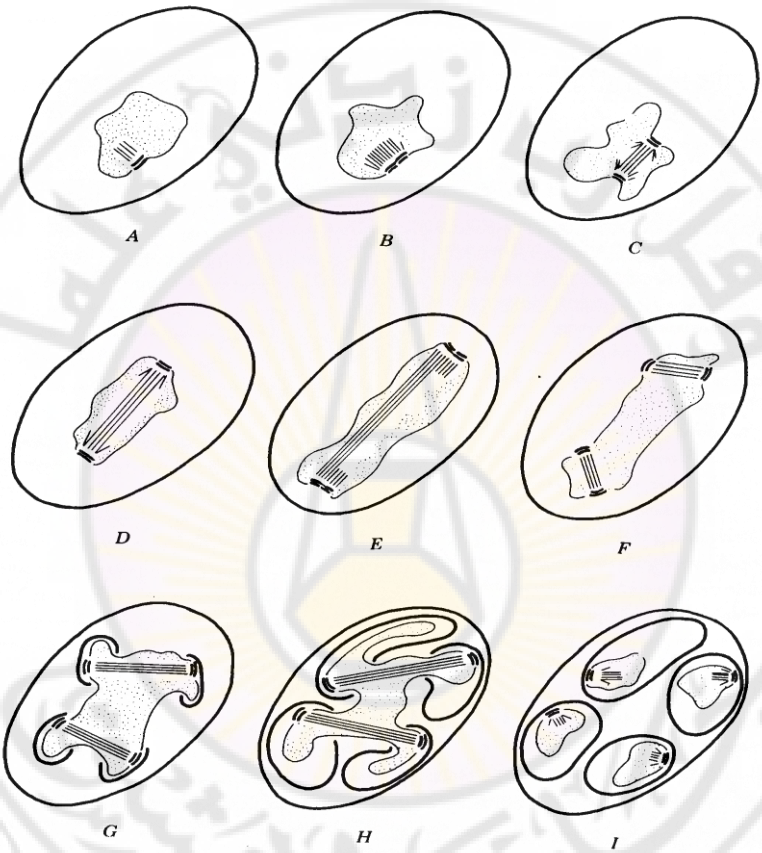
بشكل منتظم على المغزل في مرحلة الميتافاز Metaphase، ولكن في حالات نادرة يمكن أن تتوضع في صفيحة استوائية. ونظراً لكون النوى في الفطريات صغيرة جداً، فإنه من الصعب تتبع جميع مراحل الانقسام الاختزالي، وقد أدى ذلك إلى بعض الالتباس في فهم دورات الحياة للفطريات الحقيقية إذا لم يحدد وقت الانقسام الاختزالي بدقة باستخدام تقانات البيولوجية الجزيئية الحديثة.

لقد درس الانقسام المنصف بشكل جيد في النوع الفطري *Neurospora crassa* من الفطريات الزقية. إذ يحدث الاندماج النووي في هذا الفطر، وتتكون نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية (2n)، وتبقى الصبغيات في مجموعتين منفصلتين حتى بعد اندماج النوى في نواة واحدة. وتبلغ النواة الجديدة أكبر حجم لها في مرحلة البروفاز الميوزي، ثم يتحلل الغشاء النووي، وتختفي النويات في نهاية هذه المرحلة، وقد يتأخر تحلل النوية.

تتجمع الصبغيات في نهاية مرحلة البروفاز حول نقطة واضحة في الغلاف النووي، وتدعى بالجسم المركزي Central body، ثم تنفرد الصبغيات في نهاية هذه المرحلة، وتصبح قصيرة جداً بحيث تستعد للدخول في المرحلة التالية (Metaphase). تزداد الصبغيات في مرحلة الميتافاز قصراً بحيث يصبح طولها 1.7 ميكروناً تقريباً، كما أنها لا تتوضع بشكل واضح على الصفيحة الاستوائية، وإنما تتوضع دون ترتيب في الجزء المركزي من الصفيحة الميتافازية، ويحدث العبور بين الصبغيات وتبادل المادة الوراثية التي تظهر في النوى الجديدة.

يتحلل الغشاء النووي في هذه المرحلة، أو في نهاية مرحلة البروفاز، وكذلك تختفي النوية التي تضاعف حجمها في النواة أو في الهيولى بعد انفصالها عن النواة. تحدث هجرة الصبغيات في مرحلة الأنافاز إلى الأقطاب بمساعدة المغزل. وتبدأ الصبغيات بالازدياد طولاً حتى تصل إلى 22.4 ميكروناً. بعد ذلك، تدخل النواة مرحلة التيلوفاز Telophase، ثم تظهر النويات في مرحلة الإنترفاز، ثم تختفي مع الانقسام الجديد، ويحدث تشكل الأغشية النووية خلال مرحلة التيلوفاز.

ويمثل الشكل (2– 27) مراحل الانقسام الاختزالي وتشكل الأبواغ عند الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* .



الشكل 2 – 27: رسم تخطيطي يبين سلوك النواة أثناء الانقسام الاختزالي Meiosis وتشكل الأبواغ عند الخميرة *Saccharomyces cerevisiae*. (A) الطور I: وجود عدد قليل من الأنابيب الدقيقة المرتبطة بصفيحة المغزل. (B) الطور II: تضاعف صفيحة المغزل. (C) نهاية الطور II: هجرة صفائح المغزل وتوضعها بشكل متقابل. (D) الطور III: انفصال صفائح المغزل أثناء الانقسام الميتوزي الأول، إذ يلاحظ استطالة النواة. (E) بداية الطور IV: تضاعف صفائح المغزل في نهاية الانقسام الميتوزي الأول. (F) الطور IV: هجرة صفائح المغزل وتوضعها الواحدة مقابل الأخرى. (G) الطور IV: الانقسام الميتوزي الثاني مع ملاحظة بدء تشكل الجدر الخلوية للأبواغ . (H) الطور V: الانقسام الثاني واكتمال تشكل جدر الأبواغ تقريباً. (I) الطور V: يلاحظ تشكل أربعة أبواغ داخل الزق Ascus . (عن Alexopoulos & Mims, 1979) .

الفصل الثالث

التكـاثر عنـد الفطريات

Reproduction of fungi

إن معظم الفطريات قادرة على التكاثر الجنسي Sexual reproduction والتكاثر اللاجنسي Asexual reproduction، باستثناء الفطريات الناقصة Deuteromycetes التي لا يعرف لأغلبها طور تكاثر جنسي حتى الآن. وتؤدي كلتا الطريقتين من التكاثر إلى تشكيل أبواغ اعتباراً من أنماط مختلفة من الخلايا المولدة لها Sporogenous cells، والتي يُحمل بعض أنواعها مثل الأبواغ الكونيدية Conidia على حوامل بوغية Sporophores بسيطة أو مركبة. ومع ذلك يمكن لخلايا الخيوط الفطرية أن تتحول أحياناً مباشرة إلى أبواغ مثل الأبواغ الكلاميدية Chlamydospores أو الأوئيدية Oidia أو المفصلية Arthrospores كطريقة من طرائق التكاثر اللاجنسي، أو أن تجتمع الخيوط الفطرية في تشكيلات خاصة لها وظيفة الانتشار والحفاظ على النوع مثل الأجسام الحجرية Sclerotia. والنمط الثالث من التكاثر يعرف بالتكاثر قرب الجنسي أو الجانبي Parasexual reproduction.

والخصائص الوراثية هي التي تحدد أو تتحكم بظهور الصفات الخاصة عند الأفراد، والتي تُحكمها المورثات Genes في مواقع Loci (مفردها Locus) على الصبغيات Chromosomes في نوى الخلايا. فطريقة التكاثر ترتبط إذاً بشكل أساسي بنمط السلوك النووي.

أولاً - التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

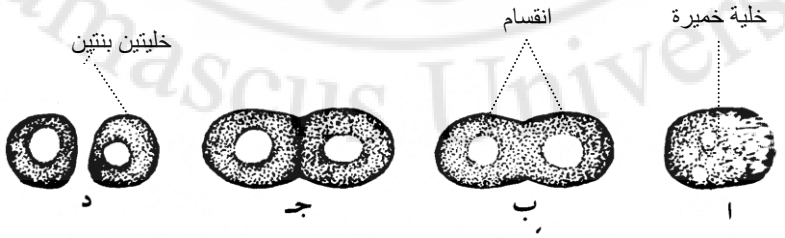
تسمى بعض أنماط التكاثر اللاجنسي أحياناً بالتكاثر الجسماني Somatic، أو

الإعاشي أو الخضري Vegetative. وتتكاثر الفطريات لا جنسياً بواسطة خلايا مختلفة الأشكال والأحجام، وتعطي أفراداً جديدة دون حدوث اتحاد بين نوى أو خلايا أو أعضاء ذكرية وأخرى أنثوية. ويعد التكاثر اللاجنسي أكثر أهمية من التكاثر الجنسي، وخاصة أن الدورة اللاجنسية تتكرر غالباً أكثر من مرة خلال موسم نمو الفطر بينما يظهر الطور الجنسي في كثير من الفطريات مرة واحدة فقط في نهاية دورة الحياة.

إن انقسام الخلايا عند حدوث التكاثر اللاجنسي يترافق بانقسام عادي Mitosis للنوى لتعطي كل منها نواتين بنتين، وهذه النوى البنات تمتلك صبغيات متماثلة ناتجة عن الانشطار النصفي الطولي لصبغيات النواة الأم، وبالتالي فالخلايا البنات تمتلك نفس التركيب الوراثي للخلية الأم. ومن طرائق التكاثر اللاجنسي الأكثر شيوعاً نذكر:

1 – انشطار المشائج وحيدة الخلية Fission of unicellular thalli

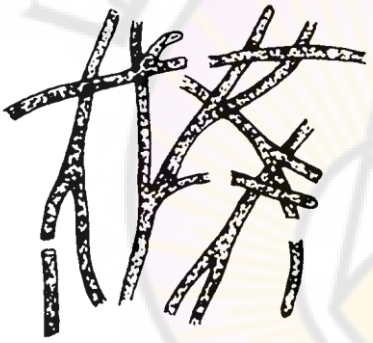
يسمى أحياناً بالانشطار المستعرض Transversal fission. ويحدث هذا النوع من التكاثر غالباً عند الفطريات وحيدة الخلية مثل الخمائر Yeasts، وهو يشبه ما يحدث في الخلايا الجرثومية، إذ تنقسم نواة الخلية الإعاشية انقساماً عادياً (غير مباشر) إلى نواتين، ثم تنقسم محتويات الخلية التي تأخذ في الاستطالة و يتخصّر وسطها حتى تنفصل إلى خليتين متساويتين تقريباً، تحتوي كل منهما على نواة واحدة، ثم تستديران لتشكلان خليتين متشابهتين بالحجم والشكل والمحتوى لتعطيا بذلك مشيجتين جديدتين منفصلتين (الشكل 3 – 1).



الشكل 3 – 1: الأطوار المختلفة لعملية التكاثر بالانشطار عند الخميرة *Schizosaccharomyces* (عن الرحمة 1993)

2 – تجزئة المشيجة Fragmentation of the mycelium

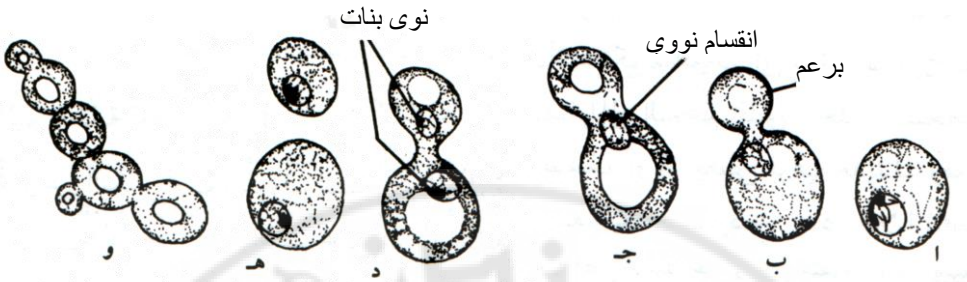
يمكن أن تتجزأ مشيجة الفطريات أحياناً إلى قطع صغيرة وحيدة أو متعددة الخلايا (الشكل 3 - 2)، وهذه القطع تكون قادرة عادة على النمو لتعطي مشائج جديدة إذا توفرت لها الظروف المناسبة. وقد استخدمت هذه الخاصية عند الفطريات بشكل كبير من قبل المختصين، وذلك بعزل الفطريات مخبرياً وتنقيتها بنقل أجزاء من مشائجها على أوساط مغذية جديدة. وتجدر الإشارة إلى أن تجزئة المشيجة يمكن أن تحدث في الظروف الطبيعية نتيجة اضطرابات في المحتوى المائي مثلاً، ويمكن أن تكون المشيجة في التربة عرضة لظروف غير مناسبة تؤدي إلى موت معظم الخيوط الفطرية، ولكن يمكن لأجزاء أو قطع صغيرة أن تبقى على قيد الحياة داخل أجزاء من المادة العضوية مثلاً، وهذه هامة جداً إذ تستطيع هذه الأجزاء من المشيجة أن تجدد مشائجها في التربة أو تشكل لقاحاً أولياً لمهاجمة أجزاء حية من النباتات مسببة لها أمراضاً مختلفة.



الشكل 3 - 2 : تجزئة المشيجة

3 – التبرعم Budding

يحدث التبرعم بظهور بروز خارجي من الخلية الأم يسمى البرعم Bud، وفي نفس الوقت تنقسم نواة الخلية الأم، و تهاجر إحدى النواتين البنتين إلى البرعم الذي يزداد بالحجم وهو مازال متصلاً بالخليـة الأم، ثم ينفصل عنها مكوناً فرداً جديداً (الشكل 3 – 3). وقد تتشكل أحياناً سلسلة من البراعم سبحية الشكل لتكوّن مشيجة كاذبة Pseudomycelium. وتمتاز غالبية الخمائر بالتكاثر بهذه الطريقة .



الشكل 3 – 3: (أ – هـ) المراحل المختلفة لظاهرة التبرعم Buddind عند الخمائر . (و) سلسلة من الخلايا الخضرية الناتجة عن التبرعم (Pseudomycelium).

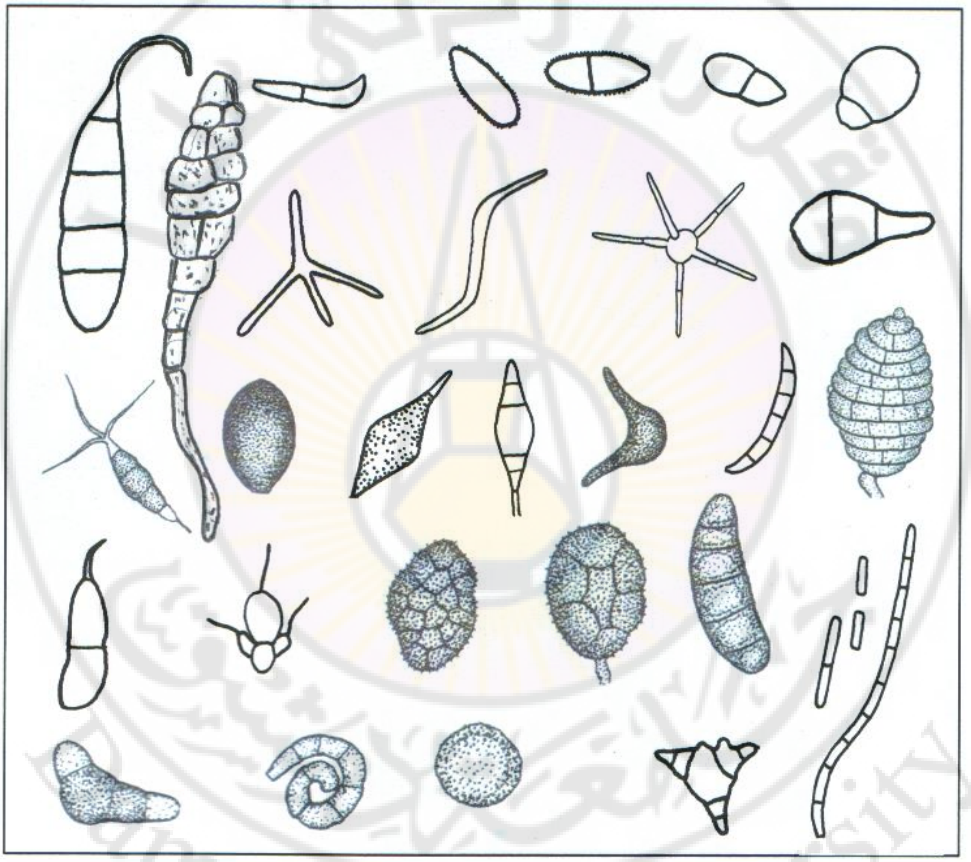
وهناك تراكيب أخرى تشكّلها الفطريات وتعتبر طريقة من طرق التكاثر اللاجنسي، وتستخدمها الفطريات أيضاً كوسيلة للحفاظ على النوع في الظروف البيئية غير المناسبة، ومن أمثلتها الأجسام الحجرية Sclerotia والأبواغ الكلاميدية Chlamydospores (أنظر التركيبات الجسمانية المتخصصة في فصل مورفولوجيا المشيجة الفطرية).

4 – الأبواغ Spores

تنتهي عملية التكاثر اللاجنسي عند الفطريات بإنتاج الأبواغ التي تنبت في الشروط المناسبة لتعيد دورة حياة الفطر من جديد. فالبوغ عبارة عن خلية تكاثرية يستطيع الفطر من خلالها القيام بثلاث وظائف أساسية:

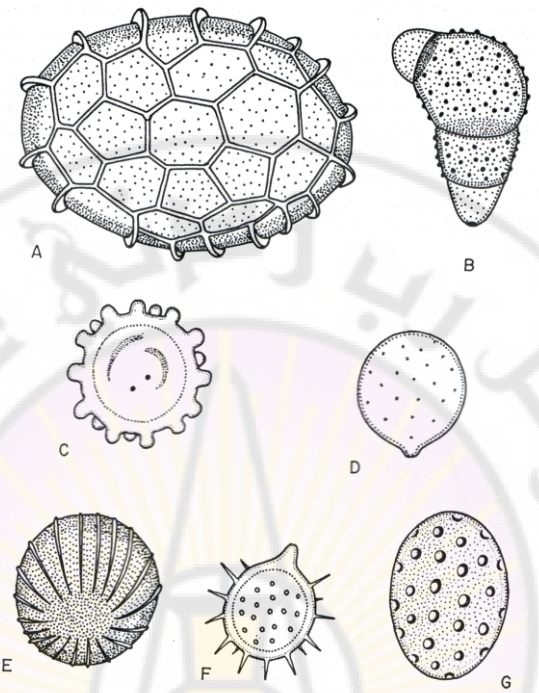
- المحافظة على المجتمع الفطري على أرضه .
- غزو مناطق جديدة، وتعتبر الأنواع الأوسع انتشاراً أكثر قدماً من الأنواع المحلية عموماً.
- تحقيق التباين الوراثي عن طريق اندماج النوى الذي يحدث كمرحلة من مراحل التكاثر الجنسي .

تختلف الأبواغ في الأشكال والأحجام والألوان. حيث إنها تأخذ ألواناً فاتحة وغالباً شفافة أو مخضرة أو مسمرة قليلاً، وأحياناً تكون قاتمة بدرجات مختلفة خاصة الأبواغ الساكنة (الشكل 3 – 4).



الشكل 3 – 4 : نماذج مختلفة من الأبواغ اللاجنسية عند الفطريات

وتتراوح أقطار الأبواغ بشكل عام من 5 – 10 ميكروناً، ومن بين الاستثناءات أبواغ الفطر *Cordyceps militaris* التي تصل إلى 500 x 2 ميكروناً. وقد تكون سطوحها الخارجية ملساء، أو ذات تزيينات أو تضاريس (الشكل 3 - 5).



الشكل 3 – 5: التزيينات أو التضاريس على سطوح الأبواغ: (A) شبكي (فطر: *Tuber clarei*)، (B) ذو ثآليل (*Curvularia verruculosa*)، (C) ذو ثآليل (*Entorrhiza calospora*)، (D) مرقّط (*Peniophora sphaerospora*)، (E) مثلّم أو مقلّم (*Uromycladium tepperianum*)، (F) شائك (*Botryohypochnus isabellinus*)، (G) مُنخّرب (*Gelasinospora* sp.).

قد تكون الأبواغ وحيدة أو ثنائية أو متعددة الخلايا، و البوغ ثنائي الخلايا مؤلف من بوغين وحيدي الخلية، و بوغ ثلاثي الخلايا يساوي ثلاثة أبواغ وحيدة الخلية، وكل خلية من خلايا البوغ تستطيع القيام بعمل البوغ وحيد الخلية، وما درسناه سابقاً عن بنية الخلية الفطرية ينطبق على البوغ وذلك بوجود جدارين داخلي وخارجي ونواة وهيولى.

يتكون جدار البوغ من مادة الكالوز كما في فطريات الميكورالس Mucorales، أو من مادة قريبة من السيللوز كما في فطريات البياض الزغبي Peronosporales، وقد يتركب غلاف البوغ من سكريات متعددة يدخل في تركيبها الكيتين أو المواد الشحمية أو

الشمعية، ولهذا السبب فإن مثل هذه الأبواغ لا تقبل التبلل بالماء مثل أبواغ الفطر *Penicillium* sp.، ويقاوم غلاف الأبواغ الأحماض القوية مثل حمض الكبريت. والأبواغ مزودة بثقوب تدعى بثقوب الإنبات يختلف عددها من فطر إلى آخر.

وتقسم الأبواغ حسب الكيفية التي تحمل بها وطرائق نشوئها إلى مجموعتين:

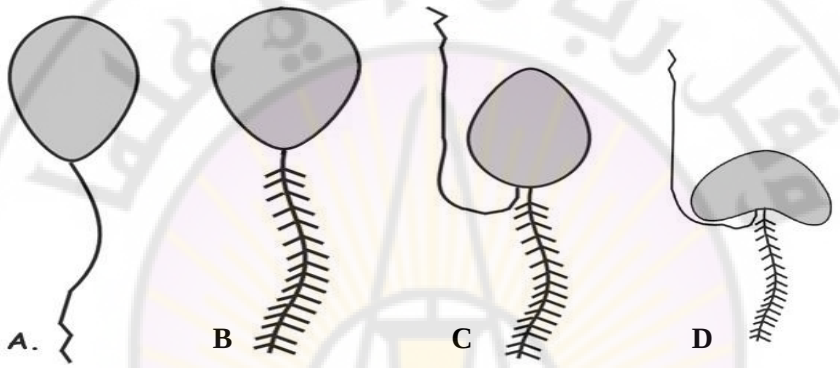
أ– الأبواغ داخلية التشكل Endogenous spores (Endospores):

تطلق هذه التسمية على الأبواغ التي تتشكل داخل أكياس بوغية خاصة عند الفطريات غير الراقية، ومن أشكالها:

1 – الأبواغ السابحة أو المهدّبة Zoospores: تتكوّن هذه الأبواغ داخل كيس يطلق عليه كيس الأبواغ السابحة (Zoosporangium)، وتتشكل في دورة حياة كثير من الفطريات المائية أو التي تعيش في وسط رطب. و البوغ السابح عبارة عن كتلة بروتوبلاسمية مزودة بسياط Flagelles. ويمكن أن نميز ثلاثة أشكال من الأبواغ السابحة، وذلك حسب عدد السياط ومكان توضعها:

- أبواغ سابحة وحيدة السوط أملس وخلفي، حيث يتم اندفاع البوغ نحو الأمام بالحركة المفاجئة للسوط، وتميز هذه الأبواغ صف الفطريات الكيتريدية Chytridiomycetes.
- أبواغ سابحة وحيدة السوط أمامي وريشي، وتمتاز بها الفطريات الكيتريدية الخيطية Hyphochytridiomycetes.
- الأبواغ السابحة ثنائية السياط، وتمتاز بها الفطريات البيضية Oomycetes، ويكون إحداهما أملس والآخر ريشي. وهنا يلاحظ وجود اختلاف في توضع السياط. ففي رتبة Saprolegniales يلاحظ وجود نوعين من الأبواغ السابحة: الأبواغ السابحة الأولية Primary zoospores ثنائية السياط الأمامية، التي تتحرر من الأكياس البوغية، ثم تتحوصل وتنبت لتعطي أبواغاً سابحة ثانوية

Secondary zoospores كلوية الشكل وذات سوطين جانبيين. أما في رتبة البيرونوسبورالس Peronosporales، لا تتشكل إلا الأبواغ السابحة الكلوية وذات السياط الجانبية (الشكل 3 - 6). وللفطريات المخاطية Myxomycetes أبواغ شفعية الأهداب، ولكل بوغ سوط قصير وآخر طويل.



الشكل 3 - 6: نماذج مختلفة من الأبواغ السابحة أو المهدّبة. (A) بوغ سابح وحيد السوط الأملس والخلفي عند الفطريات الكيتريدية Chytridiomycetes، (B) بوغ وحيد السوط الأمامي والمهدّب عند الكيتريديات الخيطية Hyphochytridiomycetes، (C) بوغ ثنائي السياط الأمامية تميز الرتبة Saprolegniales، (D) بوغ كلوي الشكل وثنائي السياط الجانبية تشكله الفطريات البيضية Oomycetes .

2 – الأبواغ السبورانجية Sporangiospores: تتكون هذه الأبواغ اللاجنسية داخل أكياس بوغية Sporangia كروية أو أسطوانية الشكل، وتدعى أيضاً بالأكياس البوغية المجزأة Merosporangia، وهي أبواغ غير مهدّبة وغير متحركة Aplanospores، وحيدة الخلية، وغالباً ما يكون جدارها أملسًا، وهي كروية أو بيضوية الشكل، وتتحرر من الكيس عند تمزقه أو تحلله، وتعتمد في انتشارها بشكل أساسي على التيارات الهوائية، ويُحمل الكيس البوغي على حامل كيس بوغي متخصص (Sporangiophore). وتكوّن الفطريات الزيجية Zygomycetes (وبخاصة أنواع الميكورالس Mucorales) مثل هذه الأبواغ.

ب – الأبواغ خارجية التشكل Exogenous spores (Exospores)

يطلق عليها الأبواغ الكونيدية conidia ومفردها Conidium، تنشأ على حوامل كونيدية Conidiophores، وتكون إما مفردة أو في سلاسل أو في مجاميع، وتختلف في شكلها وعدد خلاياها ولونها وحجمها.

تأخذ الأبواغ الخارجية أسماء متباينة عند فطريات الصدأ، كالأبواغ التيليتية Teleutospores، واليوريدية Uredospores، والأسيدية Aecidiospores. يبدأ تشكلها من خلية وحيدة عديدة النوى بيضوية أو كروية تتكوّن فوقها أو تحتها الأبواغ الأخرى، وتبقى على حالها دون انقسام كما هي الحال عند الفطر *Aspergillus* sp. و *Botrytis* sp.، وقد تستطيل لتأخذ شكلاً أسطوانياً أو متطاولاً أو مستقيماً أو معوجّ النهايتين وتنقسم بحواجز عرضية إلى عدة خلايا كما في أنواع الأجناس: *Septoria*, *Fusarium*، *Cercospora*، أو تنقسم بحواجز عرضية وطولية كما هي الحال عند أنواع الأجناس *Alternaria* و *Stemphylium*، أو تكون بشكل حلزون مخروطي في الفطر *Helicoon* sp. والحامل البوغي خلية متطاولة كثيراً أو قليلاً، غير متفرعة كما هي حال الفطر *Aspergillus* sp.، أو منتفخة عند الفطر *Oedocephalium* sp.، وغالباً ما تكون متفرعة حسب الأنواع الفطرية، وتنتهي فريعاتها برؤيسات تحمل الأبواغ عليها.

تشكل الأبواغ الكونيدية

هناك اختلاف كبير في التطور النشوئي للأبواغ الكونيدية، وتدعى الخلايا التي تعطي الأبواغ الكونيدية بالخلايا المولدة للأبواغ الكونيدية Conidiogenous cells. ويمكننا هنا التمييز بشكل أساسي بين نوعين رئيسين من التطور النشوئي للأبواغ الكونيدية:

1- التطور المشيجي Thallic: ويقصد به نشوء الأبواغ دون حدوث تضخم في الأصالة البوغية الكونيدية، أي أن الأبواغ الكونيدية تتشكل مباشرة من قطعة موجودة مسبقاً على مشيجة الفطر من دون تضخم، وتعتبر الأبواغ المفصلية Arthrospores (= Arthric Conidia) حالة خاصة من الأبواغ الكونيدية ذات التطور المشيجي، إذ تتشكل الأبواغ من انفصال الخلايا على طول الخيط الفطري (الشكل 3 – 7).

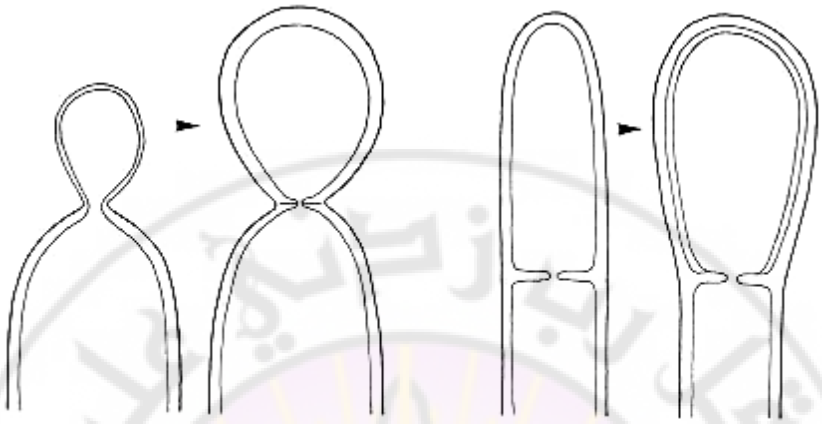
الشكل 3 – 7: التطور المشيجي Thallic: لا يوجد أي تضخم في الأصالة البوغية.

2– التطور التفجري Blastic: تنشأ معظم الأبواغ الكونيدية بطريقة التطور التفجري، إذ يلاحظ تضخم في الأصالة البوغية قبل انفصالها بحاجز عرضي، وعادة ما تنشأ الأبواغ الكونيدية من نقطة ضيقة منبثقة من الخلية المولدة لها (الشكل 3 – 8 A)، وقد يتكون البوغ الكونيدي على منطقة عريضة، تكون عادة بعرض الخلية المولدة للبوغ، إذ تنتفخ الأصالة البوغية قبل تشكل الحاجز العرضي الذي يفصلها عن الخلية المولدة، وتدعى هذه الحالة بالتطور التفجري المشيجي Thalloblastic (الشكل 3 – 8 B).

وهناك نموذجان أساسيان للتطور التفجري:

أ – التطور التفجري الكامل Holoblastic

تشارك كلتا طبقتي الجدار الخارجية والداخلية للخلية المولدة للبوغ في تشكيل الأبواغ الكونيدية (الشكل 3 – 9 A)، ومن أمثلتها *Cladosporium herbarum*.

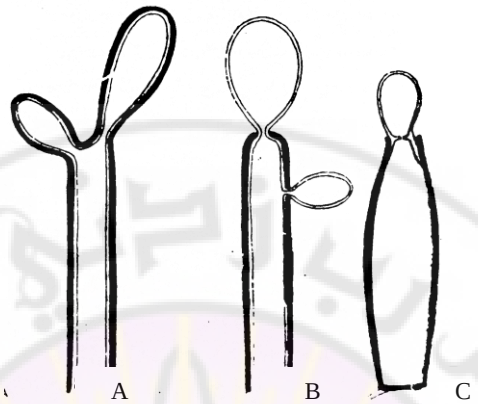


A: Blastic conidiogenesis B: Thallic conidiogenesis

الشكل 3 – 8: التطور التفجري Blastic. (A) نشوء البوغ الكونيدي من نقطة ضيقة من الخلية المولدة لـه، (B) نشوء البوغ الكونيدي على منطقة عريضة (التطور التفجري المشيجي Thalloblastic).

ب – التطور التفجري الداخلي Enteroblastic

يشارك الجدار الداخلي فقط في تكوين البوغ الكونيدي، ويدعى التطور ثلاثياً Tretic عندما تنبثق الطبقة الداخلية من الجدار عبر ثقب أو قناة ضيقة في الطبقة الخارجية منـــه، ومثالها الأبواغ الكونيدية عنـــد الفطـــر *Helminthosporium velutinum* (الشكل 3 – B 9). وهناك حالة خاصة من التطور التفجري الداخلي تدعى بالتطور القاروري الشكل أو الفياليدي Phialidic، وتدعى الخلية المولدة للبوغ الكونيدي بالفيالايد Phialide. وأثناء تكوّن البوغ الأول تنفصل قمة الفيالايد، أما الأبواغ الكونيدية التالية فتتشكل عن طريق تمدد كتلة سيتوبلاسمية مغلّفة بطبقة غلافية جديدة متميزة عن غلاف الفيالايد، وتتوضع هذه الكتلة في عنق الفيالايد، وتُدفع الكتلة البروتوبلاسمية للبوغ الكونيدي خارجاً عن طريق تكوين شفة نامية من الداخل تمثل مادة غلافية جديدة لا تلبث أن تغلق على المكان لتشكل حاجزاً يعزل البوغ (الشكل 3 – C 9)، وبهذه الطريقة تتشكل سلسلة من الأبواغ يكون فيها البوغ الأقدم في القمة والأحدث في القاعدة.



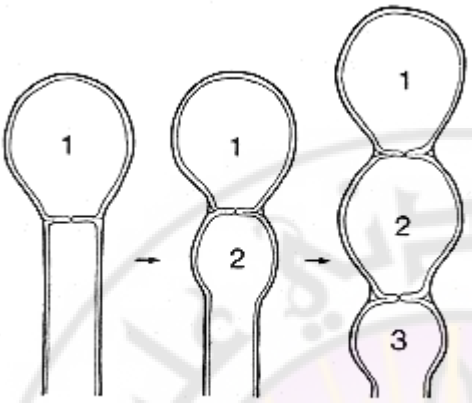
الشكل 3 - 9: نماذج توضيحية مختلفة من طرائق تطور الأبواغ الكونيدية

A – التطور التفجري الكامل Holoblastic: تشارك كل طبقات الخلية المولدة في تشكيل البوغ الكونيدي، B – التطور التفجري الداخلي الثلاثي: تشارك الطبقة الداخلية فقط للخلية المولدة في تشكيل البوغ الكونيدي، وتخرج الطبقة الداخلية عبر قناة ضيقة في الطبقة الخارجية للجدار، C – التطور التفجري الداخلي الفياليدي: الخلية المولدة للبوغ فيالييدية الشكل أو قارورية، ولا يستمر غلاف الفياليد مع الغلاف الذي يحيط بالبوغ.

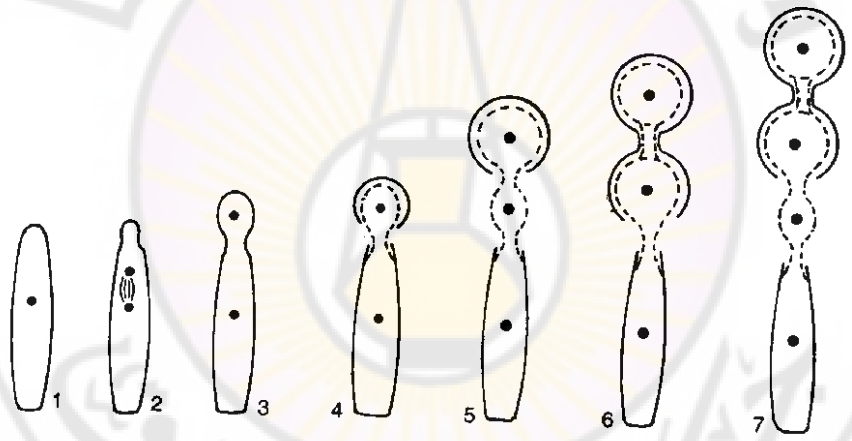
وبشكل عام تتكوّن السلاسل البوغية وفق طريقتين:

الطريقة القاعدية Basipetally: حيث تنقسم الخلية الأولى، ثم تتوالى الانقسامات لتدفع الخلايا الأكبر سناً نحو الأمام. بهذه الطريقة تكون الخلايا أو الأبواغ القديمة في الأعلى (الشكل 3 – 10)، وبذلك تتشكل سلاسل من الأبواغ، وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعاً كما هي الحال عند فطريات البياض الدقيقي Erysiphales.

تتشكل الأبواغ في الجنسين *Penicillium* و *Aspergillus* وفق النمط الفيالييدي إذ إن الأبواغ الكونيدية تتشكل من القاعدة بدءاً من خلية مولدة للأبواغ الكونيدية تدعى الفياليد Phialide (الشكل 3 - 11).



الشكل 3 - 10: مخطط تمثيلي لمراحل تشكل الأبواغ بالطريقة القاعدية، وتشير الأرقام لترتيب تشكل الأبواغ



الشكل 3 - 11: مخطط تمثيلي يبيّن نشوء الأبواغ الكونيدية الفيالييدية Phialospores عند الفطر *Aspergillus niger* (عن Bouchet *et al*., 1999).

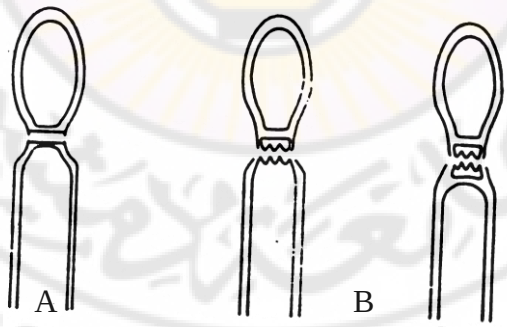
الطريقة الرأسية Acropetally: طريقة نادرة عند الفطريات. إذ تنشأ من الخلية الطرفية زائدة صغيرة لتكوين بوغ كونيدي جديد، ثم ينقسم هذا الأخير بنفس الطريقة لتكوين أبواغ جديدة في سلاسل تكون الأبواغ القاعدية هي الأكبر حجماً وسناً عكس السلاسل البوغية التي تنشأ وفق الطريقة القاعدية. وقد تتكوّن سلاسل جانبية على زوائد إضافية بدلاً من زائدة واحدة كما هي الحال عند أنواع الجنس *Alternaria* .

انفصال الأبواغ الكونيدية Conidium secession

تتحرر الأبواغ الكونيدية عندما تنفصل عن الخلية المولدة لها بجدار خلوي خاص بها، إذ يتم هذا الانفصال بإحدى الطريقتين التاليتين، وذلك حسب نوع الحاجز الذي يفصل البوغ الكونيدي:

1– انفصال بالانشقاق Schizolytic secession: يتم عن طريق انشقاق طبقتي الجدار الخلوي للحاجز الفاصل بين البوغ الكونيدي والخلية المولدة له (الشكل 3 – 12 A)، وهذه الطريقة في تكوين الأبواغ الكونيدية شائعة عند الفطريات الزقية، ومثالها الجنس *Penicillium*.

2– انفصال بالتمزق Rhexolytic secession: ينفصل البوغ الكونيدي عن طريق تمزق الخلية المتكونة أسفله مباشرة (الشكل 3 – 12 B)، والتي عادة ما تكون خلية انفصال Separating cell سريعة التحلل، وهذه الطريقة أقل شيوعاً من الطريقة السابقة.

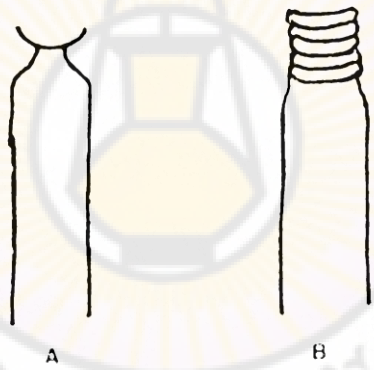


الشكل 3 – 12: مخطط توضيحي يبين طريقتي انفصال الأبواغ الكونيدية عن الخلية المولدة لها. (A) انفصال بالانشقاق . (B) انفصال بالتمزق (عن أحمد، 2001).

وبعد انفصال البوغ الكونيدي عن الخلية المولدة له، يبقى على سطحه ندب على شكل نتوءات صغيرة تشبه شكل الأسنان. وبالمقابل تحمل الخلايا المولدة للأبواغ

الكونيدية أهداباً من بقايا خلية الانفصال، أو من جدار الخلية المولدة للأبواغ الكونيدية نفسها.

ويلاحظ على الخلية المولدة للأبواغ الكونيدية الثقبية Poroconidia، وجود ما يعرف بالياقات الحلقية Collarettes (الشكل 3 – 13 A)، التي تتكون من الطبقة الخارجية للجدار الخلوي للخلية المولدة للأبواغ الكونيدية، وكذلك الحلقات Annellations التي تتكون من تتابع تكوين الياقات (الشكل 3 – 13 B)، وذلك عند تكوين المناطق المولدة للأبواغ الكونيدية المتتابعة بالطريقة التتابعية Progressive Conidiogenous loci.



الشكل 3 – 13: رسم تخطيطي لنوعين من الندب المتشكلة على الخلية المولدة بعد انفصال الأبواغ الكونيدية عنها. (A) تكوين الياقات Collarette من الطبقة الخارجية للجدار الخلوي للخلية المولدة للأبواغ الكونيدية. (B) تكوين الحلقات Annelations من تتابع تكوين الياقات (عن أحمد، 2001)..

تتكوّن الحوامل الكونيدية على المشيجة، أوفي ثمار متمايزة متباينة البنية والتركيب مثل البكنيد Pycnidium، والأسيرفيوله Acervulus، والسبورودوكيوم Sporodochium ، والكوريميا Corimium (أنظر في فصل الفطريات الناقصة).

ثانياً ـ التكاثر الجنسي Sexual reproduction

تتكاثر معظم الفطريات جنسياً باستثناء الفطريات التابعة لمجموعة الفطريات الناقصة Imperfect fungi (Deuteromycetes) التي يكون فيها الطور الجنسي غائباً أو غير معروف. والصفة الأساسية في التكاثر الجنسي هو حدوث اتحاد لزوج من النوى المختلفة وحيدة المجموعة الصبغية Haploid الآتية من خليتين مختلفتين، وتوزّع المورثات Genes في انقسام منصف Meiosis لاحق للنواة ثنائية المجموعة الصبغية Diploid، وبالتالي فالنواتان وحيدتا المجموعة الصبغية الناتجتان عن هذه العملية تكونان مختلفتين في تركيبهما الوراثي عن النواة الأم.

تحمل النواة وحيدة المجموعة الصبغية لكل أفراد النوع الواحد مجموعة متماثلة من الصبغيات المميزة للنوع، ويحمل كل صبغي مجموعة متماثلة من المورثات، ومع ذلك يمكن لنفس المورثة أن توجد بعدة أشكال مختلفة تدعى القرائن Alleles، وكل منها مسؤول عن ظهور صفة معينة محددة بطبيعة المورثة نفسها. فأي شفع من الأفراد المتوافقة جنسياً من نفس النوع يحمل إذاً نفس المورثات ولكن بأشكال جنسية مختلفة على نفس المواقع الصبغية. فالتكاثر الجنسي يبدأ إذاً بالاندماج الهيولي Plasmogamy أو الاندماج الخلوي إذ يحدث اندماج بين هيولى خليتين مما يؤدي إلى تشكيل خلية ثنائية النوى Dikaryon، ثم يحدث الاندماج النووي Karyogamy لتكوين نواة ثنائية المجموعة الصبغية تحتوي على نسختين متممتين من الصبغيات. وعند حدوث الانقسام المنصف، تتوزع الصبغيات على النواتين البنتين بحيث يأتي بعض هذه الصبغيات في كل منهما من أحد الأبوين ويأتي بعضها الآخر من الأب الآخر، وبالتالي فهاتان الخليتان البنتان لا تماثلان وراثياً الآباء وإنما تحملان الصفات العامة المميزة للنوع.

يحدث الاندماج النووي في العديد من الفطريات الدنيا مباشرة بعد الاتحاد الهيولي، ولكن الأكثر شيوعاً عند الفطريات الراقية هو وجود فاصل زمني بين الاتحاد الهيولي والاندماج النووي، وفي هذه الحالة تحتوي الخلية على نواتين، ويمكن لهذه الخلايا ثنائية

النوى أن تنمو وتنقسم وتعطي خلايا بنات تحتوي أيضاً على شفع من النوى نسخة عن الشفع الأصلي، وقد تشكل هذه الخلايا مشائج ثنائية النوى أيضاً كما هي الحال في المشيجة الثانوية Secondary mycelium عند فطريات التفحم.

تدعى أعضاء التكاثر الجنسي عند الفطريات بالأكياس العروسية Gametangia التي تحتوي بداخلها على عدد من الخلايا تدعى بالأعراس Gametes، أو تحتوي بداخلها على عدد من النوى العروسية. ويدعى العضو المؤنث بالمبيض Oogonium، كما يدعى العضو المذكر بالمنطفة أو بكيس النطاف Antheridium. وهناك أنماط مختلفة من التكاثر الجنسي عند الفطريات أهمها:

1– اندماج الأعراس المتحركة Planogametic conjugation

يحدث التكاثر نتيجة اندماج عروسين إحداهما مذكر والآخر مؤنث، وقد يكون إحداهما متحركاً Planogamete أو كلاهما. والفطريات التي تتكاثر بهذا النمط شائعة في الأوساط المائية، أو في التربة الرطبة، وأقل انتشاراً كمتطفلات على النباتات الراقية عندما تتوفر الرطوبة المناسبة للأعراس. ويشمل هذا النمط من التكاثر عدداً من النماذج (الشكل 3 – 14):

أ – التزاوج العروسي المتماثل Isogamy: إذ تكون الأعراس متشابهة من حيث الشكل والحجم والحركة ومختلفة فقط من الناحية الفيزيولوجية فإحداهما سالب والآخر موجب.

ب – التزاوج العروسي المتباين Anisogamy: إذ تكون الأعراس متشابهة بالشكل ولكنها مختلفة بالحجم وبالطبيعة الفيزيولوجية .

ج – التزاوج العروسي غير المتماثل Heterogamy: الأعراس مختلفة بالشكل والحجم والحركة، وهي غير شائعة عند الفطريات، ويّعد الجنس *Monoblepharis* مثالاً نادراً عن اندماج الأكياس العروسية غير المتماثلة Heterogamous planogametic

conjugation إذ نجد أعراساً متحركة ذكرية تدعى Antherozoids موجودة في أكياس عروسية ذكرية (Antheridia)، وأعراساً مؤنثة غير متحركة تدعى الخلية البيضية أو البويضة Oosphere موجودة في أكياس عروسية مؤنثة (Oogonia).

تشكّل البيضة الملقحة Zygote الناتجة عن اندماج الأعراس المتساوية Isogametes أو غير المتساوية Anisogametes كيساً بوغياً ساكناً Resting sporangium، أو خلية ساكنة تتمايز فيما بعد داخلياً لتتحول إلى كيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة Zoospores. أما البيضة الملقحة الناتجة عن اندماج الأعراس المتحركة غير المتماثلة (Heterogametes)، فإنها تشكل بوغاً بيضياً Oospore ساكناً ومقاوماً للظروف غير المناسبة، ويعطي عند الإنبات أنبوبة إنبات تنمو مباشرة إلى مشيجة.

2 – تلامس الأكياس العروسية Gametangial contact

هذا النمط من التكاثر هو أيضاً شكل من أشكال التزاوج غير المتماثل Heterogamy، ولكن لا الأعراس المذكرة ولا المؤنثة تكون متحركة. يحدث تلامس الأكياس العروسية الذكرية والأنثوية، وتنتقل الأعراس المذكرة التي تتمثل هنا بشكل أساسي بالنوى إلى الأكياس العروسية المؤنثة عن طريق ثقب يحدث في الجدار عند نقطة التلامس، وأحياناً عن طريق أنبوب إخصاب قصير (الشكل 3 – 14).

والتزاوج البيضي Oogamy، كما في بعض الفطريات الدنيا، هو شكل خاص من تلامس الأكياس العروسية، وهنا تقوم الأعراس المذكرة (نوى Nuclei) الموجودة في العضو المذكر (Antheridium) بإخصاب واحدة أو أكثر من الخلايا البيضية Oospheres الموجودة في الأعضاء المؤنثة Oogonia. وتتطور البيضة الملقحة الناتجة إلى بوغ بيضي Oospore أو إلى كيس بوغي ساكن Resting sporangium، وذلك حسب نوع الفطر والمحيط الموجود فيه.

ويعد تلامس الأكياس العروسية أيضاً طريقة شائعة عند بعض الفطريات الراقية (الفطريات الزقية Ascomycetes)، ولكن هنا لا يوجد بويضات Oospheres، وإنما تتمثل الأعراس المؤنثة أيضاً بنوى Nuclei تبقى مرتبطة بأشفاع مع النوى المذكرة، وبالتالي تتشكل أنسجة فطرية ثنائية النوى Dikaryon، ثم يحدث الاندماج النووي في الزقاق Asci لتتشكل نواة ثنائية المجموعة الصبغية تنقسم عادة انقساماً منصفاً وانقسامين عاديين لتتشكل عادة ثمانية أبواغ زقية (أنظر فصل الفطريات الزقية).

نظراً لعدم وجود أعراس متحركة، فإن تلامس الأكياس العروسية ممكن عند الفطريات غير المائية، ولكنه على الرغم من ذلك شائع عند الفطريات المائية والفطريات المتطفلة التي تهاجم النباتات الراقية.

3– اندماج الأكياس العروسية Gametangial conjugation

لا يوجد هنا أيضاً أعراس متحركة. وتقوم محتويات الكيسين العروسين بالكامل بوظيفة الأعراس، ويحدث اندماج الكيسين العروسين بإحدى الطريقتين التاليتين: في الفطريات المائية مثل بعض الفطريات الكيتريدية Chytridiomycetes، يلتقي الكيسان العروسان وتندمج محتوياتهما بالكامل في الكيس العروسي المؤنث (الشكل 3 – 14)، مما يؤدي إلى تشكل بيضة ملقحة Zygote على شكل كيس بوغي ساكن Resting sporangium. بينما في الرتبتين Mucorales و Entomophthorales من الفطريات الزيجية Zygomycetes، وهي بشكل أساسي فطريات غير مائية، يلتقي الكيسان العروسان، وتمر محتوياتهما إلى خلية مشتركة تتشكل بينهما وذلك عن طريق انحلال الجدار الفاصل بينهما في منطقة التلامس، وتدعى البيضة الملقحة الناتجة عن هذا النوع من التزاوج بالبوغ الزيجي Zygospore (الشكل 3 – 14)، وهو عبارة عن بوغ ساكن ذو جدار سميك مقاوم للظروف غير المناسبة. ويستطيع البوغ الزيجي الإنبات مباشرة إلى مشيجة، أو بصورة غير مباشرة بإنتاج كيس بوغي Zygosporangium

محمول على حامل بوغي قصير Sporangiophore، ويحرر أبواغاً غير متحركة Aplanospores أو Sporangiospores.

4 – التزاوج بالنطاف Spermatization

يحدث هذا النمط من التكاثر الجنسي عن طريق النطاف Spermatia (مفردها Spermatium)، وهي عبارة عن خلايا مذكرة صغيرة وحيدة النواة وحيدة المجموعة الصبغية، وتنتشر عن طريق الهواء والرياح أو الحشرات لتصل إلى جدار الكيس العروسي المؤنث الذي يمكن أن يكون أحياناً مختزلاً إلى خيوط فطرية مستقبلة Receptive hypha (الشكل 3 – 14). وتتشكل النطاف خارجياً بطرق مختلفة على حوامل خاصة Spermatiophores، وتأخذ مظهر الأبواغ الكونيدية الصغيرة، ولكنها غير قادرة على الإنبات. تنتقل محتويات النطفة (وهي بشكل أساسي مادة نووية) إلى الخيوط الفطرية المستقبلة ليحدث الاتحاد الهيولي وتتشكل خلية ثنائية النوى، ويمكن أن يستمر هذا الطور ثنائي النوى لبعض الوقت، ويمكن أن يمتد أيضاً إلى خلايا أخرى لتتشكل أنسجة فطرية ثنائية النوى، وفي نهاية المطاف يحدث الاندماج النووي لتتشكل نوى ثنائية المجموعة الصبغية في خلايا متخصصة (زقاق أو دعامات). وتختص الفطريات الزقية والدعامية بهذا النوع من التكاثر.

5– التزاوج الإعاشي أو الجسماني Somatogamy

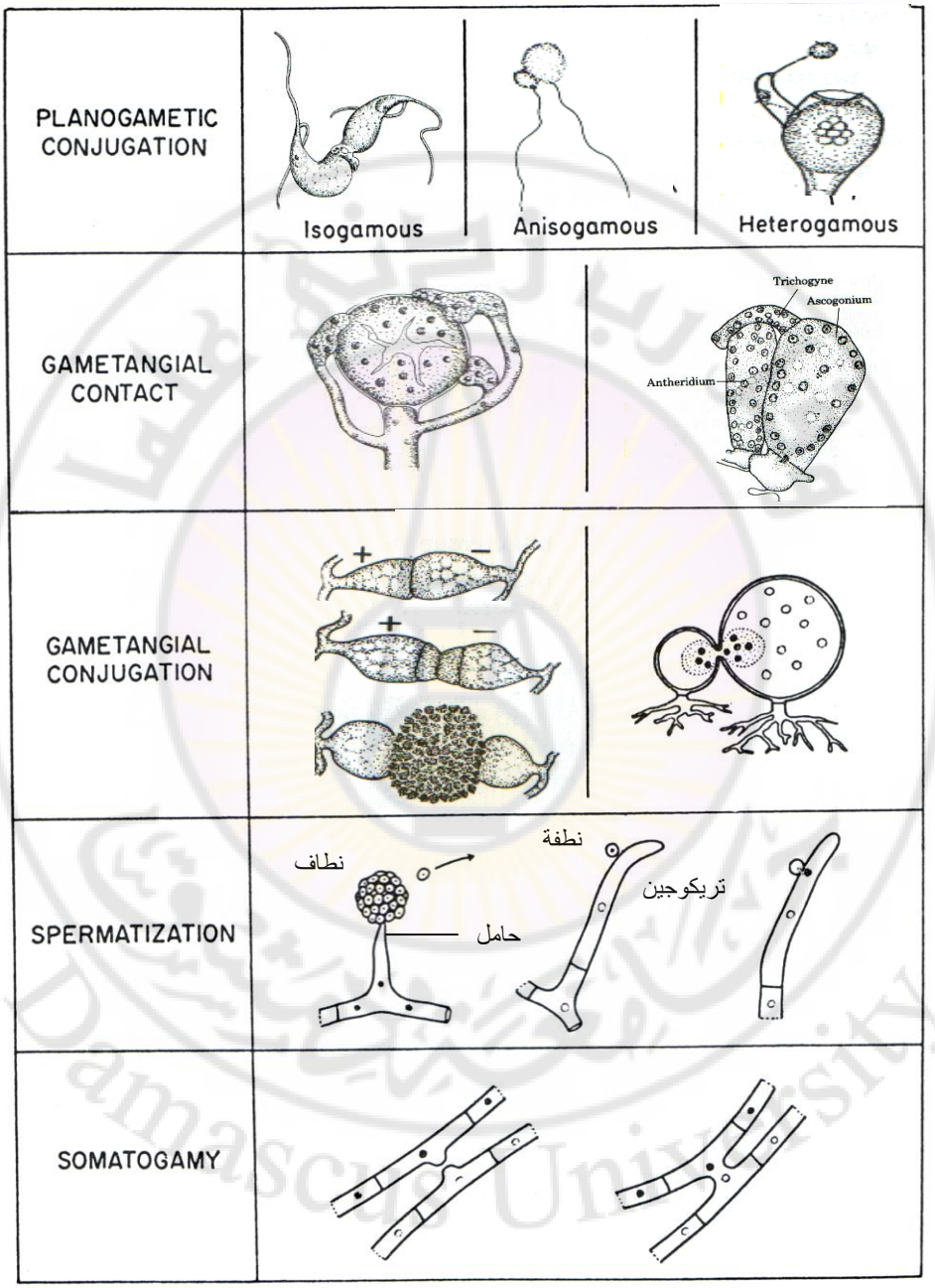
إن اندماج الخلايا الإعاشية ظاهرة شائعة جداً عند الفطريات الراقية لأن أكثرها لا يكون أعضاء شقيّة (جنسية) متمايزة. وتضطلع الخلايا الإعاشية بدور التكاثر الشقي، ولا يحدث الاندماج النووي بعد الاندماج الهيولي مباشرة، فلا بد لفترة ما، قصيرة أم طويلة لحدوثه. وتعاني النوى خلال هذه الفترة من انقسامات عادية، وينتج عن ذلك عدد من

أشفاع النوى مختلفة الإشارة. وهذه الخلايا ثنائية النوى المتشكلة بهذه الطريقة يمكن أن تعطي أنسجة فطرية ثنائية النوى أيضاً، وعند حصول الاندماج النووي تتشكل بيوض حقيقية Zygotes ذات نوى ثنائية الصيغة الصبغية، والتي تعطي بعد انقسامها نوى أبواغ التكاثر الشقي. وهذا النمط من التكاثر الجنسي شائع عند الفطريات الزقية والدعامية، إذ يلاحظ توالي ثلاث مراحل بانتظام هي: مرحلة النوى نصفية الصيغة الصبغية، ومرحلة ثنائية النوى أحادية الصيغة الصبغية، ثم مرحلة النوى ذات العدد الصبغي المضاعف، وأقصرها المرحلة الثالثة، أما المرحلتان الأخريتان فتطول مدتهما أو تقصر تبعاً للمجموعات الفطرية المتباينة. وتنشأ الأبواغ الشقية داخلياً بأعداد نموذجية من 4 - 8 (أبواغ زقية) في خلايا خاصة تدعى الزقاق Ascus، أو تنشأ خارجياً في رباعيات (تسمى الأبواغ الدعامية) على خلية نموذجية تدعى الدعام Basidium. وهذه الطريقة في التكاثر نادرة عند الفطريات الدنيا، وتأخذ الدلالة الجنسية فقط عند وجود نواتين متوافقتين من نمط جنسي مختلف مع بعضهما في خلية واحدة. وقد أشير لحدوث التكاثر الجنسي عن طريق التزاوج أو الاتحاد بين أجزاء خضرية من الخيط الفطري عند الفطر *Rhizopus stolonifer*.

وسوف نعطي وصفاً للأبواغ الجنسية (الزقية Ascospores و الدعامية Basidiospores و البيضية Oospores والزيجية Zygospores) عند الحديث عن المجموعات الفطرية المختلفة كل على حدا.

التوافق الجنسي عند الفطريات Sexual compatibility

غالباً ما تكون الأعضاء الجنسية الذكرية والأنثوية مميزة شكلياً عند الفطريات. ويمكن أن تكون المشائج وحيدة المسكن Monoecious وذلك عندما تُحمل الأعضاء الذكرية والأنثوية معاً على نفس المشيجة، أو ثنائية المسكن Dioecious عندما تتشكل هذه الأعضاء على مشيجتين مختلفتين. وعندما يحدث التكاثر الجنسي بين تركيبات متماثلة (أكياس عروسية متماثلة، أو نوى الخيوط الفطرية الخضرية) وغير متمايزة



الشكل 3 - 14: أنماط التكاثر الجنسي عند الفطريات

شكلاً إلى مذكرة ومؤنثة، تدعى مشائج هذه الفطريات غير محددة الجنس Sexually indeterminate. ولتفادي تحديد جنس مثل هذه المشائج، يشار إليها غالباً بالأنماط التآلفية المتخالفة Opposite mating types أو يرمز لها بإشارة موجب (+) أو سالب (-). ونتيجة الإخصاب الذاتي Self-fertility في المشائج وحيدة المسكن، يكون عدد الاقترانات الجديدة بين المورثات القرينة Alleles محدوداً جداً خلال عملية الاندماج النووي والانقسام المنصف، وبالتالي فإن التباين الوراثي في النسل الجديد سوف يكون أقل مقارنة مع حالة الاتحاد بين نوى آتية من مشائج مختلفة. ويُعدّ التباين الوراثي ميّزة بالنسبة للكائن الحي باعتباره أساس التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي. وبالمقابل، فإن احتمال الإخصاب يكون أكبر في الكائنات وحيدة المسكن، وبالتالي فإن الثبات الوراثي يمكن أن يكون ميّزة للكائن الحي الذي يشغل وسطاً بيئياً معيناً وثابتاً.

استطاعت معظم الفطريات التخلص من مشاكل الإخصاب الذاتي بكونها عقيمة ذاتياً Self-sterile. ويمكن أن تكون الأنواع عقيمة ذاتياً لأن مشائجها ثنائية المسكن، أو لأن الأنماط التآلفية المختلفة تتشكل في مشائج مختلفة. ويمكن أن يحدث العقم الذاتي في المشائج وحيدة أو ثنائية المسكن أو غير محددة الجنس إذ يكون الإخصاب الذاتي فيها محكوماً بواحد أو أكثر من العوامل الوراثية التي تحكم التوافق Compatibility، فالسلالات أو الأنماط المختلفة يمكن أن تكون موجودة ولكنها غير متوافقة، وبالتالي فإن التزاوج الجنسي لن يحدث بنجاح.

ويمكن تقسيم الفطريات على أساس التوافق الجنسي إلى أنواع متخالفة المشائج Heterothallic، وأنواع متجانسة المشائج Homothallic. وتمتاز الأنواع متجانسة المشائج بوجود نمط واحد من المشائج فيما يتعلق بالتوافق الجنسي، وهي ذاتية الإخصاب ومتوافقة ذاتياً Self-compatibility. بينما تمتاز الأنواع متخالفة المشائج بوجود أكثر من طراز من المشائج أو الأنماط التآلفية Mating types، وكل سلالة من نوع متخالف المشائج هي عقيمة ذاتياً، وبحاجة لمشيجة أخرى من نمط مخالف ليتم التكاثر الجنسي.

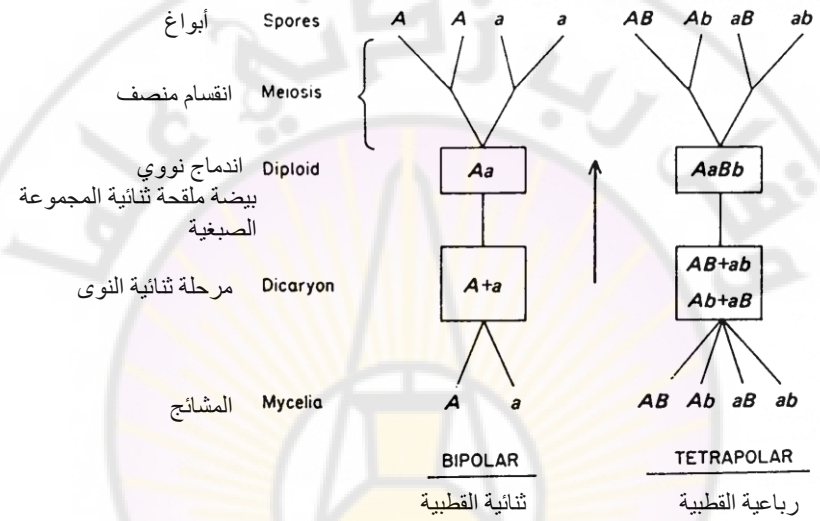
توزّع عوامل التوافق : القطبية

Segregation of compatibility factors: polarity

تدعى الأنواع متخالفة المشائج ثنائية القطبية Bipolar heterothallic عندما يتحكم بالتوافق الجنسي شفع واحد فقط من المورثات القرينة (Alleles) A و a الموجودة على نفس الموقع Locus لشفع من الصبغيات (الشكل 3 – 15). إذ يحمل الصبغي المعني في مشيجة أحد السلالتين المورثة القرينة A، ويحمل الصبغي في المشيجة الأخرى المورثة القرينة a، وبالتالي فالمشائج التي تحمل المورثات المتممة لهذا الشفع من المورثات القرينة تكون متوافقة وقادرة على الإخصاب لتعطي بيضة ملقحة Zygote ذات طابع وراثي Aa، وذلك بعد الاندماج النووي. واحتمال الإخصاب بين المشائج المختلفة في مثل هذه الأنواع هو 50 % إذ إن نصف هذه الاقترانات تنجح في الإخصاب.

بينما تحتوي الأنواع الفطرية متخالفة المشائج رباعية القطبية Tetrapolar heterothallic على موقعين للتوافق الجنسي يحمل كل منهما شفعاً من المورثات القرينة على نفس الشفع من الصبغيات وهي (A و a) أو (B و b). وبالتالي فالنوع متخالف المشائج رباعية القطبية يمكن أن يوجد على شكل أربعة نماذج من المشائج تترتب فيها المورثات على الشكل التالي: AB، Ab، aB، ab. وفقط المشائج القادرة على الإخصاب لتعطي بيضة ملقحة Zygote ذات طابع وراثي (AaBb) تكون متوافقة جنسياً وخصبة فيما بينها. وبالتالي فإن احتمال حدوث الإخصاب بين المشائج المتخالفة في هذه الأنواع هو 25 %، وتنجح ربع الإقترانات فقط في الإخصاب. ويتكون نتيجة الانقسام الاختزالي في هذه البيضة الملقحة رباعية الأقطاب أربع نوى أحادية المجموعة الصبغية ومتساوية (Ab، aB، AB، ab).

يحدث الاندماج النووي بين هذه النوى في الحالات التي تحتوي فيها نوى المشيجة على مورثتين قرينتين قادرتين على تشكيل نواة ذات طابع وراثي AaBb مثلاً بين AB و ab أو بين Ab و aB، أما بين Aa و AB فلا يحدث اندماج نووي.



الشكل 3 – 15: توزّع عوامل التوافق الجنسي والقطبية عند الفطريات

ولذلك نجد عند توزيع رباعية القطبية الجنسية أربع مجموعات من الأبواغ غير متساوية في علاقتها الجنسية إذ ترتبط كل مجموعة مع إحدى المجموعات الثلاث المتبقية. أما في الفطريات الثنائية القطبية يتشكل نموذجان من الأبواغ ذات طابع وراثي A و a بعد حصول الانقسام المنصف في الزيجوت. وتصادف ظاهرة تخالف المشائج ثنائية ورباعية القطبية عموماً عند الفطريات الراقية وخاصة الدعامية.

في الفطريات الراقية هناك تعقيدات إضافية تتدخل في هذا الموضوع سواء في الأنواع متخالفة المشائج ثنائية أو رباعية القطبية بفعل وجود عدد كبير من المورثات القرينة (ليس فقط على شفع أو شفعين من الصبغيات) على موقع أو موقعين للتوافق الجنسي، وهذه الظاهرة مسؤولة عن ما يسمى بتخالف المشائج متعددة المورثات القرينة

Multiple allelomorph heterothallism. وبالتالي يؤدي وجود العديد من المورثات القرينة المشاركة إلى زيادة كبيرة جداً في احتمال الإخصاب بين السلالات أو الطرز المختلفة، ولكنها تؤدي بالمقابل إلى انخفاض احتمال الإخصاب بين الطرز الناتجة من الأبواغ الآتية من نفس المشيجة.

ثالثاً ـ دورة الحياة الجنسية الجانبية (أو قرب الجنسية) Parasexual cycle

يحدث تبادل المعلومات الوراثية عند الفطريات في التكاثر الجنسي أو في التكاثر قرب الجنسي. ففي التكاثر الجنسي يحدث الاندماج الهيولي والاتحاد النووي، والانقسام المنصف بصورة منتظمة، وفي مراحل معينة من دورة الحياة. بينما يعتمد تبادل المعلومات الوراثية في دورة الحياة قرب الجنسية على ظاهرة العبور Crossing-over التي تتم خلال الانقسام العادي عوضاً عن الانقسام المنصف في دورة الحياة الجنسية.

تحدث دورة الحياة قرب الجنسية على الشكل التالي: تصبح المشيجة متعددة النوى المتباينة Heterocaryotic عن طريق التحام الخيوط الفطرية Anastomosis أو عن طريق الطفرات، ثم يتحد جزء من النوى وحيدة المجموعة الصبغية (n) في الخلايا متعددة النوى المتباينة لتتشكل نوى ثنائية المجموعة الصبغية (2n)، التي تنقسم انقساماً عادياً لتزداد في العدد مع ما تبقى من النوى وحيدة المجموعة الصبغية، ويحدث خلال الانقسام العادي لبعض النوى (2n) تبادل في المعلومات الوراثية عن طريق العبور Crossing-over، وتدخل بعض هذه النوى (2n) في الأبواغ التي تنبت لتعطي مشائج متجانسة النوى ثنائية المجموعة الصبغية Homocaryotic diploid mycelia، ويحدث للنوى ثنائية المجموعة الصبغية في هذه المشائج انقسام منصف، والنوى وحيدة المجموعة الصبغية الناتجة عن هذا الانقسام تختلف بتركيبها الوراثي عن النوى المتباينة في المشيجة الأصلية، ويمكن للمراحل المختلفة من دورة الحياة قرب الجنسية أن تحدث بنفس الوقت على نفس المشيجة بدون ترتيب معين أو بمراحل معينة كما في دورة الحياة الجنسية.

من خلال دورة الحياة قرب الجنسية، نجد في المشيجة المتعددة والمتخالفة النوى خمسة أنواع من النوى وهي: النوى أحادية المجموعة الصبغية التي تشبه آباءها (من نموذجين مختلفين)، والنوى أحادية المجموعة الصبغية التي تحتوي على معلومات وراثية جديدة في الصبغيات، والنوى المتماثلة اللواقح الثنائية المجموعة الصبغية، والنوى المختلفة اللواقح ثنائية المجموعة الصبغية.

يمكن أن تحدث دورة الحياة قرب الجنسية لوحدها أو مترافقة مع دورة الحياة الجنسية. وبذلك تبدو دورة الحياة قرب الجنسية كآلية هامة للتباين الوراثي في الفطريات التي فقدت القدرة على التكاثر الجنسي أو التي يندر فيها هذا النوع من التكاثر .

تقسيم الأبواغ حسب نشاطها الحيوي

تقسم الأبواغ حسب نشاطها الحيوي إلى مجموعتين أساسيتين وهما:

أولاً- الأبواغ التكاثرية (أبواغ الانتشار Dispersal spores)

تمتاز هذه الأبواغ بما يلي :

1– تتشكل بكميات كبيرة جداً كما هي الحال في الأبواغ الكونيدية للفطر *Penicillium digitatum* و *Penicillium italicum* التي تنشأ على حوامل خاصة ورفيعة، وتنتشر بسهولة نظراً لصغر حجمها. وعلى سبيل المثال، قد نجد 1 مليون بوغ / 1 سم^2 من نسيج نباتي مصاب بالفطر *Peronospora tabacina* المسبب للبياض الزغبي على التبغ.

2 – القدرة على الإنبات والنمو السريع بعد تشكلها مباشرة وأحياناً قبل تمام نضجها، فالأبواغ الكونيدية للفطر *Neotyphodium uncinatum* مثلاً تبدأ بالإنبات قبل انفصالها عن حواملها البوغية.

3 – تنبت عادة بشكل مباشر لتعطي أنبوبة إنبات تنمو إلى مشيجة، ماعدا بعض الاستثناءات حيث ينمو البوغ إلى كيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة كما في رتبة Peronosporales.

4 – تفقد حيويتها وقدرتها على النمو بسرعة مقارنة مع الأبواغ الساكنة، فمثلاً تفقد الأبواغ السابحة للفطر *Peronospora tabacina* قدرتها على الإنبات بعد عدة ساعات من تشكلها في الجو الحار. وتستطيع بعض هذه الأبواغ الاحتفاظ بحيويتها لمدة أطول قد تصل إلى 6 – 9 أشهر كما في الأبواغ اليوريدية Uredospores والأبواغ الأسيدية Aecidiospores لفطريات الصدأ .

5 – تكون الأبواغ التكاثرية غالباً نصفية الصيغة الصبغية Haploid، وقد تكون ناتجة عن تكاثر لا جنسي أو عن تكاثر جنسي حدث فيه إرجاع النوى مضاعفة الصيغة الصبغية (2n) إلى نوى وحيدة الصيغة الصبغية (n) كما في الأبواغ الزقية Ascospores والأبواغ الدعامية Basidiospores. وهناك حالة واحدة فقط تكون فيها الأبواغ ثنائية النوى (n+n) وهي حالة الأبواغ اليوريدية Uredospores والأبواغ الأسيدية Aecidiospores لفطريات الصدأ.

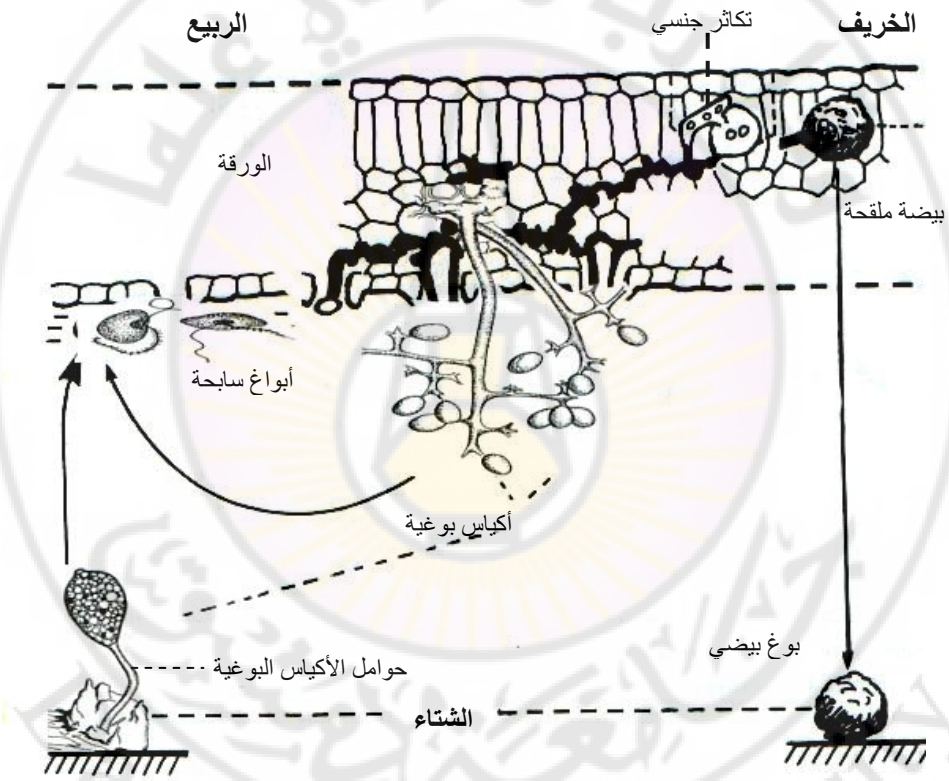
ثانياً - الأبواغ الساكنة Resting spores

تمتاز هذه الأبواغ بصفات معاكسة لصفات الأبواغ التكاثرية :

1 – تتشكل بكميات قليلة، وصعبة الانتشار عادة إذا لم يتوفر لها وسيلة انتشار ملائمة.

2 – غير قادرة على الإنبات مباشرة بعد تشكلها، فهي تحتاج إلى فترة من السكون أو الراحة قبل متابعة نموها. وتحدث خلال فترة السكون كثير من عمليات النضج، وتكون هذه الفترة عموماً في فصل الشتاء في الأقطار المعتدلة المناخ، وفي الشروط الملائمة عندما تتغير درجات الحرارة والرطوبة تنشط الأبواغ الساكنة وتنبت لتعيد دورة حياة الفطر. فعلى سبيل المثال، تتشكل الأبواغ البيضية للفطر *Plasmopara viticola*

المسبب للبياض الزغبي على الكرمة داخل أنسجة الورقة في الصيف، ثم تسكن هذه الأبواغ خلال فصل الشتاء، وفي الربيع (آذار – نيسان) إذا توفرت لها الظروف المناسبة تتحول إلى أكياس بوغية تحرر عدداً من الأبواغ السابحة التي تنتقل إلى النبات لتعيد دورة حياة الفطر (الشكل 3 – 16).



الشكل 3 – 16: دور الأبواغ البيضية Oospores في المحافظة على الفطر *Plasmopara viticola* خلال فصل الشتاء وإحداث العدوى على الكرمة في الربيع .

3– لا يتم بشكل عام إنبات هذه الأبواغ مباشرة إلى مشيجة، وإنما تختلف طريقة الإنبات باختلاف الأبواغ الساكنة، حيث تنبت الأبواغ الزيجية Zygospores لتعطي كيساً بوغياً Sporanguim. وفي فطريات التفحم تعطي الأبواغ التيلية Teliospores (أو

الكلاميدية Chlamydospores) دعامات تحمل أبواغاً دعامية خارجية. وبنفس الطريقة يتم إنبات الأبواغ التيليتية Teleutospores في فطريات الصدأ.

بينما تتحول الأبواغ البيضية Oospores إلى أكياس بوغية تحرر عدداً من الأبواغ السابحة إذا كانت الرطوبة مرتفعة ودرجات الحرارة منخفضة نسبياً، أما إذا كانت الرطوبة منخفضة ومصحوبة بارتفاع في درجات الحرارة فالإنبات يتم بصورة مباشرة إلى مشيجة. ونادراً ما تنمو الأبواغ الساكنة دائماً إلى مشيجة كما هي الحال في البوغ البيضي للفطر *Monoblepharis* sp. .

4 – تحتفظ بقدرتها على النمو لمدة طويلة قد تصل إلى 8 – 9 سنوات كما في الفطريات Tilletiaceae ومنها الفطر *Tilletia caries* و *T. foetidae* المسببان للتفحم المغطى على القمح.

5– هذه الأبواغ ثنائية الصيغة الصبغية Diploid، وقد تكون ناتجة عن تكاثر جنسي عند الفطريات غير الراقية كما في الأبواغ البيضية والزيجية، أو تكاثر لا جنسي عند الفطريات الراقية كما هي الحال عند الفطريات الدعامية.

إنبات الأبواغ Spore germination

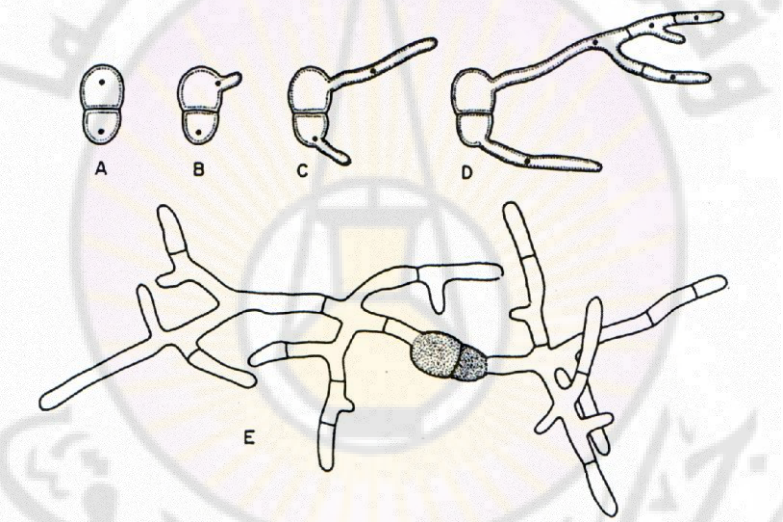
تمر عملية إنبات الأبواغ بثلاث مراحل :

1 – المرحلة التحضيرية: وتبدأ هذه المرحلة بنشاط أنزيمي داخل البوغ وخاصة أنزيمات "الفوسفاتاز، وبولي فوسفات كيناز، وأنزيمات الأكسدة، والكتالاز"، وتزداد كمية الحموض النووية، ولا يبدو في هذه المرحلة أي تغير على الشكل الخارجي للبوغ.

2 - مرحلة الانتباج: تزداد في هذه المرحلة نفاذية الجدر الخلوية للأبواغ، و نتيجة تحلل المواد السكرية تحت تأثير الأنزيمات، يزداد الضغط الحلولي مما يؤدي إلى تسرب الماء

إلى داخل البوغ، كما تختفي القطرات الدهنية الادخارية من الهيولى، ويلاحظ في هذه المرحلة ازدياد في حجم البوغ.

3 – نتيجــة ازدياد حجم البوغ، يتوسع ثقب الإنبات، ويتشكل نتوء يدعى بأنبوب الإنبات الذي يزداد طولاً، ويعتبر البوغ منبتاً عندما يصل أنبوب الإنبات Germ- tube إلى ضعف الطول الأصلي للبوغ، وبعد أن يصل إلى طول معين يبدأ بالتفرع ليعطي مشيجة فطرية جديدة (الشكل 3 – 17).



الشكل 3 -17: مراحل إنبات بوغ ثنائي الخلايا. (A) بوغ Spore. (B ، C) أنابيب إنبات Germ-tubes. (D، E) خيوط فطرية Hyphae (عن TALBOT, 1971).

وهناك عوامل مؤثرة على إنبات الأبواغ :

1 – الرطوبة: يدخل في مفهوم الرطوبة الجوية تكثفها على صورة ضباب أو مطر أو ندى، مما يوفر الظروف المناسبة لإنبات الأبواغ، فبعض الفطريات تحتاج أبواغها إلى وسط سائل، وبعضها يحتاج إلى رطوبة جوية مشبعة، إذ تحتاج أبواغ أكثرية الفطريات وخاصة الأبواغ السابحة إلى تماس مباشر مع الماء السائل لمدة من الزمن قد تكون لعدة

ساعات كي تنبت. إلا أن فطريات البياض الدقيقي تبدي سلوكاً مخالفاً، لأن وجود الماء يمنع أبواغها من الإنبات كما أنها تتحمل رطوبة جوية منخفضة نسبياً لنموها.

2 – درجة الحرارة: تلعب درجة الحرارة دوراً هاماً في حدوث الإنبات، فالأبواغ لا تستطيع الإنبات إذا كانت درجة الحرارة غير مناسبة حتى و لو توفرت الرطوبة المناسبة لذلك. وعلى سبيل المثال، تحتاج أبواغ الفطر *Fusarium* sp. لدرجة حرارة من 20 – 24 م˚ حتى تنبت. وكما ذكرنا سابقاً فإن درجة الحرارة تلعب دوراً في طريقة إنبات أبواغ بعض الفطريات، ففي درجة حرارة 18 – 24 م˚ تنبت الأبواغ الكونيدية للفطر *Phytophthora* sp. إنباتاً مباشراً أي أنها تعطي أنبوبة إنبات ومن ثم مشيجة، أما إذا انخفضت درجة الحرارة عن 18 م˚ (10– 12م˚ مثلاً) مع رطوبة عالية، نلاحظ أن الإنبات لا يحدث بهذا الشكل، وإنما يتحول البوغ إلى كيس بوغي يحرر عدداً من الأبواغ السابحة.

3 – درجة الـ pH: تؤثر درجة الحموضة أيضاً على حدوث الإنبات، وبشكل عام تفضل الفطريات الأوساط الحامضية بعكس الجراثيم.

فترة الراحة أو السكون عند الأبواغ

تتحكم في ظاهرة سكون الأبواغ عوامل داخلية أوفيزيولوجية إضافة للعوامل الخارجية .

يعزى سكون أبواغ الفطر *Neurospora tetrasperma* لاحتواء جدرها السميكة على مركب الميلانين والكيتين، ولأسباب داخلية تتعلق باحتوائها على مواد مثبطة للنمو.

ويمكن اختزال فترة السكون بإزالة القشرة الخارجية للأبواغ، وتنشيطها بالتسخين على درجة حرارة 50 – 60 °م، كما ويمكن معالجتها بمواد كيميائية خاصة تعمل كمنشطات طبيعية للنمو، حيث إنها تقوم بتعطيل عمل المواد المثبطة للنمو داخل الأبواغ، وبنتيجة هذه المعالجة تزداد نفاذية الجدر الخلوية للأيونات والكاتيونات، ويبدأ الإنبات

خلال ساعة من الزمن بعد وضع الأبواغ في الماء. تستهلك الأبواغ المواد الاحتياطية الدهنية أثناء الإنبات، وبالمقابل تزداد فيها كمية البيروفات والإيتانول، والاسيتالدهيد، مع شدة الاستقلاب وعملية تحلل السكريات Glycolysis. كما تزداد المواد الناتجة عن الأكسدة في التمثيل الغذائي كحمض ألفا- كيتوجلوتاريك α-ketoglutaric acid. كما تحتاج الأبواغ في هذه المرحلة إلى إضافة سكاكر سداسية (الغلوكوز) إلى وسط الإنبات. يزداد محتواها من البروتين خلال ساعتين من النشاط.

كما تلعب العوامل الخارجية دوراً هاماً في تحديد فترة الراحة للأبواغ، كالرطوبة والحرارة ودرجة الحموضة، ونسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون CO_2، وبعض المواد السامة الخارجية، وكذلك محتوى الأبواغ من المواد الغذائية الداخلية. كما وتتطلب أبواغ بعض الفطريات مواداً خاصة عند الإنبات إذ تحتاج أبواغ الفطر *Mamnoniellae chinata* إلى البيوتين، وتحتاج أبواغ الجنس *Glomerella* إلى مواد تحتوي على العناصر C, N, S, P.

تحرر أو انطلاق الأبواغ Spore liberation

ويقصد بذلك آلية انفصال الأبواغ عن الأعضاء أو الحوامل البوغية التي نشأت فيها أو عليها. وتقذف معظم الأبواغ في الهواء بهدف إبعادها قدر المستطاع عن مكان تشكلها لتأمين انتشارها، وذلك بمساعدتها على اجتياز الطبقة الهادئة أو الساكنة، التي هي عبارة عن الميليمترات الأولى التي تحيط بسطح ما، لتصل إلى المنطقة المضطربة وتنتشر بوسائل الانتشار المناسبة. ويحتاج هذا الانفصال إلى طاقة ملموسة مهما صغر قدرها، وتبعاً لمصدر هذه الطاقة يمكننا أن نميز نمطين من تحرير الأبواغ :

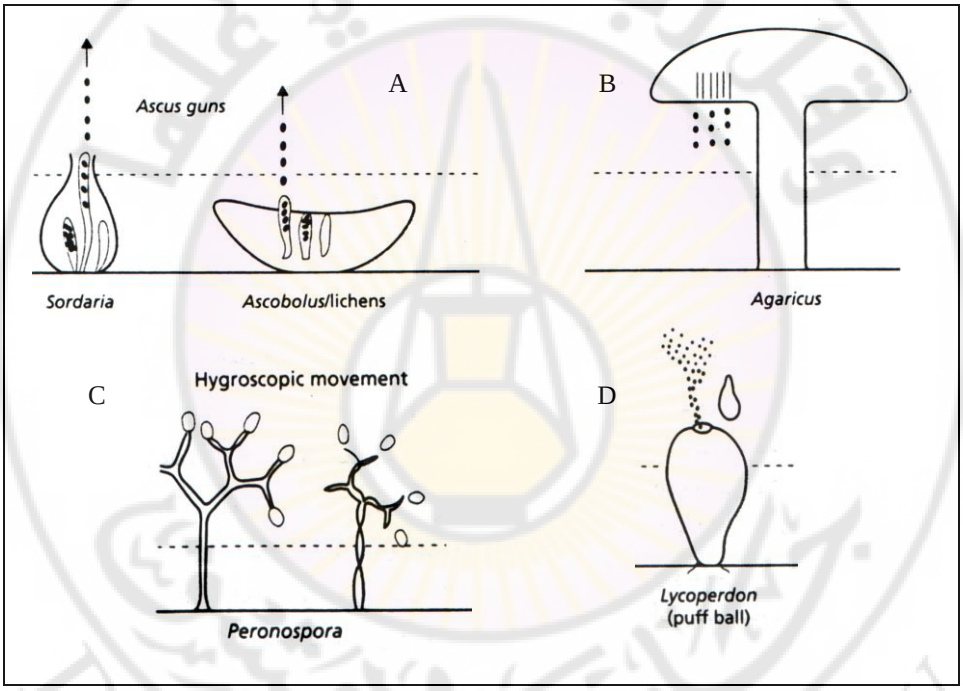
1 – التحرر العنيف:

حيث تكون طاقة الانفصال مستمدة من آليات خاصة بالفطر نفسه تسمح له بإطلاق الأبواغ بعنف، والأمثلة على ذلك كثيرة في عالم الفطريات، نذكر منها آلية انطلاق الأبواغ الزقية إلى مسافة 2 – 600 مم أعلى فوهة الثمرة الزقية. وقذف الأبواغ الدعامية لفطريات عيش الغراب الخيشومية من الذنيبات Sterigmata التي تحملها لمسافة 100 ميكروناً في الهواء، مخترقة الطبقة الساكنة المحيطة بها، حتى تصل إلى طبقة تيارات الهواء المضطربة، مما يسمح بحملها مع التيارات الهوائية لمسافة بعيدة (الشكل 3 – 18). وتتناسب المسافة الأفقية المقطوعة من قبل بوغ مقذوف بعنف بشكل أساسي مع أبعاده. وتسقط الأبواغ كبيرة الحجم بشكل عام بسرعة تحت تأثير الجاذبية الأرضية، بينما تُحمل الأبواغ الصغيرة بالتيارات الهوائية لمسافات كبيرة.

ومن الآليات الفعالة أيضاً في تحرير الأبواغ، والتي يحفزها تغير نسبة الرطوبة الجوية حولها، الحركات الالتفافية العنيفة Violent twisting movements التي تقوم بها الحوامل البوغية لبعض الفطريات البيضية، مثل فطريات البياض الزغبي، وكذلك آليات انفجار الأكياس البوغية Rupture mechanisms في بعض الفطريات البيضية المائية.

وتعتمد بعض الفطريات البيضية في قذف أكياسها البوغية على الحركة الهيجروسكوبية Hygroscopic movement، كما هي الحال في الفطر *Phytophthora infestans* والفطر *Peronospora tabacina* ، إذ يؤدي الالتواء المفاجئ للحوامل البوغية إلى انفصال الأكياس البوغية (الأبواغ الكونيدية)، وذلك عندما تنخفض الرطوبة الجوية من درجة الإشباع إلى مستوى منخفض (الشكل 3 – 18)، كما وتزيد الأشعة تحت الحمراء من تحرر أبواغ البياض الزغبي. بينما تخرج الأبواغ السابحة من أكياسها بقوتها الذاتية بفضل أهدابها المتحركة.

وتعتمد بعض الفطريات في تحرير أبواغها على الطاقة الحركية لقطرات المطر المتساقطة Kinetic energy of rain drops، كما هي الحال في فطريات الكرات النافخة Puff balls، إذ أن الجسم الثمري يمتاز بغلاف رقيق مرن غير قابل للبلل، فعندما يتعرض لسقوط قطرات المطر عليه، يقذف من فوهته ملايين الأبواغ على شكل سحابة من الأبواغ الجافة داكنة اللون (الشكل 3 – 18).



الشكل 3 – 18: بعض آليات تحرر الأبواغ الفطرية من الطبقة الساكنة المشار إليها بالخط المتقطع. (A) قذف الأبواغ الزقية عند بعض الفطريات الزقية. (B) قذف الأبواغ الدعامية عند الفطر *Agaricus* sp.. (C) الحركة الهيجروسكوبية عند الفطر *Peronospora tabacina*. (D) تحرر أبواغ الفطر *Lycoperdon* sp. (من الكرات النافخة) تحت تأثير الطاقة الحركية لقطرات المطر المتساقطة .

كما وتتحرر الأبواغ الأسيدية عند فطريات الصدأ عندما تتحول من الشكل المضلع إلى الشكل الكروي بالإنتباج، الأمر الذي يدفع بالأبواغ نحو التبعثر والتحرر من خلال فوهة الوعاء الآسيدي .

ويلعب الضوء أحياناً دوراً رئيساً في قذف الأبواغ عند بعض الفطريات، فعند الفطر *Venturia inaequalis* المسبب لجرب التفاح، لا تقذف الأبواغ الزقية ليلاً، وبشكل أدق من الساعة 21 إلى الساعة 7 صباحاً. وتقذف الكتلة البوغية ذات الحجم والوزن الكبير نسبياً للفطر *Sphaerobolus stellatus* إلى مسافة تصل إلى خمسة أمتار أو أكثر تحت تأثير الضوء، إذ أن فوهات أجسامه الثمرية تتجه دائماً نحو مصدر الضوء، قاذفة الأكياس البوغية بقوة محدثة صوت مسموع يشبه دوي المدافع (الشكل 3 – 19)، لذا يعرف هذا الفطر باسم المدفعية الفطرية The fungus artillery. كما يقذف الفطر "قاذف القبعة The cap thrower" من الجنس *Pilobolus* أكياسه البوغية الصغيرة بقوة إلى مسافة تصل إلى مترين تجاه مصدر الضوء، لذا يعرف باسم البندقية الفطرية The fungal shotgun .

الشكل 3 – 19: الفطر *Sphaerobolus stellatus* ، المسمى بالمدفعية الفطرية Fungal artillery . تتجه أجسامه الثمرية باتجاه مصدر الضوء قاذفة الأكياس البوغية إلى مسافة كبيرة . (عن أحمد ، 2001) .

وقد يحصل تحرر عنيف للأبواغ عن طريق الاهتزاز كما هي الحال عند الفطر *Helminthosporium maydis* والفطر *Peronospora destructor* المسبب للبياض الزغبي على البصل.

وتشير الدراسات بأن التغير المفاجئ في الجهد الكهربائي (Voltage) للورقة يؤثر على سرعة قذف الأبواغ الكونيدية .

2 – التحرر السلبي:

لا يملك الكثير من الفطريات آليات خاصة لتحرير الأبواغ، إذ تبقى هذه الأبواغ – بعد نضجها – ساكنة على حواملها، أو داخل أكياسها البوغية المتمزقة بانتظار تدخل قوى خارجية مثل ضغط التيارات الهوائية، أو التوتر السطحي لماء المطر والندى، أو الالتصاق على أجسام الحشرات، لتعمل على تحررها وانتشارها.

ويمكن لبعض الفطريات الاعتماد على حركة الهواء الخفيفة، والرياح منخفضة السرعة في تحرير أبواغها بآلية سلبية، كما هي الحال في الفطر *Dictydium* sp.، وفي الأشْنَات المكوّنة لأجسام ثمرية كأسية الشكل، إذ تدور داخل تجويف الكأس دوامة من تيارات هوائية معاكسة، تعمل على دفع الأبواغ إلى الخارج.

انتشار الفطريات Dispersion of fungi

تتحكم الصفات الشكلية للأبواغ في آليات انتشارها، ومن هذه الآليات :

1– الانتشار بالرياح Wind dispersal

تعد التيارات الهوائية من أهم وسائل نشر الأبواغ الفطرية وأكثرها شيوعاً. وتمتاز الأبواغ المنقولة بالرياح Wind-borne spores بشكل عام بأشكال كروية أو بيضوية، وبسطح خشن أو مجعد، وبنشوئها على حوامل بوغية مرتفعة عن سطح النبات بحيث تصبح معرضة للتيارات الهوائية، كما تتصف هذه الأبواغ بكراهيتها للماء Hydrophobic وصعوبة تبللها. وقد تتضافر الرياح مع آليات الانتشار الأخرى لنقل الأبواغ. فالرياح يمكن أن تحمل رذاذ المطر الحامل للأبواغ إلى مسافات بعيدة، كما أن الرياح تقذف بالحشرات وبخاصة الصغيرة الناقلة للأبواغ إلى مسافات بعيدة.

وكما ذكرنا سابقاً فإن المسافة المقطوعة من قبل الأبواغ تتعلق بشكل أساسي بحجمها، فالأبواغ صغيرة الحجم تحمل عادة بالتيارات الهوائية لمسافات أبعد من الأبواغ كبيرة الحجم.

وتمتاز بعض الفطريات بقدرة أبواغها على الانتشار بالرياح لمسافات بعيدة، وفطريات أخرى بعدم قدرة أبواغها على الانتقال إلا لمسافات قصيرة. وقد تجمع بعض الفطريات بين هذين النوعين من الانتشار، فمثلاً في حالة الصدأ الأسود على القمح الذي يسببه الفطر *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*، وانطلاقا من شجيرات البربريس، المضيف المناوب الذي يستضيف الطورين السبرموغوني والأسيدي، تنتشر الأبواغ الأسيدية بالرياح لتصيب القمح في دائرة نصف قطرها عدة كيلومترات مشكلة بذلك بؤرة أولية، ومن ثم تنتشر الأبواغ اليوريدية التي تتشكل على القمح بالرياح إلى مئات الكيلومترات.

ويلعب ارتفاع بؤر نشوء الأبواغ دوراً في سهولة انتشارها، فسنابل الشعير المصابة بالفطر *Ustilago nuda* المسبب للتفحم السائب، بكونها مستقيمة، تتجاوز بارتفاعها السنابل السليمة التي تكون غالباً منحنية مما يؤمن انتشار أفضل للأبواغ.

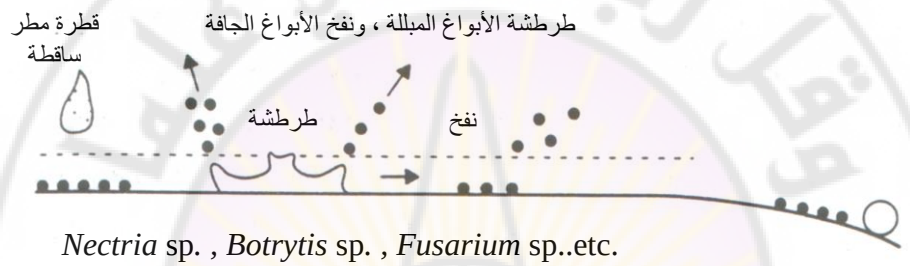
2– الانتشار بالماء Water dispersal

تحتاج الأبواغ السابحة إلى توفر الوسط المائي على سطح النبات لتستطيع الحركة ونقل المرض، كما تنتقل بعض الأبواغ عند تجمع الندى وسيلانه على النبات نفسه، أو سقوطه على نبات مجاور.

كذلك يمكن لمياه الري أن تنقل أبواغ بعض الفطريات وخاصة تلك المستوطنة في التربة إلى مسافات محدودة.

إلا أن الشكل الرئيس للانتشار بالماء هو آلية تبعثر و ترذذ قطرات المطر (الطرطشة) عند اصطدامها بسطح النبات أو التربة Splashing (الشكل 3 – 20).

فبالإضافة للأبواغ التي يمكن لقطرة الماء أن تلتقطها من الجو أثناء سقوطها، سوف تلتقط أيضاً أبواغاً من السطح الذي سقطت عليه. وتستطيع القطيرات المتبعثرة أن تقطع مسافة أفقية تصل إلى 1 – 1.25 م. وبشكل عام، فإن الانتشار الأفقي لهذه القطيرات يكون عادة ضمن دائرة لا يزيد قطرها عن 1 م، إلا إذا صاحب الأمطار رياح تحملها إلى مسافات أبعد.



الشكل 3 – 20: دور قطرات المطر في نشر الأبواغ، سواء عن طريق الطرطشة، أو نفخ الأبواغ الجافة على السطوح الملساء بفعل تيار الهواء المتولد عن سقوطها.

وينقل رذاذ الماء الناتج عن المطر أو طرائق الري بالرذاذ المدفعي أو بالرش الأبواغ من أماكن نشوئها على سطوح النباتات المصابة إلى مسافات بعيدة تتوقف على حركة التيارات الهوائية في الحقول والبساتين. كما ويذيب الماء الأبواغ من الهلامات البوغية كما هي الحال عند الفطر *Cytospora* sp. كما وللأنهار والجداول أهمية في نقل الأجزاء النباتية وما تحمله من كميات وافرة من الإثمارات الفطرية والأبواغ من مكان إلى أماكن بعيدة.

كما وتؤثر الرطوبة النسبية المحيطة على القدرة الإمراضية للأبواغ من جهة، وعلى درجة انتشارها من جهة أخرى. فمثلاً تتضاعف قدرة الأبواغ اليوريدية للصدأ الأصفر *Puccinia striformis* على إحداث العدوى مع ارتفاع الرطوبة النسبية، بينما تنخفض قدرتها على الانتشار بشكل واضح في مثل هذه الظروف .

3– الانتقال بواسطة البذور ووحدات الإكثار الأخرى

ينتشر الكثير من المسببات المرضية عن طريق البذار. ومن المعروف أن البذور تلعب دوراً هاماً جداً في نقل مسببات مرضية أخرى كالجراثيم والفيروسات إضافة للفطريات.

ويمكن أن تنتقل بعض الفطريات بالبذور على شكل أجسام حجرية كما هي الحال عند الفطر *Verticillium dahliae* الذي يوجد على بذور الكولزا على شكل أجسام حجرية صغيرة Microsclerotia. ومن المعروف أن الأبواغ التيلية لفطريات التفحم المغطى تنتقل بشكل أساسي من موسم إلى أخر على سطح البذور. بينما ينتقل الفطر *Ustilago nuda* المسبب للتفحم السائب على الشعير و الفطر *U. tritici* على القمح حصراً على شكل مشيجة داخل البذور. ويعتبر انتقال المشيجة داخل البذور وسيلة الانتشار الوحيدة أيضاً بالنسبة للفطريات الداخلية التابعة للجنس *Neotyphodium* على النباتات النجيلية العلفية.

4 – الانتقال بواسطة الحشرات والنواقل الأخرى

تساهم الحشرات، بالإضافة لدورها الكبير في نقل الفيروسات، بنقل ونشر الفطريات. إذ تقوم حشرات سوس القلف مثلاً بنقل الفطر *Ceratocystis ulmi* المسبب لذبول الدردار (Ulmus)، وإدخاله في أنفاقها مما يساعد على نشر المرض من شجرة إلى أخرى سليمة. ومن المعروف أيضاً أن الفطر *Claviceps purpurea* المسبب لمرض مهماز الشيلم، يعتمد في انتشاره بشكل أساسي على الحشرات. كما يعتمد التكاثر الجنسي للفطر .*Epichloe* sp بشكل أساسي على حشرات من الجنس *Phorbia*، إذ أنها تقوم بنقل الأبواغ الكونيدية للفطر من وسادة فطرية إلى أخرى مخالفة بالإشارة. وهناك العديد من الأمثلة الأخرى التي تبين دور الحشرات في انتشار الفطريات، والتي يصعب ذكرها جميعها.

يتم نقل الأبواغ بواسطة الحشرات بصورة آلية على جسم الحشرة، أو بأجزاء الفم، أو داخل القناة الهضمية، دون أن تكون هناك علاقة حيوية بين الحشرة والفطر كما هي الحال في الفيروسات. ويحدث هذا النقل غالباً بصورة عَرَضيّة عند مرور الحشرة أو تغذيتها. إلا أن بعض الفطريات تتمتع ببنيات خاصة كالأوعية السبرموغونية في فطريات الصدأ التي تفرز أبواغها في سائل سكري رحيقي يجذب الحشرات التي تؤمن انتقال الأبواغ من وعاء إلى آخر .

5– الانتشار بواسطة الكائنات الحيوانية الأخرى

تنتقل بعض أنواع الفطريات بواسطة حيوانات مختلفة كالديدان الخيطية والطيور والثديات البرية. كما أن الحيوانات الزراعية تساهم في نقل الأبواغ الفطرية سواء بواسطة أرجلها، أو على أجسامها، أو ببرازها بعد تغذيتها على نباتات مصابة، أو حتى من السماد البلدي الناتج عنها.

6 – الانتشار بواسطة الإنسان

دخل الإنسان إلى الطبيعة فألحق بها خللاً من الصعب إصلاحه، ومن جملة تدخلاته نقل النباتات والبذور من بلد إلى بلد آخر بشكل عشوائي بدون التفكير بنتائج تصرفاته وأخذ الاحتياطات اللازمة، فنقل الخضار ونباتات الزينة والأبصال والبذور من مكان زراعتها إلى أماكن لم تكن مزروعة فيها سابقاً. ومن دون أن يدري، نقل معها الفطريات ومسببات الأمراض الأخرى. فهذه الفطريات كانت خاضعة في بلاد المنشأ لقانون التوازن الطبيعي، ولكن عندما أتت إلى منطقة جديدة تطورت وانتشرت بشكل وبائي نظراً لغياب أعدائها الطبيعية. وهذا ما حدث فعلاً، و كان لبعضها أضراراً اقتصادية بالغة الأهمية، نذكر منها إدخال الإنسان لأصول الكرمة الأمريكية المقاومة لحشرة الفوليكسرا

إلى أوروبا حاملة معها الفطر *Plasmopara viticola* المسبب لمرض البياض الزغبي على الكرمة، وكان لانتشاره الوبائي نتائج مدمرة للكرمة في فرنسا.

وإن عمليات استيراد وتصدير البذور والمنتجات الزراعية التي تتم حالياً بين الدول، تساهم بشكل كبير في نشر الأمراض.

بالإضافة إلى ذلك، قد يؤدي قيام الإنسان ببعض العمليات الزراعية إلى انتشار العدوى من النبات المصاب إلى السليم. فملامسة العمال للنباتات المصابة ثم السليمة تؤدي إلى انتشار بعض الأمراض، كما أن الكثير من الأمراض التي تصيب الأشجار المثمرة يمكن أن تنتشر بواسطة عملية التقليم. وأن مرور الإنسان بين النباتات المنداة يؤدي إلى نشر لفحة الأسكوكيتا على البقوليات.

الفصل الرابع

تقسيـــم أو تصنيــف الفطريات

Taxonomy or classification of fungi

على الرغم من التقسيمات الحديثة للفطريات في أكثر من مملكة من الكائنات الحية، إلا أننا سوف نعالج الفطريات في هذا الكتاب كمملكة واحدة Kingdom of fungi ، وذلك بهدف التبسيط من جهة، ولعدم اتفاق علماء الفطريات على تقسيم واحد لمملكة الفطريات حتى الآن من جهة أخرى .

الأسس والقواعد العامة المعتمدة في تصنيف الفطريات

1 – بنية جسم الفطر: تقسم الفطريات استناداً لبنية مشائجها إلى قسمين مختلفين:

- قسم الفطريات المخاطية Myxomycota نظراً لوجود البنية الأميبية أو الشبيهة بها في دورة الحياة، وتُعتمد أحياناً تسمية الفطريات العارية Gymnomycota.

- قسم الفطريات الحقيقية Eumycota وتتصف بمشيجة خيطية، ولهذا تدعى الفطريات الخيطية Filamentous fungi .

كما وتقسم الفطريات الحقيقية بدورها اعتماداً على صفات الخيوط الفطرية إلى:

- فطريات ذات مشيجة خيطية غير مقسمة، وتسمى أيضاً بالفطريات الدنيا Lower fungi، حيث أن الخيوط الفطرية تكون غير مقسمة وتشكل مدّمجة خلوية.

- فطريات ذات مشيجة خيطية مقسمة، وتسمى أيضاً بالفطريات الراقيةHigher fungi، خيوطها الفطرية مقسمة بجدر مستعرضة إلى عدد كبير من الخلايا.

2 – طريقة التكاثر الجنسي و اللاجنسي Sexual and asexual reproduction، إذ تقسم الفطريات الدنيا استناداً إلى طريقة التكاثر أيضاً إلى قسمين:

* فطريات تمتلك طوراً متحركاً في دورة الحياة، حيث يتم التكاثر اللاجنسي بواسطة أبواغ سابحة، وتدعى بالفطريات السوطية Mastigomycotina.

ويعتبر عدد السياط وطريقة توضعها على البوغ السابح من الصفات الأساسية التي يعتمد عليها في تقسيمها إلى ثلاثة صفوف:

- أبواغ سابحة وحيدة السوط أملس وخلفي..... صف الفطريات الكيتريدية Class Chytridiomycetes .

- أبواغ سابحة وحيدة السوط أمامي وريشي ..... صف الفطريات الكيتريدية الخيطية Class Hyphochytridiomycetes .

- أبواغ سابحة ثنائية السياط، إحداهما أملس والآخر ريشي .... صف الفطريات البيضية Class Oomycetes .

وتضع بعض المراجع الفطريات السوطية في قسم مستقل Division Mastigomycota، والذي يضم تحت قسمين: تحت قسم الفطريات أحادية السوط Sub-division Haplomastigomycotina، وتحت صف الفطريات ثنائية السوط Sub-division Diplomastigomycotina.

* فطريات تتكاثر لا جنسياً بواسطة أبواغ غير متحركة، وتشكل في طور تكاثرها الجنسي أبواغاً زيجية Zygospores، تنشأ من اتحاد كيسين عروسين متشابهين مظهرياً .....تحت قسم الفطريات الزيجية Sub-division Zygomycotina.

بينما تقسم الفطريات الراقية إلى ثلاثة تحت- أقسام :

- يتسم الطور الجنسي بتشكيل أبواغ متوضعة داخل أكياس زقية أو زقاق ....تحت قسم الزقيّات Sub-division Ascomycotina.

- تنشأ الأبواغ الجنسية على دعامات .....تحت قسم الدعاميات Sub-division Basidiomycotina .

- فطريات لا يعرف لها طور تكاثر جنسي، وتتكاثر فقط لا جنسياً بواسطة الأبواغ الكونيدية، وتدعى بالفطريات الناقصة .....تحت قسم الفطريات الناقصة Sub-division Deuteromycotina (Adelomycotina).

وتقسم الفطريات إلى صفوف اعتماداً على معايير وأسس متعددة ومختلفة كشكل وبنية الثمار الجنسية، ووجودها أو عدمه، واستناداً إلى ذلك تقسم الفطريات الزقية إلى تحت الصفوف التالية :

- تحت صف الفطريات الزقية الأولية Hemiascomycetidae وتتصف بغياب الثمرة الزقيّة Ascocarp إذ توجد الزقاق عارية.

- تحت صف الزقيات الثمرية الكروية المغلقة Plectomycetidae وتتصف بوجود الزقاق داخل جسم ثمري مغلق Cleistothecium .

- تحت صف الزقيات الثمرية الدورقية Pyrenomycetidae وتتصف بوجود الزقاق ضمن جسم ثمري دورقي ذي فوهة Perithecium.

- تحت صف الزقيات الثمرية الطبقية Discomycetidae وتتصف بتوضع الزقاق فوق حشية فطرية خصبة (Stroma) تعطي جسماً ثمرياً طبقياً أو قرصياً Apothecium.

- تحت صف الزقيات الثمرية الدورقية الحشرية Loculoascomycetidae وتتصف بتوضع الزقاق في حُجر داخل الحشية أو الوسادة الفطرية Stroma.

وتعتبر الصفات الشكلية للدعامات Basidia (مفردها Basidium) من الصفات الأساسية في تصنيف الفطريات الدعامية، إضافة لكونها تتشكل في أجسام ثمرية أو أن تكون حرة، واعتماداً على ذلك تقسم إلى تحت الصفوف التالية:

- تحت صف الدعاميات متماثلة الدعامات Holobasidiomycetidae، تتكوّن الدعامات من خلية واحدة غير مقسمة Holobasidium.

- تحت صف الدعاميات المتباينة Heterobasidiomycetidae أو المقسمة Phragmobasidiomycetidae، تكون الدعامة مقسّمة طولياً أو عرضياً إلى أربع خلايا.

- تحت صف الدعاميات ذات الأبواغ التيلية Teliomycetidae. الثمرة الدعامية غائبة، وتنشأ المشيجة الأولية Promycelium أو Metabasidium من إنبات البوغ التيلي.

وتعتبر معظم الفطريات الناقصة أطواراً لاجنسية للفطريات الزقية، يعتمد عندئذ في تصنيفها بشكل أساسي على طريقة تشكل الأبواغ الكونيدية وأماكن نشوئها، وتقسم استناداً إلى ذلك إلى الرتب الشكلية التالية :

- الرتبة الشكلية: Form-order Sphaeropsidales، تتشكل الأبواغ ضمن أوعية بكنيدية Pycnidia.

- الرتبة الشكلية: Form-order Melanconiales، تتشكل الأبواغ في اسيرفيولات Acervuli، أي في كويمة بوغية.

- الرتبة الشكلية: Form-order Hyphales، تتشكل الأبواغ مباشرة على الخيط الفطري محمولة على حوامل كونيدية.

- الرتبة الشكلية: Form-order Agonomycetales، عبارة عن أشكال عقيمة لا يعرف فيها تشكل للأبواغ الكونيدية

تنتهي تسمية القسم بالمقطع (mycota)، وتحت القسم بالمقطع (mycotina)، والصف بالمقطع (mycetes)، وتحت الصف بالمقطع (mycetidae)، والرتبة بالمقطع (ales)، والفصيلة بالمقطع (aceae).

ويتم تقسيم الفطريات إلى أجناس وأنواع وفقاً لأسس متعددة ودقيقة نذكر منها:

أولاً- الصفات الشكلية Morphological characteristics

1 – صفات الحوامل البوغية من حيث أشكالها وطرائق تفرعها، وعدد الأبواغ المحمولة عليها، وتأخذ هذه الصفات أهمية كبيرة في تحديد أجناس فصيلة البياض الزغبي Peronosporaceae.

2 – صفات الأبواغ الكونيدية من حيث الشكل واللون والحجم وعدد الخلايا المكونة لها وطريقة تقسيمها بحواجز عرضية وطولانية، ولهذه الصفات أهمية كبيرة في تصنيف الفطريات الناقصة.

3 – صفات الثمار الجنسية، حيث يعتمد عند الزقيات على شكل وبنية الثمار الزقيّة وعدد الزقاق التي تحتويها وشكل الزوائد اللاحقة لسطوحها في تصنيف فطريات البياض الدقيقي Erysiphaceae.

4 – صفات المزارع الفطرية من حيث الشكل واللون .....إلخ .

ثانياً – الصفات الفيزيولوجية Physiological characteristics

تعتبر الصفات الفيزيولوجية من الأسس المساعدة في دقة تقسيم الفطريات مثل:

1- سلوك الفطريات تجاه درجات الحرارة المختلفة.

2 – سلوك الفطريات تجاه بعض المبيدات.

3 – سلوك الفطريات تجاه بعضها البعض، أو ما نسميه بالتوافق أو عدم التوافق الاعاشي أو الجسماني Somatic compatibility or incompatibility.

4 – قدرة الفطريات على الاستفادة من مصادر الكربون والنيتروجين المختلفة.

ثالثاً ـ معايير بيوكيميائية وجزيئية

Biochemical and molecular characteristics

شهد العالم في الآونة الأخيرة ثورة حقيقية في مجال البيولوجية الجزيئية Molecular biology، واستفاد العلماء من هذه التقنيات في دراسة البروتينات (الأنزيمات) و الأحماض النووية وغيرها في تصنيف الفطريات، ومن أهم التقانات المستخدمة في هذا المجال :

1 – دراسة الأيزوأنزيمات بطريقة الرحلان الكهربائي:

الأيزوأنزيمات عبارة عن أنزيمات ذات ركيزة مشتركة، ولكنها تختلف عن بعضها البعض بقدرتها على الرحلان عند تعريضها لحقل كهربائي. وتعكس هذه الاختلافات مباشرة اختلاف المورثات التي تميز كل كائن حي. وقد تمت الاستفادة من هذه الخاصية بشكل واسع في دراسة التباين داخل العديد من المجتمعات الحيوانية والنباتية، وبالتالي دراسة النشوء أو التطور النوعي. كما أمكن أيضاً استخدام دراسة بعض البروتينات ذات الطبيعة الأنزيمية بطريقة الرحلان الكهربائي في تصنيف بعض الفطريات.

2 – تقانات البيولوجية الجزيئية Molecular biology

لقد سمحت تقانات البيولوجية الجزيئية في تفهم الدور الحيوي الذي تقوم به الفطريات، ودراسة نشأت وتطور هذه الفطريات، وعلاقتها مع بعضها البعض، وفتحت أفاقاً جديدة لاستخدام الفطريات فيما يفيد البشرية.

تعتمد معظم تقانات البيولوجية الجزيئية على استخلاص ودراسة الحمض النووي DNA (Deoxyribonucleic acid). وتتم دراسة الحمض النووي بعدة طرق، نذكر منها:

1 – تهجين الحمض النووي DNA (DNA - DNA hybridisation): ويتم بهذه الطريقة فصل سلاسل الحمض النووي DNA لسلالتين مختلفتين لفطر واحد، ومن ثم إعادة ارتباط السلاسل المفردة بين سلالتي الفطر لتحديد المواقع التي يتم إعادة التكامل فيها، ويعبر عن ذلك بدرجة قرابة الحمض النووي DNA في سلالتي الفطر كنسبة مئوية " DNA relatedness % " . وتستخدم هذه الطريقة عادة في دراسة فطريات الخمائر .

2 – استخدام تفاعل البلمرة التسلسلي Polymerase Chain Reaction (PCR) :
تعتمد هذه الطريقة على التضاعف الانتخابي لمنطقة محددة من الحمض النووي DNA بمساعدة سلاسل متعددة النيكليوتيدات (بادئات Primers)، وأنزيم بوليميراز Polymerase ثابت حرارياً، والذي يعرف أيضاً باسم Taq polymerase.

وبعد الانتهاء من مضاعفة المنطقة المطلوبة من الحمض النووي، يتم فصلها وتعريفها بالاعتماد على طريقة الرحلان الكهربائي Electrophoresis.

وهنا يجب عدم الخلط ما بين الـ PCR العشوائي أو ما يسمى أيضاً (RAPD) (Random amplified polymorphism DNA)، والذي يسمح بتضخيم أو تضاعف أجزاء من DNA بشكل عشوائي باستخدام بادئات ذات سلسلة نيكليوتيدية

قصيرة (10pb)، وبين الـ PCR الموجّه الذي يعتمد على استخدام بادئتين عامتين قادرتين على التوضع على DNA حاصرتين بينهما منطقة محددة. و يبدو أن هذه الطريقة فعّالة وقابلة للاستخدام من أجل تصنيف الفطريات.

3 – طريقة الأجزاء المقطعة متعددة الأشكال من الحمض النووي DNA (Restriction fragment length polymorphisms) (RFLP): تستخدم هذه الطريقة لدراسة الحمض النووي DNA للنواة أو المتقدرات (الميتوكوندريا)، وذلك بعد استخلاصه، ثم تقطيعه بواسطة أنزيمات القطع Restriction enzymes إلى قطع مختلفة الأطوال في مناطق محددة. ويتم التعرف على هذه القطع باستخدام طريقة الرحلان الكهربائي. وبعد فصل هذه القطع من الحمض النووي، يتم تهجينها مع حمض نووي لكائن معروف (بكتيريا – بكتيريوفاج)، ثم يتم الكشف عن الحمض النووي المستنسخ المعلم.

4 – تتابع القواعد في الحمض النووي DNA (DNA sequencing): تستخدم هذه الطريقة لمقارنة التتابع الحقيقي لأجزاء محددة من الحمض النووي DNA أو RNA في الفطريات. وعادة ما تستخدم المورثات التي أوزانها 5.8S و 18S و 28S من الحمض النووي RNA الريبوزومي.

وتعتمد هذه الطريقة أيضاً على تفاعل البلمرة التسلسلي PCR، ويتم الآن تحديد تتابع القواعد النووية بطريقة آلية باستخدام أجهزة خاصة Automated sequencing machines، وتقارن النتائج المستحصل عليها بما هو معروف في بنوك المعلومات، والموجودة حالياً على شبكة الإنترنت.

5 – بصمة الحمض النووي DNA (DNA fingerprinting): تستخدم هذه الطريقة لمعرفة التتابع التكراري للقواعد الآزوتية في صبغي Chromosome سلالة الفطر قيد الدراسة، ومقارنتها مع السلالات الأخرى من ناحية تتابع القواعد الآزوتية. وتستخدم هذه الطريقة في دراسة السلالات الممرضة للإنسان، وكذلك الفطريات الطبية.

التسمية Nomenclature

بعد أن يقوم الباحث بتصنيف الفطر ووصفه، عليه أن يقوم بإيجاد تسمية له. تخضع التسمية لقواعد "المَدوَنة الدولية للتسمية النباتية International code of Botanical Nomenclature "، والتي يجري تعديلها في المؤتمرات الدولية النباتية، كلما اقتضت الحاجة لذلك، وقد عقد أخر هذه المؤتمرات في سدني عام 1981.

يكتب الاسم عادة باللاتينية وفق نظام التسمية الثنائية "Binomial " أي أنه مؤلف من مقطعين، الأول هو اسم الجنس Generic name ويبدأ بحرف كبير، والثاني هو اسم النوع أو النعت Specific epithet ويكتب بحروف صغيرة، كما في المثال التالي *Claviceps purpurea*، ويدوّن اسم العالم أو العلماء الذين اقترحوا تسمية الفطر بعد الاسم، وغالباً ما توضع هذه الأسماء على شكل مختصرات مثل Fr. (Fries) و Pers. (Persoon).

وقد يحصل أحياناً أن ينقل النوع إلى جنس أخر غير الجنس الذي وضع فيه أساساً. وعلى سبيل المثال، ابتكر Schweinitz اسم النوع أو النعت " *cinerascens*" ووضعه في الجنس *Thelephora*، وبالتالي تكتب التسمية الثنائية لهذا الفطر على الشكل التالي *Thelephora cinerascens* Schw.، ثم قام Bresadola ولأسباب تصنيفية معينة بنقل هذا النوع إلى جنس أخر مختلف *Lloydella*، وفي هذه الحالة يكتب الاسم الكامل كما يلي *Lloydella cinerascens* (Schw.) Bresadola .

وفي التسمية *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary، يشير الاسم الموجود بين قوسين (.Mont) إلى اسم الشخص الذي ابتكر اسم النوع "*infestans* "، ولكنه استخدمه مع جنس أخر غير الجنس *Phytophthora*، أما الاسم الموجود خارج قوسين فيدل على أن De Bary قام بنقل النوع الذي اقترحه Montagne إلى الجنس *Phytophthora* بدءاً من الجنس الذي وضع فيه أولاً وهو في مثالنا هذا الجنس *Botrytis* .

وتجدر الإشارة إلى أنه من الممكن اختصار اسم الجنس، في حال تكرر ورود اسم الفطـــر أكثر مــن مرة فــي نفس النص، مثلاً *Epichloe typhina* يمكن أن يكتب *E. typhina*.

يُكتب اسم الجنس والنوع بحروف مائلة. ويمكن أن يذهب التصنيف إلى ما دون مستوى النـوع، وإعطاؤهـا أسـماء لاتينيـة كتحـت النـوع Sub-species، والصـنف Variety، والشكل Form، ومن أمثلتها الفطر *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

إن تسمية الفطريات التي تملك أكثر من طور واحد في دورة حياتها (الفطريات متعددة الأشكال المظهرية Pleomorphic fungi)، تعطى عادة تسمية خاصة بالطور اللاجنسي Anamorph، وتسمية خاصة بالطور الجنسي Teleomorph. فعلى سبيل المثال، قام Kűhn (1858) بإعطاء التسميـة *Rhizoctonia solani* Kűhn للفطر الممرض، والهام جداً على البطاطا والعديد من المحاصيل الأخرى، بعد أن وجده على صورة مشيجة عقيمة بدون أي طور بوغي. ثم وجد Frank (1883) فطراً كان يبدو له مختلفاً عن الأول لأنه يهاجم الخيار وينتج أبواغاً دعامية، فأعطاه الاسم *Hypochnus cucumeris* Frank. وفـي عـــام 1956، اكتشف Donk أن هذين النوعين هما طوران مختلفان في دورة حياة نوع واحد، ولأسباب تصنيفية معينة، قام بنقل النوع *cucumeris* إلـى جـنس أخـر *Thanatephorus*، وأخـذ بـذلك التسـمية الثنائيـة *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk. إذاً فالتسمية الرسمية لهذا الفطر هـي *Thanatephorus cucumeris* لأنها تشير إلـــى الطـــور الجنسي أو الكامل perfect، ولكن يمكن أيضاً استخـــدام التسميـــة *Rhizoctonia solani* عندما يوجد الفطر في طوره الناقص Imperfect.

الفصل الخامس

قســـم الفطريات العاريـــــــة

Division: Gymnomycota

مقـــــــــدمة

تنفرد الفطريات المخاطية بصفات تجعل انتسابها لمملكة الفطريات أمراً مشكوكاً فيه ولو أن بعض المختصين يفضل نسبها إلى وحيدات الخلية الحيوانية Protozoa. إذ أنها تتغذى بطريقة حيوانية، ولكن نظراً لكونها غير ذاتية التغذية، إضافة إلى أنها تشكل أجساماً ثمرية وأبواغاً سابحة مشابهة مظهرياً لتلك التي تشكلها الفطريات الحقيقية، فقد اعتمد على هذه الخصائص لوضعها في مملكة الفطريات.

وتعرف هذه الكائنات باسم الفطريات المخاطية أو اللزجة Myxomycota أو فطريات العفن المخاطية Slime mold fungi، وقـــد أطلق عليها العالم De Bary (1887) اسم الفطريات الحيوانية Mycetozoa إذ يظهر في دورة حياة هذه الفطريات طور حيواني وآخر فطري، ويتعاقب الطوران بانتظام في دورة حياة الفطر.

وضـعت هـذه الفطريـات فـي قسـم مسـتقل هـو قسـم الفطريـات العاريـة Gymnomycota نظراً لأن جسم الفطر يتكون من كتلة بروتوبلاسمية هلامية عارية وحيدة النواة كما في الفطريات المخاطية الخلوية أو كثيرة النوى، وتمتاز بغياب الجدر الخلوية، و تدعى بالبلاسموديوم Plasmodium الذي لا يملك شكلاً محدداً، ويتحرك بحركة آميبية، وتتوقف حركته فقط قبل التكاثر مباشرة، وقد يكون جسم الفطر مؤلفاً من تجمع كتل هيولية آميبية الشكل ويدعى بالبلاسموديوم الكاذب Pseudoplasmodium.

تصنيف الفطريات العارية

تقسّم بعض المراجع الفطريات العارية إلى تحت قسمين اعتماداً على كون جسم الفطر مكوّن من بلاسموديوم متعدد النوى، أو وحيد النواة (ذات بنية خلوية)، وهما:

1- تحت قسم الفطريات الأكراسية العارية

Sub-division: Acrasiogymnomycotina

2 – تحت قسم الفطريات البلاسمودية العارية

Sub-division: Plasmodiogymnomycotina

ولكننا في هذا الكتاب سوف نعتمد تصنيف Ainsworth and Bisby (1971) معدّلاً قليلاً، ليصبح تقسيم الفطريات العارية المتّبع هنا على الشكل التالي:

1– صف الفطريات المخاطية الأكراسية Class: Acrasiomycetes

2– صف المخاطيات المائية Class: Hydromyxomycetes

3- صف المخاطيات العفنية Class: Myxomycetes

4– صف المخاطيات المتطفلة على النبات Class :Plasmodiophoromycetes

وسوف نكتفي هنا بالحديث عن صف المخاطيات المتطفلة على النبات.

صف الفطريات المخاطية النباتية Class Plasmodiophoromycetes

يتطفل العديد من أنواعها على طحالب المياه العذبة، أو على الفطريات المائية مثل *Saprolegnia* sp. و *Pythium* sp. وغيرهما، وتتطفل أنواع أخرى على النباتات الوعائية ونباتات المستنقعات، أو على نباتات أرضية مثل الكرنب والبطاطا، وتسبب عادة تضخم في حجم خلايا النبات المصاب يعرف بفرط النمو أو التضخم Hypertrophy.

تختلف هذه الفطريات عن الفطريات المخاطية الأخرى بعدة نقاط أهمها:

- تتشكل الأبواغ السابحة في أكياس بوغية Zoosporangia، بينما تنشأ الأبواغ السابحة في الفطريات المخاطية الأخرى من إنبات الأبواغ الساكنة.
- لا تكوّن أجساماً ثمرية عند إنتاجها للأبواغ الساكنة.
- يبدو أن جدر الأبواغ خالية من السيللوز، على الرغم من أن بعض الدراسات تشير لوجوده عند بعض الأنواع، بينما يحتوي غلاف البوغ الساكن للفطر *Plasmodiophora brassicae* على الكيتين فقط.
- احتمال كون البلاسموديوم أحادي المجموعة الصبغية، وليس مضاعف كما هي الحال في الفطريات المخاطية الأخرى

تجدر الإشارة إلى أن بعض المراجع تفصل المخاطيات النباتية Plasmodiophoromycetes عن الفطريات المخاطية الأخرى لتضعها مع الفطريات الكيتريدية Chytridiomycetes والبيضية Oomycetes في قسم الفطريات السوطية Division Mastigomycota، وذلك لوجود الاختلافات آنفة الذكر. وقد عمدنا في هذا الكتاب على إبقائها مع الفطريات المخاطية الأخرى على الرغم من هذه الاختلافات، وذلك نظراً لأن جسم الفطر مكوّن من بلاسموديوم عاري، ولوجود أبواغ سابحة ثنائية السياط إحداهما طويل والآخر قصير مشابهة لتلك التي تشكلها معظم الفطريات المخاطية الأخرى.

يضم هذا الصف رتبة واحدة Plasmodiophorales، والتي تضم بدورها فصيلة واحدة Plasmodiophoraceae، وتحتوي هذه الفصيلة على عشرة أجناس، ويعد الجنسان *Plasmodiophora* و *Spongospora* أكثر هذه الأجناس أهمية من الناحية الاقتصادية. وتساهم بعض أنواع هذه الفصيلة في نقل الفيروسات الممرضة للنبات، إذ يقوم الفطر *Polymyxa graminis* بنقل خمسة فيروسات

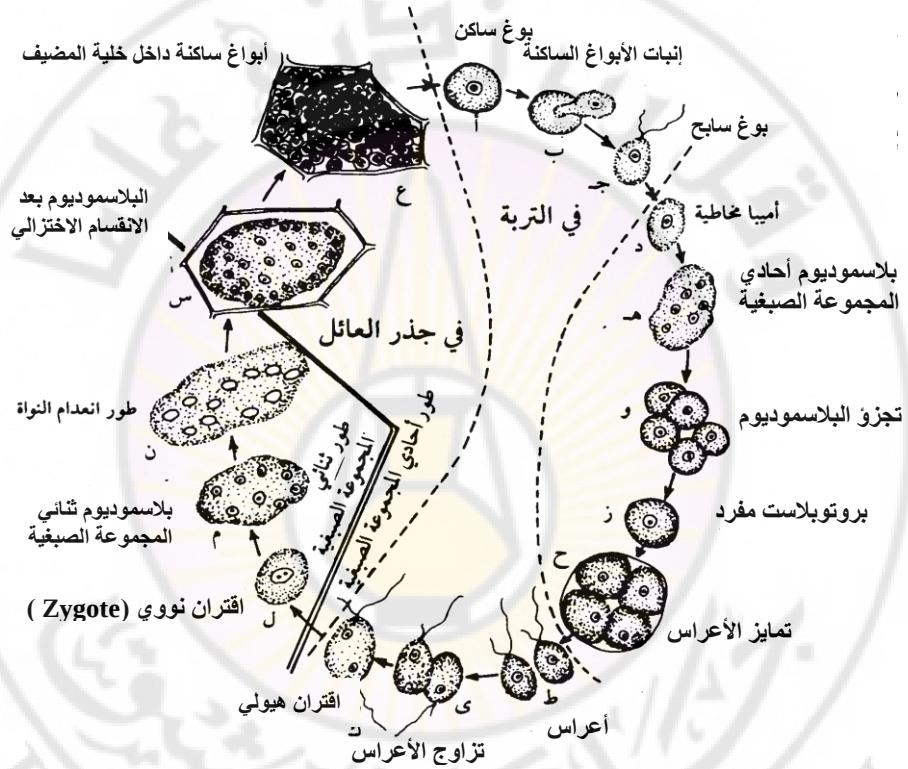
ممرضة للنباتات النجيلية، ويقوم الفطر *Polymyxa betae* بنقل الفيروس المسبب لمرض الريزومانيا على الشوندر السكري.

الجنس *Plasmodiophora*

يسبب الفطر *Plasmodiophora brassicae* مرض الجذر الصولجاني على الصليبيات وخاصة القرنبيط والملفوف. إذ يلاحظ تضخم الجذور المصابة، التي تأخذ شكل المغزل أحياناً .

ويمثل الشكل (5– 1) دورة حياة هذا الفطر، إذ توجد الأبواغ الساكنة في التربة، وهي كروية الشكل وحيدة النواة أحادية المجموعة الصبغية ومحاطة بغلاف كيتيني أملس، وعند توفر الظروف المناسبة تنبت ليعطي كل منها بوغاً سابحاً (مهدّباً) Zoospore وحيد النواة وذو سوطين إحداهما قصير والآخر طويل، وإذا توفر لهذه الأبواغ الوسط المائي فإنها تسبح لتصادف العائل المناسب، وعندئذ تخترق الشعيرات الجذرية للمجموع الجذري وتستقر داخلها، ثم تفقد السياط وتعرف حينئذ باسم الآميبا المخاطية Myxamoeba، التي تستطيل وتنقسم نواتها عدد من الانقسامات العادية ليتشكل البلاسموديوم عديد النوى وحيدة المجموعة الصبغية، ثم يتجزأ البلاسموديوم إلى عدد من الأجزاء الكروية رقيقة الجدر تدعى Protoplasts، و تنقسم نواة كل منها عدد من الانقسامات العادية، وتحاط كل نواة بنت بجزء من الهيولى لتحرر عدداً من الأبواغ السابحة Swarm cells (4 – 6) ثنائية السياط مشابهة تماماً للأبواغ التي خرجت من الأبواغ الساكنة، ثم تخرج هذه الأبواغ من العائل لتسلك سلوك الأعراس، إذ تتحد في أشفاع مشكلة البيضة الملقحة Zygote، التي تدخل من جديد إلى الطبقات الداخلية من أنسجة الشعيرات الجذرية لتكوّن بلاسموديوم جديد عديد النوى ثنائية المجموعة الصبغية، الذي يستطيع أن ينتقل من خلية إلى أخرى داخل أنسجة النبات العائل، مما يؤدي إلى انقسام خلايا المضيف بسرعة ويزداد حجمها، وهذا ما يعبر عنه بالإفراط في حجم الخلايا (التضخم) Hypertrophy، وفي نهاية الموسم يتجزأ البلاسموديوم إلى كتلة من

الأبـواغ الســاكنة تعـرف باسـم الحويصـلة البوغيـة Cystosorus، وذلـك بعـد حـدوث الانقسام المنصف لنواها، وعند تحلل الجذر تتحرر الأبواغ الساكنة التي تبقى في التربة حتى الربيع التالي لتنبت مع عودة الظروف المناسبة وتعيد دورة حياة الفطر من جديد.

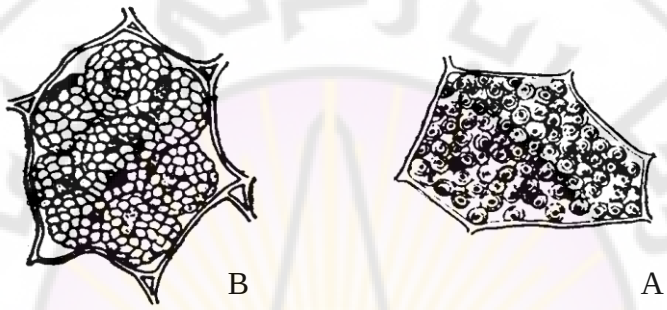


الشكل 5 – 1: رسم تخطيطي يبيّن الأطوار المحتملة في دورة حياة الفطر *Plasmodiophora brassicae* المسبب لمرض الجذر الصولجاني على الصليبيات.(عن الرحمة ،1993) .

الجنس *Spongospora*

يسبب الفطـر *Spongospora subterranea* (= *S. solani*) مرض الجرب المسحوقي Powdery scab على البطاطا، ويسـاهم أيضاً بنقل فيروسين هما Potato Mop-Top و Watercress chlorotic spot virus.

ولهذه الفطريات دورة حياة مشابهة لدورة حياة الفطر *Plasmodiophora*، إلا أن الأبواغ الساكنة تتجمع في مجموعات على شكل كرات بوغية Spore balls داخل غشاء البلاسموديوم الذي نشأت منه، بينما يلاحظ في خلايا الزهرة المصابة بالفطر *P. brassicae* أن الأبواغ توجد بكتلة واحدة غير محاطة بغلاف (الشكل 5 – 2) .

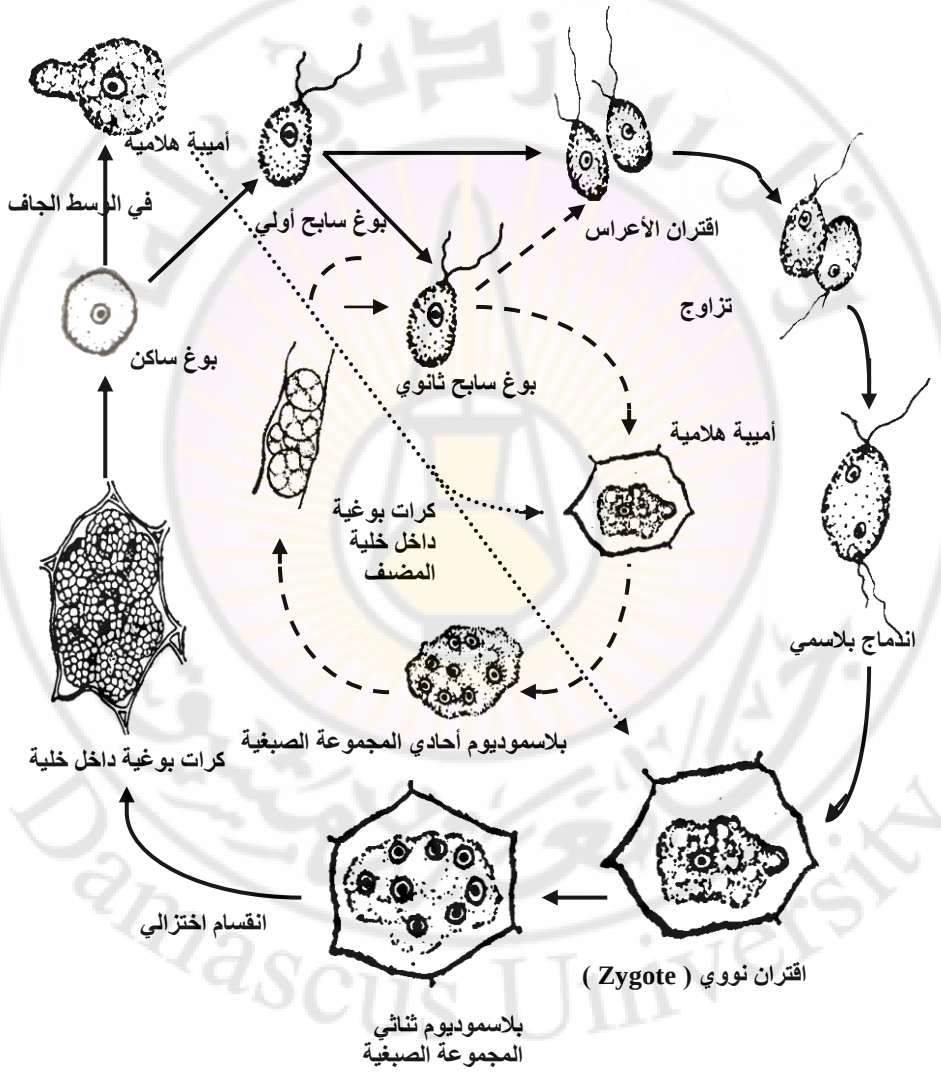


الشكل 5 – 2: طريقة تواجد الأبواغ الساكنة داخل خلايا العائل. (A) الفطر *Plasmodiophora brassicae* (B) *Spongospora subterranea*

ويمثل الشكل (5– 3) الأطوار المحتملة في دورة حياة الفطر *S. subterranea*، ففي نهاية الموسم تنقسم نوى البلاسموديوم الثنائي المجموعة الصبغية انقسامين أولهما اختزالياً، ثم يتجزأ لتتشكل كرات بوغية، يتكون كل منها من عدد من الأبواغ الساكنة سميكة الجدر، وحيدة المجموعة الصبغية، وذات مقاومة عالية للظروف غير المناسبة.

وعند عودة الظروف الملائمة، ينبت كل بوغ ليعطي بوغاً سابحاً أولياً ثنائي السياط إحداهما طويل والآخر قصير، ثم يخترق البوغ السابح أنسجة الشعيرات الجذرية للمضيف، وتنقسم النوى عدة انقسامات عادية ليتشكل البلاسموديوم أحادي المجموعة الصبغية. وقد لوحظ عند الفطر *S. subterranea* f. sp. *nasturtii* أن الأبواغ الساكنة يمكن أن تنبت في الوسط الجاف لتعطي أميبة هلامية بدلاً من الأبواغ السابحة. وقد تسلك الأبواغ السابحة سلوك الأعراس، إذ تتحد في أشفاع مشكلة البيضة الملقحة، التي تدخل إلى الشعيرات الجذرية لتكوّن بلاسموديوم جديد عديد النوى ثنائية المجموعة الصبغية.

وتتشكل الأبواغ السابحة الثانوية ثنائية السياط أيضاً داخل أكياس بوغية رقيقة الجدر اعتباراً من البلاسموديوم أحادي المجموعة الصبغية، ويمكن لهذه الأبواغ السابحة أن تخرج من العائل وتحدث عدوى جديدة، وقد تسلك أيضاً سلوك الأعراس .



الشكل 5 – 3: رسم تخطيطي يبيّن الأطوار المحتملة في دور حياة الفطر *Spongospora subterranea*

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

قسم الفطريات الحقيقية السوطية
Division Eu-mastigomycota

تحت قسم الفطريات أحادية السوط
Sub-division Haplomastigomycotina

صف الفطريات الكيتريدية Class Chytridiomycetes

تضم الفطريات الكيتريدية أنواعاً رميةً قادرة على تفكيك السيللوز في المواد العضوية الميتة في التربة، وأنواعاً أخرى قادرة على تفكيك الكيتين. وهناك مجموعة خاصة من الفطريات الكيتريدية التي تنمو في المعدة الأولى للحيوانات العشبية المجترة، إذ تقوم بتفكيك المركبات السيللوزية، وبذلك تلعب دوراً أساسياً في المعقد الميكروبي الموجود في المعدة.

بعض أنواع الفطريات الكيتريدية اختيارية التطفل مثل تلك التي تتطفل على الديدان الخيطية والعديد من الكائنات الدقيقة الأخرى. وتهاجم بعض الفطريات الكيتريدية اختيارية التطفل الأبواغ الساكنة للفطريات الممرضة للنبات أو الفطريات المشكلة للميكوريزا في التربة، وبالتالي فإنها تساهم في الحفاظ على التوازن الحيوي الطبيعي.

وهناك أنواع إجبارية التطفل على النباتات الراقية مثل بعض أنواع الجنس *Olpidium*، إضافة لكونها تساهم في نقل العديد من الفيروسات الممرضة للنبات.

يتكوّن جسم الفطر إما من خلية واحدة عند معظم أفراد رتبة الكيتريديالس Chytridiales، أو من خيوط فطرية متفرعة وغير مقسمة عند أفراد رتبة

Blastocladiales. يتركب الجدار الخلوي غالباً من الكيتين، وقد يوجد الكيتين والسيللوز معاً في بعض الأنواع.

تكاثر الفطريات الكيتريدية

يتم التكاثر اللاجنسي عند هذه الفطريات عن طريق الأبواغ السابحة أو المهدّبة Zoospores التي تمتاز بوجود سوط واحد خلفي وأملس. أما التكاثر الجنسي فيتم بإحدى الطرائق التالية:

أ– اندماج الأعراس المتحركة Planogametic conjugation

1- التزاوج المتماثل (Isogamous)، تكون فيه الأعراس متشابهة من حيث الشكل والحجم والحركة، وتختلف من الناحية الفيزيولوجية فإحداهما سالبة (-) والأخرى موجبة (+)، وبعد اتحاد الأعراس تتشكل بيضة ملقحة متحركة. ومن أمثلة الفطريات الكيتريدية التي تملك هذا النمط من التكاثر *Olpidium viciae* و *Synchytrium endobioticum* .

2– التزاوج غير المتماثل (Anisogamous) حيث تكون الأعراس متشابهة بالحركة والشكل ومختلفة بالحجم إذ يكون إحداهما أكبر حجماً من الآخر، وتختلف أيضاً بطبيعتها الفيزيولوجية. وتكون البيضة الملقحة الناتجة أيضاً متحركة. ويوجد هذا النوع من التكاثر الجنسي في بعض أنواع الرتبة Blastocladiales .

3– التزاوج بين الأعراس المتباينة Heterogamous: الأعراس مختلفة بالشكل والحجم والحركة. إذ نجد أعراساً متحركة ذكرية تدعى Antherozoids موجودة في أكياس عروسية ذكرية (Antheridia)، وأعراساً مؤنثة غير متحركة تدعى Oospheres موجودة في أكياس عروسية مؤنثة (Oogonia).

تشكّل البيضة الملقحة الناتجة عن اندماج الأعراس المتساوية Isogamy أو غير المتساوية Anisogamy كيساً بوغياً ساكناً Resting sporangium، يتحول عند الإنبات إلى كيس من الأبواغ السابحة. أما البيضة الملقحة الناتجة عن اندماج الأعراس المتحركة المتباينة (Heterogamy) فإنها تشكل بوغاً بيضياً Oospore ساكناً ومقاوماً للظروف غير المناسبة، ويعطي عند الإنبات أنبوبة إنبات تنمو مباشرة لتعطي فرداً جديداً. ولا يوجد هذا النمط من التكاثر إلا عند أفراد رتبة Monoblepharidales.

ب- اندماج الأكياس العروسية Gametangial conjugation

لا يوجد أعراس متحركة. وإنما تقوم محتويات الكيسين العروسين بالكامل بوظيفة الأعراس، إذ يلتقي الكيسان العروسان وتندمج محتوياتهما بالكامل في الكيس العروسي المؤنث، مما يؤدي إلى تشكل بيضة ملقحة على شكل كيس بوغي ساكن.

يضم هذا الصف عدة رتب، وسنتعرض باختصار لرتبتين كمثال عن الفطريات الكيتيريدية.

- رتبة الكيتريديالس Chytridiales

يعيش معظم أفرادها حياة مائية، فقد تكون رمية فوق البقايا النباتية أو الحيوانية الموجودة في الماء، أو متطفلة على خلايا الطحالب والبريويات وفطريات العفن المائية والحيوانات المائية. ويعيش بعضها فوق التربة بصورة رمية على الأوساط الحيوانية أو البقايا النباتية. في حين يهاجم بعضها الآخر الأجزاء النباتية تحت التربة أو الأجزاء الهوائية مسبباً أحياناً أمرضاً خطيرة مثل مرض سرطان البطاطا الذي يسببه الفطر *Synchytrium endobioticum* .

و جسم الفطر عند أفراد هذه الرتبة وحيد الخلية، مع وجود نمو خيطي محدود ولكنه لا يُعَدّ مشيجةً. وتعتبر هذه الرتبة هي الأكثر بدائية في الفطريات الكيتريدية، ومما

يميزها أن ريبوزومات Ribosomes أبواغها السابحة تكون حرة ومجتمعة حول النواة وغير محاطة بغلاف نووي (الشكل 6 –1).

الشكل 6 – 1: بوغ سابح مميز لأفراد رتبة الكيتريديالس. N = نواة محاطة بالريبوزومات غير المرتبطة بها بشكل وثيق وغير محاطة بغلاف نووي.

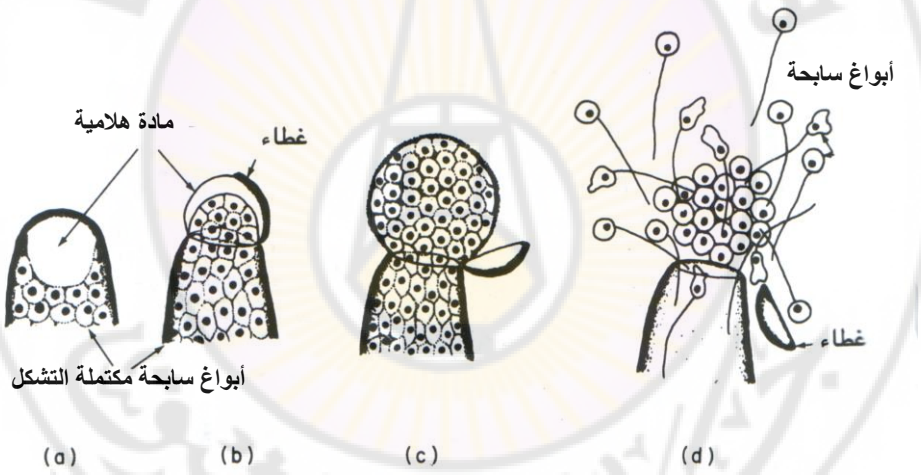
التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

تتكاثر فطريات هذه الرتبة لاجنسياً عن طريق الأبواغ السابحة التي تتشكل ضمن أكياس بوغية كروية، أنبوبية، مخروطية، أو كمثرية الشكل. وتنشأ الأبواغ السابحة من تجزؤ الهيولى داخل الكيس البوغي.

تتحرر الأبواغ السابحة في القليل من الفطريات الكيتريدية، مثل بعض أنواع الجنس *Rhizophydium*، عن طريق تحلل جدار الكيس البوغي أو تشققه. بينما تتحرر أبواغ معظم الفطريات الكيتريدية عن طريق حليمة تحرر واحدة أو أكثر "Discharge papillae" تتشكل على جدار الكيس البوغي أو عند قمة أنبوبة تحرر واحدة أو أكثر. وتظهر كتلة هلامية شفافة ولمّاعة داخل جدار قمة الحليمة، وتبقى هذه الكتلة الهلامية مميزة عن الجزء الآخر من الهيولى الذي تشكلت منه الأبواغ السابحة. وفي النهاية تتكون فتحة في جدار حليمة التحرر، وتختلف طريقة تشكل هذه الفتحة: إذ تشكل بعض الأنواع دائماً غطاءاً مستديراً Operculum على حليمة التحرر، وتدعى هذه الأنواع بالكيتريديات الغطائية "Operculate chytrids". ويمكن التمييز هنا بين نوعين من التغطية: التغطية المتفتحة خارجياً Exooperculation، والتغطية المتفتحة داخلياً Endooperculation.

1- التغطية المتفتحة خارجياً Exooperculation

ينفصل الجدار عند قمة حليمة التحرر على شكل خط من منطقة ضعيفة مشكلاً بذلك قبعة دائرية هي الغطاء، الذي يدعى بالغطاء الخارجي Exooperculum. إذ أن الغطاء ينفتح نحو الخارج، وتندفع الكتلة الهلامية مكونة إطاراً حول الأبواغ السابحة التي تبقى لفترة وجيزة عند قمة حليمة التحرر، ثم تبدأ بالانطلاق للخارج. وقد يبقى الغطاء متمفصلاً مع حافة الحليمة، أو قد يدفع بعيداً عنها مع خروج كتلة الأبواغ السابحة (الشكل 6 – 2).

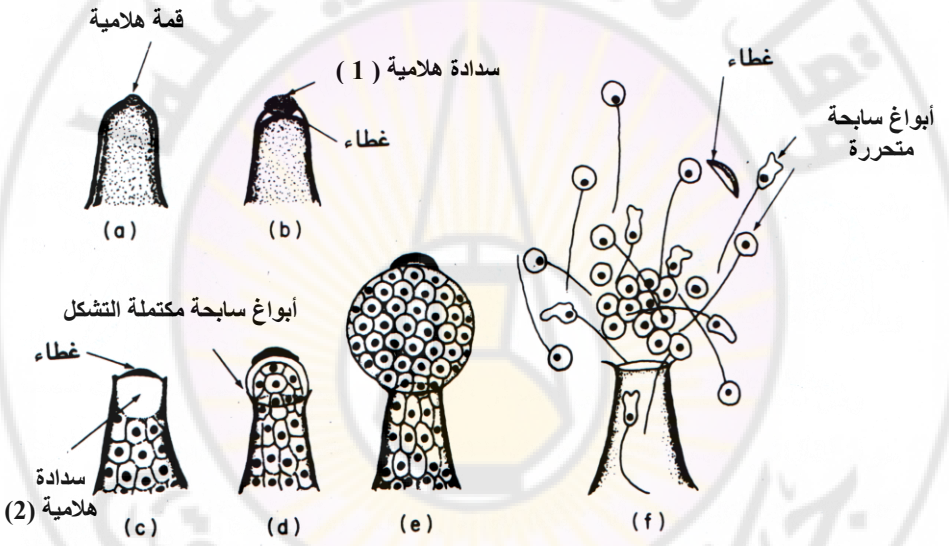


الشكل 6 – 2: التغطية المتفتحة خارجياً Exooperculation. (a) حليمة تحرر. (b) تفتح حليمة التحرر مشكلة الغطاء. (c) المادة الهلامية المحيطة بالأبواغ السابحة. (d) انطلاق الأبواغ السابحة نحو الخارج ودفع الغطاء جانباً. (عن عمار، 2002) .

2– التغطية المتفتحة داخلياً Endooperculation

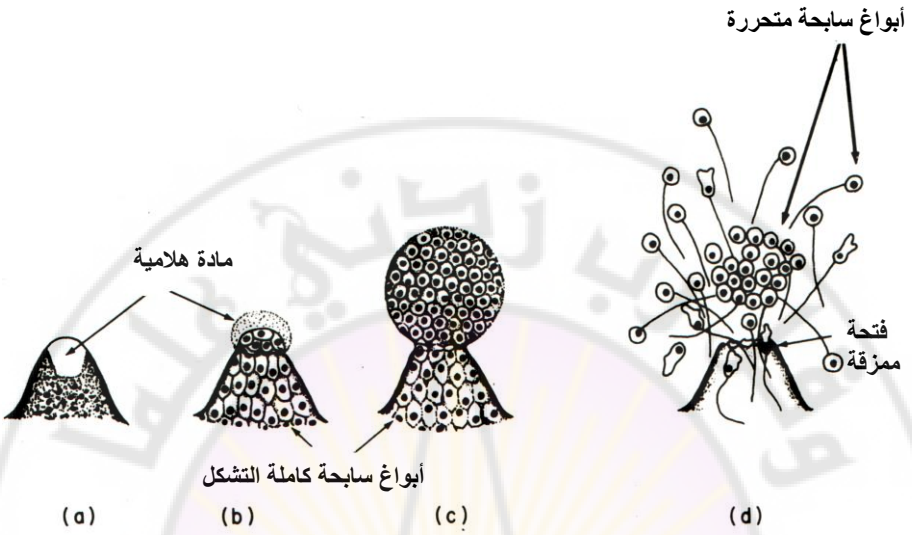
يتشكل الغطاء داخل الحليمة، ويدعى بالغطاء الداخلي Endooperculum. ويمكن أن يتكون الغطاء الداخلي بالقرب مـن قمــة الحليمــة، أو بالقرب من قاعدتها. وفي الحالة

الأولى، يذوب الجدار في قمة الحليمة (الشكل 6 – 3 a)، ويُسد الثقب الناتج بماد ة هلامية وتشكل الهيولى أسفل السدادة الغطاء، الذي يشكل استمرارية لجدار الحليمة (الشكل 6 –3 b). ثم تتشكل سدادة هلامية أخـرى في الجهــة الداخليـة للغطاء (الشكل 6 – 3 c). وعند تفتح الغطاء، تخرج السدادة الهلامية وتحيط بالأبـواغ السابحــة، التي تندفع نحــو الخارج طاردة الغطاء بعيداً عـن حليمة التحرر (الشكل 6 – 3 f).



الشكل 6 – 3: التغطية المتفتحة داخلياً Endooperculation. (a) حليمة ذات قمة هلامية. (b) سدادة هلامية تسد الثقب المتشكل في قمة الحليمة، وتشكل الغطاء داخل الحليمة أسفل السدادة. (c) اختفاء السدادة الهلامية الأولى وظهور سدادة هلامية ثانية تحت الغطاء. (d, e, f) مراحل تحرر الأبواغ السابحة. (عن عمار، 2002) .

إلا أن معظم الأنواع لا تكوّن أغطية، و تتحرر أبواغها من خلال ثقب في جدار الكيس البوغي أو عن طريق أنبوبة تحرر، وتدعى هذه الأنواع بالكيتريديات غير الغطائية Inoperculate chytrids (الشكل 6 – 4)، ومن أمثلتها *Olpidium* sp. و *Cladochytridium* sp. إذ يعطي الكيس البوغي أنبوبة تحرر تخترق سطح الخلية المضيفة، ثم تصبح قمتها مخاطية وتتحلل لتتحرر من خلالها الأبواغ.



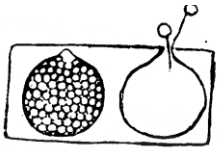
الشكل 6 – 4: التفتح غير الغطائي Inoperculation. (a) حليمة تحرر. (b , c , d) مراحل متتالية لتحرر الأبواغ السابحة. (d) انطلاق الأبواغ السابحة من الفتحة، ويلاحظ بقاء حافة ممزقة (عن عمار، 2002).

وتكون الأبواغ مفصولة عن بعضها البعض بمادة إسفنجية تمتص الماء وتنتفخ بسرعة في المراحل النهائية من نضج الأكياس البوغية، مما يؤدي إلى ارتفاع الضغط الداخلي وبالتالي انفتاح حليمة التحرر وخروج الأبواغ. وعندما يخف الضغط الداخلي نتيجة خروج بعض الأبواغ، يجري تحرير الأبواغ المتبقية داخل الكيس بسباحتها أو تسللها عبر أنبوبة التحرر. وقد تخرج الأبواغ في بعض الأنواع على شكل كتلة تنفصل فيما بعد إلى أبواغ فردية، ويتم تحررها في أنواع أخرى بصورة إفرادية. وعندما تسقط الأبواغ السابحة على وسط غذائي مناسب، فإنها تتحوصل وتنبت لتعطي مشيجة جديدة.

قد تتحول المحتويات الهيولية لجسم الفطر بكامله إلى بنيات تكاثرية بتكوين كيس دائري أو أسطواني محاطاً بغلاف يحرر أبواغاً سابحةً أو أعراساً، وتسمى المشائج في هذه الحالة بالمشائج الثمرية الكاملة Holocarpic thalli، وتُعدُّ مجموعة الكيتريديات

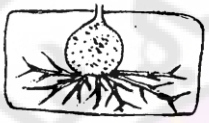
الثمريــة الكاملــة Holocarpic chytrids هــي الأكثر بدائيـة، ومـن أمثلتهـا الجنسـان *Olpidium* و *Synchytrium*. وفي عدد كبير من الكيتريديات الأخرى تتمـايز المشيجة إلـى جزء إعاشـي وجزء تكـاثري يعطـي أبواغـاً سـابحةً أو أعراسـاً، ويسـمى هــذا النمـط بالمشـائج الثمريـة الحقيقيــة Eucarpic thalli، وتُعــدُّ الأنــواع الكيتريديـة الثمريـة الحقيقية Eucarpic chytrids أكثر رقياً من المجموعة السابقة .

تختلف طريقـة إنبات الأبواغ السابحـة، فمثلا عنـد الفطر *Olpidium viciae* الذي يتطفـل علـى جـذور أنـواع الجـنس *Viciae*، يلتصـق البـوغ السـابح بخليـة المضـيف ثـم يتحوصل، وتثقب الحوصلة جدار الخلية المضيفة وتدخلها وتتحول إلى كتلة خلوية وحيدة النواة، وقد تبقى في نفس الخلية أو تهاجر إلى خلايا أخرى مجاورة، ثم تزداد هذه الخلية في الحجم، وتنقسم النواة عدة انقسامات، وفي النهاية يتشكل كيس بوغي يحرر أبواغاً سـابحة تخـرج لتصـيب نباتـات أخـرى. وقد تعطـي الأبـواغ السـابحة عنـد بعـض الأفـراد جهازاً جذرياً يحمل كيساً بوغياً واحداً، وتدعى المشائج في هذه الحالـة بالمشـائج أحاديـة المركز Monocentric thalli. وتتشكل فــي حـالات أخــرى تفرعــات جذريــة تدعــى بالمشـيجة الجذريـة Rhizomycelium يجـري عليهـا تشـكل عـدد كبيـر مــن الأكيـاس البوغيـة، وتـدعى بالمشـائج متعـددة المراكـز Polycentric thalli. وقد يخترق الجهاز الجذري فقط خلية المضيف ويكون الكيس البوغي سطحياً أو خارجياً أي سطحي التغذية Epibiotic كما في الفطر *Rhizophydium* sp. ، أو أن يكون الجهاز الجذري وكيس الأبـواغ ضـمن الخليـة المضـيفة وتسـمى داخليـة التغذيـة Endobiotic كمـا فـي الفطـر *Diplophlyctis* sp. ، ويوجد كلا النموذجين السابقين عند الفطر *Physoderma* sp. (الشكل 6 – 5).



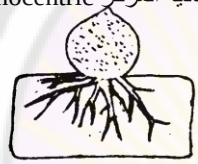
مشيجة ثمرية كاملة
Holocaric thalli

مشيجة ثمرية حقيقية Eucarpic



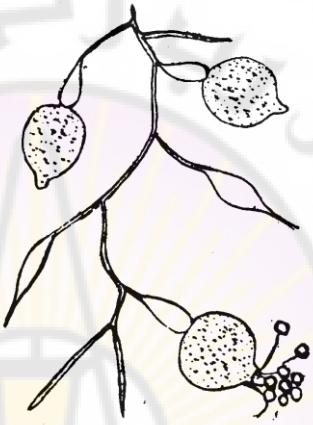
مشيجة داخلية التغذية Endobiotic

أحادية المركز Monocentric



مشيجة سطحية التغذية Epibiotic

أحادية المركز Monocentric



مشيجة متعددة المراكز Polycentric

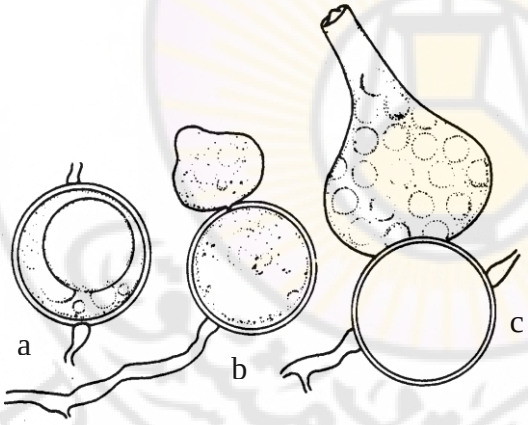
الشكل 6 – 5 : نماذج مختلفة من المشائج عند الفطريات الكيتريدية

التكاثر الجنسي Sexual reproduction

قد يغيب التكاثر الجنسي في الكثير من أنواع الكيتريديات، بينما يوجد في عدد قليل نسبياً منها. ويتم التكاثر الجنسي عند الفطريات الكيتريدية باتحاد أعراس متحركة، أو باتحاد الأكياس العروسية. وقد تقوم الأبواغ السابحة المتحوصلة بوظيفة الأكياس العروسية كما في الأنواع التابعة للجنس *Rhizophlyctis*. ويمكن حدوث التكاثر الجنسي باتحاد أشباه الجذور كما في الفطر *Chytriomyces hyalinus*، إذ تتكون البيضة الملقحة في نقطة اتحاد أشباه الجذور، وتنتقل محتويات المشيجتين المتلاقيتين إلى البيضة الملقحة Zygote من خلال أشباه الجذور. تحتوي البيضة الملقحة في البداية على نواتين تتحركان باتجاه مركز الخلية ليحصل الاندماج النووي. ويحتمل أن تكون بعض

أنواع الفطريات الكيتريدية متباينة المشائج Heterothallic، أي يتطلب التكاثر الجنسي وجود مشيجتين لسلالتين مختلفتين وراثياً.

تتحول البيضة الملقحة بعد تشكلها إلى بوغ ساكن. وفي الظروف غير المناسبة، يمكن أن تتكون الأبواغ الساكنة من الأكياس البوغية. ويمتاز البوغ الساكن بهيولى كثيفة، وجدار سميك ناعم أو مزركش. وعند الإنبات، ينشق البوغ الساكن فجأة، أو يكوّن ثقباً تخرج من خلاله محتويات البوغ. وفي بعض الكيتريديات، يخرج من الفتحة المتشكلة في جدار البوغ الساكن حوصلة رقيقة الجدار، تنتقل إليها محتويات البوغ الهيولية، لتتشكل بداخلها الأبواغ السابحة (الشكل 6 – 6). وفي عدد قليل من الكيتريديات، تتشكل الأبواغ السابحة داخل البوغ الساكن مباشرة.



الشكل 6 – 6: إنبات البوغ الساكن للفطر *Nowakowskiella macrospora*، ويلاحظ خروج الحوصلة أو الكيس البوغي (b)، ثم تشكل الأبواغ السابحة بداخله (c)

تضم هذه الرتبة حوالي خمسة وسبعين جنساً تحتوي على أربعمائة نوعاً تقريباً. وتتوزع هذه الأجناس في ست فصائل. سوف نستعرض باختصار بعض هذه الفصائل.

1– فصيلة أولبيدياسيه Family Olpidiaceae

تتحول المشيجة بكاملها إلى كيس أبواغ سابحة أو كيس أبواغ ساكنة أي أنها من الكيتريديات الثمرية الكاملة. ومشيجة هذه الفطريات داخلية الاغتذاء Endobiotic.

يعيش معظم أفرادها حياة مائية، متطفلة على الطحالب والفطريات والحزازيات والنباتات الزهرية ، إلا أن بعض أنواع الجنس *Olpidium* تتطفل على جذور النباتات الراقية.

تضم هذه الفصيلة عدة أجناس، ولعل أهمها وأكثرها انتشاراً هو الجنس *Olpidium*، الذي يضم أكثر من 25 نوعاً، يعيش معظمها متطفلاً على الطحالب في المياه العذبة والمالحة، وعلى حبوب الطلع، وعلى أبواغ بعض الفطريات الساقطة في الماء، أو على الحيوانات المائية الصغيرة، وعلى النباتات الراقية بين نسج النبات أو داخل خلاياه، إضافة إلى الأنواع الرمية التي تعيش داخل خلايا المضيف الميتة.

يتطفل الفطر *Olpidium brassicae* على جذور الملفوف والزهرة، ويؤدي إلى تلونها باللون الأسود. كما يصيب عدداً من نباتات الجنس *Brassica*. ويلعب هذا النوع دوراً أساسياً في الطبيعة كناقل للفيروس LBVA (Lettuce big vein agent) الذي ينتقل عن طريق بروتوبلاست الفطر أو عن طريق أبواغه السابحة.

ويتطفل الفطر *Olpidium viciae* على جذور نباتات من الجنس *Vicia*. وسوف نأخذ دورة حياة هذا الفطر كمثال عن أفراد هذه الفصيلة: عندما تتوفر الرطوبة المناسبة على سطح العائل، تتحرر الأبواغ السابحة وحيدة السوط الخلفي من الأكياس البوغية عن طريق أنبوبة التحرر، تسبح لفترة من الزمن، وتتحوصل على سطح العائل، وتحدث الإصابة عن طريق ثقب في جدار خلية المضيف، ثم ينتقل بروتوبلاست البوغ السابح المتحوصل إلى داخل خلية المضيف عبر الثقب تاركاً خلفه الحوصلة في الخارج على سطح الخلية. وبذلك تتشكل كتلة خلوية وحيدة النواة وعارية داخل خلية المضيف، وقد تبقى في الخلية نفسها، أو تنتقل إلى خلية أخرى مجاورة عن طريق إحداث ثقب أيضاً في جدارها. ثم تزداد خلية الفطر في الحجم، وتحيط نفسها بغشاء، وتنقسم النواة عدداً من الانقسامات ليتشكل كيس الأبواغ السابحة، التي تخرج عبر أنبوبة خروج واحدة، ونادراً عبر أكثر من أنبوبة، لتعيد دورة الحياة اللاجنسية (الشكل 6 – 7).

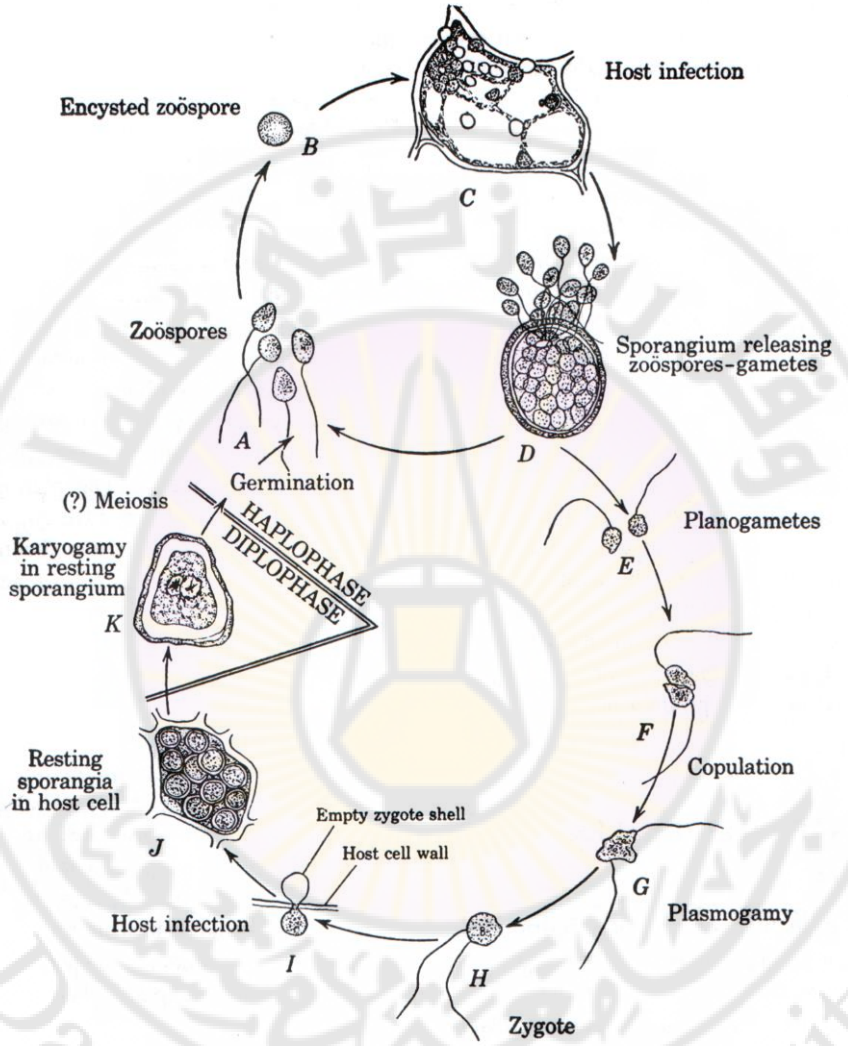
يمكن أن تسلك الأبواغ السابحة المتحررة من الأكياس البوغية سلوك الأعراس المتحركة باتحاد بوغين سابحين، وفي معظم الحالات تنشأ الأعراس المتحركة المتزاوجة من كيسين بوغيين مختلفين، ولكن لوحظ أيضاً اتحاد بين أعراس من الكيس البوغي نفسه. فالتكاثر الجنسي إذاً يتم عند أفراد هذه الفصيلة باتحاد الأعراس المتحركة المتماثلة Isogamy. وبنتيجة ذلك تتكون البيضة الملقحة ثنائية السياط التي تصيب خلية العائل بنفس الطريقة التي تتّبعها الأبواغ السابحة، ولكنها تتحول إلى كيس بوغي ساكن سميك الجدر، ومقاوم للظروف غير المناسبة إذ يمضي فصل الشتاء بهذه الحالة. ويكون الكيس البوغي في بادئ الأمر ثنائي النوى، ولا يحدث الاندماج النووي إلا قبل الإنبات مباشرة، ويكون متبوعاً بانقسام اختزالي، ثم يتشكل بعد عدة انقسامات عادية متتالية العديد من النوى التي يحاط كل منها بجزء من الهيولى لتتشكل الأبواغ السابحة وتتحرر عبر أنبوبة خروج (الشكل 6 – 7).

2 – فصيلة سينكيترياسيه Family Synchytriaceae

كما هي الحال في الفصيلة السابقة تتحول المشيجة بكاملها إلى كيس بوغي، فهي من الكيتريديات الثمرية الكاملة، وداخلية الاغتذاء أيضاً، وأكياسها البوغية غير غطائية.

تضم هذه الفصيلة ثلاثة أجناس أكبرها الجنس *Synchytrium* الذي يضم أكثر من 150 نوعاً تتطفل على النباتات الزهرية، بينما يتطفل الجنسان الآخران على الطحالب.

وسندرس الفطر *S. endobioticum* المسبب لمرض تورّم أو سرطان البطاطا "Potato wart disease" كمثال عن الجنس *Synchytrium*. يعتبر هذا النوع متطفل إجباري لعدد من أفراد العائلة الباذنجانية، ومنها البطاطا العائل الوحيد المزروع، وتستضيف بعض الأنواع البرية من الجنس *Solanum* هذا الفطر أيضاً. ينتشر في كل أنحاء العالم، و ليس لهذا الفطر أهمية اقتصادية كبيرة في سورية، ويشدد الحجر الزراعي على عدم إدخاله.



الشكل 6 – 7: دورة حياة الفطر *Olpidium viciae* (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A) أبواغ سابحة. (B) بوغ سابح متحوصل. (C) إصابة العائل. (D) كيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة أو أعراساً. (E) أعراس متحركة. (F) تزاوج الأعراس. (G) اندماج هيولي. (H) تشكل البيضة الملقحة. (I) إصابة العائل إذ تبقى حويصلة البيضة الملقحة على السطح وتدفع محتوياتها الهيولية داخل خلية المضيف. (J) كيس بوغي ساكن داخل خلية العائل. (K) اندماج نووي داخل الكيس البوغي الذي يحرر أبواغاً سابحة بعد حدوث الانقسام المنصف .

يمضي الفطر فصل الشتاء في التربة على شكل أكياس بوغية ساكنة بعد تحلل أنسجة الأورام الحاملة لها. وفي الربيع عندما تتجاوز درجة الحرارة 8 °م مع وجود رطوبة مناسبة، ينبت الكيس البوغي ليحرر عدداً كبيراً من الأبواغ السابحة وحيدة النواة وذات سوط خلفي واحد يسمح لها بالانتقال في غشاء رقيق من الماء في التربة حتى تصل إلى المضيف المناسب. وعندما يلتقي البوغ السابح بخلية المضيف يفقد سوطه، ويدخل بكامله إلى الخلية البشرية من خلال ثقب يحدثه في جدارها دون أن يترك أية حوصلة خارجية بعكس ما يحدث في الفطر *Olpidium* sp.. ثم تغوص إلى قاعدة الخلية أو تُحمل بالانسياب البروتوبلاسمي، وهناك تنمو خلية الفطر ويزداد حجمها، وبعد أن تصل إلى حجم معين تفرز جداراً غليظاً، ويُعرف هذا التركيب وحيد النواة باسم "البثرة الأولية " Prosorus (Pro = أولي + Soros = بثرة). ويترافق وجود الطفيل في خلية العائل بازدياد حجمها وتضخمها بشكل كبير، وتحرّض الخلايا المجاورة لموضع الإصابة على الانقسام والتضخم، وهذا ما يسمى بالإفراط في نمو الأنسجة Hypertrophy، مما يؤدي إلى تشكل أورام متضخمة ومشوهة، ومنها استُمد اسم المرض. تنبت البثرة الأولية بعد نضجها داخل خلية العائل، فيتمزق جدارها السميك، وينتقل البروتوبلاست محاطاً بغشاء رقيق شفاف إلى النصف العلوي من الخلية المصابة، ثم تنقسم النواة عدد من الانقسامات العادية المتتالية ليتشكل عدد كبير من النوى قد تصل إلى 32 نواة، ثم تُقسم البثرة الأولية بعدد من الجدر الرقيقة الشفافة إلى عدد من الأجزاء عديدة النوى، والتي يتراوح عددها من أربعة إلى تسعة أجزاء، وتتابع النوى في كل جزء انقساماتها ليتشكل عدد ضخم من النوى يصل في كل منها إلى 200 – 300 نواة وحيدة المجموعة الصبغية، وبذلك يتحول كل جزء إلى كيس بوغي صيفي Summer sporangium، وتدعى هذه الكتلة من الأكياس البوغية بالبثرة Sorus. ويؤدي ازدياد حجم الأكياس البوغية إلى الضغط على جدار البثرة من جهة، وعلى جدار الخلية المصابة من جهة أخرى، الأمر الذي يؤدي إلى تمزق البثرة وتحرر الأبواغ السابحة القادرة على إصابة الخلايا المجاورة وإحداث

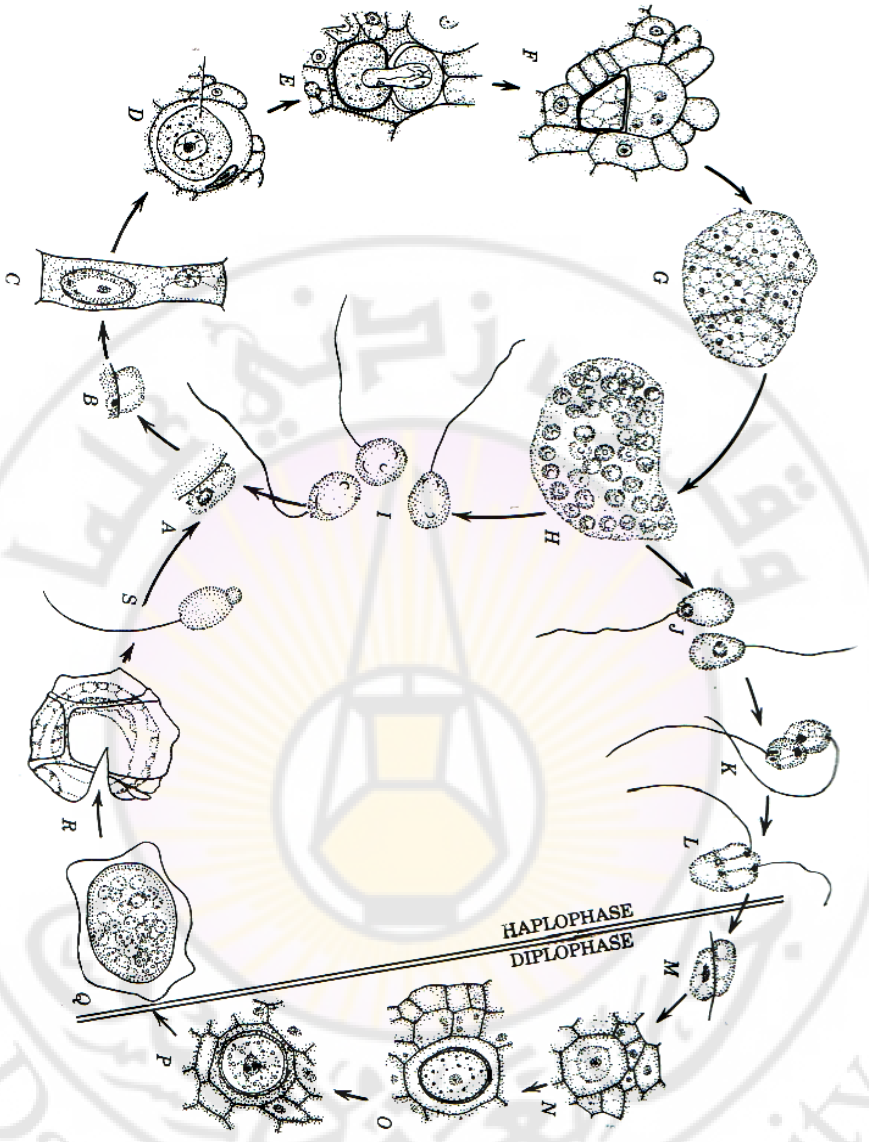
العدوى من جديد (الشكل 6 – 8). ويمكن أن تتكرر دورة حياة الفطر عدة مرات طالما هي الظروف مناسبة لذلك.

وفي الظروف غير الملائمة، مثل نقص الماء، يمكن للأبواغ السابحة أن تسلك سلوك الأعراس المتحركة التي تتحد مع بعضها بأشفاع. ويبدو أن الاقتران لا يحدث بين أعراس نشأت من الكيس البوغي نفسه، ولكن قد تندمج الأعراس المتحركة الآتية من أكياس بوغية مختلفة في نفس البثرة، مما يدل على وجود تباين فيزيولوجي بين الأعراس في الأكياس البوغية المختلفة. ويحدث تزاوج الأعراس على سطح العائل أو في التربة بوجود غشاء من الماء. ويكون الاندماج الهيولي متبوعاً باندماج نووي يؤدي إلى تشكّل البيضة الملقحة ثنائية السياط، التي تسبح لفترة من الزمن قبل أن تستقر على سطح العائل، وتحدث الإصابة بنفس الطريقة التي سبق شرحها بالنسبة للأبواغ السابحة. إذ تخترق جدار خلية بشرية، وتغوص إلى قاع الخلية المصابة، التي تأخذ بالتضخم والانقسام بفعل تحريض الفطر، مما يؤدي إحاطتها بالخلايا الجديدة الناتجة عن هذه الانقسامات غير الطبيعية. ثم تتحول الخلية الفطرية بعد أن تحاط بجدار سميك إلى كيس بوغي ساكن، ويدعى بالكيس البوغي الشتوي Winter sporangium (الشكل 6 – 8). وبعد تحلل أنسجة الأورام تتحرر الأكياس البوغية الشتوية في التربة، وتستطيع أن تبقى حية لمدة 30 سنة، وقد تصل إلى عمق 50 سم في التربة.

3 – فصيلة Family Rhizidiaceae

مشيجة الفطر وحيدة المركز Monocentric thalli، إذ يشكل أفراد هذه الفصيلة مشيجة جذرية متفرعة وغزيرة تحمل كيساً بوغياً وحيداً كروياً وغير غطائي .

تضم هذه الفصيلة 12 جنساً من أهمها *Polyphagus*. و *Rhizophlyctis*. وتضم هذه الفصيلة أيضاً أنواعاً تتطفل على طحالب المياه العذبة، ويعيش عدد كبير منها رمياً على بقايا أجسام الحشرات والنباتات في الماء والتربة.



الشكل 6 – 8: دورة حياة الفطر *Synchytrium endobioticum* (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A + B) اختراق البوغ السابح لخلية المضيف. (C) البوغ السابح داخل خلية المضيف. (D) بثرة أولية ناضجة. (E) إنبات البثرة الأولية. (F) انقسام نووي. (G) بثرة. (H) كيس بوغي. (I) أبواغ سابحة. (J) أعراس. (K) اندماج هيولي. (L) اندماج نووي. (M) اختراق البيضة الملقحة لخلية المضيف. (N) كيس بوغي ساكن. (O) مرحلة متقدمة من تشكل الكيس البوغي. (P) كيس بوغي ساكن وناضج. (Q) تشكل الأبواغ السابحة داخل الكيس البوغي. (R) كيس بوغي فارغ. (S) بوغ سابح.

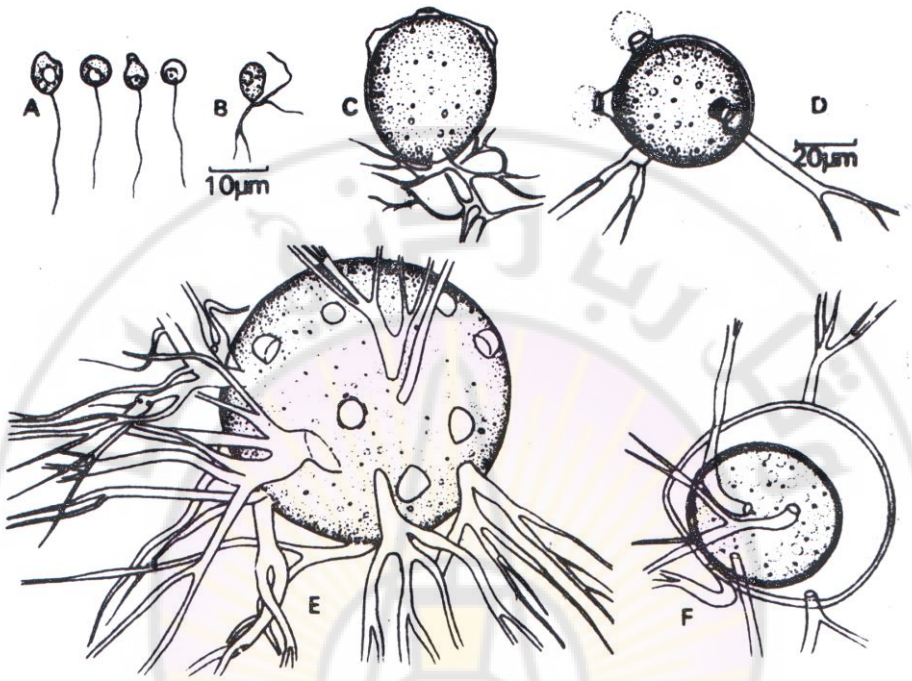
ينمو الفطر *Rhizophlyctis rosea* فوق الأوساط الغنية بالسيللوز لقدرته على تفكيك هذا النوع من السكريات المعقدة . بينما لا يستطيع الاستفادة من المصادر الكيتينية. يشكل الفطر أكياساً بوغية كروية. ويخرج من عدة نقاط على سطح الكيس البوغي جذيرات ذات نهايات مستدقة تنتشر في الوسط (الشكل 6 – 9). وعند نضج الكيس البوغي تتمايز محتوياته إلى عدد من الأبواغ السابحة وحيدة السوط الخلفي. ثم تتحرر عبر أنبوبة خروج واحدة أو أكثر، بعد انفتاح السدادة المخاطية الموجودة في نهاية كل منها. تسبح الأبواغ السابحة لفترة من الزمن، ثم تستقر في مكان مناسب، ويُسحب السوط، ثم يكبر جسم البوغ ليعطي طليعة الكيس البوغي Prosporangium، وتظهر في الوقت نفسه جذيرات عديدة في أماكن مختلفة من سطحه. ثم يتحول هذا الأخير إلى كيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة.

ويتم التكاثر الجنسي بين مشائج مختلفة وظيفياً، لذلك توصف هذه الفطريات بمتباينة المشائج Heterothallic.

4 – فصيلة Family Chytridiaceae

يتميز أفرادها عن غيرها من الفصائل السابقة بالطريقة التي ينفتح فيها كيس الأبواغ ليحرر أبواغه، إذ يتم بانفتاح غطاء مستدير أو ما يسمى Operculum، وتتمايز المشيجة إلى جزء إعاشي وجزء تكاثري، وقد تكون خارجية أو داخلية الاغتذاء، ويعيش معظم أفرادها متطفلاً أو رمياً على الطحالب البحرية، وطحالب المياه العذبة، أو على الفطريات المائية وحبوب الطلع.

تضم هذه الفصيلة 12 جنساً منها الجنس *Chytridium* الذي يضم حوالي 40 نوعاً تتطفل على الطحالب والفطريات أو وحيدات الخلية الحيوانية. والجنس *Chytriomyces* الذي تعيش أنواعه مترممة في الماء العذب، وتتطفل على الحشرات وذبابة أيار.



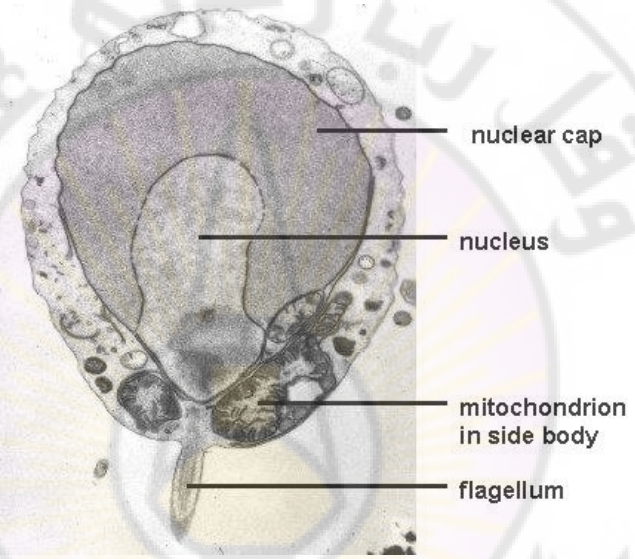
الشكل 6 – 9: الفطر *Rhizophlyctis rosea*. (A) أبواغ سابجة، (B) مشرة فتية، (C) مشرة بالغة، (D) كيس بوغي تظهر عليه السدادات المخاطية عند قمم حليمات الخروج، (E) كيس بوغي ناضج عليه عدد من حليمات الخروج مع وجود جذيرات غزيرة، (F) كيس بوغي ساكن ضمن كيس بوغي فارغ.

2 – رتبة بلاستوكلاديالس Blastocladiales

يعيش أفرادها في الماء أو التربة رميّاً على النباتات أو الحيوانات المتحللة، ويتطفل البعض منها على الديدان الخيطية والحشرات وفطريات أخرى.

فطريات هذه الرتبة أكثر تعقيداً من فطريات الرتبة السابقة. إذ يتكوّن جسم الفطر من خيوط فطرية Hyphae، وبالتالي فإنها تمتاز بوجود مشيجة حقيقية. وتتكاثر لاجنسياً عن طريق الأبواغ السابحة وحيدة السوط الخلفي، التي تتكون داخل أكياس بوغية. إلا أن الأبواغ في هذه الرتبة تختلف عن مثيلاتها في الرتبة السابقة بأن الريبوزومات التي

تحيط بالنواة تكون محاطة بغلاف أو قبّعة نووية وهي عبارة عن امتداد للغشاء النووي (الشكل 6 – 10). المشائج وحيدة المركز Monocentric أو متعددة المراكز Polycentric. وتمتاز دورة حياة بعض أفراد هذه الرتبة بتعاقب طورين: الطور البوغي والطور العروسي .



الشكل 6 – 10: مقطع في بوغ سابح مميز لرتبة البلاستوكلاديالس Blastocladiales إذ يلاحظ أن الريبوزومات المحيطة بالنواة مغلّفة بغشاء نووي يدعى بالقبّعة النووية (Nuclear cap (NC .

تضم هذه الرتبة سبعة أجناس موزعة في ثلاث فصائل، أكبرها وأكثرها انتشاراً الفصيلة Blastocladiaceae.

– الفصيلة Family Blastocladiaceae

تتكوّن مشيجة الفطر من أشباه جذور متفرعة Rhizoids تثبّت الفطر بالوسط الموجود عليه، وتحمل جزء شبيه بالجذع مع عدة فروع جانبية عادة ثنائية التشعب،

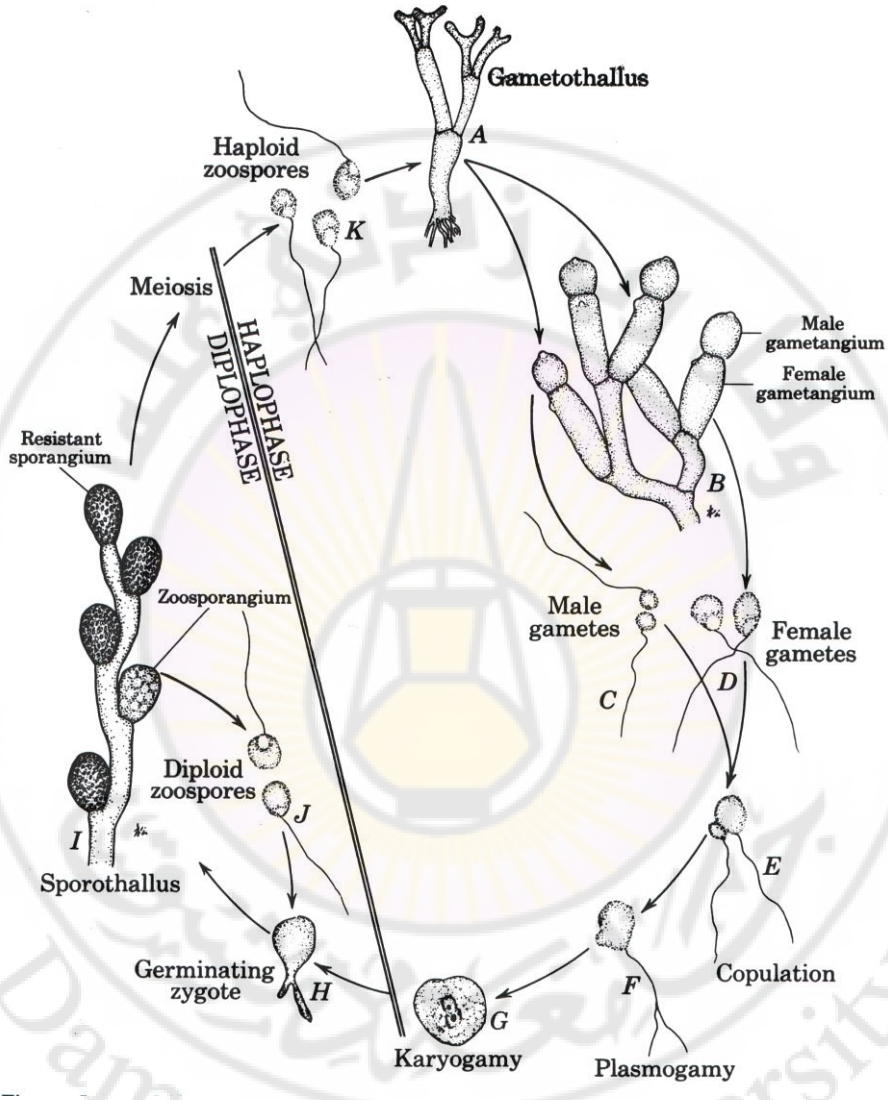
تتشكل عليها الأكياس البوغية والأكياس العروسية. وقد تكون المشيجة في بعض الأنواع بسيطة وغير متفرعة. الخيوط الفطرية غير مقسمة، إلا أنه في بعض الأنواع توجد حواجز كاذبة مثقّبة Pseudosepta. ففي الفطر *Allomyces* sp. تتضيق الخيوط الفطرية في أماكن مختلفة، وتتشكل حواجز كاذبة في أماكن التضيق. وتحتوي جدر الخيوط الفطرية على الكيتين.

ويمتاز أفراد هذه الرتبة بوجود نموذجين من المشائج : المشائج العروسية Gametothalli (مشائج أحادية المجموعة الصبغية)، والمشائج البوغية Sporothalli (مشائج ثنائية المجموعة الصبغية)، والتي يصعب التمييز بينها إلا بما تحمله من أعضاء تناسلية، فالمشائج العروسية تنتج أكياساً عروسيةً Gametangia، بينما تنتج المشائج البوغية أكياساً بوغية Sporangia. ويتم التكاثر الجنسي بين أعراس متحركة متشابهة أو متباينة بحسب الأنواع.

تضم هذه الفصيلة أربعة أجناس، سوف نأخذ الجنس *Allomyces* كمثال عن هذه الفصيلة. يضم هذا الجنس عدداً من الأنواع، ويعدُّ *A. macrogynus* من الأنواع المدروسة بشكل جيد، إذ يتم خلال دورة الحياة إنتاج مشيجة نصفية ومشيجة مضاعفة (الشكل 6 – 11).

فالمشيجة النصفية Haploid thallus هي المشيجة العروسية Gametothallus، التي تنتج أكياساً عروسية Gametangia مؤنثة ومذكرة عند النضج، وتتشكل هذه الأكياس العروسية في أشفاع إذ تكون الأكياس المذكرة Male gametangia طرفية وذات لون برتقالي نظراً لوجود صبغات الكاروتين، بينما تكون الأكياس المؤنثة Female gametangia تحت طرفية وعديمة اللون وأكبر حجماً بعدة مرات من الأكياس المذكرة، وبذلك يعتبر هذا النوع مثالاً عن الأنواع ذات التزاوج غير المتماثل Anisogamous، ويعرف منذ زمن طويل أن الأعراس المذكرة تنجذب نحو الأعراس المؤنثة عن طريق الهرمون (Sirenin) الذي تفرزه الأعراس المؤنثة، ومع ذلك تم

حديثاً الكشف عن هرمون تفرزه الأعراس المذكرة لجذب الأعراس المؤنثة ويسمى هذا الهرمون Parisin. عندما تتزاوج الأعراس المؤنثة والمذكرة المتحررة من الأكياس العروسية تتكوّن البيضة الملقحة Zygote، التي تأخذ في الاستقرار وتفقد سياطها وتستدير وتبدأ بالإنبات، إذ تعطي في بادئ الأمر أنبوبة إنبات تنبثق منها أشباه جذور، ثم يأخذ الجسم الرئيسي للبيضة الملقحة بالاتساع ويعطي أول أنبوبة خيطية تتفرع تفرعاً ثنائي الشعبة تنمو إلى مشيجة ثنائية المجموعة الصبغية Diploid thallus وهي المشيجة البوغية Sporothallus التي تنتج نوعين من الأكياس البوغية Zoosporangia، إذ يسمى الأول Zoosporangium (Mitosporangium)، والآخر هو الكيس البوغي المقاوم Resistant sporangium (Meiosporangium)، ويتشكل هذان النوعان عادة بشكل طرفي. تعطي الأكياس البوغية رقيقة الجدران Mitosporangia أبواغاً سابحة ثنائية المجموعة الصبغية Diploid zoospores تنبت لتعطي عدداً من المشائج البوغية Sporothalli، إذ تعمل هذه الأبواغ السابحة كوسيلة للتكاثر اللاجنسي، وما دامت الظروف البيئية مناسبة للطور البوغي فإن الأبواغ السابحة سوف تستمر في التشكل بهذه الطريقة، وعندما تصبح الظروف غير مناسبة للطور البوغي تموت المشائج البوغية، وتتشكل أكياس بوغية ذات جدر ملونة وثخينة ومقاومة للظروف غير المناسبة إذ تحافظ على حياة الفطر بعد موت المشيجة، وبعد أن تصبح الظروف مناسبة، يحدث انقسام منصف في الأكياس البوغية المقاومة لتعطي من جديد أبواغاً سابحة وحيدة المجموعة الصبغية Haploid zoospores أصغر حجماً بقليل من الأبواغ السابحة الثنائية المجموعة الصبغية، والتي تنبت لتعطي المشائج العروسية Gametothalli.



الشكل 6 – 11: دورة حياة الفطر *Allomyces macrogymus* (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A) مشيجة عروسية نصفية الصيغة الصبغية. (B) تشكل أكياس عروسية مذكرة وأخرى مؤنثة. (C) أعراس مذكرة. (D) أعراس مؤنثة. (E) تزاوج الأعراس. (F) اندماج هيولي. (G) اندماج نووي. (H) إنبات البيضة الملقحة. (I) مشيجة بوغية ثنائية الصيغة الصبغية تنتج أكياساً بوغية Zoosporangia تحرر بدورها أبواغاً سابحة ثنائية الصيغة الصبغية (J)، وأكياس بوغية مقاومة Resistant sporangia تحرر أبواغاً سابحة وحيدة الصيغة الصبغية (K) بعد حدوث الانقسام المنصف .

صف الفطريات الكيتريدية الخيطية

Class Hyphochytridiomycetes

رتبة الكيتريديات الخيطية Order Hyphochytriales

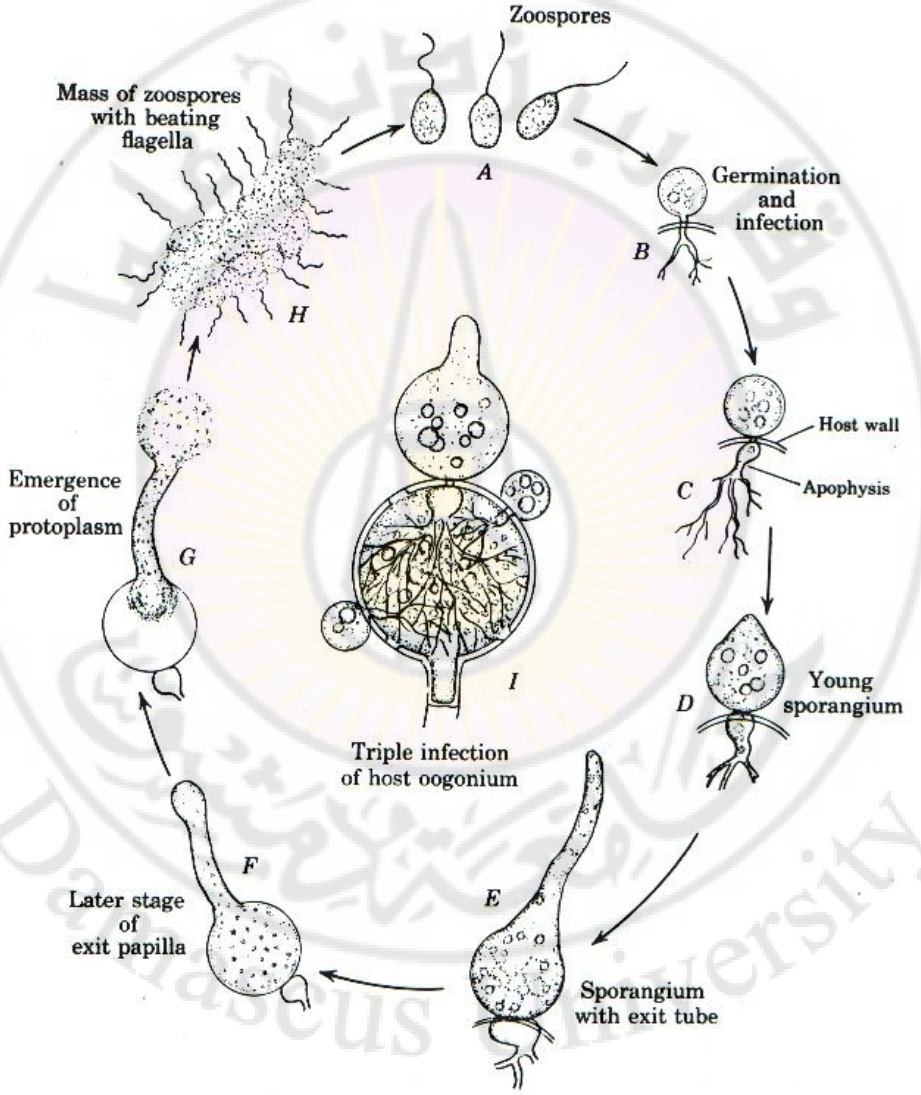
هي الرتبة الوحيدة في هذا الصف. وهي مجموعة صغيرة نسبياً تضم حوالي 15 نوعاً معروفاً لها، تعيش في التربة وفي المياه العذبة أو المالحة مترممة على الأجزاء النباتية أو الحشرات الميتة، ويعيش بعض أفراد هذه المجموعة متطفلاً على الأبواغ البيضية للفطريات البيضية Oomycetes و الأبواغ الزيجية للفطريات الزيجية المشكلة للميكوريزا الداخلية Endomycorrhiza، أو متطفلة على البريويات.

تكون المشيجة داخلية وتتحول بكاملها إلى كيس بوغي في الأنواع ذات المشائج كاملة الإثمار، أما في الأنواع ذات المشائج الحقيقية الإثمار تتمايز المشيجة إلى عضو تناسلي واحد يحمل مجموعة من أشباه الجذور المتفرعة أي أنها وحيدة المركز كما هي الحال عند الجنس *Rhizidiomyces*، أو قد تكون متعددة المراكز كما في الجنس *Hyphochytrium* وتتركب من خيوط فطرية متفرعة يوجد فيها بعض الحواجز.

الأكياس البوغية غير غطائية، وتتشكل الأبواغ السابحة عند بعض أفرادها بشكل كامل داخل الكيس البوغي، ثم تتحرر من خلال أنابيب خروج، بينما تخرج البرتوبلاسما في البعض الأخر من خلال فتحة الكيس البوغي ثم يكتمل تشكل الأبواغ السابحة خارجه. والتكاثر الجنسي غير معروف بشكل جيد عند أفراد هذه المجموعة من الفطريات. ويمثل الشكل (6 – 12) دورة حياة الفطر *Rhizidiomyces apophysatus* كمثال عن هذه المجموعة من الفطريات.

تمتاز الأبواغ السابحة عند هذه الفطريات عن غيرها من الفطريات الأخرى بوجود سوط أمامي وريشي. ومن غير المؤكد إن كانت الجدر الخلوية عند كل أفراد هذه

المجموعة تحتوي على الكيتين والسيللوز معاً، إذ ذكرت بعض المراجع احتواء بعض الأفراد على مركب الكيتين في جدرها الخلوية والبعض الأخر على السيللوز.



الشكل 6 – 12: دورة حياة الفطر *Rhizidiomyces apophysatus*. (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

الفصل السابع

قسم الفطريات الحقيقية السوطية

Division Eu-mastigomycota

تحت قسم الفطريات ثنائية السوط

Sub-division Diplomastigomycotina

صف الفطريات البيضية Class Oomycetes

الصفات العامة للفطريات البيضية General characteristics of Oomycetes

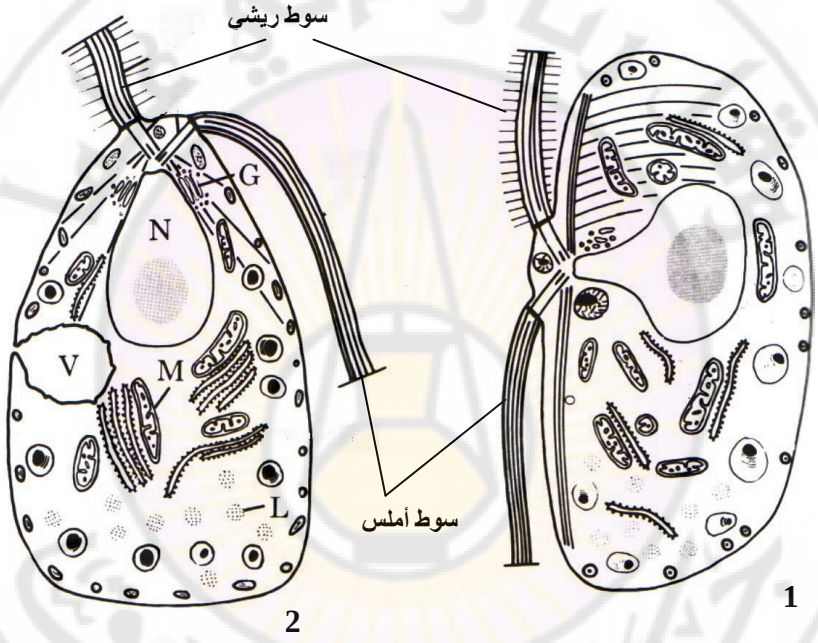
يعيش أفرادها في الماء أو في التربة مترممة على المواد العضوية، أو متطفلة على النباتات الراقية مسببة لها أمراضاً ذات أهمية اقتصادية، وتُعَدُّ الأنواع المائية أكثر تطوراً من الناحية الخلوية، ومن أهم الصفات التي تميز الفطريات البيضية:

1– تتكوّن المشيجة من خيوط فطرية غير مقسمة (Coenocytic) كثيرة النوى، ولا تتكوّن الجدر أو الحواجز الخلوية إلا لفصل الأعضاء الجنسية والأبواغ الكونيدية (الأكياس البوغية) عن خيوط الفطر التي نشأت منها.

2– يحتوي الجدار الخلوي على معقد من السيللوز و بيتا- جلوكانات (beta-1,3;1,6 D-glucose)، كما تمتاز عن بقية الفطريات بعدم وجود الكيتين. على الرغم من أن بعض المراجع تشير لوجود الكيتين والسيللوز معاً عند بعض أفرادها.

3– يتم التكاثر اللاجنسي عن طريق الأبواغ المهدّبة أو السابحة Zoospores ثنائية السياط حيث يكون إحداهما ريشياً والآخر شريطياً، وتتشكل هذه الأبواغ في أكياس بوغية Zoosporangia، ويمكن أن نميز في الفطريات البيضية نموذجين من الأبواغ السابحة: أبواغ سابحة أولية Primary zoospores ذات سوطين أماميين إحداهما

أملس أو عديم الشعيرات يتجه نحو الخلف، والآخر مزين بشعيرات دقيقة جداً ويسمى بالسوط الريشي ويتجه نحو الأمام كما في الرتبتين Saprolegniales وLeptomitales، وأبواغ سابحة ثانوية Secondary zoospores ذات سوطين جانبيين كما هي الحال في كل الرتب (الشكل 7 – 1).



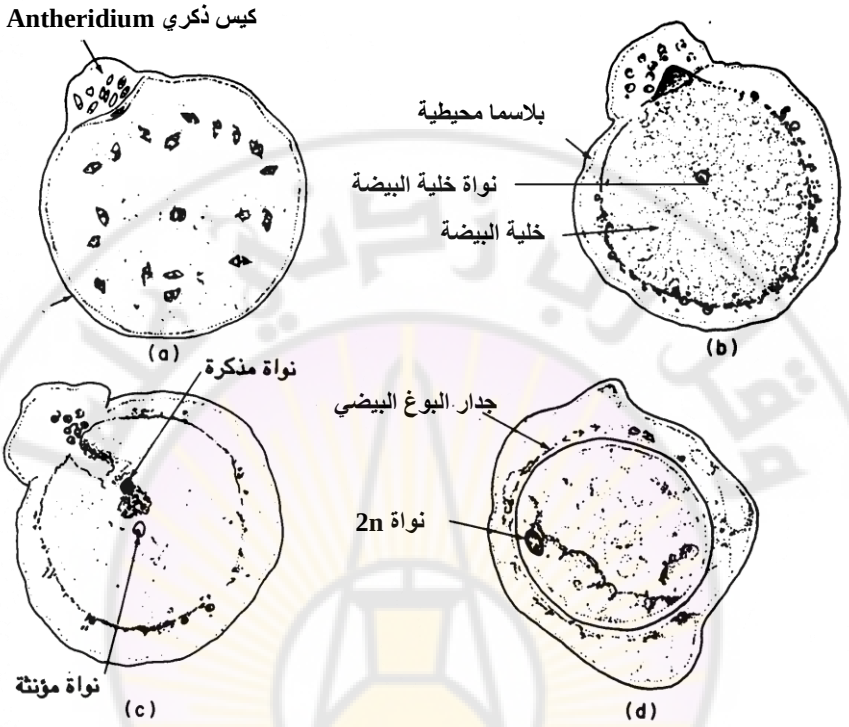
الشكل 7 – 1: نماذج الأبواغ السابحة عند الفطريات البيضية. (1) بوغ سابح ذو سوطين جانبيين. (2) بوغ سابح ذو سوطين أماميين. السوط الريشي متجه نحو الأمام والأملس متجه نحو الخلف. (عن Alexopoulos & Mims, 1979).

4 – لقد أثبتت الدراسات الحديثة التي أجريت على الفطريات البيضية أن مشائج هذه الفطريات - على الأقل عند أفراد الرتبتين Saprolegniales و Peronosporales التي درست بشكل جيد - تكون ثنائية المجموعة الصبغية (2n)، وبذلك فهي تختلف اختلافاً كلياً عن بقية الفطريات الأخرى، ويحدث الانقسام الاختزالي في الأعضاء

الجنسية الثنائية المجموعة الصبغية قبل أن يحدث الاندماج بين محتوياتها، وليس في البوغ البيضي كما هو شائع.

5– يتم التكاثر الجنسي عن طريق تلامس الأكياس العروسية Gametangia contact، الكيس الذكري Antheridium والأنثوي Oogonium، والتي تنشأ في نهاية الخيوط الفطرية ونادراً ما تكون بينية، وتفصلها عن هذه الخيوط جدر مستعرضة، و العضو المؤنث كروي أو كمثري الشكل وأكبر حجماً من العضو المذكّر الذي يأخذ أشكالاً مختلفة حسب النوع وغالباً مستطيل، و يتميز في العضو المؤنث طبقتان الأولى بروتوبلاسمية محيطية ذات قوام خفيف وتدعى بالهيولى المحيطية Periplasm، وبرتوبلاسما داخلية ذات قوام كثيف وتسمى هيولى البيضة Ooplasm التي تحتوي على نواة واحدة وحيدة المجموعة الصبغية (الشكل 7 – 2). وقد يوجد في كيس البيض خلية بيضية واحدة Oosphere أو أكثر تقوم بوظيفة الأعراس المؤنثة. ويمكن أن تكون الخلية البيضية عبارة عن خلية محددة ذات جدار واضح ومكتمل وحرة داخل كيس البيض أو أن تكون عارية داخل البروتوبلاسما المحيطية وذلك تبعاً للأنواع. وقد يحدث التكاثر الجنسي بين الأعضاء المذكرة والمؤنثة على نفس المشيجة في الأنواع متجانسة المشائج، أو على مشيجتين مختلفتين في الأنواع متخالفة المشائج.

يلتصق العضو المذكر والعضو المؤنث ويرق الجدار عند نقطة الاتصال، و يرسل العضو المذكر أنبوبة إخصاب تخترق جدار العضو المؤنث في نقطة الاتصال الرقيقة وتصل إلى الخلية البيضية. يفرغ العضو المذكر محتوياته عن طريق أنبوبة الإخصاب معطياً نواة ذكريه واحدة أو أكثر، لتتوضع نواة مذكرة بالقرب من كل خلية بيضية، ثم تتحد النواتان المؤنثة والمذكرة ويتم بذلك الإخصاب (الشكل 7 – 2)، ثم ينكمش العضو المذكر ويتلاشى، ويتكوّن البوغ البيضي Oospore محاطاً بجدار سميك. وقد تنمو الخلية البيضية Oosphere دون إخصاب لتعطي بوغاً بيضياً ذو جدار سميك .



الشكل 7 – 2: مراحل الإخصاب عند الفطريات البيضية. (a) انقسام النواة داخل العضوين الذكري والأنثوي، وقد بدأت النوى في كيس البيض بالهجرة باتجاه الطبقة المحيطية، (b) ظهور البروتوبلاسما المحيطية وقد بدأ تشتت النوى، (c) مرور النواة المذكرة إلى داخل الخلية البيضية Oosphere، (d) حدوث الاتحاد النووي داخل البوغ البيضي وبدء تشكل الجدار المحيط . (عن عمار، 2002) .

ويتم إنبات البوغ البيضي بإحدى الطريقتين التاليتين :

- إنبات غير مباشر ينتج عنه العديد من الأبواغ المهدّبة أوالسابحة سالكاً سلوك الكيس البوغي، أو أنه يرسل حاملاً ينتهي بكيس بوغي، ويحدث هذا الإنبات عند توفر رطوبة عالية ودرجة حرارة أقل من 18 °م (10– 12 °م).

- إنبات مباشر معطياً أنبوبة إنبات تنمو لتكوّن مشيجة فطرية، ويحدث ذلك عادة في الجو الجاف نسبياً ودرجة حرارة أعلى من 18 °م.

يضم صف الفطريات البيضية حسب Sparrow (1976) ست رتب. سوف نتحدث باختصار عن رتبتي السابروليجنيالس والبيرونوسبورالس كمثال عن هذه المجموعة من الفطريات.

1– رتبة سابروليجنيالس Order Saprolegniales

يعيش أفراد هذه الرتبة على البقايا النباتية أو الحيوانية في الماء أو التربة، أو طفيلية على الطحالب و الحيوانات المائية و الأسماك، ويتطفل بعضها على جذور بعض النباتات في التربة كالشوندر السكري والبازلاء وغيرها من المحاصيل، وتسبب أضراراً اقتصادية، ويمكن تنمية أفرادها بصورة نقية في البيئات الصلبة والسائلة.

الفصيلة سابروليجنياسيه Family Saprolegniaceae

تضم حوالي 17 جنساً وما يقرب من 150 نوعاً، يعيش أفرادها في الماء والتربة مترممة على البقايا النباتية والحيوانية، كما يعيش بعض أفرادها متطفلاً على الطحالب و الحيوانات المائية، أو على جذور النباتات الراقية كالبازلاء والفجل والشوندر السكري مثل أنواع الفطر *Aphanomyces* sp.، أوتتطفل على الأسماك وتسبب لها أمراضاً خطيرة مثل الفطر *Saprolegnia parasitica*. فإذا قمنا برمي عدة ذبابات ميتة في ماء مأخوذ من مستنقع أو حوض ماء راكد، نلاحظ بعد عدة أيام شبكة من الخيوط الفطرية البيضاء التي تغطي جسم الحشرة وهي غالباً خيوط الفطر *Saprolegnia* sp. .

بضم الجنس *Saprolegnia* حوالي 17 نوعاً تعيش مترممة في الماء على البقايا النباتية والحيوانية، أو متطفلة على الفطريات والبريويات والأسماك، ويعيش بعض أفراده في الترب الرطبة. كما أنه يصيب بيوض الأسماك حيث يلتصق بها ثم يخترق جدرها، وتتحمل المياه المالحة حتى تركيز 2.8 %.

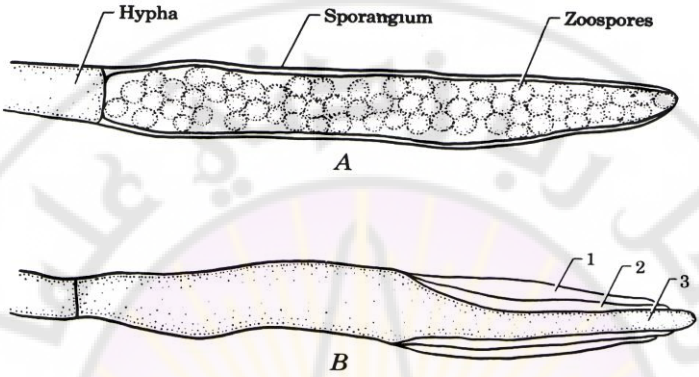
تتكون المشيجة من خيوط فطرية شبه جذرية تخترق الطبقة التحتية وتستخدم للتثبيت وامتصاص المواد الغذائية، وخيوط فطرية كثيرة التفرع وغير مقسمة بحواجز عرضية توجد خارج الطبقة التحتية، وتتشكل الحواجز فقط لفصل الأعضاء التكاثرية.

يحدث التكاثر اللاجنسي بتشكيل أكياس بوغية Zoosporangia غير متمايزة، خيطية البنية، يكون قطرها عادة أكبر بقليل من قطر الخيوط الفطرية المنتجة لها، ويفصلها عنها حاجز عرضي (الشكل 7 – 3)، وتحتوي على هيولى كثيفة والعديد من النوى التي انتقلت إليها من الخيط الفطري قبل تشكل الحاجز، ثم يتجمع جزء من هذه الهيولى حول كل نواة وتحاط بغلاف لتتشكل بذلك الأبواغ السابحة التي تتحرر من خلال فتحة عند طرف الكيس البوغي.

ويمكن أن نميز نوعين من الأبواغ السابحة: الأبواغ السابحة الأولية Primary zoospores كمثرية الشكل وثنائية السياط الأمامية التي تتحرر من الأكياس البوغية، وتسبح لمدة 5 – 10دقائق، ثم تتحوصل وتسكن لمدة تصل إلى أربع ساعات أو أكثر. وعندما تنبت تحرر أبواغاً سابحة ثانوية Secondary zoospores كلوية الشكل وذات سوطين جانبيين متصلين بالبوغ من الجانب المقعر، إحداهما ريشي والآخر أملس. تسبح هذه الأبواغ لفترة أطول من الأبواغ السابحة الأولية قد تصل إلى 30 دقيقة، ثم تتحوصل وتنبت لتعطي خيطاً فطرياً جديداً. وبعكس الأبواغ السابحة الأولية التي تتحوصل لمرة واحدة فقط، فإن الأبواغ السابحة الثانوية يمكن أن تتحوصل عدة مرات، وفي كل مرة يمكن أن تعطي أبواغاً سابحة ثانوية، وتدعى عملية تكرار دورات التحوصل ثم تحرير الأبواغ بتعدد الفترات السابحة "Polyplanetism"، وتعد الأبواغ الثانوية طور الانتشار الرئيسي والعدوى عند الفطر *Saprolegnia* sp. .

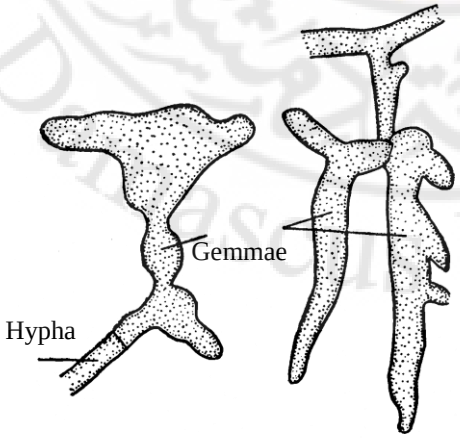
ما يميز هذا الجنس وجود ظاهرة التوالد المتداخل أو التجديد الداخلي Internal proliferation إذ تتشكل أكياس بوغية جديدة داخل الكيس القديم، فبعد أن تفرغ الأكياس من الأبواغ، يتقوس الحاجز الذي يفصل الكيس البوغي عن الخيط الفطري نحو الأعلى

داخل الكيس الفارغ، ويزداد في نموه حتى يملأه، ويتكون بذلك كيس بوغي جديد، وقد يصل عدد الأكياس المتشكلة في بعض الأحيان إلى 6 أكياس (الشكل7– 3).



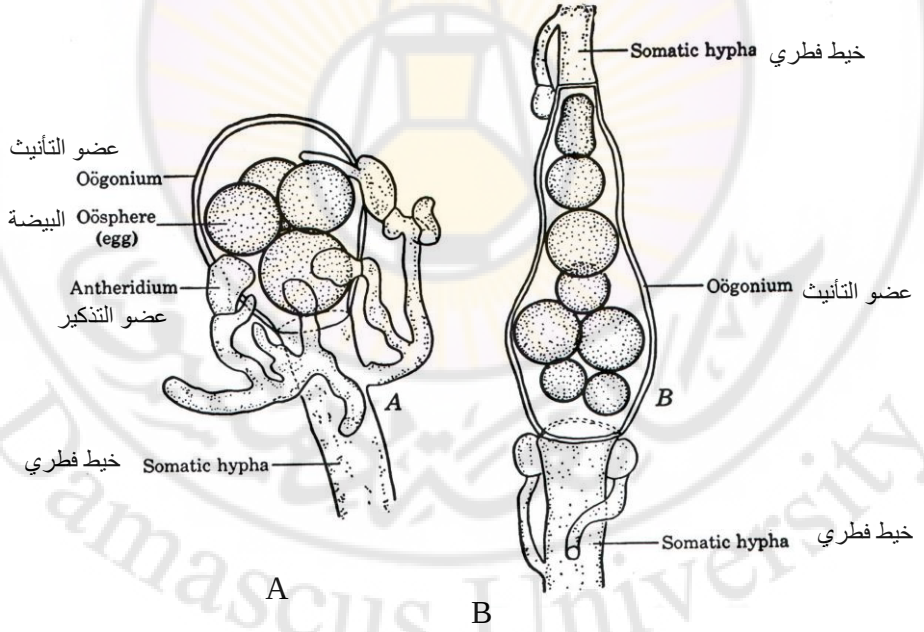
الشكل 7 – 3: (A) كيس بوغي ناضج للفطر *Saprolegnia* sp. (B) ظاهرة تشكل أكياس بوغية داخلية بعملية التجديد. (1 ،2) أغلفة فارغة لأكياس بوغية، (3) كيس بوغي متكشّف (عنAlexopoulos & Mims, 1979).

وهناك طريقة أخرى من التكاثر اللاجنسي عند الفطر *Saprolegnia* sp. عند نموه في شروط خاصة، وتتم بتشكيل الأبواغ الكلاميدية، التي تدعى أحياناً بالجيمات أو البراعم "Gemmae"، والتي تكون عادة طرفية مفردة أو بشكل سلاسل، تنفصل عند نضجها، وتنبت لتعطي أنابيب إنبات تنمو لتشكل خيوطاً فطرية أو تتحول إلى أكياس بوغية قصيرة الأعناق (الشكل 7 – 4).



الشكل 7 – 4: الأبواغ الكلاميدية أو الجيمات Gemmae عند الفطر *Saprolegnia* .

أمـا التكـاثر الجنسـي فيـتم بتكـوين أعضـاء مؤنثـة Oogonia وأعضـاء مـذكرة Antheridia، وتتكـون الأكيـاس المؤنثـة منفـردة علـى أطـراف الخيـوط الفطريـة ثنائيـة المجموعـة الصـبغية، وقد يتكون أحيانـاً عدد منهـا بالتتـالي، وتُحمل علـى أطـراف خيـوط فطرية طويلة أو على تفرعات جانبية قصيرة، ويفصلها عنها حـاجز عرضـي، وقد تكون الأكياس البيضية أحياناً بينية (الشكل 7 – 5). ويحتوي العضو المؤنث علـى بروتوبلاسـما متعـددة النـوى تنقسـم انقسـاماً اختزاليـاً، ثـم يضـمحل عـدد منهـا، وتتجـزأ البروتوبلاسـما ليتشكل عدد كبير من الخلايا البيضية الكروية الشكل والوحيدة المجموعـة الصـبغية والتـي يصل عددها إلى ثلاثين بيضـة، وقد تكون الخليـة البيضـية وحيدة النـواة أو متعـددة النـوى وفي هذه الحالة فإن نواة واحدة فقط يتم إخصابها بينما تزول النوى الأخرى.



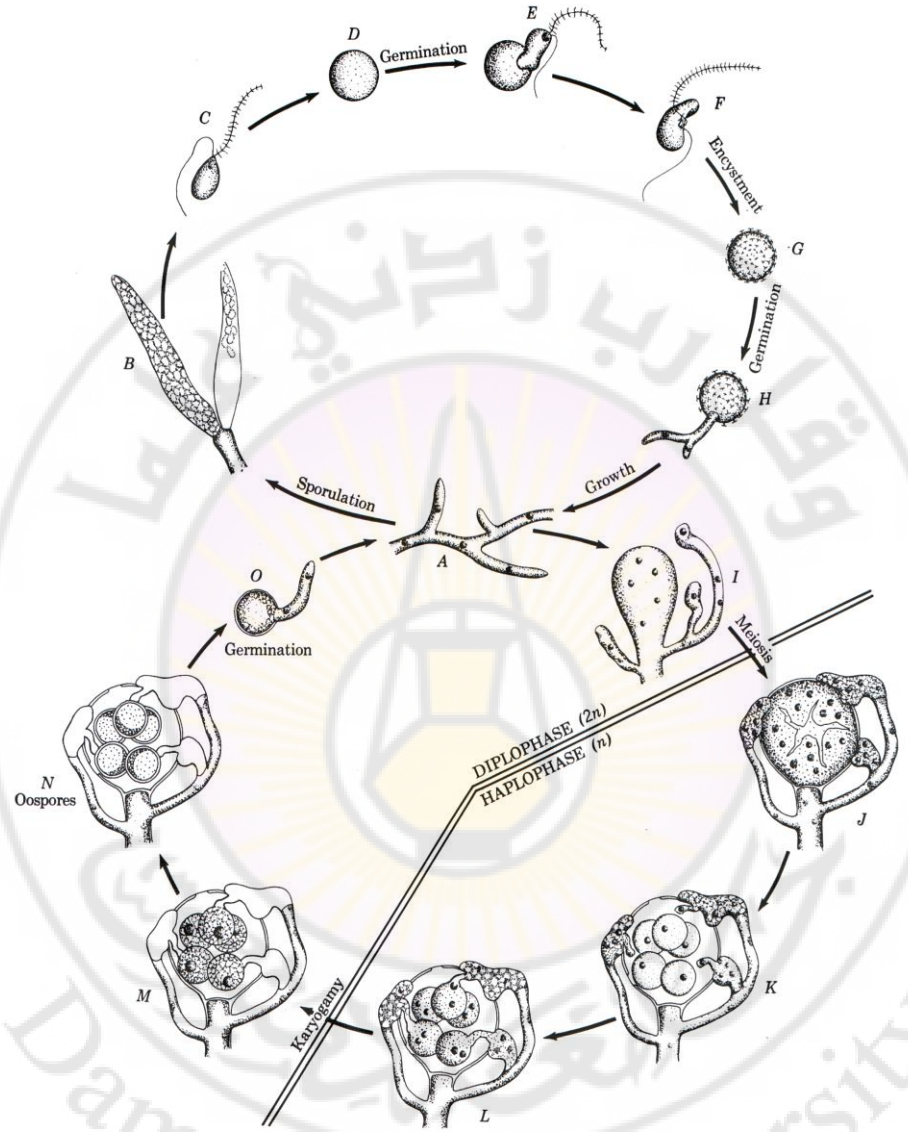
الشكل 7– 5: الأعضاء التكاثرية عند الفطر *Saprolegnia litoralis* . (A) عضو مؤنث أو كيس بيضي طرفي Oogonium مع الأعضاء أو الأكياس الذكرية Antheridia، (B) كيس بيضي بيني.

وأثناء تشكل الخلايا البيضية داخل الكيس البيضي، يخرج من المشيجة فرع جانبي يأخذ بالتفرع جانبيا ويدعى بحامل الكيس الذكري، ويتضخم الجزء الطرفي للكيس الذكري قليلاً، ويمتلئ بالبروتوبلاسما متعددة النوى ثنائية المجموعة الصبغية، ثم يتشكل حاجز عرضي يفصل العضو المذكر عن بقية الخيط الفطري، ثم يحدث انقسام اختزالي يؤدي إلى تشكل نوى وحيدة المجموعة الصبغية تقوم بوظيفة الأعراس المذكرة. وقد يتشكل العضو المذكر على الخيط نفسه الذي يحمل العضو المؤنث كما هي الحال في الفطر *Saprolegnia monoica*، أو أن يتشكل على خيط أخر مستقل كما في الفطر *S. dioica*. وعندما يتلامس العضوان المذكر والمؤنث، يخرج من العضو المذكر أنبوبة إخصاب تخترق جدار العضو المؤنث لتصل إلى الخلية البيضية حيث يتم الإخصاب، وإذا كان العضو المؤنث يحتوي على أكثر من خلية بيضية، فإن أنبوبة الإخصاب تتفرع بحيث يستطيع عضو مذكر واحد أن يلقح عدداً من الخلايا البيضية، ويتشكل بذلك عدد من الأبواغ البيضية التي تبقى داخل كيس البيض ولا تنطلق إلى الخارج (الشكل 7 – 6) .

وبعد فترة سكون يبدأ إنبات البوغ بانقسام النواة عدة انقسامات عادية، ثم يعطي أنبوبة إنبات قصيرة وغير متفرعة تخترق جدار كيس البيض المنحل لتعطي خيطاً فطرياً صولجاني الشكل تتحول نهايته إلى كيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة تعيد دورة حياة الفطر من جديد، وقد ينبت البوغ البيضي مباشرة إلى مشيجة.

الجنس *Aphanomyces*

لبعض أنواعه وخاصة *A. cochlioides* أهمية اقتصادية كبيرة لأنها تهاجم بعض النباتات الراقية مثل الشوندر السكري والفصة مسببة لها عفن الجذور الذي يعرف بلونه الأسود Black root. وتستطيع الأبواغ البيضية الساكنة سميكة الجدر البقاء في التربة

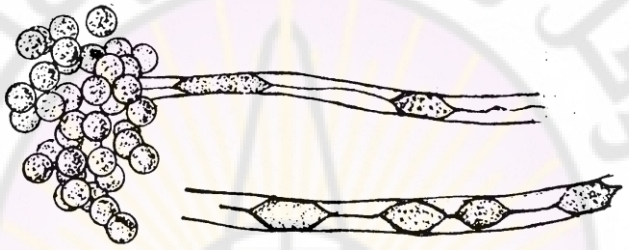


الشكل 7 – 6: دورة حياة الفطر *Saprolegnia* sp. (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A) مشيجة الفطر. (B) أكياس بوغية Sporangia. (C) أبواغ سابحة أولية. (D) بوغ سابح أولي متحوصل. (E) إنبات الحوصلة. (F) بوغ سابح ثانوي. (G) بوغ سابح ثانوي متحوصل. (H) إنبات الحوصلة مباشرة إلى مشيجة. (I) تشكل الأعضاء الجنسية الذكرية والأنثوية. (J) تلامس الأكياس العروسية بعد حصول الانقسام المنصف لنواها. (K) اختراق أنابيب الإخصاب لجدار العضو المؤنث. (L) حدوث الإخصاب. (M) تشكل البيوض الملقحة بعد حدوث الاندماج النووي. (N) أبواغ بيضية Oospores. (O) إنبات البوغ البيضي .

لفترة طويلة، وعندما تصبح التربة دافئة ورطبة جداً، تنبت لتحدث العدوى مباشرة، أو أنها تحرر أبواغاً سابحة قادرة على إحداث العدوى.

تتوضع الأبواغ داخل الكيس البوغي في صف واحد (الشكل 7 - 7). وفي شروط خاصة تتكون سلاسل من الأكياس البوغية المتطاولة التي تفتح عن طريق ثقب في قمتها، وقد تتحول إلى أبواغ كلاميدية Chlamydospores سميكة الجدر وساكنة.



الشكل 7 - 7 : الكيس البوغي عند الفطر *Aphanomyces* sp.

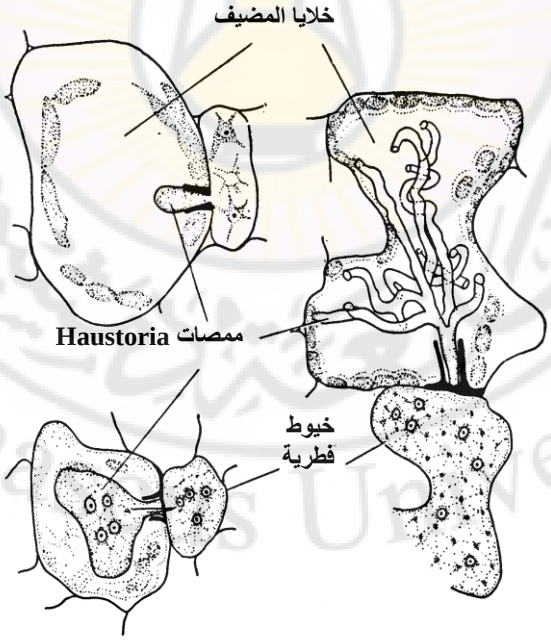
ومن أجناس هذه الفصيلة أيضاً الجنس *Pythiopsis* الذي يمتاز بإنتاج نوع واحد فقط من الأبواغ السابحة. إذ تحرر الأكياس البوغية أبواغاً سابحةً أوليةً، تستدير وتتحوصل بعد أن تسبح لفترة معينة، وتنبت لتعطي أنبوبة إنبات تنمو مباشرة إلى خيط فطري، ويلاحظ هنا غياب الأبواغ السابحة الثانوية. وتعرف مثل هذه الأنواع المنتجة لنوع واحد من الأبواغ السابحة "بأحادية الشكل Monomorphic"، أو وحيدة الفترة السابحة "Monoplanetic".

بينما يمتاز الجنس *Geolegnia* بغياب الأبواغ السابحة، لذلك تدعى هذه الأنواع بعديمة الأبواغ المتحركة "Aplanetic". إذ تنبت الأبواغ الساكنة المتحررة من الأكياس البوغية لتعطي مباشرة أنبوبة إنبات. ويعد هذا الجنس الأكثر تطوراً بين أجناس هذه الفصيلة.

2- رتبة البيرونوسبورالس Order Peronosporales

يعيش معظم أفراد هذه المجموعة من الفطريات في التربة، فمنها ما هو إجباري التطفل على النباتات الراقية، ويسبب لها أمراضاً خطيرة اقتصادياً مثل فطريات البياض الزغبي، ومنها ما هو اختياري التطفل، كما يمكن أن يعيش بعض أفرادها حياة رمية في التربة أو الماء.

الخيوط الفطرية أسطوانية الشكل، غير مقسمة، وكثيرة التفرع . وتتشكل الحواجز العرضية فقط لفصل أعضاء التكاثر، أو لفصل الهيولى عن الجزء الفارغ في الخيوط الفطرية المسنة. تكون الخيوط الفطرية للأنواع المتطفلة بين- خلوية Intercellular داخل أنسجة النباتات المضيفة، وترسل داخل الخلايا ممصات Haustoria كروية أو مستطيلة أو متفرعة حسب الأنواع (الشكل 7 - 8). وفي بعض الأنواع، قد يخترق الخيط الفطري جدار الخلية إلى داخلها " Intracellular ".



الشكل 7 - 8 : أشكال مختلفة من الممصات Haustoria عن بعض أنواع فطريات الرتبة Peronosporales .

يتكاثر أفرادها لاجنسياً بتشكيل أكياس بوغية غالباً كروية أو بيضوية أو ليمونية الشكل. وتشبه فطريات هذه الرتبة الأقل تطوراً أفراد الرتبة Saprolegniales بكون الأكياس البوغية تتشكل على خيوط فطرية غير متمايزة، وتبقى متصلة بها حتى بعد تحرر الأبواغ السابحة منها. أما في الفطريات الأكثر رقياً في هذه المجموعة فإن الأكياس البوغية تتشكل على حوامل أكياس بوغية Conidiosporangiophores متمايزة عن الخيط الفطري الذي نشأت منه، وتنفصل عند اكتمال نضجها وتنتشر بالرياح. تنبت عند معظم الأنواع لتحرر أبواغاً سابحة كلوية الشكل وثنائية السياط أحادية الفترة السابحة. إلا أن عدداً قليلاً جداً من أفراد بعض الأنواع يكون ثنائي أو متعدد الفترة السابحة، إذ تتحوصل الأبواغ السابحة عدداً من المرات، وفي كل مرة تعطي أبواغاً سابحة لها الشكل نفسه، وفي النهاية تنبت لتعطي خيطاً فطرياً يشكل مشيجة جديدة. ينبت الكيس البوغي بعدة طرق وذلك حسب الأنواع، فإما أن يحرر أبواغه السابحة مباشرة، أو تتشكل الأبواغ السابحة بداخله ثم تُدفع إلى حوصلة Vesicle تتشكل أعلاه، أو قد تُدفع هيولى الكيس البوغي إلى الحوصلة ومن ثم تتمايز بداخله إلى أبواغ سابحة. وقد يسلك الكيس البوغي سلوك البوغ الكونيدي عند بعض الأنواع بالإنبات مباشرة إلى مشيجة فطرية بدلاً من تحرير أبواغ سابحة، ويتحكم في هذا الشكل من الإنبات عوامل بيئية ووراثية.

أما التكاثر الجنسي فيتم بتشكيل الأعضاء المؤنثة الكروية الشكل غالباً، و تحتوي على خلية بيضية واحدة أحادية النواة أو متعددة النوى ومحاطة بطبقة من البلاسما المحيطية التي يمكن أن تستخدم فيما بعد كغذاء للبوغ البيضي. وتتشكل الأعضاء المذكرة على نفس الخيط الفطري، أو على خيط فطري مختلف من المشيجة نفسها في الأنواع متجانسة المشائج Homothallic، أو على مشيجتين مختلفتين في الأنواع متخالفة المشائج Heterothallic. وقد يكون العضو المذكر وحيد النواة أو متعدد النوى أيضاً حسب الأنواع. ويتم الإخصاب بالطريقة نفسها التي سبق شرحها لتكوين البوغ البيضي Oospore. يتكوّن البوغ البيضي من ثلاث طبقات، ويكون سطحه الخارجي أملساً، أو مثألاً، أو مخططاً ....الخ. ويبدو أن البلاسما المحيطية تساهم عند بعض الأنواع في

تشكيل هذه التغلظات الخارجية والتزيينات في جدار البوغ. ويوجد البوغ البيضي عادة حراً داخل جدار كيس البيض، وقد يلتصق بجداره عند الكثير من الأنواع كما هي الحال في الجنس *Sclerospora*. ينبت البوغ البيضي بتحرير أبواغ سابحة مباشرة، ويسلك بذلك سلوك الكيس البوغي، أو يعطي أنبوبة إنبات تنتهي بكيس بوغي، وقد يحدث الإنبات تحت ظروف معينة وخاصة الجفاف بإعطاء مشيجة مباشرة.

يعتمد تصنيف فطريات البيرونوسبورالس Peronosporales على صفات الحوامل اللاجنسية من جهة، وعلى طريقة تشكل وانتظام الأكياس البوغية عليها من جهة أخرى. وتضم هذه الرتبة ثلاث فصائل هي:

1– فصيلة بيثياسيه Family Pythiaceae

2– فصيلة بيرونوسبوراسيه Family Peronosporaceae

3– فصيلة ألبوجيناسيه Family Albuginaceae

1– فصيلة بيثياسيه Pythiaceae

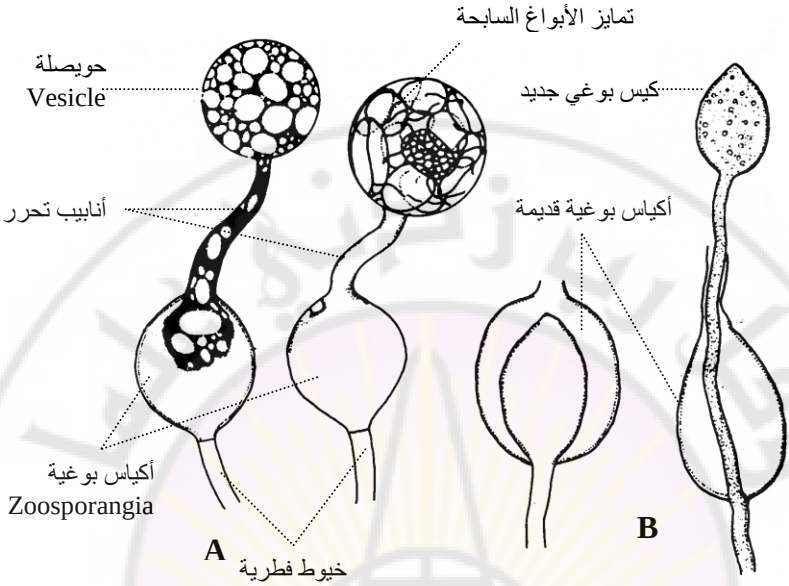
فطريات اختيارية التطفل إذ يعيش أفرادها حياة رمية في الماء أو التربة على بقايا الكائنات النباتية والحيوانية وفضلاتها، أو متطفلة على النباتات العشبية والخشبية مسببة لها أمراضاً خطيرة، وقد يتطفل بعض أفرادها على البريويات والحشرات، وينمو أفراد هذه الفصيلة على البيئات الصناعية.

تمتاز هذه الفصيلة بأن الأكياس البوغية تتكون على حوامل غير متمايزة أو قليلة التمايز وتشبه خيوط المشيجة في شكلها، وتتكون في بعض الأنواع حوامل محددة متفرعة ولكنها غير محدودة النمو، ومن أهم أجناسها :

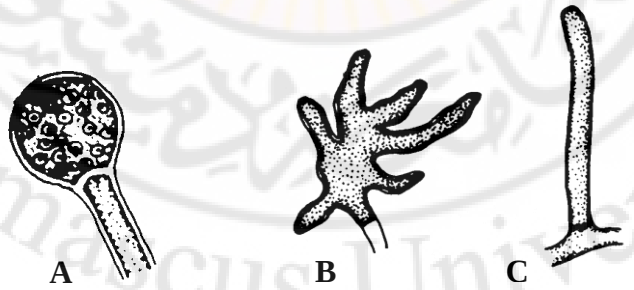
أ– **الجنس *Pythium*** : يعيش معظم أفراد هذا الجنس رمياً في الماء أو التربة على البقايا النباتية أو الحيوانية أو على الطحالب، ولكن تستطيع بعض أنواعه مثل *Pythium debaryanum* مهاجمة النباتات الحية وتدمير أنسجتها إذا توفرت الظروف المناسبة كالرطوبة وسوء التهوية. ونظراً لوجود هذه الفطريات في التربة فإنها تصيب البذور والجذور والدرنات والأبصال أو الأجزاء الملامسة لسطح التربة كالثمار المتدلية على الأرض، وبالتالي يطلق على الأمراض التي يسببها الجنس بيثيوم أسماء مختلفة مثل: تحلل البذار، وسقوط البادرات Damping off، وتعفن الجذور، والعفن الأسود..... الخ. وتنمو مشيجة الفطر بين الخلايا وبداخلها دون أن تشكل ممصات. ويضم هذا الجنس حوالي 70 نوعاً منشرة في جميع أنحاء العالم.

ينتهي التكاثر اللاجنسي بتكوين الأبواغ السابحة، حيث تتشكل الأكياس البوغية اللاجنسية Zoosporangia محمولة على خيوط الفطر مباشرة لعدم وجود حوامل متمايزة ومتخصصة، ويكون تشكل الكيس على الخيط الفطري إما طرفياً أو بينياً، وفي الحقيقة يصعب التمييز بين هاتين الحالتين لأن الخيط الفطري يمكن أن يتابع نموه بعد تشكل كيس طرفي فيخترقه ويصبح بذلك بوضع وسطي، وقد يتكون كيس بوغي جديد داخل الكيس القديم (الشكل 7 - 9).

ويختلف شكل الأكياس البوغية تبعاً للأنواع، فقد تكون كروية الشكل، أو كمثرية، أو خيطية (الشكل 7 - 10). تبقى الأكياس البوغية متصلة بالخيوط الفطرية، وتنبت معطية أنبوبة قصيرة تتسع في نهايتها لتشكل حوصلة تنتقل إليها محتويات الكيس الهيولية والنووية، وفي داخل الحوصلة يتجمع جزء من الهيولى حول كل نواة ليتشكل بذلك عدد كبير من الأبواغ السابحة كلوية الشكل و ذات سوطين جانبيين، وذلك خلال 15 – 20 دقيقة. تتحرر هذه الأبواغ وتسبح في الماء لبضع دقائق، وعندما تجد المكان المناسب تتحوصل وتنبت معطية أنبوبة إنبات تنمو إلى مشيجة، وقد تتكرر عملية السباحة والتحوصل عدة مرات.



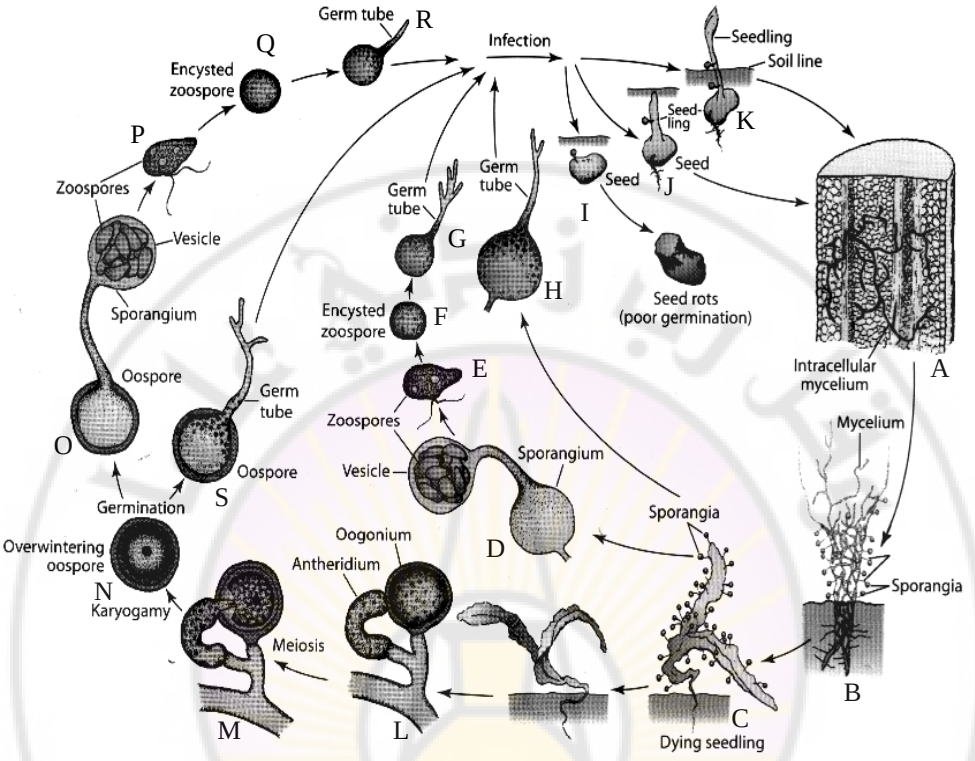
الشكل 7 - 9 : نماذج من توضع الأكياس البوغية عند الفطر *Pythium* sp. (A) كيس بوغي طرفي أنبت ليعطي أنبوبة تحرر تحمل حوصلة انتقلت إليها محتويات الكيس الهيولية (على اليسار)، ثم تمايزت إلى أبواغ سابحة داخل الحوصلة (على اليمين). (B) تشكل كيس بوغي جديد داخل الكيس القديم (على اليسار)، وعلى اليمين استمرار الخيط الفطري في النمو وتشكيل كيس بوغي جديد ليصبح الكيس البوغي الطرفي القديم بوضع بيني.



الشكل 7 - 10 : نماذج مختلفة من الأكياس البوغية عند الجنس *Pythium* spp. (A) كروي الشكل. (B) متفرع. (C) خيطي الشكل.

وتلعب الظروف البيئية دوراً هاماً في طريقة إنبات الأكياس البوغية عند الفطر *Pythium* sp.، ففي ظروف الجفاف ودرجة الحرارة العالية، تسلك الأكياس البوغية سلوك الأبواغ الكونيدية بإعطائها أنبوبة إنبات تنمو مباشرة إلى مشيجة دون تكوين الأبواغ السابحة (الشكل 7 -11).

عندما تأخذ مصادر الغذاء بالنفاذ، وتصبح الظروف البيئية غير مناسبة وخاصة نقص الرطوبة، يتجه الفطر عادة للتكاثر الجنسي الذي يتم بتشكيل أعضاء مؤنثة على شكل انتفاخات في نهاية الخيوط الفطرية، تهاجر إليها كمية كبيرة من الهيولى والنوى من الخيط الفطري، ثم يتشكل حاجز عرضي يفصلها عن بقية الخيط الذي نشأت منه، ويتكون العضو المؤنث في بداية الأمر من جزء مركزي محبب يدعى البلاسما البيضية Ooplasm وجزء محيطي إسفنجي يدعى البلاسما المحيطية Periplasm، ثم تهاجر النوى إلى البلاسما المحيطية لتتحلل جميعها فيما بعد، وتبقى نواة واحدة فقط في البلاسما المركزية تشكّل نواة الخلية البيضية Oosphere التي تكون كروية الشكل، رقيقة الجدر، ومحاطة بالبلاسما المحيطية. بينما تتشكل الأعضاء المذكرة صولجانية الشكل على فرع جانبي يخرج من نفس الخيط الذي يحمل الكيس المؤنث، أو من خيط آخر مجاور له من نفس المشيجة، وبالتالي توصف أنواع هذا الجنس بأنها متماثلة المشائج. والكيس الذكري أيضاً عديد النوى، ويتمايز عند النضج إلى جزء مركزي وحيد النواة يدعى العروس الذكري Male gamete، وجزء خارجي عديد النوى هو البلاسما الخارجية Periplasm، وقد يحيط بكل عضو مؤنث عضو مذكر واحد أو أكثر، و تقوم النواة الذكرية المركزية فقط بإخصاب نواة الخلية البيضية. يحدث الانقسام الاختزالي في الأعضاء الجنسية، وبالتالي فإن الأعراس المذكرة والمؤنثة هي فقط الوحيدة المجموعة الصبغية في دورة الحياة. يتم الإلقاح بعد أن يفرغ عضو التذكير محتوياته في الخلية البيضية عبر أنبوبة الإخصاب التي تنشأ من العضو المذكر وتخترق جدار المبيض، وينتهي بتشكل البوغ البيضي الذي يحاط بجدار سميك (الشكل 7 - 11)، ويمثل البوغ البيضي طور السكون في الفطر بفضل تحمله للجفاف، وبعد



الشكل 7 - 11: دورة الحياة العامة للفطر *Pythium* sp.

(A) مشيجة بين خلوية. (B) أكياس بوغية Sporangia محمولة على حوامل Sporangiophores قليلة التمايز. (C) بادرة ميتة. (D) إنبات الكيس البوغي معطياً أنبوبة قصيرة تنتهي بحوصلة تحرر أبواغاً سابحة. (E) بوغ سابح . (F) بوغ سابح متحوصل. (G) إنبات البوغ السابح المتحوصلة إلى مشيجة. (H) إنبات مباشر للكيس البوغي إلى مشيجة تصيب البذور (I)، أو البادرات قبل خروجها فوق سطح التربة (J)، أو البادرات بعد خروجها فوق سطح التربة مسببة سقوطها (K). (L) تشكل الأعضاء الجنسية الذكرية والأنثوية. (M) إخصاب الخلية البيضية. (N) بوغ بيضي. (O) إنبات البوغ البيضي معطياً أنبوبة إنبات تنتهي بحوصلة تحرر أبواغاً سابحة. (P) بوغ سابح. (Q) بوغ سابح متحوصل. (R) إنبات البوغ السابح المتحوصل إلى مشيجة. (S) إنبات البوغ البيضي مباشرة إلى مشيجة . (Agrios, 2004)

فترة من السكون ينبت وتنقسم نواته عدة انقسامات عادية لتعطي عدداً كبيراً من النوى ثنائية المجموعة الصبغية أيضاً، ويحدث الإنبات بإحدى الطريقتين التاليتين:

1– إنبات مباشر بتشكيل أنبوبة إنبات تنمو إلى مشيجة، ويحدث ذلك عندما تكون درجات الحرارة مرتفعة نسبياً وعادة أعلى من 18 °م.

2– إنبات غير مباشر إذ تنتهي أنبوبة الإنبات بحوصلة مكورة رقيقة الجدر تنتقل إليها محتويات البوغ، ثم تحرر هذه الحوصلة في الوسط المائي عدداً من الأبواغ السابحة. وتشبه طريقة إنبات البوغ البيضي في هذه الحالة طريقة إنبات الأكياس البوغية اللاجنسية. ويحدث الإنبات بهذه الطريقة عندما تكون الرطوبة مرتفعة ودرجات الحرارة أقل من 18 °م (10– 17 °م).

ب – الجنس *Phytophthora*: يعيش بعض أنواعه حياة رمية في الماء أو التربة الرطبة، ويميل بعض أنواعه الأخرى إلى التطفل، ويمكنها العيش رميّة بغياب العائل المناسب، فهي رميات اختيارية، ويمكن عزلها وزرعها على أوساط مغذية انتقائية في المختبر.

تمتاز أنواعه بالقدرة الكبيرة على إحداث أضرار اقتصادية هامة على النباتات المزروعة وخاصة على محصول البطاطا الذي يصاب بمرض اللفحة المتأخرة Potato late blight الذي يسببه النوع *Phytophthora infestans*، والذي سبب كوارث اقتصادية واجتماعية في ايرلندا بين عامي 1845 و 1847 مما أدى إلى حدوث مجاعة حقيقية أدت إلى موت أكثر من مليونين من السكان وهجرة حوالي مليون من الشباب إلى القارة الأمريكية . ويُعَدُّ هذا النوع متطفلاً مدمراً لنباتات البطاطا والبندورة و نباتات أخرى من الفصيلة الباذنجانية، ويعتقد أن أصل هذا الفطر هو أمريكا الجنوبية، وتمت معرفته لأول مرة في الجزر البريطانية في عام 1845.

عندما ينمو الفطر متطفلاً داخل الأنسجة النباتية تكون مشيجتة بين- خلوية، ويحصل على احتياجاته الغذائية بإرسال ممصات داخل الخلايا، ويتم التكاثر اللاجنسي بتشكيل أكياس بوغية ليمونية الشكل ذي حلمة طرفية ومحمولة على حوامل متفرعة

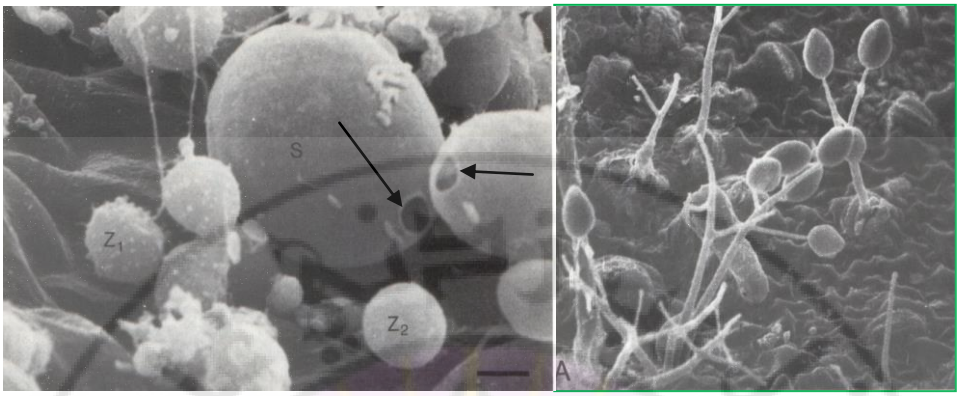
تخرج من ثغور البشرة، ولذلك تشاهد غالباً على السطح السفلي لأوراق النبات المصاب، بينما تفتقر الأكياس البوغية للأنواع التي توجد في التربة لوجود الحلمات، وتمتاز الحوامل البوغية للجنس فيتوفتورا بأنها قليلة التمايز وغير محدودة النمو(الشكل 7 - 12)، أي أن الأكياس البوغية التي تتشكل بوضع نهائي على الحوامل تُدفع جانباً عند متابعة الحامل لنموه ويتشكل كيس بوغي جديد في نهاية الحامل، وهذه الصفات تميز هذا الجنس عن الأجناس المسببة لأمراض البياض الزغبي التي تتصف بحوامل متمايزة ومحدودة النمو .

يتم إنبات الأكياس البوغية كما أسلفنا بطريقتين:

1– إنبات غير مباشر إذ يتحول البوغ الكونيدي إلى كيس بوغي يحتوي على العديد من الأبواغ السابحة (الشكل 7 – 12)، وهذا ما يميزه عن الجنس *Pythium* الذي يشكل أبواغه السابحة في حوصلة أعلى الكيس البوغي، وحتى إذا تكونت الحوصلة فإن الأبواغ السابحة تتمايز داخل كيس الأبواغ، ثم تنتقل بعد تمام تشكلها ونضجها إلى الحوصلة، ويحدث الإنبات غير المباشر للأكياس البوغية بوجود رطوبة عالية و درجات حرارة منخفضة نسبياً (9 – 12 °م). تنتشر الأبواغ السابحة وتنبت مباشرة إلى مشيجة، وإذا ما صادفت العائل المناسب فإن العدوى يمكن أن تحصل خلال ساعتين، وتتشكل الأكياس البوغية خلال 3 – 5 أيام. والأبواغ السابحة قادرة على تكرار مراحل السباحة والتحوصل عدة مرات .

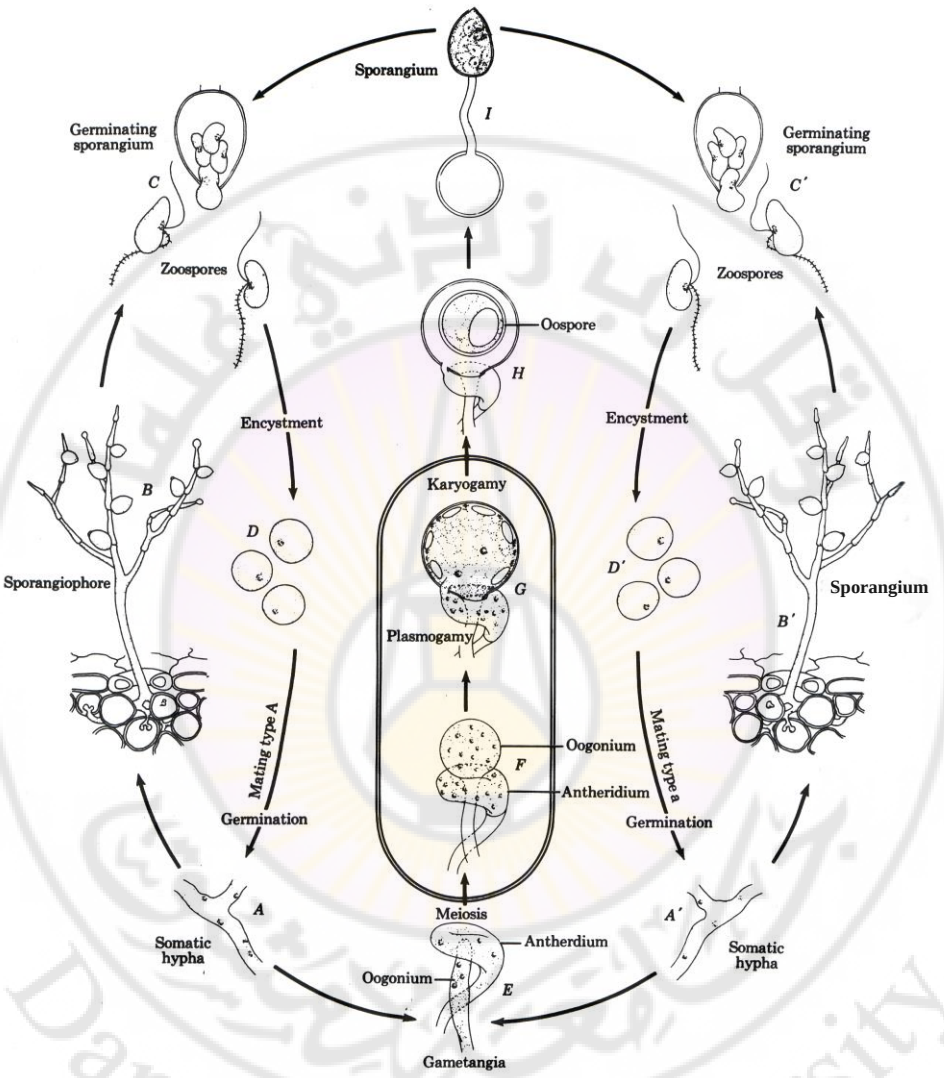
2– إنبات مباشر إذ يعطي البوغ أنبوبة إنبات تنمو لتكوين المشيجة، ويحدث ذلك عادة عندما يكون الوسط أقل رطوبة ودرجات الحرارة مرتفعة نسبياً (أعلى من 18 °م).

يوصف هذا النوع بأنه متخالف المشرات Heterothallic أي أنه يتطلب وجود مشيجتين مختلفتين لحدوث التكاثر الجنسي، حيث أن إحداهما تكون مذكرة وظيفياً أي أنها تنتج أعضاء مذكرة، والأخرى تكون مؤنثة أي أنها تنتج أعضاء مؤنثة، وهذا ما يفسر ندرة تشكل الأبواغ البيضية.



الشكل 7 - 12: الفطـر *Phytophthora infestans* . (C) أكياس بوغية ليمونية الشكل محمولة على حوامل بوغية قليلة التمايز وغير محدودة النمو على سطح ورقة بطاطا، (S) كيس بوغي Sporangium، (Z_1) بوغ سابح ثنائي السياط، (Z_2) بوغ متحوصل (عن Lepoivre, 2003).

يتكوّن العضو الذكري في نهاية خيط فطري على شكل استطالة ثخينة يفصلها عن الخيط الفطري حاجز عرضي، ويتشكل العضو المؤنث في نهاية خيط أخر بالقرب من العضو المذكر. ويبدأ تشكل الأعضاء المؤنثة على شكل انتفاخ طرفي تنتقل إليه الهيولى والنوى، ثم يتشكل حاجز عرضي يفصله عن بقية الخيط الفطري، ويحتوي على خلية بيضية واحدة أحادية النواة تحاط بطبقة من البلاسما المحيطية، ويكون عضو التأنيث متعدد النوى في بداية تشكله، ولكن عند النضج تهاجر جميعها إلى البلاسما المحيطية وتتحلل، ولا تبقى إلا واحدة في الوسط يتم إخصابها من نواة ذكرية واحدة. ثم يحدث الانقسام الاختزالي داخل الأعضاء الجنسية المذكرة والمؤنثة، قبل أن يحصل الاندماج بين محتوياتهما، لأنهما تكوّنا أصلاً من مشائج ثنائية المجموعة الصبغية، ولا يحدث الانقسام في البوغ البيضي كما هو معروف من قبل، وينتج عن هذا الانقسام تكوين نوى ذكرية وخلايا بيضية أحادية المجموعة الصبغية، ثم يحدث الإخصاب، وتحصل عملية الاندماج الهيولي يتبعه الاقتران النووي ليتكوّن البوغ البيضي، وهو ذو جدار سميك وغالباً يكون أملساً ومقاوماً للظروف غير الملائمة (الشكل 7 - 13).



الشكل 7 - 13: دورة حياة الفطر *Phytophthora infestans* (عن Alexopoulos, 1962)

(A، A`) مشيجة الفطر. (B، B`) حوامل بوغية Sporangiophores تحمل أكياساً بوغية ليمونية الشكل. (C، C`) إنبات الأكياس البوغية لتحرر أبواغاً سابحة. (D) تحوصل الأبواغ السابحة وإنباتها إلى مشيجة. (E) تشكل الأعضاء الجنسية المؤنثة والمذكرة على مشيجتين مختلفتين وظيفياً. (F) تلامس الأكياس العروسية بعد حدوث الانقسام المنصف لنواها. (G) اندماج هيولي متبوع باندماج نووي. (H) تشكل البوغ البيضي. (I) إنبات البوغ البيضي ليعطي خيطًا فطرياً قصيراً ينتهي بكيس بوغي يحرر أبواغاً سابحة .

ينبت البوغ البيضي مباشرة بعد تشكله، أو بعد فترة سكون قد تصل لعدة أسابيع أو أشهر، و يستطيع المحافظة على حياته لفترة زمنية طويلة قد تصل إلى عدة سنين في الظروف غير المناسبة. وعند حدوث الإنبات تنقسم نواة البوغ البيضي عدة انقسامات غير مباشرة ليتكون عدد كبير من النوى ثنائية المجموعة الصبغية، ويرسل البوغ البيضي خيطاً فطرياً قصيراً وغير مقسم ينتهي بكيس تهاجر إليه النوى و الهيولى، ويطلق عليه الكيس البوغي الذي يحتوي بداخله على عدد كبير من الأبواغ السابحة ثنائية السياط. وفي بعض الأحيان تنمو أنبوبة الإنبات مباشرة لتعطي مشيجة فطرية جديدة.

وبالإضافة للنوع *Phytophthora infestans* المسبب لمرض اللفحة المتأخرة على البطاطا، يسبب الفطر *Phytophthora citrophthora* مرض تصمغ أشجار الحمضيات، ولهذا المرض أهمية على الساحل السوري.

2 – فصيلة Peronosporaceae

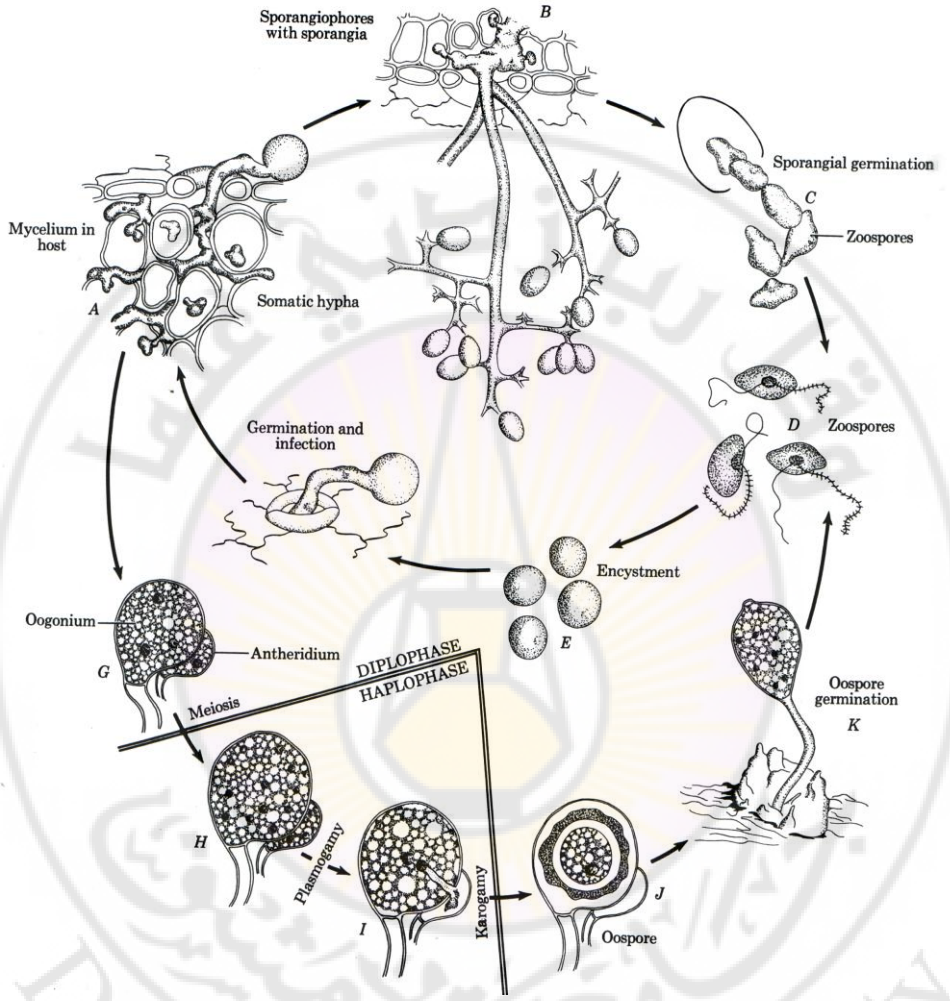
يمتاز أفراد هذه الفصيلة بأنها إجبارية التطفل على النباتات الراقية، وتسبب لها أمراضاً تدعى بأمراض البياض الزغبي Downy mildew، وتعود هذه التسمية إلى مظهر الحوامل البوغية الزغبية البيضاء أو الرمادية التي تظهر على السطح السفلي لأوراق النبات المصاب، وعلى سطح الثمار المصابة.

مشيجتها بين - خلوية في أنسجة النبات المضيف، وترسل داخل الخلايا ممصات كروية الشكل، أو خيطية أو متفرعة، وتخرج الحوامل البوغية عبر مسام البشرة السفلية، وهي متمايزة ومحدودة النمو، وينتهي كل فرع ببوغ كونيدي واحد أو كيس بوغي، وهذا ما يميزها عن الفطر *Phytophthora*، والأكياس البوغية كروية أو بيضاوية أو ليمونية الشكل قادرة على الانتشار بالرياح. ويكون إنبات الكيس البوغي إما مباشر أي بإرسال أنبوبة إنبات كما هي الحال في الجنسين *Peronospora* و *Bremia* أي أن الكيس البوغي يسلك سلوك البوغ الكونيدي، أو غير مباشر بتكوين أبواغ سابحة ثنائية

السياط الجانبية تساعدها على السباحة في الوسط المائي الموجود على سطح العائل، ثم تفقد الأبواغ سياطها وتتحوصل بعد أن تجد المكان المناسب، و تنبت بإرسال أنبوبة إنبات تخترق بشرة العائل وتحدث الإصابة. وفي كل الأجناس تقريباً التي ينبت فيها البوغ الكونيدي بتكوين أبواغ سابحة، يسود الإنبات المباشر عند عدم توفر الرطوبة المناسبة والحرارة المنخفضة.

ويمثل الشكل (7– 14) مخطط لدورة حياة الفطر *Plasmopara viticola* الذي يصيب الكرمة كنموذج عن الفطريات المسببة لأمراض البياض الزغبي، إذ يبدأ الفطر في نهاية موسم نمو العائل بالتكاثر الجنسي مشكلاً الأعضاء المؤنثة والأعضاء المذكرة داخل أنسجة العائل في المسافات البينية. يحتوي العضو المؤنث على بيضة واحدة بداخلها عدد كبير من النوى التي تتلاشى ماعدا نواة واحدة تنقسم معطية نواتين. تندثر إحداهما وتبقى الأخرى التي تشكل نواة الخلية البيضية Oosphere والتي تحاط بكتلة هيولية كثيفة. أما العضو المذكر فهو يحتوي على عدد كبير من النوى المذكرة، ويتم التلقيح والإخصاب بين نواة الخلية البيضية ونواة ذكرية واحدة، ثم تحصل عملية الاندماج الهيولي يليه الاقتران النووي، ثم تحاط البيضة الملقحة بجدار غليظ لتتحول إلى بوغ بيضي ساكن Oospore، كروي الشكل وله جدار سميك مجعد وخشن الملمس وذو لون بني - برتقالي.

تعمل الأبواغ البيضية على نقل المرض من موسم إلى آخر نتيجة تحملها للظروف غير الملائمة من جفاف وحرارة. إذ يمكن لهذه الأبواغ أن تمضي فصل الشتاء في المناطق الدافئة في أنسجة الأوراق القديمة المصابة التي تسقط على التربة وتختلط بها، وعند حلول فصل الربيع ومع توفر الظروف الملائمة وذلك في بداية موسم نمو العائل، تنبت الأبواغ البيضية معطية حاملاً بوغياً قصيراً يحمل في نهايته الكيس البوغي الذي يحرر الأبواغ السابحة، التي تحدث الإصابة من جديد، وتعيد دورة الحياة.



الشكل 7 - 14: دورة حياة الفطر *Plasmopara viticola* (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A) مشيجة بين خلوية في أنسجة النبات المضيف. (B) حوامل بوغية تحمل أكياساً بوغية Sporangia. (C) إنبات الأكياس البوغية لتحرر أبواغاً سابحة. (D) أبواغ سابحة. (E) أبواغ سابحة متحوصلة. (F) إنبات الأبواغ السابحة وإحداث الإصابة من جديد. (G) تشكل الأعضاء الجنسية المؤنثة Oogonia والمذكرة Antheridia . (H) تلامس الأكياس العروسية بعد حدوث الانقسام المنصف لنواها. (I) اندماج هيولي متبوع باندماج نووي. (J) تشكل البوغ البيضي. (K) إنبات البوغ البيضي ليحرر أبواغاً سابحة .

يمكن لأنواع هذه الفصيلة وخاصة الجنس *Peronospora* أن تمضي فصل الشتاء على شكل مشيجة داخل أنسجة النبات المضيف لتكون مصدر عدوى لنباتات جديدة في الربيع التالي دون أن تكوّن أبواغاً بيضية.

يعتمد تمييز أجناس هذه الفصيلة بشكل أساسي على شكل الحوامل البوغية وطريقة تفرعها (الشكل 7 - 15):

1 - الجنس بازيديوفورا *Basidiophora*

الحوامل البوغية صولجانية الشكل، وتحمل في قمتها عدداً من الرؤيسات أو الذنيبات يُحمل على كل منها بوغ كونيدي أو كيس بوغي، ينبت ليعطي أبواغاً سابحة. ويتطفل هذا الجنس على نباتات الفصيلة Asteraceae.

2 – الجنس سكليروسبورا *Sclerospora*

الحوامل البوغية شجرية قصيرة وثخينة، وتتفرع في قمتها بشكل ثنائي إلى فروع قصيرة وثخينة أيضاً، وهذه الأخيرة يمكنها أيضاً أن تتفرع بشكل ثنائي مرة أو أكثر، وتحمل في نهايتها أكياساً بوغية كروية أو بيضاوية الشكل (9 – 12 ميكرومتراً) مثل النوع *Sclerospora graminicola*. ويتطفل معظم أنواعه وعددها 13 على نباتات الفصيلة النجيلية وفصيلة Poaceae، وخاصة الذرة الصفراء والبيضاء وقصب السكر ونباتات أخرى متعددة.

3 – الجنس بلاسموبارا *Plasmopara*

الحوامل البوغية رفيعة نسبياً وتتفرع بزوايا قائمة إلى عدد من الفروع، وتتفرع هذه الفروع بدورها إلى فريعات ثانوية بزوايا قائمة أيضاً، وتنتهي أطرافها بنتوءات يحمل كل منها بوغاً كونيدياً ينبت إنباتاً غير مباشر. يضم هذا الجنس حوالي 20 نوعاً

منشـرة فـي مناطـق مختلفـة مـن العـالم، ومـن أهمهـا النـوع *Plasmopara viticola* المسبب لمرض البياض الزغبي على الكرمة Downy mildew of grapes.

4 – الجنس بريميا *Bremia*

الحوامل البوغية رفيعة وتتفرع بشكل ثنائي وبزوايا حادة، ونهايات الأفرع منتفخة على شكل الصحن أو القرص الذي يحمل عدداً من الزوائد القصيرة والدقيقة (ذنيبات) Sterigmata (2 – 4)، والتي يحمل كل واحد منها بوغاً كونيدياً ينبت إنباتاً مباشراً، وفي حالات نادرة ينبت إنباتاً غيـر مباشر ليعطـي أبواغاً سابحة. ويعتبر *B. lactucae* المسبب لمرض البياض الزغبي على الخس من أهم أنواع هذا الجنس.

5 – الجنس بيرونوسبورا *Peronospora*

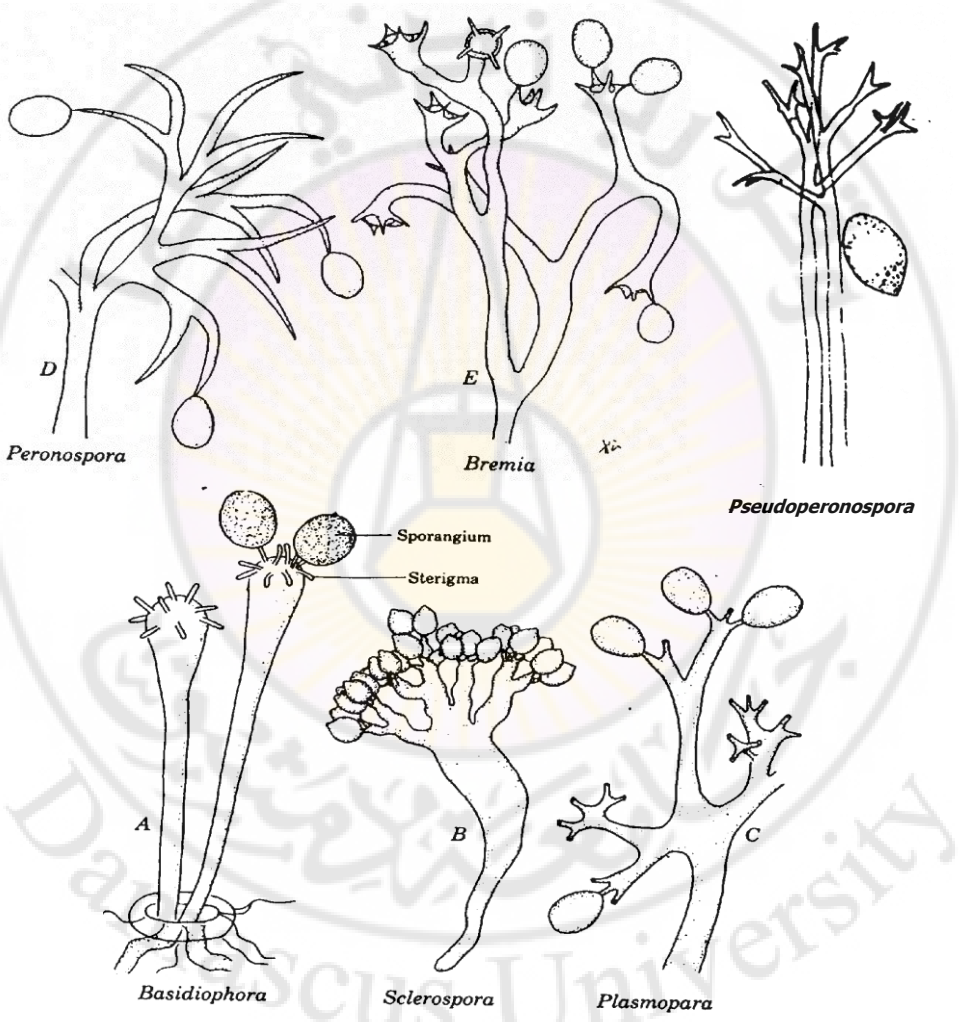
الحوامل البوغية رفيعة نسبياً، شجيرية المظهر، مخلبيـة الشكل، وتتفرع بشكل ثنائي وبزوايا حادة، نهاياتها منحنية وحادة ومدلاة ويحمل كل منها بوغاً واحداً ينبت إنباتاً مباشراً. ومن أهم أنواعه:

P. tabacina المسبب للبياض الزغبي على التبغ، و *P. parasitica* المسبب للبياض الزغبي على الصليبيات وخاصة الجنس *Brassica*، و *P. effusa* المسبب للبياض الزغبي على السبانخ، و *P. schachtii* المسبب للبياض الزغبي على الشوندر، و *P. distructor* (= *P. scheidenri*) المسبب للبياض الزغبي على البصل، وتبقى أبواغه في جذور البصل لإحداث العدوى في الموسم الجديد .

6 – الجنس بسودوبيرونوسبورا *Pseudoperonospora* (= *Peronoplasmopara*)

التفرع وحيد الشعبة إلى حد ما، وبزوايا حادة على المحور، والأطراف النهائية مستدقة، وهذا الجنس وسط في صفاته ما بين الجنسين *Plasmopara* و

Peronospora. تنبت الأكياس البوغية نبتاً غير مباشر، ومن أنواعه *P. humili* المتطفل على حشيشة الدينار.

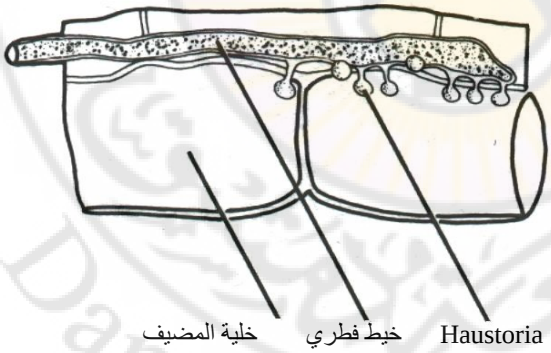


الشكل 7 – 15: صفات الحوامل البوغية لأجناس الفصيلة Peronosporaceae (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

3 – فصيلة Family Albuginaceae

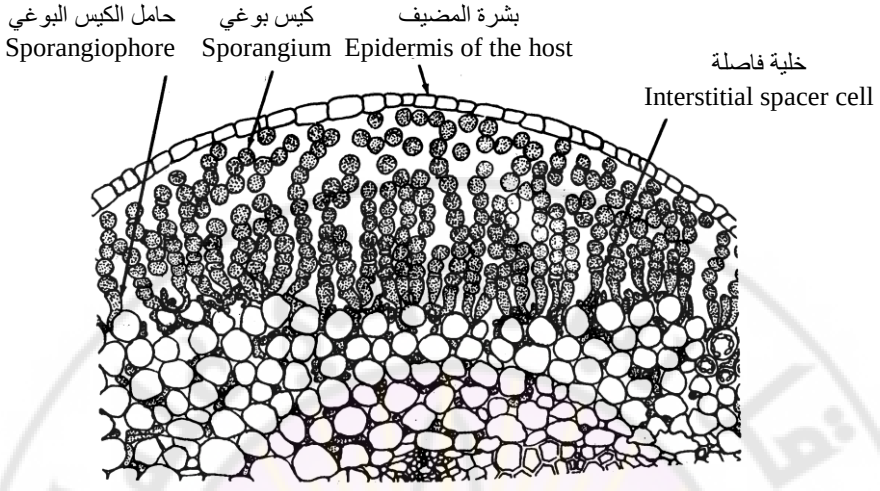
تضم هذه الفصيلة جنساً واحداً فقط هو *Albugo* الذي يضم أكثر من 30 نوعاً، وهذه الأنواع حتمية التطفل ومتخصصة تخصصاً ضيقًا بإصابة أنواع نباتية معينة، ومن أهم أنواعه *Albugo candida* الذي يسبب مرض الصدأ الأبيض White rust disease على الصليبيات المزروعة والبرية، وأكثر المحاصيل إصابة هو الفجل واللفت والملفوف، وينتشر بشكل خاص على نبات كيس الراعي. وهذا الصدأ ما هو إلا صدأ كاذب إذ إنه يختلف تماماً عن فطريات الصدأ الحقيقية التابعة لرتبة Uredinales من الفطريات الدعامية ذات المشيجة المقسمة والتي لها خمسة أطوار بوغية. والأهمية الاقتصادية لفطريات الصدأ الأبيض مازالت قليلة نسبياً.

هذه الفطريات داخلية التطفل إذ توجد مشيجة الفطر بين الخلايا Intercellular وترسل فيها ممصات كروية الشكل (الشكل 7 - 16).



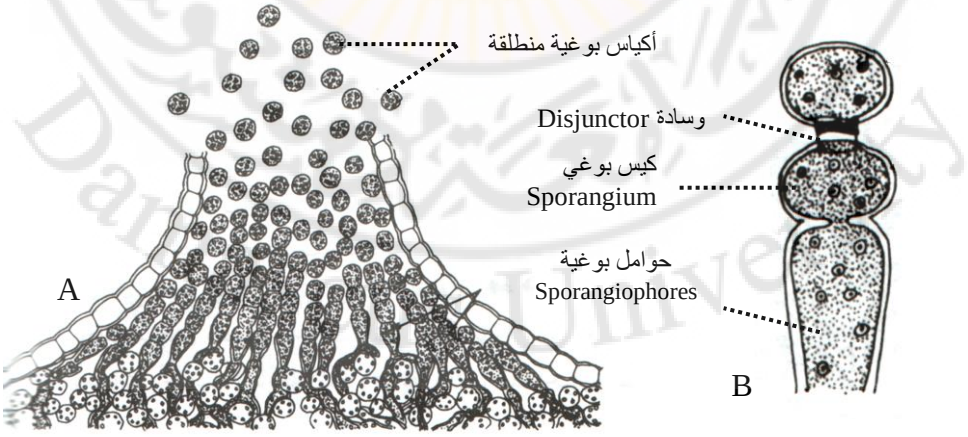
الشكل 7 - 16 : ممصات كروية الشكل للفطر *Albugo candida* داخل خلية المضيف.

يتم التكاثر اللاجنسي بتشكيل الأكياس البوغية التي تُحمل على حوامل متمايزة صولجانية الشكل قصيرة وثخينة، وغير متفرعة، وتنشأ تحت بشرة النبات، وتكون متراصة بجانب بعضها البعض (الشكل 7 - 17)، ويحمل كل منها سلسلة من الأكياس البوغية مستديرة الشكل بحيث تكون الأكياس حديثة السن في الأسفل، ويفصل الأكياس



الشكل 7 - 17: مخطط تمثيلي لمقطع في بثرة الفطر *Albugo candida* .

البوغية عن بعضها وسائد رقيقة Disjunctors، وعندما تنحل هذه الوسائد تتحرر الأبواغ وتسقط، ويؤدي ضغط السلاسل البوغية المنفصلة على البشرة من الداخل إلى انتباجها على شكل فقاعة بيضاء عاجية لمّاعة (بثرة Sorus) لا تلبث أن تتمزق، مما يسمح للأكياس البوغية بالتحرر لتُحمل بتيارات الهواء إلى أماكن أخرى (الشكل 7- 18).

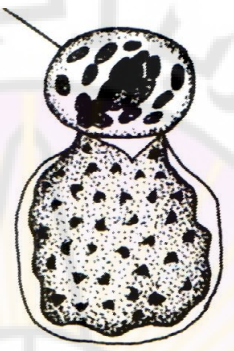


الشكل 7 - 18: الفطر *Albugo candida*. (A) مخطط تمثيلي لمقطع في بثرة متمزقة، تبدو الأكياس البوغية منطلقة منها. (B) حامل بوغي يحمل أكياساً بوغية تفصل بينها وسائد رقيقة Disjunctors .

وعند وجود هذه الأكياس البوغية في وسط مائي تنبت لتحرر عدداً من الأبواغ السابحة كلوية الشكل وثنائية السياط، ويبلغ عددها من 5 – 7 أبواغ في الكيس الواحد. وتقع درجة الحرارة المفضلة لإنبات الأكياس البوغية بين 1 – 18 °م، وبدرجة مثلى من 10 – 14 °م. تسبح الأبواغ المهدّبة في الغشاء المائي على سطح النبات إلى أن تصادف ثغراً تستقر فيه وتنبت لتعطي أنبوبة إنبات تخترق البشرة وتتفرع ضمن النسيج النباتي إلى مشيجة، ويجب أن تكون درجة الحرارة بين 16 – 25 °م، وبدرجة مثلى 20 حتى يتم إنبات الأبواغ السابحة، وتستغرق دورة الحياة اللاجنسية 10 أيام تقريباً أي أن مدة الجيل قصيرة، مما يسمح للفطر بإعطاء عدة أجيال في الموسم إذا بقيت الظروف مناسبة. وفي ظروف الجفاف، يسلك الكيس البوغي سلوك البوغ الكونيدي بإعطائه مباشرة أنبوبة إنبات قادرة على تجديد الإصابة .

يتم التكاثر الجنسي داخل أنسجة النبات بتشكيل أعضاء التأنيث كروية الشكل في نهاية تفرعات الخيط الفطري الذي يفصلها عنه حاجز عرضي، ويكون عضو التأنيث في البداية متعدد النوى، وبالمقابل يتكوّن عضو التذكير الذي يكون أيضاً متعدد النوى على نهاية خيط فطري قريب من العضو المؤنث. يحدث الانقسام الاختزالي في الأعضاء الجنسية المؤنثة والمذكرة وينتج عن ذلك تكوين نوى أحادية المجموعة الصبغية، وعند الإخصاب نجد أن عضو التذكير يعطي أنبوبة إخصاب تخترق العضو المؤنث لتصل إلى الخلية البيضية، وتمر عن طريقها نوى العضو المذكر إلى داخل الخلية البيضية إذ تقوم نواة واحدة فقط في إخصاب نواة الخلية البيضية المؤنثة، في حين تختفي جميع النوى الأخرى، وينتج عن الإخصاب تشكّل البيضة الملقحة كروية الشكل، تحاط بغلافين داخلي رقيق وخارجي سميك، ثم تظهر تزيينات على السطح الخارجي ليتشكّل بذلك البوغ البيضي Oospore الذي يسكن طوال فترة الشتاء. وفي بداية الربيع عندما تتوفر الظروف المناسبة للإنبات تنقسم النواة عدة انقسامات عادية، وكل نواة تحاط بجزء من الهيولى ليتشكل عدد من الأبواغ السابحة، ثم يتمزق الجدار الخارجي ويندفع الجدار الداخلي نحو الخارج ليشكل انتفاخاً على شكل حويصلة (الشكل 7 – 19) تنتقل إليها

الأبواغ التي تتحرر بعد تمزق جدار الحويصلة. وقد تكون الحويصلة جالسة على البوغ البيضي، أو تتشكل في نهاية أنبوبة إخراج، ولكن في 70 % من الحالات يحدث الإنبات بإعطاء حويصلة جالسة تحرر من 40 –60 بوغاً سابحاً.

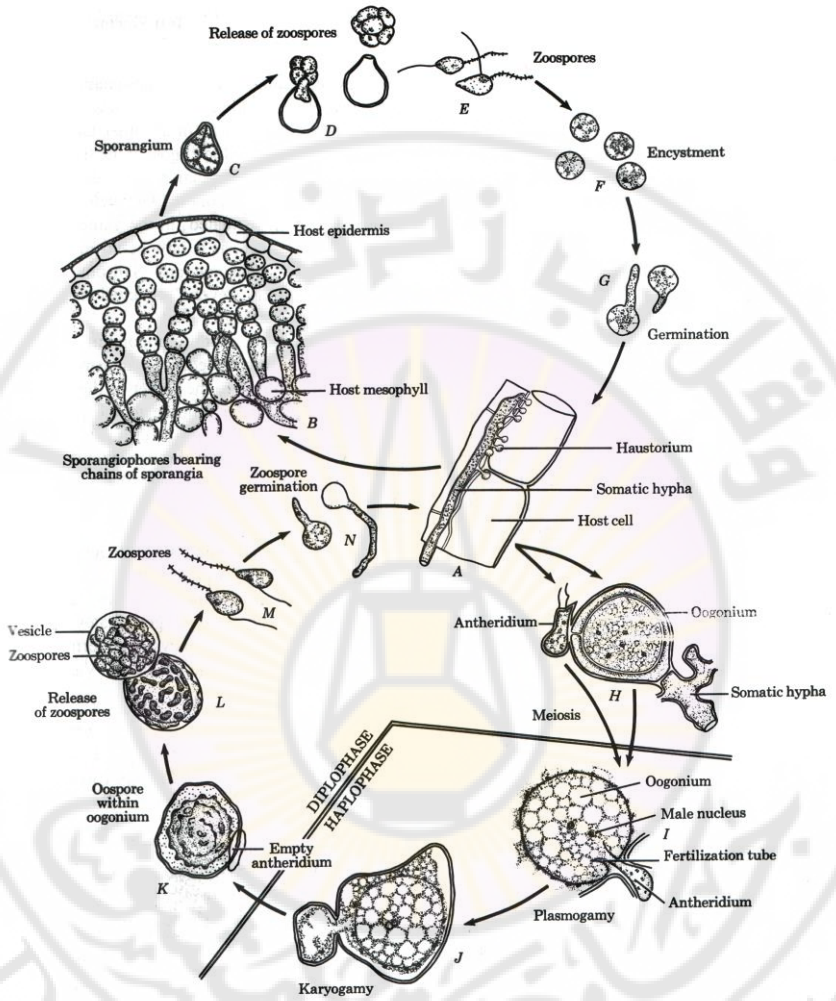


الشكل 7 - 19: إنبات البوغ البيضي وتشكل الحويصلة عند الفطر *Albugo* sp.

تسبح الأبواغ المهدّبة في الوسط المائي بمساعدة سياطها، وإذا صادفت عائلاً مناسباً تنبت مباشرة لتعطي أنبوبة إنبات تخترق ثغور النبات وتكوّن مشيجة فطرية داخلية في المسافات البينية لتحدث الإصابة وتعيد دورة حياة الفطر من جديد (الشكل 7 - 20). وقد يحدث إنبات البوغ البيضي مباشرة بإعطاء أنبوبة إنبات في ظروف معينة .

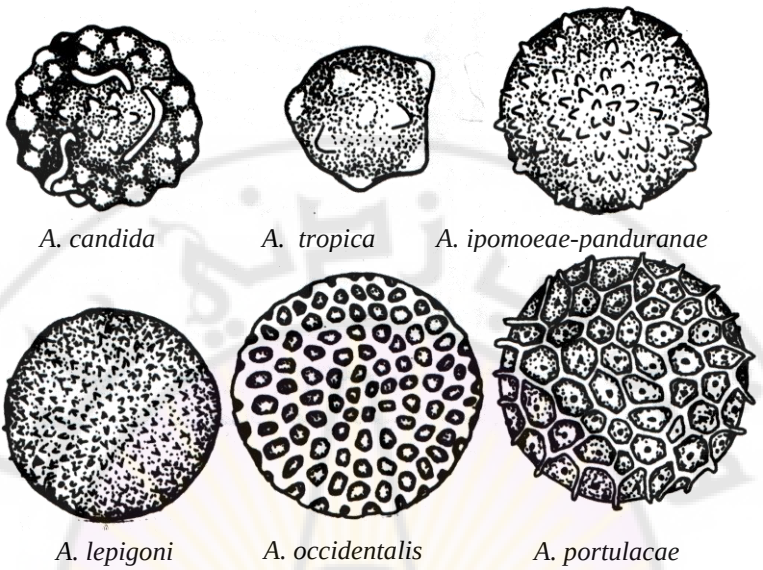
وتشير بعض الدراسات إلى أن الفطر *A. candida* متخالف المشائج، إذ تبيّن أن العدوى الأولية على نوع نباتي مضيف كانت عقيمة جنسياً، بينما تشكلت الأبواغ البيضية بإجراء عدوى ثانوية بعزلة أخرى، وهذا يفسر أن هذا الفطر عقيم ذاتياً.

وتساعد صفات الأبواغ البيضية في تمييز أنواع الجنس *Albugo* ، ويبيّن الشكل (7 - 21) نماذج من هذه الأبواغ البيضية ذات التزيينات المختلفة على سطوحها



الشكل 7 - 20: دورة حياة الفطر *Albugo candida* (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

(A) مشيجة بين خلوية ترسل ممصات Haustoria داخل خلايا المضيف. (B) حوامل بوغية تحمل سلاسل من الأكياس البوغية دافعة بشرة المضيف نحو الأعلى. (C) كيس بوغي متحرر. (D) تحرر الأبواغ السابحة من الأكياس البوغية. (E) أبواغ سابحة. (F) أبواغ سابحة متحوصلة. (G) إنبات الأبواغ السابحة إلى مشيجة تحدث الإصابة من جديد. (H) تشكل الأعضاء الجنسية المذكرة والمؤنثة. (I) اختراق أنبوبة الإخصاب للعضو المؤنث وحدوث الاندماج الهيولي بعد انقسام النوى. (J) اندماج نووي. (K) بوغ بيضي داخل العضو المؤنث. (L) إنبات البوغ البيضي معطياً أعلاه حوصلة تتشكل بداخلها الأبواغ السابحة. (M) أبواغ سابحة متحررة. (N) إنبات الأبواغ السابحة إلى مشيجة.



.

الشـكل 7 - 21 : نمـاذج مختلفـة مـن الأبـواغ البيضـية Oospores لسـتة أنـواع مـن الجـنس *Albugo* . (عـن Alexopoulos, 1962) .

الفصل الثامن

قسم الفطريات الحقيقية اللاسوطية

Division Eu-amastigomycota

تحت قسم الفطريات الزيجية

Sub-division Zygomycotina

الصفات العامة للفطريات الزيجية

هـــذه الفطريات واسعة الانتشار إذ تضم ما يقرب مـن 90 جنساً وستمائـــة نـوع، نصادفها كثيراً في حياتنا اليومية على العديد من الأوساط الطبيعية، فإذا تركنا طبقاً بترياً يحتوي على قليل من خلاصة البطاطا، أو قطعة من الخبز الرطب، نلاحظ بعد عدة أيام أن الطبق قد تغطى بشبكة من الخيوط الفطرية ذات اللون الرمادي، ويلاحظ بالعين المجردة وجود خيوط فطرية أفقية تخرج منها خيوط عمودية تنتهي بأكياس سوداء، فهذه هي الفطريات الزيجية، وغالباً ما يكون النوع *Mucor mucedo*.

تعيش الفطريات الزيجية رميّة سواء في التربة أو على ما يوجد في الماء من بقايا عضوية أو أي وسط غذائي عضوي. قليل منها ما هو طفيلي اختياري على نباتات الخضار والفاكهة مسببة أعفاناً طرية، أو متطفلة على الحشرات وخاصة الذباب.

المشيجة غير مقسمة، وقد تظهر الجدر المستعرضة فقط عند التقدم بالسن، أو لفصل الأعضاء التكاثرية. وتظهر الحواجز العرضية بانتظام عند بعض أفراد هذه المجموعة كما في الرتبتين Dimargaritales و Kickxellales، ويوجد في وسط الحاجز ثقب مركزي يسد بمادة كثيفة يبدو أنها من طبيعة دهنية. ونوى الخيوط الفطرية وحيدة المجموعة الصبغية Haploid.

يعتقد أن هذه الفطريات على ارتباط وثيق مع الفطريات البيضية نظراً لتشكل الأبواغ ضمن أكياس بوغية، ومع ذلك فإنها تختلف عنها بتركيب الجدار الخلوي المكوّن من المعقّد كيتين- كيتوزان، وبعدم وجود أبواغ سابحة وأعراس، وإنما يتم التكاثر اللاجنسي بواسطة أبواغ غير متحركة Aplanospores تتشكل داخل أكياس بوغية، وقد يحتوي الكيس على بوغ واحد فقط، ويسلك بذلك سلوك البوغ الكونيدي. و يتم التكاثر الجنسي عن طريق اتحاد أكياس عروسية غير متمايزة وعادة متماثلة Isogametangia أو Anisogametangia لتعطي الأكياس البوغية الزيجية Zygosporangia (مفردها Zygosporangium) التي تحاط بجدر سميكة، وتعمل كأبواغ ساكنة Resting spores، وتدعى أيضاً بالأبواغ الزيجية Zygospores التي تميّز هذه الفطريات.

يضم تحت قسم الفطريات الزيجية Zygomycotina صفين هما صف الفطريات الزيجية Zycomycetes و صف الفطريات الشعرية Trichomycetes ، وسوف نكتفي بالحديث عن الصف الأول فقط.

صف الفطريات الزيجية Class Zygomycetes

يضم هذا الصف حوالي 900 نوعاً موزعة في 120 جنساً، و29 فصيلة، و 7 رتباً، وسنتعرض فيما يلي لأهم الصفات التي تميز بعض هذه الرتب.

1– رتبة الميكورالس Order Mucorales

أفراد هذه الرتبة واسعة الانتشار في الطبيعة، وتسمى عادة بالأعفان السوداء Black molds. وتضم 13 فصيلة، وأكثر من 300 نوعاً موزعة في 56 جنساً، ومن أهم مميزاتها:

- تشمل كل الفطريات الزيجية الرمية الشائعة في التربة، أو على البقايا النباتية، أو على روث الحيوانات، ونادراً على البقايا الحيوانية، ويسبب بعضها فساد الأطعمة.

- يعيش بعض أنواعها متطفلاً إجبارياً على أنواع فطرية أخرى، وقد تكون من نفس الرتبة، ويصيب بعضها الجهاز العصبي عند الإنسان مسببة له أمراضاً صعبة التشخيص، كما يتطفل بعضها على الحيوانات.

- بعض أفرادها متطفلات ضعيفة على الأجزاء النباتية المفصولة كالثمار أثناء النقل والتخزين، وتسبب لها أعفاناً تؤدي إلى تخفيض أسعارها، إذ يسبب الفطر *Rhizopus stolonifer* مرض التثقّب على ثمار الفريز أثناء نقلها، وكذلك العفن الطري على البطاطا الحلوة أثناء تخزينها.

- قد تتطفل على النباتات الخضراء، والحشرات وخاصة الذباب.

- يستطيع بعض أفرادها تحويل النشاء إلى سكر عن طريق التخمر الكحولي، وإنتاج كميات كبيرة من الكحولات، ويستخدم الكثير من أنواعها صناعياً في إنتاج العديد من المركبات الكيميائية، إذ يستخدم الفطر *Rhizopus stolonifer* (عفن الخبز) في إنتاج حمض الفيوماريك، كما تستطيع أنواع عديدة من الرايزوبس إنتاج كميات كبيرة من حمض اللاكتيك، وينتج بعض أفراد هذه الرتبة حمض الستريك والسكسنيك و الأكساليك وغيرها من المركبات الكيميائية الهامة. وبعض أنواعها قادر على تصنيع الكاروتين في المزارع الصنعية.

- المشيجة متفرعة، غير مقسّمة، وتصبح مقسّمة عند الشيخوخة، أو لفصل الأعضاء التكاثرية. وقد تأخذ المشيجة شكلين مختلفين Dimorphic حسب الوسط الذي تنمو عليه، فعندما ينمو الفطر *Mucor* sp. على وسط سكري عالي التركيز، يكوّن مشيجة كاذبة Pseudomycelium بدلاً من تكوين خيوط فطرية، وفي الظروف اللاهوائية تتشكل خلايا خمائرية تتكاثر عندها بالبرعمة وتسبب تخمراً كحولياً نشطاً، وتستطيع الأجسام الخمائرية النمو لتكوين مشائج عادية بعد نقلها إلى أوساط غذائية صلبة و جيدة التهوية. وقد تنقبض محتويات الخيوط الفطرية المسنة لتتشكل أبواغ بينية تدعى الأبواغ الكلاميدية Chlamydospores.

- يخرج من مشيجة الفطر عند بعض الأجناس كما في الجنسين *Rhizopus* و *Absidia* أشباه جذور Rhizoids تثبتها بالطبقة التحتية Sub-stratum، ويصل بين كل مجموعتين من أشباه الجذور خيوط هوائية (مدادات) يدعى كل منها رئد Stolon، تشبه السوق الهوائية الزاحفة في نبات الفريز.

- يتم التكاثر اللاجنسي بتكوين أبواغ غير متحركة تدعى بالأبواغ السبورانجية Sporangiospores، التي تتشكل ضمن أكياس بوغية Sporangia محمولة على حوامل سبورانجية Sporangiophores. تتشكل الأكياس البوغية في نهاية الخيوط أو التفرعات، إذ ينتقل جزء من هيولى الخيط الفطري إلى قمته، ثم ينتفخ هذا الجزء، ويُفصل بحاجز عرضي عن بقية الخيط الفطري ليتشكل الكيس البوغي، الذي تنقسم محتوياته إلى عدة أجزاء وحيدة النواة عادة، يمثل كل منها بوغ سبورانجي. يندفع الحاجز العرضي عند معظم أجناس هذه الرتبة داخل الكيس البوغي على شكل انتفاخ يدعى بالعماد "Columella"، ويُعد غياب العماد عند بعض الأجناس صفة بدائية كما هي الحال في أفراد الفصيلة Mortierellaceae.

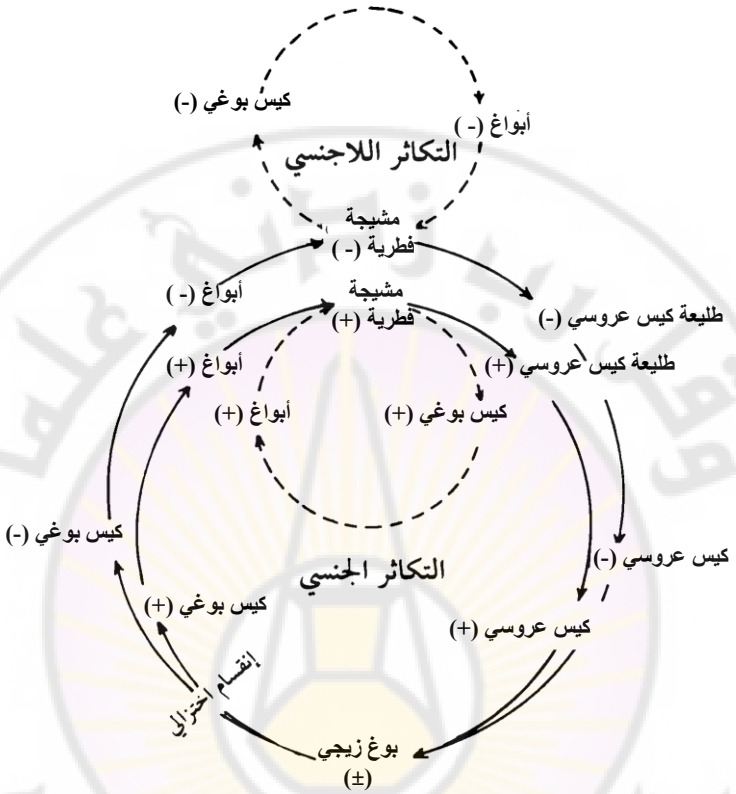
وقد يحتوي الكيس البوغي على عدد قليل من الأبواغ، أو حتى على بوغ واحد، فيدعى بالكيس البوغي الصغير Sporangiolum (جمعها Sporangiola). وفي بعض الأكياس البوغية الصغيرة أحادية البوغ، يبقى جدار الكيس البوغي مميزاً ويمكنه الانفصال عن البوغ الموجود بداخله عند النضج، إلا أنه في البعض الآخر يكون متحداً مع جدار البوغ المذكور، وعلى الرغم من أن معظم علماء الفطريات يطلقون على هذا النمط الأخير من الأكياس البوغية الصغيرة اسم البوغ الكونيدي، إلا أنه من الأصح تسميته كيس وحيد البوغ Monosporous sporangium، وليس بوغاً كونيدياً.

- يتم التكاثر الجنسي عند أفراد هذه الرتبة بشكل عام بخروج نموّين من خيطين فطريين متقابلين يتجهان نحو بعضهما حتى تتلامس أطرافهما لتشكل طلائع الأكياس العروسية Progametangia. تتكثف الهيولى وتهاجر النوى إلى قمة طليعة الكيس

العروسي، ثم يفصل عن باقي الخيط الفطري بحاجز عرضي ليتشكل بذلك الكيس العروسي Gametangium، وجزء سفلي يدعى حامل الكيس العروسي Suspensor. تزول الجدر الفاصلة بين الكيسين العروسين المتلامسين، ثم يحدث اندماج هيولي ونووي لتتشكل البيضة الملقحة Zygote التي تحتوي على نوى ثنائية المجموعة الصبغية، وتكون في البداية محاطة بجدار رقيق نشأ من جدر الأكياس البوغية، ثم تنمو البيضة الملقحة إلى بوغ زيجي، ويتكون جدار سميك تحت الجدار الرقيق الذي يتمزق مع نمو البوغ الزيجي Zygospore أو "Zygosporangium"، ويصبح لونه داكناً، وتظهر عليه تزيينات، وقد ينشأ عند بعض الفطريات من الحوامل Suspensors زوائد تحيط بالبوغ الزيجي. يسكن البوغ الزيجي لفترة، ثم ينبت بعد حصول الانقسام الاختزالي للنوى ليعطي أنبوبة بوغية تنتهي بكيس بوغي، أو أنه ينمو مباشرة بتكوين أنبوبة نمو ومن ثم مشيجة متفرعة.

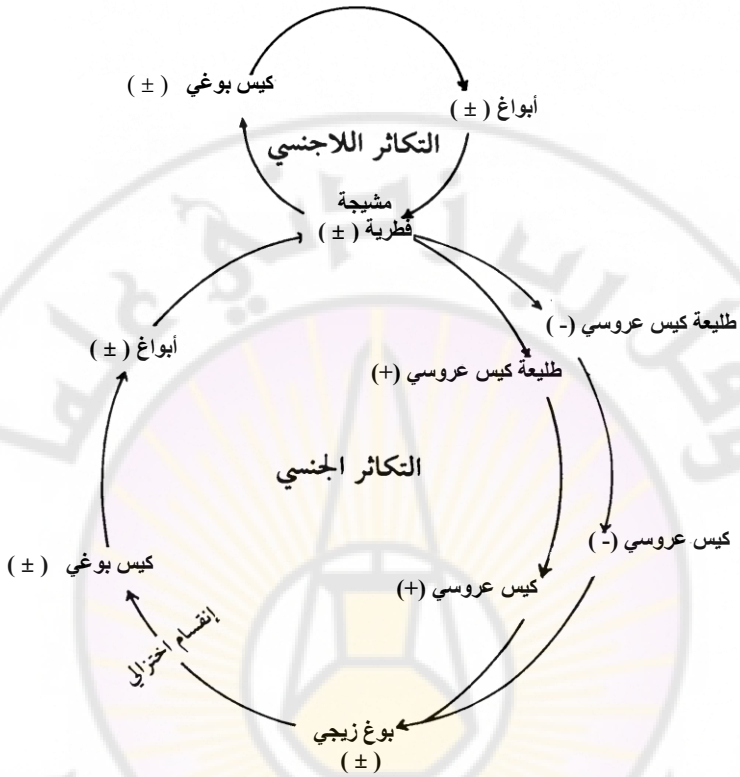
وفي بعض الأجناس، ينمو البوغ الزيجي دون حدوث الاندماج النووي بداخله. وقد يفشل الاندماج الهيولي الطبيعي تحت بعض الظروف، وبالتالي ينمو أحد الكيسين العروسين أو كليهما إلى بوغ يدعى بالبوغ اللازيجي "Azygospore"، وهو يماثل البوغ الزيجي بالشكل الظاهري لكنه أصغر حجماً.

يتم التكاثر الجنسي بين خيطين فطريين متماثلين بالحجم وبالشكل من مشيجتين مختلفتين بالنمطية التآلفية Mating type ويرمز لكل منها بإشارة السالب (-) أو الموجب (+)، و توصف هذه الفطريات بأنها متخالفة المشائج Heterothallic كما هي الحال عند معظم الأنواع (الشكل 8 –1)، وتكون الأكياس العروسية المتزاوجة في جميع الفطريات متخالفة المشائج متماثلة بالحجم، ولذلك تدعى بالأنواع متجانسة الأكياس العروسية Homogametangia.



الشكل 8 - 1 : رسم تخطيطي يوضح النموذج العام لدورة الحياة في الأنواع متخالفة المشائج Heterothallic (عن الرحمة ، 1993) .

توصف بعض أنواع الفطريات الزيجية بأنها متماثلة المشائج Homothallic (الشكل 8 – 2)، أي يمكن لخيوط المشيجة نفسها أن تتزاوج وتشكل بوغاً زيجياً. وفي الأنواع المتماثلة المشائج، إما أن تكون الأكياس العروسية المتزاوجة متماثلة بالحجم في الأنواع متماثلة الأكياس العروسية Homogametangia، وإما مختلفة بالحجم في الأنواع متباينة الأكياس العروسية Heterogametangia كما هي الحال في النوع *Absidia spinosa*



الشكل 8 - 2 : رسم تخطيطي يوضح النموذج العام لدورة الحياة في الأنواع متجانسة المشائج Homothallic (عن الرحمة ، 1993) .

وتجدر الإشارة إلى أن هذه العملية الجنسية خاضعة لتحكم هرموني، وأن الهرمونات التي تنتجها هذه الفطريات أثناء التكاثر الجنسي لا تتصف بالتخصصية، فمثلاً الهرمونات المأخوذة من الفطر *Mucor mucedo* تستطيع تحريض تشكل طلائع الأكياس العروسية في أنواع أخرى من رتبة الميكورالس Mucorales، وقد تمكّن الباحثون من استخلاص هذه الهرمونات بصورة نقية كيميائياً.

تضم هذه الرتبة العديد من الفصائل، ولكن سوف نأخذ الفصيلة الميكوراسيه Mucoraceae كمثال عن هذه الرتبة.

فصيلة الميكوراسيه Family Mucoraceae

فطرياتها رميّات بحتة على المواد العضوية المتحللة وعلى روث البهائم وفي التربة، ولا تحدث أمراضاً للنبات، ولكنها تلعب دوراً هاماً في الطبيعة لأنها تعمل إلى جانب كائنات فطرية وجرثومية أخرى على إعادة هدم بقايا النباتات وجثث الحيوانات وتفكيكها إلى مواد بسيطة يمكن الاستفادة منها مجدداً. ويفرز عدد كبير من أنواعها أنزيمات شبيهة بالأميلاز Amylase التي تحوّل النشاء إلى سكر، وبعضها يفرز أنزيمات الزيماز Zymase التي تسبب التخمر الكحولي وإنتاج الكحول الايثيلي. ولذلك استخدمت هذه الأنواع وخاصة الفطر *Rhizopus oryzae* في أقطار شرق أسيا من أجل عمليات تخمير الرز والحصول على مشروب خاص يدعى الساكي Saki، ولكنه استبدل في الوقت الحاضر بالفطر *Aspergillus oryzae* . والاستخدام الأكثر غرابة لهذه الفطريات، هو استخدام الخيوط المجففة للفطر *Rhizopus arrhizus* لتخليص المياه من الكادميوم، وهو معدن ثقيل وخطير جداً.

وهناك أنواع أخرى تُعَدّ مفيدة لاستعمالاتها في إنتاج مستحضرات مفيدة طبياً كالفيتامينات وغيرها. وبعضها يسبب فساد المواد الغذائية المختلفة أثناء حفظها.

و رغم أن هذه الفطريات عاجزة بسبب طبيعتها الرمية عن مهاجمة النباتات النامية، إلا أن بضعة أنواع منها قادرة على مهاجمة أجزاء نباتية ناضجة ومفصولة عن النبات كالثمار والدرنات والأبصال، وخاصة المصابة منها بجروح أو بآفات حشرية وغيرها، فمثل هذه الإصابات توفر للفطر بؤرة من الخلايا الميتة أو الضعيفة التي يستطيع أن يغزوها ويفرز حولها أنزيماته المحللة للسيللوز والبكتين مما يسمح له بغزو المزيد من الأنسجة .

تعد هذه الفصيلة من أكبر فصائل رتبة Mucorales، وتضم 20 جنساً، نذكر منها الجنسين *Rhizopus* و *Mucor* إضافة إلى العديد من الأجناس الأخرى التي لايمكن الحديث عنها جميعها.

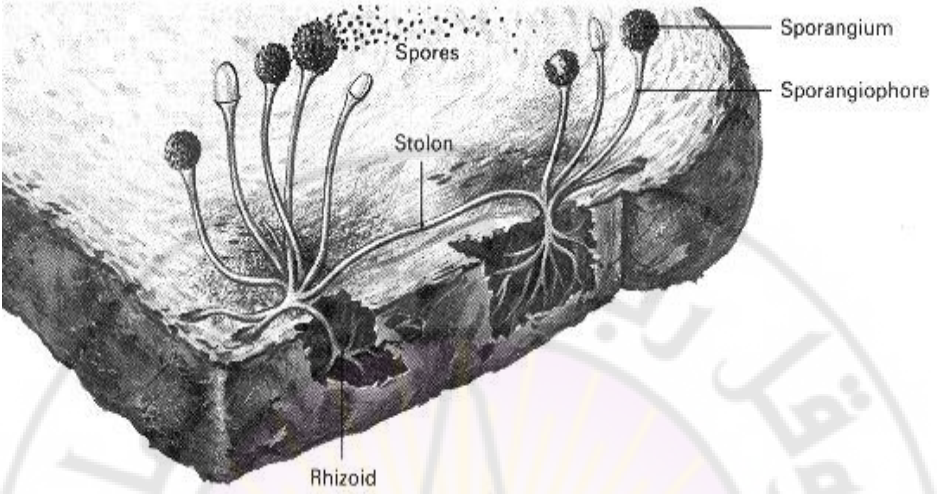
الجنس *Rhizopus*: أفراده واسعة الانتشار في التربة وعلى الثمار المتحللة، والخبز القديم، وتعد من أكبر الملوثات في المزارع الفطرية في المختبرات، ويهاجم البعض منها الثمار والخضروات والبذور المخزونة، إذ يسبب الفطر *R. stolonifer* أعفاناً طرية على ثمار العديد من النباتات. ويتم هضم المواد الغذائية بإفراز أنزيمات خارجية مثل تلك المحللة للسكريات والبروتينات والدهون.

يسبب البعض منها أمراضاً خطيرة وأحياناً مميتة للإنسان، وبعض أنواعه ممرضة للنبات. ويعد الجنس *Rhizopus* من بين الفطريات التي تسبب مجموعة من الأعراض يطلق عليها اسم "Zygomycosis"، وتشمل أمراضاً جلدية فطرية و دماغية و تناسلية ومعوية ورئوية.

وتستخدم بعض أنواع هذا الجنس صناعياً لإنتاج العديد من الأحماض العضوية مثل الفيوماريك واللبن واللاكتيك، إضافة لاستخدامها في بعض مراحل إنتاج الكورتيزون.

مشيجة هذه الفطريات سريعة النمو، تملأ طبق البتري وتصل إلى النضج خلال 4 أيام. وتكون في البداية بيضاء اللون، ثم تتحول إلى الرمادي أو الأسمر مع الزمن. الخيوط الفطرية ثخينة نسبياً (6 – 15 µm بالقطر)، وتزحف على سطح الوسط، وتتثبت عليه في نقاط بواسطة جذيرات صغيرة Rhizoids، والخيوط التي تصل بين كل نقطتين للتثبيت تدعى رئد أو مدّادة Stolon، وهي تساعد على انتشار النوع، ويخرج من نقاط التثبيت حوامل الأكياس البوغية سمراء اللون، وغير متفرعة، وقد تكون منفردة أو بمجموعات، تحمل في قممها الأكياس البوغية، العماد كروي الشكل، والأبواغ وحيدة الخلية، كروية أو بيضوية الشكل (الشكل 8 – 3).

يضم هذا الجنس حوالي 35 نوعاً، ويُعد *R. stolonifer* من أهم هذه الأنواع، ولذلك سنأخذه كمثال عن طرق التكاثر الجنسي واللاجنسي عند أفراد هذه الفصيلة.



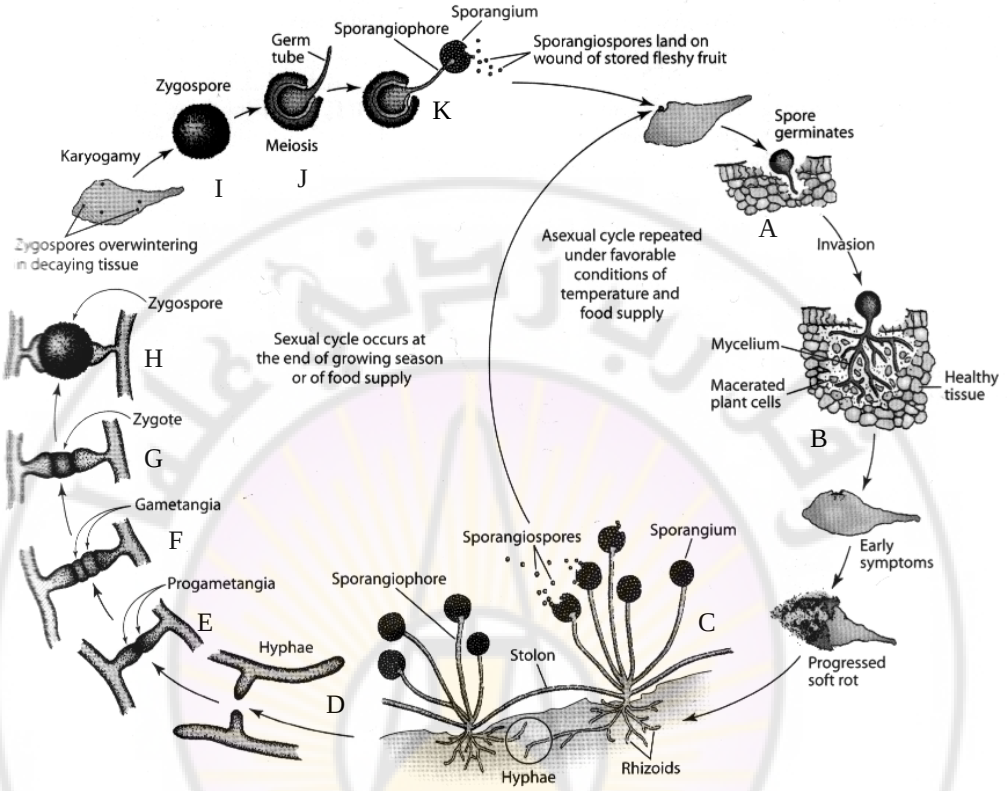
الشـــكل 8 - 3 : الحوامـــل البوغيـــة Sporangiophores التـــي تحمـــل الأكيـــاس البوغيـــة Sporangia (Sporangiospores)، يقابلها بالاتجاه المعاكس أشباه الجذور Rhizoids التي يصل بينها خيوط هوائية (رئد Stolon) عند الفطر *Rhizopus stolonifer* النامي على قطعة من الخبز .

التكـاثر اللاجنسـي: يـتم التكـاثر اللاجنسـي بتشـكيل أكيـاس بوغيـة نموذجيـة علـى حوامـل بوغية بشكل مفرد أو بمجموعات، وذلك بعد أن يتشكل وينمو الجهاز الجذري للفطر علـى الوسط الموجود عليه، إذ تنتقل الهيولى وتتكثف في قمـة الخيط الفطـري الـذي يتضـخم، ثم ينفصـل بحـاجز عرضـي، وتنقسم محتويـات الكيس لتتشكل الأبـواغ السبورانجية، ويبـرز الحـاجز العرضـي علـى شـكل انتفـاخ داخـل الكيس مكونـاً العمـاد Columella الـذي يقوم بإيصـال كمية أكبر من الغذاء إلى الأبواغ أثنـاء تشكلها، ويستمر فـي التضـخم داخـل كيس الأبواغ مما يسبب ضغطاً على الأبواغ التي تضغط بدورها علـى جدار الكيس ممـا يـؤدي إلى تمزقه وتحرر الأبواغ التي تنتشر بالهواء لتجد المكان المناسب لتنبت وتعطـي خيوطـاً فطريـة جديدة، وبعد انتشـار الأبـواغ يبقـى من جدار الكيس البـوغي جزء قاعدي يحيط بالعماد يدعى بالياقة أو العنق Collar.

التكاثر الجنسي : يتم التكاثر الجنسي بتكوين الأبواغ الزيجية، و يبدأ تشكل هذه الأبواغ عندما تتهيأ الفرصة لخيطين فطريين من سلالتين مختلفتين فيزيولوجياً إحداهما (+) والأخرى (-) ليوجدا بجانب بعضهما البعض. إذ يفرزان حامض الترايسبوريك Trisporic acid، وهو حمض غير طيار، والذي يقوم بتحريض تكوين طلائع الأكياس العروسية Progametangia، حيث يخرج من هذين الخيطين نموان يتجهان نحو بعضهما حتى تتلامس أطرافهما لتشكل طلائع الأكياس العروسية. تتكثف الهيولى وتهاجر النوى إلى قمة طليعة الكيس العروسي، ثم يتشكل جدار عرضي يفصلها عن باقي الخيط الفطري وتتشكل بذلك خلية طرفية (تدعى بالكيس العروسي Gametangium)، وجزء سفلي يدعى حامل الكيس العروسي Suspensor. تبدأ الجدر الفاصلة بين الكيسين العروسين المتلامسين بالزوال عند نقطة التلامس، ثم يحدث بعد ذلك اندماج هيولي واندماج نووي، وتتشكل بذلك البيضة الملقحة التي تحتوي على نوى ثنائية المجموعة الصبغية، تزداد بالحجم، ويتغلظ جدارها، ويصبح لونها داكناً، وتظهر عليها تزيينات لتشكل ما يعرف بالبوغ الزيجي Zygospore. يبقى هذا البوغ في حالة سكون لفترة زمنية، وعند الإنبات في الظروف المناسبة تنقسم النوى انقساماً اختزالياً مكونة نوى أحادية المجموعة الصبغية، على خلاف ما يحدث في الجنس *Mucor* إذ يتم الاندماج النووي والانقسام الاختزالي قبل دخول البوغ في طور السكون، ثم يعطي البوغ أنبوبة بوغية تنتهي بكيس بوغي، أو أنه ينمو مباشرة بتكوين أنبوبة نمو ومن ثم مشيجة متفرعة (الشكل 8 – 4) .

معظم أنواع هذا الجنس متخالفة المشائج. ولكن بعض أنواعه متماثلة المشائج، أي يمكن لخيوط المشيجة نفسها أن تتزاوج وتشكل بوغاً زيجياً كما هي الحال عند الفطر *R. sexualis*.

الجنس *Mucor*: يضم 60 نوعاً رميّاً على الخبز، ويسبب بعضها تعفّن الثمار، والخضروات المخزونة، والمواد المعلّبة والمحفوظة والجلود، ويوجد أيضاً في الترب



الشكل 8 - 4: دورة حياة الفطر *Rhizopus stolonifer*.

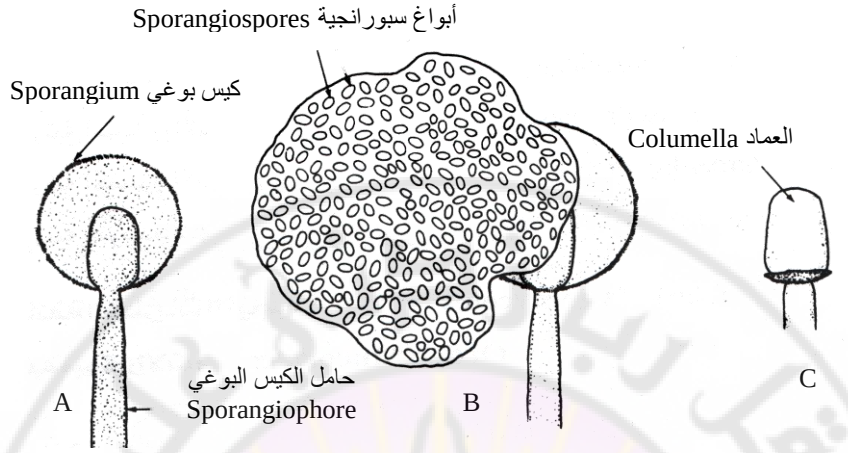
A: إنبات البوغ السبورانجي Germination إلى مشيجة. B: مشيجة الفطر. C: الأكياس البوغية Sporangia محمولة على حوامل بوغية Sporangiophores. C، C`: أبواغ سبورانجية Sporangiospores. D، E: التقاء خيطين فطريين مختلفين وظيفياً (+، -) وتشكل طلائع الأكياس العروسية Progametangia. F: تشكل الأكياس العروسية Gametangia لكل منها حامل Suspensor. G: تشكل طليعة الكيس الزيجي Prozygosporangium أو البيضة الملقحة Zygote بعد حدوث الاندماج الهيولي Plasmogamy. H، I: البوغ الزيجي Zygospore. J: إنبات الكيس الزيجي بعد حدوث الاندماج النووي Karyogamy المتبوع بالانقسام الميوزي. K: خروج أنبوبة بوغية تنتهي بكيس بوغي يحرر بدوره أبواغاً سبورانجية. (Agrios, 2004)

الغنية بالدبال والمواد العضوية المتحللة. وكما هي الحال في الجنس *Rhizopus*، فإن الجنس *Mucor* من الفطريات المسببة لمجموعة الأمراض المسماة Zygomycosis، وتصيب بعض أنواعه أيضاً الضفادع والمواشي والخنازير. ولبعض أنواعه فوائد صناعية إذ يستعمل النوع *M. javanicus* في التخمّر الكحولي.

المشيجة غير مقسمة عديدة النوى، ولكنها تصبح مقسمة مع تقدمها بالسن، وتتشكل أيضاً الحواجز العرضية لفصل أعضاء التكاثر كما في معظم فطريات هذه الرتبة. تنمو مشيجة الفطر أفقياً فوق الوسط المغذي في كل الاتجاهات، وينشأ من بعض المناطق أفرع تنغرس في الوسط الموجودة عليه، وهي عبارة عن خيوط فطرية قصيرة، كثيرة التفرع، رقيقة الجدر، وذات أقطار صغيرة يطلق عليها اسم هيفات الامتصاص Absorptive hyphae تقوم بامتصاص المواد الغذائية من الوسط، وتعمل بذلك عمل أشباه الجذور الموجودة في الفطر رايزوبس، ولكنها أقل تخصصاً منها. قد يلاحظ تشكل أبواغ مفصلية Arthrospores (Oidia) طرفية أو بينية، كما يمكن أن تشكل بعض الأنواع أبواغاً كلاميدية. أشباه الجذور والمدّادات غير موجودة، وهذا ما يميزه عن الجنس رايزوبس . الحوامل البوغية قصيرة، منتصبة، ومستدقة باتجاه القمة، وقد تكون غير متفرعة، ويمكن أن تشكل فروعاً قصيرة. العماد موجود، ويشاهد بوضوح حتى قبل تمزق الأكياس البوغية (الشكل 8 – 5)، وقد يكون غائباً في الأكياس البوغية الصغيرة. الأكياس البوغية كروية رمادية إلى سوداء اللون، ويبقى جزء من الأكياس البوغية عند قاعدتها بعد تمزقها يدعى بالعنق Collar. الأبواغ دائرية، وقد تكون متطاولة قليلاً، رمادية أو سمراء اللون، ذات جدر ملساء أو مزينة قليلاً.

يتم التكاثر الجنسي بنفس الطريقة كما في الجنس *Rhizopus*، إلا أن اندماج أزواج النوى داخل البيضة الملقحة يُتبع مباشرة بالانقسام الاختزالي قبل أن يدخل البوغ الزيجي في طور السكون. بعض أنواعه متماثلة المشائج، وبعضها الأخر متخالف المشائج مثل *M. mucedo* و *M. hiemalis* .

وتساعد بعض الصفات الفيزيولوجية و المورفولوجية مثل صفات حوامل الأكياس البوغية متفرعة أو غير متفرعة، وشكل الأبواغ (كروية أو متطاولة)، ودرجة الحرارة العظمى التي ينمو عليها الفطر، ووجود الأبواغ الكلاميدية، وتمثيل الإيثانول في تمييز أنواع الجنس *Mucor* .



الشكل 8 - 5 : (A) كيس بوغي Sporangium محمول على حامل بوغي Sporangiophore. (B) تحرر الأبواغ السبورانجية Sporangiospores بعد تمزق الكيس البوغي. (C) تشكل الحوامل البوغية، وتحرر الأبواغ عند الفطر *Mucor* spp. .

2 - الرتبة Order Glomales

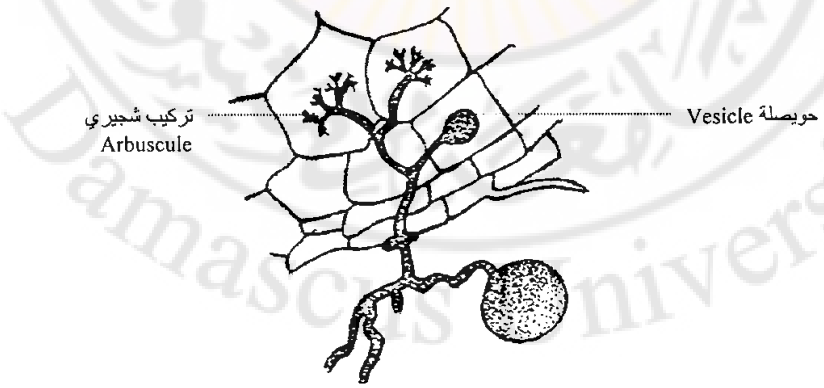
تضم هذه المجموعة حوالي 200 نوعاً، تعيش معيشة تكافلية إجبارية مع جذور النباتات، وقليلاً ما هو معروف عن بيولوجية هذه الفطريات خاصة وأنه من الصعب زراعتها في المختبر على الأوساط الصنعية.

يتم انتشار هذه الفطريات عن طريق إنتاج الأبواغ اللاجنسية، وأبواغها الساكنة سميكة الجدر وشائعة في معظم الترب، ولا يتحرض إنباتها إلا بوجودها قرب جذور النبات المناسب. ولا يعرف لهذه الفطريات طور تكاثر جنسي، وتتشكل الأبواغ اللاجنسية بعد اجتماع الفطر مع النبات.

تُعد هذه الفطريات هامة جداً من وجهة نظر بيئية لأنها تشكل المتعايشات الفطرية الداخلية " Endomycorrhiza" تسمى بالمتعايشات (الميكوريزا) الحويصلية – الشجيرية Vesicular - arbuscular mycorrhizas (VAM) مع معظم مغلفات البذور، وبعض عريانات البذور، وبعض النباتات الدنيا، وقليلاً من الطحالب، وتؤكد

الدراسات أن حوالي 90 % من الأنواع النباتية الراقية تشكل ميكوريزا مع هذه الفطريات. لا يشكل هذا النوع من الميكوريزا محفظة فطرية، ولا شبكـة هارتج Hartig network كما فـي المتعايشات الفطرية الخارجية Ectomycorrhiza. وعلى الرغم من أن خيوط الفطر تدخل إلى الخلية Intracellular، إلا أنها لا تخترق الهيولى، وإنما تحدث انخماصاً في الغشاء الهيولي مشكلة منطقة تبادل تفصلها عن الهيولى. وينحصر وجود الخيوط الفطرية بين وداخل خلايا قشرة الجذر، بينما تكون الأدمة الباطنة للجذر، و بالأحرى كل المناطق الأخرى من النبات خالية منها.

التركيب الشجيري لهذه الفطريات عبارة عن خيوط فطرية متفرعة تشبه الممصات تخترق جدار الخلية، وتدفع الغشاء الهيولي لتشكل منطقة تماس واسعة بينها وبين هيولى الخلية تؤمن التبادل ثنائي الاتجاه بين الشريكين، وتبقى هذه الخيوط الفطرية الشجيرية على قيد الحياة لعدد قليل من الأيام قبل أن تهضم من قبل خلية النبات. بينما الحويصلات هي انتفاخات نهائية تتشكل بين أو داخل خلايا الجذر، وتعمل كمخزن للطاقة لاستخدامها من قبل الفطر عندما يكون الإمداد من قبل النبات قليلاً (الشكل 8 – 6).



الشكل 8 - 6: التركيب الشجيري والحويصلات التي تكونها الفطريات المشاركة في المتعايشات الفطرية الداخلية الشجيرية – الحويصلية Vesicular-arbuscular endomycorrhiza .

3 - رتبة الزوباجالس Order Zoopagales

أفراد هذه الرتبة واسعة الانتشار، تضم 9 أجناس في فصيلة واحدة Zoopagaceae، وتعيش متطفلة على الديدان الخيطية، والأميبا والحيوانات الأولية الأخرى، وبعض الفطريات. تتكون مشيجة الفطر من خيوط غير مقسمة في البداية، ولكن الحواجز العرضية تظهر مؤخراً لفصل الأجزاء المسنة من الخيط الفطري، أو لفصل أعضاء التكاثر

4 - رتبة الانتوموفثورالس Order Entomophthorales

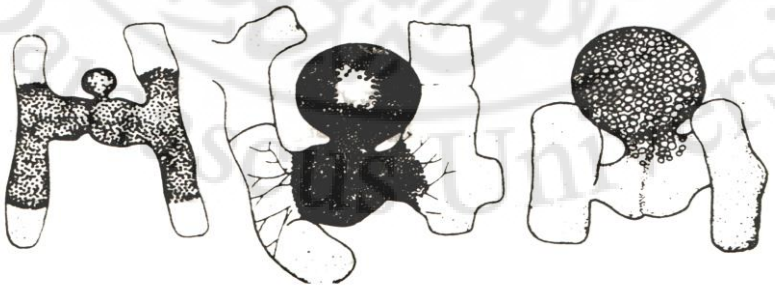
يتطفل أفراد هذه الرتبة بشكل أساسي على الحشرات ومفصليات الأرجل الأخرى كما في الجنسين *Entomophthora* و *Empusa*، ويتطفل عدد قليل منها على النباتات الدنيا مثل السراخس، ويتطفل بعض الأنواع على الطحالب، كما يعيش البعض من أنواعها رمياً على بقايا النباتات ومخلفات الضفادع والسحالي. بينما يتطفل الفطر *Entomophthora coronata* على الإنسان والحيوان والحشرات .

تبدي الخيوط الفطرية لمشائج هذه الفطريات ميلاً محدداً لتكوين حواجز عرضية، فعندما ينبت البوغ يعطي أنبوبة إنبات يظهر فيها بعض الحواجز العرضية التي تقسّم الخيط الفطري إلى أجزاء وحيدة النواة أو متعددة النوى. وقد تتجزأ المشيجة إلى عدد من الأجزاء تدعى بالأجسام الخيطية الفطرية (الهيفية) "Hyphal bodies" ينفصل بعضها عن بعض. وتستطيع هذه الأجسام التكاثر بالتبرعم أو بالانقسام، ولا يلبث كل منها أن يعطي حاملاً كونيدياً يحمل على قمته بوغاً كونيدياً واحداً، ويمكن أن تقوم هذه الأجسام بوظيفة الأكياس العروسية في بعض أنواع الجنس *Entomophthora*. وقد تكوّن بعض الأنواع خيوطاً فطرية تشبه الجذور، بسيطة أو متفرعة، ينتهي كل منها بماسك يفرز مادة صمغية، وتمتد من الحشرة المتطفل عليها لتلتصق بالطبقة التحتية. كما يمكن أن تشكل المشيجة أو الأجسام الخيطية الفطرية أبواغاً كلاميدية بتكوين جدار

سميك، مصحوباً أو غير مصحوب بتضخم الخلية الإعاشية. وتكون الخيوط الفطرية في الفصيلة Basidiobolaceae مقسمة بانتظام إلى خلايا وحيدة النواة .

يتم التكاثر اللاجنسي بتشكيل كييسات بوغية محمولة على حوامل بوغية بسيطة أو متفرعة، وتسلك سلوك الأبواغ الكونيدية إذ تعطي غالباً عند إنباتها أنابيب إنبات، باستثناء الجنس *Basidiobolus* إذ يتحول البوغ الكونيدي عند الإنبات إلى كيس بوغي يحرر عدداً من الأبواغ غير المتحركة. وتكون الأبواغ الكونيدية عند أفراد هذه الرتبة مغطاة عادة بمادة هلامية تسمح لها بالالتصاق بأي جسم تصادفه. وفي حال عدم ملائمة الظروف، فإن البوغ الكونيدي ينبت ليعطي حاملاً ينتهي ببوغ ثانوي بدلاً من إنباته مباشرة إلى مشيجة، وقد تتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يتمكن من الوصول إلى وسط مناسب للنمو.

ويتم التكاثر الجنسي باتحاد نهايتي فرعين متخصصين من نفس الخيط الفطري أو من خيطين متباينين. وكما ذكرنا سابقاً، يمكن أن تقوم الأجسام الخيطية الفطرية بوظيفة الأكياس العروسية. وتكون الأكياس العروسية متشابهة أو مختلفة الحجم. ويتشكل البوغ الزيجي بنفس الطريقة التي تسلكها الفطريات الزيجية الأخرى، إلا أن البوغ الزيجي هنا يمكن أن يتشكل أيضاً بداخل إحدى الكيسين العروسين، أو من بروز ينشأ من إحدى الكيسين العروسين أو من كليهما بعد الاندماج (الشكل 8 – 7) .



الشكل 8 - 7 : مراحل تكون البوغ الزيجي، وظهوره على شكل برعم من الخلية الناتجة عن اتحاد جسمين خيطيين فطريين عند الفطر *Entomophthora sepulchralis* .

ولا يعـرف التكاثر الجنسي عنـد بعـض الأنواع، ولكنها تشكل أبواغاً لازيجية Azygospores تماثل في شكلها الأبواغ الزيجية. وقد تنشأ الأبواغ اللازيجية من التبرعم المباشر للأبواغ الكلاميدية أو من النمو البكري للأجسام الخيطية الفطرية. ويطلق على جميع هذه التراكيب التكاثرية سميكة الجدر والمقاومة للظروف غير المناسبة سواء أبواغ زيجية أو لازيجية أو كلاميدية اسم الأبواغ الساكنة "Resting spores".

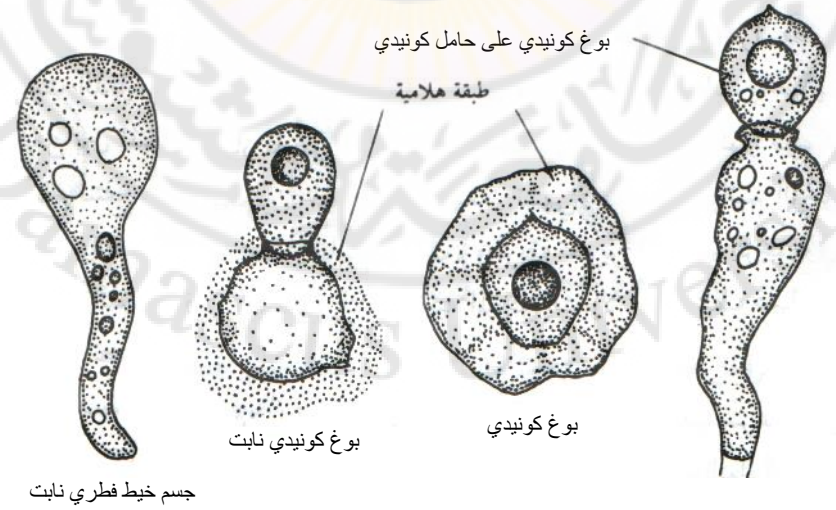
فصيلة الأنتوموفتوراسيه Family Entomophthoraceae

يتطفل بعض أفرادها على الحشرات ، ومنها ما يتطفل على الطحالب والسراخس، كما يعيش بعضها مترمماً على المواد العضوية المتحللة .

وسوف نأخذ الفطر *Enthomophthora* كمثال عن هذه المجموعة من الفطريات. يعني الاسم العلمي لهذا الجنس بمدمر الحشرات "Insect destroyer" (*Entomo* = حشرة + *Phthora* = مدمّر)، ومـن أنواعـه المعروفـة "قاتل الذباب" *E. muscae* الذي يتطفل على الذباب المنزلي وغيره من الحشرات الكاملة من رتبة ثنائية الأجنحة، وينتشر في معظم المناطق المعتدلة، وتشجع الظروف الجوية الباردة والرطبة إنتاج الأبواغ الكونيدية الأولية وانتشار المرض. ويشاهد بكثرة مجموعات من الذباب الميتة والملتصقة على الزجاج، أو يشاهد في الحقل جثث الحشرات الملتصقة على سطوح الأوراق، وعند تفحص الذبابات الميتة بإمعان يلاحظ وجود هالة بيضاء واسعة قطرها حوالي 2 سم، هي عبارة عن أبواغ الفطر الكونيدية التي قُذفت عن الحوامل البوغية، ويلاحظ أيضاً انتفاخ البطن، ووجود خصل بيضاء اللون تخرج من بين عقل جسم الحشرة، عبارة عن الحوامل الكونيدية.

تبدأ الإصابة بإنبات الأبواغ الكونيدية خلال عدد قليل من الساعات بعد التصاقها بعائلها، وتخترق أنبوبة الإنبات كيوتيكل الحشرة، ثم تنتفخ في نهايتها، وتتولد براعم تنمو إلى خيوط فطرية تنتشر في جسم الحشرة. تتجزأ الخيوط الفطرية إلى قطع وحيدة الخلية

تدعى بالأجسام الخيطية الفطرية (الهيفية) Hyphal bodies. وتفقد الذبابة قدرتها على الحركة تدريجياً، وتستهلك محتوياتها تماماً وتموت بعد 5 –7 أيام من العدوى، ولكن قبيل موتها تزحف ببطء وتلتصق بواسطة أجزاء فمها على أي جسم تكون موجودة عليه مثل الزجاج أو سطوح النباتات وغيرها. وبعد موتها، ترسل الأجسام الهيفية خيوطاً تخترق المناطق الرقيقة من جسم الحشرة وخاصة بين العقل البطنية مكونة حوامل كونيدية غير متفرعة وعديدة النوى، والتي يحمل كل منها في قمته بوغاً كونيدياً واحداً عديد النوى أيضاً. وعند النضج تُقذف الأبواغ الكونيدية الأولية Primary conidia بقوة عن حواملها إلى مسافة قد تصل إلى 2 – 3 سم. ويتم قذف الأبواغ باندفاع الهيولى للأمام مباشرة من الحوامل الكونيدية، ولذلك يلاحظ أنها تحاط بغلاف من الهيولى يحميها من الجفاف (الشكل 8 – 8)، ويساعدها على الالتصاق بجسم الذبابة عند الاصطدام بها. وفي حالة عدم وجود العائل المناسب فإن الأبواغ الكونيدية الأولية تعطي حواملاً كونيدية قصيرة تحمل أبواغاً ثانوية Secondary conidia أصغر حجماً، تنبت لتعطي أنبوبة إنبات، أو أبواغاً كونيدية من الدرجة الثالثة Teriary conidia. ويتم التكاثر الجنسي بتكوين الأبواغ الزيجية بالطرق التي تم ذكرها سابقاً .



الشكل 8 – 8: مراحل مختلفة من دورة حياة الفطر *Entomophthora muscae*

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل التاسع

قسم الفطريات الحقيقية اللاسوطية

Division Eu-amastigomycota

تحت قسم الفطريات الزقية Sub-division Ascomycotina

صف الفطريات الزقية Class Ascomycetes

يتراوح عدد أفرادها ما بين 25000 – 30000 نوعاً معروفاً، موزعة في 1800 جنساً. يطلق عليها أحياناً اسم الفطريات الكيسية Sac fungi، وهي واسعة الانتشار في الطبيعة حيث أنها توجد في معظم فصول السنة وفي بيئات مختلفة.

الصفات العامة للفطريات الزقية :

1- يعيش أفرادها حياة رمية على الدبال في الترب الغنية به، أو على الأخشاب أو بقايا أوراق الصحف. أو أنها متطفلة إجبارية داخل أنسجة المضيف، وتحدث أمراضاً نباتية كثيرة كأمراض البياض الدقيقي مثلاً. ومنها ما يعيش متطفلاً اختيارياً مسبباً أعفاناً مثل العفن البني، ومرض مهماز الشيلم ... الخ. أو يمكن أن تكون مترممة إجبارياً، ولا تسبب أمراضاً نباتية كما هي الحال في فطريات الروث Coprophilous التي لا تنمو إلا على روث حيوانات معينة. وقد تعيش على ثمار الفواكه مسببة أعفاناً مختلفة الألوان، أو على الجلود ومختلف المواد النباتية والحيوانية ملحقة بها الفساد. ومنها ما يسبب أمراضاً للإنسان وبعض الحيوانات الأليفة، ومنها أمراض الإنسان الجلدية والباطنية والتهابات الجهاز التنفسي.

ومنها أنواع مفيدة كالخمائر التي تستخدم في صناعة الخبز والجبن، وتدخل في تحضير الفيتامينات (فيتامين B المركب)، بالإضافة إلى صناعة الخمور، وتستخدم بعض أنواعها في إنتاج المضادات الحيوية كالبنسلين، وهناك فطريات زقية ثمارها مأكولة مثل *Morechella* sp. والكمأة Truffles التي تنمو في بادية الشام السورية ويصل إنتاجها إلى مئات الأطنان سنوياً، وتعتبر ذات قيمة غذائية عالية.

ويستخلص من الأجسام الحجرية Sclerotia للفطر *Claviceps purpurea* مادة الإرغوميترين Ergometrine التي تُحل في الماء، وتعطى عن طريق الفم حيث أنها تسهل الولادة وتقلل من النزيف بسبب تأثيرها القابض للرحم والأوعية الدموية، وفي علاج آلام الرأس، إضافة إلى عقاقير أخرى.

كما تستخدم هذه الفطريات في إنتاج الأحماض العضوية مثل حمض الليمون وحمض الحمّاض، وإنتاج مختلف الفيتامينات والأنزيمات.

2– يتم التكاثر اللاجنسي في عدد كبير من هذه الفطريات بواسطة الأبواغ الكونيدية التي تلعب دوراً هاماً في انتشارها.

3– تمتاز هذه الفطريات بنمط التكاثر الجنسي الذي ينتهي بتكوين الزقاق Asci (مفردها Ascus) التي تتشكل بداخلها الأبواغ الزقية Ascospores. وفي معظم الفطريات الزقية تتكون الزقاق ضمن إثمارات زقية Ascocarps ذات أحجام واضحة للعين المجردة وذات أشكال محددة، وقد تتكون هذه الثمار الزقية على سطح التربة أو تحتها كالكمأة.

4 – يلاحظ في عدد من أفرادها انطفاء عملية التكاثر الشقي واقتصار التزاوج على اندماج خلايا إعاشية، وهذا هو التزاوج الكاذب Pseudomixis، وقد تتشكل الأعضاء التكاثرية الشقيّة دون أن تأخذ وظيفتها، ويسمى هذا النمط اللاتزاوج Apomixis.

5– تتكون البنية الإعاشية لهذه الفطريات من خلايا مفردة ومنعزلة كما هي الحال في الخمائر، أو من خيوط فطرية مقسمة بجدر مستعرضة إلى خلايا يحتوي كل منها على

نواة واحدة أو أكثر، وتمتاز الجدر المستعرضة بوجود ثقب مركزي يسمح بالاستمرارية الهيولية بين الخلايا المتجاورة. وعندما توجد أكثر من نواة في خلية واحدة، فإن هذه النوى تكون غير متطابقة وراثياً Heterokaryon وتدعى الخلايا متخالفة النوى Heterokaryotic cells.

التكاثر الجنسي:

يتكوّن من مشيجة الفطر المقسّمة العضو الأنثوي Archicarp (الجسم القوسي أو الأوالة الثمرية)، والذي يتكون من منسل زقي Ascogonium وهو عبارة عن انتفاخ ينبثق عنه عند الطرف العلوي عنق أو شعرة جنسية تعرف بالشعرة الأنثوية Trichogyne التي تعد بمثابة عضو استقبال، أما العضو الذكري Antheridium فيتكون من عنق منطفي ومنطفة طرفية.

يقترب العنق حتى يلامس الكيس الذكري ويلتف عليه حيث يتكشف في الكيس الذكري فتحة تمر من خلالها النوى الذكرية إلى العنق، وتنفذ إلى المنسل الزقي الذي يحتوي على 100 –200 نواة، إذ تنتظم هذه النوى الذكرية والأنثوية في أشفاع دون أن تندمج مع بعضها، بينما تتكوّن براعم على سطح المنسل الزقي وتنمو وتتفرع لتشكل الخيوط الزقية المخصبة التي تهاجر إليها أشفاع النوى. ثم تتشكل حواجز في الخيوط الزقية، وبالتالي تتكون خلايا كثيرة النوى في قاعدة الخيوط المخصبة وقليلة النوى في قمتها، وتحتوي الخلايا القمية على شفع واحد من النوى الديكاريونية (الشكل 9 – 1).

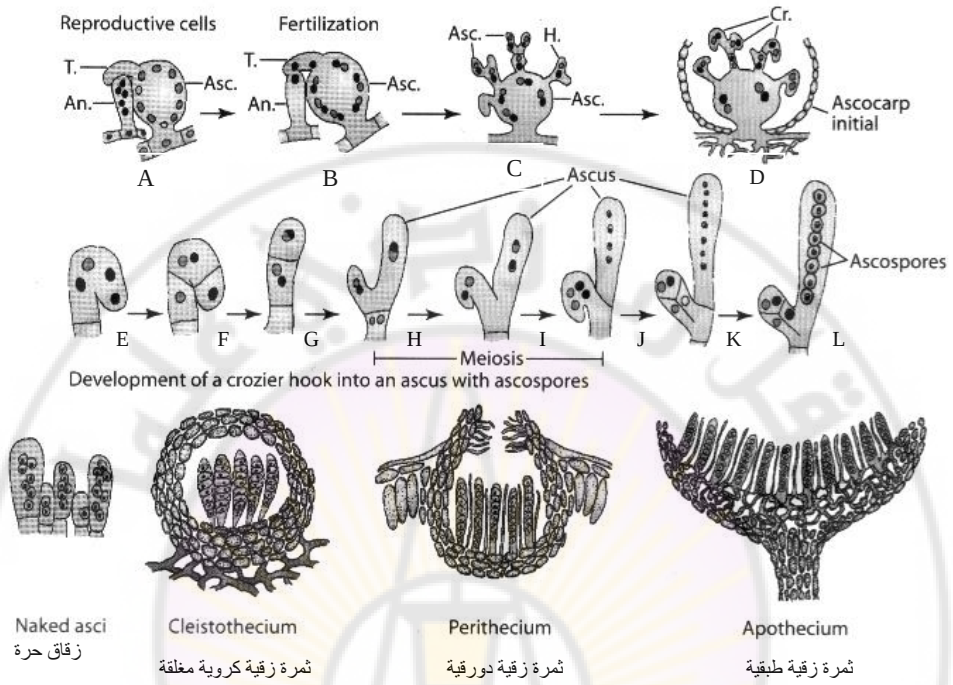
يرتفع من الخيوط الحاملة للأكياس الذكرية والأنثوية عدد كبير من الخيوط التي تحيط بالخيوط المخصبة وتتخللها، كما يتكون من الخلية القمية في الخيوط المخصبة انحناء يدعى بالخطاف أو الشص Crozier = Hook، وتتوضع نواتا الديكاريون في منطقة الانحناء، ثم تنقسم كل نواة إلى نواتين في نفس الوقت، وينتج عن ذلك تكوين أربع نوى: اثنتان غير أختين تتوضعان في منطقة الانحناء وتتوضع الثالثة في نهاية الانحناء

والرابعة في قاعدته، ثم يتكون جداران يفصلان النواتين غير الأختين في الخلية تحت الطرفية من الشص وتلك النواة الموجودة في نهاية الشص المنحني في خلية طرفية والنواة الرابعة في الخلية القاعدية، وتصبح الخلية المتوسطة أو تحت الطرفية ذات النواتين غير الأختين زقاً إذ تتطاول وتتضخم وتتحد نواتاها وهي أخر مرحلة من مراحل التكاثر الجنسي، ثم تندمج الخلية الطرفية في نهاية الانحناء مع الخلية القاعدية فيتكون شفع نووي (ديكاريون) جديد فيه نواة ذكرية وأخرى أنثوية، ومنها يتكون فرع جانبي قصير منحني جديد (Crozier) ....وهكذا دواليك.

ينتج من الاتحاد النووي في خلية الزق نواة مضاعفة المجموعة الصبغية، تنقسم هذه النواة في البداية انقساماً اختزالياً يؤدي إلى تكوين أربع نوى أحادية الصيغة الصبغية يليه انقسام عادي، وينتج عن ذلك تكوين ثمان نوى نصفية الصيغة الصبغية تتجمع حولها الهيولى لتشكل ثمانية أبواغ زقية تنتظم في صف واحد داخل الزق الذي يستطيل (الشكل 9 – 1)، وفي نفس الوقت تستطيل الخيوط الفطرية المحيطة بالزقاق أو بينها لتتكون منها الخيوط الفطرية العقيمة Paraphyses وغلاف الثمرة الزقية.

أما في الجنس *Sphaerotheca* فإن كل من عضو التأنيث والتذكير يكون وحيد النواة حيث تتحد النواتان لتصبحا نواة ثنائية الصيغة الصبغية، ثم تنقسم انقساماً عادياً لتكوين نوى ثنائية المجموعة الصبغية، ثم تندمج النواتان في الخلية تحت الطرفية لتكوين نواة رباعية المجموعة الصبغية، وهذه الخلية ستكوّن الزق، وفي هذه الحالة تنقسم النواة ثلاث مرات حيث يكون الانقسام الأول والثاني منصفاً (ويعرف بالانقسام الاختزالي المضاعف) والثالث عبارة عن انقسام عادي، حيث ينتج عن ذلك ثمان نوى سيحيط بكل منها جزء من الهيولى وغلاف لتنتظم في صف واحد من ثمانية أبواغ زقية في فراغ الزق الجديد.

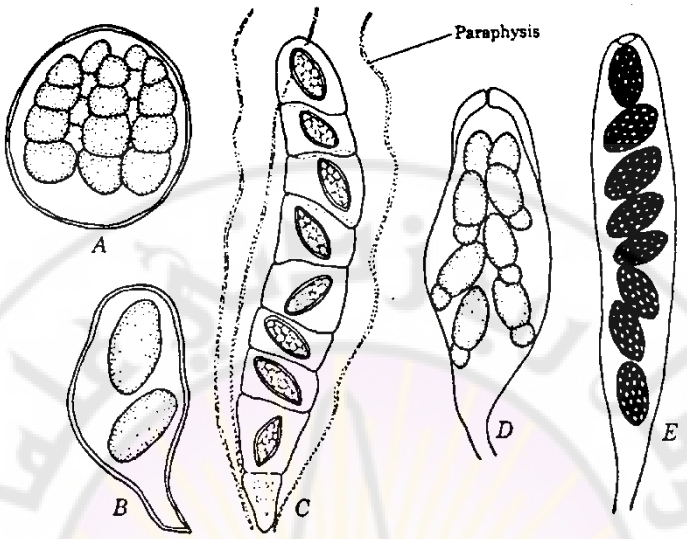
قد تنقسم أيضاً نواة البوغ الزقي في بعض الأحيان قبل أن تخرج من الزق، ويتبع ذلك تشكل حواجز تفصل هذه النوى لينتج عن ذلك بوغ ثنائي أو متعدد الخلايا.



الشكل 9 –1: مخطط عام يبيّن عملية التكاثر الجنسي، ونشوء الزقاق عند الفطريات الزقية. A: الأكياس العروسية Gametangia. B: اندماج هيولي واقتران نووي. C: تشكل الخيوط الفطرية المولدة للزقاق Ascogenous D.hyphae: تشكل الشص Crozier وبداية تشكل الثمرة الزقية. E: انقسام نووي Mitosis. F: تشكل الخلية الزقية الأم Ascus mother cell. G: تشكل البيضة الملقحة Zygote. من H حتى L : مراحل تشكل الأبواغ الزقية داخل الزق. (عن Agrios, 2004) .

يختلف شكل الزقاق، فقد تكون أسطوانية أو دائرية متطاولة أو بيضوية، ويعتبر شكل الزق من الصفات التي يعتمد عليها في تصنيف الفطريات (الشكل 9 – 2).

بالإضافة إلى ذلك يعتبر تركيب الغلاف أو الجدار الزقي من الصفات الشكلية التي تساعد في تصنيف هذه الفطريات، فقد تكون الزقاق ثنائية الجدار Bitunicate asci حيث يحاط الزق بجدار خارجي وجدار داخلي مرن، وقد تكون الزقاق وحيدة الجدار Unitunicate asci حيث يكون الجدار رقيقاً ويتكون من طبقتين رقيقتين تبدوان كجدار وحيد (الشكل 9 – 2).

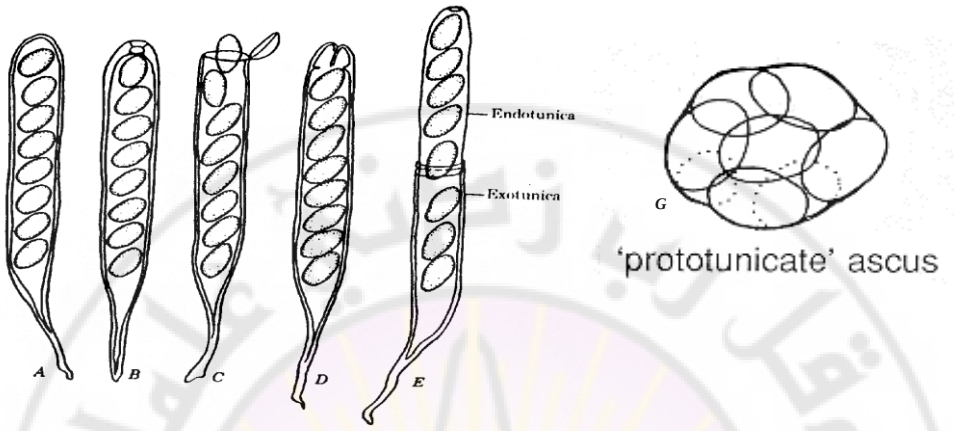


الشكل 9 – 2: نماذج مختلفة من الزقاق.

(A) زق كروي Globose. (B) زق بيضوي ومعنق Broadly ovate with stalk. (C) زق مقسّم Septate. (D) زق دبوسي الشكل Clavate. (E) زق أسطواني Cylindric

تكون الزقاق جالسة أو معنّقة، عارية أو داخل ثمار Ascocarps، وتنتظم في طبقة تسمى الطبقة الخصيبة Hymenium، وهي طبقة من الزقاق يتخللها خيوط فطرية عقيمة Paraphyses، ويعتقد بأن لها وظيفة من شأنها مساعدة الزقاق والأبواغ الزقية على الانتشار.

يمتص الزق كمية من الماء عند نضجه لينتفخ ويصبح الجزء العلوي منه طرياً، وتحت تأثير الضغط الداخلي المتزايد يتشقق الجزء العلوي وينفتح مما يسمح للأبواغ الزقية بالتحرر مع سائل كان يملأ الزق. وعند الفطريات التابعة للفصيلة Pezizaceae، يتكوّن في أعلى الزق غطاء يسمح عندما ينفتح على شكل المصراع بخروج الأبواغ الزقية وتحررها. وفي أنواع أخرى يذوب الغلاف الزقي ويتحلل مما يسمح بخروج الأبواغ الزقية وانتشارها كلها مع سائلها المخاطي (الشكل 9 – 3).



الشكل 9 – 3: نماذج مختلفة من الزقاق .

(من A إلى D): زقاق وحيدة الجدار Unitunicate. (E) زق ثنائي الجدر، جدار خارجي Exotunica وجدار داخلي Endotunica. (A) زق بدون غطاء. (B) زق مزود بحلقة مرنة في قمته. (C) زق مزود بغطاء في قمته. (D) زق مزود بشق في قمته. (E) انفتاح زق ثنائي الجدر عن طريق ثقب أو فتحة في قمة الجدار الداخلي المرن. (G) Prototunicate asci لاتوجد آلية خاصة لتحرر الأبواغ وإنما يتحلل الجدار عند النضج مما يسمح بتحررها.

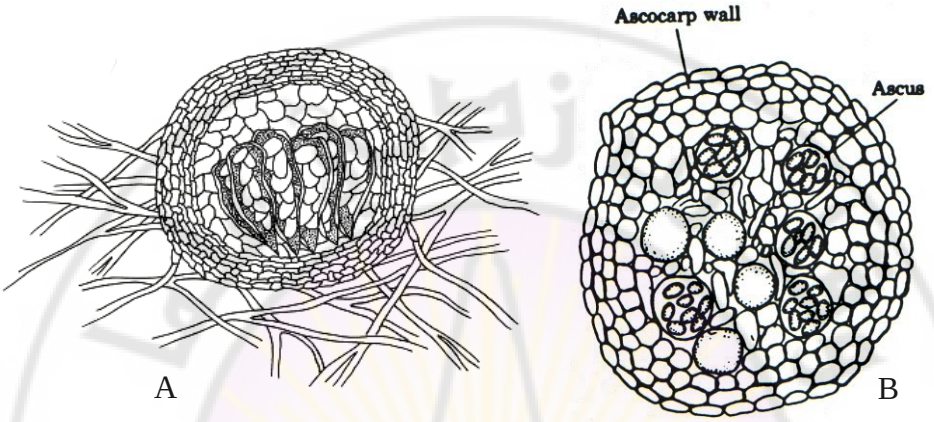
الثمرة الزقية Ascocarp

تمتاز الفطريات الزقية بتكوينها لتركيبات إثمارية ذات بنية نسيجية مادتها الخيوط الفطرية، تحتضن بداخلها الزقاق والخيوط الفطرية العقيمة اصطلح على تسميتها بالثمار الزقية Ascocarps أو حامل الزقاق Ascophore، وهي كروية مغلقة عند بدء تكوينها وقد تبقى هكذا أو يحدث عليها تغيرات شكلية، ويمكن تمييز ثلاثة طرز من الثمار الزقية:

1– طراز الثمرة الزقية الكروية المغلقة Cleistothecium

تمتاز الثمار الزقية من هذا الطراز بأنها كروية الشكل، وتتوزع بداخلها الزقاق بدون انتظام، وليس لها فتحة مميزة، وإنما يتصدع جدارها أو يتمزق بغير نظام مما يسمح بتحرر وانتشار الزقاق والأبواغ الزقية. وتكوّن أفراد رتبة Erysiphales التي

تتبعها الأنواع المسببة لأمراض البياض الدقيقي، هذا الطراز من الثمار الزقية التي يحيط بها زوائد مختلفة الأشكال والتفرعات، وتتوضع الزقاق بداخلها بانتظام (الشكل 9 – 4)

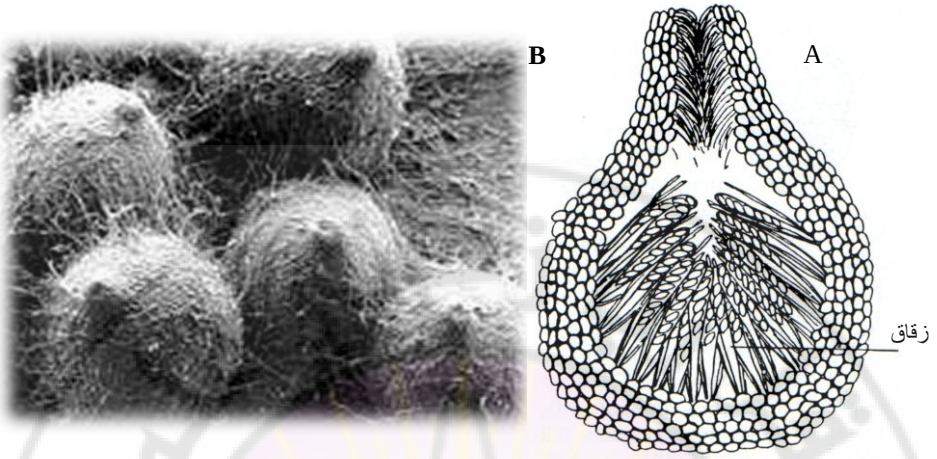


الشكل 9 – 4: ثمرة زقية مغلقة Cleistothecium. (A) مقطع في ثمرة زقية لفطريات البياض الدقيقي. (B) مقطع في الثمرة الزقية إذ يلاحظ توزع الزقاق بداخلها بدون انتظام .

2– طراز الثمرة الزقية الدورقية Perithecium

وهي دورقية الشكل أو كمثرية وإلى حد ما قارورية ذات عنق متمايز به فوهة Ostiole تسمح بخروج الزقاق والأبواغ الزقية التي توجد بداخلها بانتظام وبشكل متوازٍ (الشكل 9 – 5). والثمار الدورقية صغيرة الحجم تقيس عدة أجزاء من الميليمتر، وهي غالباً مستديرة الشكل، وهشة التركيب أو صلبة، وقاتمة اللون، ويحيط بالفوهة خيوط فطرية جانبية تسمى بالخيوط المحيطية Periphyses.

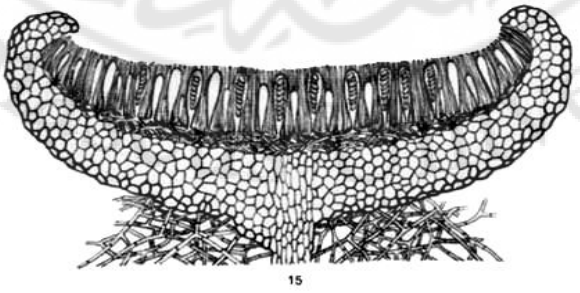
تتكوّن الثمار الزقية داخل الستروما أو فوقها، وفي الحالة الثانية يكون غلاف الثمرة الزقية مكوناً من طبقة من نفس طبيعة الستروما، أما في الحالة الأولى فيتكون غلاف الثمرة من طبقة أو عدة طبقات من خيوط فطرية ترتفع من الخلايا الحاملة للأعضاء الذكرية والأنثوية. وتكوّن هذه الطبقات جوفاً يحيط بالعضو المؤنث والخيوط المخصبة والزقاق .



الشكل 9 – 5 : (A) مخطط تمثيلي لمقطع عرضي في ثمرة زقية دورقية Perithecium ، إذ يلاحظ وجود فوهة Ostiole في أعلى الثمرة تسمح بتحرر الزقاق منها . (B) ثمار زقية دورقية .

3– طراز الثمرة الزقية الطبقية Apothecium

وهي ثمرة طبقية أو قرصية أو كأسية أو قمعية أو فنجانية الشكل، ولها تجويف تبطنه صفوف من الزقاق متوازية التوضع كما هي الحال عند أنواع Pezizaceae، يبلغ قطرها من عدة ميليمترات إلى عدة سنتيمترات، قوامها لحمي هش أو متماسك وأحياناً جلدي، وتختلف ألوانها من الأصفر إلى الأحمر إلى الأسود أو قد تكون عديمة اللون (الشكل 9 – 6).



الشكل 9 – 6 : مقطع عرضي في ثمرة زقية من الطراز الطبقي Apothecium

يتكوّن جسم الثمرة الزقية من الخارج نحو الداخل من طبقة خارجية تكوّن جدار الثمرة، جيد الحباكة والنسج، يكسوه من الداخل طبقة خصيبة Hymenium تتألف من الزقاق والخيوط الفطرية العقيمة، وتقع بينهما الطبقة تحت الخصيبة Hypothecium التي تنشأ فوقها الزقاق والخيوط العقيمة، ثم طبقة الاكسيبولام Excipulum وهي عبارة عن نسيج برانشيمي كاذب، وتشكل هذه الطبقة الجزء الأعظم من قاعدة الثمرة. وقد تكون هذه الثمار معنّقة كما هي الحال عند الفطر *Sclerotinia* sp.

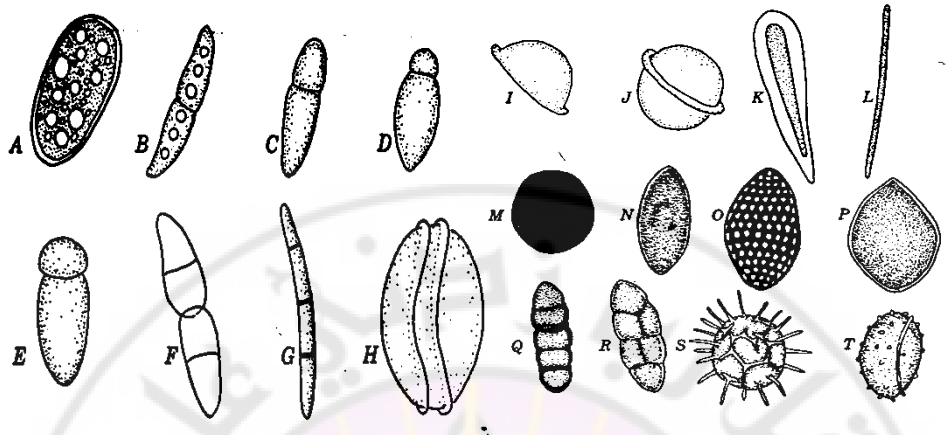
تمتاز الطرز الثمرية السابقة باختلافات شكلية عديدة ، وذلك حسب الأجناس الفطرية (الشكل 9 – 7).

الأبواغ الزقية Ascospores

تتكوّن الأبواغ الزقية داخل الزقاق Asci، ويحتوي الزق عادة على 8 أبواغ زقية، ويتفاوت هذا العدد (4 أو 8 أو 16 أو 32)، وذلك حسب عدد الانقسامات غير المباشرة التي تحدث للنوى. وقد تستمر الانقسامات غير المباشرة وفي أحوال نادرة حتى يصل عدد النوى في الزق الواحد إلى 800 – 1000 نواة تتطور إلى أبواغ زقية كما هي الحال عند الفطر *Trichobolus* sp.

الأبواغ الزقية إما أن تكون وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا، وتأخذ ألواناً مختلفة فقد تكون داكنة اللون أو شفافة، وهي متباينة في الشكل والحجم فقد تكون كروية أو متطاولة إلى شبه خيطية، وتتراوح أطوالها من قصيرة جداً إلى طويلة فقد تصل أحياناً إلى 1000 ميكروناً، كما تمتاز جدرها بوجود أو عدم وجود التضاريس أو التزيينات (الشكل 9– 8). ويستفاد في الحقيقة من هذه الصفات الشكلية عند تصنيف هذه الفطريات .

الشكل 9 – 7: نماذج مختلفة من الثمار الزقية عند الفطريات الزقية



الشكل 9– 8 : نماذج مختلفة من الأبواغ الزقيّة Ascospores (عن TALBOT, 1971)

تصنيف الفطريات الزقية

يعتمد تصنيف الفطريات الزقية على أسس وقواعد علمية يرجع إليها الباحث عند التصنيف، ومن أهم هذه الأسس:

1 – وجود الثمرة الزقية أو غيابها، أي أن الزقاق تتكوّن داخل ثمرة أم تكون عارية

2 – طراز الثمرة الزقية وصفاتها الشكلية وألوانها (مغلقة أو قارورية أو قرصية).

3 – الصفات الشكلية للزقاق والأبواغ الزقية، بالإضافة إلى طبيعة الجدار إذا كان وحيداً أو ثنائي الغلاف، لها أغطية أم لا.

4 – نمط توضع الزقاق داخل الثمار الزقية (مبعثرة أو متوازية أو منتظمة).

5 – طبيعة الجدار في الثمرة الزقية إذا كان مميزاً أو غير مميز عما حوله من الأنسجة الفطرية.

6 – آليّة انفتاح الثمار الزقية، وآليّة انتشار الزقاق والأبواغ الزقية كوجود الفوهة Ostiole أو عدم وجودها.

7 – وجود الخيوط الفطرية العقيمة Paraphyses أو غيرها.

وتعتبر هذه الأسس والصفات كافية إلى حد ما لتصنيف الفطريات الزقية كما يلي، وذلك حسب (Alexopoulos & Mims, 1979):

أ- تحت صف الفطريات الزقية الأولية Sub- class Hemiascomycetidae

ب – تحت صف الفطريات الزقية الكروية Sub- class Plectomycetidae

ج – تحت صف الفطريات الزقية الخصيبة Sub-class Hymenoascomycetidae

د – تحت صف الفطريات الزقية الحشرية Sub-class Laboulbeniomycetidae

هـ - تحت صف الفطريات الزقية المسكنية Sub-class Loculoascomycetidae

تحت صف الفطريات الزقية الأولية

Sub- class Hemiascomycetidae

وتسمى أيضاً بالفطريات الزقية العارية Gymnoascomycetidae (وهي تقابل الزقيات البدائية Protoascomycetidae).

تحتوي على 50 جنساً وأكثر من 250 نوعاً، وتمتاز هذه الفطريات بعدم وجود الثمار الزقية وعدم وجود الخيوط المخصبة، أي أن الزقاق تكون عارية وتتكون من اتحاد الأعضاء الجنسية. وتعتبر من وجهة نظر التطور حلقة بين الفطريات الدنيا والفطريات الزقية الحقيقية Euascomycetidae، وهي فطريات بسيطة ومجهرية. رمية الإغتذاء غالباً، كما يعيش بعضها متطفلاً على النباتات والحيوانات، ومن رتبها:

1– رتبة الاندوميسيتالس Order Endomycetales

2– رتبة التافرينالس Order Taphrinales

3– رتبة البروتوميسيتالس Order Protomycetales

وسندرس الرتبتين الأولى والثانية وهما واضحتا الحدود، أما الرتبة الثالثة فهي اقل وضوحاً وتحديداً، بالإضافة لما للرتبتين الأولى والثانية من قيمة في مجال اختصاصنا.

رتبة الاندوميسيتالس Order Endomycetales

فطريات مجهرية وغالباً وحيدة الخلية، والقليل منها له خيوط فطرية (Hyphae) واضحة ومتفرعة، تعيش في السوائل السكرية وعلى الثمار ونادراً ما توجد في التربة، ويعيش بعضها متطفلاً على النباتات والحيوانات.

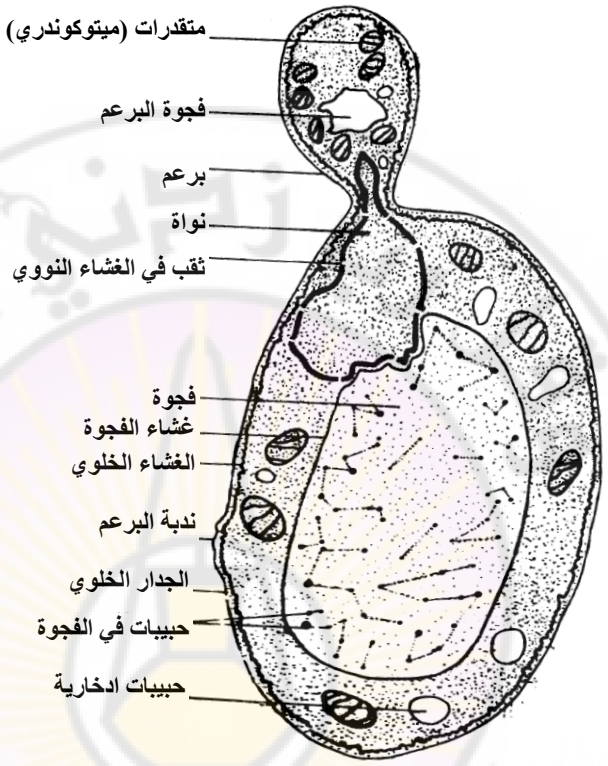
يبدأ التكاثر الجنسي باتحاد هيولي ثم نووي، وقد يحدث الاندماج الهيولي بين خليتين إعاشيتين أو بين كيسين عروسين أو بين بوغين زقيين، وينتج عن ذلك تكوين الخلية الملقحة التي تعطي فيما بعد الزق . وقد لا يحصل الاتحاد أو الاندماج، بل تتحول خلية إعاشية مفردة مباشرة إلى زق بطريقة ما يعرف بالتوالد البكري .

تضم هذه الرتبة العديد من الفصائل، سوف ندرس فصيلة الخمائر فقط نظراً لأهميتها الاقتصادية.

فصيلة الخمائر Family Saccharomycetaceae

تضم هذه الفصيلة أنواع الخميرة الحقيقية True yeast. وجسم الفطر عبارة عن خلية واحدة منفردة (الشكل 9 – 9) Unicellular أو سلاسل من الخلايا الخميرية الناتجة عن التبرعم لتشكل مشيجة غير حقيقية (كاذبة) Pseudomycelium.

تنتشر في الطبيعة على إفرازات الأشجار ورحيق الأزهار والأوراق المجروحة، وعلى سطوح الثمار، وقد توجد مترممة في التربة وفي أوساط أخرى وفي كثير من المواد الغذائية، بينما يعيش بعضها متطفلاً أو متعايشاً على الحيوانات كالحشرات مثلاً، ويصيب بعض أنواعها بعض النباتات مسببة لها أمراضاً.



الشكل 9 – 9: رسم تخطيطي يبيّن تركيب خلية خميرية متبرعمة لفطر الخميرة *Saccharomyces* sp.

الأهمية الاقتصادية للخمائر

على الرغم من الحجم الصغير لهذه الفطريات، لكنها ذات أثر كبير وفعّال في حياة الإنسان، ومن منافعها للإنسان نذكر:

1– التخمر الكحولي وهو عمل صناعي تحويلي، ويشكل قطاعاً اقتصادياً متيناً في الكثير من دول العالم، حيث يعتمد على الخمائر كأدوات لتحويل السكريات إلى كحولات تصلح للاستهلاك البشري حيث يصنفها البعض مع الأغذية المفيدة.

تتحول السكريات الأحادية كالغلوكوز والفركتوز إلى كحول إيثيلي وثاني أوكسيد الكربون بمساعدة الأنزيمات التي تفرزها الخميرة مثل*Saccharomyces cerevisiae* التي تنتج المعقد الأنزيمي Zymase، وتجري العملية وفق المعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 \text{ ----- Zymase------►} 2CO_2 + 2C_2H_5OH + Energy$$

وتستعمل الخمائر الطاقة الناتجة عن الاختمار لتأدية نشاطها ووظائفها الحيوية. إضافة إلى مقدرة بعض الخمائر على تحويل المواد السكرية والكربوهيدراتية إلى أحماض عضوية مختلفة.

2– للخمائر فوائد طبية إذ تستخدم في معالجة أمراض الجلد، كما تستخدم الخميرة كملين لمعالجة أمراض الأمعاء.

3– تنتج بعض الخمائر التي تتعرض للأشعة فوق البنفسجية عدداً من الفيتامينات مثل الفيتامين (B المركب) وفيتامين C والفيتامين D.

4– تفرز خميرة الخباز أنزيم الدياستاز Diastase الذي يحول جزءاً من نشاء الدقيق إلى سكر، وتقوم الخميرة بتخمير هذا السكر فينتج غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يحسن من مواصفات رغيف الخبز.

وبالقابل فإن بعض أنواع الخمائر تسبب أمراضاً للإنسان أو الحيوان أو النبات:

1– تسبب بعض الخمائر فساد الأجبان ومنتوجات البندورة والمواد الغذائية، حيث تشكل الخميرة *Geotrichum candidum* عفناً شائعاً فوق بعض الأطعمة التي تحتوي حمض اللبن، وتشاهد خاصة على شكل طبقة قشرية على سطح المخللات، كما توجد فوق المنتجات اللبنية.

2– تسبب بعض الخمائر أمراضاً نباتية للبندورة والقطن والجوز وغيرها، فبعض أفراد الجنس *Geotrichum* تتطفل على ثمار البندورة الناضجة والشمام والبطيخ والخوخ.

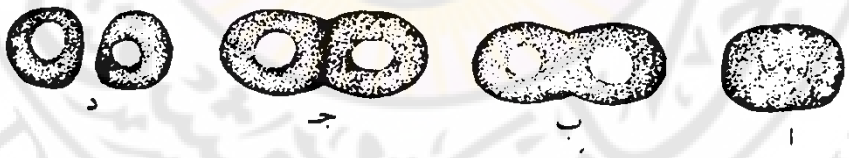
3– تسبب للإنسان أمراضاً للجلد والجهاز العصبي، والتهابات وتشققات المهبل عند المرأة، ومرض الاختلال العقلي للإنسان (التهاب السحايا)، ومرض المونيليا الذي تسببه الخميرة *Candida albicans* والذي يؤثر على الجلد والأصابع والرئة والكلية والقلب والفم.

تكاثر الفطريات الخمائرية

أ – التكاثر اللاجنسي Asexual reproduction

1– الانشطار أو الانقسام Fission:

تنقسم الخلية إلى خليتين متساويتين تبقيان متصلتين لمدة من الزمن ثم تنفصلان، وتتم هذه العملية باستطالة خلية الخميرة وانقسام نواتها انقساماً ميتوزياً (غير مباشر) إلى نواتين، ثم يتشكل حاجز عرضي في الخلية يقسمها إلى قسمين ينفصلان عن بعضهما ليعطيا خليتين إعاشيتين، ويتم هذا النمط من الانقسام عند أنواع الجنس *Schizosaccharomyces* (الشكل 9 – 10).

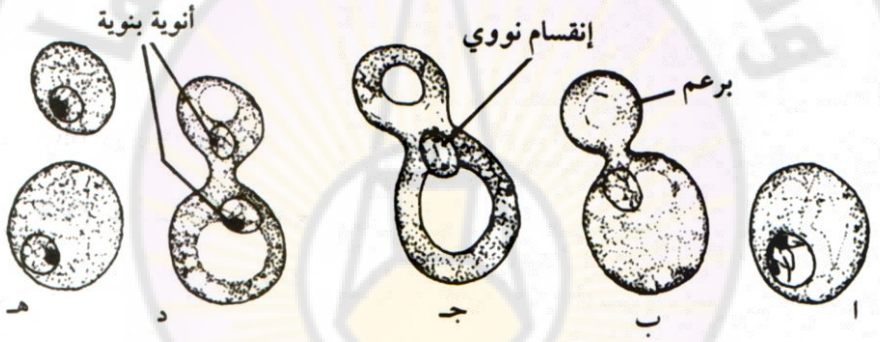


الشكل 9 – 10: المراحل المختلفة لعملية الانشطار لخلية خميرية

2– البرعمة Budding:

تتكاثر الفطريات الخمائرية بالبرعمة سواء أكانت وحيدة الخلية أم خيطية، وفي الحالة الثانية توجد أبواغ متبرعمة Blastospores، والتكاثر بالبرعمة طريقة شائعة عند الخمائر عموماً، وتعتبر الطريقة الوحيدة للتكاثر عند بعض الخمائر، حيث تتكون براعم صغيرة على الخلية الأم، تنمو حتى يصل حجمها إلى حجم الخلية الأم، وقد تنشأ

على البراعم براعم جديدة بحيث أن المستعمرة النامية على وسط مناسب تبدي خلايا ذات أعمار وأحجام مختلفة. تنقسم نواة الخلية الأم بعد أن تستطيل إلى نواتين بانقسام عادي، تبقى واحدة في الخلية الأم وترحل الثانية إلى البرعم الذي ينفصل عن الخلية الأم فيما بعد (الشكل 9 – 10). ويشاهد على سطح الخلية الأم ندبة الاتصال البرعمي وتسمى Bud scar، كما وتشاهد ندبة على الخلية البنت تسمى ندبة الميلاد Birth scar، ويمكن مشاهدتهما بوضوح بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح، ويدل عدد ندبات التبرعم على الخلية الأم على عدد مرات التكاثر.



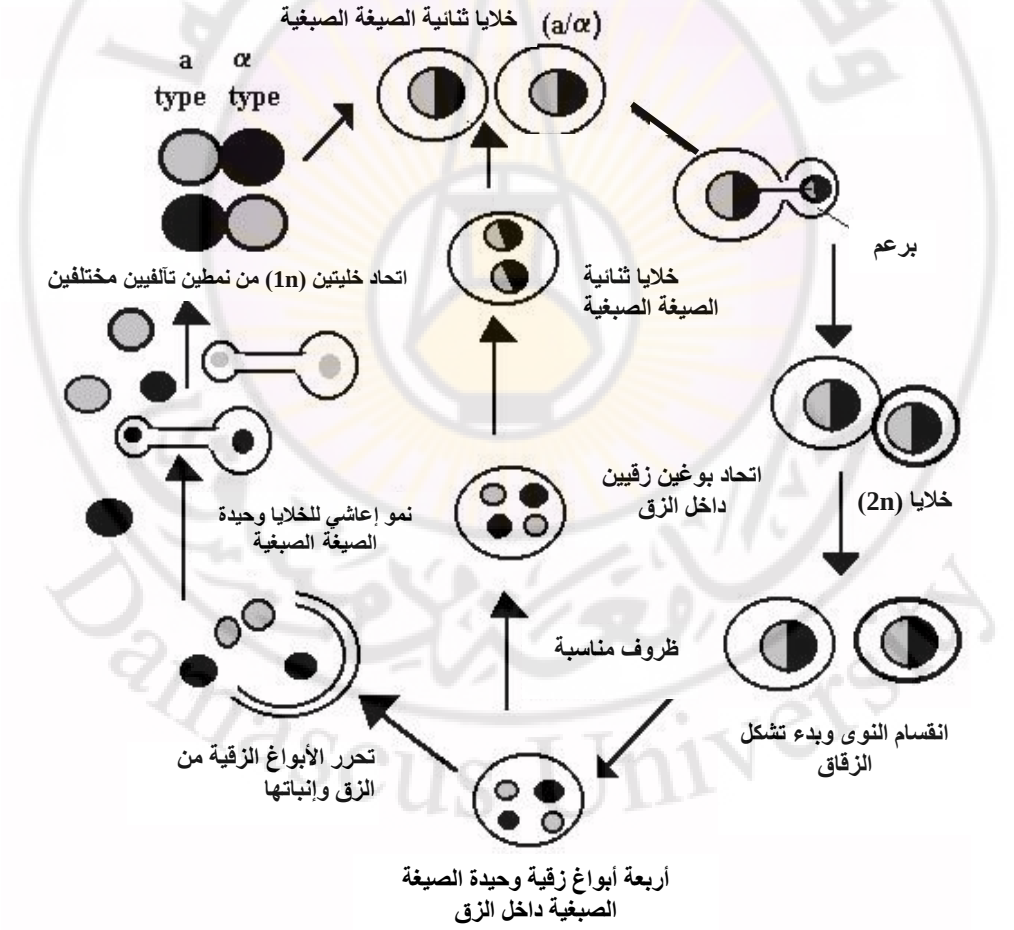
الشكل 9 – 10: المراحل المختلفة للتبرعم في خلية الخميرة .

3– تكوين أبواغ داخلية Endospores:

تأخذ خلية الخميرة شكلاً كروياً و يتغلظ جدارها، وذلك في الوسط حيث تكون الظروف البيئية غير مناسبة للنمو، وتنقسم محتوياتها إلى 4 خلايا، حيث تنقسم النواة مرتين لتكوّن أربع نوى تشكل كل واحدة منها بوغاً داخلياً ذا جدار سميك، وتنقسم محتويات الخلية عند بعض الأنواع إلى ثمانية أبواغ ذات جدر سميكة، وهكذا تصبح الخلية الخمائرية كيساً بوغياً، وتبقى هذه الأبواغ محتبسة داخل الخلية الأصلية طالما الظروف البيئية غير ملائمة، وعندما تصبح الظروف مناسبة ينشق غلاف الخلية الأصلية، وتتحرر الأبواغ التي تنمو إلى خمائر جديدة.

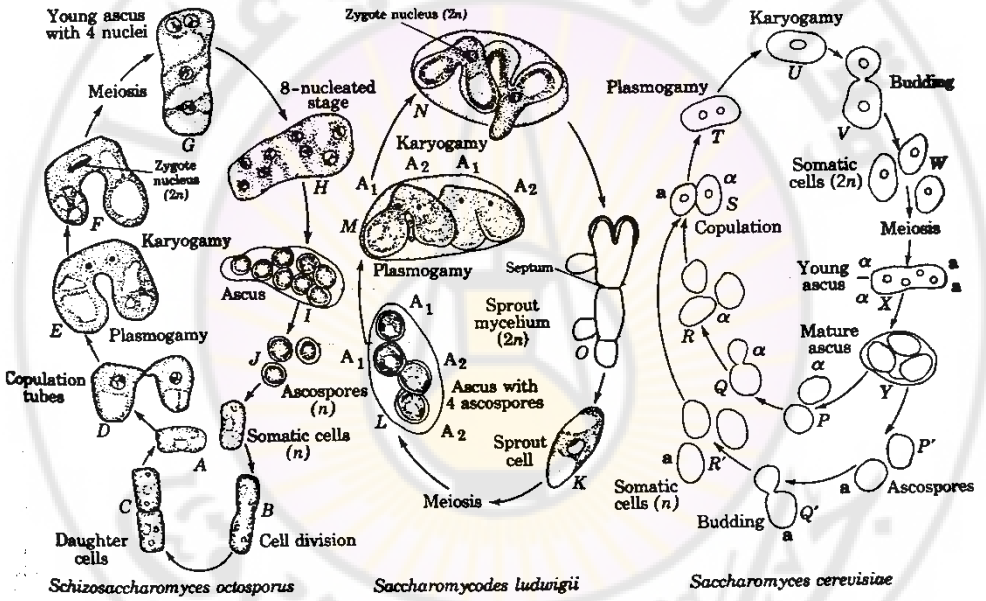
ب - التكاثر الجنسي عند الخمائر (Sexual reproduction = Conjugation)

يحدث التكاثر الجنسي عند الخمائر عندما تسوء ظروف الوسط أو عند فقر الوسط الغذائي، ولا تتكوّن أعضاء تأنيث وتذكير كما في الزقيات الأكثر تطوراً ورقياً، وإنما يتم التكاثر الجنسي باتحاد خليتين إعاشيتين أحاديتي الصيغة الصبغية. والخلية الناتجة تكون مضاعفة الصيغة الصبغية، وتنقسم عدة انقسامات ثم تكبر وتشكل زقاً واحداً يحتوي عادة على 4 أو 8 أبواغ زقية حسب عدد الانقسامات النووية (الشكل 9 – 11).



الشكل 9 – 11: مخطط توضيحي لدورة الحياة العامة عند الخمائر

وقد تتحد الأبواغ الزقية وهي داخل الزق في ثنائيات، حيث تقترب كل خلية من الثانية، وينمو من كل منهما بروز يتجه نحو الثانية، وعندما يلتقي البروزان يذوب الجدار الفاصل بينهما وتتكون قناة تزاوج، ويخرج من أنبوبة الاتصال زائدة تندفع عبر جدار الزق لتكوّن خلية تبدأ بالتكاثر بالبرعمة كما هي الحال عند الخميرة *Saccharomyces ludwigii* (الشكل 9 – 12). تأخذ بعض هذه الخلايا بالتضخم وتنقسم نواتها انقساماً



الشكل 9 – 12: مقارنة بين ثلاث نماذج من دورات الحياة عند الخمائر (Alexopoulos & Mims, 1979)

Schizosaccharomyces octosporus: (A) خلايا خمائرية إعاشية (n). (B) انقسام الخلية. (C) خليتان بنتان. (D) اتحاد بين خليتين. (E) اندماج هيولي. (F) اندماج نووي. (G) انقسام نواة الزيجوت وتشكل زق فتي فيه 4 نوى (n). (H) ثمان نوى داخل الزق. (I) ثمانية أبواغ زقية داخل الزق. (J) أبواغ زقية (n). *Saccharomycodes ludwigii*: (K) خلية خمائرية (2n). (L) أربعة أبواغ زقية داخل الزق. (M) اتحاد الأبواغ الزقية في أزواج. (N) اندماج نووي. (O) تكاثر الخلايا الناتجة (2n) بالبرعمة. *Saccharomyces cerevisiae*: (P، P`) أبواغ زقية من نمطين مختلفين. (Q ، Q`) تكاثر بالبرعمة. (R، R`) خلايا إعاشية (n). (S) اتحاد خليتين إعاشيتين من نمطين مختلفين. (T) اتحاد هيولي. (U) اندماج نووي. (V) تبرعم الزيجوت. (W) خلايا إعاشية (2n). (X) زق فتي يحتوي على أربع نوى بعد حدوث الانقسام لنواة الخلية الإعاشية. (Y) زق ناضج يحتوي على الأبواغ الزقية .

منصفاً لتشكل (4) نوى تعطي أربعة أبواغ زقية كما هي الحال عند الخميرة *Saccharomyces cerevisiae*، وتعود هذه الأبواغ بدورها لتتحد في ثنائيات وهكذا. ويبدو أن الخمائر التي تتبع هذا النمط من التكاثر تكون مضاعفة الصيغة الصبغية خلال دورة الحياة الإعاشية ونصفية الصيغة الصبغية في مرحلة تشكل الأبواغ الزقية. وقد ينشأ الزق كما أسلفنا بالتوالد البكري من خلية إعاشية فردية.

قد تعود نواة خلية البرعم إلى الخلية الأم وتتحد بنواتها لتكوّن نواة الزق، وتسمى هذه العملية بالتزاوج الولادي Pedogamy، ويفترض أن تكون نواة الخلية الإعاشية نصفية الصيغة الصبغية.

تضم هذه الفصيلة العديد من الأجناس، ولعل الجنس *Saccharomyces* أكثرها أهمية، وقد بلغ عدد أنواعه 41 نوعاً، ويعتمد هذا التقسيم على صفات الأنواع الفيزيولوجية ومقدرتها على التخمير وإنتاج المشتقات الكيميائية في الناتج النهائي للتخمير. ومن أنواعه الشهيرة:

1 – *S. cerevisiae*: تستخدم هذه الخميرة في صناعة البيرة والمعجنات، وتقوم بتخمير السكر إلى كحول بتركيز يصل إلى 10 – 20 %.

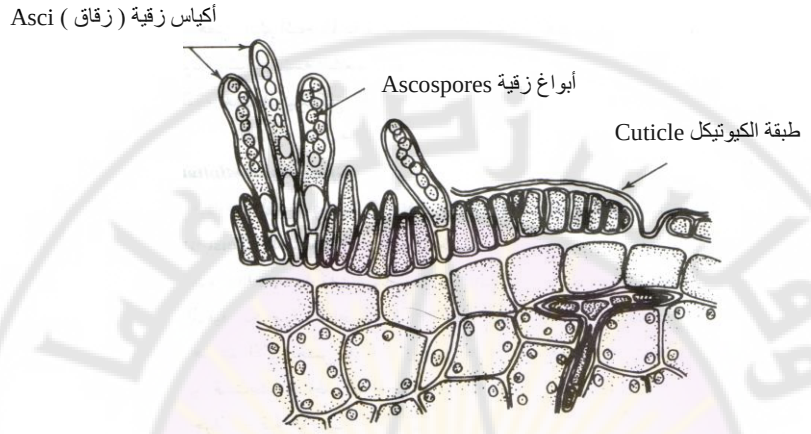
2 – *S. paradoxus*: خميرة تستخدم في التهجين من أجل اصطفاء سلالات قادرة على تحمل درجات الكحول العالية.

3 – *S. vini*: خميرة تستخدم في صناعة النبيذ، وتعيش مترممة على سطوح الأواني المعدة لصناعة النبيذ، ويصل تركيز الكحول الناتج إلى 12 – 19 %.

رتبة فطريات التجعد Order Taphrinales

تتميز أنواع هذه الرتبة بتكوين الزقاق العارية لعدم وجود ثمار زقية، وتنتظم هذه الزقاق بشكل متواز بطبقة عمادية، ولا يتخللها أية خيوط فطرية Paraphyses، ويحتوي

كل زق على 4 – 8 أبواغ زقية (الشكل 9 – 13)، وقد يحتوي على أكثر من ذلك بسبب تبرعم الأبواغ الزقية داخل الزق.



الشكل 9 – 13: مخطط توضيحي يبيّن وجود الزقاق بصورة عارية على سطح بشرة النبات المصاب عند الفطر *Taphrina deformans* .

تشبه أفراد التافرينالس فطريات الخميرة من حيث التكاثر بالأبواغ الزقية، ولكن جسم الفطر يتكون في الطبيعة من خيوط فطرية، وتشمل هذه الرتبة فصيلة واحدة هي Taphrinaceae ويتبعها حسب الاختصاصيين جنس واحد هو *Taphrina*.

تعيش أفرادها متطفلة على أنواع من النباتات التي تتبع الفصيلة الوردية Rosaceae وفصيلة البتولا Betulaceae، وتسبب تشوهات لأعضاء النبات واصفراراً للأوراق وتجعدات وتضخماً نسيجياً Hypertrophy عند المضيف وزيادة عدد الخلايا (Hyperplasia).

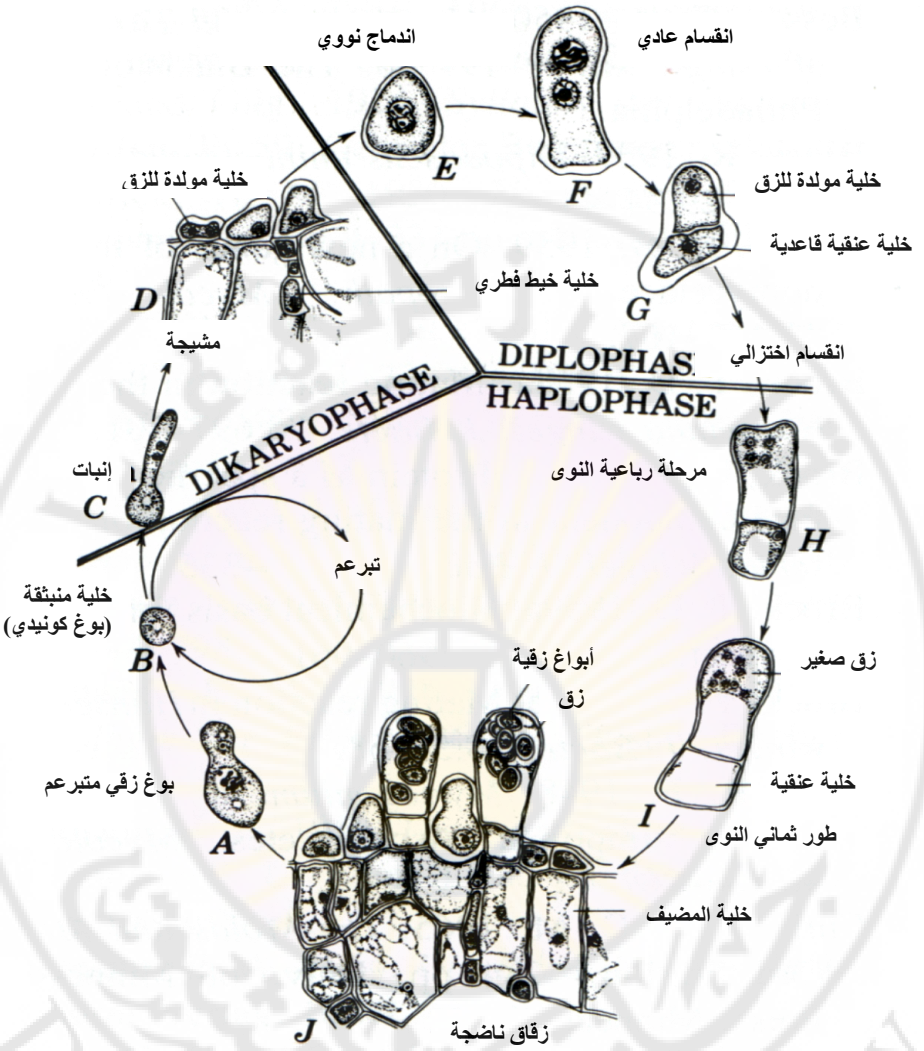
يضم جنس *Taphrina* حوالي 100 نوعاً معظمها ذات أهمية اقتصادية، ومنها: *T. deformans* الذي يسبب تجعد أوراق الدراق، و *T. pruni* الذي يتطفل على ثمار الخوخ (البرقوق) حيث تتضخم الثمرة وتصبح جوفاء، و *T. cerasi* الذي يتطفل على الكرز ويسبب له مرض مكنسة الساحرة، و*T. minor* الذي يسبب تجعد أوراق الكرز.

وهي أنواع إجبارية التطفل وذات تخصص محدود على عوائلها، الخيوط الفطرية متفرعة ومقسمة، وتنمو في المسافات البينية Intercellular في الأجزاء المصابة من الورقة أو تكون تحت البشرة Subcuticular أو داخل خلايا المضيف Intracellular، وليس للفطر ممصات داخل الخلايا.

يتكاثر الفطر *Taphrina deformans* لا جنسياً بتبرعم الأبواغ الزقية وتكوين أبواغ برعمية ثانية صغيرة بيضية أو مستديرة، وحيدة النواة، رقيقة الجدار، أحادية الصيغة الصبغية وتشبه الخميرة، ويطلق عليها بعض الاختصاصيين اسم الأبواغ الكونيدية، وتتبرعم الأبواغ الزقية سواء أكانت داخل الزقاق أو بعد تحررها.

تتكون الأبواغ الزقية في بداية الصيف وأواخر الربيع، ثم تدخل الأبواغ الزقية أو الأبواغ البرعمية في سبات عميق خلال فترة الشتاء بين حراشف البراعم الساكنة وعلى قلف الأغصان أو على البقايا النباتية حتى الربيع القادم.

تتبرعم الأبواغ الزقية، ثم تنبت البراعم وتعطي أنابيب إنبات، وقد تنبت الأبواغ الزقية مباشرة إلى أنابيب إنبات، وتنقسم النواة إلى نواتين في كل منها، ثم تخترق نسيج المضيف وتتشكل بذلك المشيجة ثنائية النوى (n + n)، وتكون خلايا الفطر بصورة طبقة عمادية ثنائية النوى تحت أدمة البشرة العليا للعائل، وهذه الخلايا تكون بيضية قصيرة ذات نواتين وهيولى كثيفة يطلق عليها الخلايا المولدة للزقاق. تندمج النواتان في الخلية المولدة للزق وتشكل نواة ثنائية الصيغة الصبغية، وقد تنمو الخلايا المولدة للزقاق مباشرة إلى زقاق في أنواع قليلة، ولكن غالباً ما تستطيل الخلية المولدة للزق وتنمو مكونة جزءاً علوياً أسطواني الشكل ينفصل عن الجزء السفلي أو القاعدي بوساطة حاجز عرضي، ثم تنقسم النواة ثنائية المجموعة الصبغية انقساماً غير مباشر إلى نواتين تنتقل إحداهما إلى القمة النامية، بينما تبقى الأخرى في الخلية العنقية Stalk cell، و يسمى الجزء العلوي بالخلية الطرفية أو الخلية الزقية الأم Ascus mother cell، ثم تتحلل هيولى ونواة الخلية العنقية وتصبح فارغة (الشكل 9 – 14). تستطيل الخلية القمية.



الشكل 9 – 14: دورة حياة الفطر *Taphrina deformans* (Alexopoulos & Mims, 1979)

أو المولدة للزق وتتوسع لتصبح صولجانية الشكل، ثم تتحول إلى زق فتنقسم نواته اختزالياً ثم انقساماً عادياً، ويتكون بذلك 8 نوى أحادية الصيغة الصبغية يحيط بكل منها جزء من الهيولى، وتتكوّن الأبواغ الزقية التي قد تتبرعم. وتظهر الزقاق مرتبة بانتظام في طبقة عمادية تحت البشرة التي تتمزق تحت ضغط الزقاق المتكونة لتتكشف الطبقة الخصيبة، ويحدث للزقاق شقٌّ طوليٌ يسمح بتحرر الأبواغ.

عندما تحدث الإصابة وتنمو المشيجة بين الخلايا يسبب ذلك ازدياد حجم الأوراق والأجزاء المصابة فتبدو مشوهة الشكل كأن تكون مجعدة أو ملتفّة، سميكة نسبياً ويتحول لونها إلى اللون الوردي أو الأحمر. وتؤدي إصابة الطبقة العمادية تحت البشرة إلى زيادة عدد خلاياها، ويتضخم حجمها كما أسلفنا مما يسبب تجعد الورقة. يختفي اليخضور مع تقدم الإصابة، ويتوقف نمو الورقة المصابة فتبقى صغيرة الحجم ويتحول لونها إلى الأصفر فالرمادي فالبني، ثم تتساقط الأوراق المصابة، وتتوقف أيضاً الفروع المصابة عن النمو، وتتضخم وتقصر المسافة بين السلاميات وقد تموت الأغصان الطرفية.

تحت صف الفطريات الزقية الكروية

Sub-class Plectomycetidae

الثمار الزقية كروية الشكل ومغلقة في العادة، أي ليس لها فتحة مخصصة لتحرر الزقاق والأبواغ الزقية، فالثمرة الزقية هنا من طراز Cleistothecium وتمتاز جدرها الخارجية بأنها بدون زوائد. وتنشأ فيها الزقاق في مستويات مختلفة وتتوزع بداخلها بغير انتظام، وتكون الزقاق إما بيضية أو كروية أو صولجانية الشكل، وذات جدر رقيقة تذوب لتسمح بتحرر الأبواغ الزقية التي قد تجتمع داخل الثمرة الزقية بعد تحلل أغلفة الزقاق .

ويميل علماء تصنيف الفطريات الآن إلى ضم أفراد الرتبة Erysiphales المسببة لأمراض البياض الدقيقي إلى الفطريات الزقية الثمرية القارورية Pyrenomycetes على الرغم من أنها تكوّن ثماراً زقية مغلقة، وذلك نظراً لعدم اشتراك أفرادها في الصفات المميزة لمجموعة الفطريات الزقية الكروية، حيث أن الثمار الزقية تتكوّن على المشيجة الفطرية السطحية دون أن تتكوّن ستروما ثمرية، وتكون زقاقها موزعة وفق نظام معين في داخلها، أو تتجمع في حزم أو تكون متوازية فيما بينها، ولا يتخللها خيوط عقيمة، بينما في حال الفطريات الزقية المغلقة فإن الزقاق تكون مبعثرة بداخل الثمرة الزقية دون نظام معين. وعلى الرغم من اعتمادنا هذا التصنيف لفطريات الرتبة Erysiphales في

كتابنا "المرجع في علم الفطريات" بوضعها مع مجموعة الفطريات الزقية الدورقية. إلا أننا سوف نبقي على هذه المجموعة ضمن الفطريات الزقية الكروية في كتابنا هذا تسهيلاً لدراستها من قبل الطالب.

يضم تحت الصف هذا عدداً من الرتب. سوف نأخذ رتبة Eurotiales كمثال عن هذه المجموعة من الفطريات إضافة لفطريات الرتبة Erysiphales نظراً لأهميتها الإقتصادية في علم أمراض النبات .

رتبة اليوروشيالس Order Eurotiales

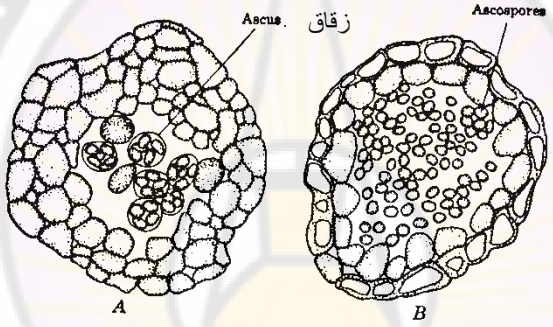
تسمى هذه الرتبة من قبل الاختصاصيين برتبة الأسبرجيللاس Aspergillales أو البلكتسكالس Plectascales، وتشتمل على 50 جنساً وعدة مئات من الأنواع. يعيش أفرادها رميّاً على المواد الغذائية (الفواكه – المربيات – الجبن – الخبز -...الخ)، وهي واسعة الانتشار في الطبيعة، والقليل منها يعيش متطفلاً على الحيوانات والإنسان والنبات وتسبب العفن الأزرق والأخضر أو العفن الأسود.

تتكاثر هذه الفطريات لاجنسياً بإنتاج سلاسل من الأبواغ الكونيدية بأعداد كبيرة تُحمل على فروع الحوامل البوغية على المشيجة.

ويعرف لبعض أنواعها فقط طريقة تكاثر جنسي وتحت ظروف خاصة جداً. ولا يوجد في ثمارها الزقية طبقة خصيبة منتظمة ومحددة، وأن زقاقها مبعثرة في مستويات مختلفة بداخلها في كتلة سهلة التهشم، فهي تمثل الحالة البدائية لبعض الفطريات الزقية الحقيقية ذات الثمار المغلقة.

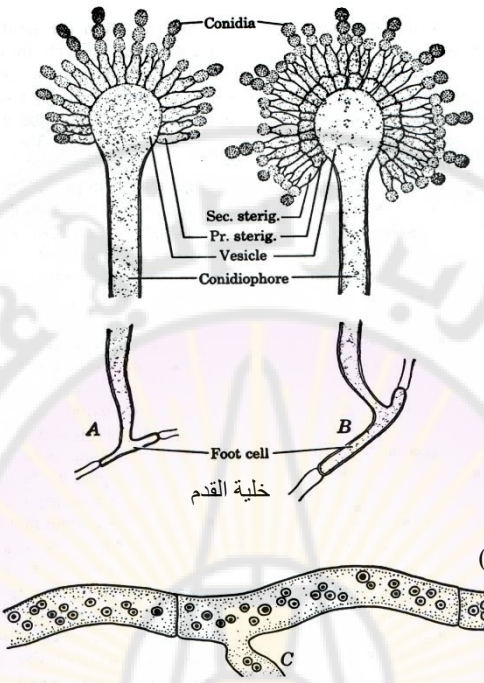
يتبع هذه الرتبة عدة فصائل، ولعل الفصيلة Eurotiaceae أكثرها أهمية من الناحية الاقتصادية، وقد نالت أنواع منها اهتمام العلماء والمختصين لاستخدامها في إنتاج بعض المضادات الحيوية والأحماض العضوية، وصناعة الجبن وغير ذلك من الفوائد.

وأهم أجناسها *Eurotium* وطوره الكونيدي (الناقص) *Aspergillus*، والجنس *Talaromyces* و *Eupenicillium* وطورهما الكونيدي هو *Penicillium*. ولها ثمار زقية كروية تتوضع بداخلها الزقاق بدون انتظام، وللثمرة غلافان خارجي سميك وداخلي يتكوّن من خلايا ذات جدارين رقيقين (الشكل 9 – 15). يتلاشى غلافا الثمرة وتتحرر الأبواغ الزقية. وكثيراً ما يحدث ذوبان خلايا الجدار الداخلي للثمرة الزقية وكذلك جدران الزقاق مما يؤدي إلى تبعثر الأبواغ الزقية داخل الثمرة. وتتمكن بعض أنواع هذين الجنسين فقط ودون غيرها من تكوين الزقاق أو الثمار الزقية.



الشكل 9 – 15: الفطر *Eurotium* sp. رسم توضيحي لمقطع عرضي في ثمرتين زقيتين من الطراز Cleistothecium. (A) الزقاق داخل الثمرة الزقية. (B) تحلل الزقاق وتحرر الأبواغ الزقيّة .

تتميز مشيجة الفطر *Eurotium* sp. = *Aspergillus* sp. بغزارة نموها، والخيوط الفطرية مقسمة ومتفرعة، وخلاياها عديدة النوى، ويختلف لونها باختلاف الأنواع. وعند التكاثر اللاجنسي تتمايز بعض خلايا الخيوط الفطرية متخذة شكل القدم لذا سميت بخلية القدم Foot cell حيث تستطيل خلايا القدم لتكوين الحوامل البوغية المتطاولة وغير المقسمة، التي تنفتح نهاياتها على شكل فقاعة أو حوصلة Vesicle يحيط بها طبقة واحدة أو طبقتان من السلاميات Sterigmata التي تغطي كامل سطوحها، ويُحمل عليها سلاسل من الأبواغ الكونيدية (الشكل 9 – 16)، وتكون الأبواغ القاعدية هي الأحدث سناً ويسمى هذا النظام بالتتابع القمي .



الشكل 9 – 16: الفطر .*Aspergillus* sp. (A) حامل كونيدي غير مقسم يخرج من خلية القدم، وينتهي برأس منتفخ يحمل صف واحد من السلاميات Sterigmata. (B) حامل كونيدي يحمل صفين من السلاميات. (C) جزء من خيط فطري مقسم وعديد النوى (عن Alexopoulos & Mims, 1979) .

الأبواغ كروية الشكل، وحيدة الخلية، جدرها خشنة، وتبدأ كخلايا وحيدة النواة ثم تصبح عديدة النوى نتيجة الانقسام النووي المتعاقب، وقد تبقى وحيدة النواة. تنتشر هذه الأبواغ بعد انفصالها عن بعضها بواسطة الهواء، نظراً لصغر حجمها، وخفة وزنها، وتحملها للظروف البيئية غير المناسبة من جفاف وحر. تنبت الأبواغ بسهولة وينمو الفطر عند توفر الحرارة والرطوبة المناسبة، وتعرف أفراد الاسبرجللس بتحملها لظروف الوسط الغذائي ومقدرتها على التغذية على أوساط سكرية وملحية عالية التركيز. ويبين الشكل (9– 17) المراحل المختلفة للتكاثر اللاجنسي عند هذا الفطر .

الشكل 9 – 17: المراحل المختلفة للتكاثر الجنسي عند الفطر *Aspergillus* sp. (عن الرحمة، 1993)

يضع أغلب المتخصصين هذه الأنواع مع الفطريات الناقصة اعتماداً على أطوارها الناقصة، وأيضاً نظراً لعدم وجود أطوار كاملة أو زقية للعديد من أنواعها، علماً أن بعض الأنواع كما أسلفنا قادرة على التكاثر الجنسي. وتختلف مراحل التكاثر الجنسي من نوع إلى أخر. وتعتبر مشيجة أغلب أنواع الفطر اسبرجللس متماثلة المشائج Homothallic، ولا يوجد سوى نوع واحد متخالف المشائج Heterothallic وهو الفطر *A. heterothallicus*.

تنتمي فطريات الاسبرجللس التي تتكاثر جنسياً إلى الجنس *Eurotium*، ومن الظروف المساعدة على النمو والتكاثر الجنسي تنمية الفطر على حرارة 25 – 30 ºم في وسط غذائي وافر السكريات، حيث تلتف أعضاء التذكير حول أعضاء التأنيث حلزونية الشكل، وتذوب الجدر الفاصلة بينها ويحدث الاندماج الهيولي ثم ازدواج النوى، وتتكون الخيوط الزقية (القرون) Ascogenous hyphae التي تتفرع داخل الثمرة الزقية إلى فروع متباينة الأبعاد، فتبدو الزقاق في مستويات متفاوتة، وتتكون الثمرة الزقية المغلقة، بلون أصفر وجدار أملس وتحتوي على الزقاق المبعثرة بداخلها، ويحتوي الزق عادة على 8 أبواغ زقية، وتكون هذه الأبواغ كروية أو بيضاوية، وتبدو مبعثرة في جوف الثمرة الزقية، وتبدو من الخلف عند تحررها على شكل دولاب بنصفين وذات سطوح هندسية الشكل، وتبدو من الوجه الأمامي مستديرة أو نجمية وغير ذلك من الأشكال، وهي صفات شكلية ذات أهمية بالغة في تصنيف الأنواع .

فوائد أنواع الجنس *Aspergillus* :

1 – تفيد بعض أنواع الجنس اسبرجللس في إنتاج بعض أنواع من المضادات الحيوية.

2 – تستخدم بعض الأنواع لإنتاج حمض الليمون وحمض الجليكونيك وحمض الحمّاض وغيرها من الأحماض العضوية، وذلك بواسطة الأنزيمات التي تمتلكها.

3 – يستخدم الفطر *A. niger* لاختبار وجود عنصر النحاس حتى لو كان موجوداً بآثار قليلة في الوسط

4 – تستخدم بعض أنواع الاسبرجللس في صناعة بعض أنواع الجبن.

أضرار أنواع الجنس *Aspergillus*

فطريات الاسبرجللس واسعة الانتشار في الطبيعة، وتعيش في أو على أي وسط غير حي وعلى جميع أنواع الخضروات والثمار والفواكه واللحوم وغيرها من المواد

الغذائية أثناء النقل والتوزيع والتسويق، وتسبب لها أضراراً أهمها الأعفان، كما تتلف الجلود والكتب والملابس وتسبب لها أعفاناً وروائح كريهة.

تسبب بعض أنواعه أمراضاً مختلفة للطيور والإنسان وأكثر ما تصيب الماشية والخيول والطيور بمرض تدرن الرئة الاسبرجيللي، وتصيب في بعض الأحيان الإنسان، كما تسبب هذه الفطريات أمراض الأذن عند الإنسان.

كما وتفرز بعض أنواع الاسبرجللس السموم الفطرية Mycotoxins التي تتسبب في التسممات الغذائية عند الحيوان والإنسان (انظر في فصل السموم الفطرية).

الجنس *Talaromyces*

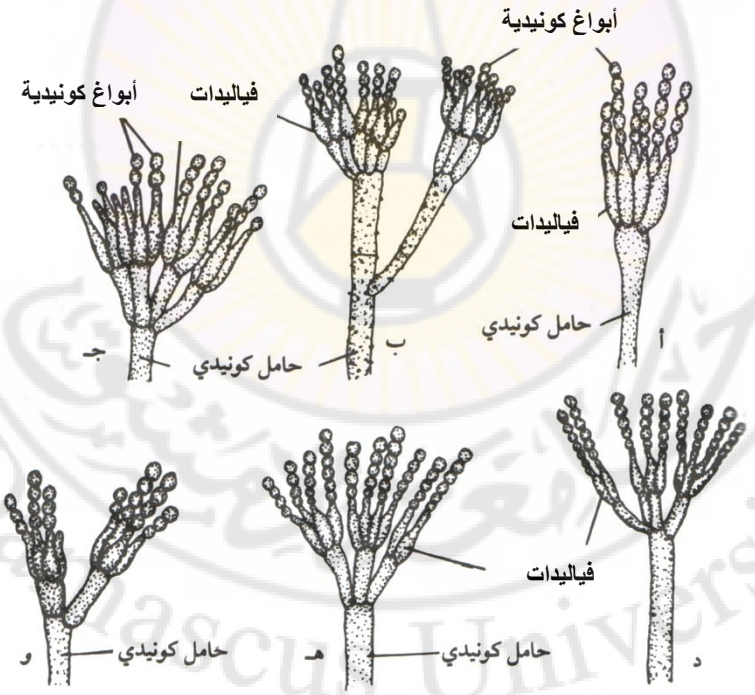
وهو الطور الجنسي للفطر الناقص *Penicillium* spp.، وهو من أوسع الفطريات انتشاراً في الطبيعة أو على سطح اليابسة حيث تصل أنواعه إلى 200 نوعاً. يعيش مترمماً على المواد الغذائية كالخبز والجبن والمحفوظات والثمار والخضار والمواد العضوية والألبسة والورق وكل مادة تتعرض للرطوبة ويتوفر عندها الحرارة المناسبة، وهو يناظر إلى حد كبير فطر الاسبرجللس في مدى الانتشار والترمم، و يسبب أضراراً شديدة لثمار الحمضيات، ويكوّن عليها العفن الأزرق والعفن الأخضر، وتلعب هذه الفطريات دوراً في تحليل المواد العضوية كالسيللوز.

مشيجة الفطر متفرعة، مقسمة، متشابكة، ملونة أو عديمة اللون، وتتشكل الأبواغ الكونيدية بسلاسل على حوامل بوغية هوائية مقسمة بجدر مستعرضة ومتفرعة إلى فريعات تشبه إلى حد كبير الفرشاة أو المكنسة Penicillus، ومنها جاء الاسم اللاتيني، وينشأ على فريعاتها سلاميات أو رؤيسات أوذنيبات صغيرة Sterigmata تدعى الزوائد القارورية Phialides تتركز عليها الأبواغ في سلاسل.

يعتمد على شكل الحامل البوغي، ونمط تفرعه، وتماثله أو عدم تماثله في التمييز بين أنواع البنسيليوم وتصنيفها، فهناك الحامل البوغي وحيد الصف Monoverticillate

حيث تكون الفياليدات (الزوائد القارورية) منتظمة مباشرة عند طرف الحامل الكونيدي. أما الحامل البوغي ثنائي الصف Biverticillate يتفرع إلى فريعات تُحمل عليها الزوائد Sterigmata التي تحمل بدورها الأبواغ في سلاسل. ويمتاز الحامل البوغي عديد الصفوف Polyverticillate بتفرعه إلى فريعات أولية وفريعات ثانوية ترتكز عليها الفياليدات التي تحمل الأبواغ (الشكل 9 – 18).

ومهما يكن من أمر تفرع الحامل البوغي، فيمكن التمييز بين حامل بوغي متماثل أو متناظرSymmetrical حيث يُميز فيه نصفان متماثلان، وحامل بوغي غير متماثل Asymmetrical الذي لا يمكن التمييز بين أجزائه بنظرة تناظرية (الشكل 9 – 18).

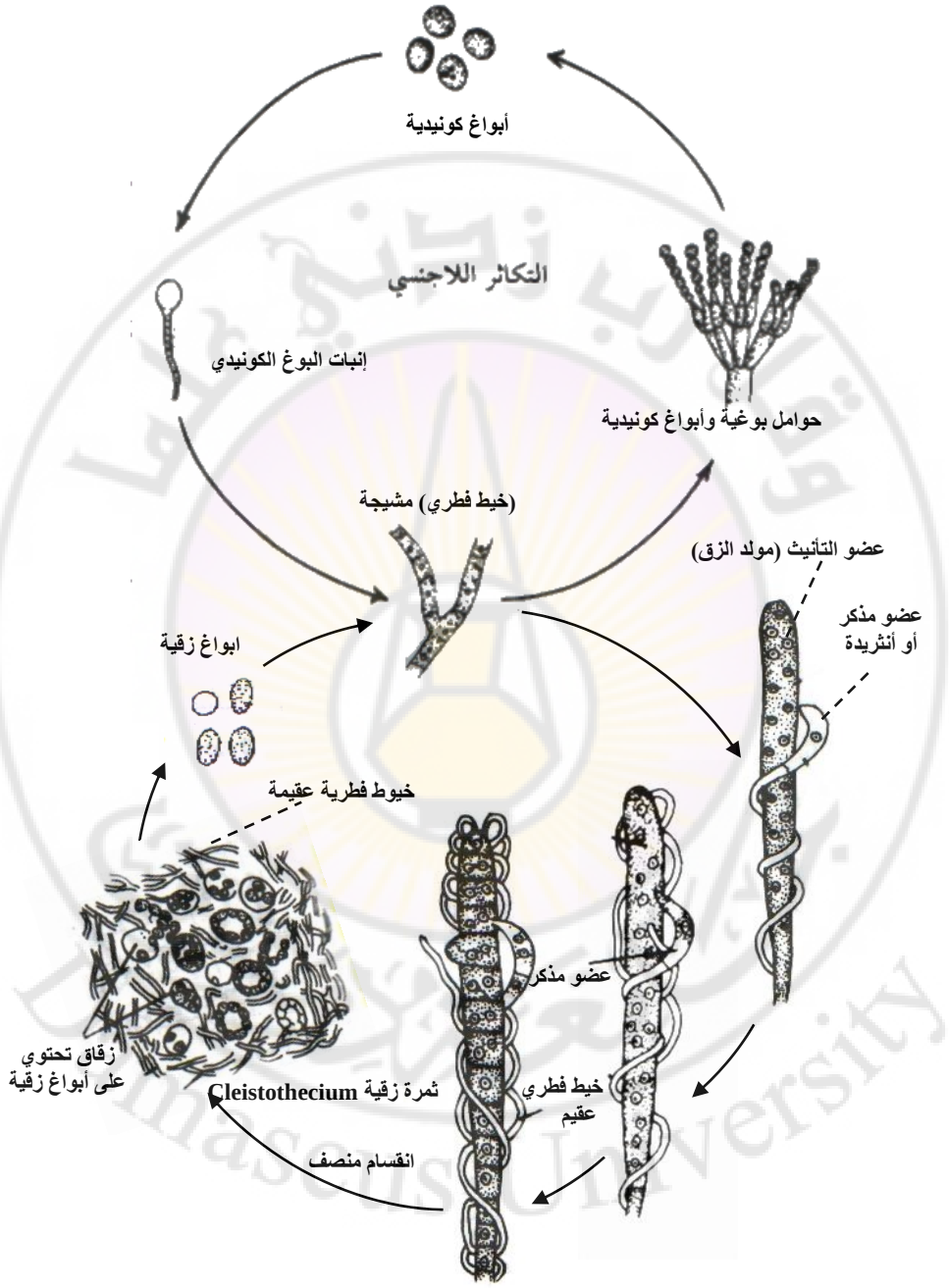


الشكل 9 – 18: نماذج مختلفة من الحوامل الكونيدية عند أنواع الجنس *Penicillium*. (أ) حامل كونيدي متماثل وحيد الصف. (ب) حامل كونيدي غير متماثل للفطر *P. lanosco-coeruleum*. (جـ) حامل كونيدي متماثل ثنائي الصف للفطر *P. vermiculatum*. (د) حامل كونيدي متماثل للفطر *P. glaucum*. (هـ) حامل كونيدي متماثل للفطر *P. herquei*. (و) حامل كونيدي غير متماثل للفطر *P. chrysogenum* (عن الرحمة،1993).

تتكوّن الأبواغ الكونيدية عند الفطر *Penicillium* sp. بآلية معينة: حيث يتكون في قمة الفياليد أنبوبة صغيرة ترحل إليها نواة نشأت عن انقسام نواة الفياليد، يلي ذلك تكوين حاجز يفصل قاعدة الأنبوبة عن طرف الفياليد فتتكوّن خلية جديدة هي بداية تكوين البوغ الكونيدي، حيث تحاط النواة بجزء من الهيولى وتفرز الخلية جداراً لها، وعند نضج البوغ الكونيدي قد يتحد جداره أو جزء منه بجدار الفياليد، وتستمر الفياليدات بتكوين أبواغ جديدة تنتظم في سلاسل كما أسلفنا، حيث يكون أكبرها سناً أبعدها عن الفياليد، وتكون الأبواغ وحيدة النواة وأحياناً عديدة النوى.

التكاثر الجنسي عند أنواع البنسيليوم غير معروف تماماً في معظمها سوى عند حوالي خمس وعشرين نوعاً، وتكون الثمرة الزقية من الطراز المغلق. وكلها أنواع متماثلة المشائج باستثناء النوع *P. tuteum* فهو متخالف المشائج.

ينشأ عضو التأنيث أو مولد الزق من أي خلية من خلايا المشيجة على شكل فرع أنبوبي متطاول، ويكون مولد الزق في البداية أحادي النواة، ثم تنقسم نواته العديد من الانقسامات ليصبح فيه عدد كبير من النوى التي يمكن أن يصل عددها إلى 64 نواة. ويظهر العضو المذكر من خيط مجاور على شكل فرع يلتف حول عضو التأنيث ويكون وحيد النواة. ثم ينفصل الجزء العلوي من الفرع بواسطة حاجز عرضي مشكلاً عضو مذكر أو أنثريدة أحادية النواة. تذوب الجدر الفاصلة عند نقطة إلتقاء طرف العضو المذكر بمولد الزقاق ويحدث الاندماج الهيولي، وتنمو بعد ذلك خيوط فطرية عقيمة متشابكة حول العضو المذكر ومولد الزقاق المندمجين ليتكون الجزء العقيم من الثمرة الزقية المغلقة (الشكل 9 - 19). ويلاحظ في بعض الأنواع أن الانثريدة عديمة الوظيفة ويقتصر دور التكاثر الجنسي على الخلية الزقية المولدة أو عضو التانيث (Ascogonium) فقط.



الشكل 9 – 19: دورة حياة الفطر *Talaromyces vermiculatus* (= *Penicillium vermiculatum*)

فوائد فطريات الجنس *Penicillium*

1– يستعمل النوع *Penicillium camemberti* في تخمير خثرة الجبن الأبيض وتحويلها إلى جبن كامامبير Camembert، وهو من الأجبان الفرنسية الشائعة. كما ويستعمل النوع *P. roqueforti* في تحضير جبن الروكفور Roquefort.

2– يستفاد من النوع *Penicillium brevicaulee* في الطب الجنائي لملاحظة حوادث التسمم بالزرنيخ. حيث يهاجم الفطر المركبات الزرنيخية ويطلق غاز $(CH_3)_3As$ وله رائحة الثوم.

3– تستخدم بعض أنواع البنسليوم في إنتاج المضادات الحيوية، ومن الأمثلة المعروفة عقار البنسللين Penicillin الذي ينتجه النوعان *P. chrysogenum* و *P. notatum*. إضافة إلى العديد من المضادات الحيوية الأخرى مثل الباتيولين Patulin والإكسبانسين Expansin والكلافيفورمين Claviformin التي تنتج بواسطة الفطر *P. patulum*.

4– تستخدم بعض أنواع البنسلليوم في صناعة الأحماض العضوية مثل حمض الليمون والفيوماريك والحمّاض والجلوكونيك والجاليك .....الخ.

5– تستخدم بعض أنواع البنسيليوم في صناعة الأصبغة مثل حمض الايموديك Emodic acid، والسبينولوزين Spinulosin، والسيترينين Citrinin.

6– إنتاج بعض أنواع من الفيتامينات (Vit. D) وكذلك الأنزيمات.

أضرار أنواع الجنس *Penicillium*

1 – تسبب بعض الأنواع أمراضاً للإنسان منها أمراضاً رئوية.

2 – تسبب بعض الأنواع أعفاناً للبذور النجيلية (الذرة، القمح، الشوفان، والشعير)، كما وتترمم أنواع من البنسيليوم على المواد الغذائية والخبز وتسبب فسادها، وتتلف المنسوجات والجلود والأعلاف الحيوانية.

3 – تسبب أنواع من البنسيليوم أعفان الثمار أثناء النقل والتخزين والتسويق، وتسبب هذه الأعفان خسائر اقتصادية هامة جداً لما تسببه من فقد كبير. ومن هذه الأعفان العفن الأخضر على ثمار الحمضيات الذي يسببه الفطر *P. digitatum* والعفن الأزرق الذي يسببه الفطر *P. italicum*. كما يسبب الفطر *P. expansum* أعفاناً على ثمار التفاح والكمثرى والأعناب وغيرها أثناء التخزين.

4 – يفرز الكثير من أنواع البنسيليوم سموماً فطرية Mycotoxins تسبب تسممات ومشاكل صحية قد تكون أحياناً خطيرة للإنسان والحيوان.

رتبة فطريات البياض الدقيقي Order Erysiphales

وهي من الرتب الزقية التي تمتاز باحتوائها على أكبر عدد من الأنواع المتطفلة على النباتات، وهي إجبارية التطفل، ولهذا لا يمكن عزلها على بيئات صنعيّة مغذية. المشيجة مقسمة، متفرعة، خلاياها وحيدة النواة، خارجية التطفل ونادراً داخلية، حيث توجد المشيجة الفطرية وكافة أعضائها فوق سطح أعضاء النبات المضيف المصابة، ولا تستطع الخيوط الفطرية اختراق بشرة النبات المضيف لهذا فهي ترسل ممصات Haustoria إلى داخل خلايا البشرة أو أعمق من ذلك للحصول على احتياجاتها الغذائية.

الثمار الزقية كروية أو بيضية أو مفلطحة، ليس لها فوّهة بل تكون مغلقة، وتحمل على سطحها الخارجي زوائد خيطية ذات أشكال وتفرعات تفيد في التعرف على الأجناس المختلفة بالإضافة إلى شكل الممصات وعدد الزقاق في الثمرة الزقية. وللثمرة الزقية جدار داكن اللون رقيق وغشائي يتركب من خلايا برانشيمية كاذبة، ويكون بداخلها زق واحد أو أكثر، وفي حال وجود أكثر من زق واحد داخل الثمرة الزقية، فإن الزقاق تكون معنّقة، متراصة، موازية لبعضها البعض، ومكونة من طبقة واحدة منتظمة في قاعدة تجويف الثمرة، وعند وجود زق واحد فإن الطبقة تصبح مختزلة.

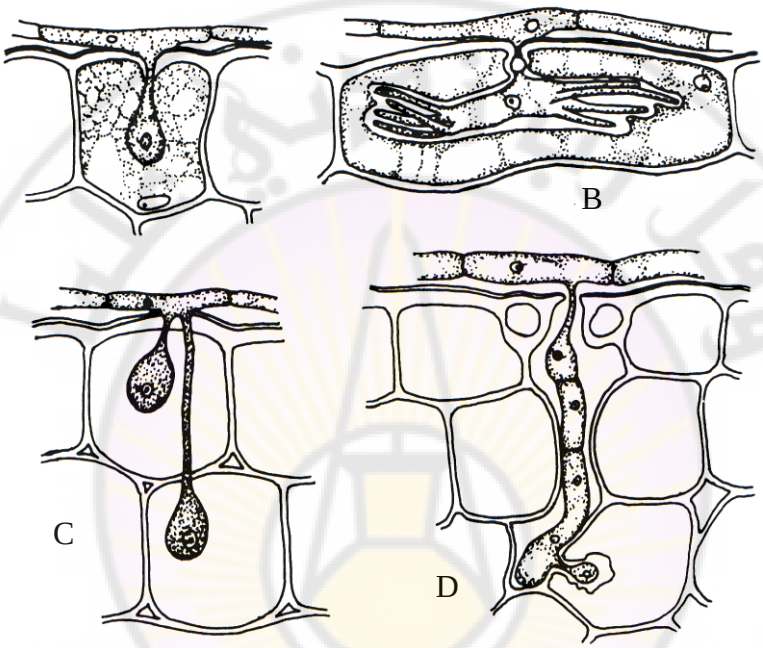
فصيلة ايريسيفاسي Family Erysiphaceae

تضم هذه الفصيلة 15 جنساً و 100 نوعاً، وكلها فطريات إجبارية التطفل على نباتات زهرية مختلفة، تنتشر في كل أنحاء العالم، ويناسبها المناخ الحار والجاف نسبياً لذا فهي تزدهر وتتطور بشكل وبائي في المناطق المعتدلة المناخ، وتسبب خسائر فادحة في المحاصيل الزراعية والرعوية والخضار ونباتات الزينة وأشجار الفاكهة والغابات على حد سواء، وتهاجم هذه الفطريات الأجزاء الفتية والغضّة من النباتات بالإضافة إلى أوراقها وثمارها، وتسبب لها أمراض البياض الدقيقي، المشهورة بأعراضها المميزة على سطوح النباتات المضيفة، فهي خارجية التطفل حيث أن مشيجتها لا تستطيع اختراق خلايا البشرة، ولهذا فإنها ترسل ممصات داخل خلايا البشرة أو إلى النسيج الأكثر عمقاً لتحصل على احتياجاتها الغذائية.

يختلف شكل الممصات من فطر إلى آخر، فهي إما بسيطة على شكل أنبوبة أسطوانية تنفتح داخل خلايا العائل كما هي الحال عند الفطر *Erysiphe polygoni*، أو تكون متفرعة عند الفطر *E. graminis*، وقد تكون الممصات أصبعية الشكل ويكون للممص قرص خارجي يسمى Appressorium ينمو منه نتوء دقيق ينفذ إلى خلايا بشرة العائل (الشكل 9 – 20)، وقد تكون الممصات بشرية أو تحت بشرية مثل الجنس *Uncinula*، ونادراً ما يكون التطفل داخلياً Endophytic كما هي الحال عند الجنس *Leveillula* وهنا يكون التطفل الداخلي نموذجياً حيث تدخل المشيجة من خلال الثغـور، وتنمو داخلياً، ثم تصبح مع تقدم الإصابة خارجية، وتخرج الحوامل البوغية عن طريق الثغور أيضاً، ونجد أيضاً نزعة نحو التطفل الداخلي عند الجنس *Phyllactinia*، حيث تدخل بعض الخيوط الفطرية من خلال الثغور وتستمر بالنمو في الحجر تحت الثغرية، وتعطي ممصات كمثرية الشكل داخل خلايا القشرة .

تمتاز الأنواع ذات المشيجة السطحية بحواملها الكونيدية القصيرة التي تحمل سلسلة من الأبواغ الكونيدية، أما في الأجناس التي تبدي نزعة نحو التطفل الداخلي تكون

الحوامل الكونيدية طويلة ولا تحمل في نهايتها سوى بوغاً كونيدياً واحداً. فعندما يسقط هذا البوغ، تنقسم مباشرة الخلية التالية إلى قسمين لتشكل الخلية القميّة بوغاً كونيدياً جديداً.



الشكل 9 – 20: نماذج مختلفة من الممصات Haustoria التي تشكلها بعض فطريات البياض الدقيقي Powdery mildew. (A) *Erysiphe polygoni* ومعظم أنواع الفصيلة Erysiphaceae . (B) *Erysiphe graminis*. (C) *Uncinula salicis*. (D) *Phyllactinia corylea*. (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

الحوامل البوغية Conidiophores :

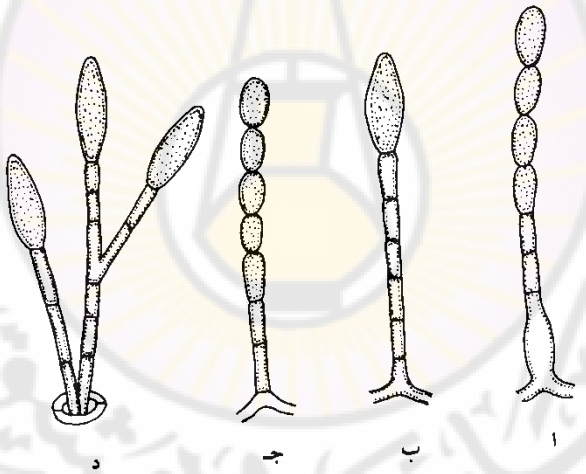
يمكن تمييز أربعة طرز من الحوامل البوغية عند فطريات البياض الدقيقي (الشكل 9 – 21):

1 – الحامل الكونيدي ذو خلية قاعدية هي في نفس الوقت الخلية المولدة، وتوجد الأبواغ الكونيدية في سلسلة تصل إلى 20 بوغاً كما هي الحال عند الفطر *Erysiphe graminis* .

2 – الحامل الكونيدي يتكون من صف من الخلايا، يستعرض أعلاه ليحمل بوغاً قمياً واحداً يسمى بوغ أوئيدي Oidium (وجمعه Oidia) كما هي الحال عند الفطر *Phyllactinia rigida*.

3 – يتكون الحامل الكونيدي من عنق صغير، وحيد الخلية، يحمل خلية مولدة واحدة تحمل سلسلة طويلة أو قصيرة من الأبواغ الكونيدية كما هي الحال عند الفطر *Erysiphe cichoracearum*.

4 – ينشأ العنق في الحامل الكونيدي في خلية داخلية، ثم يخرج عن طريق الثغور، ويحمل في نهايته بوغاً كونيدياً واحداً كما هي الحال عند الفطر *Leveillula taurica*.

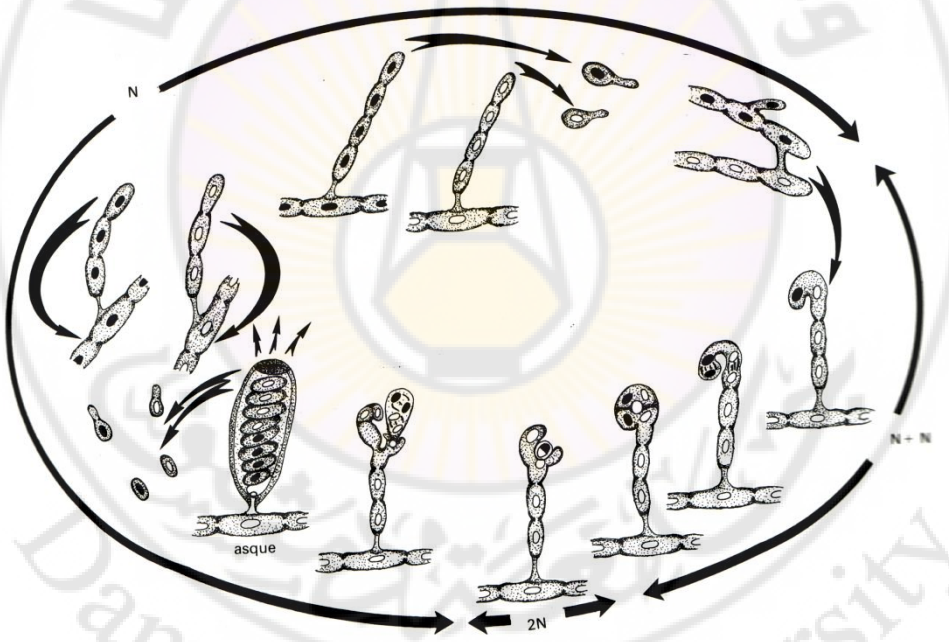


الشكل 9 – 21: أنواع الحوامل الكونيدية في فطريات البياض الدقيقي. (أ) *Erysiphe graminis*. (ب) *Phyllactinia rigida*. (جـ) *Erysiphe cichoracearum*. (د) *Leveillula taurica*.

يتم التكاثر الجنسي عند فطريات البياض الدقيقي بتكوين خيط أنثوي وآخر ذكري يلتفان على بعضهما وغالباً يصعب تمييز هذه الخيوط عن بعضها. وقد وجد أن بعض الأنواع مثل *Sphaerotheca fuliginea* تتكاثر جنسياً بتكوين الثمار الزقية على مشيجة ناتجة من إنبات بوغ واحد (متماثلة المشائج Homothallic) . بينما هناك أنواع

أخرى لا تتكاثر جنسياً إلا بوجود خيطين فطريين من إشارتين مختلفتين (+ و -)، أي أنها متباينة المشائج Heterothallic، كما هي الحال في الفطر المسبب للبياض الدقيقي على حشيشة الدينار *Sphaerotheca humuli*.

في بعض الأحيان قد يضعف التكاثر الجنسي كثيراً، فيرسل خيطين متجاورين وفي أماكن مختلفة استطالات أنبوبية تتلاقى مع بعضها، ويتم اندماج محتوياتها في نقطة التلاقي، وهذه الطريقة من التكاثر تدعى بالتزاوج الأنبوبي Anastomy. ويبين الشكل (9– 22) دورة الحياة الجنسية العامة.



الشكل 9 – 22 : دورة الحياة الجنسية العامة Sexual cycle (عن Semal *et al.*, 1989)

تحمل الثمرة الجنسية على سطحها الخارجي زوائد (Appendages) مختلفة الأشكال والتفرعات، ولها وظيفة تثبيت الثمرة الزقية في مكانها أو رفعها إلى الأعلى أو المساعدة على انتشارها. كما يستفيد الإختصاصيون من أشكال هذه الزوائد عند

التصنيف، إضافة إلى عدد الزقاق داخل الثمرة الزقية (الشكل 9 – 23)، ويمكن تمييز الأجناس وفق التالي :

أ – الثمرة الزقية تحتوي زق واحد

1 – الزوائد خيطية ومتفرعة تفرعاً ثنائي الشعبة ..... *Podosphaera*.

2 – الزوائد خيطية بسيطة غير متفرعة ..... *Sphaerotheca*.

ب – الثمرة الزقية تحتوي أكثر من زق واحد

1 – زوائد الثمرة الزقية خيطية مستقيمة ومتفرعة تفرعاً ثنائي الشعبة ..... *Microsphaera*.

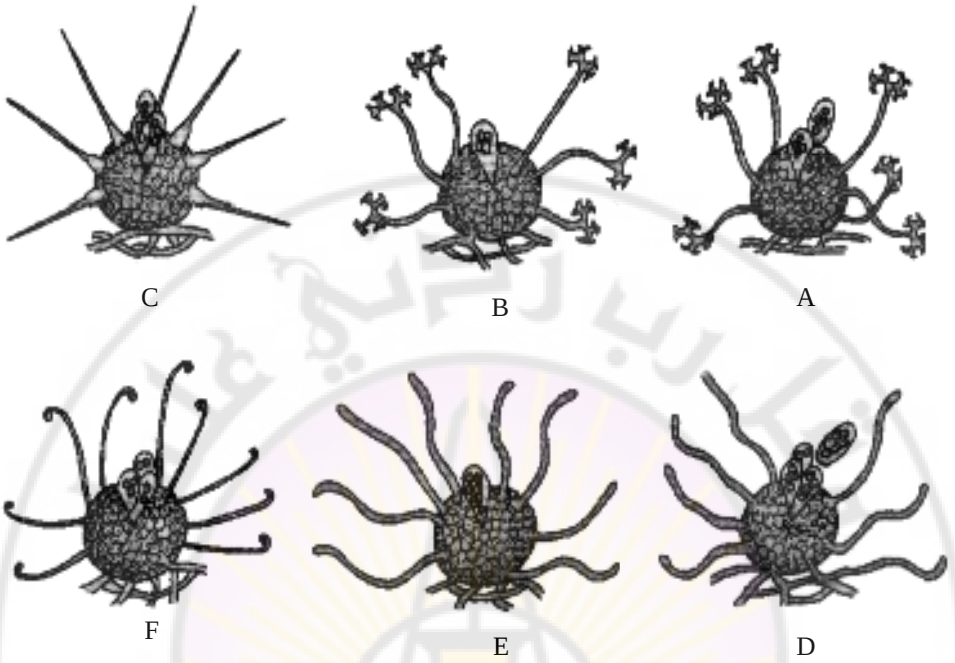
2 – الزوائد خيطية بسيطة وغير متفرعة، تشبه الخيوط الفطرية شكلاً، والمشيجة سطحية ..... *Erysiphe*.

3 – الزوائد بسيطة، خطّافية عند نهاياتها .....*Uncinula*.

4 – الزوائد غير متفرعة، خيطية الشكل، والمشيجة داخلية التطفل ثم تصبح سطحية عند تكوين الثمار الزقية .....*Leveillula*.

5 – الزوائد طويلة، وذات قواعد منتفخة بصلية الشكل، والأطراف مستدقة *Phyllactinia*…..

سنأخذ الفطر *Sphaerotheca* sp. كنموذج لأفراد فصيلة البياض الدقيقي، ومن المعروف أن هذا الجنس يضم عدة أنواع ذات أهمية اقتصادية ومنها: *S. humuli* المسبب لمرض البياض الدقيقي على حشيشة الدينار، و *S. pannosa* المسبب لمرض البياض الدقيقي على نبات الدراق والورد، ويضم هذا النوع سلالتين: *S. pannosa var. rosae* على الورد، و *S. pannosa var. persicae* على نبات الدراق، ولا يختلفان إلا من الناحية الفيزيولوجية، حيث يتخصص كل منهما بإصابة المضيف الخاص به.

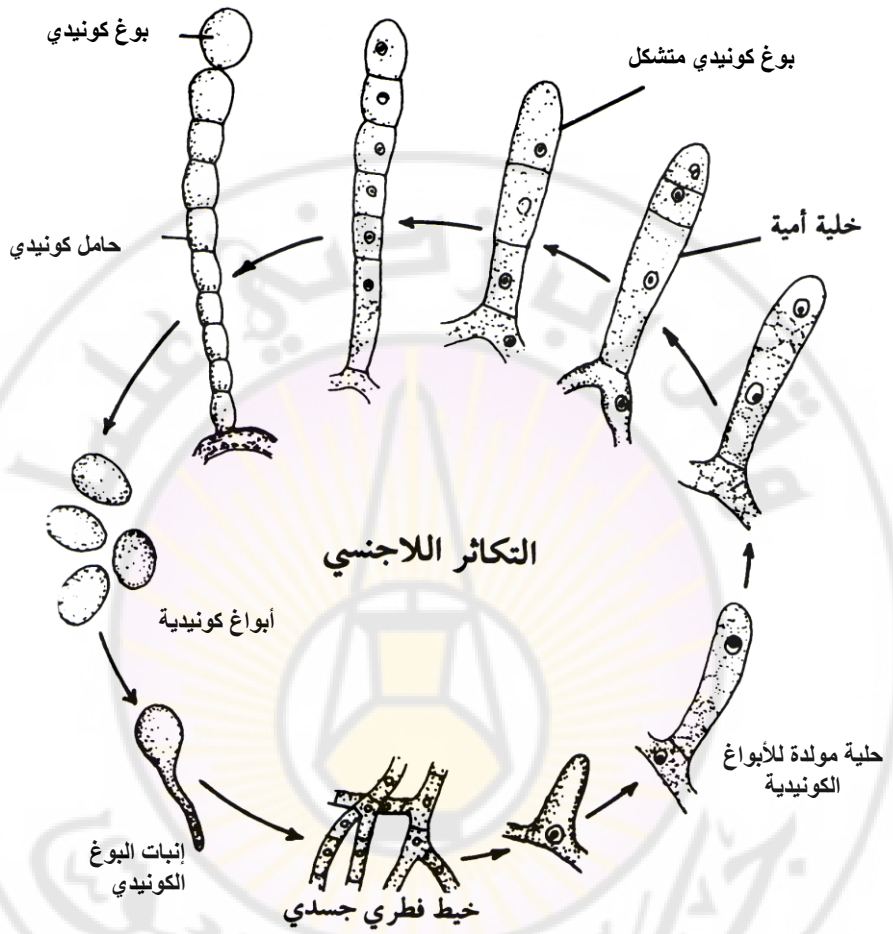


الشكل 9 – 23: نماذج مختلفة من الثمار الزقية Ascocarps للفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي. (A) *Microsphaera* (B) *Podosphaera*. (C) *Phyllactinia*. (D) *Erysiphe*. (E) *Sphaerotheca*. (F) *Uncinula*

التكاثر عند الفطر ***Sphaerotheca humuli*** :

بعد حدوث الإصابة، تتطور المشيجة، ويبدأ تشكل زوائد Sterigmata على الخيوط الفطرية تتطور لتكوين الحوامل البوغية، وتتكون كميات وفيرة من الحوامل البوغية التي تكون غير متفرعة، قائمة وشفافة.

تتكوّن الأبواغ في سلسلة بحيث يكون فيها البوغ القمي هو الأقدم والأكبر سناً وتحته بقية الأبواغ الأحدث والأصغر سناً، وكلما سقطت أبواغ كونيدية من السلسلة على المشيجة الفطرية كلما تشكلت أبواغ جديدة بالطريقة نفسها، وهذه هي الطريقة القاعدية في تكوين الأبواغ (الشكل 9 – 24).

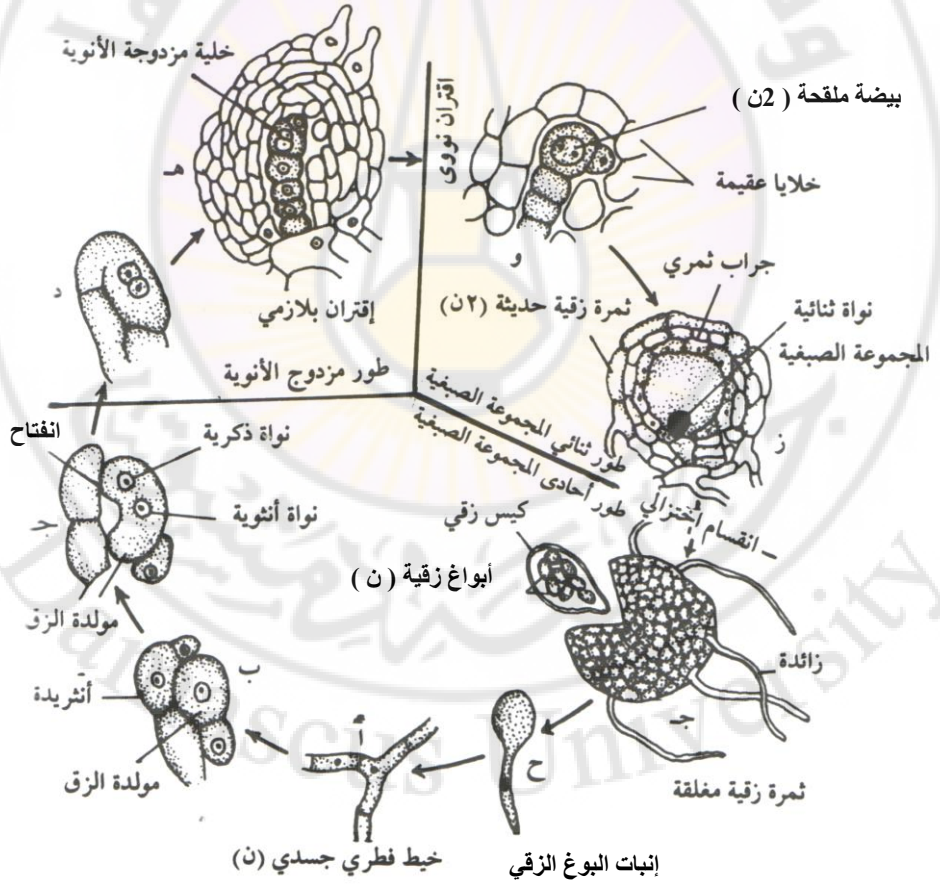


الشكل 9 – 24: مراحل التكاثر اللاجنسي عند الفطر *Sphaerotheca humuli* (عن الرحمة، 1993)

تنتشر الأبواغ الكونيدية بعد نضجها بواسطة الهواء والرياح، وعند سقوطها فوق سطح المضيف وعند توفر الظروف المناسبة للإنبات، تنبت ويخرج منها 1 – 3 أنابيب إنبات تخترق بدورها الثغور لإحداث إصابة جديدة.

أما التكاثر الجنسي، فيتم وفق ما سبق شرحه في موضوع التكاثر الجنسي حيث يتلاقى عضوان إحداهما ذكري (الأنثريديوم) والثاني أنثوي (الأسكوجون) وحيد النواة، ثم يذوب الجدار الفاصل عند نقطة التلامس ويتم الاندماج الهيولي ثم الاقتران النووي

دون الاندماج فيتشكل شفع من النوى "Dikaryon". تستطيل الخلية مولدة الزق، وتأخذ نواتها بالانقسام العادي، وينتج عن ذلك تكوين عدد من النوى التي تنتظم في صف طولي وتنفصل عن بعضها، وتتكوّن جدر عرضية تفصل مولد الزق إلى عدد من الخلايا التي يتراوح عددها من 4 – 5 خلايا (الشكل 9 – 25). ويتضح في هذا الصف أن الخلية تحت الطرفية Penultimate cell تحتوي على شفع من النوى (n+n) بينما تحتوي كل خلية من الخلايا الباقية على نواة واحدة، وتعرف الخلية تحت الطرفية بالخلية الزقية الأم Ascus mother cell، وبعد أن يتم الاتحاد النووي، يحدث الانقسام المنصف ثم يتلـوه



الشكل 9 – 25: مراحل التكاثر الجنسي عند الفطر *Sphaerotheca humuli* (عن الرحمة، 1993)

انقسامات عادية لتكوين ثمان نوى، يحاط كل منها بجزء من الهيولى وجدار خارجي لتعطي الأبواغ الزقية أحادية النواة، ثم تنقسم الخلية الموجودة تحت مولدة الزق عدة انقسامات، وينشأ عن ذلك خيوط فطرية عقيمة يُبنى منها النسيج المكون لغلاف الثمرة الزقية أو جرابها Peridium، والثمرة الزقية عند الفطر *Sphaerotheca* sp. من الطراز المغلق، وتحتوي على زق واحد يقيس حوالي 100 ميكروناً، وتحمل على سطحها الخارجي زوائد بسيطة وغير متفرعة

تجدر الإشارة إلى أن الزقاق تمضي فترة الشتاء ساكنة داخل الثمار الزقية، وعندما تصبح الظروف الجوية مناسبة عند قدوم فصل الربيع، تنشط وتنفجر الثمار الزقية بتأثير التفاوت الحراري والرطوبة مما يؤدي إلى تحرر الزقاق والأبواغ الزقية التي تنتشر في الجو، وعند وصولها إلى النبات المضيف فإنها تحدث الإصابة الأولية.

تحت صف الفطريات الزقية الخصيبة

Sub class Hymenoascomycetidae

يضم تحت الصف هذا مجموعتين رئيسيتين هما:

1– مجموعة الفطريات الزقية دورقية الثمار الزقية Series : Pyrenomycetes

2– مجموعة الفطريات الزقية طبقية الثمار الزقية Series : Discomycetes

مجموعة رتب بيرونومايستس Pyrenomycetes

تعتبر أفراد هذه الرتب واسعة الانتشار في الطبيعة، وهي متطفلة بصورة إجبارية أو اختيارية على العديد من العوائل، وقد تكون مترممة على بيئات مختلفة.

تكوّن هذه الفطريات ثماراً زقية صغيرة قاسية (Pyren)، لها شكل الدورق ولذا سميت Perithecium، مغطاة بغلاف سميك ولها فوهة Ostiole تسمح بخروج الزقاق

والأبواغ الزقية عند نضجها، ويغلف هذه الفوهة خيوط فطرية عقيمة، وتحتوي الثمرة الزقية على الطبقة الخصيبة التي تنشأ منها الزقاق الموازية لبعضها، ويكون جدار الثمرة الزقية متميزاً في بعض الرتب وغير متميز في بعض الرتب الأخرى. وقد توجد الثمار الزقية حرّة أو تحاط ببعض خيوط الفطر التي تكوّن الستروما وعندئذ تكون مطمورة كلياً أو جزئياً. وكلها صفات يعتمد عليها في تصنيف رتب هذه المجموعة.

وتقسم هذه المجموعة إلى العديد من الرتب: Meliolales، Xylariales، Clavicipitales، Diaporthales.

الرتبة الزيلاريالس Order Xylariales (رتبة سفيريالس Sphaeriales سابقاً)

الثمار الزقية الزيلارية داكنة اللون، كمثرية الشكل أو كروية، الجدار لحمي أو قاسي، ولها فتحة أو فوهة Ostiole في قمة عنق متطاول، وتتكوّن الثمار مباشرة من الخيوط الفطرية المفككة أو تقترن بالستروما، وتوجد الزقاق في طبقة خصيبة موازية لبعضها البعض أو في مجموعة قاعدية، وهي وحيدة الجدار ومحاطة بخيوط فطرية عقيمة.

أنواعها رمية المعيشة على بقايا النباتات وأوراق وجذوع الأشجار وأغصانها المتحللة، وعلى سوق النباتات نادراً، وبعضها يعيش على روث الحيوانات (الفطريات الروثية)، ومنها عدد قليل يعيش متطفلاً على بعض النباتات.

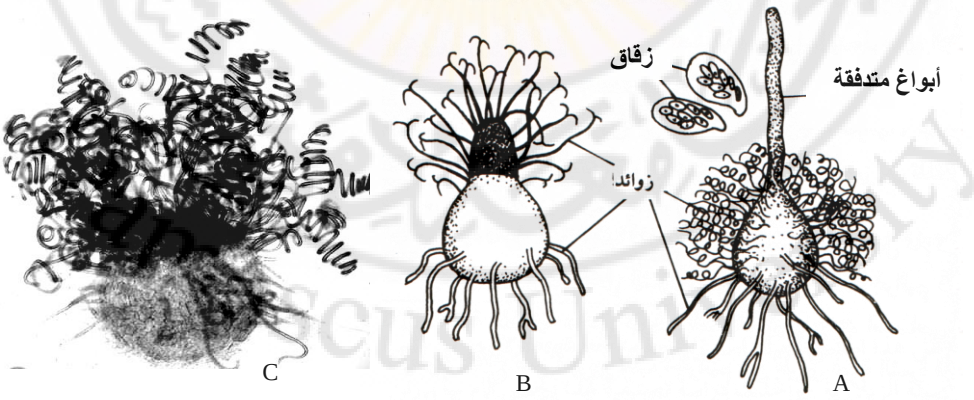
فقد معظم أنواعها المقدرة على تكوين الأبواغ الكونيدية، ولهذا فليس لها إلا الطور الزقي والأبواغ الزقية، وقد تكوّن بعض الأنواع أبواغاً صغيرة لها وظيفة النطاف Spermatia التي تلعب دوراً هاماً عند الاقتران الهيولي.

يتبع هذه الرتبة سبع فصائل. وسندرس الجنس *Chaetomium* كمثال عن الفصيلة Chaetomiaceae، وهو من الأجناس الفطرية المعروفة بمقدرتها على تحليل السيللوز

في البذور المخزونة، والأنسجة القطنية والورق وبقايا النباتات، وتعيش أفراده مترممة في التربة وقد يصل في نموه إلى عمق 60 سم في التربة.

يضم هذا الجنس 96 نوعاً، أشهرها النوع *Chaetomium globosum* الذي يسبب العفن الطري للخشب، وهو من فطريات الروث أيضاً (Coprophilous fungi). لا يتمكن سوى خمسة أنواع من إنتاج الأبواغ الكونيدية (التكاثر اللاجنسي)، في حين أن التكاثر الجنسي (الشقي) هو الشائع. وتتكوّن الثمرة الزقية الدورقية ولها منقار أو عنق مجوف وطويل، وتغطي قاعدة الثمار الزقية خيوط فطرية مستقيمة، ويغطي الأعناق خيوط فطرية ملتفة، ولهذه الخيوط (الشعيرات) أهمية في التصنيف (ملتفة، مستقيمة، متفرعة، غير متفرعة).

للزقاق جدر هلامية تتحلل عند النضج لتسهل انطلاق الأبواغ من داخل الثمار الزقية. حيث تبدو الأبواغ الزقية مغمورة في المواد الهلامية، وتسبب الرطوبة إنتباج هذه المواد ورفع الأبواغ الزقية إلى الأعلى وخروجها من فوهة الثمرة الزقية (الشكل 9 – 26)، والأبواغ وحيدة الخلية وقاتمة اللون، وعند إنباتها تتكون مشيجة فطرية من جديد.



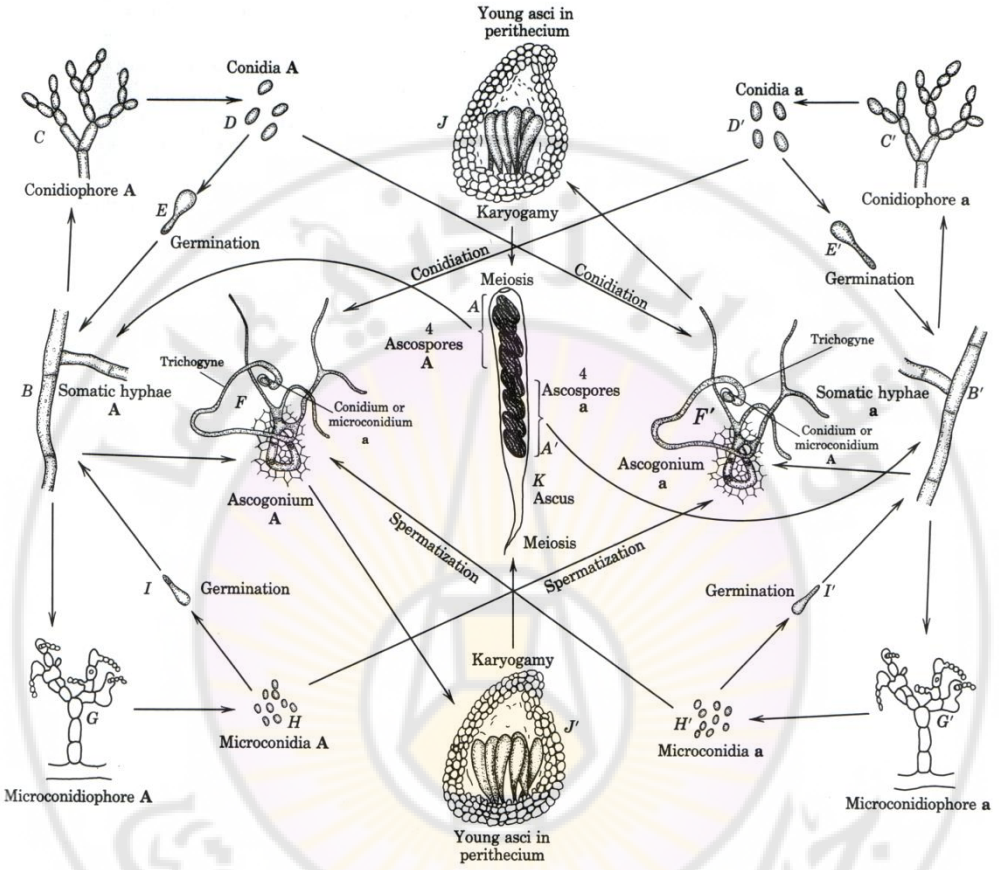
الشكل 9 – 26: الثمار الزقية للفطر *Chaetomium*. (A) الفطر *C. globosum*. (B) الفطر *C. thermophile*. (C) ثمرة زقية دورقية تخرج من فوهتها الزقاق على شكل خيوط حلزونية.

وتحتوي الفصيلة السورداراية Sordariaceae على أنواع تعيش على روث الماشية آكلة الأعشاب، أو على مخلفات النبات، وقد تعيش على أوراق الصحف، ويمكن عزلها على أوساط غذائية مناسبة. ومن أجناسها *Sordaria* و *Neurospora*.

يتكاثر الفطر *Neurospora* sp. لاجنسياً بالأبواغ الكونيدية وردية اللون، ومتشكلة في سلاسل محمولة على حوامل بوغية متفرعة. ويُعرف له نوعان من الأبواغ الكونيدية: أبواغ كونيدية كبيرة Macroconidia وكل منها عديد النوى، وأبواغ كونيدية طرفية وحيدة النواة، وتحمل هذه الأبواغ على الحوامل البوغية في سلاسل مستقيمة ومتفرعة. وقد تنتصب الخيوط الفطرية وتتبرعم إلى أجسام غير متفرعة تشبه الأبواغ وحيدة النواة، وتسمى Spermatia أو أبواغ نطفية، ويطلق عليها اسم الأبواغ الصغيرة Microconidia.

وعند التكاثر الجنسي، تتكون أعضاء التذكير والتأنيث على نفس المشيجة، وتقوم الأبواغ الكونيدية الكبيرة والصغيرة بدور الخلايا الذكرية بجانب وظيفتها في التكاثر اللاجنسي، ولكي يتم الإخصاب يجب أن تكون هذه الأبواغ ناشئة من سلالة أخرى مختلفة ولهذا يعد الفطر متخالف المشائج. ولا يعرف حتى الآن طريقة انتقال الأبواغ النطفية، ويعتقد بأن الحشرات تلعب دوراً في هذا الأمر. تتكوّن الثمرة الزقية بعد الإخصاب، وعند نضجها تكون محاطة بغلاف ثمري بارانشيمي، وهي ذات لون داكن من الخارج ولها عنق واضح وفوهة تُحاط بخيوط فطرية شعرية محيطية Periphyses. وتحتوي الثمرة الزقية الدورقية على الزقاق التي يحتوي كل منها على ثمانية أبواغ زقية، باستثناء الفطر *Neurospora tetraspora* الذي يحتوي كل زق من زقاقه على أربعة أبواغ زقية، ولا يوجد لثمار هذا الفطر الزقية شعيرات خيطية حول فوهتها.

الأبواغ الزقية بنية اللون إلى سوداء، مخططة طولياً بخطوط بارزة تشاهد بوضوح من الخارج، تنبت لتعطي مشائج فطرية جديدة. ويبيّن الشكل (9 – 27) دورة حياة هذا الفطر.



الشكل 9 – 27: دورة حياة الفطر *Neurospora sitophila*

(B، B`) خيوط فطرية لسلالتين مختلفتين. (C، C`) حوامل كونيدية. (D، D`) أبواغ كونيدية. (E، E`) إنبات الأبواغ الكونيدية إلى مشيجة. (F، F`) تشكل أعضاء التأنيث التي يتم إخصابها بالأبواغ الكونيدية Conidia أو الأبواغ الكونيدية الصغرى Microconidia وتدعى أيضاً بالنطاف Spermatia، والتي يجب أن تكون ناشئة من السلالة الأخرى. (G، G`) حوامل كونيدية تحمل أبواغ كونيدية صغرى. (H، H`) أبواغ كونيدية صغرى. (I، I`) إنبات الأبواغ الكونيدية الصغرى. (J، J`) زقاق فتية داخل الثمرة الزقية الدورقية. (K) تشكل الزقاق التي يحتوي كل منها على ثمانية أبواغ زقية من نمطين A و a، وذلك بعد حدوث الاندمـــاج النووي ثم الانقسام الاختزالي للنوى التي تشكل الأبواغ الزقية.

رتبة الكلافيسيبتالس Order Claviciptales

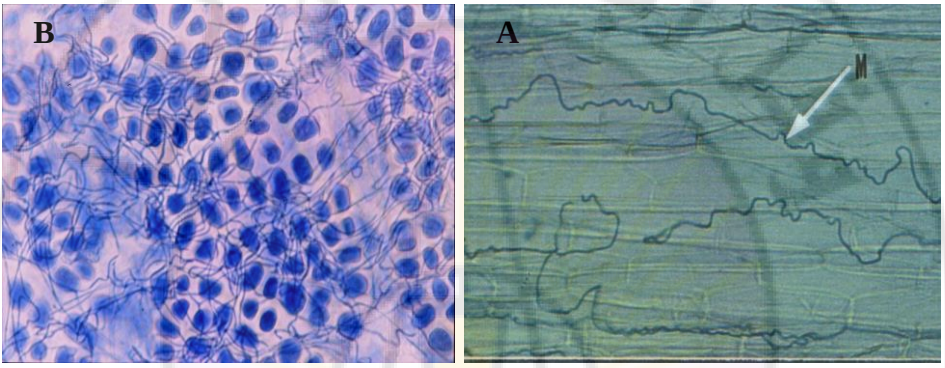
تضم هذه الرتبة فصيلة واحدة هي الكلافيسيبتاسي Family Claviciptaceae . تمتاز بالزقاق الطويلة الأسطوانية المحتوية على الأبواغ الزقية الخيطية المقسمة، التي تتصف بأنها سهلة التكسر عند تحررها، وتكون ثمارها الدورقية منغمسة أو مطمورة في الستروما الفطرية، ويكون جدارها متميزاً عما يحيطه من نسيج الستروما، وهي عديمة اللون. ومن أهم أجناسها وأنواعها:

1– *Epichloe typhina*:

يتطفل على النباتات النجيلية، حيث يكوّن الفطر سترومات على شكل أغماد تحيط بالأوراق والسوق وتمنع ظهور السنابل، وبالتالي يصبح النبات عقيماً كلياً أو جزئياً (الشكل 9 – 28). ومن الملاحظ أن الأنواع التابعة للجنس *Epichloe* تختلف في قدرتها على إنتاج السترومات، ففي بعض الحالات لا يشاهد وجود سترومات على النباتات أو قد

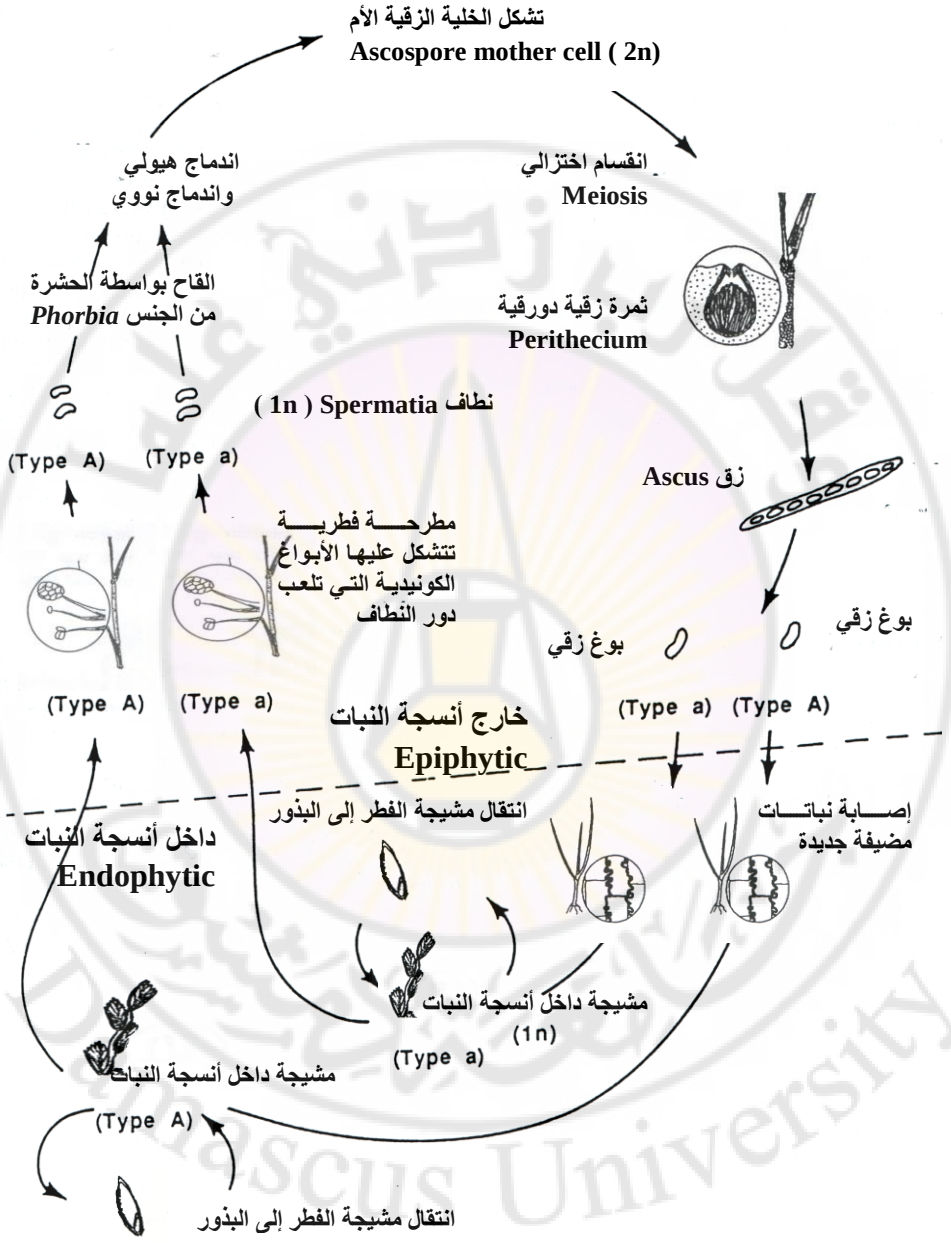
الشكل 9 – 28: وسائد فطرية (Stromata) للفطر *Epichloe typhina* متشكلة على سوق النباتات النجيلية مما يؤدي إلى عدم ظهور السنابل. (Photos: Naffaa, 2007).

تظهر على بعض النباتات دون غيرها على الرغم من وجود الفطر داخل الأنسجة النباتية. وبالتالي يظهر الفطر بطوره اللاجنسي *Neotyphodium* sp. (*Acremonium* sp. سابقاً)، على شكل خيوط فطرية متعرجة داخل أنسجة الساق وأغماد الأوراق، ويستقر في البذور عند تشكلها (الشكل 9 – 29)، دون وجود أي طور تكاثر على النبات المضيف.



الشكل 9 – 29: الفطر *Neotyphodium* sp. (A) خيوط فطرية متعرجة داخل أنسجة غمد الورقة. (B) مشيجة الفطر داخل البذور. (Naffaa *et al*., 1998)

تتوضع المشيجة في الفراغات بين الخلوية Intercellular لأنسجة الأوراق والسوق، ويخرج الفطر من أنسجة النبات المضيف خلال فترة استطالة الساق، وتغلف المشيجة الأزهار وبشكل عام بعض الأوراق مشكلة بذلك الستروماتات التي تكون بيضاء اللون في البداية ثم تصبح برتقالية، ويحدث التكاثر الجنسي على سطح الستروماتات (الشكل 9 – 30)، حيث تتشكل الأبواغ الكونيدية على سطحها، وتلعب هذه الأبواغ دور الأعضاء المذكرة أو النطاف، وتعتبر أنواع الإيبكلويه متخالفة المشائج أي أن الأبواغ الكونيدية يجب أن تنتقل من ستروما إلى أخرى من نمط جنسي مخالف، ويتم انتقال هذه الأبواغ بواسطة الرياح أو بواسطة الحشرات وهو الأكثر شيوعاً وخاصة الحشرات التابعة للجنس *Phorbia*، و بعد حدوث عملية الإخصاب تصبح الستروما أكثر سماكة وتنقلب من اللون الأبيض إلى البرتقالي، وتحدث هذه التغيرات نتيجة تحول المشيجة إلى



الشكل 9 – 30: دورة حياة الفطر *Epichloë typhina* (Naffaa, 1998)

مشيجة ثنائية النوى، حيث يوجد داخل كل خلية نواتان إحداهما من أصل مذكر والأخرى من أصل مؤنث، وبعد ذلك تتشكل الثمار الزقية الدورقية على شكل تجاويف داخل الستروما، وتحتوي كل ثمرة زقية على عدة زقاق، ويحتوي كل زق على ثمانية أبواغ زقية خيطية الشكل ومتعددة الخلايا، ثم تقذف هـذه الأبواغ الزقيــة في الهواء، وهي المسؤولة عن إصابة النباتات النجيلية المجاورة. وتنبت الأبواغ الزقية في المخبر لتعطي بشكل عام أبواغاً كونيدية، ومن الممكن أن تلعب الأبواغ الكونيدية دور الوسيط في عملية العدوى.

تعتبر الأبواغ الزقية على درجة كبير من الأهمية للتميز بين الأنواع المختلفة للجنس *Epichloe*: فالأبواغ الزقية للنوع *Epichloe typhina* تكون مقسمة إلى 6 – 9 خلايا ولا تتجزأ قبل تحررها حيث أنها تقذف كاملة، أما الأبواغ الزقية للنوع *Epichloe baconii* فإنها تتجزأ قبل قذفها على مستوى الحواجز أو التقسيمات إلى أبواغ جزئية ثنائية الخلايا، بينما يلاحظ في النوع *Epichloe clarkii* أن الأبواغ الزقية تتجزأ قبل قذفها على مستوى الحواجز إلى أبواغ جزئية يحتوي كل منها على 3 - 6 حواجز.

2 – الفطر *Clavicips purpurea*

يتطفل على الكثير من نباتات المحاصيل النجيلية كالقمح والشعير والشوفان والكثير من النجيليات البرية، ويعرف المرض الذي يسببه بمرض مهماز الشيلم أو مرض الراهوب (الإيرجوت Ergot disease)، ويمتاز هذا الفطر بالإضافة إلى أبواغه الزقية الخيطية أو الإبرية الشكل، بمقدرته على تكوين الأجسام الحجرية السوداء المتطاولة والكبيرة الحجم، التي توازي حبوب الصنوبر أو أكثر في حجمها (الشكل 9 – 31).

تحتوي هذه الأجسام الحجرية على مواد سامة للإنسان والحيوان وهي قلويدات Alkaloids تعرف باسم Ergotin، وعندما يحتوي الطحين على أكثر من 0.06 % من

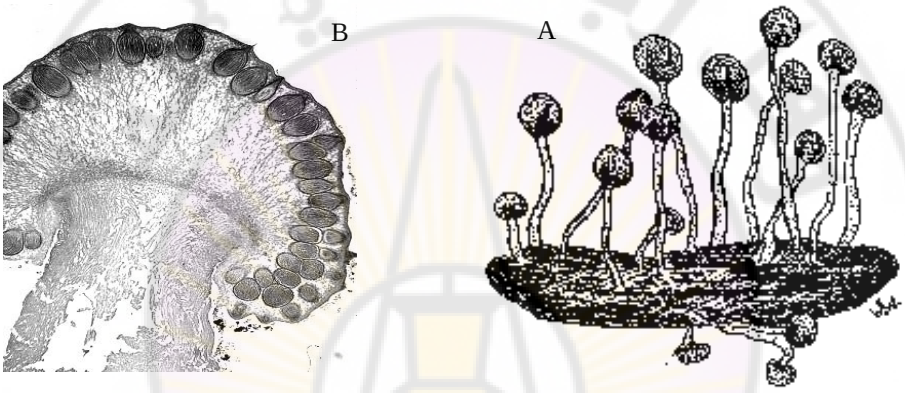
الشكل 9 – 31: أعراض الإصابة بمرض مهماز الشيلم الذي يسببه الفطر *Claviceps purpurea* على النباتات النجيلية، وتلاحظ الأجسام الحجرية المتشكلة على السنبلة.

مادة الإرجوتين، فإن الخبز المصنوع منه يسبب حالات تسمم تعرف بمرض الايرجوتيزم Ergotism، الذي تتكشف أعراضه على شكل ضعف عام وقيء وصداع وقد يؤدي ذلك إلى حد الوفاة أو النفوق، كما ويتسبب في إجهاض النساء، ومن المواد السامة الموجودة أيضاً في الإرجوت نذكر Ergotoxin، Ergonovin، Ergotamin.

كما يستفاد من قلويدات الأجسام الحجرية والأمينات التي تعرف بالارجوتين Ergotine في صناعة العقاقير الطبيّة، فمادة الارجومترين Ergometrin مثلاً تفيد في إحداث الإنقباض السريع لعضلات الرحم اللاإرادية لذا تعطى للأنثى الحامل لتسهيل ولادتها، كما وتستخدم كعلاج لوقف النزيف الدموي الذي تتعرض له الإناث بعد الولادة. كما يفيد في علاج أمراض الصداع والشقيقة عند البشر.

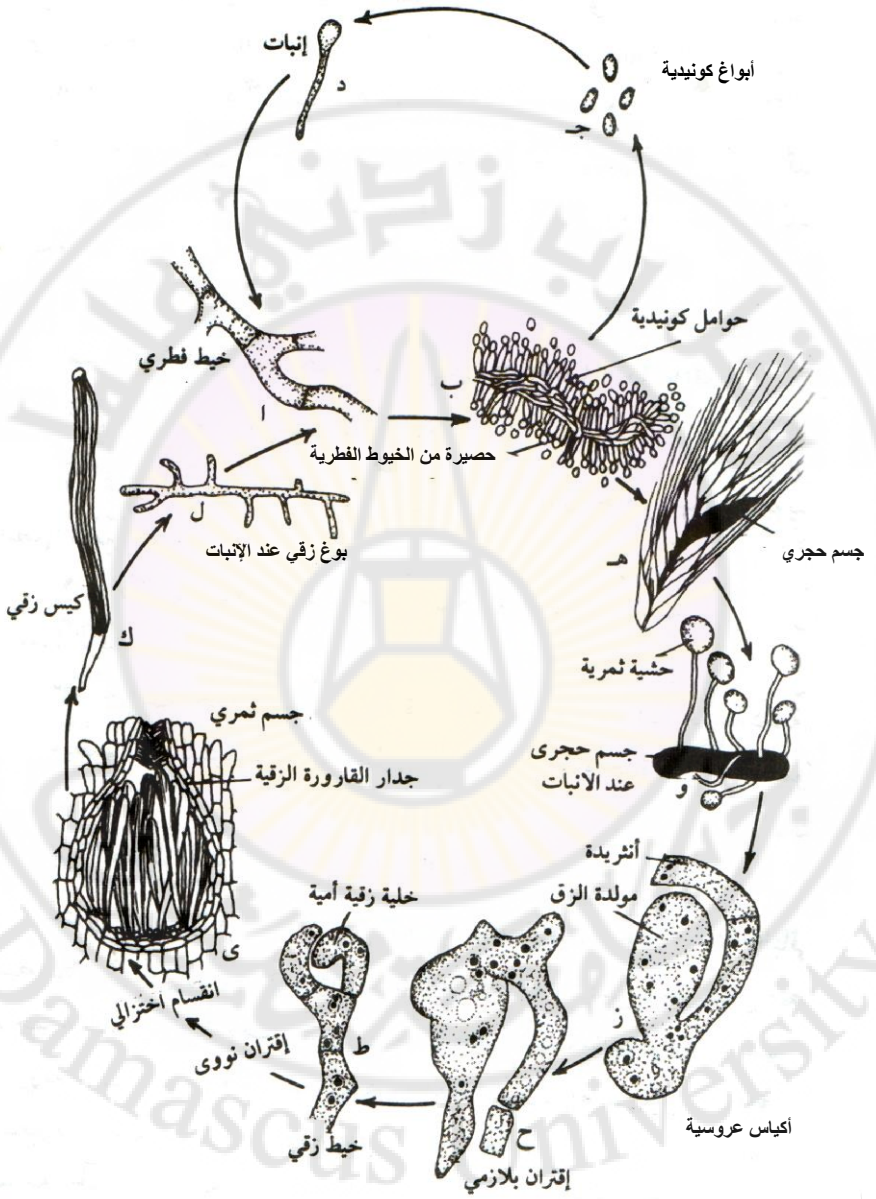
تمضي الأجسام الحجرية فترة الشتاء مع المواد المخزونة أو في التربة، وعند

مناسبة الظروف البيئية لنموها تخرج منها استطالات تحمل في قمتها سترومات مثمرة مستديرة الشكل وبلون أحمر، وعند عمل مقطع فيها تظهر أعداد من الثمار الزقية منتظمة في طبقة محيطية، وهي بيضاوية الشكل (الشكل 9 – 32)، وزقاقها أسطوانية متطاولة، وأبواغها الزقية خيطية أو إبرية تنتشر لتصيب مياسم أو مآبر الأزهار.



الشكل 9 – 32: (A) إنبات الأجسام الحجرية Sclerotia لتعطي إستطالات تحمل في قممها سترومات. (B) مقطع في السترومات إذ يلاحظ توضّع الثمار الزقية الدورقية على المحيط.

تنمو مشيجة الفطر على حساب خراب أنسجة المبيض، وتعطي في البداية حوامل بوغية كونيدية على سطح المبيض، وأبواغ وحيدة الخلية، شفافة، بيضية الشكل، وتُحمل في تعاقب قمي، ويرافق ذلك إفراز غزير أصفر حلو المذاق تنجذب إليه الحشرات لتقوم بنشر الأبواغ الكونيدية أثناء موسم الإزهار لتصيب نباتات أخرى مما يساعد على انتشار الإصابة، ويتوقف تكوين الأبواغ الكونيدية عند بدء موسم الحصاد، ويكوّن الفطر في المبيض بدلاً عن الحبة جسماً حجرياً أسود اللون أو بنياً داكناً يصل طوله إلى عدة ميليمترات يجدد الفطر حياته بواسطته (الشكل 9 – 33).



الشكل 9 – 33: دورة حياة الفطر *Claviceps purpurea* (عن Alexopoulos & Mims, 1979).

رتبة هيبوكريالس Order : Hypocreales

تعيش أفرادها غالباً مترممة على بقايا النباتات والمواد العضوية المتحللة، في حين يتطفل بعضها على الأجسام الثمرية لفطريات أخرى أو على الحشرات. ثمارها الزقية دورقية، لحمية القوام، زاهية اللون، لها فتحة مبطنة بخيوط فطرية شعرية، وتكون مطمورة إما في الستروما الفطرية أو في أنسجة المضيف، وزقاقها أسطوانية، وللأبواغ الزقية أشكال مختلفة فهي تكون وحيدة الخلية بيضوية في بعض الأجناس، وعديدة الخلايا أو خيطية في أجناس أخرى، وحواملها الكونيدية وحيدة ومنفردة أو متجمعة.

يتبع هذه الرتبة ثلاث فصائل وهي: Nectriaceae، Hypocreaceae، Hypomycetaceae.

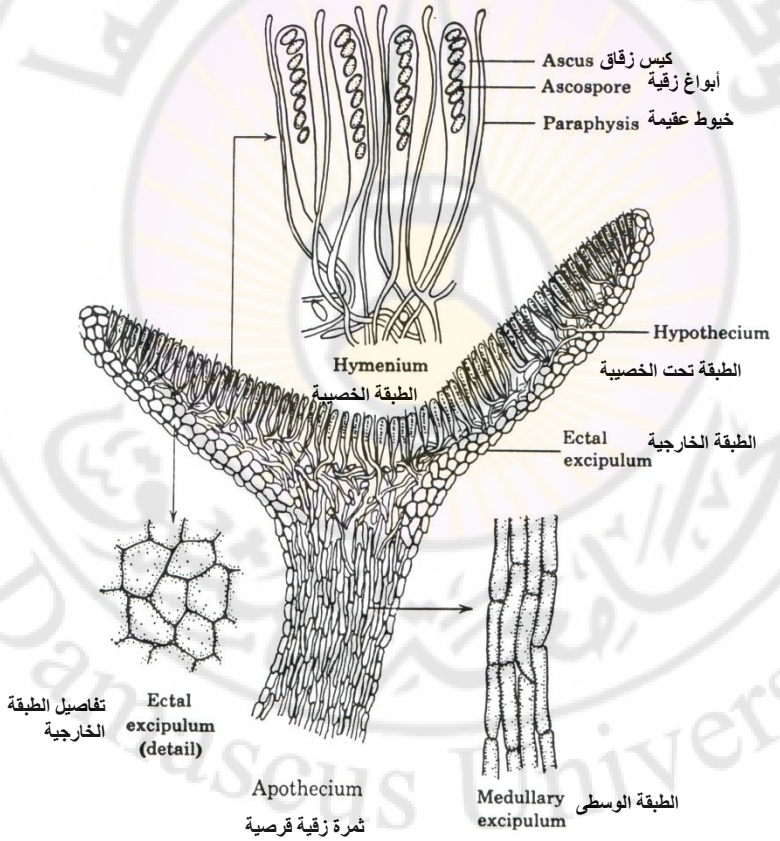
مجموعة الفطريات القرصية الطبقية أو الكأسية Series: Discomycetes

ينتمي لهذه المجموعة حوالي 6000 نوعاً من الفطريات التي تشكل ثماراً زقية طبقية Apothecium (وجمعها Apothecia)، وقد تشبه الفنجان أو القرص أو الكأس، ويطلق عليها البعض اسم الفطريات الكأسية Cup fungi، وإلى جانب هذه الأشكال النموذجية، نشاهد أجساماً ثمريةً إسفنجية المظهر أو كالأجراس والألسن والأسراج، وأحياناً تبدو بشكل المخ. وجميع هذه الثمار، وعلى اختلاف أشكالها، تكون مفتوحة وتحمل الزقاق على سطحها أو داخل تجاويف مفتوحة للخارج يتخللها بعض الخيوط الفطرية العقيمة، وتنمو الثمار الزقية فوق مشيجة الفطر ونادراً ما تنمو فوق ستروما أو جسم حجري، وتبدو بألوان مختلفة مثل الأسمر أو البني المائل للأحمر أو البرتقالي. تتركب الثمرة الزقية من ثلاث طبقات (الشكل 9 – 34):

1 – الطبقة الخصيبة Hymenium: وتشمل طبقة واحدة من الزقاق المتراصة جيداً والمتوازية أسطوانية الشكل ويتخللها أحياناً خيوط فطرية عقيمة.

2 – الطبقة تحت الخصيبة Subhymenium (Hypothecium): تلي الطبقة الخصيبة، شحمية القوام، سميكة، تكوّن أغلب جسم الثمرة الزقية. وهي ذات بنية نسيجية من الخيوط الفطرية والأسكوغونية (التي ستكون الزقاق: Ascogenous) المتداخلة في بنيتها بصورة جيدة أو المائلة للتفكك أحياناً أخرى.

3 - الطبقة الخارجية Ectal excipulum: تلي الطبقة تحت الخصيبة وتغلفها من الخارج، ويختلف لونها وملمسها باختلاف الأنواع الفطرية.



الشكل 9 – 34: رسم تخطيطي لمقطع في الثمرة الزقية القرصية (الطبقية) Apothecium . (عن Alexopoulos & Mims, 1979).

تقسم الفطريات القرصية إلى:

1 – فطريات قرصية تتكوّن ثمارها تحت سطح التربة.

2 – فطريات قرصية تتكوّن ثمارها الزقية فوق سطح التربة. وتضم مجموعتين :

أ – الزقيات القرصية غير الغطائية Inoperculate Discomycetes: تنطلق الأبواغ الزقية من خلال فتحة دائرية تقع أعلى الزق.

ب – الزقيات القرصية الغطائية Operculate Discomycetes: يوجد في طرف الزق قلنسوة مفصلية أو شبه غطاء يفتح ويسمح بخروج الأبواغ الزقية إلى الخارج، وقد يحل محل الغطاء شق طولي تتحرر من خلاله الأبواغ الزقية.

الزقيات القرصية غير الغطائية Inoperculate Discomycetes

تضم هذه الزقيات ثلاث رتب وهي: Phacidiales، Ostropales، Helotiales.

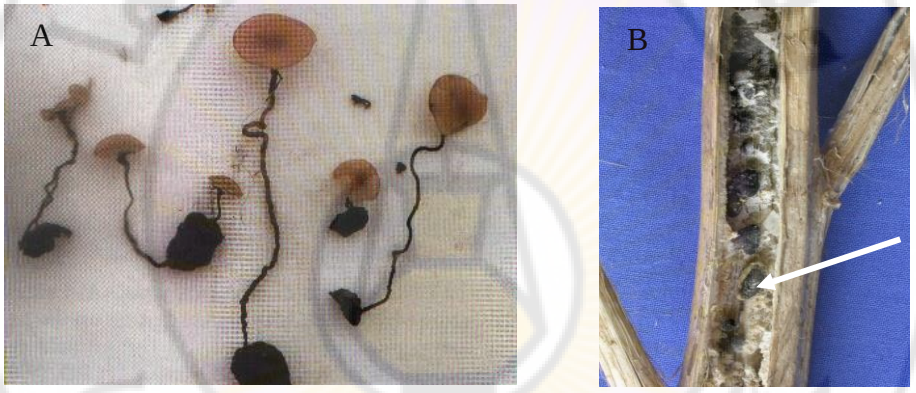
تعتبرالرتبة هيلوتيالس Helotiales من أكبر هذه الرتب وأهمها. ثمارها الزقية لحمية إما قرصية أو كأسية وأحياناً معنّقة. الزقاق ثخينة قليلاً عند القمة، وأبواغها الزقية إما كروية أو بيضوية ونادراً خيطية، وعند نضج الأبواغ الزقية، يتطاول الزق ويصبح ثخيناً نتيجة زيادة الضغط الانتباجي الناتج عن امتصاص الماء، مما يجعل القسم العلوي من الزق طرياً لا يلبث أن يتمزق فجأة لتنطلق الأبواغ الزقية بقوة من داخله.

أفرادها مترممة على المواد العضوية، أو الأخشاب المتحللة، أو على روث الماشية، ويعيش بعض أنواعها متطفلاً على بعض النباتات ومنها: *Monilinia fructicola* الذي يسبب العفن البني على اللوزيات، والفطر *Sclerotinia sclerotiorum* الذي يسبب أمراضاً على العديد من النباتات.

تضم هذه الرتبة تسع فصائل. سنأخذ الفصيلة Sclerotiniaceae كمثال عن الفطريات الزقية غير الغطائية.

الفصيلة السكليروتينياسيه Family : Sclerotiniaceae

وهي أكبر فصائل الفطريات القرصية غير الغطائية وأهمها، لأنها تعيش معيشة متطفلة اختيارية، وتتكون الثمار الزقية بدءاً من الستروماتات أو الأجسام الحجرية (الشكل 9 – 35). تمتاز هذه الفصيلة عن الفصائل الأخرى بأن جدر الثمار الزقية تتكون من خيوط فطرية متوازية، قاتمة اللون ورقيقة الجدر، ويتمايز جدار الثمرة الزقية إلى جزء مستطيل شبه برانشيمي، وتكون الثمار الزقية معنّقة متوسطة الحجم أو صغيرة. والأبواغ الزقية شفافة وحيدة الخلية بيضاوية أو ممدودة إلى حد ما.

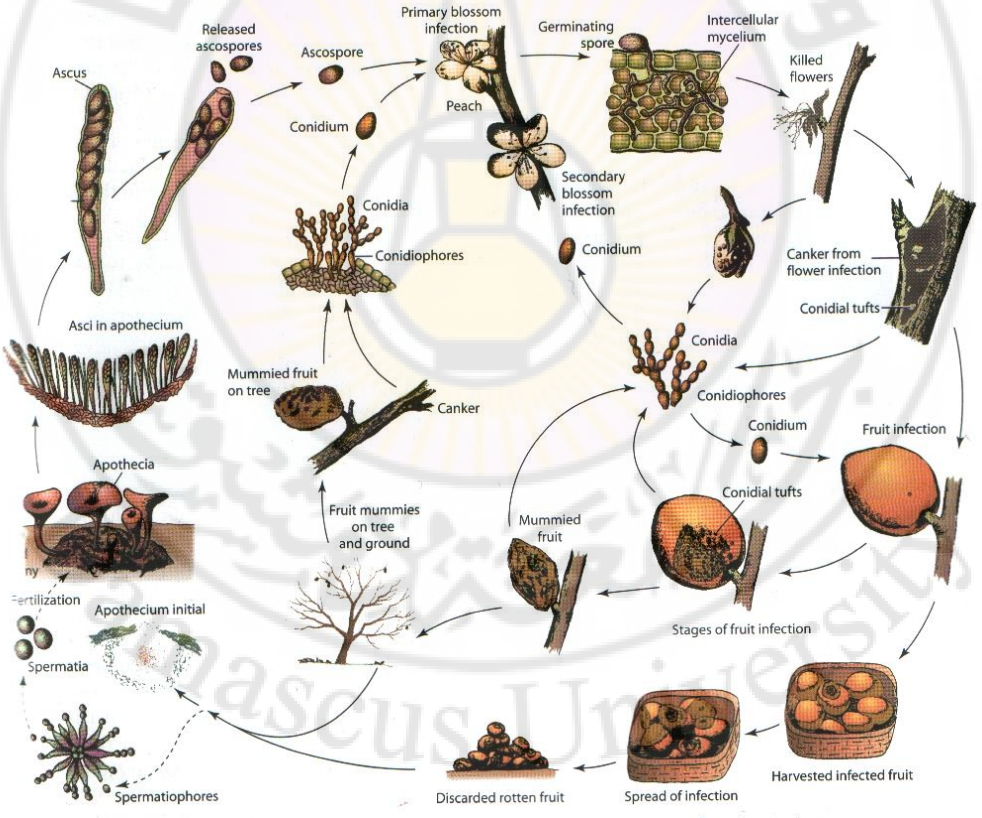


الشكل 9 – 35: (A) إنبات الأجسام الحجرية في أفراد فصيلة Sclerotiniaceae لتعطي ثماراً زقية من الطراز Apothecium. (B) أجسام حجرية متشكلة داخل ساق مصاب لنبات اللفت الزيتي.

وسنتخذ الجنس *Monilinia* كمثال عن هذه الفصيلة. إذ تسبب أنواعه مرض العفن البني "Brown rot" على أشجار التفاحيات واللوزيات. ومن الأنواع نختار دورة حياة الفطر *Monilinia fructicola*.

يحدث التكاثر اللاجنسي بتشكيل الأبواغ الكونيدية على الأزهار المصابة في الربيع، ثم تتعاقب الأجيال اللاجنسية على الثمار المتعفنة على الشجرة أو الساقطة على الأرض أو المخزنة، وتتشكل الأبواغ الكونيدية بسلاسل طويلة ومتفرعة على حوامل كونيدية مقسمة. تنتشر هذه الأبواغ بالرياح أو على أجسام الحشرات لتحدث إصابات جديدة.

تتشكل الثمار الزقية على الثمار المحنطة التي سقطت على التربة، ويمكن أن تنشأ على كل محنّطة عدة ثمار زقية على سطح التربة. ولهذه الثمار شكل الكأس ذي الحامل الذي لا يزيد ارتفاعه عن 2 سم . تتشكل الزقاق على السطح العلوي الخصيب للثمرة الزقية وتكون متراصة جنباً إلى جنب وبأعداد كبيرة، ويحتوي كل منها على ثمانية أبواغ زقية وحيدة الخلية. تنضج الثمار الزقية في الربيع، وتنطلق الأبواغ الزقية الناضجة من الثمرة في نفس الوقت بآلية تحرر عنيف. تقوم الرياح بنشر الأبواغ التي يسقط بعضها على مياسم الأزهار، فتنبت وتخترقها لتعيد دورة حياة الفطر من جديد (الشكل 9 – 36).



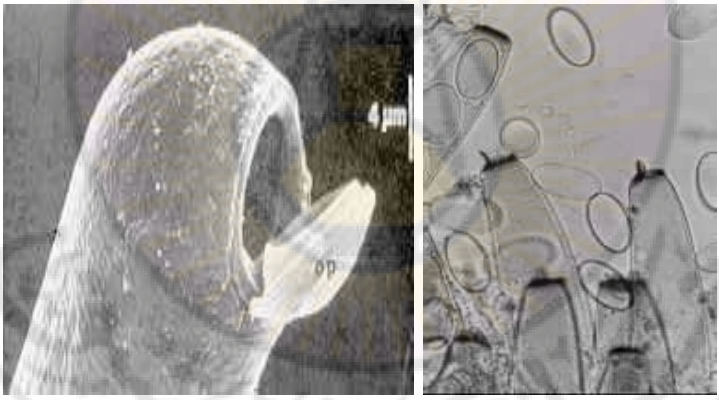
الشكل 9 – 36: دورة حياة الفطر *Monilinia fructicola* . (عن Agrios, 2004)

الزقيات القرصية الغطائية Epigean operculate Discomycetes

رتبة البيزيزالس Order Pezizales

ثمارها الزقية كأسية، جالسة أو معنقة، طرية القوام أو جلدية، زاهية اللون، بعضها سام وبعضها يصلح للطعام. يعيش معظم أنواعها معيشة رمية، وبعضها طفيلي، كما أن بعض أنواعها تدخل في معيشة تكافلية على جذور الأشجار والنباتات الراقية Mycorrhization.

للزقاق أغطية قد تنفصل عندما تنفتح أو تبقى عالقة عليها (الشكل 9 – 37)، وفي بعض الأنواع قد تنفتح الزقاق بواسطة شق أو شفة تسهل تحرر الأبواغ الزقية .



الشكل 9 - 37: زقاق وحيدة الجدار وذات غطاء Unitunicate-operculate asci. يحتوي الزق على جدار واحد، وله في قمته غطاء ينفتح عند النضج ليسمح بتحرر الأبواغ الزقية .

تضم هذه الرتبة خمس فصائل. تتكاثر بالأبواغ الكونيدية ذات الأشكال المختلفة، و بالأبواغ الكلاميدية والأبواغ الأوئيدية، ونادراً بالأجسام الحجرية. وسوف نكتفي هنا بالحديث عن فصيلتي Pezizaceae و Morchellaceae.

الفصيلة البيزيزاسيه Family Pezizaceae

رميات على المواد الدبالية، أو على الأخشاب، أو فوق روث الحيوانات. ثمارها لحمية، كأسية أو قرصية أو طبقية أو فنجانية، وقد تكون جالسة أو معنقة، زاهية اللون أو قاتمة.

يتبع هذه الفصيلة أربعة أجناس أهمها على الإطلاق الجنس *Peziza* الذي يمتاز بثماره الزقية الكأسية النموذجية (الشكل 9 – 38). يعيش معيشة رمية، وليس له أي مقدرة على التطفل إطلاقاً (رمي إجباري Obligate saprophyte).

الشكل 9 – 38: أشكال الثمار الزقية الكأسية لأنواع مختلفة من الجنس *Peziza* .

تتكاثر أنواع البيزيزا لا جنسياً بواسطة الأبواغ الكونيدية والأبواغ الكلاميدية، وقد عرف الطور الكونيدي عند ثلاثة أنواع من هذا الجنس من قبل DeBary. وعند دراسة التكاثر الجنسي يلاحظ عدم تكوين أنثريدات أو مولدات زقية كما هو معروف، ولكن بدلاً من ذلك تتكوّن كتل من الخيوط الفطرية المتشابكة حيث تلتحم النوى داخل الخلايا على هيئة اشفاع ديكريونية تنتمي كل منها إلى خلية مختلفة عن الثانية، ثم تعطى هذه الخلايا الديكاريونية عدداً من القرون الخيطية الزقية Ascogenous hyphae التي تتكوّن منها الزقاق عن طريق تكوين الشصوص Hook or crozier (الشكل 9 – 39).

الشكل 9 – 39: المراحل المختلفة للتكاثر الجنسي عند الفطر *Peziza vesiculosa* (عن الرحمة، 1993)

الفصيلة مورشيلاسيه Family Morchellaceae

من الأنواع التابعة لهذه الفصيلة أنواع الجنس *Morchella*، وهي فطريات مترممة في التربــة الغنيــة بالدبال، أو على الأخشاب المتحللــة في أرض الغابات، وتسمى أحياناً بعيش الغراب الإسفنجي "Sponge mushroom" أو الموريلات Morels وهي صالحة للأكل، وثمارها الزقية كبيرة الحجم معنّقة، قلنسوتها منقّرة، ذات إلتواءات

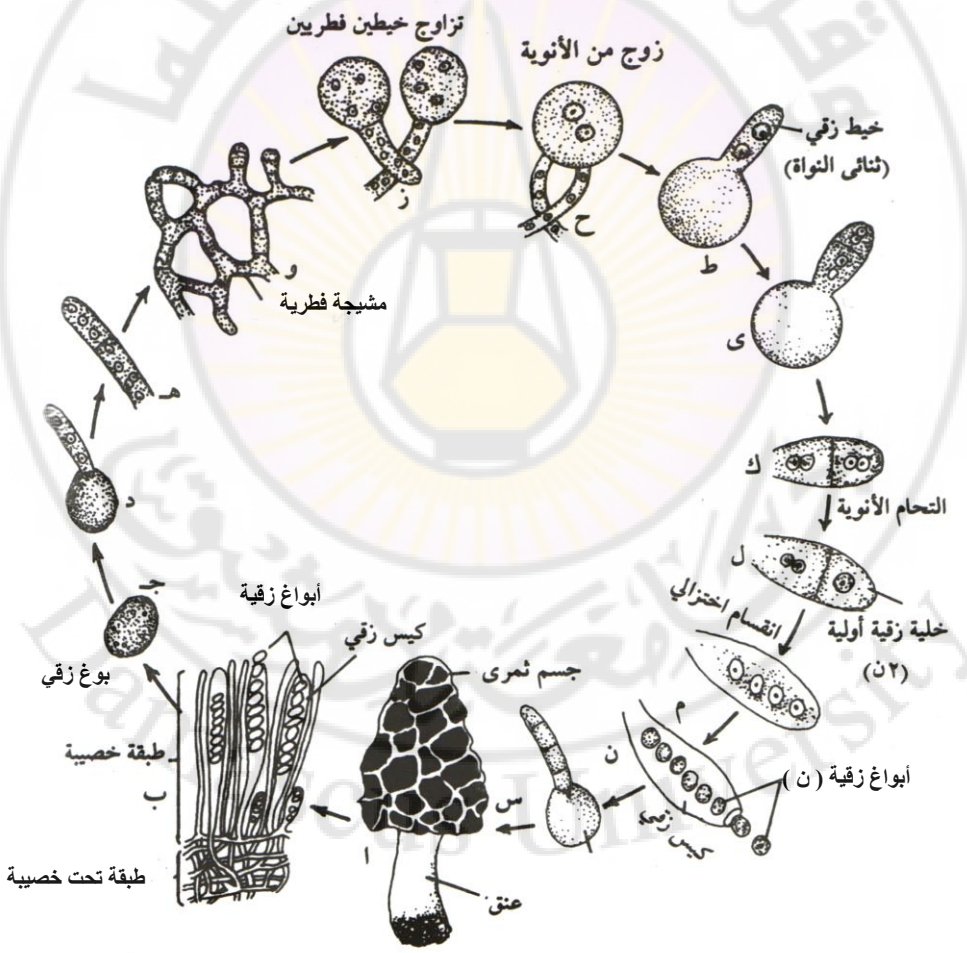
وتجاعيد واضحة، ولها حافات تشبه قطعة الإسفنج تختلف أحجامها وألوانها باختـــلاف الأنواع وحسـب الأعمار (الشكل 9 – 40).

ومن الصعوبة بمكان تنمية هذه الأنواع على بيئات صنعية، والخيوط الفطرية غير واضحة نظراً لانتشارها في التربة الغنية بالدبال، وهذه الخيوط الفطرية مقسمة، والخلايـا عديدة النوى، ويتكوّن على امتدادها عقد من خيوط فطرية ينشأ عنها ثمار زقية في الظروف البيئية والغذائية المناسبة، ويوضح الشكل تركيب قبعة أو قلنسوة هذه الأنواع.

الشكل 9 – 40: الفصيلة Morchellaceae. (1) الثمرة الزقية للجنس *Morchella*. (2) الثمرة الزقية للفطر *Verpa bohemica* وهي صالحة للأكل .

لا يتكاثر الفطر *Morchella* لاجنسياً، وإنما يتكاثر جنسياً فقط (الشكل 9 – 41). ويحدث التكاثر الجنسي باتحاد خيطين فطريين متجاورين في الطبقـة تحت الخصيبة في منطقة القلنسوة، وتسمى هذه العملية باتحاد الخلايا الإعاشية Somatogamy. تتحلل الجدر الفاصلة بين الخلايا، ويحدث الاندماج الهيولي، ثم تتوضع النـوى في أشفاع. تنقسم

نواتا كل شفع في نفس الوقت مكونة أشفاع نووية جديدة، وتظهر بعد ذلك براعم صغيرة تنمو إلى الأعلى مولـدة الخيـوط الزقية Ascogenous hyphae، وهذه الخيوط ثنائية النوى، وتسمى الخلية الطرفية ثنائية النوى باسم الخلية الزقية الأم (الخلية مولدة الزق)، ثم تندمـج النواتان في الخليـة المولدة للزق مشكلة نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية، وتنقسم هذه النواة انقساماً اختزالياً مشكلة أربع نوى أحادية المجموعـة الصبغيـة، يليـه انقسام أخر غيـر مباشـر ليتشكل بذلك ثمان نوى أحادية المجموعة الصبغية، ويرافق ذلك



الشكل 9 – 41: التكاثر الجنسي عند الفطر *Morchella* (باندي وتريفيدى 1979 ، عن الرحمة 1993)

نمو واستطالة الخلية التي تتحول إلى كيس زقي يحتوي بداخله على ثمانية أبواغ زقية، وعند نضج هذه الأبواغ الزقية تتحرر عن طريق الفتحة الموجودة في أعلى الكيس الزقي، ثم تنبت في الظروف المناسبة لتعطي مشيجة جديدة. ويلاحظ عند هذا الفطر عدم تشكل التركيب الخطافي أو الكلابي المألوف في دورة حياة معظم الفطريات الزقية.

الزقيات القرصية تحت الأرضية Hypogean Discomycetes

تتكوّن أجسامها الثمرية تحت سطح التربة، وتنحصر جميع أنواعها في رتبة وحيدة هي رتبة تيوبرالس Tuberales وهي رميات في التربة، ومنها ما يدخل في تعايشات جذرية (Mycorrhiza) على جذور أشجار البلوط وبعض النباتات الحولية أو المعمرة.

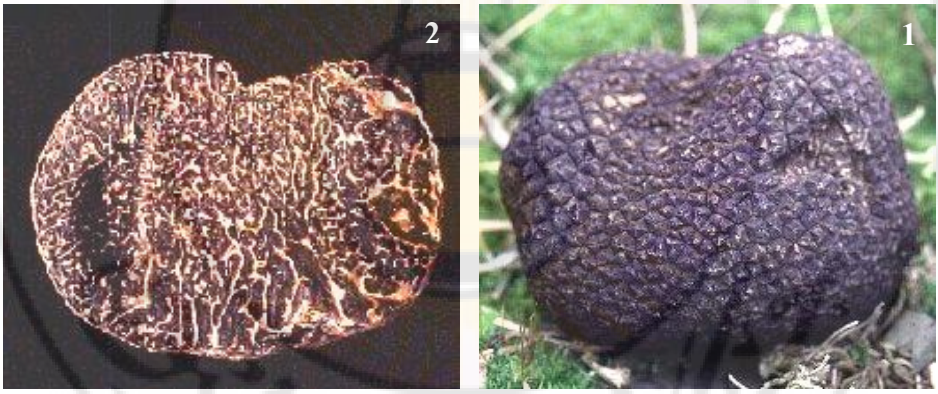
تشبه الثمار الزقية درنات البطاطا، وهي مغلقة عند النضج، وقد تكون في بعض مراحل تكوينها مفتوحة، ولكن بسبب تأقلمها مع المعيشة في التربة، فإنها تلتف على نفسها وتلتحم وتصبح درنية المظهر، ولها رائحة فوّاحة تجذب الحيوانات القارضة كالجرذان والسناجب التي تسهم بذلك في نشر الأبواغ الزقية بواسطة مخلفاتها. الزقاق كروية أو بيضية، والأبواغ الزقية تكون غالباً كروية الشكل.

تضم فصيلة التيوبراسيه Tuberaceae 30 جنساً وحوالي 140 نوعاً، والكثير من أنواعها صالحة للأكل. تنتشر في البوادي العربية والدول الأوروبية (فرنسا – إيطاليا – إسبانيا)، وتساعد الكلاب والخنازير في التفتيش عنها وجمعها من الغابات. ولم يتمكن العلماء من زراعتها كما وأن نمط تكاثرها الجنسي صعب التتبع نظراً لأنه يتم تحت سطح التربة.

يضم الجنس *Tuber* من 80 – 100 نوعاً كلها صالحة للأكل، ومن أهم هذه الأنواع:

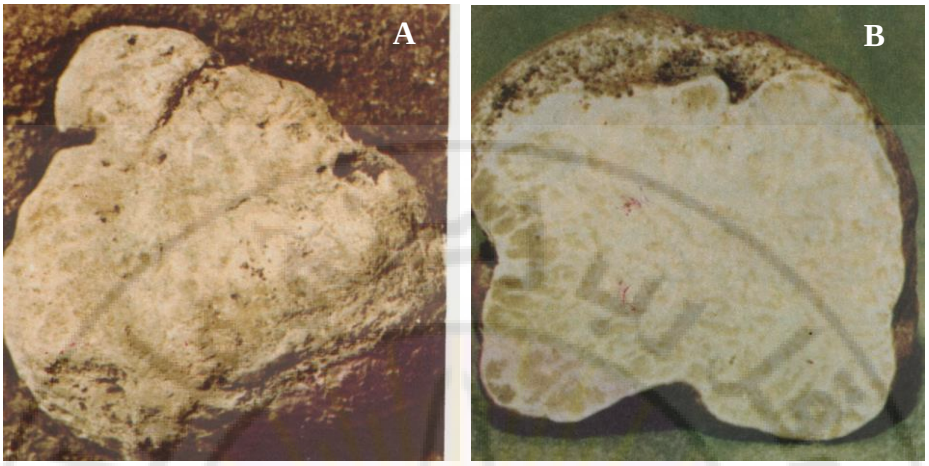
1 - *Tuber melanosporum* : وهو أفضلها على الإطلاق، وتصل نسبة البروتين

في مادته الجافة إلى 15 % والنيتروجين 5 % ونسبة الدهون والسكريات 2 %، وينتشر في المناطق المعتدلة (جنوب شرق وغرب إيطاليا وفرنسا ويوغسلافيا) تحت تربة الغابات المزروعة بأشجار الزيزفون والبلوط والزان، ويثمر خلال فصلي الربيع ويصل قطر الثمرة حتى 8 سم. غلافها الخارجي ذو بروزات و ثآليل كثيرة، وخلاياه سميكة الجدر بلون أسود أو يميل للاحمرار ولبّها أسود يميل للون الأحمر أو البنفسجي، وتقسم الثمرة من الداخل بعدد كبير من الجدر أو العروق المتفرعة (الشكل 9 – 42)، وهذه الجدر لها لون رمادي أو أبيض، وتبقى الثمرة بعد نضجها مغلقة ولا تتحرر الأبواغ الزقية إلا بعد تحللها بواسطة الحيوانات وخصوصاً القوارض .



الشكل 9 – 42: (1) ثمرة زقية للفطر *Tuber melanosporum* تبدو بلـون أسـود. (2) مقطع في الثمرة الزقية حيث تبدو مقسمة بعروق متفرعة .

2 – *Tuber magnatum*: ينمو على الأخشاب في أوروبا في الصيف والخريف، ويمتاز بثماره الدرنية رمادية اللون أو تكون بلون الطين، ولب الثمار بني مائل إلى الرمادي مع وجود بعض الجدر أو العروق البيض بأحجام مختلفة (الشكل 9 – 43).



الشكل 9 – 43: الفطـــر *Tuber magnatum*. (A) ثمرة زقية ناضجة بلون الطين. (B) مقطع عرضي فيها (عن Uberto Tosco، 1973) .

3 – *Tuber aestivum*: تنمو ثماره تحت سطح التربة بعمق 3 – 15سم، وقد تظهر جزئياً فوق سطح التربة، ويصل وزنها إلى 200 غ، وهي ذات قوام صلب وغير منتظمة الشكل ولها قشرة خارجية صلبة داكنة اللون وكثيرة التعرجات، ويوجد عدد من العروق العقيمة والمتفرعة ضمن الطبقة الداخلية للجسم الثمري وخلال النسيج الحشوي الكاذب الذي تنتشر فيه الزقاق (الشكل 9 – 44)، ولا تتميز الطبقة الخصيبة بوضوح، و الزقاق كروية أو بيضاوية، ويحتوي الزق على 1 – 4 أبواغ زقية.

الشكل 9 – 44: ثمرة زقيـة صلبة وسوداء اللون للفطـــر *Tuber aestivum* مع ملاحظة وجود عروق كثيرة التفرع في المقطع العرضي .

الفصيلة التيرفيزية Family Terfeziaceae

تبقى ثمارها الزقية مفتوحة خلال المراحل الأولى من تكوينها، ونظراً لارتباطها الوثيق بالحياة تحت التربة تبدأ أطراف الثمرة بالالتفاف على نفسها ثم الالتحام، وينتج عن التفاف الطبقة السطحية عدد من الإنثناءات والفراغات المملوءة بالزقاق. تضم هذه الفصيلة عدة أجناس أهمها:

1 – الجنس *Tirmania*: تسمى أنواعه بالكمأة البيضاء، ويمتاز بثماره الزقية كمثرية الشكل حيث يصل وزن الثمرة إلى 1000غ، وتنتشر في الصحارى المغربية وبلاد الشام، ويتراوح لونها الخارجي بين الأصفر الفاتح والأبيض المشوب بالأحمر، والسطح أملس أو قليل التجعد (الشكل 9 – 45) .

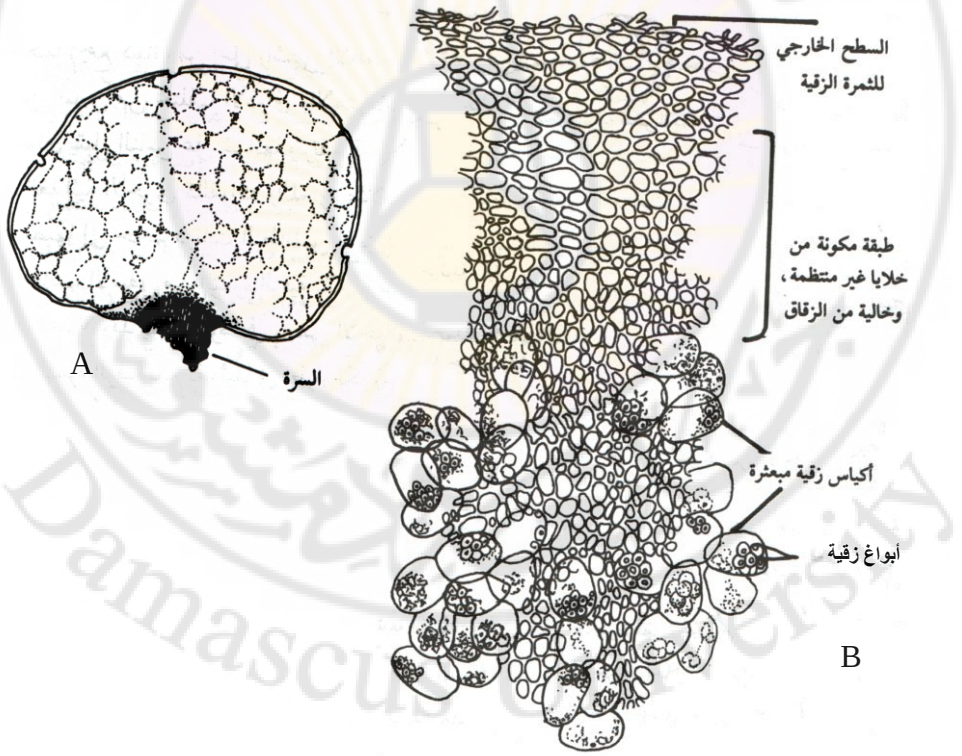
الشكل 9 – 45: الثمار الزقية الناضجة لفطريات الكمأة البيضاء من الجنس *Tirmania* المنتشرة بكثرة في صحراء الجزيرة العربية (عن الرحمة،1993).

2 – الجنس *Terfezia*: يضم 15 نوعاً منها *T. transcaucasica* المنتشر في بادية الشام (بغدادي، 1974). ويبين الشكل (9 – 46) نماذج من الثمار الزقية لهذا الجنس.

الشكل 9 – 46: ثمار زقية لأنواع من الجنس *Terfezia*

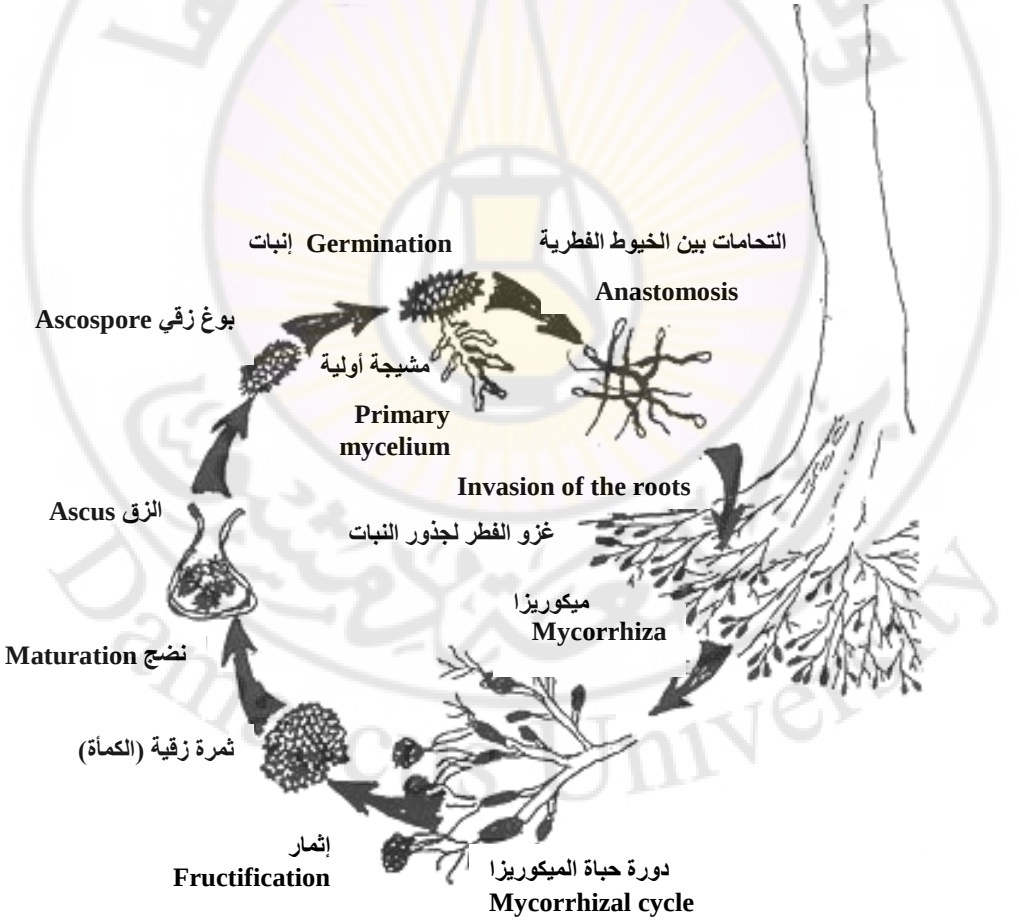
تنمو ثمار الكمأة تحت سطح التربة على عمق 10 – 60 مم. تعيش هذه الفطريات معيشة رمية أو معيشة تكافلية "كمتعايشات جذرية Mycorrhiza" على بعض النباتات.

الثمار مغلقة تماماً عند نضجها، والثمرة الزقية جيدة الاتصال بالتربة عند بدء تكوينها وهي فتية (الشكل 9 – 47 A)، ويضعف عند النضج، وهي ذات سطح خارجي أملس خال من البروزات أو الثآليل كما هي الحال في فطريات الجنس *Tuber*، ويتكون جدار الثمرة من خلايا غير منتظمة في منطقة خالية من الزقاق على حافة جسم الثمرة (الشكل9 – 47 B)، وتكون الزقاق كروية أو بيضوية، ويحتوي كل منها على 4 – 8 أبواغ زقية كروية أو بيضوية متسعة وذات جدر سميكة.



الشكل 9 – 47: (A) مقطع في الثمرة الزقية للفطر *Terfezia olbiensis*، إذ يلاحظ اتصال الجزء السفلي من الثمرة بالتربة عن طريق السرة. (B) مقطع في الثمرة الزقية للفطر *T. olbiensis* يبين الزقاق المبعثرة بدون نظام معين في الطبقة الخصيبة، وخلو حافة جسم الثمرة من الزقاق (عن الرحمة، 1993) .

تبدأ دورة حياة الكمأة بإنبات الأبواغ الزقية داخل زقاقها، وفي بعض الأحيان خارج الزقاق، ويخرج مـن البوغ الزقي أنبوبة أو أنبوبتا إنبات، ثم تنمو الخيوط الفطرية لتكوين مشيجـــة تتوزع فـــي التربـــة وتسمـــى المشيجـة الأولية أو الكتلة الأولية، ويحدث داخل خيوطها المتشابكة التحامات خلوية لتتكوّن الكتلة الخيطية الفطرية الثانوية التي تدخل في تعايش مع النبات المتكافل في الميكوريز Mycorrhiza، وتستمر العلاقـــة التكافليـــة أو التعايشيـــة حتى تكوين الثمار الزقية واكتمال نمـوها، وعنـد نضج الأبواغ الزقية، تنبت بدورها وتعيد دورة حياة فطر الكمأة (الشكل، 9 – 48).



الشكل 9 – 48: المعيشة التكافلية Mycorrhiza للكمأة مع جذور بعض النباتات .

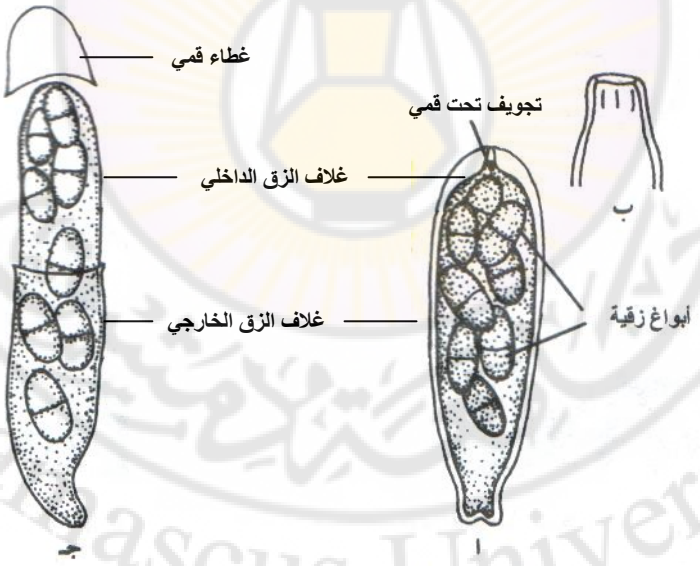
تحت صف الفطريات الزقية المسكنية أو التجاويفية

Sub-class Loculoascomycetidae

أطلق العالم لوتريل Luttrell في عام 1955 هذا الاسم على هذه الفطريات لأن ستروماتها تتكوّن من عدة تجاويف أو مساكن تتكوّن بداخلها الزقاق والأبواغ الزقية، وتمتاز بالصفتين التاليتين :

1– الزقاق ثنائية الجدار: خارجي صلب ويسمى غلاف الزق الخارجي Exoascus، وداخلي مرن ويسمى غلاف الزق الداخلي Endoascus (الشكل 9 – 49).

2 – الثمرة الزقية عبارة عن ستروما ثمرية زقية.



الشكل 9 – 49: زق ثنائي الجدر عند الفطريات المسكنية. (أ) تجويف تحت قمي. (ب) جهاز الانفتاح القمي. (جـ) زق مفتوح (عن الرحمة، 1993).

وتكون الستروما عديدة التجاويف تنفصل عن بعضها بواسطة الخيوط الفطرية العقيمة المتحدة في أطرافها، أو وحيدة التجويف، وهنا نجد صعوبة في التفريق بينها وبين الثمرة الزقية الدورقية (ولذا تسمى الثمرة الدورقية الكاذبة Pseudoperithecium). والأبواغ الزقية مقسمة، وبعضها غير مقسم. وتضم خمس رتب حيث يتم التفريق بينها على أساس شكل وطبيعة لب الثمرة الزقية والزقاق، ومن رتبها Pleosporales، و Myriangiales، و Dothideales، وسنأخذ الرتبة Pleosporales كمثال عن الفطريات الزقية المسكنية.

رتبة البليوسبورالس Order Pleosporales

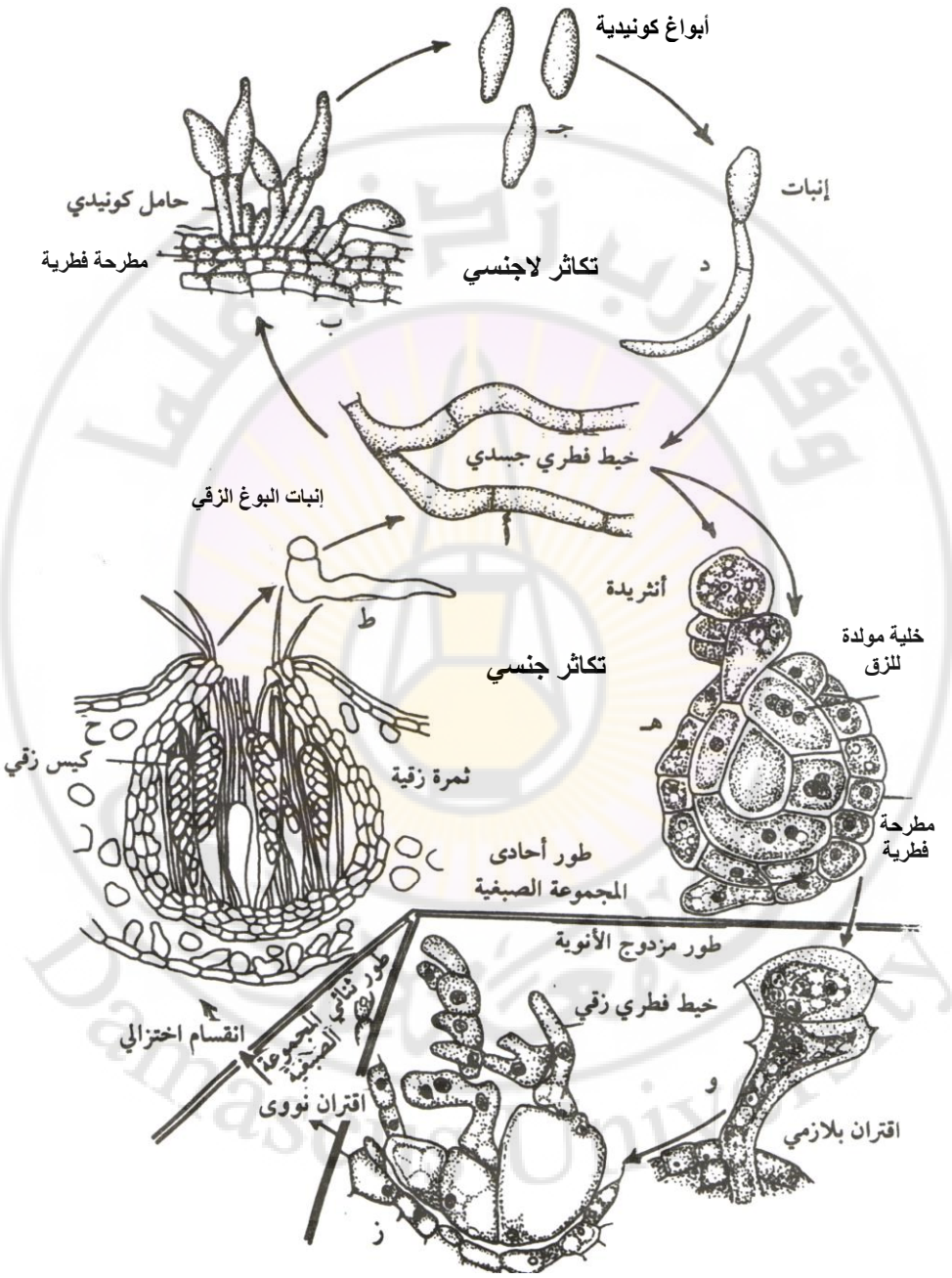
يمتاز لب الثمرة البليوسبورية بأن الزقاق الأسطوانية تنمو بين الخيوط الفطرية العقيمة Pseudoparaphyses وتسمى بالشعيرات العقيمة الكاذبة، ويوجد في كل زق عدد كبير من الأبواغ الزقية وهي أهم الصفات المميزة لها.

تنمو هذه الفطريات مترممة على بقايا النباتات والأوراق المتساقطة وعلى أوراق وسوق النباتات الحية، وتتطفل بعض أنواع الأجناس التابعة لها على النباتات الحية مسببة لها بقعاً ولفحات معروفة في علم أمراض النبات، وتستطيع عندئذ تكوين الأبواغ الكونيدية على الأوراق الحية المصابة كما تتكون ثمارها الزقية، ومن فصائلها الفصيلة الفنتوریاسية Venturiaceae.

تمتاز أفراد هذه الفصيلة بوجود ثمار زقية دورقية كاذبة Pseudoperithecium منفصلة عن بعضها، وفي كل منها عدد من الزقاق التي تتجمع في حزمة أو في طبقة، وتتكوّن أبواغها الزقية من خليتين غير متساويتين حيث تكون العلوية أكبر حجماً وأكثر عرضاً من السفلية. وتتكاثر هذه الأنواع لاجنسياً بتكوين مشائج فطرية متطفلة داخلياً على بعض النباتات، وتميل المشيجة إلى التشابك الجيد لتكوين ستروما تحمل الحوامل البوغية القصيرة والمقسمة، ويحمل كل منها بوغاً كونيدياً قمياً.

ولعل الجنس *Venturia* من أهم وأكبر هذه الأجناس لأنه يضم عدة أنواع متطفلة على النباتات، ومنها النوع *V. inaequalis* الذي يسبب مرض جرب التفاح "Scab" والنوع *V. pyrina* الذي يسبب مرض جرب الكمثرى.

تتكاثر هذه الفطريات لا جنسياً بتكوين الأبواغ الكونيدية ثنائية الخلايا التي تُحمل على حوامل بوغية قصيرة مقسمة وقائمة على الستروما الثمرية Acervulus، وتنتشر الأبواغ الكونيدية بواسطة الرياح لإحداث الإصابات على النباتات المضيفة. يطلق على الطور الكونيدي أو الطور الناقص الاسم *Spilocaea pomi* . أما التكاثر الجنسي فيتم داخل أنسجة الأوراق الميتة والمتساقطة، حيث يكوّن الفطر الثمرة الزقية الدورقية الكاذبة المحتوية على الزقاق والأبواغ الزقية، ويعرف هذا بالطور الزقي أو التام ويسمى الفطر *Venturia inaequalis*، وتتم عملية التكاثر بتكوين الخيوط الزقية المولدة للزقاق من سلالة فطرية والأعضاء الذكرية (الأنثريدات) من سلالة فطرية مختلفة، ثم يتم الاتصال بينهما لأن الفطر متخالف المشائج Heterothallic، وينتهي الأمر بتكوين الزقاق والثمرة الزقية كما سبق وشرحنا (الشكل، 9 – 50).



الشكل 9 – 50: دورة حياة الفطر *Venturia inaequalis* (Alexopoulos & Mims, 1979)

الفصل العاشر

تحت قسم الفطريات الدعامية

Sub-division Basidiomycotina

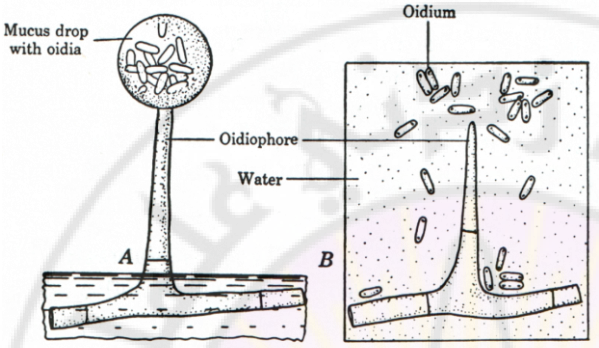
صف الفطريات الدعامية Class Basidiomycetes

الفطريات الدعامية مجموعة كبيرة من الفطريات الراقية، تأتي بالدرجة الثانية بعد الفطريات الزقية، وتتصف بالتنوع والاختلافات في الشكل والحجم، ويصل عددها إلى 30000 نوعاً تنتظم في 550 جنساً. تعيش عادة متطفلة أو مترممة على التربة الغنية بالمواد العضوية وأجزاء النباتات المتحللة. معظمها فطريات تتكاثر جنسياً معطية أبواغاً دعامية Basidiospores تجتمع على حوامل بوغية خاصة تدعى الدعامات Basidia (مفردها دعامة Basidium) في رباعيات علوية أو جانبية ضمن ثمار دعامية Carpophores كبيرة الحجم، وتسمى بالفطريات القبعيّة أي لثمارها قبعة Pileus، ومشيجتها مقسمة إلى خلايا عديدة.

كما يضم هذا الصف مجموعة كبيرة من الفطريات المجهرية، وأغلبها تتطفل على النباتات، وتسبب أمراضاً نباتية خطيرة، وأهمها أمراض التفحم، وأمراض الصدأ.

وللفطريات الدعامية أهمية اقتصادية كبيرة، فبالإضافة إلى الأمراض النباتية التي تصيب النباتات الحولية والمعمرة العشبية منها والخشبية، لها قدرة على الترمم وتحليل الأخشاب والأعمدة والجسور مسببة أعفان الخشب Wood rotting. ولها أيضاً فوائد، حيث أنها تضم عدداً من الأجناس والأنواع التي تصلح للأكل، والتي عرفها الإنسان منذ القديم وقام باستئناسها وزراعتها، وإنتاج ملايين الأطنان منها في مناطق مختلفة من العالم (اليابان – فرنسا – الصين – الولايات المتحدة الأمريكية).

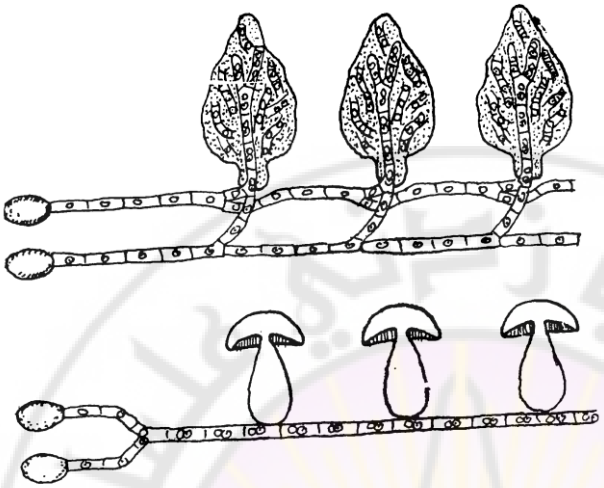
تتكاثر الفطريات الدعامية لا جنسياً (إعاشياً) بالأبواغ الكونيدية (الشكل 10 – 1)، ولكن هذا النمط من التكاثر قليل الانتشار واقل مما درسناه عند باقي طوائف الفطريات.



الشكل 10 – 1: حوامل بوغية Oidiophores وأبواغ أوئيدية Oidia (مفردها Oidium) ممزوجة في قطرة لزجة Mucus drop عند الفطر *Coprinus lagopus* .

وتقابل الدعامة Basidium الزق Ascus عند الفطريات الزقية، وتكون الدعامات مقسمة أو غير مقسمة. وعندما ينبت البوغ الدعامي، ينشأ عنه مشيجة فطرية خيوطها مقسمة، وخلاياها وحيدة النواة نصفية الصيغة الصبغية Monokaryon (n)، وتسمى المشيجة الأولية Primary mycelium التي تعيش لفترة قصيرة، ثم يحدث أن تتقابل الخيوط الفطرية التي نشأت من الأبواغ الدعامية المختلفة فيزيولوجياً، ويحدث الاندماج بينهما ويحدث تضاعف للنوى أو الصيغة الصبغية، وتصبح بذلك المشيجة ذات خلايا يحتوي كل منها على نواتين Dikaryons، وذلك عن طريق تكوين الوصلات الكلابية أو المقبضية Clamp connections، وتسمى بالمشيجة الثانوية Secondary mycelium التي تعيش لفترة طويلة، وتسمى هذه الطريقة من التكاثر بعملية التزاوج الأنبوبي Anastomy، التي تقضي بانتقال محتويات الخلية إلى الخلية الثانية دون أن يحدث اتحاد نووي.

إن عملية التفاعم Fuse بين الخيوط الفطرية أو التزاوج الأنبوبي تتم في خلايا المشيجة نفسها في الأنواع وحيدة المسكن، أما الأنواع ثنائية المسكن – وهي الغالبة – لا تتم إلا عند التقاء خيطين من مشيجتين مختلفتين بالإشارة [سالبة وموجبة (- و +)]، ويسهل ذلك غزارة الأبواغ الدعامية الناتجة عن التكاثر الجنسي (الشكل 10- 2).



الشـــكل 10 – 2: التقـــاء خيطـــين فطـــريين مـــن مشـــيجتين مختلفتـــين بالإشارة عند الفطريات الدعامية .

يتم تشكيل الخلايا الديكاريونية بطرق مختلفة :

1 – بانتقال نوى نصفية الصيغة الصبغية من خيط ما إلى خيط آخر مخالف بالإشارة.

2 – عند اندماج بوغين دعاميين.

3 – عند انقسام نواة البوغ الدعامي إلى نواتين ونموها إلى مشيجة ديكاريونيـة النوى. تأخذ أشفاع النوى في خلاياها بالانقسام في آن واحد، وتسمى المشيجة الديكاريونية خطأً مشيجة مضاعفة الصيغة الصبغية. ومن الواضح هنا سيطرة المرحلة الديكاريونية الطويلة الأمد في حياة الفطريات الدعامية على عكس الفطريات الزقية التي تكون فيها المرحلة الديكاريونية قصيرة الأمد، وممثلة بالخيوط المنسلية الزقية Ascogenous hyphae، ويسيطر على حلقة تطورها المرحلة نصفية الصيغة الصبغية.

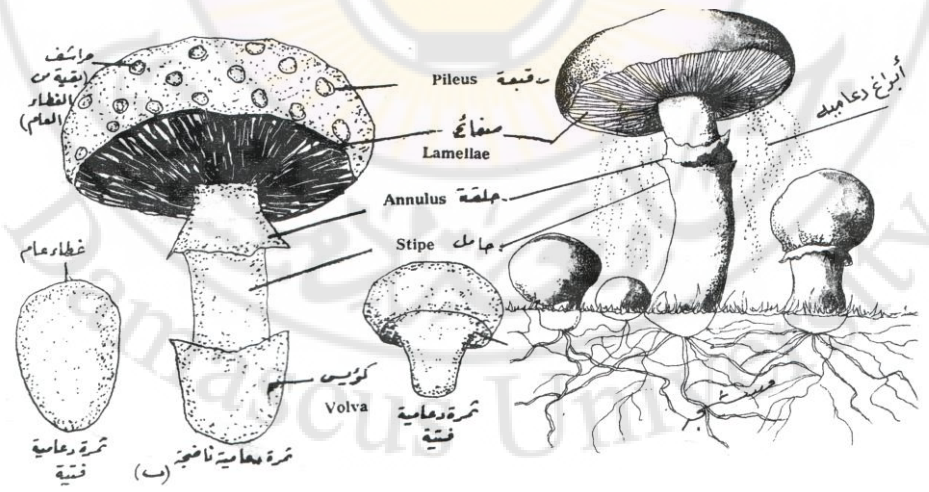
الثمرة الدعامية The Basidiocarp = Carpophore

تكوّن الفطريات الدعامية الراقية والأكثر تطوراً ثماراً دعاميةً، تماثل إلى حد كبير في التمايز والتكوين الثمار الزقية عند الزقيات المعقّدة.

تختلف الثمار الدعامية في البنية والقوام والشكل واللون، فقد تكون هلامية، لحمية، لبادية، اسفنجية، فلينية، جلدية، غضروفية، أو خشبية. كما تتباين في الحجم من المجهرية إلى أقطار كبيرة قد تصل إلى أكثر من متر .

تكوّن أغلب الفطريات الدعامية دعاماتها في ثمار دعامية، ماعدا الأنواع التابعة لرتبة فطريات الصدأ Uredinales ورتبة فطريات التفحم Ustilaginales، وتعرف بالفطريات القبعيّة كما أسلفنا.

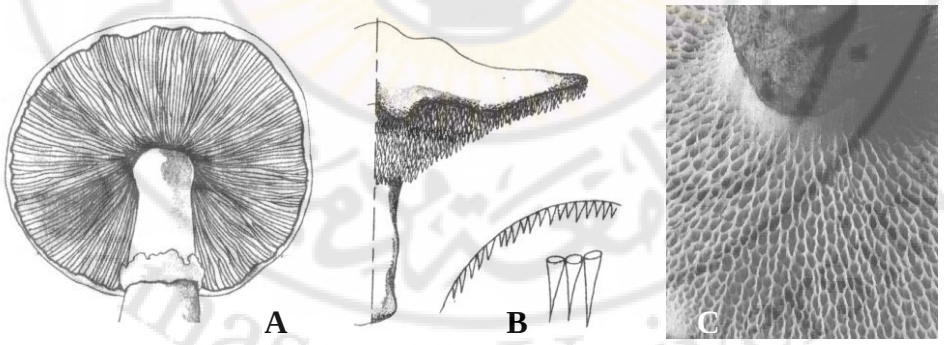
تتكوّن الثمرة الدعامية من ساق Stalk وقبعة Pileus تكون متصلة بالساق على شكل برعم. تنفصل القبعة عن الساق كمظلة، ويبقى مكان الاتصال على شكل حلقة، وقد يتصل بالحلقة في بعض الأنواع نمو نسيجي يشبه القماش وله أشكال مختلفة. وتمتاز ببنية رهيفة سهلة التحطيم، وبألوان مختلفة، زاهية في بعض الأحيان، وتحتوي القبعة على الطبقة الخصيبة Hymenium وجمعها Hymenia، وقد يتكوّن في قاعدة ساق الثمرة في بعض الأنواع ما يشبه الكأس Volve (الشكل 10 – 3).



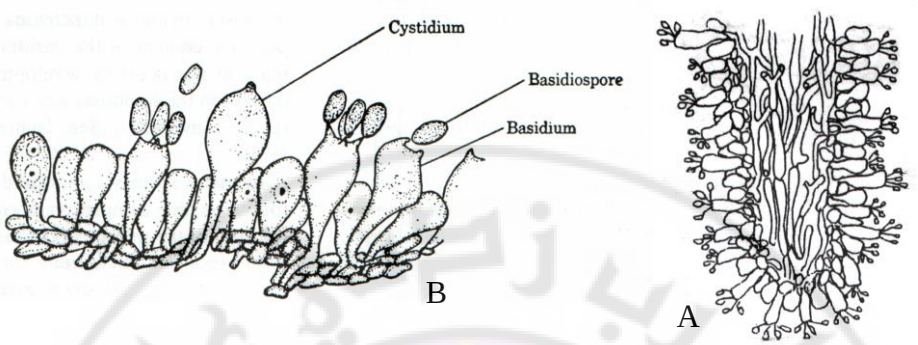
الشكل 10 – 3: تركيب الثمرة الدعامية. على اليمين Agaricus type. على اليسار Amanita type (عن فضول)

تنفتح الثمار الدعامية عند تكوينها أو بعد ذلك لتحرر الأبواغ الدعامية، وقد تبقى الثمار الدعامية مغلقة، إذ لا بد من تحللها أو تعرضها للتهشم الميكانيكي حتى تتمكن أبواغها الدعامية من التحرر.

تتشكل الأبواغ الدعامية في طبقة جيدة التكوين والتمايز تسمى بالطبقة الخصيبة، والتي تتكوّن من صفائح أو أنابيب أو ثقوب ضحلة أو عميقة أو أسنان أو أشواك ...الخ (الشكل 10 – 4)، والتي يمكن مقارنتها بالزقاق Asci عند الفطريات الزقية. في حين تتكون الطبقة المخصبة عند الدعاميات من طبقة من الدعامات والأبواغ الدعامية، إضافة إلى مكونات عقيمة مثل الخيوط الفطرية العقيمة الكاذبة Pseudoparaphyses والخلايا الحوصلية أو الكيسية Cystidium وجمعها Cystidia والتي يمكن تمييزها بسهولة عن الدعامات وهي انتفاخات حويصلية بيضاوية ولها نتوء في قمتها، وتوجد وسط الطبقة الخصيبة أو على أطرافها (الشكل 10 – 5). وتقوم الحويصلات بدور مصائد هوائية، والمساعدة في تبخير الرطوبة والمركبات الطيارة، ولها أهمية كبيرة في التصنيف.



الشكل 10 – 4: السطح السفلي للثمرة الدعامية. (A) على شكل صفائح عند الفطر *Agaricus*. (B) الطبقة الخصيبة تغطي سطح أشواك مكتظة على بعضها البعض عند الفطر *Hydne* . (C) الشكل الأنبوبي عند الفطر *Boletus* .

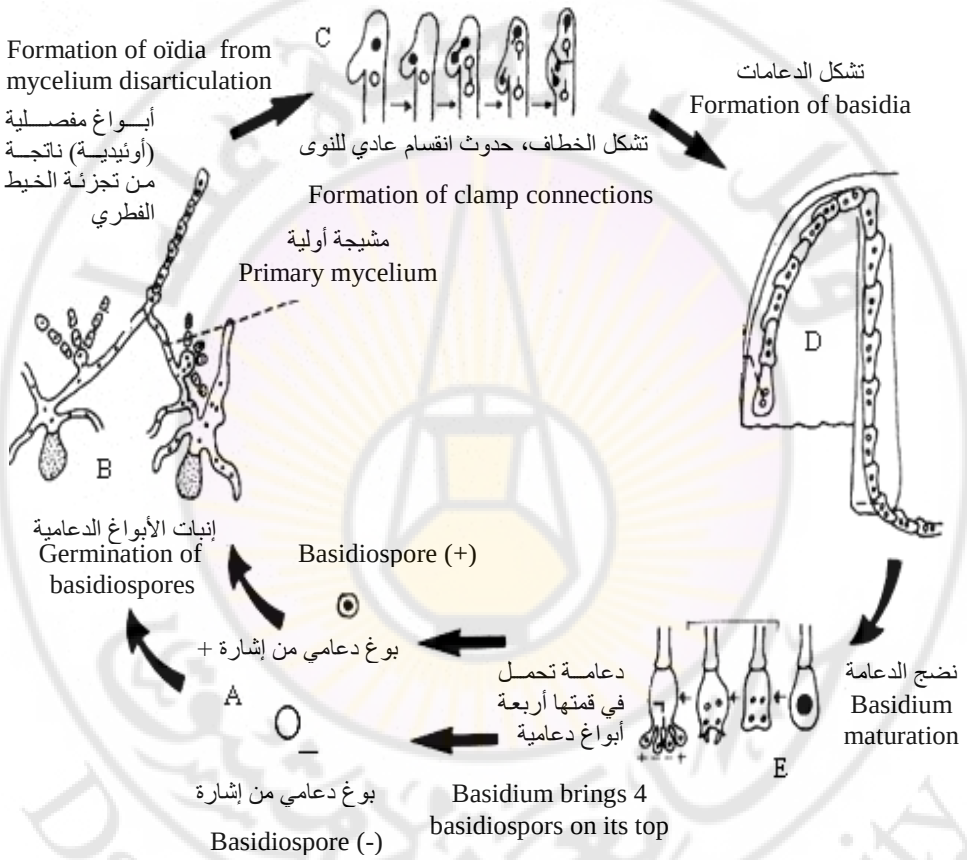


الشكل 10 – 5: (A) مقطع في صفيحة تغطيها الطبقة الخصيبة. (B) الطبقة الخصيبة Hymenium المكونة من الدعامات Basidia والأبواغ الدعامية Basidiospores والخلايا الحوصلية Cystidia .

تشغل الطبقة الخصيبة كامل مساحة الثمرة الدعامية أو جزءاً منها، ولها أهمية في التقسيم إلى فصائل ورتب، ويمكن تمييز ثلاثة أنماط منها: الطبقة الخصيبة نصف مغطاة Gymianocarpic، وغير المغطاة Gymnocarpic، والمغطاة Angiocarpic. وتتكوّن الثمرة، إضافة إلى الطبقة المخصبة، من اللب وهي طبقة نسيجية محددة من الخيوط الفطرية ويختلف قوامها باختلاف الأنواع.

تنشأ الدعامة على خلية طرفية في خيط الفطر ثنائي النواة، تنفصل عن باقي الخيط الفطري بحاجز عرضي يتكون عليه الرابط الكلابي Clamp connection أو المخلبي Hook. تنقسم النواتان إلى أربع نوى تذهب نواتان غير أختين نحو نهاية الخيط، وتذهب نواة أخرى من النواتين غير الأختين الآخرتين إلى النهاية السفلى من الخيط، والنواة الثانية إلى البروز الجانبي. يتكوّن حاجز يفصل البروز عن الجزء النهائي وحاجز آخر عند قاعدة البروز. ينحني البروز الجانبي باتجاه الخلية السفلى من الخيط حيث تحمل نواة واحدة ويظهر بينهما فتحة تمر عبرها النواة الموجودة في البروز لتدخل الخلية السفلية وبذلك تحصل هذه الخلية على نواتين غير أختين. تستطيل الخلية القميّة لتكوين الدعامة التي تحتوي على نواتين أحاديتي الصيغة الصبغية، تتحدان لتكوين نواة ثنائية الصيغة

الصبغية، ثم تنقسمان انقساماً نصفياً لتعطيا أربع نوى كل منها أحادية الصيغة الصبغية، وتحمل الأبواغ الدعامية على سلاميات أو رؤيسات Sterigmata (الشكل 10 – 6).



الشكل 10 – 6: مراحل التكاثر الجنسي عند الفطريات الدعامية. (A) أبواغ دعامية من إشارتين مختلفتين. (B) إنبات الأبواغ الدعامية إلى مشائج أولية، ثم تزاوج أنبوبي لتشكيل خيوط فطرية ثنائية النوى. (C) تشكل الخطاف في نهاية الخيط الفطري ثنائي النوى وحدوث انقسام عادي للنوى. (D) خلية طرفية ثنائية النوى التي سوف تشكل الدعامة. (E) مراحل تشكل الأبواغ الدعامية التي تتوالى فيها المراحل التالية: اتحاد نووي، أول انقسام منصف ثم انقسام عادي يؤدي لتشكل أربع نوى، تشكل أربعة أبواغ دعامية فتية على الرؤيسات Sterigmata.

والأبواغ الدعامية تكون عادة وحيدة الخلية، وحيدة النواة نصفية الصيغة الصبغية. وقد يتحول البوغ الدعامي وحيد النواة إلى ثنائي النوى نتيجة الانقسام العادي Mitosis، وعند إنباته يعطي مشيجة ثنائية النوى. وقد تتبرعم الأبواغ الدعامية عند بعض الأنواع معطية أبواغاً دقيقة، تنبت وتعطي مشائج جديدة.

الأبواغ الدعامية كروية أو متطاولة أو معقوفة، عديمة اللون أو ملونة. وتمتاز ألوان الأبواغ وهي على الحالة الإفرادية بأنها باهتة اللون، ولذلك لابد من تمييز ألوانها وهي مجتمعة بكثافة. وتعتبر ألوان الأبواغ الدعامية، وشكلها إضافة إلى التزيينات الموجودة على سطوحها الخارجية من الأسس التصنيفية الأساسية. وتعتبر الأبواغ الدعامية الناتجة عن التكاثر الجنسي عند الدعاميات هي الوسيلة الرئيسة في تكاثرها، وتحمل على الدعامات بصورة رباعيات، وقد لا تحمل الدعامات أكثر من بوغين دعاميين، بينما تحمل دعامات بعض الأنواع أكثر من أربعة أبواغ دعامية.

تُحمل الأبواغ الدعامية عند بعض الفطريات مثل Exobasidiales، كما هي الحال عند الفطر *Exobasidium vaccinii* الذي يتطفل على عنب الثعلب *Vaccinium* sp. ويسبب إفراطاً في نمو الأوراق والسوق الفتية (الشكل 10 – 7)، على حوامل دعامية تنشأ مباشرة فوق المشيجة ثنائية النوى، وتنطلق الأبواغ الدعامية بآلية خاصة. كما ينشأ فوق المشيجة ثنائية النوى (الديكاريونية) أبواغ ساكنة تعطي عند إنباتها الدعامات والأبواغ الدعامية كما هي الحال عند أنواع رتبة Uredinales و Ustilaginales، كما وتتكوّن فوق هذه المشيجة الثمار الدعامية التي تحمل الدعامات والأبواغ الدعامية، وتمتاز الثمار الدعامية عن الزقية بأنها مكوّنة كلياً من خيوط ثنائية النوى.

وإذا أجرينا مقارنة بين الفطريات الدعامية والفطريات الزقية، نجد وجوهاً من التشابه بين آلية تكوين الدعامات والزقاق. فالاثنتان تحويان منذ البداية نواتين، وتتكوّنان بالطريقة نفسها، وتنتهي مراحل التكاثر الجنسي بالاندماج النووي، ثم تنقسم النواة المضاعفة، ويحدث انقسامان فقط إحداهما إختزالي (ونادراً انقسام واحد أو عدد من

الشكل 10 – 7: الفطر *Exobasidium vaccinii* (Alexopoulos & Mims, 1979)

الانقسامات)، وينتج أربع نوى نصفية الصيغة الصبغية تهاجر عبر السلاميات Sterigmata التي تتكوّن عليها الأبواغ الدعامية (الشكل 10 – 8).

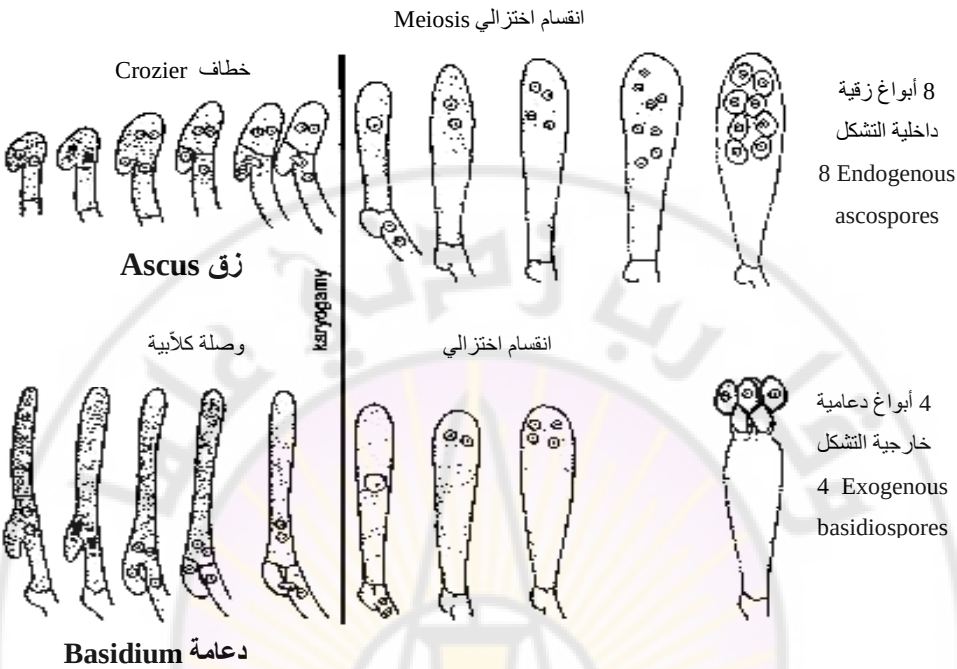
تصنيف الفطريات الدعامية

تقسم الفطريات الدعامية وفق الكسوبولس إلى ثلاثة تحت صفوف:

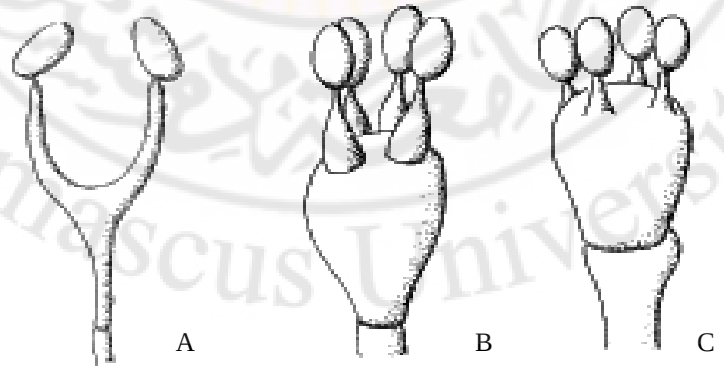
1 – تحت صف الدعاميات متماثلة الدعامة Sub-class Holobasidiomycetidae

أو الدعاميات الحقيقية Sub-class Eubasidiomycetidae

تتكوّن الدعامة من خلية واحدة غير مقسمة، وتدعى بالدعامة الكاملة Holobasidium (الشكل 10 – 9).



الشكل 10 – 8: رسم توضيحي يبين أوجه التشابه في آلية تشكل الزقاق Asci عند الفطريات الزقية Ascomycetes وتشكل الدعامة Basidium عند الفطريات الدعامية Basidiomycetes. ويلاحظ أن الشصوص Croziers في الفطريات الزقية تقابل الوصلات الكلابية Clamp connections في قاعدة الدعامات عند الفطريات الدعامية .

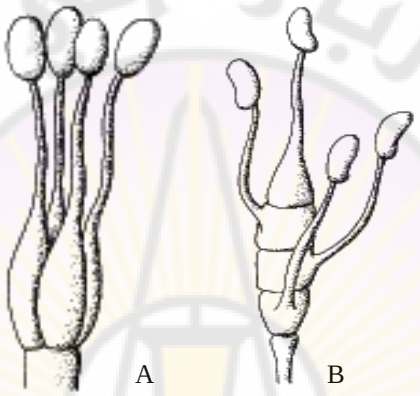


الشكل 10 – 9: أشكال مختلفة من الدعامات الكاملة Holobasidia. (A) الفطر *Dacrymyces* . (B) الفطر *Tulasnella*. (C) دعامة كاملة نموذجية.

2 – تحت صف الدعاميات المقسمة (أو المتباينة)

Sub-class Phragmobasidiomycetidae (= Heterobasidiomycetidae)

تتكوّن الدعامة من خلية مقسمة طولياً أو عرضياً إلى أربعة أقسام، كل منها يكوّن عادة بوغاً دعامياً، وتدعى بالدعامة المقسمة Phragmobasidium (الشكل 10 – 10).



الشكل 10 – 10: أشكال مختلفة من الدعامات المقسمة طولياً أو عرضياً Phragmobasidia. (A) الفطر *Tremella*. (B) الفطر *Auricularia* .

3 – تحت صف الفطريات الدعامية التيلية Sub-class Teliomycetidae

الثمرة الدعامية غير موجودة، وتنشأ المشيجة الأولية Promycelium (أو Metabasidium) من إنبات بوغ ساكن سميك الجدار يدعى بالبوغ التيليتي (الشكل 10 – 11).

الشكل 10 – 11: نشوء الدعامة من إنبات بوغ تيليتي عند الفطر *Puccinia* sp.

تحت صف الدعاميات متماثلة الحامل الدعامي (أو الحقيقية)

Sub-class Holobasidiomycetidae

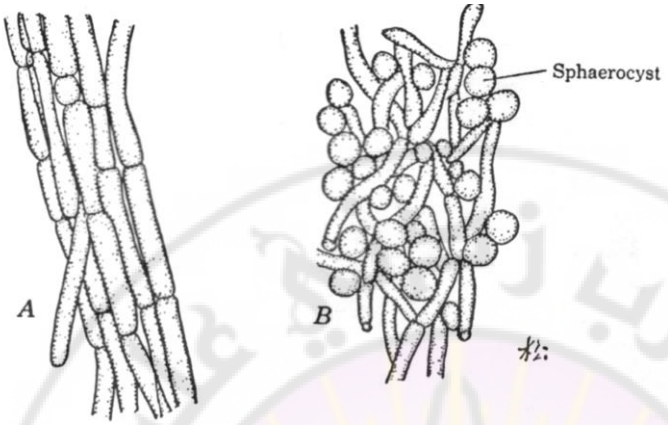
(Eubasidiomycetidae)

يمكن تقسيمه إلى مجموعتين :

أولاً– مجموعة الفطريات الدعامية المَعِدية (المغطاة) Series: Gasteromycetes

تضم هذه المجموعة حوالي 120 جنساً و 1100 نوعاً، تعيش معيشة رمية فوق أو تحت التربة، ويشترك بعضها في التعايش على جذور الأشجار، وتشمل فطريات العرجون، والكرات النافخة Puffballs، والكمأة الكاذبة False truffles، ونجوم الأرض Earth stars، وفطريات عش الطير Bird`s nest fungi، والفطريات القرنية النتنة Stink horns ، وتعتبر الكرات النافخة أكثرها نموذجية، وتمتاز جميع أنواع هذه المجموعة بأن ثمارها الدعامية تبقى مغلقة لفترة طويلة، أو تتفتح بعد أن تنفصل الأبواغ الدعامية قاتمة اللون عن حواملها عند النضج، وتخرج الأبواغ الدعامية من خلال فتحة محددة أو عن طريق تحلل الثمار أو تمزقها، ولا تقذف الأبواغ الدعامية بقوة كما يحدث عند أنواع المجموعات الدعامية الأخرى، وتوجد الطبقة الخصبية ضمن غلاف أو جراب ثمري Peridium، يوجد بداخله لب الثمرة الذي يسمى غليبا Gleba.

ويتكون الغلاف من طبقة أو طبقتين خارجية وداخلية، وقد يتحول جزء منه إلى مادة مخاطية عند نضج الثمار، وللغليبا تجاويف مستديرة أو متطاولة أو شقوق تتكوّن فيها الدعامات، ويفصل نسيج التراما Trama العقيمة بين التجاويف (الشكل 10– 12). وقد يتحلل هذا النسيج أو جزء منه عند نضج الثمار، وتبقى الخيوط الفطرية شريطية المظهر، وتسمى عندئذ بالخيوط الناثرة Capillitia كما وقد تتخرب الدعامات.



الشكل 10- 12: بنية نسيج التراما Trama. (A) بدون حويصلات كروية Sphaerocysts. (B) مع حويصلات كروية. (Alexopoulos & Mims, 1979)

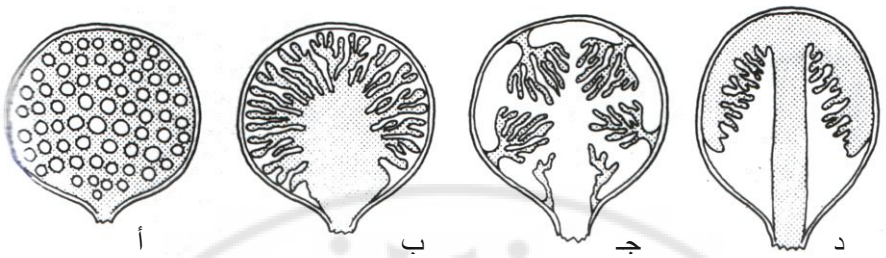
للثمرة الدعامية عدة نماذج يمكن تمييزها اعتماداً على تكوينها الداخلي (الشكل 10 – 13):

1 – النمط المجوّف Lacunar type: حيث تضم الغليبا العديد من التجاويف المبطنة بالدعامات.

2 – النمط المرجاني Coralloid type: وفيه ينمو من قاعدة الثمرة عدد من الخيوط الفطرية المتفرعة نحو المحيط والأعلى وتحاط بالغلاف، وتشبه هذه التفرعات الشكل المرجاني، وتتغطى بالطبقة الخصيبة.

3 – النمط عديد القبعات Multipileate type: وفيه تتضخم مجموعات من نسيج التراما (العقيم) المرجاني التفرع ابتداء من المركز ونحو المحيط، وعند وصولها إلى الغلاف تنتشر وتندغم مع بعضها، وينتج عن ذلك عدة قبعات.

4 – النمط وحيد القبعة Unipileate type: وفيه يتكوّن من تضخم وتفريع نسيج التراما قبعة واحدة، ويكوّن الجزء المركزي الرئيس ما يشبه العماد Columella، وقد يتطاول ليعطي حامل الثمرة.



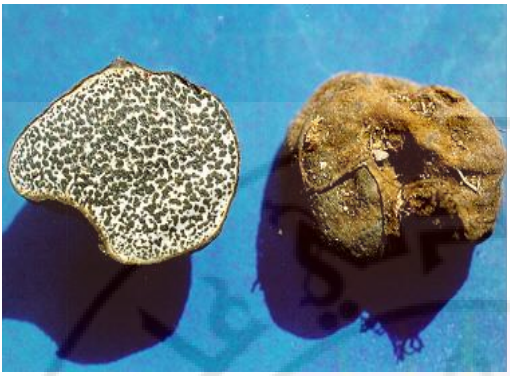
الشـــكل 10 – 13: رســـم تخطيطـــي للبنيـــات الأساســـية للثمـــار الدعاميـــة عنـــد الـــدعاميات المغطـــاة Gasteromycetiidae. (أ) النمط المجوّف Lacunar type. (ب) النمط المرجاني Coralloid type. (جـ) النمط كثير القبعات Multipileate type . (د) النمط وحيد القبعة Unipileate type .

تتكاثر بعض أنواع مجموعات الدعاميات المغطاة تكاثراً لا شقياً بتكوين الأبواغ الكونيدية، في حين لا تعرف تفاصيل التكاثر الجنسي بدقة، فلا يعرف منها سوى اتحاد أشفاع من النوى Dikaryon في الدعامات. والمرحلة المضاعفة قصيرة جداً كما هي الحال عند الدعاميات طبقية الإخصاب، والمرحلة النصفية قصيرة جداً في بعض الأنواع، وذلك بسبب تكوّن الأشفاع النووية في الأبواغ الدعامية نتيجة انقسام نواتها إلى نواتين (Metosis).

أ- رتبة هيمينوجاسترالس (المغطاة) Order Hymenogastrales

تنتج أفرادها ثماراً دعامية تحت سطح التربة، ثم تبرز فوقها عند النضج، ولهذا يطلق عليها اسم فطريات الكمأة الكاذبة False truffles. ثمارها لحمية أو غضروفية أو مخاطية غالباً من النمط المرجاني، وقد تكون من النمط كثير القبعات، أو النمط وحيد القبعة. وتتكوّن الثمرة من جزء خارجي عقيم هو الغلاف أو الجراب Peridium، وجزء داخلي خصيب (Gleba). تنشأ فيها الأبواغ الدعامية على الحوامل الدعامية بثنائيات أو رباعيات، تنشرها الرياح والحيوانات والقوارض التي تتغذى عليها والحشرات ...الخ .

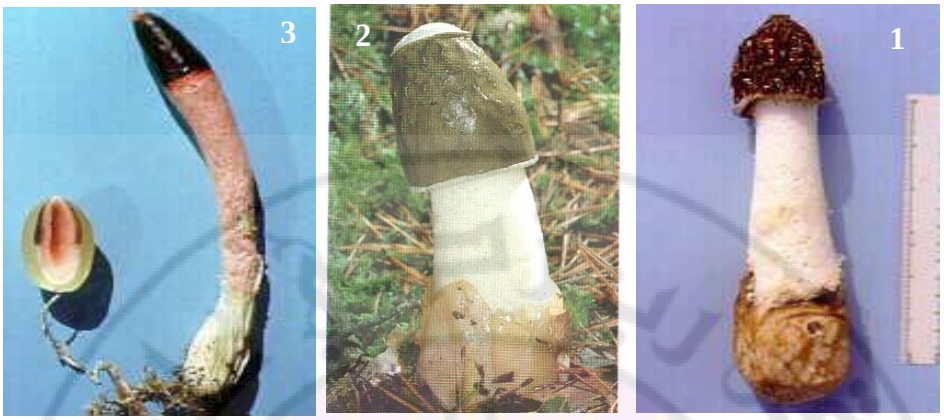
تطلق هذه الثمار روائح كريهة قوية، تجذب إليها الحشرات. ومن أشهر أجناسها المعروفة بالكمأة الكاذبة *Melanogaster* (الشكل 10 – 14).



الشكل 10 – 14: الكمأة الكاذبة *Melanogaster* sp.

ب – الرتبة Order Phallales

وهي مجموعة الفطريات التي تسمى القرون النتنة نسبة إلى رائحة الجيف التي تطلقها عند تفتح الثمرة الدعامية. تنمو أنواعها على بقايا الأوراق الميتة، وقطع الأخشاب القديمة المتآكلة، ونشارة الخشب، وأكوام النفايات المتعفنة. تنمو المشائج معطية خيوط فطرية غليظة الجدر، وتكوين ريزومورفات (حبال خيطية فطرية) تنتشر بواسطتها إلى مسافات في التربة. تشبه ثمارها بيض الدجاج شكلاً وحجماً إلا أنها لينة قليلاً (3– 6 سم)، ولها غلاف خارجي رقيق وصلب وغلاف داخلي، ويربط الغلافين طبقة سميكة، وللثمرة لب خصيب له شكل الكأس المقلوب. والدعامات هراوية الشكل، وتُحمل الأبواغ الدعامية في ثمانيات، وحالما تنضج الدعامات والأبواغ الدعامية يخرج من الثمرة عنق طويل أبيض اللون يستطيل مخترقاً الغلافين الداخلي والخارجي ويظهر فوق سطح التربة بطول 8 – 15 سم ويفوح منه رائحة الجيف الكريهة جداً التي تنبعث من اللب الخصيب الحاوي على الأبواغ الدعامية، حيث أنها تجذب الحشرات وخاصة الذباب، الذي يسهم في انتشار الأبواغ إلى مسافات بعيدة، ويحمل العنق في قمته القبعة (القلنسوة) التي يتكوّن بداخلها اللب الخصيب، ويتحلل اللب الخصيب على هيئة قالب هلامي حلو المذاق ولونه زيتوني داكن، تلتصق عليه الأبواغ الدعامية. ويبيّن الشكل (10– 15) ثمار دعامية عندالفطر *Phallus* spp.



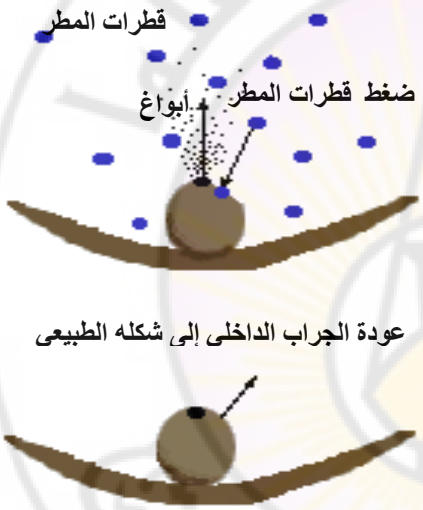
الشكل 10- 15: رتبة Phallales. (1) يخرج من الثمرة عنق طويل اسفنجي يحمل قبعة ويلاحظ غلاف الثمرة حـــول قاعدة الساق عند الفطـر *Phallus* sp. (2) الفطر *Phallus impudicus*. (3) *Phallus* sp.

ج – رتبة الليكوبردالس Order Lycoperdales

أفرادها غير ضارة، غير سامة، وغير متطفلة على النباتات. تتحول ثمارها إلى كتل جافة بعد أن يتحلل لب الطبقة الخصيبة المحتوية على الأبواغ الدعامية الفاتحة اللون التي يتخللها خيوط فطرية، ويحيط بالطبقة الخصيبة عند نضجها جراب ثمري يتكون في بعض الأجناس من طبقة مفردة، بينما قد يتكوّن في أجناس أخرى من 4 طبقات أو أغلفة. تضم هذه الرتبة العديد من الفصائل، وسوف نأخذ الفصيلة الليكوبيرداسيه Lycoperdaceae كمثال عن هذه الرتبة.

تضم هذه الفصيلة فطريات الكرات النافخة Puffballs، التي تنمو فوق جذوع الأشجار وكتل الأخشاب المتحللة، أو في أراضي الغابات قرب جذوع الأشجار، وتشاهد بعض أنواعه في المروج والحدائق والحقول البرية، وجميعها صالحة للأكل وهي فتية حيث تكون بيضاء، ولو أن بعضها يسبب مغصاً معوياً، ثم تتحول إلى اللون الأصفر مع تقدم العمر، وعندها تتغير الرائحة والطعم وتفسد وهي غير سامة. الثمار الدعامية كروية أو كمثرية الشكل، ويحيط بها غلافان (جرابان) خارجي Exoperidium وداخلي

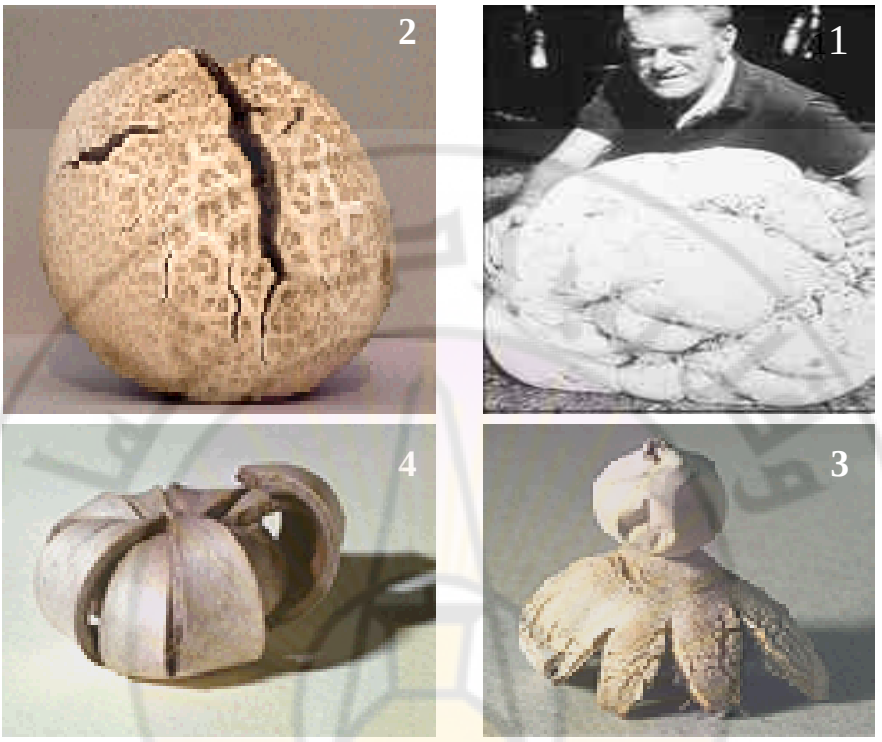
Endoperidium، وقد يكون سطح الغلاف الخارجي ذا ثآليل أو شوكي أو محبب، والغلاف الداخلي رقيقاً وله فوهة صغيرة في قمته. وللطبقة الخصبية عدة فجوات صغيرة غير منتظمة الشكل مبطنة بالدعامات يفصل بينها نسيج التراما. وعندما تثقب الثمرة الدعامية بأي قوة خارجية كالرياح أو المطر أو الحيوانات مثلاً، فإن الجدار الخارجي يعمل عمل المنفاخ، فينفخ سحابة من الأبواغ الدعامية التي تحملها الرياح إلى مناطق أخرى (الشكل 10 – 16).



الشكل 10- 16: انطلاق الأبواغ من خلال الثقب الموجود في الجراب الداخلي تحت تأثير خارجي كالمطر، ومن ثم يعود الجراب الداخلي لشكله الطبيعي.

ومن أجناسها *Calvatia* والنوع *C. gigantean*، حيث أن الثمرة عملاقة 60 – 80 سم بيضاء اللون وهي صالحة للأكل (الشكل 10 – 17).

أما نجوم الأرض Earth stars فهي من الفطريات ذات الكرات النافخة حيث يتشقق الغلاف الخارجي في اتجاهات شعاعية، وعندما تتبلل بالماء فإنها تتفتح إلى عدد من الفصوص التي تنحني بدورها وتلتوي إلى الوراء فتأخذ بذلك شكل النجمة. يبقى الجراب الداخلي مغلقاً، وله فتحة أو ثقب في قمة الثمرة لتحرير الأبواغ (الشكل 10 – 17). ومن أجناسه *Geastrum* الذي ينتشر في سفوح الجبال وفي الحقول والغابات.



الشكل 10 – 17: رتبة الليكوبردالس Order Lycoperdales

(1) و (2) الفطر *Clavatia gigantean* حيث يلاحظ ضخامة الكرات النافخة. (3) نجمة الأرض Earth star (*Geastrum* sp.). (4) نجمة الأرض جافة Dry earth star .

د- رتبة النيديولاريالس Order Nidulariales

وهي فطريات عش الطير Bird `s nest fungi، تتكوّن ثمارها من عدد كبير من التجاويف بشكل الكأس محاطة بغلاف سميك، ويحيط بكل تجويف نسيج التراما Trama بعدة طبقات. تحتضن الثمرة عدة ثمار صغيرة Peridioles قد يصل عددها إلى 20 ثمرة في القسم السفلي (الشكل 10 – 18)، وذلك بسبب انحلال الغلاف والأنسجة المحيطة بكل ثمرة. تنفصل الثمار الصغيرة عن الثمرة الأم، وقد تبقى معلقة بحبل سري Funiculus، تتحرر وينفصل الحبل السري محدثاً فرقعة مميزة.

ومن فصائلها Family Nidulariaceae التي تضم خمسة أجناس ولعل أهمها الجنس *Nidula* و *Nidularia* و *Crucibulum*.

الشكل 10 – 18: فصيلة النيديولارياسيه Family Nidulariaceae

(1) فطريات عش الطير Bird`s nest fungi حيث يلاحظ أن الثمار الصغيرة تشبه بيوض الطيور في أعشاشها.
(2) مقطع طولي في ثمرة دعامية للفطر *Cyathus* sp. حيث يلاحظ وجود عدد من الثمار الصغيرة Peridioles في القسم السفلي العميق والقمعي الشكل من الثمرة .

أما الفصيلة Sphaerobolaceae، فيمتاز أفرادها باحتواء الثمرة الدعامية على ثمرة دعامية صغيرة واحدة بقطر 2.5 مم (الشكل 10 – 19). ينفصل اللب الخصيب بأكمله من الجراب الثمري، ويتم قذفه بعنف، وتضم هذه الفصيلة جنساً واحداً هو *Sphaerobolus*، تُقذف الثمرة الصغيرة إلى أبعد من 4 أقدام، ويحدث ذلك صوتاً قوياً أثناء النهار، ويحدث القذف بفعل اختلاف الضغط الحلولي لطبقات الغلاف الخمس.

الشكل 10 – 19: فصيلة Sphaerobolaceae. الفطر *Sphaerobolus stellatus* حيث يوجد في الثمرة الدعامية ثمرة صغيرة واحدة .

ثانياً – مجموعة الفطريات الدعامية الخصيبة Series : Hymenomycetes

ينتمي لهذه المجموعة حوالي 16000 نوعاً، واسعة الانتشار في الطبيعة، ومنها فطريات عيش الغراب المأكولة Mushrooms والسامة Toadstools وعديدة الثقوب Polyporus، والفطريات المرجانية وغيرها من الأنواع الخشبية والشحمية. تتكوّن الدعامات ضمن طبقة خصيبة منتظمة، وتحمل عليها الأبواغ الدعامية على بروزات مائلة، وتقذف بعنف عند نضجها، والطبقة الخصيبة مكشوفة على سطح الثمرة الدعامية قبل نضج الأبواغ الدعامية. والدعامة متطاولة، صولجانية، وغير مقسمة، وتحمل الأبواغ الدعامية في رباعيات.

1 – رتبة الأفيللوفورالس Order Aphyllophorales

تضم من 4 – 10 فصائل، يعيش أغلبها معيشة رمية محللة للأخشاب وبقايا النباتات الحولية منها والمعمرة، ويتطفل بعضها على أشجار الغابات ونباتات الظل، وتسبب لها أعفاناً مختلفة على الجذور كالعفن البني والعفن الأبيض ويتم ذلك بالتحلل الأنزيمي لما تملك من أنزيمات محللة للسيللوز. فعندما تقوم الأنزيمات بهضم السيللوز في جدر الخلايا تسبب ما يسمى بالعفن البني Brown-rot، وهناك أنزيمات محللة للخشبين دون السيللوز مسببة عفن يطلق عليه العفن الأبيض White-rot،كما تصيب فروع الأشجار.

تقع الطبقة الخصيبة داخل ثقوب خيشومية كثيرة في الثمرة الدعامية، وتتكشف قبل نضج الأبواغ الدعامية، وتختلف الثمار الدعامية بأحجامها وألوانها، ولبعضها قبعة تُحمل على حامل قائم.

فصيلة كلافارياسيه Family Clavariaceae

تضم هذه الفصيلة الفطريات المرجانية Coral fungi ذات الألوان الزاهية، والثمار الدعامية الجميلة، وهي من الفطريات الرمية. ثمارها منتصبة، بسيطة وصولجانية

الشكل أو شجيرية متفرعة على شكل مرجان. ومن الأنواع المألوفة في هذه الفصيلة *Clavaria vermicularis* وهي رميات تصلح للأكل، وتنمو في المروج والحدائق في فصل الخريف. والنوع *Ramaria stricta* وهو رمي على جذوع أشجار الصنوبريات، وغير صالح للأكل، وثماره الدعامية متفرعة تفرعاً ثنائي الشعبة وبغزارة (الشكل 10 – 20).

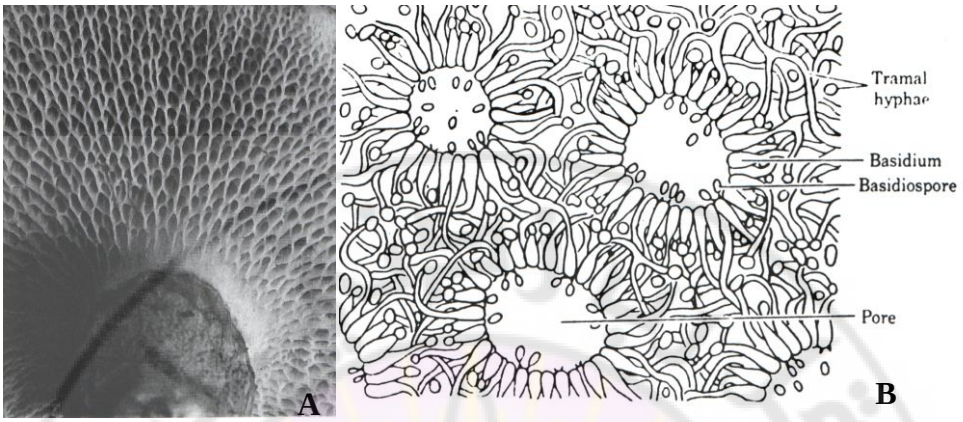
الشكل 10 – 20: الفطريات المرجانية Coral fungi

(1) الفطر *Clavaria vermicularis*. (2) الفطر *Ramaria stricta* إذ يلاحظ التفرعات الغزيرة ثنائية الشعبة

فصيلة بولي بوراسيه Family Polyporaceae

يصيب أغلب أفرادها الأشجار الحراجية وتسبب أمراضاً خطيرة حيث إنها تحلل وتفكك الخشب الخام خاصة عند تعرضه للرطوبة.

تبطن الطبقة المخصبة السطح الداخلي لتركيبات أنبوبية مفتوحة للخارج (ثقوب) (الشكل 10 – 21). وقد تأخذ الثمار الدعامية شكل القشور أو الرفوف، ولهذا سميت بفطريات الرفوف Shelf fungi (الشكل 10 – 22).



الشكل 10 – 21: (A) التركيب الأنبوبي للسطح السفلي للثمار الدعامية عند الفصيلة Polyporaceae. (B) الطبقة الخصبية التي تغطي سطح الأنابيب

من الأجناس الهامـــة في هـــذه الرتبـة الجنس *Polyporus* و *Fomes*. ويطلـق على النـوع *P. sulfereus* عيش غراب الكبريت، الذي يسبب عفن الخشب لأشجار الصنوبر، ويصيب الأشجار متساقطة الأوراق أيضاً. تنتشر المشيجة داخل الخشب، والثمرة الدعامية صفراء بلون الكبريت، وهي بشكل قوس نصف دائري يصل قطره إلى 20 –40 سم وبسماكة 2 – 3 سم، وتتوضح الثقوب في السطح السفلي لها. ومن أنواعه ما يعيش مترمماً ويهاجم الدعائم الخشبية في المنازل (*P. tuberaster*)، ومنها ما يتطفل على أشجار الجوز (*P. versicolor*)، والبيتولا (*P. petulinus*)، والبلوط (*P. cristatus*) في الفرنلق.

يوجد النوع *Fomes fomentarius* في الفرنلق وغوطة دمشق، إذ تبقى ثماره على ساق الحور لعدة سنوات مكونة طبقة جديدة سنوياً.

الشكل 10 – 22: الفطريات الدعامية لفطريات الرفوف من الجنس *Polyporus* (Photos: Naffaa, 2007)

2 – رتبة الأكاريكالس (الغاريقونيات) Order Agaricales

يطلق عليها أسماء مختلفة، منها الفطريات الخيشومية Gill fungi، وفطريات عيش الغراب المأكولة Mushrooms والسامة Toadstools، ويصعب التمييز بينها من الناحية الشكلية.

تضم هذه الرتبة 7000 – 10000نوعاً موزعة في 200 جنساً، وأغلبها رميات تنتشر في الغابات، ولبعضها علاقة تعايشية (ميكوريزا) على جذور الأشجار كالصنوبر والبلوط والكثير من الجنبات والجنيبات، بالإضافة إلى بعض الأنواع الطفيلية. ثمارها الدعامية لها قبعات تُحمل على حوامل صلبة وقوية، ويتركب السطح السفلي للقبعة من طبقة من الصفائح الخصيبة.

تضم هذه الرتبة 11 فصيلة، ويمكن التمييز بين هذه الفصائل اعتماداً على الصفات الشكلية للثمرة الدعامية، ولون وشكل وطريقة تكوين الصفائح الخصبة، والصفات الشكلية للحامل الثمري، والتركيب التشريحي للأجزاء الأخرى من الثمرة، ووجود أو عدم وجود القناع العام في الثمرة الدعامية، والصفات الشكلية للأبواغ الدعامية. وسنتعرض لبعض هذه الفصائل حسب الأهمية.

فصيلة الأجاريكاسيه (الغاريقونية) Family Agaricaceae

يمتاز أفراد هذه الفصيلة بثمارها الجنسية ذات الطبقة الخصيبة المكوّنة من صفائح رقيقة على السطح السفلي للقبعة، وبوضع شعاعي نحو المركز، ولها حوامل قائمة وصلبة، ويتكوّن الجزء المتوسط الكبير من كل صفيحة من نسيج فطري عقيم يدعى التراما Trama، ولها بنية يتداخل فيها نمطان من النسج الفطرية، ويتوسط بين التراما والطبقة الخصيبة طبقة تمتاز خلاياها بأنها صغيرة وذات طبيعة برانشيمية كاذبة تسمى تحت الطبقة المخصبة Sub-hymenium ومنها تنشأ الدعامات.

يصل عدد أفرادها إلى 10000 نوعاً. يعيش معظمها في ترب الغابات، ويشارك بعضها في تركيب الميكوريزا Mycorrhiza، ويتطفل بعض أنواعها على النباتات.

تعيش أنواع الجنس *Agaricus* مترممة في التربة الغنية بالمواد العضوية والدبال، وعلى كتل الأخشاب وأغصان الأشجار وأوراقها المتحللة، و تتكوّن المشيجة من خيوط فطرية بيضاء غزيرة التفرع ومقسمة إلى خلايا ذات نواتين. وتوجد المشيجة مطمورة في التربة أو المادة العضوية التي يحصل منها على الاحتياجات الغذائية. وقد تتكاثر هذه الفطريات لا جنسياً بواسطة أجزاء المشيجة، ونادراً عن طريق الأبواغ الكلاميدية.

ومن أنواعه *Agaricus bisporus*، ويحتوي على عدة سلالات تصلح ثمارها الدعامية للأكل البشري، وتتكوّن في الطبيعة خلال فصل الربيع، وهناك نوع جيد الصفات ينتشر في غوطة دمشق وفي مناطق دير الحجر والأربعين والمناطق الجنوبية والجولان وهو *A. compestris*، وتتمتع ثماره بقوة خارقة لرفع التربة عند نهوضها وظهورها فوق سطح التربة (الشكل 10 – 23).

وتزرع أنواع منتخبة من هذه الفطريات في مزارع تشبه المعامل في بنائها ومعداتها لإنتاج هذه الثمار على نطاق تجاري للاستهلاك المحلي أو للتعليب والتصدير. وتهتم كثير من الدول بهذه الزراعة مثل فرنسا واليابان والصين والولايات المتحدة

الشكل 10 –23: (1) الفطر *Agaricus bisporus*. (2) *A. Compestris*. وهي صالحة للأكل .

الأمريكية .....الخ، وتحقق منها ثروات اقتصادية هامة جداً، وتقوم مؤسسات علمية متخصصة بإنتاج السلالات المنتخبة ذات المواصفات الغذائية الجيدة والنقية والخالية من السموم والآفات الأخرى، وتقوم بتحضير المشيجة الفطرية المحملة على البذار، وتعدّه للزراعة ويسمى Spawn، ومن هذه الشركات Somisyl في فرنسا، وقد بدأت هذه الزراعة المتطورة بتقاناتها أيضاً في بلادنا

التكاثر اللاجنسي: رغم أنه نادر عند فطريات عيش الغراب، إلا أنه عندما يحدث يكون عن طريق تكوين الأبواغ الكلاميدية.

التكاثر الجنسي: يحصل التكاثر الجنسي عندما تتوفر الظروف المناسبة، حيث تنبت الأبواغ الدعامية لتعطي مشائج جديدة، ثم تتقابل خيوط من مشيجتين مختلفتين بالجنس، يتلوه اندماج هيولي للخليتين أحاديتي النواة، حيث تتكون خلية ذات شفع من النوى دون اتحاد، تحدث عندها ظاهرة الوصلات الكلابية على الحواجز العرضية نتيجة لنمو فرع قصير خلف كل حاجز عرضي مباشرة، وينحني هذا الفرع ليلامس الخلية على الجانب الأخر من الحاجز العرضي. وينتقل عن طريقه شفع النوى، ثم تمتزج محتويات الخليتين المتجاورتين معاً، ويحدث ترافق للنوى، ويكون الناتج مشيجة جديدة خلاياها

ثنائية النوى، يبدأ بعد ذلك تكوين الثمرة الدعامية كانتفاخ صغير كعقدة صغيرة من خلايا الخيوط الفطرية ثنائية النوى. وتتضخم العقدة التي تسمى (الزر) أو الطور الزري Button stage. يتابع هذا الجسم الثمري الجديد نموه، وينفتح الجزء العلوي منه فيكوّن القبعة، أما الجزء السفلي فيكوّن العنق أو الساق.

تظهر الثمار الدعامية للفطر *Agaricus* sp. عادة في بداية الربيع في السهول الخضراء والمروج والغابات الغنية بالدبال (Humus) وتختفي في بداية الصيف.

يتكوّن الحامل الدعامي من عنق أسطواني، قد يوجد عليه الطوق أو الحلقة، وينتهي عند طرفه العلوي بقبعة أو قلنسوة منتفخة، تمتد أفقياً بشكل مظلة، وتشاهد الصفائح الشعاعية على الوجه السفلي للقبعة وهي التي تحمل الطبقة المخصبة (الدعامات والأبواغ الدعامية والحوصلات والخيوط العقيمة)، يتمزق الغلاف المغطي للصفائح، ويبقى أثار انفصال القبعة عن الساق وهو ما يدعى بالحلقة، وتسقط الأبواغ من الصفائح كما أسلفنا .

فصيلة التريكولوميتاسيه Family Tricholomataceae

فصيلة كبيرة، ثمارها ذات صفائح بيضاء نقية، ومن أشهر أنواعها *Armillaria mellea* الذي يتطفل على جذور وجذوع الأشجار المثمرة والحراجية، ويسبب مرض عفن الجذور الأبيض White root rot، والفطر المسبب لهذا المرض يعيش إما متطفلاً على الأنسجة الحية للمضيف أو رمياً على الأخشاب الميتة، وهو صالح للأكل وذو نكهة جيدة. ومن الأسماء الشائعة له: الفطريات العسلية (honey mushroom)، والغاريقون العسلي (honey agaric) حيث أن ثماره تكون بلون العسل عندما تكون حديثة السن.

ساق الثمرة الدعامية متغلظة بعض الشيء عند القاعدة، والحلقة بارزة، ويتغير اللون وتختفي الحلقة مع تقدمها بالعمر. وتظهر الثمار الدعامية عادة بمجموعات حول جذوع الأشجار المصابة (الشكل 10 – 24).

الشكل 10- 24: الفطر *Armillaria mellea*. إذ يلاحظ ظهور الثمار الدعامية على شكل مجموعات

فصيلة كوبريناسيه Family Coprinaceae

تعيش في أغلب الأحيان على المواد العضوية وروث الحيوانات وفي البساتين. لا تبقى ثماره طويلاً لأنها تتعرض إلى عملية تحلل ذاتي Autolysis فتصبح سوداء كلون الحبر الأسود.

الثمار الدعامية ذات قبعات ناقوسية، أسطوانية متطاولة، وعلى سطحها الخارجي قشور، صفائحها رقيقة جداً مغطاة بطبقة مخصبة نموذجية متناوبة مع الخيوط العقيمة، ولبعض أنواعها حويصلات.

ومن أجناسها الجنس *Coprinus* الذي يمتاز بأبواغه الدعامية السوداء، وأهم أنواعه *C. comatus* (الشكل 10 – 25)، ويمكن التعرف عليه بسهولة، وثماره صالحة للأكل عندما تكون فتية.

فصيلة هيجروفوراسيه Family Hygrophoraceae

ثمارها لحمية، وصفائحها سميكة منتصبة. ومن أجناسها *Nyctalis* الذي يكوّن ثماره الصغيرة والعديدة على الثمار الدعامية للفطر .*Russula* sp (الشكل 10 – 26).

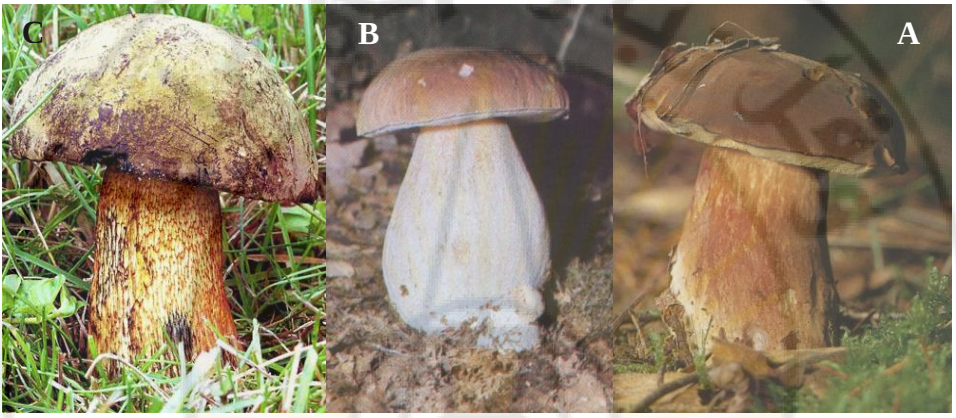
الشكل 10- 25: الثمار الدعامية للفطر *Coprinus comatus* ويلاحظ التحلل الذاتي للثمار الدعامية.

الشكل 10 – 26: الفصيلة Hygrophoraceae. (1) ثمار دعامية للفطر *Nyctalis agaricoides*. (2) الثمار الدعامية للفطر *N. parasitica* على ثمار الفطر *Russula* sp.

فصيلة البوليتاسيه Family Polytaceae

لأفرادها أهمية اقتصادية، ففي حين يعيش بعضها رمياً في غابات البلاد الرطبة وكثيرة الأمطار، فإن بعض أنواعها يدخل في تركيبات الميكوريزا (متعايشات الجذور) الخارجية الداخلية على جذور أشجار الصنوبريات. ثمارها الدعامية مميزة بسوقها

الضخمة عند القاعدة ولدانة ثماره اللحمية، والطبقة المخصبة أنبوبية. ومن أنواعها ما يصلح للأكل، والبعض منها سام، ويمكن تمييزها بسهولة. وقد يصل وزن ثمار بعض أنواعه إلى 3 – 4 كغ، وأهم أنواعها *Boletus edulis* ويسميه الفرنسيون Cep. ويبين الشكل (10– 27) الثمار الدعامية لبعض أنواع الجنس *Boletus*.



الشكل 10 – 27: الثمار الدعامية لبعض أنواع الجنس *Boletus*. (A) *B.badius* . (B) *B. edulis*. (C) *B. luridus* (سام)

ولا بد من الإشارة هنا إلى وجود الأنواع السامة التي تنتمي إلى فصائل مختلفة، لا يتسع المجال لدراستها، وسنعمد إلى ذكر أمثلة عنها نظراً للأهمية التي تكتسبها لما تسببه من تسممات كثيرة تؤدي بحياة العديد من الناس عند الاغتذاء عليها، ومن هذه الأنواع (الشكل 10 – 28):

Amanita muscaria: وهو عيش الغراب الذبابي Fly agaric، حيث أنه يجذب الذباب ويقتله في الحال، وقد استخدم مسحوقه كمبيد حشري في العهود القديمة، وتمتاز ثماره بقبعة ذات لون أصفر أو برتقالي أو أحمر زاهي، وتبدو مرقّطة. وهو شديد السمية، بسبب احتوائه على المادة السامة Muscarine، وتكفي الكمية الموجودة منها في ثمرة واحدة لقتل 10 – 12 شخصاً.

Amanita verna (*A. phalloides*) (*Amanita virosa*): (الملاك المهلك) وهو من أشدها فتكاً بالإنسان. لون الثمرة أبيض ناصع، ويحتوي على مادة الفالين Phallin (Haemolysin) التي تتفكك أثناء الطبخ، ومادتي Phalloidine و Amanitine لا تتأثران بالطبخ. ويكفي حوالي 10 ملغ من الأمانيتين لموت الإنسان.

الشكل 10 – 28: أنواع سامة من الجنس *Amanita* : *A. muscaria* (1) . *A. verna* (2)

ومن الأفضل عدم المجازفة في جمع هذه الفطريات وأكلها، وأفضل ما يجب القيام به هو جمع الفطريات ودراستها في المخابر المختصة للتعرف على السام منها واستبعاده، والمأكول منها للاحتفاظ به، وذلك بالاعتماد على المراجع والمصورات الاختصاصية والحيوانات التجريبية.

تحت صف الدعاميات غير المتجانسة أو المقسمة

Sub-class Heterobasidiomycetidae

= Phragmobasidiomycetidae

تشتمل هذه المجموعة (تحت- صف) على الفطريات التي تكوّن دعامات مقسمة عرضياً أو طولياً إلى أربع خلايا. و يتبعه ثلاث رتب هي: Tremellales، Auriculariales، و Septobasidiales.

يعيش أفراد الرتبتين الأوليتين معيشة رمية، بينما يعيش أفراد الرتبة الثالثة معيشة طفيلية أو يدخل بعض أفرادها في شراكة ميكوريزية، أو قد تكون طفيلية على الحشرات كالفطر *Septobasidum* sp.. تكون الثمار بشكل طبقات سميكة أو رقيقة أو بشكل وسائد .....الخ. الطبقة المخصبة واضحة أو قليلة الوضوح، وتكون الأبواغ الدعامية مقسمة بحواجز عند النضج أو بعد انطلاقها، وعندما تسقط الأبواغ في الماء، تنبت بطريقة البرعمة مكونة براعم صغيرة، وقد تعطي أنابيب نمو، أو زوائد ينطلق منها أبواغ ثانية.

رتبة الفطريات الأذنية Order Auriculariales

تضم هذه الرتبة أنواعاً تنتشر في كل مكان، وينتشر بعضها في المناطق الاستوائية رمية على الأغصان الميتة، ويتطفل قليل منها على البريويات والسراخس أو جذور النباتات الراقية، ويسبب الفطر *Helicobasidium purpureum* عفن الجذور البنفسجي لبعض النباتات المزهرة، ومنها ما يتطفل على الطحالب والسراخس.

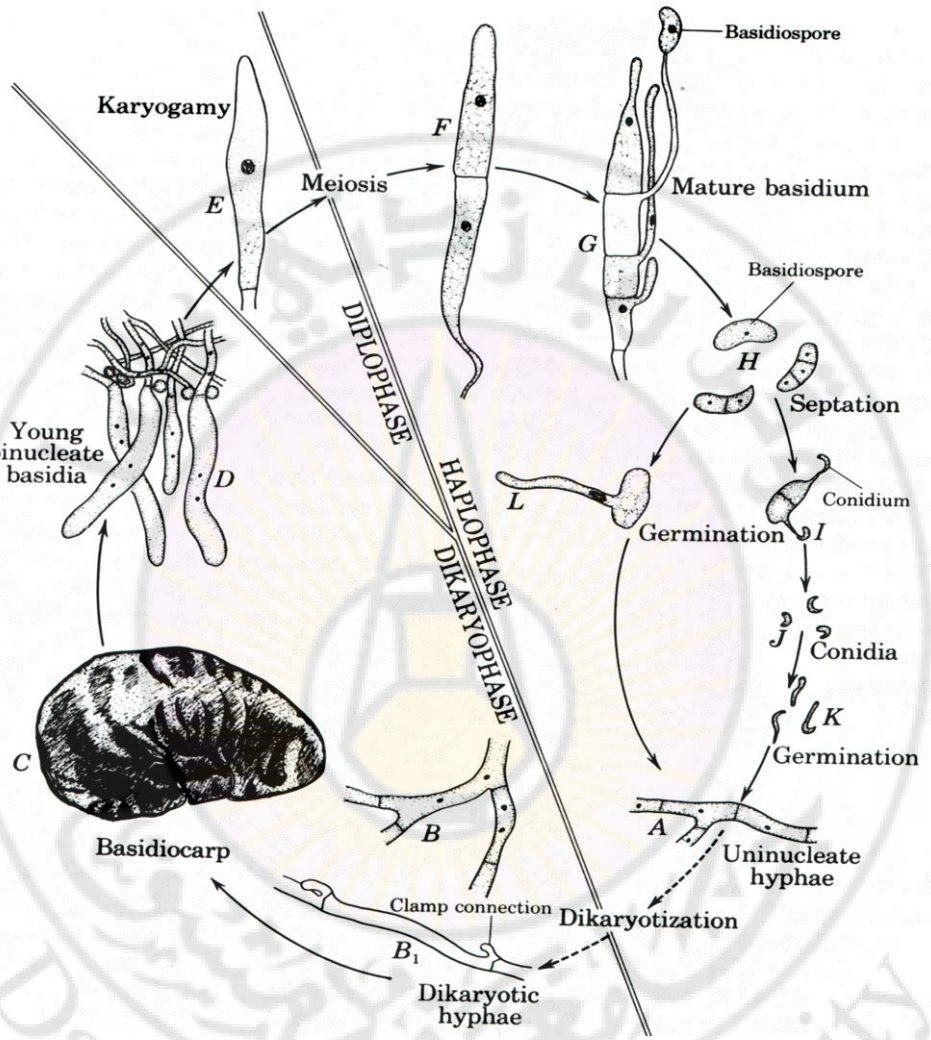
تمتاز أفراد هذه الرتبة بإنتاج دعامات مقسمة بحواجز عرضية لتصبح مكونة من أربع خلايا. ومن أنواعها *Auricularia auricula* الذي ينتشر بشكل كثيف فوق قطع

أغصـان البلـوط المتسـاقطة علـى أرض الغابـة فـي الفرنلـق. وينتشـر بكثـرة فـي الـبلاد الاسـتوائية. والثمـرة الدعاميـة بشـكل الأذن، وهـي مخاطيـة عنـدما تكـون رطبـة، وقرنيـة عندما تجف (الشكل 10 – 29). وبعض أنـواع هذا الجنس صـالحة للأكل. ويبين الشكل (10– 30) دورة حياة هذا الفطر.

الشكل 10 – 29: الثمار الدعامية للفطر *Auricularia auricula* . حيث يلاحظ توضع الثمار على شكل طبقات، وتأخذ الثمرة شكل الأذن.

رتبة سيبتوبازيديالس Order Septobasidiales

يعيش أفرادهـا إمـا متطفلـة أو مشـاركة علـى الحشـرات القشـرية Scale insects كـالفطر *Septobasidium fumigatum* إذ يكـون هذا الفطـر ملاجـئ وأنفـاق تمـر فيهـا الحشـرات مـن طبقـة إلـى أخـرى ضـمن مزرعـة الفطـر. وسـوف نبـين بنيـة الفطـر، وبنيـة المزرعة الفطرية المحتوية على الحشرات في الفصل المخصص لدراسة بيئة الحشرات.



الشكل 10 – 30: دورة حياة الفطر *Auricularia auricula*

A: خيط فطري خلاياه وحيدة النوى Uninucleate hyphae. B: خيط فطري ثنائي النوى Dikaryotic hyphae (Clamp connections وصلات خطافية). C: ثمرة دعامية Basidiocarp. D: دعامات فتية ثنائية النوى Young binucleate basidia. E: اندماج نووي Karyogamy. F: انقسام النوى Meiosis. G: دعامة ناضجة Mature basidium تحمل أبواغاً دعامية Basidiospores. H: أبواغ دعامية. I: إنبات البوغ الدعامي إلى أبواغ كونيدية Conidia. J: أبوغ كونيدية. K: إنبات الأبواغ الكونيدية إلى مشيجة. L: أنبات البوغ الدعامي مباشرة إلى مشيجة. (Alexopoulos & Mims, 1979).

تحت صف الفطريات الدعامية المتقسمة

Sub-class Teliomycetidae

يضم هذا التحت صف الفطريات المتطفلة والمعروفة كمسببات لأمراض الصدأ والتفحم ....الخ. وتضم 225 جنساً وحوالي 6200 نوعاً. ويعيش أفراد هذه المجموعة كطفيليات فوق أوراق وثمار وسوق النباتات المزروعة، وأحياناً على جذور بعضها، وتلحق بها أضراراً كبيرة وخسائر فادحة. وقد توجد رمية لزمن قصير في الطبيعة، ويمكن استنبات بعضها على الأوساط الغذائية أو المحاليل السكرية تحت الشروط المخبرية.

تمتاز هذه الدعاميات بعدم تكوينها للثمار الدعامية على الإطلاق. خيوط المشيجة مقسمة، ونميز هنا وجود المشيجة ذات الخلايا وحيدة النواة نصفية العدد الصبغي Monokaryotic، والمشيجة ثنائية النواة Dikaryotic.

وتمتاز هذه الفطريات أيضاً بمقدرتها على تكوين الأبواغ التيلية Teliospores (= Teleutospores) ثنائية النوى، غليظة الجدر، ملساء أو ذات تضاريس، داكنة اللون. تحافظ على الفطر خلال فصل الشتاء.

ويتم التكاثر اللاجنسي عند أفراد رتبة Ustilaginales المسببة لأمراض التفحم Smuts بواسطة الأبواغ الكونيدية (السبوريدات الثانوية Secondary sporidia) منجلية الشكل، عديمة اللون، تحتوي على نواة أو نواتين، وتتكوّن فوق حوامل قصيرة أو ما يشبه الزوائد، وتدعى بالأبواغ التكرارية Repeating spores لأنها تعطي عند إنباتها مشيجة تعيد بدورها تكوين الأبواغ وهكذا....، وتنشأ هذه الأبواغ الكونيدية في اغلب أفراد هذه الرتبة على مشيجة رمية وحيدة النواة (n).

أما عند أفراد الرتبة Uredinales المسببة لأمراض الصدأ Rust، فإن الأبواغ اليوريدية Urediospores تعتبر أبواغاً تكرارية ديكاريونية، وبناء على هذا تعتبر أبواغاً كونيدية حقيقية. ولا يوجد أبواغ تكرارية وحيدة النواة.

أما التكاثر الجنسي عند هذه الفطريات فإنه يتم عبر مرحلتين متتاليتين الأولى هي الاتحاد بين خليتين كل منهما وحيدة النواة نصفية الصيغة الصبغية (n)، ثم المرحلة الثانية والنهائية التي تتضمن اتحاد النواتين ضمن الخلية التيلية (أثناء عملية الإنبات) لتكوين النواة المضاعفة التي يليها الانقسام الميوزي وتشكل الأبواغ الدعامية.

تضم هذه المجموعة الرتبتين التاليتين:

1 – رتبة الفطريات المسببة لأمراض التفحم Order Ustilaginales

2 – رتبة الفطريات المسببة لأمراض الصدأ Order Uredinales

أولاً : رتبة فطريات التفحم Order Ustilaginales

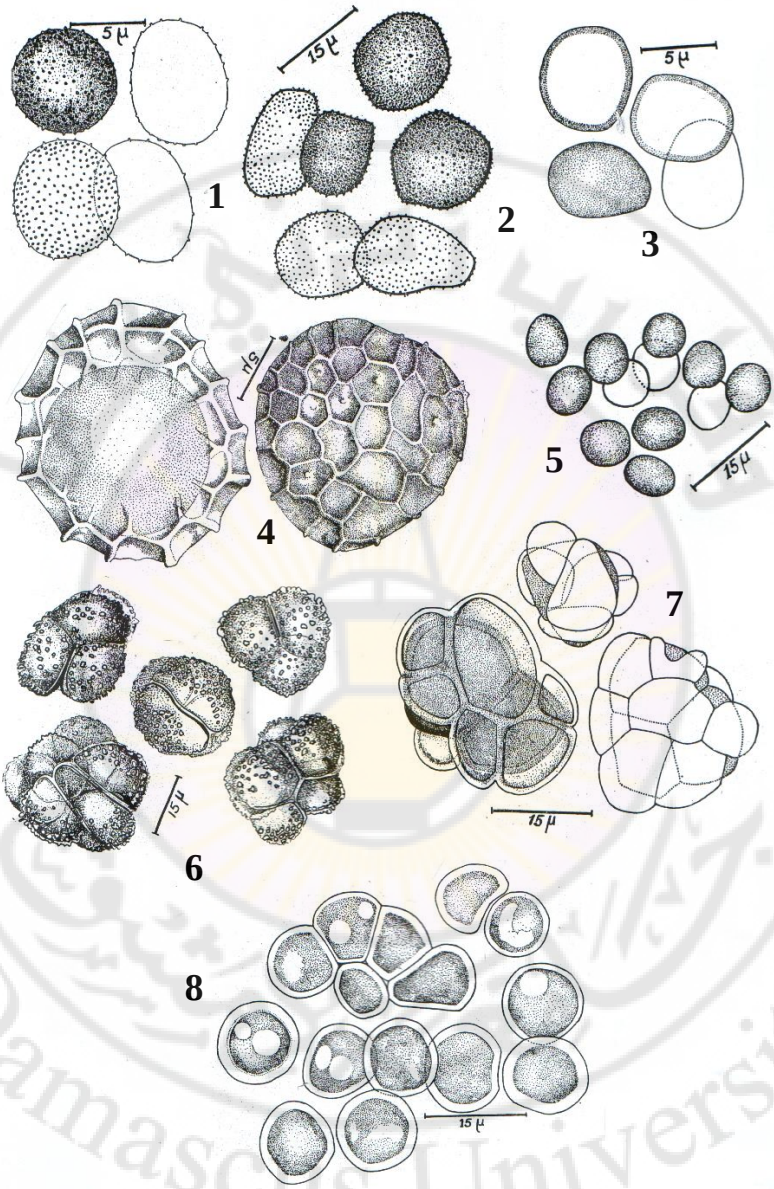
تضم الأنواع التي تسبب أمراض التفحم، وسميت بذلك لإنتاجها مسحوقاً أسوداً يشبه هباب الفحم، وهو عبارة عن الأبواغ الكلاميدية أو التيلية Teliospores التي تنشأ من مشائج الفطر المسبب للتفحم. وجميع فطريات التفحم متطفلة، وهناك أكثر من 1100 نوعاً من الفطريات تصيب نباتات تنسب إلى 75 فصيلة نباتية راقية. وينتشر أغلبها في كل أصقاع بلاد العالم حيث تنمو العوائل النباتية المضيفة. ولهذه الفطريات أهمية كبيرة لما تسببه من فاقد كبير في إنتاج محاصيل الغلال، ومن خسائر فادحة تصل إلى ملايين الدولارات، وقد كانت إلى جانب الأصدئة تسبب مجاعات إنسانية في العصور البائدة. وتشاهد الأجزاء المصابة بهذه الفطريات محروقة كالفحم، وقد سماها الفلاحون بالسُوّيد.

خصائص فطريات التفحم

معظم فطريات التفحم طفيليات إجبارية، وبعض أنواعها اختيارية، حيث تمكّن بعض الباحثين من استنبات الفطر *Ustilago* sp. فوق وسط غذائي صنعي وكذلك *Urocystis* sp. بدءاً من بوغ تيلي، كما ينمو ويتبوغ على مخلفات المحاصيل الميتة والمادة العضوية في الأرض، ويشار إليها بالخمائر الدعامية Basidiomycetous yeasts.

تنتشر المشيجة انتشاراً عاماً جهازياً Systemic في سائر أنسجة النبات المضيف ملازمةً للقمة النامية من بدء العدوى وتنمو معها كلما نما المضيف، وفي قلة من الفطريات تكون المشيجة موضعية Local في أجزاء مختلفة من المضيف. يكوّن الفطر الأبواغ في المضيف، حيث تنمو المشيجة بغزارة مكونة جدراً مستعرضة كثيرة، وتتجمع خيوط المشيجة التي تتكوّن من خلايا عديدة وقصيرة في كل منها نواتين (n + n)، ثم تتكثف الهيولى فيها وتتكور الخلية، ويتغلظ جدارها ويصبح لونه داكناً لتصبح هذه الخلية بوغاً يطلق عليها اسم الأبواغ التيلية Teliospores، وتسمى أيضاً الأبواغ المغطاة Chlamydospores. وتختلف هذه الأبواغ شكلاً وحجماً ولوناً حسب الأنواع (الشكل 10 – 31)، فمنها ما يكون أملساً أو شوكياً أو يبدي أشكالاً تضاريسية فيبدو تحت المجهر شبكياً بفعل الإنارة، ويحتوي الجدار الخلوي على صبغات تكسب البوغ لوناً يتدرج من البني الغامق إلى البنفسجي أو الأسود. تنفصل الأبواغ الكلاميدية عن بعضها، أو تبقى متجمعة وملتصقة ببعضها في أشفاع أو كتل أو كرات بوغية، فإما أن تكون كلها خصيبة أو تكون الأبواغ المركزية خصيبة ومحاطة بغلاف من خلايا عقيمة واقية.

والأبواغ التيلية هي أبواغ ساكنة تمضي فصل الشتاء وتحتفظ بحيويتها لفترة طويلة، ويعتبر إنبات هذه الأبواغ نمطاً من التكاثر الجنسي، فإذا توفرت شروط الإنبات، فإنها تعطي أنبوبة إنبات يطلق عليها اسم المشيجة الأولية Promycelium التي تقوم بوظيفة الدعامة Metabasidium، و تسمى أيضاً الدعامة الأولية Probasidium،



الشكل 10 – 31: نماذج مختلفة لأبواغ التفحم التيليه (الكلاميدية)

(1) الفطر *Ustilago maydis*. (2) *Sphaerotheca holi-sorghi*. (3) *Ustilago levis*. (4) *Tilletia caries*. (5) *Sphaerotheca cruenta*. (6) *Thecaphora hyaline*. (7) *Urocystis* (*Tubercinia*) *tritici*. (8) *Entyloma hyalina*.

ويجري في هذه الدعامة الاتحاد النووي ثم انقسام النواة المضاعفة انقسامين أو أكثر إحداهما اختزالي لتكوين أربع نوى نصفية الصيغة الصبغية تذهب إلى أربع خلايا تتكوّن فوق كل خلية من خلايا الدعامة، وينتج بذلك أربعة أبواغ دعامية أو سبوريدات أولية Primary sporidia، وأحياناً يكون العدد أكثر من ذلك بكثير، ويتم تحرر هذه الأبواغ بقوة، وتواجه هذه الأبواغ عدة احتمالات، فإما أن تنبت فتعطي مشيجة أولية (Primary mycelium) نصفية الصيغة الصبغية، أو يتحد بوغان دعاميان مختلفان بالطبيعة الجنسية أو من إشارتين مختلفتين لتصبح بشكل حرف H، وتتكوّن بذلك خلية جديدة ثنائية الصيغة الصبغية (n + n) تنمو إلى مشيجة ثانوية Secondary mycelium .

لا تُحمل الأبواغ الدعامية (السبوريدات الأولية) على رؤيسات Sterigmata عند الفطريات التابعة للرتبة Ustilaginales.

تضم رتبة فطريات التفحم فصيلتين: Ustilaginaceae و Tilletiaceae

الفصيلة Ustilaginaceae

تمتاز الفطريات التي تتبع هذه الفصيلة بدعاماتها المقسمة بوضوح، وتُحمل عليها الأبواغ الدعامية جانبياً أو قمياً، ومن أجناسها:

1 – الجنس *Ustilago*: الأبواغ التيلية مفردة لا يحيط بها أي غشاء. يضم هذا الجنس حوالي 400 نوعاً يتطفل معظمها على النباتات النجيلية مثل القمح والأرز والشعير و الشوفان والذرة البيضاء والصفراء وذرة المكانس وقصب السكر .... مسببة لها مجموعة من أمراض التفحم، ولها أهمية اقتصادية لما تسببه من فقد في المحصول قد يصل إلى 25 – 50 %، وانخفاض السعر ورداءة النوعية والخسائر المادية العظيمة. ومن أنواعه:

Ustilago avenae: يسبب مرض التفحم السائب على الشوفان

U. nuda: يسبب مرض التفحم السائب على الشعير.

U. tritici: يسبب مرض التفحم السائب على القمح.

U. maydis: يسبب مرض التفحم الشائع على الذرة الشامية.

U. hordei: يسبب مرض التفحم المغطى على الشعير.

U. nigra (*U. avenae*) ويسبب مرض التفحم نصف السائب على الشعير

2 – الجنس *Sphacelotheca*: تنشأ الأبواغ في المبايض، وتتكوّن كتلة بوغية محاطة بغشاء خاص يتكوّن من نسيج المضيف والفطر. ومن أنواعه:

Sphacelotheca sorghi: يسبب مرض التفحم المغطى على الذرة البيضاء.

S. cruenta: يسبب مرض التفحم السائب على الذرة البيضاء.

S. reiliana: يسبب مرض التفحم الرأسي على الذرة البيضاء.

3 – الجنس *Sorosporium*: توجد الأبواغ الفتية في كتل بوغية، ثم تتفكك عن بعضها وتصبح منفردة عند النضج، ومن أنواعه *S. saponareae* (*S. dianthi*) المسبب لمرض تفحم البراعم الزهرية في القرنفل.

4 – الجنس *Tolyposporium*: توجد الأبواغ التيلية أو الكلاميدية دائماً في كتل بوغية، والأبواغ خشنة الملمس، ومن أنواعه *T. ehrenbergii* المسبب لمرض التفحم الطويل في الذرة البيضاء.

الفصيلة التيليتية Family Tilletiaceae

يتصف أفرادها بوجود دعامة كاملة Holobasidium، وتحمل في قمتها عدداً من الأبواغ الدعامية يصل عددها من 8 – 16 بوغاً. الأبواغ الدعامية أو السبوريدات الأولية طويلة وخيطية الشكل، بينما تكون السبوريدات الثانوية منجلية الشكل.

أما الأبواغ الكلاميدية (التيلية) فتكون كروية، خشنة الملمس لوجود تضاريس تزيينية على سطوحها، وتشاهد عند الفحص المجهري شبكية المظهر بفعل الإضاءة. لونها بني فاتح ومفردة أو قد تكون داخل مجاميع أو كرات بوغية (Smut balls).

ومن أجناس هذه الفصيلة:

1 – الجنس *Tilletia*: ومن أنواعه *T. caries* و *T. foetida* المسببان لمرض التفحم المغطى على القمح ، وتكون الأبواغ التيلية منفردة.

2 – الجنس *Urocystis*: تتطفل أنواعه على أوراق وسوق النباتات كالقمح والشيلم والبنفسج والأنيمون ...الخ. حيث تتكوّن عليها البثرات التفحمية. وتوجد الأبواغ التيلية في كتل مركزها خلايا خصيبة داكنة اللون ويحيط بها خلايا شفافة عقيمة. ومن أنواعه *U. tritici* (*U. agropyri*) المسبب لمرض التفحم اللوائي على القمح .

طرائق حدوث الإصابة بفطريات التفحم

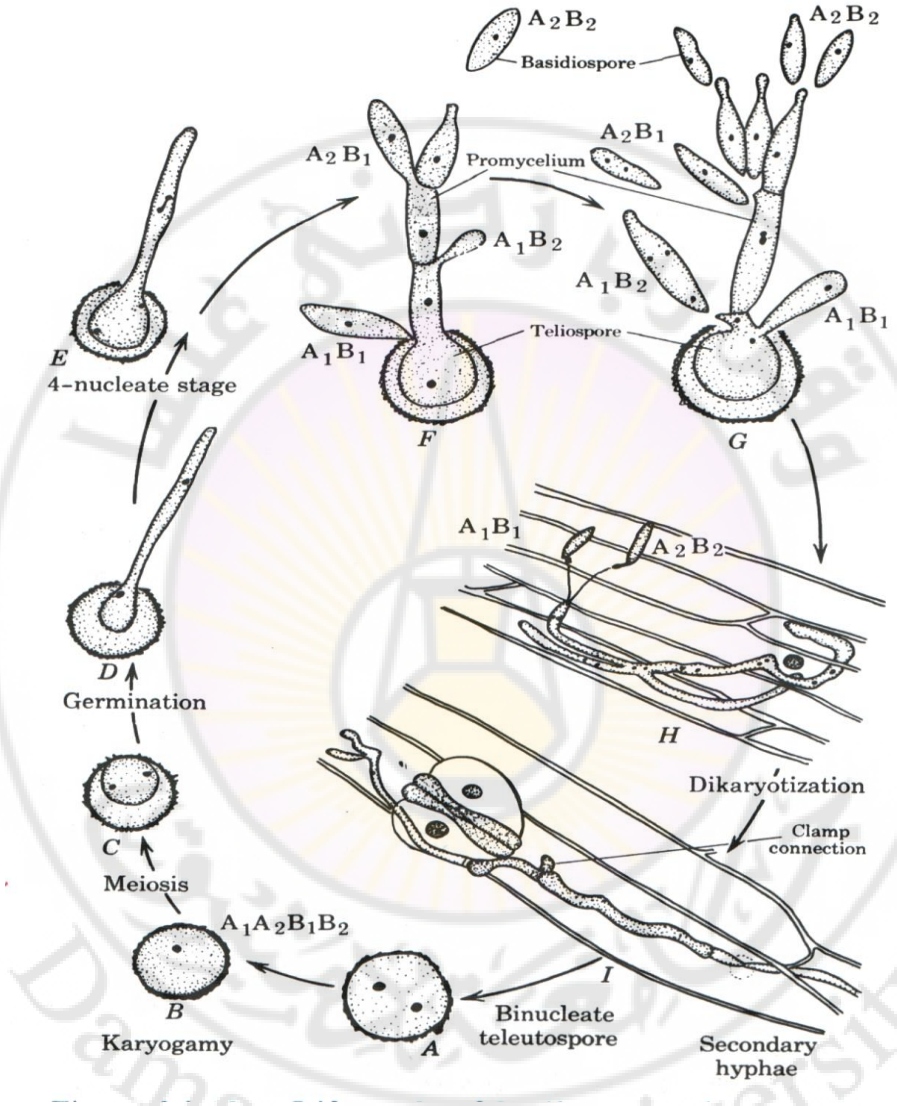
سنتمكن من الفحص العميق لبيولوجيا هذه الفطريات من خلال دراسة طريقة الإصابة أو مسار المرض، وتكشّف الأعراض، وظهور الأضرار. ومن طرائق الإصابة، إصابة الأزهار، وإصابة البادرات، والإصابة الموضعية، وسنتعرض لكل من هذه الإصابات.

1 – الإصابة الموضعية Local infection

تحدث الإصابة على الأجزاء الهوائية كالأوراق والبراعم الابطية والساق، والنورات الزهرية المذكرة والمؤنثة، وتنحصر الإصابة في النسج الفتية والنشطة. وعندما تسقط الأبواغ التيلية المحمولة بالهواء على أي جزء من النبات كما هي الحال في الفطر *Ustilago maydis*، يتم إنبات البوغ التيلي ثنائي الصيغة الصبغية الذي يترافق مع انقسام ميوزي ليعطي مشيجة أولية Promycelium (بمثابة الدعامة) مقسمة إلى 4 خلايا وحيدة الصيغة الصبغية (n). تنتج كل واحدة من هذه الخلايا على الأقل برعماً واحداً أو سبوريدا وهذا ما يعادل البوغ الدعامي. إذا تم التقاء خليتين متوافقتين

Compatible cells أي مختلفتين بالإشارة (+، -) مـن هـــذه الخلايا، يحدث اتحاد هيولي ويتشكل بذلك خلية ثنائية النوى، التي تعطي مشيجة ثانوية ثنائية النوى قادرة على مهاجمة النبات وإحداث الإصابة. ويمكن لهذه المشيجة أن تعطي أيضاً على سطح النبات أبواغاً كونيدية (سبوريدات ثنائية النوى) تؤمن انتشار الفطر لا جنسياً. ولا يتم الاتحاد النووي إلا داخل الأبواغ التيلية بعد تشكلها في الخريف، لتبقى ساكنة خلال الشتاء حتى الربيع التالي لتنبت وتعيد دورة الحياة من جديد (الشكل 10 – 32).

تنتشر المشيجة الثانوية بين الخلايا في منطقة الإصابـة، وترسـل ممصـات متفرعـة داخل خلايا المضيف أو قد لا تشكل ممصات، وفي هذه الحالة تبقى المشيجة بين الخلايا وتحصل على احتياجاتها الغذائية بواسطة الضغط الازموزي حيث أن ضغط المشيجة الازموزي أعلى من الضغط الازموزي لخلايا المضيف. تحفّـز المشيجـــة الثانويـــة Secondary mycelium خلايا المضيف في منطقة الإصابة على الانقسام الشاذ Hyperplasia، وتمتـاز الخلايا الناتجــة بزيادة حجمها Hypertrophy، مما يؤدي إلى تكوين أورام نباتية خضراء لامعة في منطقة الإصابة، وتختلف الأورام في أحجامها فمنها الصغيرة كحبات البندق وقد تصل إلى أحجام كبيرة جداً تزيد عن حجم البرتقالة. وبنية هذه الأورام بارانشيمية غضة تنتشر فيها المشيجة الفطرية، وقد تظهر هذه الأورام على العرانيس أو النورات الذكرية أو الأوراق أو السوق وقواعد السلاميات. تستمر المشيجة في التغذي والنمو على حساب خلايا الأورام، ثم تتحول جميع خلايا المشيجة إلى أبواغ كلاميدية (تيلية) ثنائية النوى كروية أو اهليليجية الشكل بلون أسود، وتبدي تزيينات شوكية على سطوحها الخارجية. تكون الأورام مغطاة بأغلفة غشائية رقيقة القوام، وعندما تتكوّن الأبواغ التيلية تجف الأغلفة الخارجية وقد تتهشم مؤدية إلى تحرر الأبواغ وانتشارها بالهواء، وعند سقوطها على أجزاء النبات، تنبت لتحدث إصابات جديدة كما أسلفنا. وقد تتساقط الأبواغ على التربة أو على بقايا النباتات، ويمكنها أن تحتفظ بحيويتها لعدة سنوات حتى تصبح الظروف مناسبة لإنباتها.



الشكل 10 – 32: دورة حياة الفطر *Ustilago maydis*

A: بوغ تيليتي ثنائي النوى Binucleate teleutospore. B: اندماج نووي Karyogamy. C: انقسام النوى Meiosis. D: إنبات البوغ التيليتي. E: مرحلة رباعية النوى 4-nucleate stage. F: تشكل المشيجة الأولية Promycelium المقسمة إلى أربع خلايا يحمل كل منها بوغاً دعامياً Basidiospore (سبوريدا Sporidium). G: أبواغ دعامية ناتجة عن إنبات بوغ تيليتي أخر. H: التقاء بوغين دعاميين مختلفين بالإشارة. I: مشيجة ثانوية ثنائية النوى (عن Alexopoulos & Mims, 1979) .

2 – إصابة الأزهار Blossom infection

تحدث الإصابة أثناء موسم إزهار النباتات النجيلية (القمح – الشعير .....الخ) حيث تنتشر الأبواغ التيلية في الحقل بواسطة الرياح، وقد يسقط بعضها على مياسم الأزهار عند تفتحها. تنبت هذه الأبواغ مكوّنة دعامة مؤلفة من عدة خلايا، ولا تتكوّن أبواغ دعامية، وإنما تتحد كل خليتين بانتقال محتوى إحداهما إلى الأخرى. وتحتوي الخلايا الناتجة على نواتين لتعطي مشيجة خلاياها ثنائية النوى تخترق المبيض وتتابع نموها داخل البذرة دون أن تخرب الجنين، وتبقى المشيجة ساكنة بعد نضج حبوب النجيليات، لذا عند الحصاد لا تبدي الحبوب المصابة أي أعراض تدل على إصابتها وتكون كالحبوب السليمة تماماً. عند زراعة هذه الحبوب في الموسم التالي، تتنشط البذور، وتنشط في نفس الوقت مشيجة الفطر الساكنة لتنمو وتنتشر ملازمة للقمة النامية حتى مرحلة ظهور السنابل حيث يكون الفطر قد أتى على كافة أجزاء السنبلة فحللها وهدمها وحصل على احتياجاته الغذائية منها، ولا يبقى من السنبلة المصابة إلا محورها فقط، إذ يستطيع الفطر هدم جميع العصافات والعصيفات والسفا. وتتحول المشيجة إلى كتلة من الأبواغ التيلية، ويخرج محور السنبلة وما عليه من بقايا السنبلة والأبواغ التيلية السوداء من إبط الأوراق قبل السنابل السليمة، فتتحرر هذه الأبواغ وتنتشر بالهواء لتحدث الإصابة من جديد. ويسمى المرض بالتفحم السائب Loose smut، ومن أمثلة ذلك التفحم السائب على القمح الذي يسببه الفطر *Ustilago tritici*.

3 – إصابة البادرات :

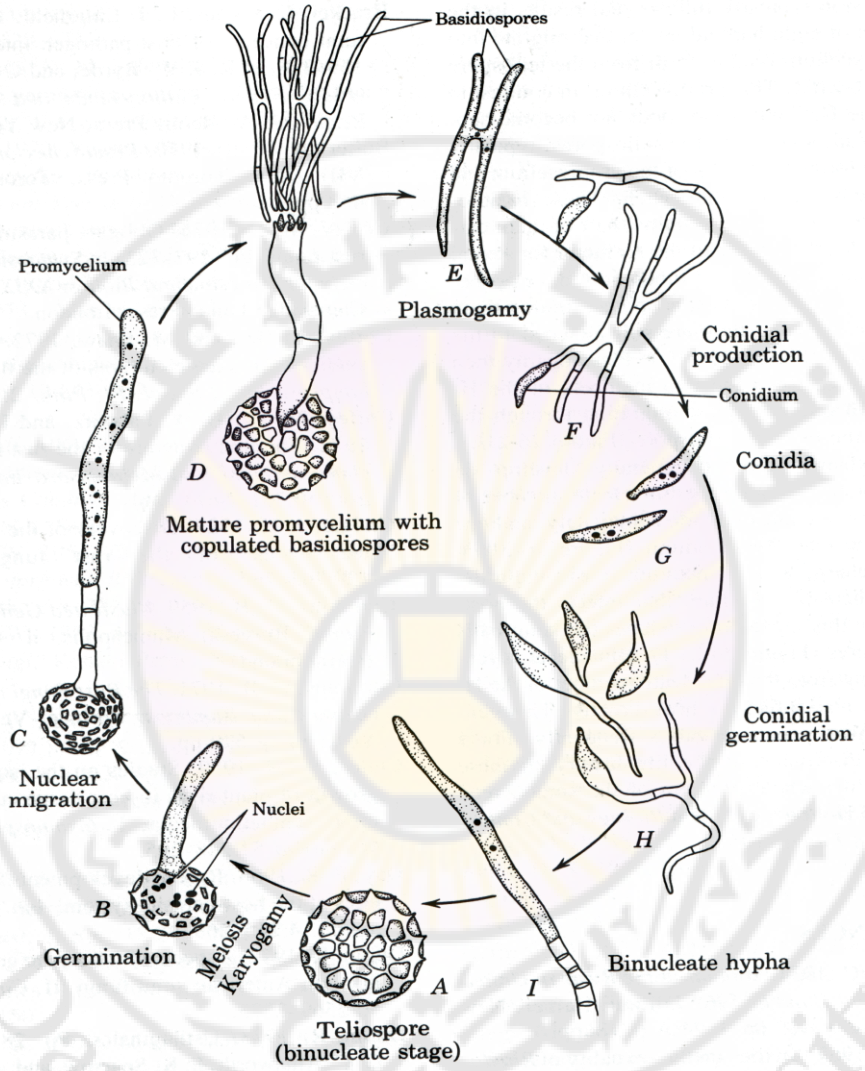
تحدث الإصابة عن طريق التربة أثناء نمو النبات، وسوف ندرس طريقة إصابة البادرات بالفطر *Tilletia caries* أو *T. foetida* المسببين لمرض التفحم المغطى أو التفحم النتن أو نخر حبوب القمح (الشكل 10 – 33). حيث توجد الأبواغ التيلية في التربة بعد الحصاد أو محمولة على سطوح بذور القمح، فبعد بذر الحقول، وعندما تتوفر شروط

الإنبات لحبوب القمح، تنبت الأبواغ التيلية أيضاً، ويعطي كل بوغ تيلي عادة مشيجة أولية Promycelium (دعامة)، ومن الممكن أن يخرج عدة مشائج أولية من بوغ تيلي واحد. تحمل الدعامة في قمتها السبوريدات الأولية Primary sporidia (أبواغ دعامية).

تكون السبوريدات الأولية خيطية بطول 64.4 – 78.8 ميكروناً وبعرض من 1.6 – 1.8 ميكروناً. ويمكن لهذه السبوريدات الأولية أن تنبت بالبرعمة لتعطي خلايا أو سبوريدات جديدة، ويمكن أن تنبت السبوريدات الأولية بشكل طرفي أو جانبي لتعطي مشيجة نصفية الصيغة الصبغية، التي يمكن أن تعطي بدورها سبوريدات ثانوية منجلية الشكل Falcate secondary sporidia بطول 11.9 – 13 ميكروناً تدفع بقوة، وهذه السبوريدات الثانوية يمكن أن تسلك نفس سلوك السبوريدات الأولية بإعطائها سبوريدات أخرى جديدة بشكل متكرر، أو تعطي مشيجة نصفية الصيغة الصبغية. وتجدر الإشارة إلى أن المشائج نصفية العدد الصبغي الناتجة عن إنبات السبوريدات الأولية أو الثانوية تكون ضعيفة وغير قادرة على إحداث الإصابة، ويمكنها أن تعطي أعداداً كبيرة من السبوريدات الثانوية وحيدة النواة و منجلية الشكل، وأحياناً قد تعطي عدداً قليلاً من السبوريدات الثانوية الخيطية Secondary filiform sporidia .

تستطيع السبوريدات الأولية أو الثانوية أن تتزاوج مكونة أنبوبة صغيرة بينها تمر فيها محتويات البوغ الواحد إلى الأخر، ولكن دون أن يحدث اندماج نووي، ويتشكل بذلك خلية ثنائية النوى. ولا يحدث التزاوج إلا بين خليتين (سبوريدات) من إشارتين مختلفتين (+ و -). تنمو هذه الخلية ثنائية النوى (الديكاريونية) لتعطي مشيجة مضاعفة النوى، وهي فقط القادرة على إحداث الإصابة.

تخترق المشيجة القمة النامية لبادرات القمح وهي مازالت تحت سطح التربة، وتنمو داخل أنسجة البادرة، وتنتشر بين خلاياها ويزداد نموها حتى وقت تكوين السنابل، حيث تهاجم حبات القمح وتتطفل عليها، وتتغذى على حساب محتويات الحبة الغذائية، ولا يبقى منها إلا أغلفتها، ويزداد نموهـا وتتفرع خيوطها لتمتلئ الحبـة بالمشيجـة الفطريـة التي



الشكل 10 – 33: دورة حياة الفطر *Tilletia caries* .

A: بوغ تيليتي ثنائي النوى Binucleate teliospore. B: إنبات البوغ التيليتي بعد حدوث الاندماج النووي Karyogamy متبوعاً بانقسام ميوزي Meiosis. C: هجرة النوى إلى المشيجة الأولية Promycelium. D: أزواج من الأبواغ الدعامية Basidiospores محمولة على المشيجة الأولية. E: اندماج هيولي Plasmogamy. F: إنتاج أبواغ كونيدية Conidia. G: أبواغ كونيدية. H: إنبات الأبواغ الكونيديةConidial germination. I: مشيجة مضاعفة النوى. (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

مازالت ثنائية النوى، ثم تتحول جميع خلايا المشيجة في نهاية الموسم إلى أبواغ تيلية سوداء دهنية الملمس، ولها رائحة كريهة تشبه رائحة السمك المتعفن، فقد تحتوي الحبة المصابة على حوالي 6 – 9 مليون بوغ تيلي. وإذا هشمت الحبة خرج منها مسحوق أسود غامق أو مائل للون البني هي الأبواغ التيلية.

وليس من السهل لغير المختصين تمييز السنابل السليمة من المصابة إلا بعد درسها باليد. ويمتاز الحقل المزروع بالقمح المصاب بهذا المرض برائحة كريهة هي رائحة تري ميتيل أمين (Tri-methyl amine) وهي مادة سامة إن وجدت بنسبة عالية في دقيق القمح، وإن التغذية على الخبز الناتج منها تسبب تسممات غذائية.

تصبح الحبة المصابة ضامرة، قصيرة ومكورة، بلون بني غامق أو رمادي بعكس حبات القمح السليمة الذهبية اللون. تتحرر الأبواغ التيلية أثناء الحصاد والدراس لتسقط على التربة أو تبقى على بقايا المحصول في الحقل والبيدر، أو تختلط مع البذار السليم أثناء الدراس والتذرية. ومن هنا فإن التربة من جهة، والبذار الملوث من جهة أخرى هما المصدران الأساسيان للعدوى في الموسم التالي.

يلاحظ مما سبق أنه لا توجد أعضاء جنسية عند فطريات التفحم، وبالرغم من ذلك تتعاقب في حلقة تطور الفطريات المسببة لأمراض التفحم، من الناحية السيتولوجية، المراحل التالية:

1 – مرحلة وحيدة النواة (Monokaryon) نصفية الصيغة الصبغية (Haploid)، قصيرة الزمن وتتمثل بالسبوريدات الأولية (الأبواغ الدعامية) والسبوريدات الثانوية (البراعم الكونيدية) والمشائج الناتجة عن إنباتها.

2 – مرحلة ثنائية النوى (Dikaryon) نصفية الصيغة الصبغية، طويلة العمر، وتبدأ من تزاوج السبوريدات وتشكيل المشيجة الثانوية بما في ذلك السبوريدات التي يمكن أن تتشكل على هذه المشيجة، حتى اتحاد النوى في الأبواغ التيلية.

3 – مرحلة وحيدة النواة مضاعفة الصيغة الصبغية (Diploid) التي تتمثل بالبوغ التيلي اعتباراً من اتحاد نواتيه حتى حدوث الانقسام المنصف للنواة.

وتدل الدراسات المعمقة على أن النوع الفطري الواحد من فطريات التفحم يتكوّن من عدد من الطرز الحيوية Biotypes، يستطيع كل منها إصابة عدد محدد من النباتات.

ثانياً : رتبة فطريات الصدأ Order Uredinales

فطريات متطفلة على عدد كبير من النباتات التي تنتمي إلى العديد من الفصائل النباتية المتنوعة. وفطريات الصدأ- بعكس العوامل الممرضة الأخرى التي تميل إلى إصابة النباتات الضعيفة التي تعاني من سوء التغذية – تهاجم السراخس و النباتات القوية والجيدة النمو الحولية منها والمعمرة، أكانت محاصيل زراعية أو خضار أو نباتات زينة وأشجار غابات من جنبات وجنيبات وكذلك أشجار الفاكهة، ويتطفل بعضها على الحشرات. وفطريات الصدأ واسعة الانتشار، كثيرة التنوع، وشديدة الأهمية الاقتصادية لما تسببه من أضرار فادحة، فقد يصل الفقد إلى الضياع التام للمحصول، ومن الأمثلة على ذلك مرض صدأ شجرة البن الذي قضى على زراعة البن في جزيرة سيلان، واضطر الإنسان أن يستعيض عن زراعتها بإحلال زراعة الشاي.

الصفات العامة General characteristics

- سميت بفطريات الصدأ نسبة إلى اللون البني الأحمر والمائل إلى البرتقالي أو الأصفر للبثرات والأبواغ اليوريدية.

- تمتاز هذه الفطريات أيضاً بأن الحاجز Septum غير معقد كما هي الحال عند الفطريات كاملة الدعامة Holobasidiomycetidae، إذ يشبه ببنيته الحاجز عند الفطريات الزقية.

- لا تكوّن فطريات الصدأ ثماراً دعامية، وتتم التحولات النووية في الأبواغ التيليتية.

- تنتشر المشيجة بين خلايا المضيف Intercellular، وترسل بداخلها ممصات للحصول على احتياجاته الغذائية، وتتباين هذه الممصات في أشكالها باختلاف الفطريات، كما تبيّن أن بإمكان بعض هذه الفطريات التطفل داخلياً Intracellular. ويخترق الممص الخلية بواسطة دبوس الاختراق ليصبح على تماس مع الهيولى محاطاً بغمد أو كبسولة، حيث لا يؤدي دخوله إلى الخلايا إلى ثقب أو كسر في الهيولى.

- بالرغم من أن جميع فطريات الصدأ هي فطريات إجبارية التطفل، إلا أنه أمكن تنمية بعضها على مزارع في المختبر.

- تعدد الأطوار البوغية: وهي ظاهرة تنفرد بها فطريات الصدأ عن غيرها من مجموعات الفطريات الأخرى. إذ تمر دورة حياة الصدأ النموذجية بخمسة طرز مختلفة من الأبواغ في تعاقب محدد، ولكل منها بنية ووظيفة مميزة تماماً. وهذه الأطوار هي :

- الطور البكني أو الاسبرموغوني Spermogonial stage، ويحتوي على الأوعية البكنيدية والأبواغ الاسبرموغونية (التي تسلك سلوك النطاف Spermatia) وخيوط استقبال. وهذه الأبواغ نصفية الصيغة الصبغية.
- الطور الأسيدي Aecial stage، ويحتوي على أوعية أسيدية وأبواغ أسيدية Aecidiospores (Aeciospores)، وهي أبواغ غير متكررة، وثنائية النوى وحيدة الصيغة الصبغية، حيث ينتج عنها البثرات اليوريدية.
- الطور اليوريدي Uredinial stage، ويحتوي على البثرات اليوريدية والأبواغ اليوريدية Urediospores (Uredospores) ثنائية النوى.
- الطور التيليتي Telial stage، ويحتوي على البثرات التيليتية والأبواغ التيليتية Teliospores (Teleutospores)، وهي أبواغ مضاعفة النوى في البداية ثم تصبح ثنائية الصيغة الصبغية بعد الاندماج النووي، حيث تنبت إلى دعامة تحمل أبواغاً دعامية، والدعامة هي من نوع الدعامة الأولية.

- الطور الدعامي Basidial stage، ويحتوي على الأبواغ الدعامية Basidiospores نصفية الصيغة الصبغية Haploid، وتتكون على الدعامات.

إلا أن الكثير من فطريات الصدأ لها دورة حياة مختزلة، وذلك بغياب واحد أو أكثر من الأطوار البوغية.

- يتناوب في دورة حياة فطريات الصدأ نوعان من المشائج: الأولى مقسمة وخلاياها وحيدة النواة، والمشيجة الثانوية ثنائية النوى. ويشكل الطور ثنائي النوى الجزء الأكبر من دورة الحياة لأنه يستمر عبر الأطوار البوغية الأسيدية واليوريدية، وحتى نضج الأبواغ التيليتية حيث يحدث الاتحاد النووي.

ولفطريات الصدأ ثلاثة نماذج أساسية لدورة الحياة هي: دورة حياة كاملة Macrocyclic تتضمن جميع الأطوار البوغية، ودورة حياة نصفية Demicyclic يغيب فيها الطور اليوريدي، ودورة حياة قصيرة Microcyclic يغيب فيها الطوران الأسيدي واليوريدي، إذ تحتوي فقط على الطور التيليتي. وقد تغيب الأوعية السبرموغونية في أي نمط من دورات الحياة ولكنها غائبة دائماً في دورة الحياة القصيرة. ويكون الصدأ إما مختلف المساكن أو المضيفات Heteroecious وله مضيفات مناوبة حيث تتكوّن الأوعية الأسيدية على نبات مختلف عن النبات العائل الذي تظهر عليه البثرات التيليتية، وإما ذاتية المساكن أو وحيدة المضيف Autoecious وليس له مضيفات مناوبة حيث تتكشّف الأوعية الأسيدية والتيليتية على نفس النبات المضيف. ويعتقد بأن دورة حياة الصدأ الكاملة وتناوب العوائل هي الدورة الأصلية وقد انحدرت منها الدورات القصيرة والمختزلة.

تبدي بعض أنواع الصدأ اختلافات في دورة حياتها ولكنها تظهر متقاربة جداً ومتشابهة فتدعى الأنواع المتقاربة Correlated species ومن المتفق عليه انحدار الأنواع ذات دورة الحياة المختزلة من الأنواع ذات الدورة الكاملة عبر العملية التطورية.

وعندما تختزل دورة حياة كاملة وطويلة لنوع ما إلى دورة حياة قصيرة، هناك قاعدة أو مبدأ يعتمد على مسكن الطور التيليتي المتماثل ويدعى ذلك قانون Tranzschel ومعناه إذا كان الطور التيليتي في أنواع دورة الحياة القصيرة أو المختزلة يتشارك مع بعض الأنواع نفس مسكن الطور الأسيدي لأنواع ذات الدورة الطويلة أو الكاملة، فالنوعان متقاربان من الناحية التطورية . فعلى سبيل المثال، يعطي الفطر *Puccinia coronata* ذو الدورة الكاملة أطواره اليوريدية والتيليتية على نبات الشوفان وطوره الأسيدي على نبات الرامانوس (السوّيد) Rhamanus. ويعطي الفطر *P. mesnieriana* ذو الدورة المختزلة طوره التيليتي على نبات السوّيد، وتتشابه الأبواغ التيليتية لكلا النوعين بوجود نتوءات إصبعية على قممها، مما يدل على أن الفطرين كانا نوعاً واحداً.

تقسم فطريات الصدأ حسب عدد الأطوار البوغية وتعاقب المضيفات إلى :

1 – فطريات ذات دورة حياة كاملة مختلفة المضيفات Heteromacrocyclic rusts

يوجد في دورة حياة أفرادها جميع الأطوار الخمسة، ومن أمثلتها الفطريات التالية:

- *Coleosporium asterum* المسبب لصدأ أوراق الصنوبر.
- *Cronartium ribicola* المسبب للصدأ الأبيض البثري على الصنوبر.
- *Puccinia graminis* المسبب لصدأ الساق الأسود على القمح

2 – فطريات ذات دورة حياة كاملة وحيدة المضيف Automacrocyclic ومن أمثلتها:

- *Phragmidium macronatum* المسبب لصدأ الورد.
- *Puccinia helianthi* المسبب لصدأ عباد الشمس.
- *Uromyces appendiculatus* المسبب لصدأ الفول.

3 – فطريات ذات دورة حياة نصفية متباينة المضيفات Heterodemicyclic

يغيب فيها الطور اليوريدي، ومن أمثلتها :

- *Gymnosporangium juniperi-virginianae* المسبب لصدأ التفاح.

4 – فطريات ذات دورة حياة نصفية وحيدة المضيف Autodemicyclic rusts

- *Arthuriomyces peckianus* المسبب لصدأ البرتقال والزعرور.

5 – فطريات ذات دورة حياة مختزلة Microcyclic rusts

يعتبر الطور التيليتي هو الطور ثنائي النواة الموجود في هذه الدورة، ومن أمثلتها:

- *Coleosporium pinicola* المسبب لصدأ أوراق الصنوبر
- *Puccinia malvacearum* المسبب لصدأ الخبيزة والختمية.

علاقة فطريات الصدأ بالنبات المضيف Host-Rust Relationship

تتمتع فطريات الصدأ بطيف واسع في التطفل على نباتات محددة أو مجاميع نباتية، فمثلاً تستطيع أنواع تتبع الجنس *Puccinia* والجنس *Uromyces* من التطفل على نباتات تنتمي إلى فصائل مختلفة، في حين تميل أنواع عديدة لأجناس فطرية مختلفة إلى التخصص في تطفلها على أنواع محددة من المضيفات النباتية فما يصيب نبات معين لا يصيب نباتاً آخر، ولعل من الملفت للانتباه مقدرة الكثير من العوامل الممرضة على تكوين سلالات فيزيولوجية Races لنفس النوع، وقد يحدث ذلك تحت ضغوط بيئية أو كيميائية أو حيوية أو غير ذلك، مما يستلزم الاستمرار ببرامج التربية لانتخاب أصناف نباتية مقاومة للسلالات الجديدة من العوامل الممرضة.

وتساعد العلاقة بين الصدأ والمضيف في تصنيف بعض الأجناس الفطرية، فإذا شاهدنا مثلاً صدأ على أوراق الصنوبر فالفطر المسبب هو أحد أنواع الجنس

Cronartium، وإذا ظهر الصدأ على العرعر أو أحد الأنواع القريبة منه فالفطر من أنواع الجنس *Gymnosporangium*، وإذا ظهر الصدأ على ساق الصنوبر فالفطر من أنواع الجنس *Coleosporium*. ويفيد تحديد العوائل في المساعدة في التعريف بالصدأ ولكنه من المهم الانتباه جداً إلى دراسة الصفات المورفولوجية للفطر في نفس الوقت.

اعتمد العلماء إضافة إلى ذلك أسساً تصنيفية لفطريات الصدأ اعتمدت على شكل البوغ التيليتي وعدد خلاياه ومكان نشوئه على النبات المضيف، إضافة إلى الصفات المورفولوجية للأوعية الأسيدية.

دورة حياة الصدأ النموذجية

سندرس دورة حياة الفطر *Puccinia graminis tritici* الذي يصيب نبات القمح ونجيليات أخرى بمرض صدأ الساق الأسود كمثال لدورة حياة نموذجية لفطريات الصدأ، حيث يتطفل هذا الفطر إجبارياً على مضيفين ينتميان لفصيلتين لا يوجد أية قرابة بينهما. إذ يكوّن الفطر الطور البكني أو الاسبرموغوني والطور الأسيدي على نبات البربريس *Berberis vulgaris* وهو قليل الضرر ويسمى بالمضيف المناوب Alternative host، بينما يكوّن الفطر الطور اليوريدي والطور التيليتي على نبات القمح وهو العائل أو المضيف الرئيسي. وتتكون دورة حياة الفطر من خمسة أطوار هي:

أولاً : الطور البكني أو السبرموغوني Spermogonial or Pycnial stage

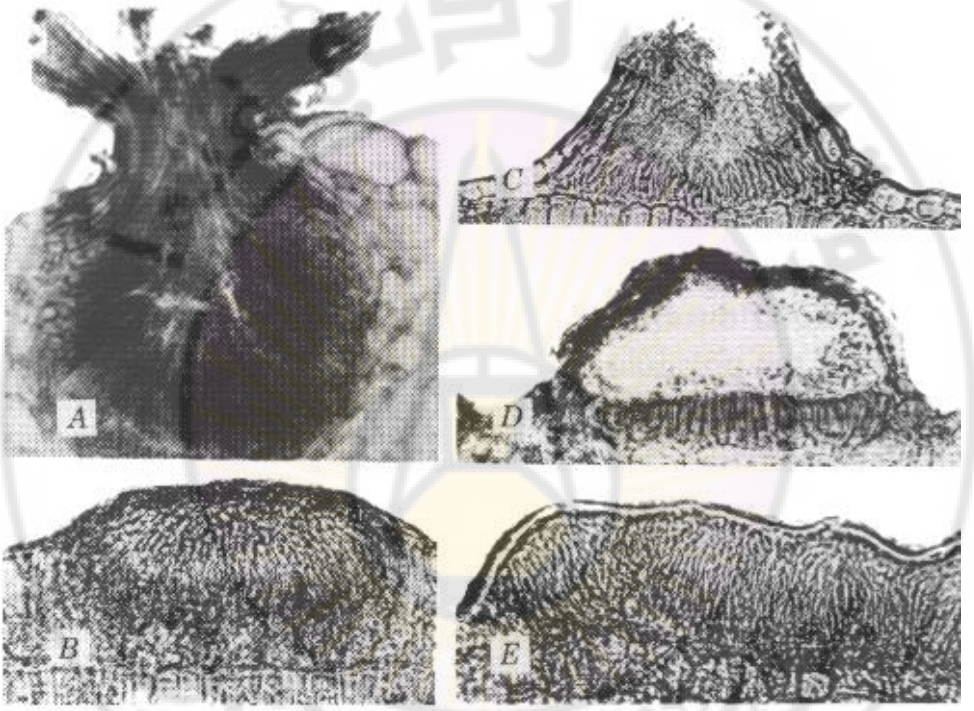
تنتشر الأبواغ الدعامية، وتنتقل بواسطة الهواء أو الحشرات إلى نبات البربريس، وعندما تسقط على الأوراق أو الأجزاء النباتية، ومع توفر الظروف الجوية المناسبة من رطوبة وحرارة، تنبت وتعطي أنبوبة إنبات تخترق مباشرة بشرة السطح العلوي للورقة أو الأنسجة الفتية من نبات البربريس الشائع، ثم تنمو وتستطيل وتتشعب

لتعطي مشيجة نصفية الصيغة الصبغية، تنتشر بين الخلايا وتتطفل على الأنسجة النباتية وتحصل على احتياجاتها الغذائية بواسطة ممصات ترسلها داخل الخلايا، ثم تميل المشيجة إلى التجمع تحت البشرة لتكوين ما يشبه الستروما التي تتغير بنيتها وتتمايز لتكوّن بعد 4 أيام تقريباً وعاءاً مميزاً يدعى الوعاء السبرموغوني أو المنطفي Spermogonium أو الوعاء البكني Pycnium. ولهذا الوعاء نفس الإشارة الوراثية للبوغ الدعامي الذي نشأ منه أي أن هناك أوعية موجبة وأوعية سالبة.

يتكوّن الوعاء البكني أو المنطفة من غلاف ذي بنية نسيجية شبه بارانشيمية من الخيوط الفطرية، تبطنه من الداخل طبقة مولدة للحوامل البوغية التي تعطي الأبواغ السبرموغونية أو البكنية Pycniospores، والتي تتجمع في الجوف، وهي أبواغ وحيدة الخلية أحادية النواة وأحادية الصيغة الصبغية، وهي غير قادرة على إحداث إصابة ثانية، وتسمى بالنطاف. وللوعاء البكني فتحة ضيقة أو فوهة يخرج منها باقة من الخيوط الفطرية العقيمة، وخيوط أخرى تسمى الخيوط المستقبلة Receptive hypha التي تنشأ من طبقة الحوامل البوغية، ولها دور هام حيث أنها تلعب دور الأعراس المؤنثة، إذ تستقبل النطاف أو الأبواغ البكنية التي تقوم بدور الأعراس أو النطاف المذكرة، والتي تنتقل إليها من أوعية بكنية أخرى مخالفة بالإشارة.

تفرز الأوعية البكنية سائلاً رحيقياً حلو المذاق وله رائحة الجيف، يجذب الحشرات وبخاصة الذباب، حيث تعلق الأبواغ البكنية أو السبرموغونية على زوائد أجسام الحشرات مما يسهل انتقال الأبواغ البكنية الموجبة إلى الخيوط الفطرية المستقبلة في وعاء بكني سالب الإشارة، وبالعكس. فعندما يصل البوغ البكني إلى خيط استقبال مخالف له بالإشارة، تزول الجدر عند نقطة التلامس وتندفع محتويات البوغ البكني داخل خيط الاستقبال، فيحدث الاتحاد الهيولي، وتنتقل النواة الجديدة من خلية إلى أخرى حتى تصل عبر خيط الاستقبال إلى الخلية القاعدية، لتصبح هذه الخلية ثنائية النوى، والتي ستنقسم وتنمو لتعطي المشيجة الثانوية، وهكذا ينتهي الطور وحيد النواة ويبدأ الطور ثنائي النوى.

وتجـدر الإشـارة إلـى وجـود تغيـرات فـي الصـفات الشـكلية للأوعيـة البكنيـة أو الاسبرموغونية، وتفيد في التصنيف، فالبكنيد قد لا يكون بشكل كؤيس صغير (وعاء)، بل قد يتسطح ويصبح بشكل طبقة (الشكل 10 – 34).



الشكل 10 - 34: بعض النماذج من الأوعية البكنية أو السبرموغونية.

(A) وعاء بكني للفطر *Uromyces euphorbiae*، الطبقة الخصيبة محدبة بشدة، وتوضع تحت البشرة. (B) وعاء بكني اسبرموغوني للفطر *Gerwasia rubi*، الطبقة الخصيبة مسطحة، وتوضع داخل البشرة. (C) وعاء اسبرموغوني للفطر *Cystomyces costaricensis*: الطبقة الخصيبة سطحية، توضع تحت البشرة، ووجود الغلاف Peridium. (D) وعاء اسبرموغوني للفطر *Arthuria catenulata*، الطبقة الخصيبة مسطحة، توضع تحت الكيوتيكل، وغلاف متطور جداً. (E) وعاء اسبرموغوني للفطر *Phragmidium barnardi*، نمو غير محدد، وتوضع داخل البشرة. (Alexopoulos & Mims, 1979)

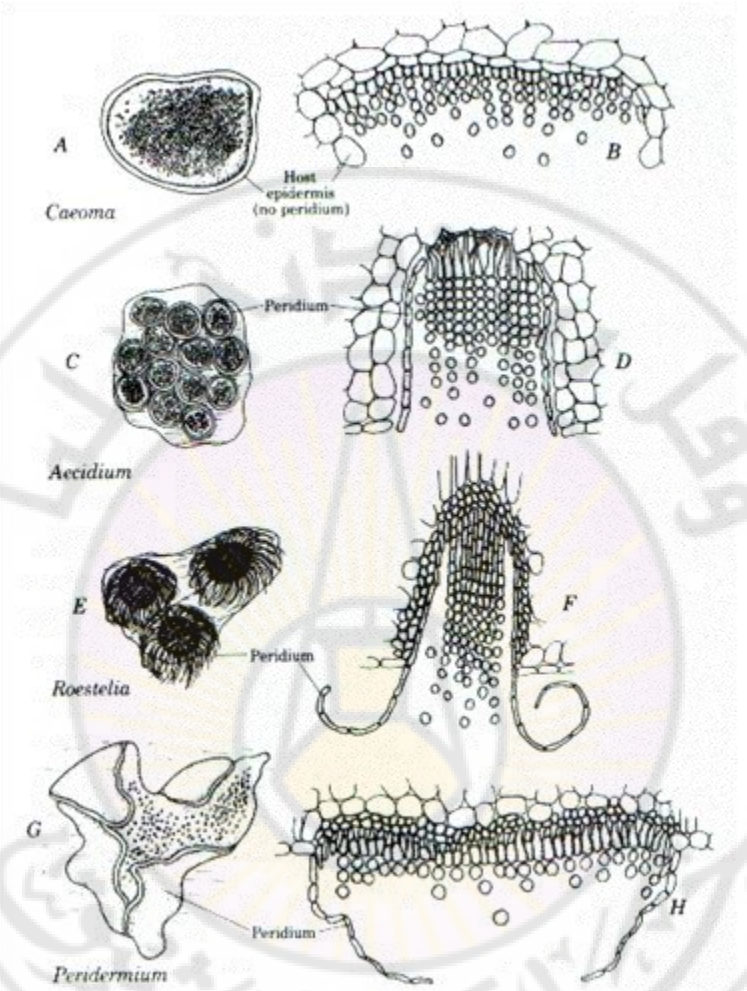
ثانياً : الطور الأسيدي Aecial stage

تتابع المشيجة الثانوية نموها أفقياً وعمودياً بين خلايا الورقة باتجاه البشرة السفلية. ثم تتجمع الخيوط الفطرية على شكل كبّة، يحدث لخلاياها القميّة تمايزاً وتخصصاً، لتصبح خلايا أميّة Mother cells أو خلايا مولّدة، ذات نواتين، يحيط بها غلاف جيد النسج والحبك من الخيوط الفطرية. تنقسم الخلايا المولّدة انقسامات عادية عديدة لتعطي كل منها سلسلة من الخلايا البنات التي تماثل أمهاتها تماماً وتسمى الأبواغ الأسيدية Aecidiospores، وهي برتقالية اللون ثنائية النوى (n + n)، ويسمى هذا التركيب الإثماري بالأوعية الأسيدية Aecia (ومفردها Aecidium) المملوءة باكتظاظ بسلاسل من الخلايا ثنائية النوى، التي تنفصل عن بعضها بخلايا فاصلة Intercalary or disjunctor cells. ولا تلبث هذه الأبواغ أن تنفصل عن بعضها البعض بعد انفجار الأوعية الأسيدية وتمزق الجدار وتحلل الخلايا الفاصلة، ثم تنتقل الأبواغ الأسيدية بالتيارات الهوائية إلى نباتات القمح (المضيف الرئيس) وغيره من النجيليات لتصيب السوق وأغماد الأوراق، ولا يمكن لهذه الأبواغ إصابة نبات البربريس. كما وتمتاز الأبواغ الأسيدية بمقدرتها على الاحتفاظ بحيويتها لمدة طويلة وتحمل الظروف الصعبة أثناء الانتقال إلى مسافات بعيدة.

وللوعاء الأسيدي أشكال متباينة، فقد يكون مدوراً أو متطاولاً ويتمزق غلافه Peridium إلى قطع صغيرة فيدعى Peridermium، أو يتسطح وينفتح بشق طولي فيدعى Roestelia، أو يتسطح دون أن تظهر الخيوط العقيمة بين حوامل الأبواغ فيدعى Caeoma (الشكل 10 – 35).

ثالثاً : الطور اليوريدي Uredial stage

تنتقل الأبواغ الأسيدية بواسطة التيارات الهوائية، وعند وصولها إلى المضيف الرئيس النجيلي (القمح مثلاً)، وعند توفر شروط الإنبات، تنبت على السوق وأغماد



الشكل 10 – 35: أربعة طرز من الأوعية الأسيدية (عن Alexopoulos & Mims, 1979)

الأوراق معطية أنبوبة إنبات تخترق البشرة من خلال الثغور أو المسامات، ثم تنمو إلى مشيجة ثانوية ديكاريونية تنتشر بين خلايا نسيج الميزوفيل، وهي مشيجة مقسمة بجدر عرضية، وتحتوي كل خلية على نواتين. تأخذ المشيجة بعد 10 – 15 يوماً من الإصابة بالتجمع وتكوين تركيبات إثمارية مطرحية Acervulus، يحدث لها تمايز فتتخصص الخلايا العلوية والسطحية لتكوين طبقة من الحوامل البوغية والأبواغ تحت بشرة

المضيف، وتسمى بالبثرة اليوريدية Uredium، وتشاهد هذه البثرات على سوق وأغماد الأوراق كفتحات عدسية الشكل بلون بني مائل للأحمر. تتجمع الأبواغ اليوريدية Urediospores تحت بشرة المضيف، مما يحدث ضغطاً عليها ويؤدي إلى تمزقها وتحرر الأبواغ اليوريدية وانتشارها في الهواء.

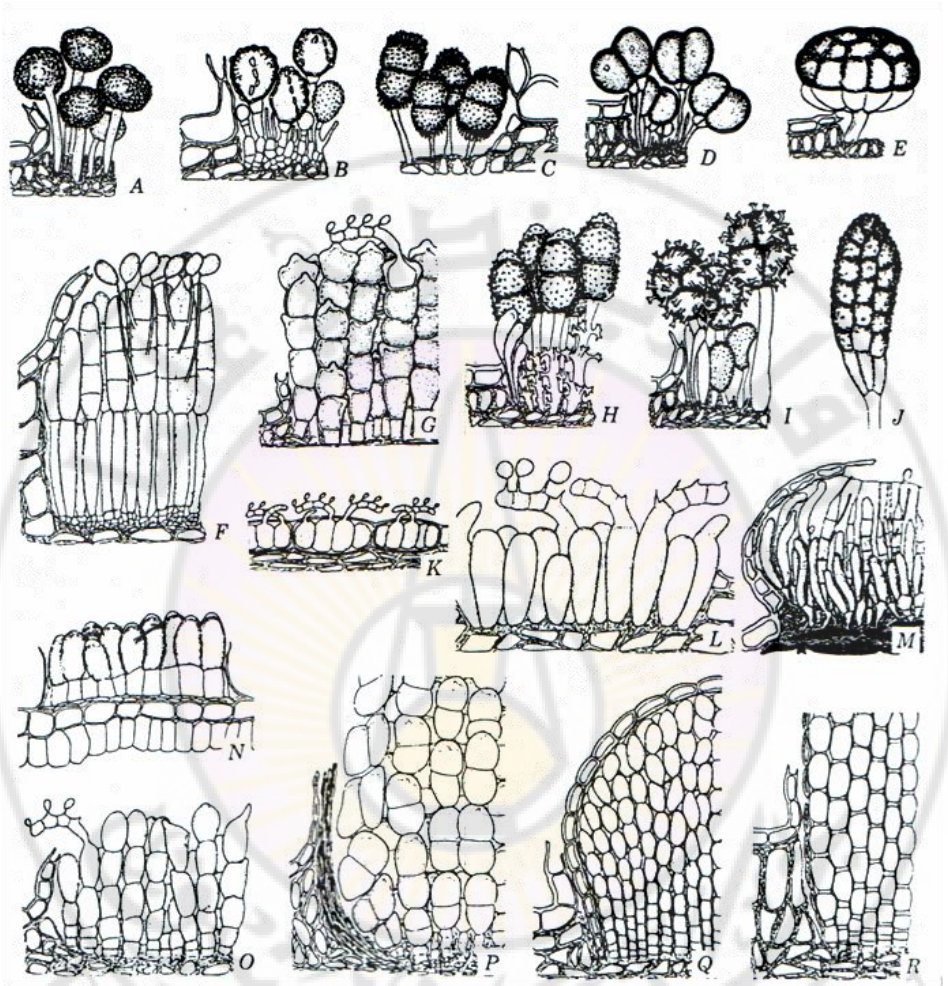
الأبواغ اليوريدية وحيدة الخلية، وذات نواتين مختزلتين (n + n)، بيضاوية الشكل، وبلون بني يميل إلى اللون الأحمر أو بني يميل إلى اللون البرتقالي بسبب احتوائها على صبغات زيتية برتقالية، تشبه لون صدأ الحديد، ولذلك يدعى هذا الطور بالطور الأحمر، ومنه أخذت الرتبة Uredinales اسم رتبة فطريات الصدأ .

تمتاز الأبواغ اليوريدية بقدرتها على إحداث الإصابة ثانية على المضيف الرئيس معطية بثرات يوريدية جديدة وأبواغ يوريدية جديدة، ولذا اعتبر الطور اليوريدي طوراً متكرراً أو عديد الأجيال (5– 6 أجيال) خلال موسم نمو المضيف، وتتحمل هذه الأبواغ شروط الانتقال بالهواء إلى مسافات بعيدة .

رابعاً : الطور التيلي (التيليتي) Telial stage

تتلاشى عادة الأبواغ اليوريدية من البثرات اليوريدية في نهاية فصل نمو المضيف الرئيس، ويتكوّن مكانها أبواغ جديدة ثنائية الخلايا وذات جدر غليظة غنية بصبغة الميلانين التي تكسبها اللون الأسود، وكل خلية منها ثنائية النوى مختزلة أو نصفية الصيغة الصبغية، وتبدو البثرات في البداية مختلطة بالأبواغ اليوريدية، ثم تصبح بعدها بثرات سوداء لاحتوائها على الأبواغ السوداء الجديدة، وتسمى بالبثرة التيليتية، وتدعى الأبواغ بالأبواغ التيليتية Teliospores، والطور بالطور الأسود.

وتختلف الصفات الشكلية للبثرات التيليتية باختلاف أجناس الفطريات المسببة للأصدئة (الشكل 10 – 36).

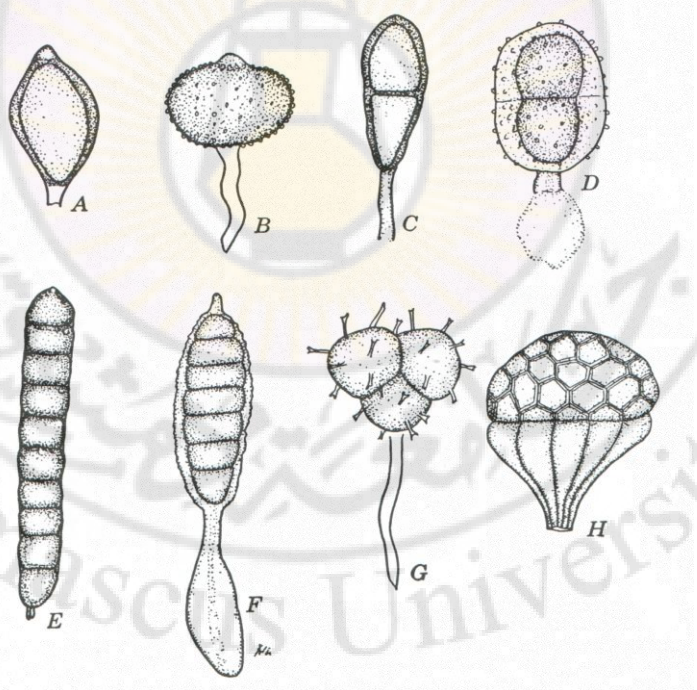


الشكل 10 – 36: نماذج مختلفة من البثرات التيليتية .

(D) *.Dasyspora gregaria* (C) *.Trachyspora intrusa* (B) *.Pileolaria brevipes* (A) *Kuehneola* (G) *.Chrysella mikaniae* (F) *.Ravenelia mera* (E) *.Diorchidiella australe* (J) *.Sphaerophragmium acaciae* (I) *.Prospodium appendiculatum* (H) *.uredinis* (M) *.Chrysocelia lumpini* (L) *.Melamsporella symphyti* (K) *.Cumminsina clavispora* (P) *.Phragmidiella markhmiae* (O) *.Lipocystis caesalpiniae* (N) *.Goplana dioscoreae .Endophylloides portoricensi*s (R) *.Dietelia verruciformis* (Q) *.Didymospora africana* (عن Alexopoulos & Mims , 1979)

وكما اشرنا فإن الأبواغ التيليتية لها نواتان في كل خلية (n + n)، وكل نواة تحتوي على نسخة واحدة من الصبغيات، وكل شفع من هذه النوى يكون من نمطين مختلفين وراثياً فإحدى النوى تكون من النمط (+) والأخرى تكون من النمط (-). وخلال فترة السكون غير النشطة ظاهريا للأبواغ التيليتية تتحد النوى من النمطين المختلفين في كل خلية لتعطي نواة واحدة ثنائية الصيغة الصبغية (2n) تبدأ بسرعة بالانقسام المنصف، وتتوقف عملية الانقسام في طور الصفيحة المتوسطة حيث تمضي الأبواغ التيليتية فصل الشتاء في هذه المرحلة.

تستطيع الأبواغ التيليتية مقاومة الظروف القاسية بفضل جدرها الغليظة. ويعتمد في تصنيف فطريات الصدأ على شكل وعدد خلايا هذه الأبواغ (الشكل 10 – 37) .



الشكل 10 – 37: نماذج مختلفة من الأبواغ التيليتية لثمانية أجناس من فطريات الصدأ.

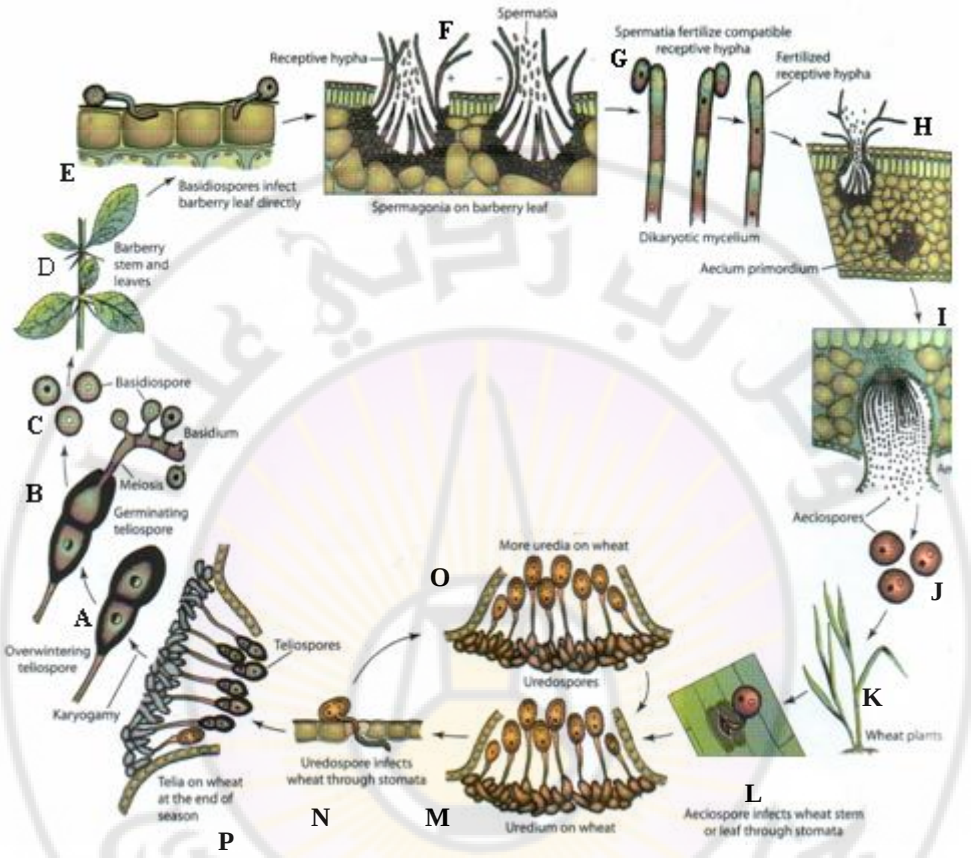
(A) .*Uromyces* (B) .*Pileolaria* (C) .*Puccinia* (D) .*Uropyxis* (E) .*Xenodochus* (F) . *Phragmidium* (G) .*Nyssopsora* (H) .*Ravenelia* . (Alexopoulos & Mims , 1979)

خامساً : الطور الدعامي Basidial stage

في فصل الربيع ومع اعتدال درجات الحرارة وتوفر الرطوبة المناسبة، يستأنف الانقسام المنصف في الأبواغ التيليتية لتعطي أربع نوى وحيدة الصيغة الصبغية كل منها يحتوي على مورثات آتية من أزواج الصبغيات، ثم تنبت الأبواغ التيليتية، حيث أن كل خلية من خلاياها تنبت بصورة منفردة ومستقلة لتعطي أنبوبة إنبات أو مشيجة أولية هي عبارة عن الدعامة. تهاجر النوى الأربع إلى الدعامة التي ستتقسم بحواجز ثلاثة إلى أربع خلايا، تحتوي كل منها على واحدة من النوى الأربع، ثم يتكوّن جانبياً على كل خلية من خلايا الدعامة بروز بيضوي الشكل ترحل النواة إليه، ثم يتكوّن حاجز يفصلها عن الخلية الأم، وهكذا يتكوّن لدينا أربع خلايا جديدة هي الأبواغ الدعامية.

تقذف الأبواغ الدعامية الناضجة بقوة وتحمل بتيارات الهواء. وهذه الأبواغ لا تستطيع إصابة القمح وإنما تصيب الأوراق الحديثة لنباتات البربريس أو نباتات الجنس *Mahonia*. ويلاحظ هنا أن هذه الأبواغ الأربعة تكون متخالفة في الإشارة الوراثية نتيجة توزع العوامل الوراثية بالانقسام المنصف، فاثنتان منها تحمل إشارة (-) واثنتان تحمل إشارة (+). لذا تمتاز الأبواغ الدعامية بأن 50 % منها ذات إشارة سالبة، و 50 % منها ذات إشارة موجبة، والإشارة + أو – تعبر عن اختلاف الطبيعة الجنسية. وبذلك تكون دورة الحياة قد اكتملت (الشكل 10 – 38).

تعتمد المراجع العلمية، وبخاصة Alexopoulos، على ترميز الأطوار الخمسة المكونة لدورة حياة فطريات الصدأ النموذجية وفق التالي: (0) للطور البكني أو الاسبرموغوني المحتوي على الوعاء البكني والأبواغ البكنية وهيفات الاستقبال، و (I) للطور الأسيدي المحتوي على الوعاء الأسيدي والأبواغ الأسيدية، و (II) للطور اليوريدي المحتوي على البثرة اليوريدية والأبواغ اليوريدية، و (III) للطور التيليتي المحتوي على البثرة التيليتية والأبواغ التيليتية، و (IV) للطور الدعامي المتمثل في الأبواغ الدعامية.



الشكل 10 – 38: دورة الحياة الكاملة للفطر *Puccinia graminis* (عن Agrios, 2004)

(A) بوغ تيليتي. (B) إنبات البوغ التيليتي. (C) أبواغ دعامية ناتجة عن إنبات البوغ التيليتي. (D) إنتقال الأبواغ الدعامية إلى نبات البربريس. (E) إنبات البوغ الدعامي وإحداث الإصابة على نبات البربريس. (F) تشكل الأوعية البكنية. (G) إنتقال الأبواغ البكنية من وعاء بكني إلى خيوط الاستقبال لوعاء بكني أخر مخالف بالإشارة وحدوث الإخصاب. (H) تشكل المشيجة ثنائية النوى وبدء تشكل الأوعية الأسيدية. (I) وعاء أسيدي على السطح السفلي. (J) تحرر الأبواغ الأسيدية. (K) انتقال الأبواغ الأسيدية إلى نبات القمح. (L) إنبات البوغ الأسيدي وإحداث الإصابة على القمح. (M) تشكل البثرة اليوريدية. (N) تجدد الإصابة بالأبواغ اليوريدية. (O) تشكل بثرة يوريدية جديدة. (P) بثرة تيليتية.

ويميل بعض العلماء إلى ترميز الأطوار الخمسة وفق التالي:

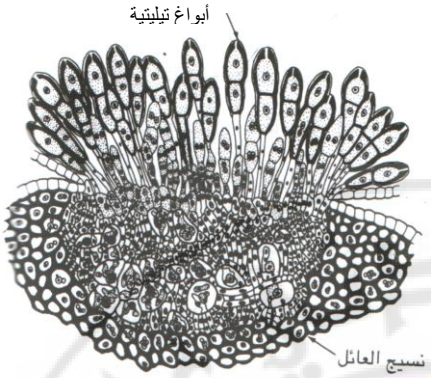
الطور البوغي	الرمز	الصيغة الصبغية	المضيف
الدعامي	0	N	غير متطفل
البكني	S	N	}البربريس مثلاً
الأسيدي	I	N + N	
اليوريدي	II	N + N	}القمح مثلاً
التيليتي	III	2N	

تصنيف فطريات الصدأ

هناك العديد من التقسيمات لفطريات الصدأ، وذلك اعتماداً على الطور التيليتي وشكل وعدد خلايا الأبواغ التيليتية، ومنها ما اعتمد أيضاً على الطور الأسيدي وشكل وتركيب الأوعية الأسيدية. ولكن لن نتطرق هنا إلى هذه التقسيمات جميعها، وقد اعتمدنا أسلوب اليكسوبولس في تقسيم فطريات الصدأ إلى ثلاث فصائل.

أولاً : الفصيلة البكسينية Family Pucciniaceae

تضم العدد الأكبر من فطريات الصدأ. الأبواغ التيليتية معنّقة عادة Stalked، وحيدة أو ثنائية أو متعددة الخلايا، بلون بني يميل إلى الأحمر، سميكة الجدر، ملساء أو مزيّنة، وقد يحاط البوغ التيليتي بغشاء رقيق، توجد مستقلة أو مجتمعة في مادة جيلاتينية، ويمكن وجود 2 – 3 أبواغ على ساق واحدة. تتكّون الأبواغ التيليتية في تشكيلات إثمارية تدعى البثرات (الشكل 10 – 39). تتكوّن البثرة تحت بشرة المضيف، وتكون عارية أو مغطاة. ومن أهم أجناسها من الناحية الاقتصادية:



الشكل 10 – 39: بثرة تيليتية للفطر *Puccinia graminis* .

1 – الجنس *Uromyces*

البوغ التيليتي وحيد الخلية، ويضم هذا الجنس أكثر من 600 نوعاً تصيب النباتات البقولية أو القرنية، ومن أهمها *U. appendiculatus* المسبب لصدأ الفاصولياء، والفطر *U. fabae* المسبب لصدأ الفول، و*U. pisi* المسبب لصدأ البازلاء، والفطر *U. caryophyllinus* المسبب لصدأ القرنفل.

2 – الجنس *Puccinia*

الأبواغ التيليتية ثنائية الخلايا، ويضم هذا الجنس أكثر من 1800 نوعاً، ولعل أكثرها أهمية الأنواع التي تحتوي دورة حياتها على الطور التيليتي واليوريدي، وتصيب محاصيل الغلال كالقمح والشعير .....الخ. ويضم هذا الجنس عدداً من الأنواع طويلة الدورة، والتي يتطلب إكمال دورة حياتها توفر عائلين أو مضيفين نباتيين مختلفين لا قرابة بينهما، ومن أنواعه:

P. graminis المسبب لصدأ الساق الأسود، و *P. coronata* المسبب للصدأ التاجي على الشوفان، والفطر *P. malvacearum* المسبب لصدأ الخبازيات. و *P. recondita* المسبب للصدأ البني أو صدأ الورقة، والفطر*P. striiformis* المسبب للصدأ المخطط أو الأصفر ولا يعرف له مضيف مناوب.

وتمتاز بعض الأنواع بوجود تحت أنواع لها Sub-species المتشابهة شكلاً والمختلفة وراثياً ومن أمثلتها: *P. graminis tritici* المسبب لصدأ الساق الأسود على القمح، وتحت النوع *P. graminis avenae* المسبب لصدأ الشوفان.

3 – الجنس *Phragmidium*

يتكوّن البوغ التيليتي من عدة خلايا في صف واحد (3 – 8) خلايا، وله عنق طويل، ويحيط به غلاف جيلاتيني. يضم هذا الجنس حوالي 60 – 65 نوعاً تتطفل على مضيف واحد من النباتات الوردية مثل الورد والتوت وغيرها. وتعتبر جميع أنواعه وحيدة المضيف، حيث يتطفل أغلبها على نباتات الفصيلة الوردية. الأبواغ اليوريدية صفراء، بيضاوية الشكل، غلافها رقيق وبدون تزيينات. وتبدو البثرات التيليتية بنيّة داكنة اللون سهلة التناثر. ومن أنواعه *Phragmidium subcorticium* المسبب لصدأ الورد.

4 – الجنس *Gymnosporagium*

تعتبر جميع أنواعه ثنائية المضيف Heteroiique، حيث أنها تعيش بشكل متناوب على نباتات من الفصيلة الوردية التي يتكوّن عليها الطور الأسيدي، ثم الشربين أو العرعر حيث يتكوّن الطور التيليتي. الأبواغ التيليتية ثنائية الخلايا، ولها ذنب طويل وشفاف. وتنتشر المشيجة في النسيج النباتي مما يسبب تكوين أورام وثآليل محدودة على الأفرع وفي مناطق الإصابة، إضافة إلى تكوين مكنسة العفريت. وتمضي مشيجة البثرات التيليتية فترة الشتاء وتحافظ على حيويتها في حراشف أفرع وبراعم الشربين. وتشبه البثرات التيليتية الأصابع أو القرون أو اللسان، حمراء اللون (الشكل 10 – 40)، ويحيط بها غشاء جيلاتيني يحفظ بداخله مئات من الأبواغ . ومن أنواعه:

- *Gymnosporangium juniperi- virginianae* المسبب لصدأ العرعر أو الشربين والتفاح، و النوع *G. sabinae* المسبب لصدأ العرعر والأجاص.

الشكل 10 – 40: (A) القرون التيليتية للفطر *Gymnosporangium juniperi- virginianae* المسبب لصدأ العرعر والتفاح. (B) أورام على أفرع الشربين تتشكل عليها القرون التيليتية.

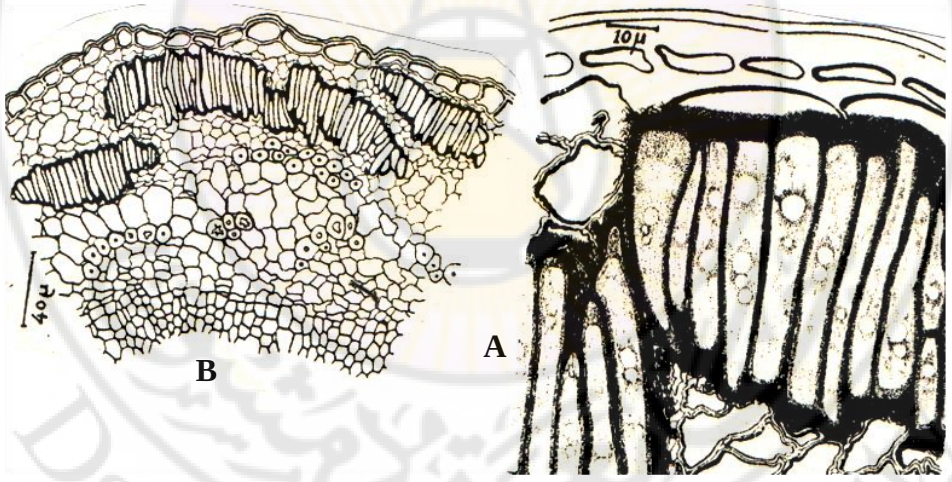
5 – الجنس *Tranzschelia*

وهو جنس قريب من الجنس *Puccinia*، أفراده ثنائية العائل. الأبواغ اليوريدية بيضاوية متطاولة، وجدرها سميكة من جهة القمة ورقيقة عند اتصالها بالعنق. الأبواغ التيليتية ثنائية الخلايا، الخلية القاعدية صغيرة الحجم أسطوانية، والخلية القمية مكورة وأكبر حجماً من الأولى، ينفصلان عند النضج بسهولة، ويمكن لكل منهما أن تنبت لوحدها. ومن أمثلة هذا الجنس: *Tranzschelia pruni-spinosae* المسبب لصدأ اللوزيات، وتتكّون الأوعية الأسيدية على الأنيمون Anemone (الشكل 10 – 41).

الشكل 10 –41: الأوعية الأسيدية للفطر *Tranzschelia pruni-spinosae* على نبات الأنيمون.

ثانياً : الفصيلة Melampsoraceae

تتوضع الأبواغ التيليتية وحيدة الخلية بجانب بعضها البعض، منتشرة أفقياً أو عامودياً في طبقات تشبه النسيج الحباكي ضمن نسيج النبات المضيف (الشكل 10 – 42)، أو تحت البشرة على شكل قشيرة بنية اللون، تثقب البشرة لتتحرر. ويسلك البوغ التيليتي عند الإنبات سلوك أبواغ الجنس *Puccinia* معطياً دعاماً خارجياً. تتكوّن الأبواغ الأسيدية غالباً على الصنوبريات، وأغلب أنواعها من الأصدئة ثنائية المضيف، وينتج بعضها الطور الأسيدي على الثوم .*Allium* sp وكاسر الحجر .*Saxifraga* sp وأنواع الجنس *Ribes* . وتتصف بعض أنواعها بأنها ليست حتماً ثنائية المضيف يل يتابع الفطر نموه بدءاً من الأوعية الأسيدية على نفس المضيف.



الشكل 10 – 42: البثرة التيليتية عند الفطر .*Melampsora* sp . (A) مقطع في نسيج النبات المضيف يبين توضع الأبواغ التيليتية وحيدة الخلية بجانب بعضها البعض داخل النسيج النباتي. (B) البثرة التيليتية.

ويعتبر الفطر *Cronartium ribicola* المسبب لمرض صدأ الصنوبر البثري الأبيض (White-pine blister rust) مثالاً جيداً لهذه الفصيلة، وهو صدأ ذو دورة حياة طويلة وله عائل مناوب. يتكوّن الطوران السبرموغوني والأسيدي على الصنوبر الأبيض، ويتكوّن الطور التيليتي على المضيف الرئيس وهو أشجار الكشمش *Currants*

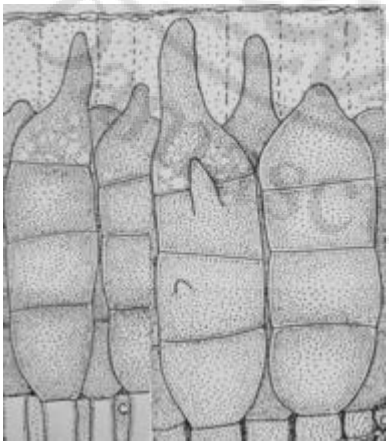
sp. و *Gooseberry* sp. إذ تكون الأبواغ التيليتية متحدة على شكل قرون طويلة تتكشّف من أسفل الورقة.

يضم الجنس *Melampsora* أكثر من 90 نوعاً. الأبواغ التيليتية مكوّنة من خلية واحدة، تلتصق متراصة مع بعضها تحت بشرة النبات المضيف، وتعطي عند إنباتها دعامة نموذجية. الأبواغ اليوريدية وحيدة الخلية. ومن أنواعه نذكر :

- *Melampsora allii-populina* المسبب لصدأ الحور، ومضيفه المناوب الثوم *Allium* sp.

ثالثاً : الفصيلة Coleosporcaceae

تحمل الأبواغ التيليتية متحدة جانبياً مكوّنة شبه طبقة قشرية المظهر على المضيف (الشكل 10 – 43). لا تعطي هذه الأبواغ مشيجة أولية خارجية عند إنباتها بل يحدث الاتحاد النووي والانقسام الاختزالي داخلها ويصبح البوغ التيليتي رباعي الخلية ويفصل بين خلاياه ثلاثة جدر عرضية. ومن أنواعه *Coleosporium solidaginis* الذي يسبب صدأ نبات عصا الذهب Golden rod (*Solidago* sp.) في الصيف مكوّناً الطور اليوريدي والتيليتي، بينما تتكوّن الأوعية الأسيدية على الأوراق الابرية لأنواع مختلفة من الصنوبر.



الشكل 10 – 43: مقطع في نسيج نباتي يبين توضع الأبواغ التيليتية رباعية الخلايا بجانب بعضها البعض عند الفطر *Coleosporium* sp.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الحادي عشر

تحت قســـم الفطريات الناقصـــة

Sub-division Deuteromycotina (Adelomycotina) = (Imperfect fungi)

مقدمـــــــــــة

تعتبر من أكبر المجموعات الفطرية المعروفة، وأكثرها أهمية في مجال التطفل. وهي فطريات راقية، مشائجها مقسمة إلى خلايا، ولا يعرف في دورة حياة أفرادها سوى أشكال التكاثر اللاجنسي، سواء بتكوين الأبواغ الكونيدية أو بتجزئة المشيجة أو بتكوين الوسائد الفطرية والأجسام الحجرية ....الخ، التي سنأتي على شرحها وتوضيح آليات تكوينها فيما بعد.

أطلق العلماء عليها اسم الفطريات الناقصة، وهي ليست ناقصة بالمعنى المطلق، ولكن معلوماتنا عنها ناقصة وبخاصة جهلنا بطرائق تكاثرها جنسياً. فأطلق على الأشكال التطورية التكاثرية اللاجنسية اسم الطور الناقص أو غير التام Imperfect، ولا زال العلماء يجهدون في دراسة دورة حياة أفرادها، وعندما تكتشف طريقة التكاثر الجنسي أو الطور الجنسي لأحد أنواعها، يلجأ العلماء إلى إعادة تصنيفه في الموقع التصنيفي الذي يناسبه، وغالباً ما يكون الطور التام أو الجنسي زقياً، فيوضع الفطر ضمن الفطريات الزقية Ascomycetes، أو دعامياً فيصنف ضمن الدعاميات Basidiomycetes.

تعتبر هذه الفطريات واسعة الانتشار، تعيش رمية في مختلف أنواع التربة أو على الأجزاء النباتية وبقايا المحاصيل الزراعية، وأغلب أنواعها طفيلية أو عوامل ممرضة

جد خطيرة للنباتات. كما يتطفل أنواع منها على الحيوان والإنسان. ولا بد من الإشارة إلى الفوائد الاقتصادية لبعض أنواعها في الصناعات الكيميائية والمضادات الحيوية.

يضاف إلى هذه المجموعة من الفطريات تلك الطائفة من الفطريات التي فقدت قدرتها على تكوين الأبواغ الكونيدية، ولكنها تتكاثر لاجنسياً فقط عن طريق إنبات الأجسام الحجرية أو تجزئة المشيجة، ويطلق عليها "الفطريات عقيمة المشائج sterilia Mycelia".

تصنيف الفطريات الناقصة

تشير الدراسات إلى صعوبة تصنيف الفطريات الناقصة، ومن أهم هذه الصعوبات:

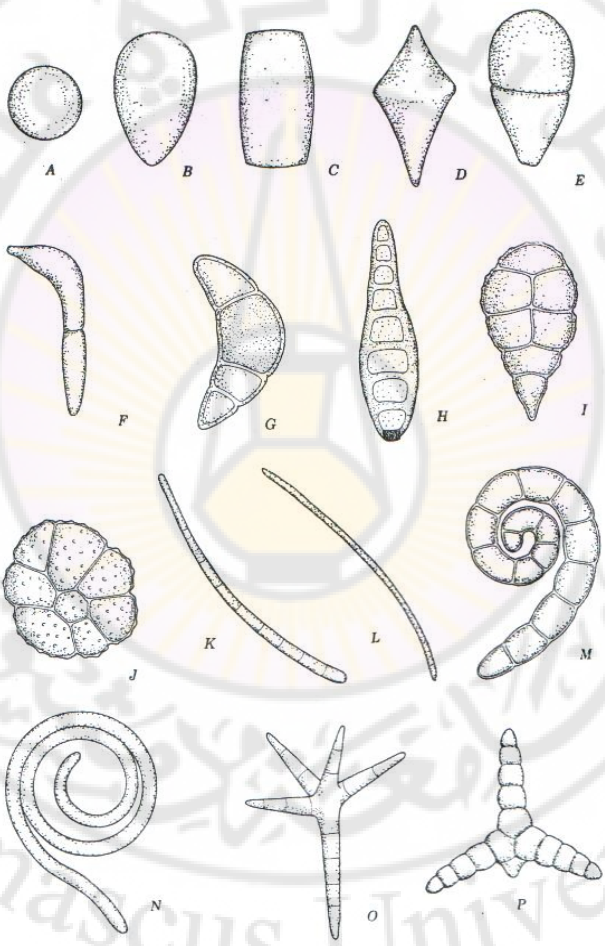
1 – قدرة كثير من أنواعها على تكوين نماذج عديدة من الأشكال الإثمارية، وهو ما يعرف بظاهرة التنوع الشكلي Polymorphism، مما يجعل من الصعوبة بمكان تحديد تصنيف الفطر أو اعتماد تسمية واحدة لمثل هذه الأنواع.

2 – مقدرة بعض الأنواع المتباعدة تصنيفياً على إنتاج نماذج كونيدية متشابهة جداً من النواحي الشكلية، كما في الفطر *Sclerotinia fructigena* والفطر *Neurospora crassa*، فأبواغ هذين النوعين شفافة، وتتكوّن في سلاسل متفرعة بطريقة التبرعم القمي، ويمكن أن يقود هذا التشابه بين الأبواغ لتصنيفهما في جنس واحد *Monilia*، فإذا كانا متشابهين في الأطوار اللاجنسية، فإنهما مختلفان في الطور الجنسي.

يتضح مما سبق صعوبة توفر القواعد والأسس العلمية لاعتماد نظام تصنيفي دقيق لهذه الفطريات. وتعتبر هذه الفطريات من الوجهة التصنيفية مجموعة شكلية فطرية اصطناعية ضخمة ومؤقتة.

يُعتمد في تصنيف الفطريات الناقصة على صفاتها الشكلية المتنوعة، كصفات أعضائها، وإثماراتها أو أجسامها الثمرية، وآليات التبوغ، والصفات الشكلية للأبواغ، وقد

أطلق سكاردو المصطلحات العلمية لتسمية نماذج أبواغها وفق الشكل (11 – 1). تلك الاختلافات المعتمدة على اللون والحجم والأبعاد وعدد الخلايا .....الخ. وقد اعتمد التصنيف المؤقت على إضافة الصفة الشكلية، أو الشبه أو الأنموذج Form إلى درجات التصنيف كما يلي: Form-family و Form-order و Form-genus ...الخ.



الشكل 11 – 1: نماذج مختلفة لأبواغ الفطريات الناقصة وفق النظام السكاردي.

(A – D) أبواغ وحيدة الخلية Amerospores. (E, F) أبواغ ثنائية الخلايا Didymospores. (G, H) أبواغ مقسمة Phragmospores. (I, J) أبواغ شبكية التقسيم Dictyospores. (K, L) أبواغ دودية أو خيطية Scolecospores. (M, N) أبواغ حلزونية أو لولبية Helicospores. (O, P) أبواغ نجمية Staurospores.

أولاً – الرتبة الشكلية الخيطية أو المونيلية

Form-order Hyphales = Form-order Moniliales

تضم جميع الأنواع التي تتكوّن أبواغها على حوامل بوغية Conidiophores فوق المشيجة مباشرة، وغالباً ما تكون هذه الحوامل منفردة وأحياناً تميل إلى التجمع بأشكال مختلفة، وقد تكون قصيرة أو طويلة، متفرعة أو غير متفرعة ...الخ (الشكل 11 – 2). كما يعرف الطور الزقي للعديد من أنواعها.

تعتبر هذه الرتبة الشكلية هي الأكثر عدداً وتنوعاً وانتشاراً، منها ما هو متطفل على النبات والحيوان والإنسان، وكثير منها يعيش حياة رمية في التربة. كما وتشتمل على أنواع هامة في الصناعة الكيميائية والغذائية والدوائية.

الفصيلة المونيلية Form-family Moniliaceae:

تتصف بحواملها الكونيدية الشفافة غير المتميزة، وبأبواغها الشفافة وعديمة اللون. أغلب أنواعها رمية، وتضم أيضاً عوامل ممرضة للنبات والحيوان والإنسان، ومن أهم أجناسها:

1 – الجنس الشكلي *Botrytis* spp.: من أنواعه ما هو رمي، ومنها ما يتطفل على النباتات والخضار والبصل والعنب، ومن هذه الأنواع:

- النوع الشكلي *Botrytis fabae* : المسبب لمرض التبقع البني (التبقع الشوكولاتي) على الفول. خيوطه الفطرية مقسمة ومتفرعة، شفافة اللون في البداية ثم يصبح لونها رمادياً. والحوامل البوغية منتصبة، متفرعة إلى فروع جانبية متقاربة وقصيرة، نهاياتها مدببة تُحمل عليها الأبواغ، وتظهر عنقودية الشكل. تجتمع الخيوط وتتشابك وتحبك بتراص جيد لتكوين أجسام حجرية سوداء، مختلفة الأشكال والأبعاد، تبقى في الوسط بعد تلاشي المشائج لتجدد حياة الفطر عندما تصبح الظروف البيئية مناسبة.

- النوع الشكلي *B. cinerae*: المسبب لمرض العفن الرمادي على عناقيد الكرمة، ويسبب خسارة كبيرة، ومع ذلك فإن تخمير العناقيد المصابة يعطي نبيذاً ذا طعم مرغوب ومطلوب، كما وتتطفل بعض أنواعه على الأزهار والخضر والمحاصيل الزراعية.

2 – الجنس *Verticillium* spp.: تتكوّن حوامله البوغية في دوارات أو سوارات، تحمل في أعلاها بوغاً كونيدياً واحداً أو عدة أبواغ مجتمعة في مادة مخاطية. تعيش بعض أنواعه ضمن الأوعية الخشبية أو الحزم الناقلة، وتسبب أمراضاً خطيرة تعرف بأمراض الذبول (Wilt diseases) مثل مرض ذبول الزيتون واللوزيات والقطن والبطاطا والباذنجان، .....الخ. وتمتاز أنواعه بتكوين أجسام حجرية دقيقة Microsclerotia، تبقى في التربة مقاومة للظروف غير المناسبة حفاظاً على حياتها.

3 – الجنس *Ramularia* spp.: الحوامل البوغية غير متفرعة، الأبواغ عديمة اللون، متطاولة ولها حاجز أو عدة حواجز. تعيش أنواعه متطفلة على الشوندر والفريز وغيرها، إضافة إلى مقدرة بعض أنواعه التطفل على بعض فطريات الصدأ.

4 – الجنس *Monilia* spp.: تتجمع الحوامل البوغية لتكوين وسادة غير متماسكة، تحمل في أعلاها سلاسل الأبواغ الكونيدية بيضاوية الشكل. يتطفل بعض أنواعه على أشجار الفاكهة (التفاحيات واللوزيات) مسببة مرض العفن البني لثمارها.

أما الجنسان *Aspergillus* spp. و *Penicillium* spp.، وهما من الفصيلة Moniliaceae، فقد سبق وصُنفا ضمن الفطريات الزقية رغم عدم العثور على الطور الزقي للكثير من أنواعها.

الفصيلة الشكلية Form-family Dematiaceae

يتبعها بضع آلاف من الفطريات الواسعة الانتشار، أغلبها رمية، ويتطفل بعضها على النباتات والحيوانات والإنسان. ومن الأجناس التابعة لهذه الفصيلة نذكر:

1 - الجنس *Cladosporium* spp.: الأبواغ ثنائية الخلية، وتكون المشيجة والحوامل البوغية بلون زيتوني. من أنواعه ما هو رمي، ومنها ما هو متطفل.

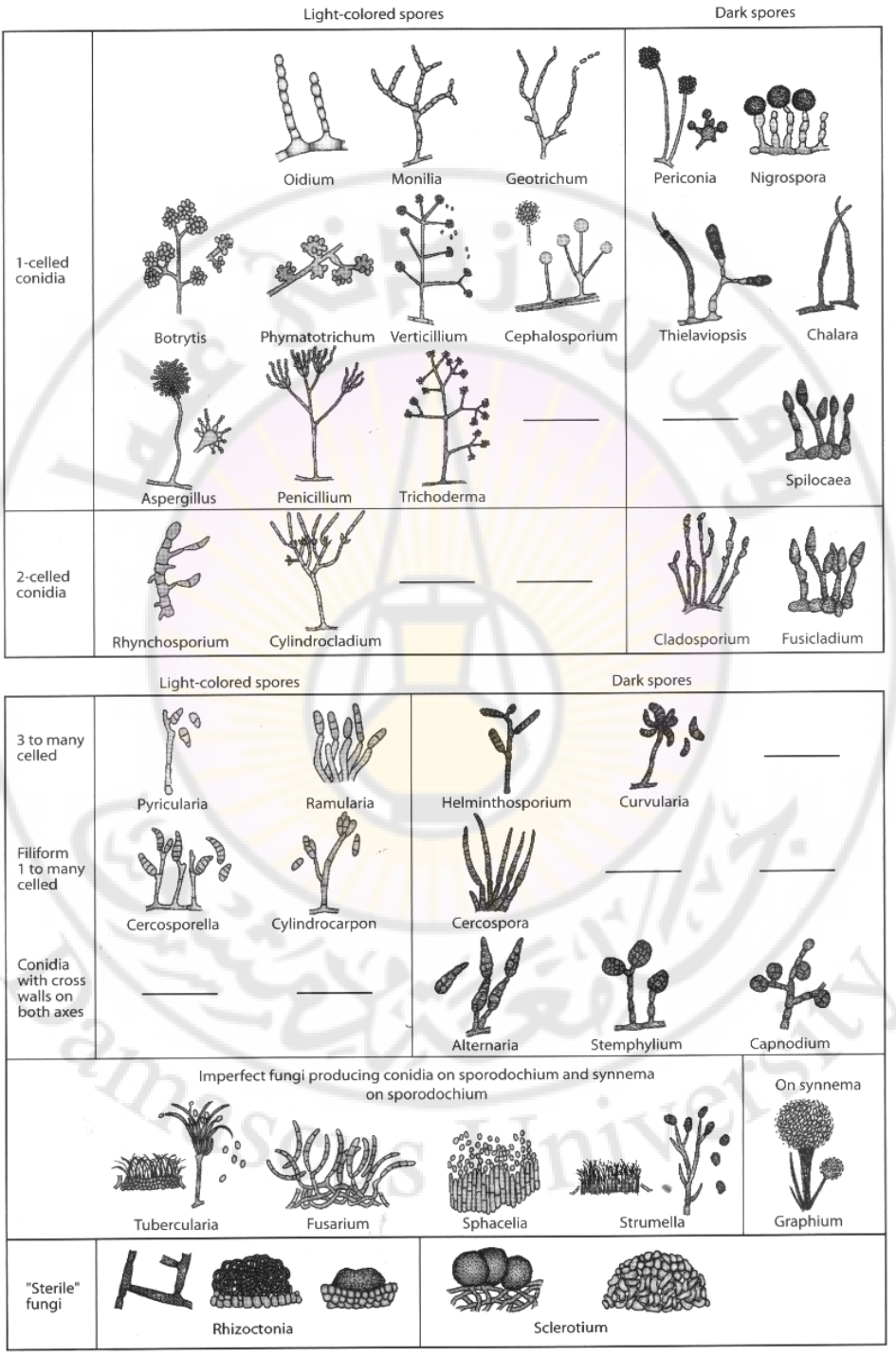
2 – الجنس *Alternaria* spp.: أنواعه واسعة الانتشار في كل مكان من العالم. منها الرمي والمتطفل، ويحدث بعض أنواعه عفناً لدرنات البطاطا وثمار البندورة والفليفلة ....الخ، إضافة إلى بقع على الأوراق مما يؤدي إلى موتها وسقوطها.

الأبواغ الكونيدية كبيرة الحجم، صولجانية، لها منقار طويل نسبياً عند بعض الأنواع، مقسمة بحواجز عرضية وطولية إلى عدة خلايا، وأحياناً تغيب الحواجز الطولية. تتكوّن الأبواغ فرادى على أطراف الحوامل البوغية، وأحياناً تتكوّن في سلاسل من بوغين أو أكثر تتصل ببعضها من الطرف العريض للبوغ. والحوامل البوغية قصيرة، بسيطة أو متفرعة، مقسمة، داكنة اللون تشبه الخيوط الفطرية.

3 – الجنس *Cercospora* spp.: أبواغه إبرية الشكل، مستدقة الطرف، مستقيمة أو منحنية وشفافة تقريباً، مقسمة بجدر عرضية إلى عدد من الخلايا (3– 8 خلايا). المشيجة بنية اللون، تتجمع تحت بشرة الأوراق المصابة. الحوامل البوغية بنية اللون، غير متفرعة، مقسمة بجدر عرضية، وتخرج في حزم كثيفة من ثغور بشرة النبات المضيف في منطقة الإصابة. تسبب أنواعه أمراض التبقع مثل مرض تبقع أوراق الشوندر السكري الذي يسببه النوع *C. beticola*.

4 – الجنس *Helminthosporium* spp.: أنواعه واسعة الانتشار، ولها سلالات فيزيولوجية متمايزة على أصناف الشعير، وأهم أنواعه: *H. gramineum* الذي يسبب مرض التخطيط الورقي (Stripe disease)، أو مرض السنبلة الصمّاء " Deaf ear disease "، أو مرض العمى Blindness.

الخيوط الفطرية مقسمة إلى خلايا برميلية الشكل، بلون أصفر فاتح، ويختلف لونها باختلاف البيئة الغذائية الصنعية (من الرمادي إلى الزيتوني الغامق أو الأسود). تتكوّن

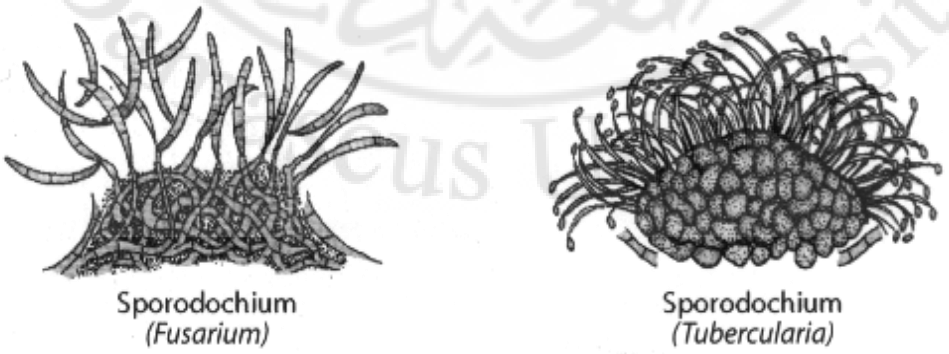


الشكل 11 – 2: أشكال الحوامل البوغية والأبواغ الكونيدية لأهم أجناس الفطريات من الرتبة الشكلية Moniliales

الحوامل البوغية بمجاميع 3 – 5 بلون بني أو رمادي، قائمة، غليظة، تخرج من ثغور الأوراق، ويحمل كل واحد منها بوغاً كونيدياً واحداً، مستطيلة الشكل أو منحنية قليلاً، رقيقة الجدار، لها نهايات مستديرة، ولها حواجز مستعرضة سميكة تقسمها إلى عدد من الخلايا التي يتراوح عددها من 2 – 7 خلايا أو أكثر. أُطلق على الطور الزقي الاسم *Pyrenophora graminea*، الذي يتبع الفطريات الزقية الدورقية، وهو نادر الوجود، و يتكوّن على أوراق النبات الميتة وبقايا النباتات. وهناك العديد من أنواع هذا الجنس لا يعرف لها طـــور جنسي حتى الآن. ويتشابـــه مع أنواع هـــذا الجنس كلاً مـــن الجنسين *Curvularia* و *Drechslera* حيث أنهما ينتجان أبواغاً كونيدية مقسمة عرضياً إلى عدة خلايا.

الفصيلة الشكلية Form-family Tuberculariaceae

يمتاز أفرادها بتكوين تركيبات لا جنسية مثل الوسائد البوغية أو الحبائك البوغية Sporodochia، ومفردها Sporodochium، وهي عبارة عن خيوط فطرية منتصبة ومتشابكة مع بعضها، غير متراصة (الشكل 11 – 3)، تُحمل الأبواغ على نهايات تفرعاتها القصيرة والمنتهية بسلاميات تسمى الفياليدات Phialides تتكوّن عليها الأبواغ في سلاسل وتحاط بمادة هلامية.



الشكل 11 – 3: مخطط تمثيلي للسبورودوكيوم Sporodochium .

ويعد الجنس الشكلي *Fusarium* من أهم وأكبر الأجناس التابعة لهذه الفصيلة، واسع الانتشار، وعديد الأنواع. ويعتبر من أصعب الأجناس وأعقدها من الناحية التصنيفية. ولعل التقانات الحيوية الحديثة تمكّن من التفريق بين الأنواع والسلالات الفيزيولوجية، وبالتالي الوصول إلى تصنيف مقنع.

تعيش أفراد هذا الجنس رميّةً في التربة أو متطفلةً، ويصعب التمييز بينها بسهولة. يسبب البعض من أنواعه مرض الذبول لكثير من نباتات المحاصيل والخضار والزينة وأشجار الفاكهة، ومن أمثلتها مرض ذبول البطيخ، ومرض ذبول النخيل، وذبول البندورة. ونظراً لنمو الفطر والأبواغ الكونيدية الصغيرة داخل الأوعية الناقلة الخشبية، فإنها تسمى بالفطريات الوعائية Vascular fungi.

يمتاز فطر الفيوزاريوم بتكوين أنواع مختلفة من الأبواغ تبعاً للظروف البيئية والمناخية:

1 – أبواغ كونيدية كبيرة Macroconidia: هلالية الشكل، منحنية في طرفيها، تتكوّن من 2 – 3 خلايا، يكثر وجودها على سطوح النباتات المصابة، ولا تتكوّن عادة في بثرة بل على قمم الحوامل البوغية المتشابكة والمنتصبة والمكوّنة للحبيكة Sporodochium كما أسلفنا.

2 – أبواغ كونيدية صغيرة Microconidia: وهي أكثر الأنواع البوغية تكويناً حيث ينتجها الفطر تحت مختلف الظروف. و تتكوّن داخل الأوعية الناقلة أو الخشبية للمضيف. الأبواغ وحيدة الخلية أو ثنائية، كروية أو بيضوية وأحياناً هلالية الشكل، تُحمل على حوامل بوغية بسيطة أو متفرعة.

3 – الأبواغ الكلاميدية أو المغطاة Chlamydospores: تنشأ من خلايا الخيوط الفطرية، حيث تميل الخلايا إلى الاستدارة والتحوصل، وتثخن أو تتغلظ جدرها، وتكون وحيدة طرفية أو بينية في سلاسل متتابعة من خليتين أو أكثر. ويكثر تكوينها تحت بعض الظروف الطبيعية. تفرز أنواع الفطر *Fusarium* spp. حمض الفيوزاريك Fusaric

acid والليكوماراسمسين وغيرها من المواد السامة، التي تلعب دوراً هاماً في تدهور عملية تركيب الخشبين والبرانشيم المرافق، واستقطاب الحديد في الأوراق، وزيادة النتح، وذبول الأوراق والفروع الفتية وموت النبات لاحقاً.

الفصيلة الشكلية Form-family Cryptococcaceae

تضم أشكالاً خمائرية كاذبة كالفطر *Cryptococcus* و *Brettanomyces* و *Trichosporon* و *Candida*، وأغلبها ممرضة للإنسان.

ثانياً ـ الرتبة الشكلية ميلانكونيالس Form-Order Melanconiales

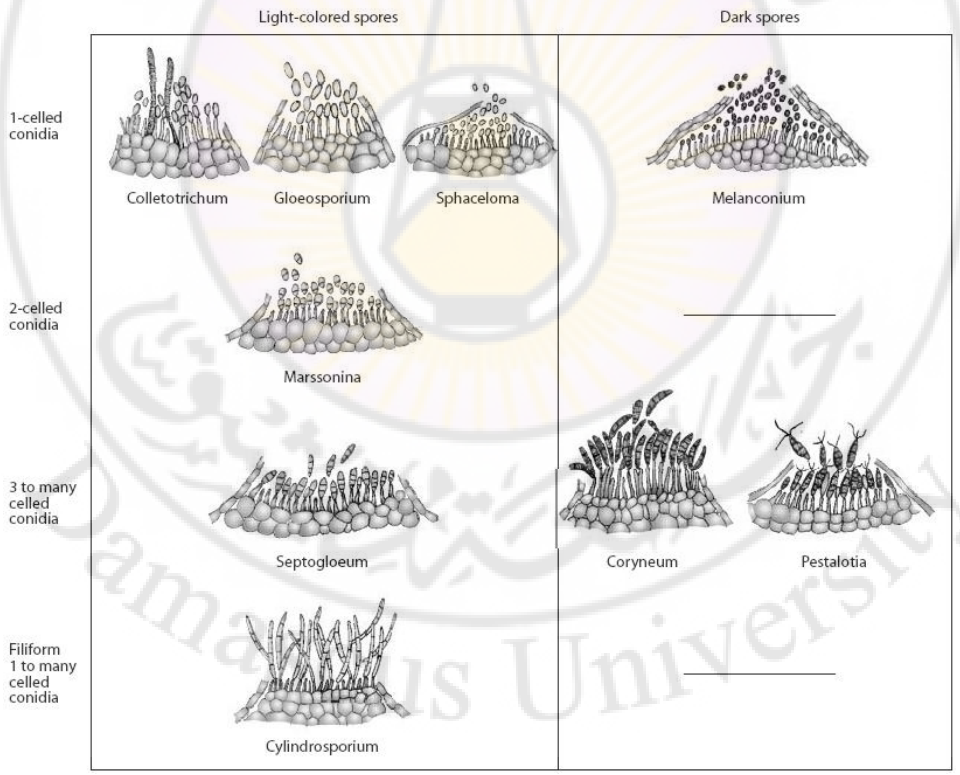
تعيش أفرادها متطفلة على النباتات الراقية مسببة لها أمراض التبقع (Spotting)، وأمراض الأنثراكنوز أو التقرح (Anthracnoses). وتضم فصيلة واحدة هي :

الفصيلة الشكلية الميلانكونياسيه Form-family Melanconiaceae

تمتاز هذه الفطريات بأنها تكوّن أبواغها في تراكيب شبه ثمرية (ثمار لاجنسية) مميزة يطلق عليها اسم الكويمة Acervulus، وجمعها كويمات Acervuli، وتتكون تحت بشرة النبات العائل. والكويمة عبارة عن تركيب متطور من اقتراب الخيوط الفطرية من بعضها، ثم تشابكها الجيد، و تحابكها المتماسك لتكوين وسادة خيطية أو مطرحة فطرية Stroma تحت بشرة المضيف المصاب بالفطر. تتمايز الطبقة السطحية العليا من الستروما، وتتخصص في تكوين الحوامل البوغية المنتصبة، وتتجمع الأبواغ تحت البشرة، مما يؤدي إلى تمزق البشرة لتحرير الأبواغ وانتشارها، وتشاهد الأبواغ متجمعة عليها. وتكون الأسيرفيولات مختلفة الأشكال والأبعاد (الشكل 11 – 4)، والألوان، وتكسبها الأبواغ اللون البنفسجي، الأسود، البرتقالي، أو أي لون أخر حسب المادة الصباغية التي تكوّنها الأبواغ الكونيدية. ومن أجناسها:

1 - الجنس الشكلي Form-genus *Gloeosporium* spp.: وهو من الأجناس الهامة، ويتبعه أنواع متطفلة على أغصان وسوق وأوراق وثمار النباتات ذات الأهمية الاقتصادية كالكرمة والتفاح والباذنجانيات والفاصولياء والقرعيات (أنثراكنوز القرعيات والبطيخ) وغيرها.

2 - الجنس الشكلي *Colletotrichum* spp.: يشبه الجنس السابق، ويمتاز عنه باحتواء الأسيرفيولة على خيوط فطرية عقيمة (شعيرات) تتكون بين الحوامل البوغية، ويمكن تمييزها بسهولة بواسطة المجهر. وتسبب أنواعه أمراض التبقع أو الأنثراكنوز للعديد من النباتات مثل أنثراكنوز البطيخ، وأنثراكنوز الفاصولياء.



الشكل 11 – 4 : أشكال الكويمات الفطرية Acervules للأجناس الرئيسية من الرتبة الشكلية Melanconiales

3 – الجنس ميلانكونيوم .*Melanconium* spp: الأسيرفيولة والأبواغ داكنة اللون، والأبواغ وحيدة الخلية (الشكل 11 – 5)، و تتكوّن على حلقات متعاقبة Annellides.

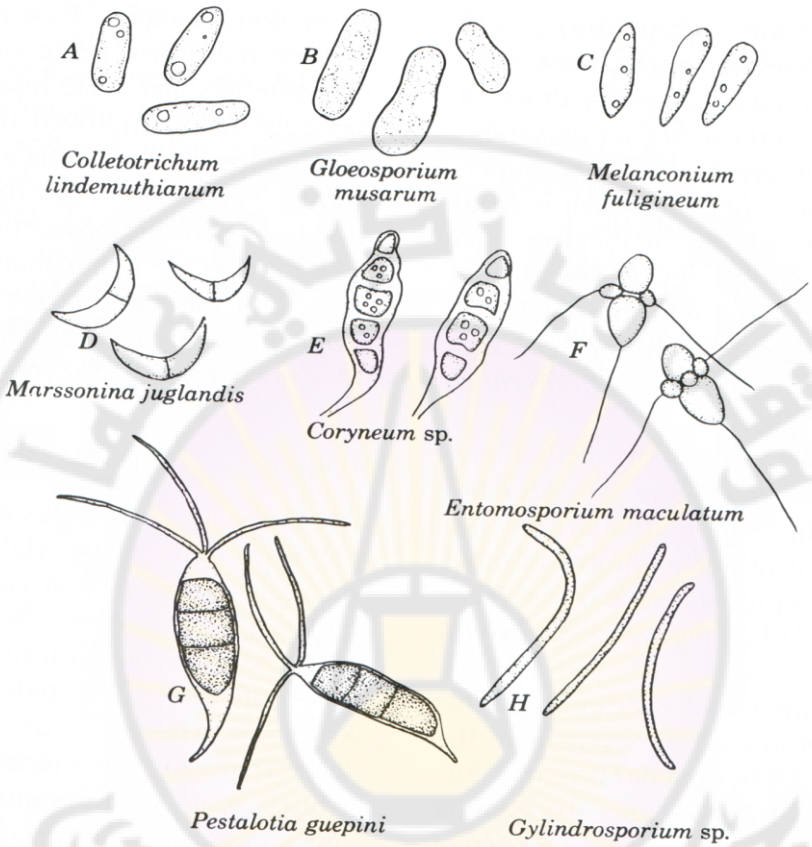
4 – الجنس مارسونينا .*Marssonina* spp: الأبواغ ثنائية الخلايا وشفافة (الشكل 11 – 5). ومن أنواعه *M. populi* الذي يسبب لفحة أوراق وفروع الحور. و النوع *M. rosae* وهو الطور الناقص للفطر *Diplocarpon rosae* (من الزقيات القرصية)، ويسبب مرض التبقع الأسود على الورد. ويوجد لبعض الأنواع من *Diplocarpon* أطوار ناقصة من الجنس *Entomosporium*.

و تتكوّن أبواغ الجنس .*Entomosporium* spp من عدة خلايا، وهي شفافة ومزودة بأسواط، وتشبه الحشرة شكلاً (الشكل 11 – 5). وتعتبر الثمار اللاجنسية حالة وسط بين البكنيدات والكويمات الفطرية Acervules، ولهذا السبب يصنف بعض العلماء هذا الجنس في الرتبة الشكلية Melanconiales، بينما يفضل البعض تصنيفها في رتبة Sphaeropsidales. وكذلك الأمر بالنسبة للجنس *Pestalotia*: أبواغه عديدة الخلايا 2 – 4، داكنة اللون، والخليتان الطرفيتان شفافتان، ويسبب الفطر *P. guepini* مرض الأنثراكنوز على نباتات الزينة وبخاصة الكاميليا، وبعض الأشجار الحراجية مثل الأكاسيا، ولبعض الفطريات الزقية أطوار ناقصة من أنواع الـ *Pestalotia* .

أما الجنس .*Cylindrosporium* spp: أبواغه أسطوانية متطاولة الشكل 11 – 5).

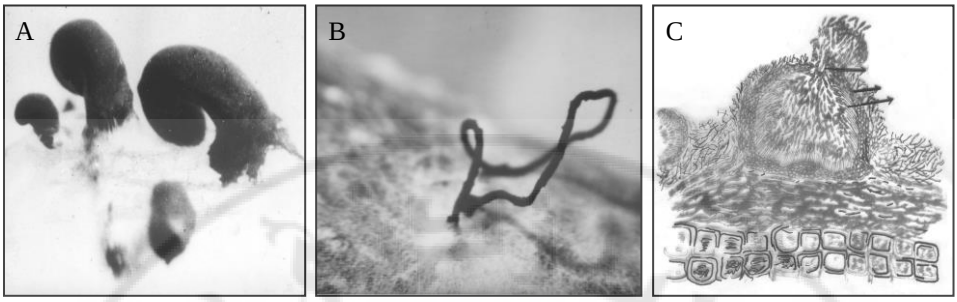
ثالثاً ـ الرتبة الشكلية سفيروبسيدالس Form-order Sphaeropsidales

تضم هذه الرتبة الشكلية جميع الفطريات الناقصة التي تتبوّغ ضمن بنيات أو إثمارات كروية لها فوهة علوية Ostiole تدعى البكنيدات Pycnidia، ومفردها Pycnidium. تميل الخيوط الفطرية للتجمع والتشابك المتراص لتكوين ستروما مكورة صماء، ثم يحدث تحلل أنزيمي في مركزها يؤدي إلى تفكك وتحلل الخلايا المركزية،



الشكل 11 – 5: نماذج مختلفة من الأبواغ الكونيدية لبعض فطريات الرتبة الشكلية Melanconiales

فيتكون تجويف يحتوي فقط على المواد الهلامية الناتجة عن التحلل Mucilage، وتتمايز جميع الخلايا المطلة على فراغ الجوف، و تتكوّن طبقة من الحوامل البوغية، التي ستعطي الأبواغ الكونيدية، فيما بعد وتتجمع الأبواغ في جوف البكنيد وتختلط مع المادة الهلامية، ثم يتكوّن للبكنيد فوهة علوية تتحرر من خلالها الجبلة البوغية أو الهلام البوغي على شكل سحابة تستقر في قمة البكنيد أو تتحرر بصورة خيوط تدعى Cirrhi (الشكل 11 – 6). تختلف البكنيدات من حيث الشكل، والحجم، واللون، إضافة إلى سماكة الجدار، وقد يكون قوامها قاسياً أو جلدياً أو هشاً.



الشكل 11 – 6: (A) هلام بوغي يخرج من فوهة البكنيد. (B) هلام بوغي يخرج بصورة خيوط Cirrhi من فوهة البكنيد. (C) رسم تخطيطي لمقطع عرضي في بكنيد داخل أنسجة النبات إذ يلاحظ وجود فوهة Ostilole تسمح بتحرر الأبواغ منها في كتلة هلامية (عن فضول).

وتتكوّن الثمار البكنيدية على سطح النبات في مكان الإصابة، وقد تكون غاطسة في أنسجة النبات المصاب، حيث تشاهد فوهاتها والهلام البوغي الناتج منها.

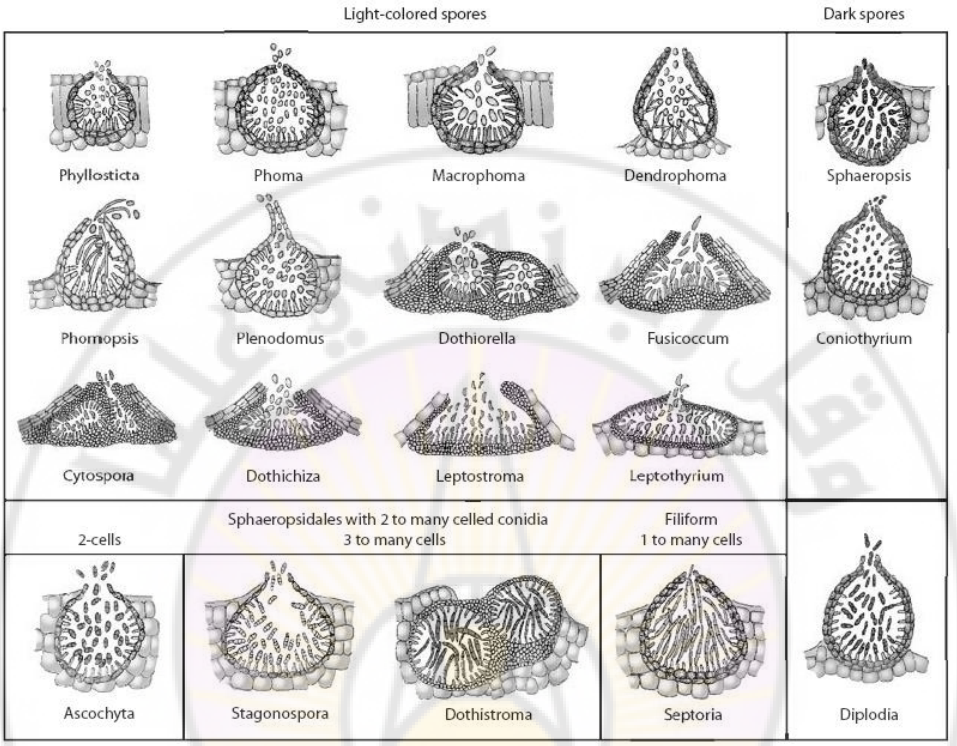
يبلغ عدد أجناس هذه الرتبة 600 جنساً تتجمع في فصائل مختلفة، استناداً إلى الخصائص المختلفة للأوعية البكنيدية، من ناحية الشكل واللون وطبيعة الجدار (الشكل 11 – 7). ومن هذه الفصائل الشكلية:

الفصيلة الشكلية سفيروبسيداسيه Form-family Sphaeropsidaceae

تمتاز بكنيداتها بأنها قاسية جلدية، أو هشة، سوداء إلى فحمية، لها فتحة علوية Ostiole. يعيش أفرادها رمياً في التربة أو فوق بقايا المحاصيل الزراعية، أو طفيلية على النباتات الراقية مسببة لها أمراضاً خطيرة. وأهم أجناسها:

Phoma spp.: الأبواغ صغيرة، وحيدة الخلية، شفافة، كروية أو بيضوية (أقل من 15 ميكروناً). البكنيدات صغيرة، سوداء، جلدية الملمس. يضم أكثر من 2000 نوعاً.

Macrophoma spp.: يشبه إلى حد كبير الجنس *Phoma*، ويختلف فقط بأن أبواغه ذات أبعاد أكثر من 15 ميكروناً، ويضم البعض الجنسين في جنس واحد.



الشكل 11 – 7: أشكال البكنيدات والأبواغ الكونيدية التي تشكلها الأجناس الرئيسية من الرتبة الشكلية Sphaeropsidiales .

Phomopsis spp.: تنتج أنواعه نموذجين من الأبواغ الكونيدية، أبواغ صغيرة الحجم (Alpha conidia) تشبه أبواغ الفوما *Phoma*، و أبواغ قلمية (Beta conidia)، حيث تكون طويلة وممدودة، وقد تنحني مثل العكّاز، ولا يعرف لها وظيفة ولم تشاهد منبته، ويعتقد بانتماء الجنس *Phomopsis* إلى الجنس الزقي *Diapothe*.

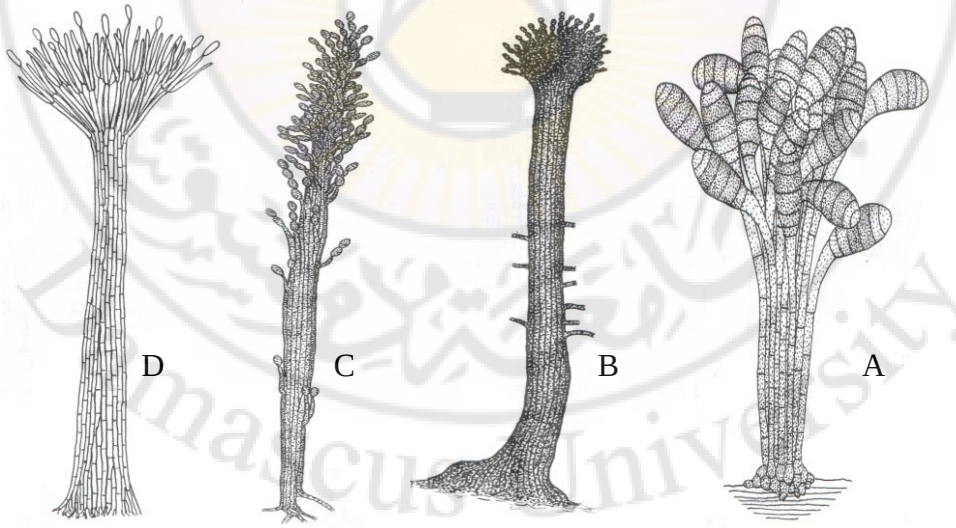
Septoria spp.: الأبواغ الكونيدية خيطية، رفيعة، متعددة الخلايا، غالباً مقوسة وشفافة. ومن أنواعه *S. nodorum* و *S. tritici* اللذان يتطفلان على القمح، ويسببان لطخة السنابل وتبقع الأوراق.

Ascochyta spp.: الأبواغ هيالية أو شفافة، ثنائية الخلية، يتطفل بعض أنواعه على المحاصيل البقولية كالحمص والبازلاء مسببة اللفحة Blight.

Diplodia spp.: الأبواغ داكنة اللون وثنائية الخلايا.

Hendersonia spp.: الأبواغ داكنة اللون ومتعددة الخلايا.

بالإضافة لتشكل الحوامل البوغية وتكوين الأبواغ في الاثمارات الفطرية ذات البنيات المختلفة والتي سبق ذكرها، يمكن أن تتكوّن الأبواغ أيضاً في بنيات إثمارية لاجنسية أخرى تدعى الكوريميا Coremium أو السينّما Synnema فهي شكل من أشكال التكاثر الإعاشي (اللاجنسي) وتتشكل من انتصاب حزم من الخيوط الفطرية كمجموعة جيدة الالتصاق، تحمل عليها الأبواغ جانبياً أو طرفياً أو الاثنين معاً (الشكل 11 – 8).



الشكل 11 – 8: نماذج مختلفة من الكوريميا Coremium أو السينّما Synnema . (A) *Phragmocephala* . (B) *Sporocybe*. (C) *Stysanus*. (D) *Didymostilbe* .

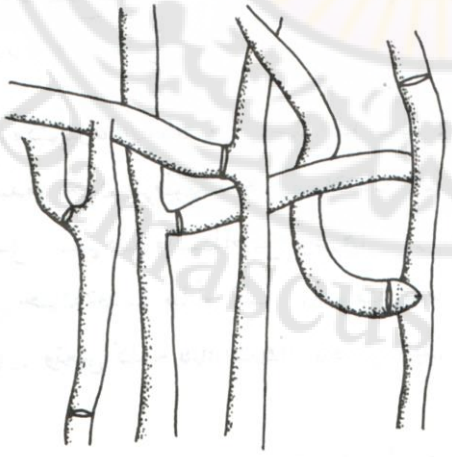
رابعاً - الرتبة الشكلية المشائج العقيمة Form-order Mycelia sterilia

أو الرتبة الشكلية Form-order Agonomycetales

مجموعة فطرية تضم الأنواع التي لا يتكوّن على مشائجها أي نوع من الأبواغ. وهي عبارة عن مجموعة غير متجانسة، ولا يرتبط أفرادها بأي رابطة سوى أن هيفاتها فقدت القدرة على تكوين الأبواغ الجنسية و اللاجنسية، لذا سميت رتبة المشائج العقيمة .

تتكاثر بتجزئة المشائج، وتكوين الأجسام الحجرية Sclerotia، وبواسطة الحبال الفطرية. وتضم أكثر من 30 جنساً و 400 نوعاً، نذكر منها:

الجنس .*Rhizoctonia* spp: وهو من فطريات التربة (Soil-borne) واسع الانتشار في جميع أنحاء العالم. يتطفل على العديد من النباتات المزروعة من محاصيل وخضار. وتعني كلمة *Rhizoctonia* " قاتل الجذور". ومن أهم أنواعه *R. solani*: وهو الطور الناقص للفطر *Thanatephorus cucumeris* المسبب لمرض القشرة السوداء على البطاطا (Black scurf of potatoes). المشيجة عديمة اللون عندما تكون حديثة السن، الخيوط الفطرية ثخينة، متفرعة، وتمتاز بوجود تخصر عند نقاط التفرع (الشكل 11 – 9) .



الشكل 11 – 9: خيوط من المشيجة الفطرية العقيمة للفطر .*Rhizoctonia* sp، إذ يلاحظ وجود تضيّق في الخيط الفطري عند منطقة التفرع.

الجنس *Sclerotium* spp.: واسع الانتشار والتخصص على العوائل النباتية المختلفة مثل البطاطا والفول والكرنب والذرة الصفراء والبصل والثوم. ومن أنواعه *S. cepivorum*، وله مشائج بيضاء قطنية المظهر، تتحول إلى أجسام حجرية صغيرة تبقى في التربة محتفظة بحيويتها لمدة 10 سنوات، ويسبب هذا النوع مرض العفن الأبيض White rot، ويلحق خسائر كبيرة في زراعة الثوم في بلادنا.

الفصل الثاني عشر

بيئـــــــــــة الفطريات Ecology of Fungi

وعلاقتها مع الكائنات الحية الأخرى

مقدمـــــــــــة

تمتاز الفطريات بقدرتها الكبيرة على التكيُّف في أوساط مختلفة، إذ أننا نجدها في كل مكان من العالم. فبعض الأنواع متكيفة مع الجفاف، والبعض الآخر يعيش في الماء. وبعضها يتحمل ضغطاً حلولياً مرتفعاً في الأوساط الملحية والسكرية، فهي قادرة على غزو المحاليل الملحية التي تُحفظ بها الأطعمة أو المحاليل السكرية كالعسل والمربيات. وبعضها يحب الحرارة ويمكن أن يوجد على سبيل المثال في الدبال بدرجة حرارة 70 – 75°م، وبعضها الآخر قادر على النمو في غرف التبريد.

يصبح الوسط الذي تنمو عليه الفطريات بسرعة غير مناسب لتطورها. عندئذٍ إما أن ترحل بفضل نمو الخيوط الفطرية بحثاً عن عناصر مغذية جديدة، أو أن تشكل وحدات مقاومة للتكيُّف مع الظروف الجديدة للوسط، ثم تنمو على الوسط المهجور أنواع أخرى ذات احتياجات غذائية مختلفة.

إن التغيرات في الوسط الغذائي ليست الوحيدة التي تلعب دوراً في تحديد سلوك الفطريات. إذ أن التغيرات التي تحدث في الوسط الفيزيائي تؤدي أيضاً لردود أفعالٍ مختلفة تبعاً لنوع الفطر، وتلعب هذه التغيرات دوراً مهماً في تحديد الدورة البيولوجية من جهة وتوزع الفطريات من جهة أخرى .

وبالإضافة إلى التباين الموجود بين الأنواع، فإن الفطر نفسه لا يظهر حساسية واحدة تجاه هذه التغيرات، وذلك تبعاً للمرحلة التي يكون فيها من دورة حياته. فإنبات الأبواغ، ونمو المشيجة، والتبوّغ، وتشكل الإثمارات وتطورها، لا تتطلب جميعها ظروفاً واحدةً، وإنما لكل مرحلة متطلباتها الخاصة.

أ – العوامل البيئية المؤثرة على نمو الفطريات

العاملان الفيزيائيان الأساسيان للوسط هما الحرارة والرطوبة، إضافة لوجود عوامل أخرى قد تلعب أحياناً دوراً هاماً في سلوك الفطريات مثل: الضوء والضغط الحلولي والحموضة .

الحرارة Temperature

يناسب كل كائن حي بما في ذلك الفطريات درجات حرارة متباينة، ولكل منها درجة حرارة دنيا Minimum، وعظمى Maximum، إذ يتوقف نمو المشيجة خارج حدود هذا المجال الحراري، وغالباً مايكون المجال الحراري الذي يناسب نمو الفطريات بحدود [5 – 35 °م]، والدرجة المثلى من 20- 25 °م.

تلعب درجات الحرارة دوراً كبيراً في التوزع الجغرافي للفطريات. فالفطر المسبب للبياض الدقيقي على النجيليات *Erysiphe graminis*، له درجة حرارة مثلى 15- 20 °م، لذلك يظهر هذا الفطر بشكل مبكر في أواخر الشتاء في المناطق المعتدلة. بينما عند الفطر *Leveillula*، تكون الدرجة المثلى للنمو من 25 - 30 °م، لذلك فإن انتشار هذه الفطريات في المناطق الجافة والحارة نسبياً حول المتوسط وفي جنوب غرب آسيا يُعزى بشكل أساسي لمتطلباته الحرارية .

تجدر الإشارة إلى أن درجة الحرارة المناسبة لنمو المشيجة تختلف عن تلك اللازمة لتشكل الأبواغ والثمار الفطرية. وعلى سبيل المثال، تنمو مشيجة الفطر

Armillaria mellea على درجة حرارة مثلى 23 ºم، ولكنه يحتاج إلى حرارة 14 ºم لتكوين ثماره الدعامية.

وتختلف الفطريات في متطلباتها الحرارية، فبعضها يخشى الحرارة المرتفعة نسبياً وتدعى بالأنواع المحبة للبرودة Cryophiles. بينما يحتاج بعضها الآخر لدرجات حرارة مرتفعة نسبياً من أجل نموها وتدعى بالأنواع المحبة للحرارة Thermophiles .

الأنواع المحبة للبرودة Cryophiles: تحتاج هذه الفطريات لنموها إلى درجات حرارة منخفضة. فمثلاً، تنمو بعض سلالات الفطر *Cladosporium herbarum* على اللحوم المحفوظة بدرجة حرارة – 6 ºم. كما أن الفطر *Calonectria nivalis* (*Fusarium nivalis*) يسبب أفدح الخسائر عندما تكون التربة مغطاة بطبقة سميكة من الثلج، وتقع الدرجة المثلى لنموه بين 0 – 5 ºم .

الأنواع المحبة للحرارة Thermophiles: يتكيف العديد من الأنواع الفطرية مع درجات الحرارة العالية. وتنتمي الأنواع الفطريات المحبة للحرارة بشكل أساسي إلى الفطريات الزيجية Zygomycetes والزقية Ascomycetes والناقصة Deuteromycetes، إذ أن درجة الحرارة المثلى تقع بين 45 و 50 ºم، ويمكن أن يستمر النمو حتى 60 – 62 ºم. فقد تم عزل الفطر *Aspergillus* sp. من عينات مأخوذة من دبال بدرجة حرارة 70 ºم. بينما ينتمي عدد قليل جداً من الفطريات الدعامية Basidiomycetes إلى هذه المجموعة، مثل بعض الأنواع التابعة للجنس *Coprinus*.

الماء Water

تختلف الفطريات في احتياجاتها المائية، فبعضها محب للماء Hydrophytes كالفطريات البيضية التي يقضي بعض أفرادها كل دورة حياته في الوسط المائي، و بعضها محب للجفاف Xerophytes إذ أنها تستطيع النمو في أوساط شديدة الجفاف.

الفطريات المحبة للجفاف Xerophytes (Xerophiles): تُعَدُّ فطريات البياض الدقيقي التابعة للفصيلة Erysiphaceae من الفطريات المتحمّلة للجفاف، إذ تستطيع أبواغ معظمها الإنبات بوجود رطوبة نسبية منخفضة جداً، بينما تستطيع بعض أنواعها الإنبات في جو جاف تماماً (صفر %) لأن الأبواغ الاوئيدية Oidia (= Oidospores) تحتوي بداخلها على قطرة ماء تساعدها على الإنبات. وتنمو مشيجة هذه الفطريات في الهواء الطلق على سطوح النباتات المضيفة، وهذا ما يعرضها أحياناً لقيم منخفضة جداً من الرطوبة الجوية. ويُعَدُّ التطفل السطحي لهذه الفطريات نوعاً من التكيّف مع احتياجاتها المنخفضة جداً من الرطوبة، الأمر الذي يُعزى إليه خطورة هذه الفطريات على النباتات المضيفة في المناطق الجافة .

الفطريات المحبة للماء Hydrophytes (Hydrophiles)

هناك فطريات مائية لا يمكنها العيش خارج الأوساط المائية، وتنتمي هذه الفطريات بشكل أساسي لمجموعة الفطريات السوطية Mastigomycotina، ولهذه المجموعة ينتمي الجنس *Saprolegnia* المتطفل على الأسماك. وهناك بعض الأمثلة أيضاً لأنواع تابعة للفطريات الزقية Ascomycetes و الناقصة (Hyphomycetes)، أما الفطريات الدعامية Basidiomycetes فهي نادرة في هذا الوسط .

إن الصفات التي تميز الفطريات المائية تتعلق بشكل وحدات التكاثر والانتشار (الأعراس والأبواغ). فعند الفطريات السوطية Mastigomycotina، تكون الخلايا مزودة بسياط تساعدها على الحركة والانتقال. وتوجد الأبواغ السابحة Zoospores أيضاً عند بعض المجموعات المتكيفة مع الحياة الهوائية كما في فطريات البياض الزغبي (Peronosporaceae)، وفطريات الصدأ الأبيض (Albuginaceae) .....الخ. ويرتبط تكاثر هذه الفطريات باستمرار الطقس الرطب جداً لفترة كافية من الزمن مع وجود الأمطار أو الندى، مما يساعدها على التبوّغ وسهولة الانتشار والإنبات. وهذا ما يفسر خطورة أمراض البياض الزغبي في الدول أو المناطق التي يسود فيها طقس رطب

وماطر، بينما تكون قليلة الأهمية في المناطق الجافة. والشيء ذاته ينطبق على الفطر *Venturia pyrina* المسبب لجرب الأجاص، والذي ينتج أبواغه الكونيدية فقط عندما تكون الأوراق مغطاة بغشاء من الماء، ولا يتم انتشاره إلا في الأوقات الماطرة.

الضوء Light

لا تحتاج الفطريات إلى الطاقة الضوئية نظراً لعدم احتوائها على اليخضور من أجل تصنيع غذائها الكربوني، فهي تأخذه مباشرة من الوسط الذي تنمو عليه.

وقد يكون للضوء أحياناً أثراً سلبيٌّاً على الفطريات. فعلى سبيل المثال، يثبط الضوء إنبات الأبواغ اليوريدية عند بعض فطريات الصدأ. كما ويثبّط الضوء نمو مشيجة الفطر *Coprinus lagopus*. بينما لا تتمكن بعض الفطريات من التبوغ بغياب الضوء، ومثالها الفطر *Monilina fructigena* المسبب للعفن البني على التفاح والأجاص .

درجة الحموضة أو الـ pH (Potentiel Hydrogene)

تستطيع الفطريات النمو في مجال واسع من درجات الـ pH، الذي يتم الحصول عليه بأخذ لوغاريتم مقلوب التركيز [C] من أيونات الهيدروجين ($pH = - \log [H^+]$). وتفضل الفطريات بشكل عام الأوساط الحامضية، مما يزيد من قدرتها على التنافس مع الجراثيم على المواد الغذائية، حيث أن معظم أنواع الجراثيم لا تستطيع النمو في الأوساط الحامضية، لذلك تنمو الفطريات بشكل كثيف في هذه الأوساط. و تفضل الفطريات الأوساط النباتية لأن خلايا النبات تميل بشكل عام إلى الحموضة. إلا أننا قد نجد أنواعاً من الفطريات تنمو على الأوساط القلوية. فالفطر *Sordaria fimicola* لا يستطيع تكوين ثماره الزقية إلا عند pH = 6.

إن الدرجة المثلى لنمو الفطريات تقع بين (pH = 4 – 5) ، وتعد الفطريات أقل حساسية من الجراثيم لتغيرات الـ pH .

ب – طرائق معيشة الفطريات

كما ذكرنا سابقاً أن الفطريات هي كائنات حية غير ذاتية التغذية Heterotrophic، أي أنها تحصل على احتياجاتها الغذائية بالاعتماد على غيرها وعلى المادة العضوية. ويمكن تقسيم الفطريات تبعاً لطريقة حصولها على المواد الغذائية إلى ثلاث مجموعات:

1- الفطريات الرمية Saprophytic fungi

الفطريات الرمية هي الفطريات التي تستطيع الاستفادة من المادة العضوية الميتة في الحصول على احتياجاتها الغذائية. وهذه العملية هي الأصل في نشوء الدبال الذي يلعب دوراً أساسياً في خصوبة التربة عن طريق تفكيك المخلفات العضوية التي تتراكم سنوياً في التربة.

والفطريات ليست الوحيدة التي تقوم بتحويل أو تفكيك المادة العضوية، ولكنها تلعب دوراً هاماً في هذه العملية إلى جانب الجراثيم وعدد من الكائنات الحية الأخرى.

ويمكن تقسيم الفطريات الرمية حسب الطبيعة الكيميائية لهذه المخلفات إلى ثلاث فئات رئيسة:

الفطريات المحللة للكربوهيدرات الذوّابة أو سهلة الحلمهة

تسمى هذه الفطريات أيضاً بالفطريات السكرية Sugar fungi التي تغزو بسرعة كبيرة جداً الأعضاء النباتية الساقطة حديثاً، حيث تجد فيها مصدراً هاماً للكربون القابل للاستهلاك مباشرة. وتجدر الإشارة إلى أن معظم هذه الفطريات يمكن أن يكون موجوداً على هذه الأعضاء النباتية قبل سقوطها، وتتغذى عندئذ على الإفرازات الموجودة على بشرة النبات، لذا تسمى أيضاً بفطريات سطوح الأوراق Phylloplane. وهي عبارة عن أنواع مجهرية تنتمي غالباً إلى الخمائر التي تلعب دوراً محدداً في المراحل الأولى من تفكيك الثمار اللحمية، ولهذا تم الاستفادة من بعض الخمائر مثل *Saccharomyces*

cerevisiae في صناعة المشروبات الكحولية. ومن الفطريات الناقصة نذكر *Alternaria tenuis*، و*Epicoccum nigrum*، و *Cladosporium herbarum* .... التي تغزو الأوراق الهرمة والميتة، ولكنها غير قادرة على مهاجمة السيللوز، ثم تنضمّ إليها سلسلة من الفطريات الأخرى التي لاتستطيع النمو على أنسجة مازالت حيّة مثل بعض أنواع الأجناس *Alternaria* ، و *Penicillium*، و *Trichoderma* ...الخ.

الفطريات المحللة للسيللوز

بعكس المجموعة السابقة، تملك هذه الفطريات أنزيمات قادرة على تفكيك السلاسل الجزيئية الطويلة المكّونة للسيللوز Cellulose والسيللوزالنصفي Hemicellulose إلى جزيئات بسيطة من السيللوبيوز و الغليكوز التي يمكن استخدامها بسهولة. ويوجد العديد من هذه الفطريات في الطبقات السطحية من التربة، ومن أمثلتها: *Chaetomium* sp.، *Sordaria* sp.، *Fusarium* sp.، *Aspergillus* sp. ...الخ .

<u>الفطريات المحللة لسيللوز الأخشاب</u>

هناك فطريات متخصصة في مهاجمة الأخشاب، مثل الأغصان والجذوع المقطوعة، واستخدام السيللوز. ولا يستخدم الخشبين إلا نادراً، وأحياناً لا يستخدم أبداً، إذ لا تملك بعض الأنواع أي أنزيمات فينولوكسيداز Phenoloxydase لتفكيك هذه المادة. وتتسبب هذه الفطريات بنوعين من الأعفان:

أ - العفن الأحمر المكعب: يسبب هذا النوع من العفن الفطريات التي تستخدم بشكل أساسي السيللوز والسيللوز النصفي في الأخشاب المعرضة للهواء. وبالتالي ترتفع نسبة الخشبين، مما يؤدي إلى ظهور الأخشاب بلون أسمر أو أحمر مسمر. ونتيجة لتخرب البنية الليفية، تتجزأ هذه الأخشاب إلى قطع مكعبة الشكل. ويختص بذلك عدد من الفطريات الدعامية.

ب- العفن الطري: وهو أقل انتشاراً من السابق، والفطريات التي تسببها لا تنمو إلا على مواد مشبعة بالرطوبة. ولذلك يكثر وجودها على الأخشاب الملامسة لتربة رطبة أو حتى المغمورة بالماء. وتنتمي الفطريات المسؤولة عن هذه الأعفان إلى مجموعات مختلفة عن السابقة، وهي بشكل أساسي فطريات زقية و ناقصة. وبعض الفطريات المائية التابعة للمجموعة Hyphomycetes هي أيضاً مسؤولة عن الأعفان الطرية.

الفطريات المحللة لسيللوز الأوراق

تتفكك الأوراق الميتة التي تسقط بكميات كبيرة سنوياً على التربة بسرعة لتدخل من جديد في طورها المعدني. ومن أمثلة الفطريات السبّاقة في الظهور على هذه الأوراق نذكر: *Penicillium* sp.، و *Trichoderma* sp.، و *Mucor* sp.، و *Mortierella* sp. ....الخ. وفيما يتعلق بالفطريات الدعامية، يصعب التمييز بين الأنواع المحللة للسيللوز وتلك المحللة للخشبين، لأن معظم هذه الأنواع قادرة على تفكيك المادتين معاً، على الرغم من وجود بعض الأنواع القادرة على تفكيك السيللوز فقط دون الخشبين.

الفطريات المحللة للخشبين

تجدر الإشارة إلى أن كثيراً من هذه الفطريات يستخدم أيضاً السيللوز، ولكنها تحصل على الجزء الأكبر من غذائها من جزيئات الخشبين.

إن هذه الجزيئات الكبيرة الحجم وذات التركيب المعقد، والمؤلفة من عدد كبير من الجزيئات المختلفة ذات النوى الفينولية، تشكل جزءاً هاماً من المخلفات النباتية.

إن الخشبين والمركبات الفينولية هي المسؤولة غالباً عن تلون الأنسجة الخشبية. لذلك فإن تفكك هذه المركبات بواسطة الفطريات يؤدي إلى زوال اللون، ومن هنا أتت تسميتها بالأعفان البيضاء.

الأعفان البيضاء على الأخشاب: إن تفكك الخشبين يحصل عادة بسرعة أكبر من تفكك السيللوز. مما يؤدي إلى زوال لون الخشب، مع المحافظة على بنيته الليفيّة في البداية. ولذلك يسمى أيضاً بالعفن الأبيض الليفي. ومن أمثلة الفطريات المسببة لهذه الأعفان: *Armillaria mellea* من الفطريات الدعامية، و*Xylaria* sp. من الفطريات الزقية.

الأعفان البيضاء على الأوراق والسوق العشبية: عند قلب طبقة من الأوراق المتشكلة في غابة مثلاً، يلاحظ وجود طبقة من الأوراق المغطاة بمشيجة بيضاء. تنتمي هذه الفطريات غالبا للفطريات الدعامية القادرة على تفكيك السيللوز والخشبين في الأوراق، كما هي الحال في الأخشاب، ولكن بأفضلية من أجل الخشبين والمركبات الفينولية التي توجد في الخلايا، مما يؤدي لزوال اللون، وظهور الأوراق بلون أبيض.

ومن الفطريات الرمية ما هو إجباري الترمم Obligate saprophytes، أي أنها لا تعيش إلا على المواد العضوية الميتّة. ومنها ما هو اختياري التطفل Facultative parasites، أي أنها تعيش بصورة رمية، ولكنها إذا صادفت عائلاً مناسباً، تتطفل عليه محللة أنسجته، وتستمر في التغذية عليه بعد موته، أو على أي مخلفات أخرى في الوسط الذي تنمو فيه.

2 - الفطريات المتطفلة Parasitic fungi

تحصل الفطريات المتطفلة على احتياجاتها الغذائية من الأنسجة الحية لكائنات أخرى مسببة لها أمراضاً مختلفة. ويكمن فن الحياة عند الطفيليات في قدرتها على إدارة مضيفاتها، بعكس المفترسات التي تقضي على فريستها لتلتهمها بعد موتها.

تأخذ الفطريات إجبارية التطفل "Obligate parasites" المواد التي لا تستطيع تصنيعها بنفسها من النبات المضيف مما يؤدي إلى ظهور أعراض مرضية مختلفة، ومن أمثلتها الفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي والبياض الزغبي والصدأ والتفحمات.

بينما تسلك الفطريات المتطفلة اختيارية الترمم "Facultative saprophytes"، سلوكاً قريباً من الافتراس. إذ أن الفطر يهاجم النبات بشكل عنيف ليقضي عليه بسرعة، ومن ثم يبدأ بالتغذية على أنسجته الميتة مثل الفطريات *Fusarium* sp. و *Verticillium* sp. المسببة لأمراض الذبول الوعائي (Wilt)، التي تغزو الأوعية الناقلة وتفرز مواد سامـة مما يؤدي إلى الموت السريع للنبات نتيجة نقص الماء من جهة، وتسمم الخلايا من جهة أخرى، ثم يتابع الفطر نموه على أنسجة النبات بعد موتها. ومن الأمثلة أيضاً، الفطريات المسببة للذبول الطري أو سقوط البادرات Damping off و تحلل البذار Seed-rot مثل *Botrytis* sp. و *Pythium* sp. ....الخ .

3 - الفطريات المفترسة Predatory fungi

تتطفل بعض أنواع الفطريات على الحشرات والعناكب، ويسمى هذا التطفل "الافتراس" الذي يعتبره بعض العلماء شكلاً من أشكال الحياة الرمية. إذ أن الفطريات المفترسة تلتقط الأحياء الدقيقة كالديدان الخيطية، وتقتلها بسرعة لتتغذى على أنسجتها.

تتكيف الفطريات مع حياة الافتراس بتشكيل تراكيب خاصة لالتقاط الأحياء الدقيقة. وتنتمي الفطريات المفترسة لرتبة Hyphomycetales التابعة للفطريات الناقصة.

4 - الفطريات المتعايشة Symbiotic fungi

يعرّف التعايش Symbiosis على أنه علاقة شراكة في الحياة أو معاشرة دون أن يلحق أحد الطرفين الضرر بالآخر، فهي علاقة قائمة على تبادل المنفعة، ويدعى كل مشارك بالمتعايش Symbiont.

ومن بين علاقات التعايش القائمة بين الفطريات والنباتات الخضراء، يمكن أن نميز الأَشْنَات (= الشيبيات Lichens) والميكوريزا Mycorrhiza.

المتعايشات الجذرية (الميكوريزا) Mycorrhiza

كما تسمى بالفطريات المتعايشة مع الجذور إذ يستطيع عدد كبير من الفطريات إقامة علاقة تعايش مع جذور النباتات الراقية وتكوين ما يدعى بالميكوريزا. وكلمة Mycorrhiza مشتقة من اليونانية، حيث mukes تعني فطراً، و rhiza تعني جذراً. ويعبّر هذا المصطلح عن العلاقة الحيوية بين مشائج الفطريات وجذور النباتات، وهو أكثر الأنماط الحيوية انتشاراً في الطبيعة.

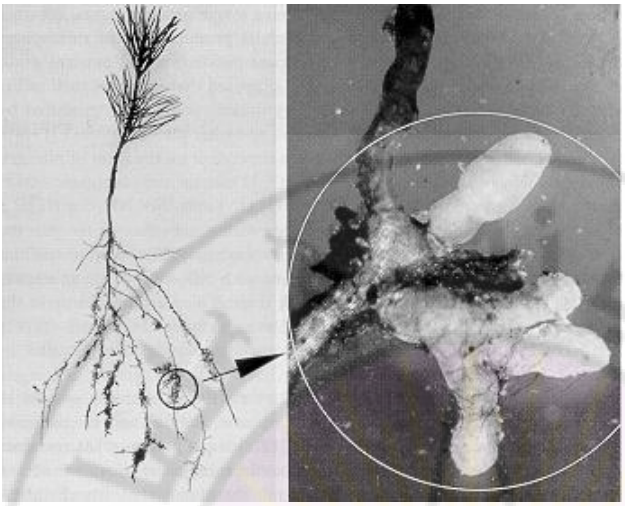
يساعد وجود الميكوريزا على جذور النباتات في تحسين نموها عن طريق تحسين التغذية المعدنية وتحسين امتصاص الماء. إضافة إلى أن وجود الفطريات الجذرية يساعد في زيادة مقاومة النبات للمسببات المرضية الموجودة في التربة، وتحمله لدرجات الملوحة المرتفعة، ولدرجات الحرارة العالية والمنخفضة. وبالمقابل يتكفل النبات بتقديم المواد العضوية للفطر. بالإضافة إلى ذلك، تنتج بعض الفطريات الراقية المشكلة للميكوريزا ثماراً فطرية صالحة للأكل، وبعضها ذو قيمة اقتصادية كبيرة، ومن أمثلتها فطر الكمأة *Terfezia* sp. والفطر *Tuber* sp. من الفطريات الزقية.

وتُعَدُّ الميكوريزا شرطاً من شروط حياة بعض النباتات كما في الفصيلة الأوركيدية Orchidiaceae، فهي نباتات إجبارية التعايش. بينما بعض النباتات الأخرى تستطيع العيش بوجود الفطر أو بغيابه، أي أنها اختيارية التعايش كما في الصنوبر والسنديان.

يمكن تمييز ثلاثة أنماط شكلية رئيسة من الميكوريزا، وذلك تبعاً لتوضع الخيوط الفطرية بالنسبة لأنسجة الجذور:

1 – الميكوريزا الخارجية Ectomycorrhiza

هي اتحاد بين جذور النباتات وخاصة الحراجية منها مع مشيجة الفطريات الدعامية غالباً، أو الزقية أحياناً، أو الزيجية نادراً (الشكل 12 –1).

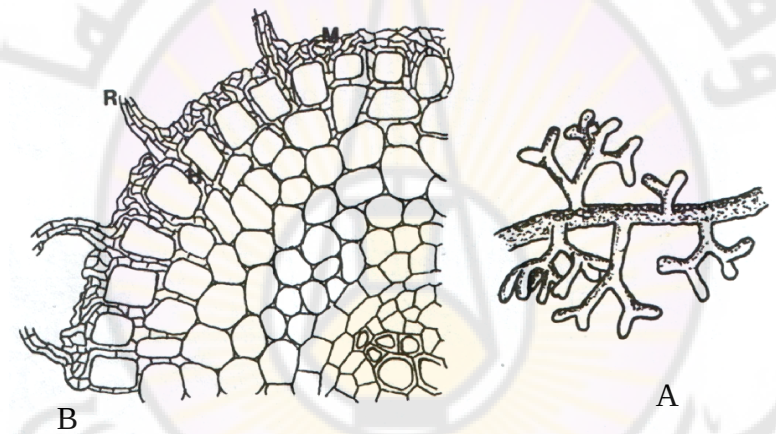


الشكل 12 – 1: ميكوريزا خارجية Ectomycorrhiza، إذ يلاحظ وجود محفظة فطرية Mantle محيطة بالجذور .

يبيّن المقطع العرضي وجود غلاف أو محفظة فطرية (Mantle) تحيط بالجذر من الخارج. يتكوّن هذا الغلاف من نسيج فطري ضام جيد الحبك ومتماسك، وقد يتكّون الغلاف من عدة طبقات، حيث تكون الطبقة الداخلية كثيفة ومتماسكة ومحبوكة بشكل جيد، بينما تصبح الخيوط الفطرية قليلة التماسك باتجاه الخارج. ويخرج من هذه المحفظة خيوط فطرية منفصلة، أو مجتمعة مع بعضها البعض لتشكل ما يسمى بالحبال الفطرية Synnema تمتد في التربة إلى مسافات بعيدة عن الجذور وغالباً ما تغلف المحفظة الفطرية (الفروة أو الكم) قمة الجذر تماماً، القلنسوة أولاً، ثم منطقة الأوبار، ولذلك لا يشكل الجذر أوباراً ماصة. ومن جهة أخرى، يلاحظ تحت المحفظة الفطرية وجود أنسجة قشرة الجذر، التي تخترقها الخيوط الفطرية وتتفرع بين الخلايا لتشكل ما يسمى بشبكة هارتج Hartig net. وتبقى هذه الشبكة محصورة في الطبقات الخارجية أو السطحية للجذور، وقد تصل إلى الأدمة الباطنة كما في نبات البيسية *Picea abies*، أو يبقى انتشارها مقتصراً على طبقة البشرة كما في نبات الأوكاليبتوس *Eucalyptus*، أما الاسطوانة المركزية والأنسجة الوعائية فإنها دائماً خالية من هذه الخيوط الفطرية. وينحصر وجود الخيوط الفطرية بين الخلايا Intercellular، ولا توجد أبداً بداخلها.

وغالباً ما تستطيل الخلايا الخارجية من القشرة باتجاه الخارج، مما يعطي المظهر السميك للجذور المشكّلة لهذا النوع مــن الميكوريـزا (الشكلان 12 – 2 و 12 - 5).

إن النباتات المشاركة في هذا النوع من التعايش هي بشكل أساسي نباتات خشبية، وخاصة الأشجار الحراجية. وتتبع الفطريات المشكلة لهذا النوع من التعايش للفطريات الدعامية والزقية، ويُعَدُّ الجنس *Endogone* الجنس الزيجي الوحيد القادر على تشكيل ميكوريزا خارجية.



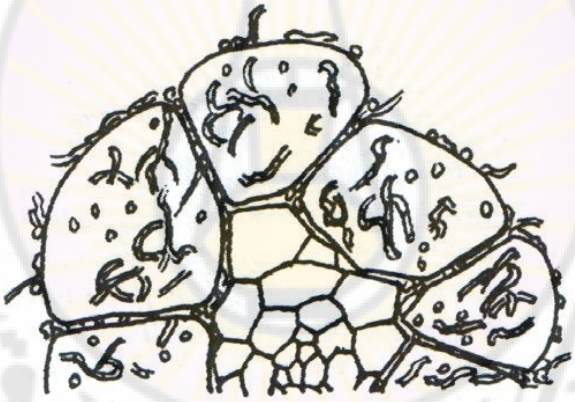
الشكل 12 – 2: الميكوريزا الخارجية Ectomycorrhiza . (A) المظهر الخارجي للجذور الممكرزة إذ تبدو قصيرة، سميكة، متفرعة جداً وغالباً بشكل ثنائي. (B) مقطع عرضي في جذر صنوبر ممكرز. R: حبال فطرية، M: محفظة فطرية، H: شبكة هارتج. (عن Durrieu, 1993) .

الميكوريزا الداخلية Endomycorrhiza

على الرغم من أن الميكوريزا الداخلية أكثر انتشاراً من الميكوريزا الخارجية، ولكنها لم تُدرس إلا في وقت متأخر، وذلك نظراً لعدم وجود أي مظهر خارجي مميز كما هي الحال في الميكوريزا الخارجية. إذ أن المظهر الخارجي للجذور الممكرزة داخلياً يكون مشابهاً تماماً للجذور غير الممكرزة.

تنتمي الفطريات الممكرزة داخلياً إلى الفطريات الزيجية غالباً، ونادراً إلى الفطريات الدعامية والزقية، وتنتشر الخيوط الفطرية في التربة وتختلف بحجومها وأشكالها وأقطارها وسماكة جدرها الخلوية.

تختلف الميكوريزا الداخلية عن الميكوريزا الخارجية بأن شبكة الخيوط الفطرية المنتشرة بين خلايا القشرة تخترق هذه الخلايا وتتفرع بداخلها Intracellular، ويخرج من هذه الشبكة خيوط فطرية تنتشر في التربة، وبدون وجود محفظة فطرية كما في الميكوريزا الخارجية (الشكلان 12 – 3 و 12 - 5). ويمكن أن نميز نموذجين من الميكوريزا الداخلية :



الشكل 12 – 3: الميكوريزا الداخلية Endomycorrhiza. مقطع عرضي في جذير ممكرز لنبات من الجنس *Calluna* . إذ يلاحظ وجود الخيوط الفطرية داخل خلايا قشرة الجذر (عن Durrieu, 1993) .

1 – الميكوريزا الداخلية الحويصلية الشجيرية Vesicular-arbuscular endomycorrhiza: وهي الشكل الأكثر انتشاراً في الطبيعة على النباتات، الخشبية منها والعشبية. ولا تستضيف هذه النباتات عادة نوعاً آخر من الميكوريزا، و يمكن أن نجد في بعضها نمطاً وسطياً من الميكوريزا هو الميكوريزا الخارجية - الداخلية كما في الفصيلة السروية Cupressaceae. وبشكل عام، كل عريانات البذور،

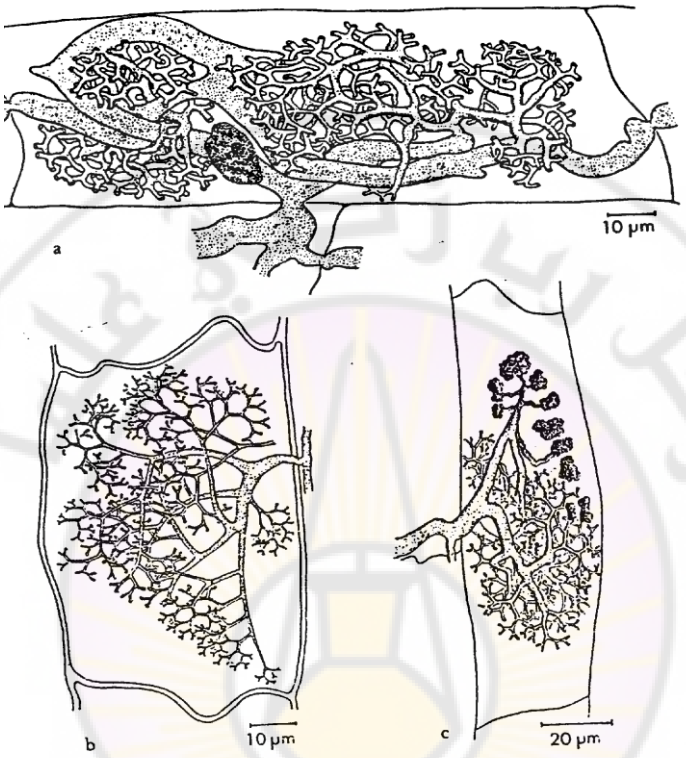
باستثناء الفصيلة الصنوبرية، تستضيف ميكوريزا داخلية. والفطريات المشكلة لهذه الميكوريزا تتبع للفطريات الزيجية (Mucorales).

لا يحدث هذا الشكل من الميكوريزا أي تغيرات مورفولوجية واضحة، ولا يلاحظ هنا انعدام الأوبار الماصة الجذرية. ولكن قد يلاحظ أحياناً وجود تغيرات في اللون، كظهور اللون الأصفر عند البصل والبقوليات مثلاً. والفحص المجهري هو الوحيد القادر على الكشف عن وجود الفطر .

ينحصر انتشار الخيوط الفطرية بين الخلايا البارانشيمية للقشرة. وتخترق هذه الخيوط الفطرية بين- الخلوية خلايا القشرة، وتتفرع بداخلها بكثافة على شكل شجيري Arbuscules لتشغل جزءاً كبيراً من حجم الخلية (الشكل 12 – 4). وفي خلايا أخرى، تنتفخ تفرعات المشيجة على شكل حويصلات Vesicules، كروية غالباً وبأحجام مختلفة. وبشكل عام، تظهر هذه التفرعات الشجيرية والحويصلية في الخلايا المتوسطية والداخلية من بارانشيم القشرة، ومن الجدير ذكره بأن خيوط الفطر تدخل بين جدر الخلايا وغلفها الهيولية ولا تدخل إلى داخل الخلايا. تنتشر الخيوط الفطرية الخارجة من الجذر في التربة، مما يزيد من كمية التراب المستخدم من قبل الجذور.

2 – الميكوريزا الداخلية الكبيبية أو ذات الخيوط الفطرية المقسمة Coils or septate hypha endomycorrhizas: في هذه الحالة، تخترق الخيوط الفطرية خلايا قشرة الجذر، وتتفرع بداخلها على شكل كبيبات. ونجد هنا نموذجين من الميكوريزا: الأول متخصص بالفصيلة الأوركيدية Orchidaceae، حيث تتميز قشرة الجذر بسماكة كبيرة، ويتخللها نوعان من الخلايا، خلايا مضيفة وخلايا هاضمة. بينما نجد النموذج الثاني عند الفصيلة Ericaceae وبعض الفصائل القريبة منها، إذ لم يلاحظ سماكة كبيرة في قشرة الجذر، إضافة إلى أن هضم الخيوط الفطرية من قبل خلايا الجذر لم يثبت حتى الآن.

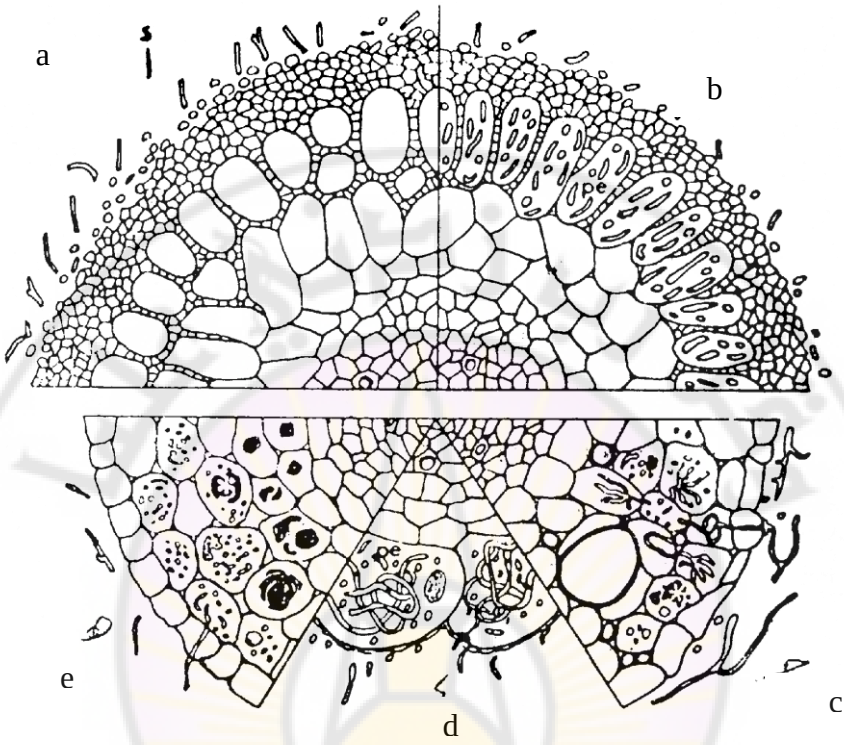
تنتمي الفطريات المشكلة للميكوريزا الداخلية من هذا النمط إلى الفطريات الزقية Ascomycetes والفطريات الدعامية Basidiomycetes .



الشكل 12 - 4: أشكال الشجيرات في الميكوريزا الداخلية (a): شجيرات معقدة فتية (متشعبة)، (b): شجيرات مفردة فتية، (c): بداية تحلل بعض فروع التركيب الشجيري (عن Gallaud ، 1904) .

3 – الميكوريزا الخارجية - الداخلية Ectendomycorrhiza

يملك هذا النوع من الميكوريزا خصائص نمطيّ الميكوريزا الداخلية والخارجية في نفس الوقت. إذ أنها تمتاز بوجود المحفظة الفطرية وشبكة هارتج، وهي من خصائص الميكوريزا الخارجية. كما أن الخيوط الفطرية تخترق خلايا قشرة الجذر، وهي من خصائص الميكوريزا الداخلية (الشكل 12 – 5).



الشكل 12 - 5 : النماذج الشكلية الأساسية للميكوريزا

(a): الميكوريزا الخارجية Ectomycorrhiza

(b): الميكوريزا الخارجية الداخلية Ectendomycorrhiza

(c): الميكوريزا الداخلية الحويصلية الشجيرية Vesicular - arbuscular endomycorrhiza

(d): الميكوريزا الداخلية عند نباتات الفصيلة الأريكية Endomycorrhiza of Ericaceae

(e): الميكوريزا الداخلية عند نباتات الفصيلة السحلبية Endomycorrhiza of Orchidaceae

هذا النوع من الميكوريزا نادر الوجود في الطبيعة، ولا نجده إلا عند عدد قليل من النباتات. حيث إننا نصادفه أحياناً وبصورة غير دائمة عند بعض أنواع الصنوبر، ويبدو أنه يصادف غالباً عند أشجار الصنوبر الفتية. ولكنه يشاهد بشكل منتظم عند النباتات

التابعة لتحت-الفصيلة Arbutoidae التابعة للفصيلة Ericaceae. ونظراً للتشابه الكبير بينه وبين الميكوريزا الخارجية، يبدو أن الفطريات المشكّلة له تتبع نفس المجموعات المشكّلة للميكوريزا الخارجية، ومن أمثلتها النوع *Amanita junquillea* . ومن المؤكد أن الفطريات الدعامية Basidiomycetes تشارك في هذا النوع من الميكوريزا، نظراً لأن المجهر الإلكتروني أظهر أن الثقوب الموجودة في وسط الحواجز المقسمة للخيوط الفطرية كانت ذات صفات مميزة للفطريات الدعامية .

الأَشَنَات (أو الشيبيات Lichens)

تتكوّن الأَشَنَات أو كشة العجوز أو الحزازيات من اتحاد فطر وطحلب يتعايشان مع بعضهما، ويتبادلان المنفعة، وهي ذات بنية معقدة. ولهذه التركيبات العضوية خصائص شكلية وفيزيولوجية وبيئية معينة. وتمتاز عن البريويات (الاسم الحديث المتفق عليه بدلاً من الطحالب) بغياب الساق والأوراق، إضافة إلى ألوانها غير الخضراء (رمادي – رمادي يميل للخضرة – بني)، وفي بعض الأحيان تكون بلون أسود، ونادراً بلون أصفر. وهناك ثلاثة نماذج من الأَشَنَات (الشكل 12 – 6) :

1– الأَشَنَات القشرية Crustose type: وهي عبارة عن طبقة ملتصقة بالوسط بإحكام، وصعبة الفصل.

2 – الأَشَنَات الورقية Foliose type : تتكوّن من صفائح ورقية (Leaf-like) رقيقة ، تثبّت نفسها إلى الوسط بشعيرات جذرية Rhizines ، ويمكن نزعها بسهولة .

3 - الأَشَنَات الشجرية أو الثمرية Fruticose type: وهي على شكل سوق صغيرة أو أشرطة قصيرة ، متفرعة ، مثبتة في الوسط عند القاعدة فقط .

الشكل 12 – 6: أنواع الأَشْنَات. (أ) الأَشْنَات الورقية (*Parmelia flavicans*)، (ب) الأَشْنَات الشجيرية أو الثمرية (*Cladonia macilenta*)، (جـ) الأَشْنَات القشرية (*Dimelaena oreina*). (أ + ب عن بغدادي وأخرون ، 1992، جـ عن Alexopoulos, 1966) .

البنية التشريحية للأَشْنَات

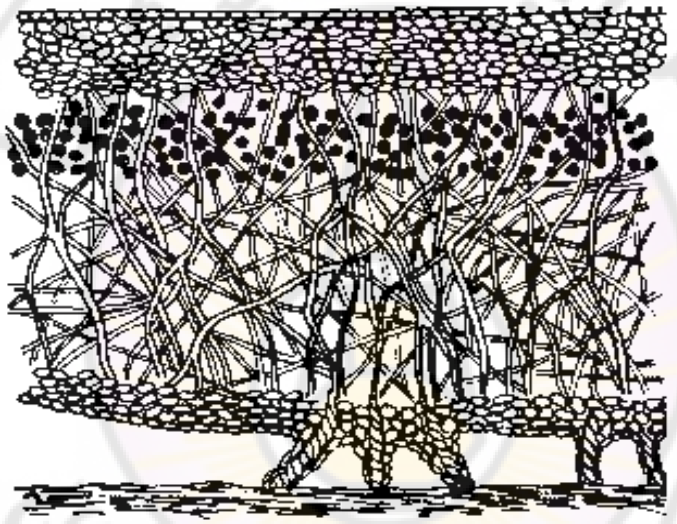
يدخل في تركيب الأَشْنَات أنواع من الفطريات الزقية الطبقية أو القرصية Discomycetes، أو الدورقية Pyrenomycetes، وبعضها من الفطريات الدعامية طبقية الإخصاب Hymenomycetidae، إلا أنها محدودة العدد، وتنحصر في بعض الأجناس، بالإضافة لبعض الفطريات الناقصة مثل *Blarneya* sp. و *Cystocoleus* sp.

أما الطحالب الشريكة في هذه التراكيب، فهي الطحالب الخضراء والطحالب الخضراء المزرقة، ولا تختلف عن الأنواع التي تعيش حياة مستقلة.

ومن الطحالب الخضراء الجنس Cystococcus من رتبة Chlorococcales، وهي طحالب وحيدة الخلية على شكل كرات فيها صانعات مركزية مفصصة الأطراف، ويوجد في بعض أنواع الأَشْنَات الطحلب *Trentepholia* sp. من رتبة Ulothricales. ومن أمثلة الطحالب الخضراء المزرقة نذكر *Nostoc* sp.، و *Stigonema* sp.

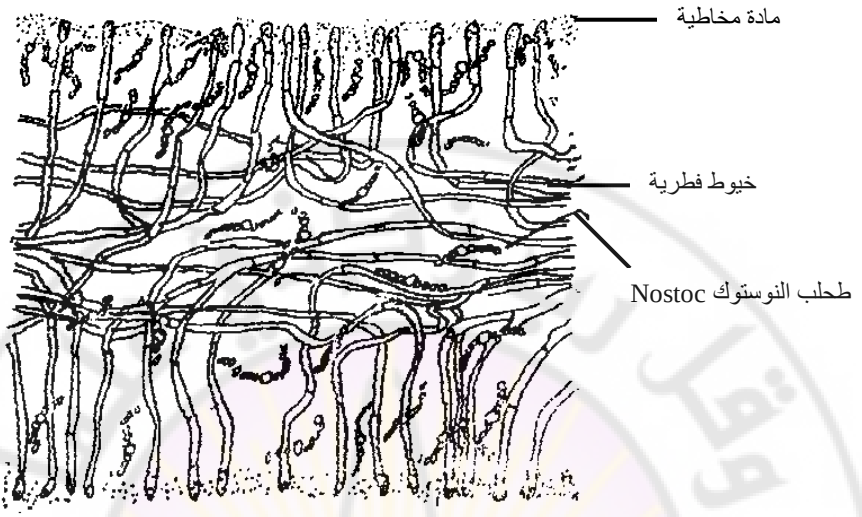
و نميز في الأَشْنَات نوعين من المشرات :

1– الأَشْنَات ذات المشرات غير المتجانسةLichens of heteromerous thalli:
يتوزع المشارك الطحلبي – سواء طحلب أخضر أو أخضر مزرق – في طبقة مندمجة تحت القشرة العليا أو السفلى لجسم الأشن، ويعرف هذا التوزع بأنه غير متجانس أو طبقي Layered (= Stratifiad). (الشكل 12 – 7).



الشكل 12 – 7: مقطع عرضي يبين البنية التشريحية للأَشْنَات ذات المشرات غير المتجانسة، إذ يلاحظ وجود طبقة سطحية عبارة عن الطبقة الواقية أو القشرة العليا Cortex المكونة من الخيوط الفطرية (1)، يليها طبقة الطحلب Algae-layer التي تتخللها الخيوط الفطرية (2)، ثم طبقة اللب Midulla مؤلفة من شبكة من الخيوط الفطرية قليلة التماسك (3) ، يلي ذلك القشرة السفلية Under-cortex والتي لها نفس تركيب القشرة العليا Upper-cortex ولا توجد القشرة السفلية في الأَشْنَات القشرية ، ويلاحظ غالبا أسفل هذه الطبقة ما يشبه الجذور Rhizines وهي عبارة عن تجمع للخيوط الفطرية .

2 – الأَشْنَات ذات المشرات المتجانسة Lichens of homeomerous thalli:
يتوضع المشارك الطحلبي بطريقة عشوائية في جسم الأشن، وغالباً في مادة جيلاتينية، ويعرف هذا التوزع بأنه متجانس أو غير طبقي Unlayered (= Unstratified) (الشكل 12 – 8).



الشكل 12 – 8: مقطع عرضي يبيّن البنية التشريحية للأشَنات ذات المشرات المتجانسة إذ لايلاحظ وجود طبقات متمايزة، وإنما تتوزع خيوط الفطر والطحلب بشكل متجانس في كل المشرة، مع وجود مادة مخاطية يفرزها الطحلب.

تستطيع الأشَنَات تركيب مواد عضوية، ومواد ملونة، و مفرزات، وحموض أشَنية لا توجد في غيرها من الأحياء. وتفاعل هذه المواد حامضي، بطعم مر، ويمكن تمييز مثل هذه المواد على شكل قطيرات أو عصيات أو بلورات على السطح الخارجي للخيوط الفطرية في القشرة أو اللب، وللكثير منها ألوان مختلفة.

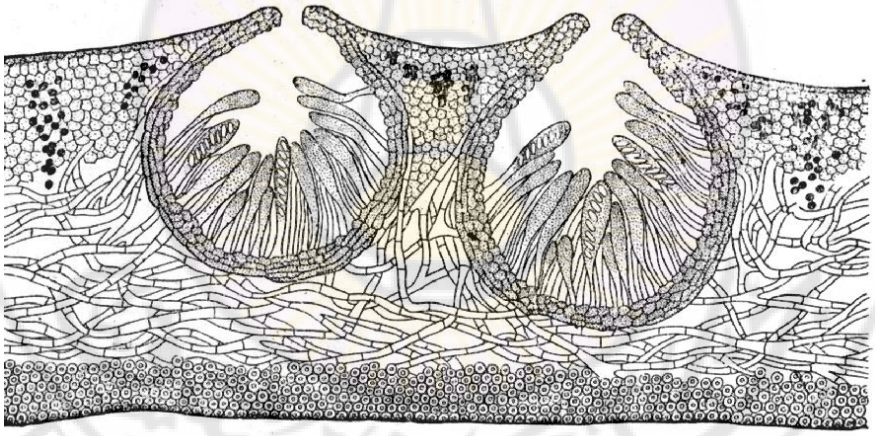
ويتم تحديد أنواع الأَشَنَات بمعالجتها بالقلويات المركزة مثل بنزيدين أو بارافينيل-دي- أمين، أو الصود الكاوي وتعطي تفاعلاً ملوناً. ويعتبر وجود أو عدم وجود الحموض الأَشَنية في أنواع الأَشَنَات صفة وراثية تصنيفية، ويعتقد بأن مثل هذه المواد تلعب دوراً في حماية الأَشَنَات من الإشعاع الشمسي.

التكاثر عند الأَشَنَات

يتم التكاثر عند الأَشَنَات بثلاث طرق :

1 – التكاثر اللاشقي: ويتم ذلك بالانقسام البسيط للخلية، أو بتكوين الأبواغ الذاتية Autospores، ويمكن تكوين الأبواغ السابحة Zoospores عند عزل الطحلب *Cystococcus* من الأَشن واستنباته في أوساط غذائية.

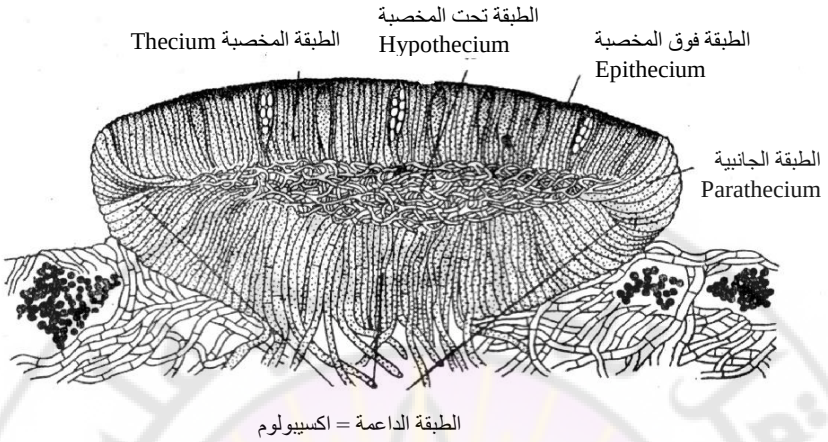
2 – التكاثر الشقي: تتكون الثمار الزقية داخل الأَشن، وهي من الطراز الدورقي Perithecium (الشكل 12 – 9)، أو الطبقي Apothecium.



الشكل 12 – 9: البنية التشريحية للثمرة الزقية الدورقية Perithecium عند الأَشَنَات.

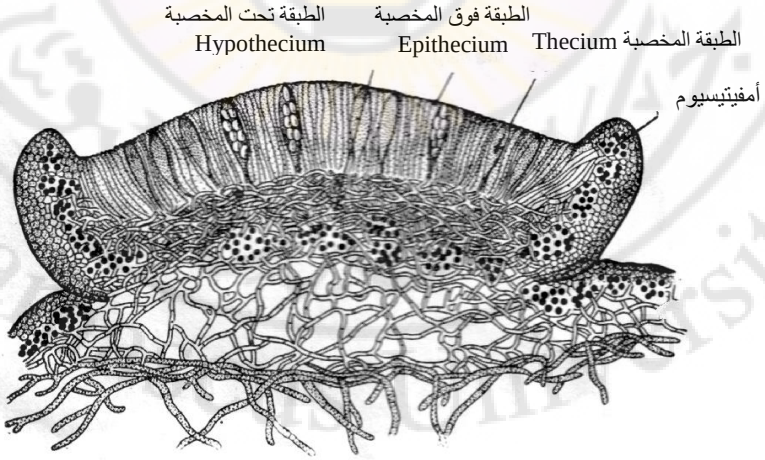
وتبدو الثمار الزقية الطبقية بنمطين ثابتين من الناحية الوراثية :

أ –Lecideine type : تتكون الثمرة من الفطر فقط، وكل القرص متجانس اللون (الشكل 12 – 10).



الشكل 12 – 10: البنية التشريحية للثمرة الزقية الطبقية Apothecium من النمط Lecideine .

ب – Lecanorine type: تمتاز هذه الثمرة الزقية بوجود خيوط الطحلب على محيطها وفي أسفلها مما يكسبها لوناً يميزها عن غيرها، كما وأن وجود الطحلب في ثمار هذا النمط يساعد في تغذية أفضل للطبقة المخصبة (الشكل 12 – 11).



الشكل 12 - 11: البنية التشريحية للثمرة الزقية الطبقية Apothecium من النمط Lecanorine عند الأَشَنَات (عن بغدادي ورفقائه ، 1992).

ج- التكاثر الإعاشي: طريقة واسعة الانتشار، و تتم بتجزئة المشرة، وبتكوين السوريديا Soredia والايزيديا Isidia والسيفاليوم Cephallium، وقد اكتسبت الأَشْنَات المقدرة على تكوينها للسوريديا والايزيديا كصفة تطورية، بعد أن فقدت القدرة على تكوين الزقاق.

السوريديا Soredia ومفردها Soredium: يتميز تركيبها بالخيوط الفطرية التي تحيط بخلية أو أكثر من الطحلب وتتكون في الطبقة المنسلية، تتكشف عند تشقق القشرة العلوية، وتبدو متجمعة مع بعضها في طبقة سطحية تدعى Soralium (الشكل 12–12).

الشكل 12 – 12: (أ) البنيّة التشريحية للسورواليا Soralia، (ب) البنيّة التشريحية للسوريديا Soredia عند الأَشْنَات، وهي عبارة عن إجزاء إعاشية تتكون من خلية واحدة أو من عدد من الخلايا الطحلبية المحاطة بعدد من الخيوط الفطرية ، تنطلق من الأَشْنَات عند حدوث تشقق في القشرة العلوية.

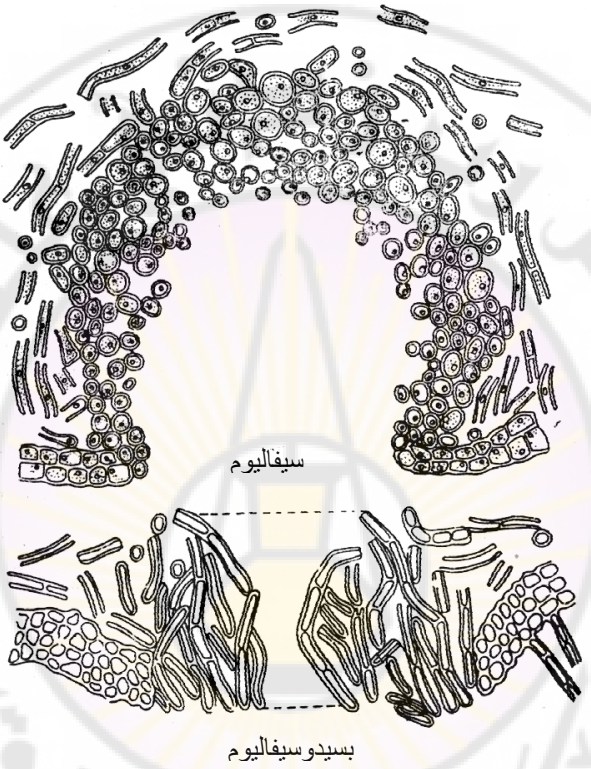
ويعتبر وجود السوريديا عند الأَشْنَات أو عدم وجودها إضافة إلى أماكن توضعها وأشكالها من الأسس التي يعتمد عليها في التصنيف. تنتشر أعضاء التكاثر هذه بالرياح والأمطار كما هي الحال عند الأَشْنَات الشجيرية والورقية.

الايزيديا ومفردها Isidium: تتركب من خلايا طحلبية وخيوط فطرية تغطى بطبقة قشرية، مرجانية الشكل تظهر فوق الأَشن (الشكل 12 – 13).

الشكل 12 – 13: مقطع يبيّن البنيّة التشريحية للإيزيديوم Isidium عند الأَشْنَات، وهو عبارة عن خلايا طحلبية وخيوط فطرية مغطاة بطبقة قشرية، وتظهر على شكل زوائد مرجانية الشكل فوق مشرة الأشن، ثم تنفصل عن المشرة وتتابع نموها إلى مشرة جديدة.

تمتاز الأَشْنَات المكونة للسوريديا والايزيديا بعدم قدرتها على تكوين الزقاق، لذلك تعتبر صفة تطورية. كما ويوجد في أسفل بنية الأَشْنات بقع صغيرة كروية أو متطاولة، بلون أبيض أو أصفر، تنقطع القشرة عند هذه البقع أو قد لا تكتمل، وتدعى هذه النقط بالسيفاليوم Cephallium. وهو انخفاض صغير بقطر 0.5 مم يحتوي على خلايا صغيرة مبعثرة دون انتظام (الشكل 12 – 14).

وهناك بنية تشبه السيفاليوم وتسمى السيفاليوم الكاذب Pseudocephallium الذي يمتاز بعدم وجود الخلايا بداخله ، ويتكوّن من خيوط فطرية عادية (الشكل 12 – 14) .



الشكل 12 – 14: البنية التشريحية للسيفاليوم Cephallium، والسيفاليوم الكاذب Pseudocephallium عند الأَشْنَات (عن بغدادي ورفقائه ، 1992).

وعلاقة الفطر بالطحلب في تركيب الأَشن علاقة تعايشية منظمة ومنسقة، وهي علاقة تبادل منفعة بين الفردين المتعايشين، حيث إن الفطر يأخذ من الطحلب المواد الكربوهيدراتية التي يقوم بتصنيعها، ويأخذ الطحلب بدوره الماء والأملاح المعدنية والحماية من الإشعاع الشمسي والجفاف من الفطر. وهناك استثناءات في هذه العلاقة، إذ وجد أن الفطر يرسل ممصات في جسم الطحلب، ويتطفل عليه ويسبب له الأذى. وهذا ما

يسمى بالتطفل المتحمّل Tolerant parasitism، أو تطفل متبادل النفع لكلا الطرفين Allelone parasitism.

تمتص الأَشْنَات الماء من كل سطوح المشرة، أو بخار الماء الموجود في الجو المحيط، وتمتص غاز الكربون من الهواء الجوي، كما تمتص المواد المغذية الأخرى العضوية واللاعضوية من كل سطوح المشرة، ومن المحاليل المحيطة. تتحمل الأَشْنَات جفاف الهواء بسهولة، وفي مثل هذه الظروف تتوقف عمليات التغذية والتمثيل الضوئي.

تنمو الأَشْنَات القشرية بمعدل 1 – 8 مم سنوياً، والورقية والشجيرية بمعدل 1 – 35 مم سنوياً. تنمو الأَشْنَات فوق التربة أو الأشجار أو الصخور، وتتطلب الهواء النقي.

يبلغ عدد أفراد الأَشْنَات 18000 – 20000 نوعاً، وتصنف في صفين رئيسين:

أ – صف الأَشْنَات الزقية Ascolichenes وهي الأكثر شيوعاً.

ب – صف الأَشْنَات الدعامية Basidiolichenes، وتضم عشرات الأنواع الاستوائية.

الأهمية الاقتصادية للأَشْنَات

لقد استخدمت الأَشْنَات في علاج العديد من الأمراض، فقد استخدم الأشن *Peltigera* في علاج داء الكلب، وذلك بتحضير مزيج من النموات الأشنية الجافة مع الفلفل الأسود، وتناوله ممزوجاً مع اللبن، ولذلك عرف هذا الأشن باسم أشن الكلب Dog lichen. كما استخدم الأشن *Lobaria pulmonaria*، الذي يشبه بشكله الخارجي أنسجة الرئة، في علاج أمراض الرئة. وكذلك استخدم الأشن الورقي *Parmelia suleata*، الذي يشبه التعريق على سطحه شكل دماغ الإنسان، في علاج أمراض الجمجمة Cranil diseases. و حالياً يباع الأشن *Cetraria islandica* في صيدليات السويد لمعالجة أمراض الرئة، ومرض البول السكري، والعديد من الأمراض الأخرى.

كما تحتوي الأشَنَات على بعض الأحماض العضوية المثبطة لنمو الجراثيم الموجبة لصبغة غرام، مثل حمض الأوسنيك Usnic acid، الذي أظهر أيضاً فاعلية محدودة ضد سرطان الرئة، كما استخدم ملح الصوديوم لهذا الحمضSodium usnate في مكافحة مرض تدرن البندورة المتسبب عن الجرثومة (البكتيريا) *Corynebacterium michiganensis*. إضافة لقدرة هذا الحمض على تثبيط نمو بعض الفطريات، مثل الفطر *Neurospora crassa*. وقد وجد هذا الأثر المثبط للفطريات أيضاً عند بعض الأحماض العضوية الأخرى المستخلصة من الأشَنَات، مثل الحمض Haematommic acid، وكذلك المشتقات الفينولية وحيدة الحلقة.

وقد استخدم العديد من أنواع الأشَنَات كغذاء للإنسان، حيث كان أهالي الغابة السوداء في ألمانيا يمزجون بعض أنواع الأشَنَات بالدقيق لصناعة خبز ذو رائحة وطعم مميز. وكذلك اعتاد الهنود الحمر في أمريكا الوسطى وكندا على جمع الأشن الشجيري *Bryoria fremontii* الشائع على أشجار الصنوبر، وطهيه ثم حفظه ليستهلك فيما بعد، وقد تبيّن أن هذا الأشن يحتوي على 24.8 % كربوهيدرات و 5.5 % بروتينات. ويجمع حالياً في اليابان نوع من الأشَنَات الورقية من الجنس *Umbilicaria*، الذي يعرف باسم أيواتاكي Iwa-take، أي فطر الصخر Rock fungus، والذي يحضر على شكل سلطة، أو مقلياً في الدهن.

وتعتمد الماعز الجبلية في الصحراء الليبية في غذائها على الأشن *Rhizoplaca esculenta* (*Lecanora*)، أحد أنواع الأشَنَات تحت الورقية Subfoliose lichen، حيث أنه يشكل طبقة قشرية سميكة على سطح التربة، وعلى الصخور بكمية كبيرة توفر مراعي طبيعية للحيوانات. كما تعتمد الحيوانات العشبية في سهول المنطقة القطبية الشمالية، التي تعرف باسم التندرا Tundra، وكذلك في غابات المنطقة القريبة من القطب الشمالي، بشكل أساسي على بعض أنواع الأشَنَات، وخاصة التابعة للأجناس *Cladinas* ، *Cladonias* و *Cetrarias* (عن أحمد، 2001).

كما يستخلص من بعض أنواع الأشَنَات، مثل *Evernia prunastri* و *Pseudevernia furfuracea* الشائعة على أشجار البلوط، زيوت عطرية تستخدم في صناعة العديد من العطور الفاخرة. وتستخدم بعض الأشَنَات في استخلاص صبغات طبيعية ذات أهمية اقتصادية، حيث اعتبر الأشن من الجنس *Roccella* المصدر الرئيس للصبغة الأرجوانية، حتى استبدل عام 1856 بصبغة الأنيلين الزرقاء، ومازالت بعض أنواع الأشَنَات تستخدم حتى الآن لاستخلاص العديد من الصبغات الطبيعية. كما أن للعديد من الأشَنَات استخدامات تزيينية عديدة لدى باعة الزهور في أوروبا.

وقد استخدمت بعض الأشَنَات كدلائل حيوية في العديد من المجالات، فعلى سبيل المثال يدل ظهور اللون الأصفر الليموني للأشن *Cerarias tilesil* على أن التربة تحتوي على رواسب كلسية ورخامية. ويتغير لون الأشن الصخري *Lecanora cascadensis* في كاليفورنيا بتغير محتواه من أملاح النحاس، ولذلك يستخدم هذا الأشن كدليل حيوي لهذا المعدن.

وبالمقابل فإن للأشَنَات جانبها الضار أيضاً، إذ يعاني الحطابون في كندا مثلاً من أمراض جلدية خطيرة عند ملامستهم لبعض الأشَنَات من الأجناس *Alectoria*، و *Evernia* و *Usnea* الشائعة في الغابات. كما تؤدي السوريدات Soridia المتطايرة في الغابات إلى أمراض تحسسية في الجهاز التنفسي عند الحطابين.

كما تؤدي الأشَنَات، وخاصة في المناطق الرطبة، إلى تدمير الآثار والتماثيل الصخرية، حيث إنها تخترق الطبقة السطحية للصخور، مؤدية إلى تفتتها وضياع بعض المعالم والنقوش الدقيقة على سطوحها، كما حصل لبعض الكنائس التاريخية القديمة في فرنسا وإنكلترا، والتي يرجع تاريخها إلى القرن الثالث عشر.

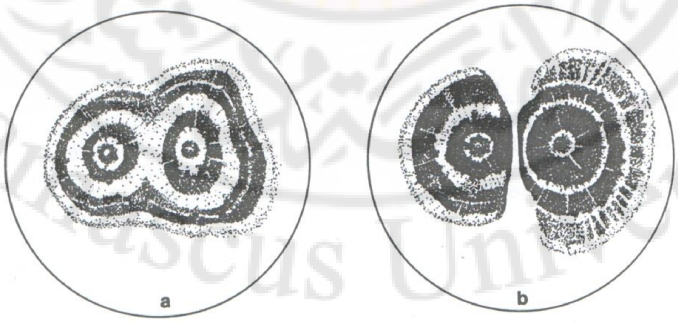
وقد تخترق الخيوط الجذرية (Rhizines) للأشَنَات القلف والقشرة حتى تصل إلى كامبيوم الأشجار التي توجد عليها، مما يؤثر على نموها. وعادة ما ترش الأشجار المثمرة في أوروبا والولايات الأمريكية الجنوبية بالمبيدات الفطرية لمكافحة الأشَنَات.

علاقة الفطريات مع الكائنات الحية الأخرى

أولاً: علاقة الفطريات مع الفطريات الأخرى

إن الفطريات لا تعيش بمعزل عن بعضها بعض، وإنما تربطها علاقات ذات طبيعة مختلفة. وغالباً ما تكون هذه العلاقات عدائية، على الرغم من وجود بعض حالات التعايش أو العيش المشترك فيما بينها. ولكن علاقات التنافس Competition، والتضاد Antagonism، والتطفل Parasitism، أو حتى الافتراس Predation هي الأكثر شيوعاً.

قد نجد البعض من هذه العلاقات العدائية بين أفراد تابعة للنوع نفسه، وأكثر هذه العلاقات وضوحاً هنا هي ظاهرة التضاد. ومن السهل إظهار ذلك مخبرياً، وذلك بوضع عزلتين من مصدرين مختلفين لنفس النوع على طبق بتري، حيث يلاحظ فيما بعد تشكل خط واضح يفصل بينهما، مما يشير لوجود تضاد أو عدم توافق فيما بينهما. بينما لو وضعنا عزلتين من نفس المنشأ بجانب بعضهما البعض، يلاحظ أنهما تداخلا وشكّلا مشيجة واحدة وهذا ما يدعى بالتوافق الاعاشي Somatic compatibility (الشكل 12 – 15).



الشكل 12 – 15: عدم توافق اعاشي أو جسماني Somatic Incompatibility عند الفطر *Armillaria ostoyae* (a) العزلتان من منشأ واحد، إذ يلاحظ أن المشيجتين تتداخلان مع بعضهما البعض وتشكلان مشيجة واحدة. (b) عزلتان مختلفتان وراثياً، إذ يلاحظ وجود ظاهرة تضاد فيما بينهما، وبالتالي تبقى المشيجتان منفصلتان.

وقد نلاحظ هنا وجود أشكال أخرى من العلاقات السائدة بين هذه الأنواع مثل الافتراس والتطفل.

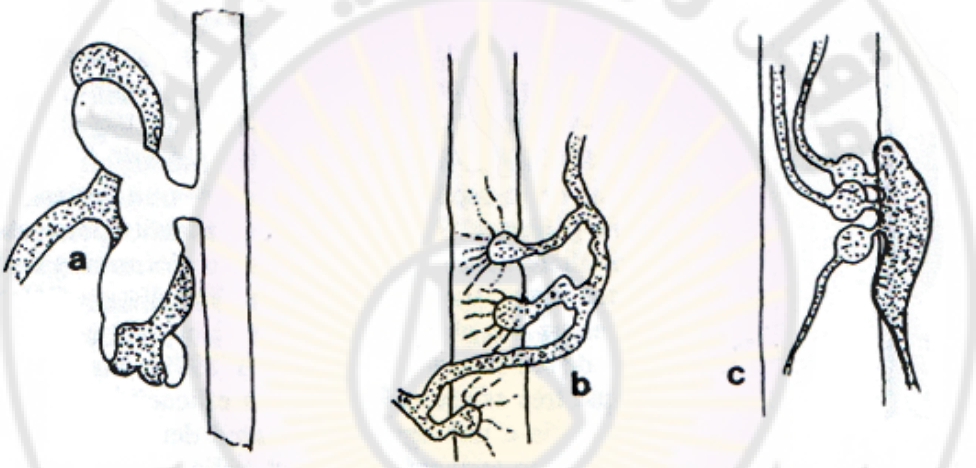
الافتراس Predation: يهاجم الفطر فطراً آخر منافساً له ويقتله، ويتم ذلك غالباً بطرق كيميائية، إذ يقوم بقتل الخلايا قبل أن يتغذى عليها. ومن أمثلة ذلك أنواع الجنس *Trichoderma* الموجودة في التربة على الحالة الرمية والقادرة على مهاجمة مشائج بعض الفطريات الأخرى. فعندما تلامس مشائجها مشائج أنواع فطرية أخرى، تلتف حولها بقوة كبيرة، وفي بعض الأحيان يلاحظ اختراق مشيجة المفترس لمشيجة الفريسة. وبذلك تتوقف هذه الأخيرة عن النمو، وتموت خلال فترة قصيرة، وقد تكون هذه العملية سريعة جداً، كما هي الحال في بعض أنواع الجنس *Trichoderma* المنتجة للمضادات الحيويـة Antibiotics. وفي كل الحالات، يتم هضم المحتويات الخلوية للفريسة عن طريق إفراز أنزيمات خاصة. ولهذه الخاصية عند الجنس *Trichoderma* أهمية كبيرة في مجال المكافحة الحيوية للفطريات المتطفلة الموجودة في التربة، وأيضاً ضد متطفلات على الأجزاء الهوائية مثل *Botrytis cinerea* على الكرمة. وتبرز أهميتها من خلال مقدرتها التطفلية على أنواع فطرية متعددة تابعة لمجموعات مختلفة مثل: *Pythium*، و *Mucor*، و *Fusarium*، و *Rhizoctonia*، و *Armillaria* .

التطفل Parasitism : لا تؤدي الفطريات المتطفلة إلى الموت المباشر للفطر المضيف لها. ويوجد عموماً نوع من القرابة بين الفطر المضيف والفطر المتطفل: فالفطريات المتطفلة على الفطريات السوطية Mastigomycotina، هي أيضاً فطريات سوطية. والمتطفلات على الفطريات الزيجية Zygomycetes، هي أنواع أخرى من الفطريات الزيجية. وهنا يمكن أن نميز ثلاث حالات من التطفل (الشكل 12 – 16):

- اتحاد الخيوط الفطرية لكلا الفطرين في نقاط التلامس

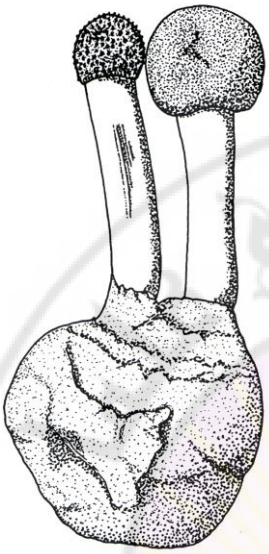
- ترسل مشيجة الفطر المتطفل تفرعات تخترق الخيوط الفطرية للمضيف، وتشكل بداخلها ممصات Haustoria.

- تفرع المشيجة يكون داخل الخيوط الفطرية للمضيف.



الشكل 12 – 16: نماذج مختلفة من تطفل الفطريات على فطريات أخرى داخل رتبة الميكورالس Mucorales. (عن Durrieu, 1993).

تتبع الفطريات المتطفلة على الفطريات الحقيقية Eumycota (Ascomycetes و Basidiomycetes) لنفس المجموعة. ومن أهمها الفطر *Cordyceps* sp. الذي يتطفل على مفصليات الأرجل Arthropodes، ولكن ليس من النادر أن نصادف في الخريف الفطر *Cordyceps capitata*، الذي يظهر على تربة الغابات مشيراً بذلك لوجود الكمأة *Elaphomyces* التي يتطفل عليها (الشكل 12 – 17).



الشكل 12 – 17: أجسام ثمرية للفطر *Cordyceps capitata* المتطفل على الفطر *Elaphomyces* sp. (عن Durrieu, 1993)

ثانياً: علاقة الفطريات مع الفقاريات

تستطيع بعض الفطريات مهاجمة الأنسجة الحية للفقاريات مسببة لها أمراضاً خطيرة. فهناك عدة أنواع تعيش مترممة على المادة القرنية التي تكثر على العصافير، وتوجد معظم هذه الأنواع في الأعشاش أو في التربة، ويفضّل بعضها ريش العصافير الحية. وتتخصص بعض الفطريات بإصابة جلد الثديات، وتؤدي عادة إلى سقوط الأوبار أو الشعر أو الأظلاف. وتستطيع هذه الفطريات الانتقال إلى الإنسان عن طريق الحيوانات المصابة بها. وبعض الفطريات الرميّة قادرة على إصابة الأعضاء الباطنية للحيوانات مسببة لها أمراضاً مختلفة الخطورة، إما نتيجة لضعف في الجهاز المناعي، أو نتيجة لدخول كميات كبيرة من الأبواغ بصورة متكررة. ومن أمثلة ذلك، مرض الأسبرجيللوز *Aspergillose* الرئوي، وهو شائع عند العصافير التي تتغذى على حبوب حاملة للفطر *Aspergillus fumigatus*. كما ويصيب فطر الاسبرجللس الرئة عند الإنسان. وتعتبر هذه الفطريات عموماً الأطوار الناقصة لفطريات زقيّة حصراً.

ثالثاً: علاقة الفطريات مع الحشرات

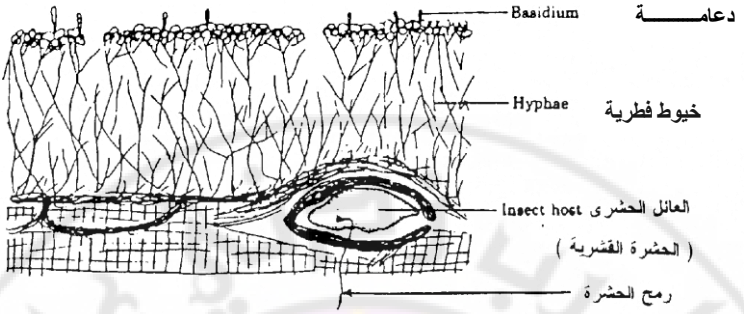
1- ظاهرة تبادل المنفعة بين الحشرات والفطريات

تعيش كل من الحشرات والفطريات في علاقة تعايشية تكافلية Symbiotic relationships تتباين فيها التفاعلات المفيدة والضارة. والتعايش هو الحياة المشتركة بين كائنين معاً في بيئة معينة دون أن يلحق إحداهما الضرر بالآخر بل يتبادلان المنفعة فيما بينهما، وتدعى أحياناً في حالة الحشرات بالمعاشرة، ومنها ما هو تعايش خارجي Ectosymbiont وهو ما يسمى أيضاً "بحدائق الفطريات الحشرية"، أما التعايش الداخلي Endosymbiont فهو ميكروبات تبادلية المنفعة.

العلاقات التعايشية الخارجية Ectosymbiotic associations

يعيش الفطر خارج جسم الحشرات المتعايشة، يقدم لها الغذاء أو تتغذى الحشرات على النموات الفطرية. ويعتمد الفطر على الحشرة في الانتشار على زوائد أجسامها، أو داخل جيوب خاصة في أجسامها Special pouches يطلق عليها الحوافظ الفطرية Mycangia (Mycetangia). والأمثلة على هذا النوع من العلاقات التعايشية عديدة جداً، لذلك سوف نكتفي بمثال واحد فقط.

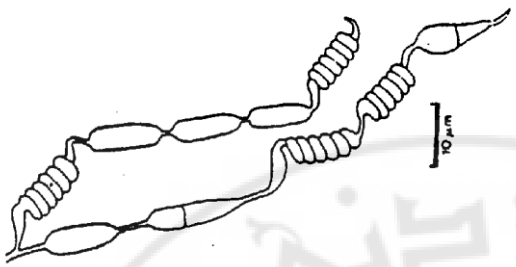
تقضي الحشرات القشرية الثاقبة الماصة معظم حياتها ملتصقة على سطوح الأوراق والنموات الفتية والثمار، وتغطي أجسامها بمادة شمعية على شكل غطاء صلبٍ لحمايتها، يحيط بها جيداً وتلتصق أطرافه بسطح الأوراق وغيرها. وتعتمد أنواع مختلفة من الحشرات القشرية من الجنس *Aspidiotus* على الفطريات في حمايتها، وذلك من خلال إيوائها في مساكن فطرية آمنة وسابقة التجهيز، وتنتشر في مناطق عديدة من العالم وخاصة في المناطق الاستوائية. حيث تعيش الحشرات تحت مشيجة كثيفة للفطر الدعامي *Septobasidium* sp. من الفطريات الخصيبة Hymenomycetes وهو نمط تعايش خارجي وفريد من نوعه (الشكل 12 – 18).



الشكل 12 - 18: رسم تخطيطي يوضح أنثى الحشرة القشرية غارسة أجزاء فمها في النبات لامتصاص العصارة، بينما تنمو فوقها خيوط الفطر *Septobasidium* sp.، مما يحميها من أعدائها الطبيعية (عن أحمد،1998)

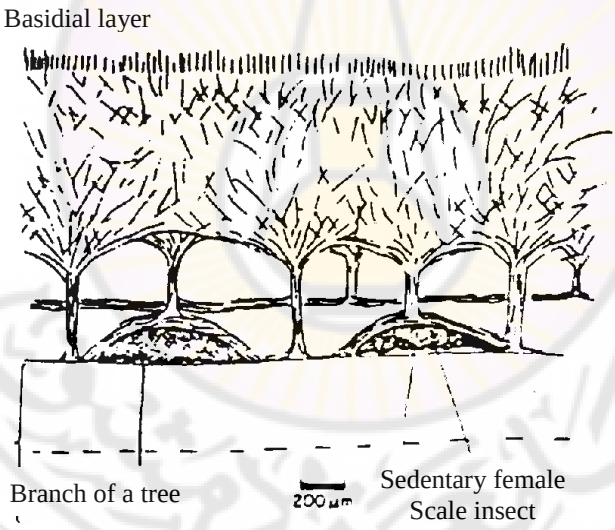
عندما تفقس بيوض الحشرة، تتحرك الإناث الصغيرة جداً على سطوح الأوراق وثمار العائل حتى تصادف خيوط الفطر، فتلتقط بعضاً من أبواغه، وتستقر في مكان مناسب لها، وتدفع بأجزاء فمها الثاقبة الماصة عبر الأنسجة وصولاً إلى الأوعية الناقلة للحصول على احتياجاتها الغذائية، وتنبت الأبواغ وترسل أنابيب إنبات تخترق ثقوب خروج الشعيرات وتدخل إلى فراغ الجسم الدموي ويتكون العديد من الالتفافات الحلزونية Hyphal coils (الشكل 12 - 19)، حيث تتغذى المشيجة على حساب الحشرات وتنمو بغزارة حتى تغطي جسم الحشرة بتركيب خيطي فطري متطاول يشبه المغزل، حيث ينمو الفطر ويكوّن مشيجة كثيفة جداً يتخللها عدد من السراديب التي قد تتجول فيها حشرات أخرى من نفس الجنس مكسوّة بالأبواغ الدعامية ولها مداخل خاصة. وتعمل الحشرة على ضخ النسغ من الحزم الوعائية، و تقوم بتحويل السكر النباتي إلى سكر الدم الخاص بها وهو التريهالوز Trehalose ليستفيد الفطر منه مباشرة.

تستطيع الحشرة الحياة دون علاقة مع الفطر، ولكنها تصبح عرضة لمخاطر البيئة والأعداء الحيوية. ويعتبر الفطر متعايشاً إجبارياً مع الحشرة، فإذا ماتت الحشرة يموت الفطر. ويُعَدُّ هذا شكلاً من أشكال التوازن الدقيق في الطبيعة.



الشكل 12 – 19: القطع الخيطية الفطرية ذات الشكل المغزلي واللفات الخيطية الفطرية في دم حشرة قشرية مصابة بالفطر *Septobasidium*. (عن أحمد، 1998) .

يسبب الفطر العقم للحشرة التي يشاركها الحياة، وتضمن الحشرة الضحية مقابل ذلك الأمان والخصوبة لبقية الحشرات الأخرى، حيث تعيش الإناث حديثة الفقس وتتجول ضمن السراديب بحرية كاملة وحماية تامة (الشكل 12 – 20).



الشكل 12 – 20: رسم تخطيطي يبيّن التركيب الداخلي للمستعمرة الفطرية، والمسالك والدهاليز التي تتحرك فيها إناث الحوريات الحديثة الفقس للحشرة القشرية، بينما تظهر الإناث التي ينمو عليها الفطر أسفل الرسم (عن أحمد، 1998).

يترافق تكوين الأبواغ الدعامية، خلال فصل الربيع وتوفر الرطوبة، مع ظهور الجيل الحشري الجديد، حيث تصاب العديد من أفراده بالفطر، كما ينجو عدد كبير منها

من الإصابة ويشكل كل من الفطر والحشرات القشرية علاقة ثنائية تعايشية دائمة. وتفيد المشيجة الفطرية الكثيفة في حماية الحشرات من الدبابير المتطفلة Tiny wasps ذات الآلة العجيبة لوضع البيض، والتي تخترق جسم الحشرة لوضع البيض بداخله.

تنتمي معظم الفطريات المتعايشة مع الحشرات إلى مجموعة الفطريات المحللة للأخشاب والتي تنمو كقشور على سطوح الأفرع وجذوع وسطوح أوراق الأشجار الحراجية. وكذلك مخلفات الأخشاب والمواد العضوية.

العلاقات التعايشية الداخلية Endosymbiotic associations

يُعَدّ هذا النمط من التعايش أعلى درجة من درجات التعايش أو التكافل، إذ يبقى الفطر المتعايش داخل الشريك الحشري أو العائل.

تعتمد الخنافس بصفة عامة على الخمائر لتوفير الأحماض الأمينية الأساسية مثل الأرجنين واللوسين والتريونين، إضافة إلى الفيتامينات وبخاصة الفيتامين B، والاستيرولات التي يفتقر الغذاء إليها، وبدون هذه العناصر الغذائية تنمو اليرقات بضعف ملحوظ.

2 - الحشرات الناقلة للفطريات الممرضة

تلعب الحشرات دوراً هاماً في نقل وانتشار العوامل الممرضة وبخاصة الوحدات الفطرية Propagules (أبواغ – خيوط فطرية – أجسام حجرية – ثمار فطرية ...) إلى جانب العوامل الأخرى (الرياح – مياه المطر – مياه الري – الإنسان والحيوان ووسائل النقل الأخرى).

تنقل الحشرات الفطريات من أماكن وجودها إلى أماكن أخرى وتسهل انتشارها، والوصول إلى العوائل البعيدة عن منشئها، وتسهيل دخولها إلى أنسجة العوائل مما يزيد من فعّاليتها وقدرتها على إحداث العدوى والإصابة.

تترافق الإصابة بفطر مهماز الشيلم (Ergot) *Claviceps purpurea* بإفراز ندوة عسلية غنية بالمادة السكرية والأحماض الأمينية التي تجذب الحشرات، وبمرورها تنقل الأبواغ عالقة على زوائد أجسامها وبخاصة حشرات ذات الجناحين Diptera، التي قد تنقلها داخلياً من خلال ابتلاعها مع الندوة ثم إخراجها مع البراز.

تتغذى الحشرات القشرية والمن والذباب الأبيض والبق الدقيقي على العصارة النباتية، وينتج عن ذلك تكوين الندوة العسلية التي تناسب نمو فطريات العفن الأسود.

تصيب ديدان اللوز الشوكية والقرنفلية لوزات القطن، وتعتبر أنفاقها ممرات سهلة للفطريات الممرضة مثل الفطر *Rhizopus nigricans* الذي يحلل تيلة القطن ويسبب العفن الجاف الأسود .

3 - الفطريات الممرضة للحشرات

يتطفل عدد كبير من الفطريات التي تنتمي لمختلف أقسام الفطريات على الحشرات، حيث يتطفل الفطر *Coelomomyces* sp. من الفطريات الكيتريدية على يرقات البعوض والذباب. كما يتطفل معظم أنواع الفصيلة Entomophthoraceae من الفطريات الزيجية على الحشرات الضارة بالإنسان أو بالنبات أو بالحيوان. وتحلل جميع أعضاء الحشرة تاركة إياها جلداً فارغاً تتناثر حوله الأبواغ والخيوط الفطرية. ويُعَدُّ الجنس *Entomophthora* الجنس المدمر للحشرات، إذ يصيب العديد منها، ويمكن تنمية بعض أنواعه على بيئات صنعية مثل النوع *E. coronata* الذي يتطفل على المن والنمل الأبيض، وبعضها مترممات على المواد العضوية.

كما يتطفل النوع *E. muscae* على الذباب المنزلي، وتموت الحشرة بعد أسبوع من العدوى، وتشاهد في أغلب الأحيان ملتصقة على الجدران وزجاج النوافذ.

وهناك أيضاً العديد من الفطريات الزقية التي تتطفل على الحشرات، ومن أمثلتها الفطر *Cordyceps* sp. وهو من أهم الأجناس الفطرية الزقية ذات الثمار القارورية

التي تصيب الحشرات وتمرضها، ويضم هذا الجنس حوالي 150 نوعاً معروفاً يتطفل أغلبها على الحشرات، والبعض الأخر يتطفل على العناكب وبخاصة في المناطق الاستوائية، ومن أنواعه الفطر *C. militaris* الذي يتطفل على حشرات حرشفية الأجنحة وبعض يرقات غشائية الأجنحة، ويسمى فطر اليرقات الكبيرة Caterpillar fungus.

ومن الفطرات الدعامية التي تتطفل على الحشرات نذكر الجنس *Septobasidium* الذي تتطفل أنواعه على الحشرات القشرية.

كما تضم الفطريات الناقصة رتباً شكلية ترتبط بالحشرات ارتباطاً وثيقاً، ومن أجناسها الممرضة للحشرات: الجنس *Beauveria* وهو واسع الانتشار في الحقول، ويتطفل بشكل طبيعي على الحشرات، ويسبب لها مرض المسكاردين الأبيض. والجنس *Hirsutella* الذي يصيب نطاطات الأوراق والاكاروسات. والجنس *Metarhizium* الذي يسبب مرض المسكاردين الأخضر. والجنس *Verticillium* الذي يتطفل على أطوار عدد من الحشرات والعناكب، ومن أنواعه *V. lecanii*.

رابعاً: الفطريات الممرضة للعناكب Araneopathogenic fungi

اعتاد الباحثون دراسة الفطريات التي تصيب مفصليات الأرجل، والتي تضم بطبيعة الحال سداسية الأرجل Hexapoda (أي الحشرات) وثمانية الأرجل Octapoda (أو العناكب)، معاً كمجموعة واحدة. وبالفعل فقد تبين أن الفطريات التي تتطفل على الحشرات يمكن أن تكون متطفلة على العناكب، حيث يتشابه تركيب جليد الحشرات مع نظيره في العناكب، ولكن جليد بطن العناكب ليس صلباً مما يجعله مكاناً مناسباً للعدوى والإصابة.

تنتمي أغلب الفطريات الممرضة للعناكب إلى الفطريات الزقية وبالتحديد للرتبة Clavicipitales، وأما أطوارها اللاجنسية فهي فطريات ناقصة. وأهم أجناس

الرتبة Clavicipitales : الجنس *Cordyceps* الذي يضم ثمانية أنواع تتطفل على العناكب. والجنس *Torrubiella* الذي يضم 27 نوعاً ممرضاً للعناكب، وثماره الزقية دورقية تشاهد على أجسام العناكب الميتة، وخاصة في البطن، إضافة إلى المشيجة الزاهية اللون بصورة ضفائر Synnema . وهناك العديد من الفطريات الناقصة الممرضة للعناكب.

وتلعب العناكب دوراً هاماً في التوازن الحيوي في الطبيعة، ففي حين تفترس كثيراً من الأنواع الحشرية التي تعتبر كأعداء طبيعية لها، فإن أنواعاً منها تفترس بعض الحشرات المفيدة للإنسان، وهنا تصبح ضارة وتتحول إلى آفة لا بد من مواجهتها.

خامساً: علاقة الفطريات مع الديدان الخيطية (النيماتودا) Nematoda

الفطريات المفترسة للنيماتودا هي بالأصل فطريات رمية تكثر بشكل خاص في الدبال، ولكنها قادرة على اصطياد النيماتودا التي تكثر في هذه الأوساط والتغذية عليها.

تشارك الديدان الخيطية الكائنات الحية الأخرى المعيشة في التربة. وكثيراً ما تشاهد الخيوط الفطرية محيطة بالديدان الخيطية كأنشوطات تقبض بقسوة على الفريسة، فلا تستطيع الفكاك أو التخلص منها. يخترق الخيط الفطري جسم الدودة، ويفرز فيها سماً toxin فَتُشَلُ حركتها وتستسلم، ثم تنتشر الخيوط الفطرية في أنسجة أحشاء الدودة الفريسة وتحللها، وتفرز بعض المضادات الحيوية شديدة الفعّالية، حيث أنها تثبط نمو الميكروبات الأخرى داخل القناة الهضمية للدودة ليتمكن الفطر من العيش عليها منفرداً .

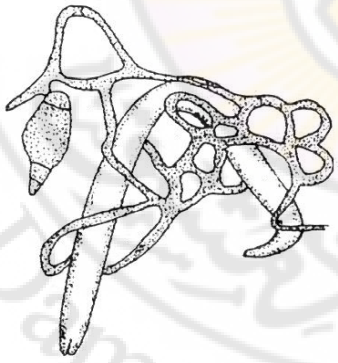
ويمكن أن نميز في الفطريات المتطفلة على النيماتودا: فطريات متطفلة خارجياً Ectoparasites، وفطريات متطفلة داخلياً Endoparasites.

تعيش الفطريات المتطفلة خارجياً (المفترسات = Perdatory fungi) في التربة على المواد العضوية. وتتكوّن مصائدها عند وجود الديدان الحرة بالقرب من خيوطها

الفطرية متأثرة بالمواد الكيميائية التي تفرزها الديدان، وقد تتكوّن أحياناً في غياب الديدان. كما قد تتكوّن المصائد مباشرة على الأبواغ الكونيدية، وقد تظهر على مسافات متباعدة على امتداد الخيوط الفطرية . ومن التراكيب الفطرية الصائدة للديدان الخيطية:

1 – الخيوط الفطرية اللاصقة Adhesive hyphae

تمتاز بوجود مواد لاصقة على الخيوط الفطرية يفرزها الفطر للالتصاق بجسم الديدان بصورة مستمرة أو كاستجابة سريعة لملامسة جسم الديدان (الشكل 12 – 21). وتنتشر مثل هذه التراكيب عند الفطريات غير الراقية مثل الزيجية Zygomycetes، أو قد تتكوّن أعضاء إلتصاق Appressoria تنفذ الخيوط الفطرية من خلالها إلى جسم الدودة، ويسمى أيضاً وتد العدوى Infection peg. وتقاوم الديدان هذا التطفل إلى أن تستنفذ قواها ويخور عزمها، وتنتشر خيوط المشيجة في جسمها وتسمى الخيوط الفطرية الماصة Absorptive hyphae .



الشكل 12 – 21: دودة خيطية مغطاة بشبكة من الخيوط الفطرية اللاصقة ناتجة عن إنبات بوغ كونيدي للفطر *Monacrosporium salinum*

عند انتهاء تحلل الدودة ونفاذ الغذاء، يدفع الفطر الهيولى من خيوطه الداخلية إلى الجزء من الخيوط الفطرية خارج جسم الدودة تاركاً الخيوط الداخلية فارغة، ثم يشكل حاجزاً عرضياً لمنع عودة الهيولى، ولا يبقى من الدودة إلا جلدها المقاوم للتحلل الأنزيمي .

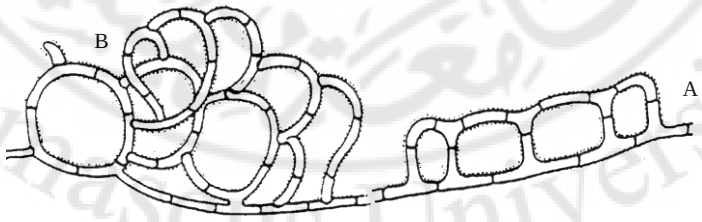
2 – الفروع اللاصقة Adhesive branches

تتشكل على خيوط الفطر فروع قائمة تغطيها مواد لاصقة (الشكل 12 – 22)، وهو أسلوب قليل عند الفطريات خارجية التطفل.

الشكل 12 – 22: الفروع اللاصقة Adhesive branches.

3 – الشباك اللاصقة Adhesive nets

تعتبـــر الشباك اللاصقة أكثرها شيوعاً، وأكثرها تخصصاً وفتكاً بأنواع الديدان الحرة. وتختلف هذه الشباك في تركيبها ومدى تطورها، فقد تتكون من حلقة فردية أو انشوطة، أو من شبكة ثلاثية الأبعاد معقّدة التركيب (الشكل 12 – 23). ويفرز الفطر مواد لاصقة على السطح الداخلي للشباك تعطيها قوة التصاق فائقة عندما تلامس جسم الدودة. وكلما حاولت هذه الأخيرة التخلص ولامس جسمها الخيوط الفطرية، كلما تكوّنت شباك لاصقة جديدة تسهم في الإسراع على الإجهاز على الدودة.

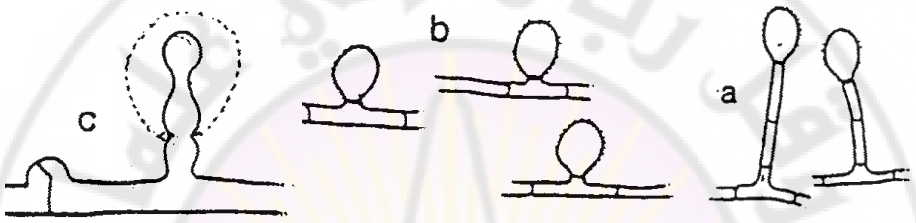


الشكل 12 – 23: الشباك اللاصقة Adhesive nets

(A) شبكة لاصقة شلميّة ذات مستويين Tow-dimensional scalariform adhesive net. (B) شبكة لاصقة ثلاثية الأبعاد Three-dimensional adhesive net

4 – العقد اللاصقة Adhesive knobs

تتكون العقدة اللاصقة من خلية واحدة لاصقة، جالسة غالباً أو معنّقة نادراً، وتُحمل غالباً على فروع خيطية قصيرة بوضع عامودي (الشكل 12 – 24). والعقدة اللاصقة كروية الشكل ويتكون عليها طبقة رقيقة من المادة اللاصقة .

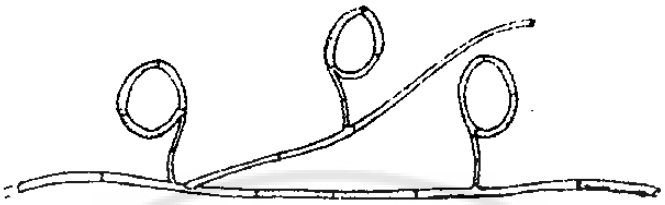


الشكل 12 – 24: أشكال مختلفة من العقد اللاصقة Sticky knobs

(a) عقد لاصقة معنّقة Stalked adhesive knobs. (b) عقد لاصقة جالسة Sessile adhesive knobs. (c) عقد لاصقة تشبه زجاجة الساعة Hour-glass adhesive knob

5 – الحلقات غير المنقبضة Non-constricting rings

تتكوّن الحلقات غير المنقبضة على فروع جانبية (الشكل 12 – 25)، وتبدو عامودية على الخيوط الفطرية الأصلية المقسّمة. وتكوّن هذه المصائد الفطريات الناقصة المتطفلة خارجياً على الديدان الخيطية. تنمو الخيوط الفطرية الجانبية وتنحني في مسار دائري حتى تلامس قمتها قاعدة الخيوط الفطرية الأصلية مكوّنة بذلك حلقات من ثلاث خلايا محمولة على ساق أسطوانية قصيرة، وقد تمر الديدان الصغيرة والكبيرة منها أحياناً دون أن تلحق بها الأذى، ولكن عند مرورها وانسحابها بسرعة تنقبض عليها الحلقات وتمسك بها. وقد تتمكن الديدان من الانفصال عن الخيوط الفطرية وهي مازالت محاطة بالحلقات، وعندئذ تعيش الديدان لفترة من الزمن، وتُعَدُّ الحلقات مع ذلك أعضاء عدوى، حيث يتكوّن منها وتد العدوى الذي يخترق الدودة، وتنمو الخيوط الفطرية وتتطفل على أحشاء الدودة الداخلية وتحلل أنسجتها وتتغذى عليها.

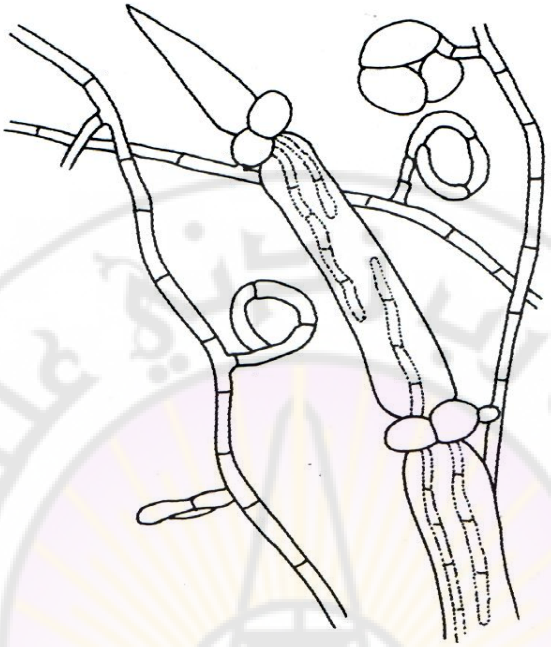


الشكل 12 – 25: الحلقات غير المنقبضة التي يكوّنها الفطر *Dactylaria candida* .

6 – الحلقات المنقبضة Constricting rings

تتكوّن بنفس طريقة تكوين الحلقات غير المنقبضة، إلا أن الحامل يكون أقصر وأكثر قوة في الحلقات المنقبضة. وتتمثل هذه الطريقة بتشكل حلقات مؤلفة من ثلاث خلايا منحنية، وحساسة جداً عند ملامسة سطحها الداخلي (الشكل 12 – 26). فعند مرور النيماتودا بداخلها، يؤدي التحريض المتولد عن عملية الملامسة إلى انتفاخ مفاجئ للخلايا عند جدرها الداخلية، مما يقلل من المساحة الداخلية للحلقة، و يؤدي إلى خنق النيماتودا، ومن ثم هضمها بنفس الطريقة المذكورة سابقاً. ومن الملاحظ أن القطر الخارجي للحلقة يبقى دون أي تغير يذكر. ويتم تنبّه الحلقات خلال 0.1 ثانية للقيام بالقنص. وقد تتمزق الحلقة نتيجة زيادة الانقباض، مما يؤدي إلى هروب النيماتودا حاملة معها الجزء المتبقي من الحلقة. وقد تنجح الديدان صغيرة الحجم بالنجاة من القنص على عكس كبيرة الحجم.

أما الفطريات المتطفلة داخلياً على النيماتودا فهي طفيليات إجبارية، ليس لها نموات خارج جسم عوائلها من الديدان الخيطية. وتعطي هذه الفطريات أبواغاً كونيدية، فإذا التصق البوغ بجليد الدودة، أنبت وأعطى أنبوبة إنبات تخترق الجليد إذا كانت الإصابة خارجية، أو تخترق جدار القناة الهضمية عند ابتلاع الديدان لمثل هذه الأبواغ، ثم تنتشر الخيوط الفطرية داخل جسم فرائسها، وتكوّن في النهاية الحوامل الكونيدية والأبواغ الكونيدية خارج جسم الدودة.



الشكل 12 – 26: حلقات منقبضة Constricting rings عند الفطر *Arthrobotrys dactyloides* . (عن Durrieu, 1993)

كما يتطفل القليل من الفطريات على بيوض الديدان. فعند تلامس الخيوط الفطرية مع البيضة، ينتفخ طرف الخيط الفطري في نقطة التلامس مكوناً ما يشبه عضو الالتصاق، ينبثق عنه مشيجة عدوى تخترق غلاف البيضة، ثم تنتفخ الخيوط الفطرية بعد دخولها مكوّنة انتفاخ ما بعد الاختراق Post-penetration bulb، ثم تتشكل الخيوط الفطرية الماصة Absorptive hyphae لتملأ فراغ البيضة وتستهلك المواد الغذائية المتاحة.

سادساً: علاقة الفطريات مع الإنسان

يوجد الفطر *Candida albicans*، الذي يشبه الخميرة في شكله، بصورة طبيعية على الأغشية المخاطية للأنبوب الهضمي عند الإنسان والحيوان. و يوجد في

الأحوال الطبيعية بتوازن مع كائنات أخرى في هذه الأغشية المخاطية، ولكن أي تغير في هذا التوازن لأسباب داخلية أو خارجية يؤدي إلى تحول هذا الفطر إلى الحالة الطفيلية، وتظهر الأعراض على شكل تآكل موضعي للطبقة المخاطية في الفم وخاصة عند الأطفال، وفي بعض الحالات يمكن أن ينتشر المرض ليشمل مساحات كبيرة من الأنبوب الهضمي.

ومن الأمثلة أيضاً الفطر *Monilia* sp. الذي يظهر بنمو قطيفي أبيض يبطن لسان الأطفال، وقد يعم أغشية الفم وينتشر إلى القناة الهضمية. وبعض أنواع الجنس *Albugo* التي تصيب الإنسان وتسبب له أمراضاً جنسية. والجنس *Cercospora* الذي يسبب تشوهات شكلية للعضو المصاب (الشكل 12 – 27).

وتصيب بعض الفطريات الإنسان مسببة له أمراضاً جلدية مختلفة. كما يسبب العديد منها أمراضاً للجهاز العصبي والجهاز التنفسي ....الخ، وقد تمت الإشارة إلى الكثير منها في الفصل المخصص لأهمية الفطريات الإقتصادية.

الشكل 12- 27: إصابة بالفطر *Cercospora apii* (عن Emmons *et al*. 1977) .

قائمة المصطلحات العلمية

المصطلح الأجنبي	المرادف العربي
Acervulus (pl. acervuli)	أسيرفيولة أو كويمة كونيدية
Aecidium (aecium) pl. aecia	وعاء أسيدي
Aeciospore (aecidiospore)	بوغ أسيدي
Akaryote	عديم النواة
Alternative host	مضيف مناوب
Amerospore	بوغ وحيد الخلية
Anamorph	الطور اللاجنسي
Anastomosis (pl. anastomoses)	التحام الخيوط الفطرية (تزاوج أنبوبي)
Antagonism	تضاد
Antheridium pl. antheridia	عضو التذكير
Antibiotic	مضاد حيوي
Aplanospore	بوغ غير متحرك
Apothecium pl. apothecia	ثمرة زقية طبقية أو قرصية
Appressorium pl. appressoria	عضو التصاق
Araneopathogenic fungi	الفطريات الممرضة للعناكب
Archicarp	جسم قوسي
Arthrospore	بوغ مفصلي
Ascocarp (= ascoma)	جسم ثمري زقي (ثمرة زقية)
Ascogenous hypha	خيط فطري زقي
Ascogonium pl. ascogonia	منسل زقي
Ascomycetes	الفطريات الزقية
Ascospore	بوغ زقي
Ascus pl. asci	الزق
Ascus mother cell	خلية زقية أميه
Aseptate hypha	خيط فطري غير مقسم
Autoecious (autoecium)	وحيد المضيف (ذاتي المسكن)
Azygospore	بوغ زيجي لاجنسي
Basidiomycetes	الفطريات الدعامية
Basidiospore	بوغ دعامي
Basidium pl. basidia	دعامة
Binomial	التسمية الثنائية
Biotype	طراز حيوي
Bipolar heterothallic	متخالفة المشائج ثنائية القطبية
Bitunicate asci	زق ثنائي الجدار
Biverticillate	حامل بوغي ثنائي الصف
Bryophytes	البريويات (الطحالب سابقاً)

Carpophore (Basidiophore)	ثمرة دعامية
Caterpillar fungus	فطر اليرقات
Chlamydospore	بوغ كلاميدي أو ملتحف
Chytridiomycetes	الفطريات الكيتريدية
Cirrhus pl. cirrhi	هلام بوغي خيطي
Clamp connection	وصلات مقبضية
Cleistothecium (cleistocarp)	ثمرة زقية مغلقة
Coenocytic	مدمجة خلوية
Collar	ياقة أو طوق (عنق)
Columella	العماد (انتفاخ مركزي)
Competition	تنافس
Conidiogenous cells	الخلايا المولدة للأبواغ الكونيدية
Conidiophore	حامل كونيدي
Conidium pl. conidia	بوغ كونيدي
Coprophilous fungi	فطريات الروث
Coral fungi	فطريات مرجانية
Coremium pl. coremia	حزمة حوامل كونيدية
Cryophiles	محب للبرودة
Cystidium pl. cystidia	حويصلة أو حوصلة
Demicyclic	نصفية الدورة
Deuteromycetes	الفطريات الناقصة
Dichotomous branching	تفرع ثنائي الشعبة
Dictyospore	بوغ شبكي التقسيم
Didymospore	بوغ ثنائي الخلايا
Dikaryon	ثنائي النوى
Dimorphic thalli	مشائج ثنائية الشكل
Dioecious	ثنائي المسكن
Diploid	ثنائي الصيغة الصبغية
Earth stars	نجوم الأرض
Ectendomycorrhiza	متعايشات فطرية خارجية - داخلية
Ectomycorrhiza	متعايشات فطرية خارجية
Ectoparasite	متطفل خارجي
Endobiotic	داخلي الحياة أو التغذية
Endomycorrhiza	متعايشات داخلية
Endoparasite	متطفل داخلي
Endogenous spores	أبواغ داخلية التشكل
Epibiotic	خارجي الحياة أو التغذية
Ergotism	الراهوب
Eucarpic thalli	مشائج حقيقية الإثمار
Eukaryote	حقيقي النوى

Exogenous spores (exospores)	أبواغ خارجية التشكل
Facultative parasite	اختياري التطفل
Facultative saprophyte	اختياري الترمم
False truffles	الكمأة الكاذبة
Filamentous fungi	فطريات خيطية
Fly agaric (fly fungus)	فطر الذباب
Gametangial conjugation	اندماج الأكياس العروسية
Gametangial contact	تلامس الأكياس العروسية
Gametangium pl. gametangia	كيس عروسي
Gametothallus pl. gametothalli	مشيجة عروسية
Germ-tube	أنبوب إنبات
Gleba pl. glebae	لب خصيب
Haploid	أحادي الصيغة الصبغية
Haustorium pl. haustoria	ممص
Helicospore	أبواغ حلزونية أو لولبية
Heteroecious	متباين العوائل
Heterokaryotic cell	خلية متباينة النوى
Heterothallic	متخالف المشائج
Holobasidium pl. holobasidia	دعامة كاملة
Holocarpic thalli	مشائج كلية الإثمار
Homothallic	متجانسة المشائج
Hydrophyte (= hydrophilous) = hydrophile	محب للماء
Hymenium pl. hymenia	الطبقة الخصيبة
Hypha pl. hyphae	خيط فطري (هيفا)
Hypothecium pl. hypothecia	الطبقة تحت الخصيبة
Intercellular	بين خلوي
Intracellular	ضمن خلوي
Karygamy	اندماج نووي
Macroconidium pl. macroconidia	بوغ كونيدي كبير
Macrocyclic	كامل أو طويل الدورة
Microconidium pl. microconidia	بوغ كونيدي صغير
Microcyclic	قصير الدورة
Microsclerotium pl. microsclerotia	جسم حجري دقيق
Mitosporangium pl. mitosporangia	كيس بوغي رقيق الجدر
Monocentric thalli	المشائج أحادية المركز
Monoecious	وحيد المسكن
Monokaryon	أحادي النواة
Monomoprphic	أحادي الشكل
Monosporous sporangium	كيس وحيد البوغ

Monoverticillate	حامل بوغي وحيد الصف
Mycelium pl. mycelia	مشيجة فطرية
Mycelia sterilia	الفطريات ذات المشائج العقيمة
Mycology	علم الفطريات
Mycorrhiza pl. mycorrhizae	المتعايشات الجذرية (فطريات الجذور)
Mycotoxins	سموم فطرية
Myxomycetes	الفطريات المخاطية
Nomenclature	التسمية العلمية
Obligate parasite	متطفل إجباري أو حتمي
Obligate saprophyte	رمي (مترمم) إجباري
Oidium (= oidiospore) pl. oidia	بوغ أوئيدي
Oogonium (= oogone) pl. oogonia	عضو بيضي مؤنث
Oomycetes	الفطريات البيضية
Ooplasm	هيولى البيضة
Oosphere	بييضة
Oospore	بوغ بيضي
Paraphysis pl. paraphyses	خيط عقيم
Parasexual cycle	دورة شبه جنسية
Pedogamy	التزاوج الولادي
Penetration peg	دبوس الاختراق أو وتد العدوى
Peridium pl. peridia	غلاف ثمري
Periplasm	هيولى محيطية
Perithecium pl. perithecia	ثمرة زقية دورقية
Phialide	قارورة (فياليد)
Phragmobasidium (= heterobasidium)	دعامة مقسمة
Phragmospore	بوغ مقسم
Plasmodium pl. plasmodia	مشيجة هلامية (بلاسموديوم)
Plasmogamy	اندماج هيولي
Polycentric thalli	مشائج متعددة المراكز
Polymorphic (= poleomorphic)	متعدد الأشكال
Polyverticillate	حامل بوغي عديد الصفوف
Primary mycelium	مشيجة أولية
Primary septa	الحواجز الرئيسية أو الأساسية
Progametangium pl. progametangia	طليعة الكيس العروسي
Prokaryote	طليعي أو غير حقيقي النوى
Promycelium pl. promycelia	مشيجة أولية – مشائج أولية
Pseudomycelium pl. pseudomycelia	مشيجة كاذبة – مشائج كاذبة
Pseudoperithecium	ثمرة زقية دورقية كاذبة
Pseudorrhiza	مشيجة شبه جذرية
Pseudosclerotium pl. pseudosclerotia	جسم حجري كاذب

Pycnidiospore (= pycniospore)	بوغ بكني أو بكنيدي
Pycnidium (= pycnium) pl. pycnidia	وعاء بكنيدي أو بكني – أوعية بكنية
Receptive hypha	هيفا استقبال
Repeating spores	أبواغ تكرارية
Resting sporangium	كيس بوغي ساكن
Resting spore	بوغ ساكن
Rhizoid	هيفا شبه جذرية
Rhizomorph	جديلة فطرية (حبل فطري)
Rhizomycelium pl. rhizomycelia	مشيجة شبه جذرية
Saprophyte (= saprobe)	رمّي
Sclerotium pl. sclerotia	جسم حجري – أجسام حجرية
Scolecospore	أبواغ دودية أو خيطية
Septum pl. septa	حاجز - حواجز
Somatic compatibility	التوافق الإعاشي أو الجسماني
Somatogamy	التزاوج الجسدي أو الجسماني
Spermatization	التزاوج بالنطاف
Sporangenous cells	الخلايا المولدة للأكياس البوغية
Sporangiospore	بوغ سبورانجي
Sporangiophore	حامل الكيس البوغي أو السبورانجي
Sporangium pl. sporangia	كيس بوغي (كيس سبورانجي)
Spore	بوغ
Sporidium pl. sporidia	سبوريديا (بوغ دعامي لفطريات التفحم)
Sporodochium pl. sporodochia	حبيكة أو وسادة بوغية
Sporogenous cell	خلية مولدة للأبواغ
Sporophore	حامل بوغي
Sporothallus pl. sporothalli	مشيجة متبوغة – مشائج متبوغة
Staurospore	أبواغ نجمية
Sterigma pl. sterigmata	رؤيس – رؤيسات أو سلاميات
Stolon	مدّاد
Stroma pl. stromata	مطرحة فطرية (حشية ثمرية)
Subhymenium	طبقة تحت الخصيبة
Symbiosis	تعايش أو تكافل
Synnema pl. synnemata	ضفيرة متبوغة (إثمارية)
Teleomorph	الطور الجنسي
Teliospore (= Teleutospore)	بوغ تيلي (تيليتي)
Tetrapolar heterothallic	متخالفة المشائج رباعية القطبية
Thallus pl. Thalli	مشيجة (مشرة قديماً)
Thermophily pl. thermophiles	محب للحرارة
Trichogonium (= trichogyne)	عنق أو معبر (شعيرة أنثوية)
Unicellular	وحيد الخلية

Unitunicate ascus	زق وحيد الجدار
Uredium pl. uredia	بثرة يوريدية
Uredospore (= urediospore = urediniospore)	بوغ يوريدي
Verticillate	سواري أو حلقي أو دواري
Vesicular arbuscular endomycorrhiza	المتعايشات الداخلية الحويصلية الشجيرية
Xerophile	محب للجفاف
Zygomycetes	الفطريات الزيجية
Zoosporangium pl. zoosporangia	كيس أبواغ سابحة
Zoospore	بوغ سابح أو مهدّب
Zygospore	بوغ زيجي
Zygote	بيضة ملقّحة أو مخصبة

وقل رب زدني علما
Damascus University

المراجـــــــع الأجنبيـــــــــة

References

AGRIOS, G. N. (1978). Plant pathology. Academic Press. London.703 p.

AGRIOS, G. N. (2004). Plant Pathology. Fifth edition. Elsevier Academic Press. 922p.

AINSWORTH & BISBY`s Dictionary of the Fungi (1995). CAB International, Reference: 589.203 A297, 1995.

ALEXOPOULOS, C. J. (1962). *Introductory mycology*. 2nd edition. XVIII. 613pp. New York. John Wiley.

ALEXOPOULOS, C. J. & MIMS. (1979). Introduc. Mycology. Third edition. Thon Wiley and Sons. Inc. New York .

BARNETT, J. A. & R. J. PANKHURST. (1974). A New Key to the Yeasts. North Holland Publ. Co., Amsterdam

BOUCHET, Ph., GUIGNARD, J. L. & VILLARD, J. (1999). Les champignons, Mycologie fondamentale et appliquée. Masson, Paris, 194pp.

CABI. (2000). Crop protection. CD-Rom, Global Module. CAB International, wallingford, oxon, UK.

CORBAZ, R. (1990). Principes de phytopathologie et de lutte contre les maladies des plantes. 1er edition, Press Polytechniques et Universitaires Romandes .Suisse.

DUBE, H. C. (1983). *An Introduction to Fungi*. 616 p. Vikas Publishing House. PVT Ltd.

DURRIEU, G. (1993). Ecologie des champignons. 206p. Masson. Paris.

EMMONS, C. W. & BINFORD, C. H. & UTZ, J. P. & KWON-CHUNG, K. J. (1977). *Medical mycology*, Third ed. Lea and Febiger, Philadelphia. 592 pp.

FADDOUL, J. (1973). Contribution á l`étude du *Coryneum* Cardinal WAG. Morphologie, Biologie, Physiologie. Thèse de Dr. Ing. E.N.S.A. Toulouse, France.

GIRAUD, M & BAUDRY, O. & ORTS, R. & GENDRIER J. P.(1996). Protection intégrée (Pommier – Poirier) . 277 pp.

LANIER, L. & JOLY, P. & BONDOUX, P. & BELLEMERE, A. (1978). Mycologie et Pathologie forestière , Tom I et II, Masson, Paris.

LEPOIVRE, Ph.(2003). Phytopathologie. Editions De Boeck Universte . Presses agronomiques de Gembloux, Espagne.pp 427.

LUTTRELL, E. S. (1955). The ascostromatic Ascomycetes. Mycologia **47**: 511 – 532.

NAFFAA, W.(1998). Les champignons endophytes des graminées: variabilité et co- adaptation avec leurs hôtes. Thèse de Dr. Ing. Pp 206. Université Blaise Pascal, France.

NAFFAA, W & RAVEL, C & GUILLAUMIN, J. J. (1998). A new group of endophytes in European grasses. Ann. Appl. Biol. **132**: 211 – 226.

SEMAL, J. (1989). Traité de pathologie végétale .Pp 621. Les Presses Agronomiques de Gembloux (Belgique).

SPARROW, F. K. (1976). The present status of classification of biflagellate fungi. pp. 213 – 222. In: E. B. Gareth Jones (ed.) *Recent Advances in Aquatic Mycology*. John Wiley, New York.

TALBOT, P. R. (1971). Principal of fungal taxonomy. St. Martin`s Press. Nueva York.

المراجـــــع العربيـــــة

- أبو هيلة (عبد الله بن ناصر). (1987). أساسيات علم الفطريات، عمادة شؤون المكتبات – جامعة الملك سعود – الرياض.

- أحمد (علي محمد). (1998). عالم الفطريات – الطبعة الأولى – الدار العربية للنشر.

- أحمد (علي محمد). (2001). قاموس المصطلحات الفطرية - الطبعة الأولى - المكتبة الأكاديمية - القاهرة.

- المرشد الوجيز في أمراض النبات - الجمعية العربية لوقاية النبات. (1995).

- بغدادي (وفاء). (1974). المشريات، مطبعة جامعة دمشق.

- بغدادي (وفاء) & الأشقر (كمال) & الأطرش (فائزة). (1992). تصنيف الفطريات – مديرية الكتب الجامعية – جامعة دمشق.

- حسن (محمود)، علاف (عصام). (1995). أسس علم الفطريات، منشورات جامعة تشرين.

- سعد (مجدي محب الدين محمد). (1991). السموم الفطرية (مشكلة زراعية – بيئية – صحية). الهيئة المصرية العامة للكتاب.

- عبد الحميد (محمد عبد الحميد). (2000) . الفطريات والسموم الفطرية – دار النشر للجامعات – مصر.

- عمار (محمد محمد). (2002). الفطريات (الجزء الأول) - الطبعة الأولى - الدار العربية للنشر والتوزيع - القاهرة .

- عمار (محمد محمد). (2003). الفطريات (الجزء الثاني) (الفسيولوجي، التكاثر، وعلاقتها بالبيئة والإنسان) - الطبعة الأولى - الدار العربية للنشر والتوزيع - القاهرة.

- فضول (جودة). (1984). قاموس الفطريات (تصنيف – أمراض نبات – نباتات مضيفة – مصطلحات علمية) : عربي – فرنسي – إنكليزي - لاتيني، 378 صفحة. المعهد القومي للعلوم الفلاحية، الجزائر.

- فضول (جودة). (1992). أمراض المحاصيل الحقلية، منشورات جامعة دمشق.

- فضول (جودة) & العظمة (فواز). (1993). علم أمراض النبات – الطبعة الرابعة – مديرية الكتب الجامعية – جامعة دمشق.

- فضول (جودة) & نفاع (وليد). (2006). المرجع في علم الفطريات، 1050 صفحة. منشورات جامعة دمشق.

- فضول (جودة)، قطنا (هشام)، منصور (أحمد)، حسن (عيسى). (1984). معجم المصطلحات العلمية الزراعية الموحد، المعهد القومي للعلوم الفلاحية، الجزائر. 720 صفحة.

- هابيل (منير) & العظمة (فواز). (1986). أساسيات علم الفطريات – مديرية الكتب الجامعية – جامعة دمشق.

- وليد (عبد اللطيف)، فضول (جودة)، العظمة (فواز). (1986). أمراض المحاصيل البستانية، منشورات جامعة دمشق.

التدقيق العلمي

الأستاذ الدكتور عادل فتيح

جامعة دمشق - كلية الهندسة الزراعية – قسم وقاية النبات

الأستاذ الدكتور جودة فضول

جامعة دمشق - كلية الهندسة الزراعية – قسم وقاية النبات

الأستاذ الدكتور فواز العظمة

الهيئة العامة للتقانات الحيوية - دمشق

التدقيق اللغوي

الأستاذ الدكتور أحمد جاسم الحسين

جامعـــة دمشق – كليـــة الآداب – قسم اللغة العربية

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية