

فسيولوجيا النبات

Plant Physiology



محتوى الكتاب مصدره موسوعة النبات-
مركز سوزان مبارك الاستكشافى العلمى
www.smsec.com
الاعداد والاشراف العلمى
الاستاذ الدكتور / محمد حامد ادريس

اعداد
صبحى درهاب

الخلية النباتية Plant Cell

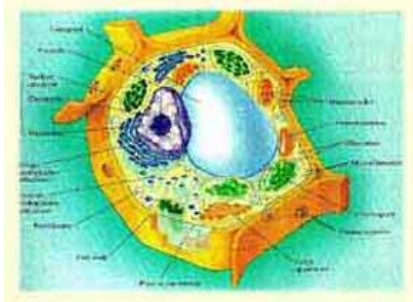
جدار الخلية
الشبكة الاندوبلازمية
البلاستيدات
الأنابيب الدقيقة
شكل الخلية

الخلية النباتية النمطية
الأغشية والغشاء البلازمي
الميتوكوندريا
الفجوات
النواة
الصفات المشتركة للحياة

نظرية الخلية
الخيوط البلازمية وحقول النقر
أجهزة جولجي
الريبوزومات
الأجسام الدقيقة
حجم الخلية

مقدمة :

الخلية الوحدة التركيبية والوظيفية الأساسية للحياة . وفي الكائنات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حي كامل بينما في الكائنات الراقية عديدة الخلايا فإنه يوجد تجمع لعدد كبير من الخلايا المختلفة والتي تنظم بكل دقة لتكون نسيجاً والأنسجة المختلفة تكون عضواً ، والأعضاء المختلفة تكون الكائن الحي سواء كان نبات او حيوان من خلال عملية النمو Growth والتطور Development او التغير الشكلي Morphogenesis والتي يحدث خلالها تفاعلاتها كيميائية وتخصصات وظيفية .



وبالرغم من تعدد النواتج التخصصية والوظيفية للخلايا إلا أن الخلايا متشابهة الى حد كبير في احتوائها علي عدد من العضيات التي يتم فيها التفاعلات الكيميائية كذلك تتشابه في الأغشية البلازمية والأحماض النووية DNA و RNA والتي تعمل كمكونات أساسية في ميكانيكية نقل المعلومات في جميع الخلايا .

وعلي هذا فالكائنات الأولية ذات الخلايا غير المحتوية علي انوية محددة Prokaryotes وكذلك في الكائنات ذات الخلايا المحتوية علي انوية محددة Eukaryotes عادة ما تشترك في الكثير من الخصائص العامة.

نظريـة الخلية والصفات العامة للمادة الحية :

تشترك كل الكائنات الحية في انها تتكون من خلايا وبعد أن علمنا أن الخلية الحية تستطيع بمفردها ان تكرر موادها الوراثية وان تستخدم المعلومات الوراثية بها لبناء البروتين وان تستهلك وتنتج الطاقة بها . وهكذا تكون الخلية هي الأساس لكل صور الحياة بالرغم من ان لكل خلية دور ووظيفة حيوية تختص بها . ولهذا تعرف الخلية بأنها وحدة النشاط الحيوي والتي تحاط بغشاء حي شبة منفذ والتي يمكنها ان تكرر نفسها بالاتقسام الخلوي عندما تعزل علي بيئة مغذية مناسبة . او تعرف بانها اصغر جزء من الكائن الحي والذي يحوي الخواص والصفات المميزة للمادة الحية . والفكرة الشائعة ان

الخلية هي الوحدة الأساسية للحياة تسمى بنظرية الخلية .

الخلية النباتية النمطية : Cell Typical Plant

لا وجود للخلية النباتية النمطية إلا أن الخلايا النباتية الحية تتشابه فتركيب الخلية الحية يتميز بوجود جدار خلوي يحيط بمساحة داخلية تحتوي على البروتوبلازم والذي يتكون من سيتوبلازم ونواة ويطلق على تلك المكونات البروتوبلازمية داخل الغشاء البلازمي Plasmalemma اسم البروتوبلاست وعادة ما يقوم العلماء بفصل البروتوبلاست عن الجدر الخلوية واستعماله في الدراسات الفسيولوجية والبيوكيماوية .

تحاط النواة بغشاء معقد يعرف بالغلاف النووي Nuclear envelope . ويوجد داخل السيتوبلازم العضيات السيتوبلازمية مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات والريبوزومات وتراكيب غشائية تعرف بالشبكة الاندوبلازمية وجهاز جولجي الذي يجاور في العادة النواة.

ويتميز البروتوبلازم بطبيعته الغروية على الرغم من وجود كثير من المواد الذائبة فيه وترجع هذه الطبيعة الغروية للبروتوبلازم لوجود البروتينات حيث تتيح البروتينات سطوح مساحية غير محدودة والتي تساعد على وجود الظروف الضرورية للادمصاص Adsorption والحركة الكيماوية ومن ثم التفاعلات اللازمة للحياة وعلى هذا يعتبر النظام الغروي أساس لمظاهر المادة الحية .

جدار الخلية : Wall Cell

تحتاج الكائنات الحية الى دعائم ميكانيكية لكي يكون لها شكلها المحدد ففي عالم الحيوان أعطى الله الصلابة لتلك الكائنات عن طريق الجهاز العظمي أما في النباتات ونتيجة عدم احتوائها على مثل ذلك الجهاز وإنها أقل رقياً من الحيوان فالتدعيم لا يكفي أن يكون من خلال ضغط الامتلاء المائي داخل الخلايا والذي يساعد بالطبع على التدعيم الميكانيكي لذلك يعتمد النبات في التدعيم بشكل أساسي في بناء الجدار الخلوي الصلب السليولوزي ولا يقتصر دور الجدار في التدعيم فقط بل يتعداه للقيام بوظائف أخرى فالجدار يشترك في امتصاص وانتقال الماء والمعادن وفي الإفراز وفي بعض النشاط الأتزمي . كما يعتقد علماء أمراض النبات أن الجدر الخلوية ومكوناتها تلعب دوراً هاماً في مقاومة المرض بإعاقه اختراق الطفيليات .

ويقوم البروتوبلاست الحي بإنتاج وتعزيد الجدار الخلوي . وبالطبع فهناك خلايا لا يدوم فيها البروتوبلاست طويلا (مثل تلك المتخصصة في وظائف التوصيل والتدعيم مثل الخشب) . وينتج البروتوبلاست مكونات الجدار الخلوي ويرسبها ملاصقة للسطح الخارجي للغشاء البلازمي . والمركب الرئيسي للجدار هو السيليلوز وتشكل المواد البكتينية والهيميسيليلوز واللجنين والسوبرين والبروتينات مواد الترسيب التي تشكل الجدر الثانوية المانحة لصلابة الجدر الخلوية. ثم تأتي الصفيحة الوسطي والتي تلصق الخلايا مع بعضها وتتكون من حمض البكتيك وأملاح غير ذائبة لحمض البكتيك مثل بكتات الكالسيوم والمغنسيوم وكميات ضئيلة من البروتوبكتينات وترجع صلابة الصفيحة الوسطي في المراحل المتأخرة من تكوين الجدار الخلوي لوجود أملاح الكالسيوم والمغنسيوم لحمض البكتيك وكذلك عديدات السكر المتضخمة مثل السيليلوز وفي بعض الاحيان اللجنين .

الجدار الاولي Wall Primary :

بمجرد تكوين الصفيحة الوسطي تزداد الخلية في الحجم وتستطيل ويصحب هذه الاستطالة ويتبعها تشرب الصفيحة الوسطي بثلاث أنواع من المركبات هي:

١. السيليلوز ٢. الهيميسيليلوز ٣. الجليكوبروتين (تجمع كربوهيدرات + بروتين)

وينتج عن هذا الترسيب طبقة رقيقة سمكها ١-٣ ميكرون ويطلق علي هذه الطبقة التي تقع علي السطح الداخلي للصفيحة الوسطي والسطح الخارجي للغشاء البلازمي بالجدار الابتدائي او الاولي . وهناك العديد من الخلايا النباتية تحتوي فقط علي الجدار الابتدائي مثل الخلايا الميرستيمية وخلايا البشرة والخلايا المشتركة في التمثيل الغذائي . والجدر الابتدائية تتميز بمطاطيتها نتيجة لمرونة تركيبها ولكن عندما يرسب عليها مكونات جديدة للجدر تفقد جزءا من مطاطيتها .



الجدار الثانوي Secondary Wall :

بمجرد تكوين الجدار الثانوي في الخلايا البارانشيمية تتوقف الخلية عن الاستطالة . بينما في خلايا أخرى مثل القصيبات فان الجدار يستمر في تغليظه بعد توقف استطالة الخلايا وذلك بترسيب طبقات من السيليلوز واللجنين لتكوين الجدار الثانوي . ويتراوح سمك الجدار الثانوي بين ٥ - ١٠ ميكرون وبنهاية ترسيب الجدار الثانوي يفقد الجدار الكثير من مرونته ويصبح في النهاية غير مطاط تماما . وقد يؤدي تغليظ الجدار الثانوي الي امتلاء معظم حجم الخلية ويسبب هذا موت وتحلل البروتوبلازم

وكثير من الجدر الثانوية تحتوي علي اللجنين وهي مادة كحولية مبلمرة مشتقة من مركبات الفينيل بروبان وتوجد في الجدار مع الهيميسيليلوز ومركبات اخري ترتبط بالسيليلوز.

واللجنين يحتل المركز الثاني من حيث السيادة بعد السيليلوز بين مركبات النبات وترجع أهميته الي انه يضيف ويزيد من صلابة التراكيب التي يكونها ، الا انه في بعض النباتات قد يغلب ترسيب السيليلوز النقي في طبقات الجدار الثانوي مثل الياف القطن .وبعض جدر الخلايا النباتية قد تغطي بالكيوتين او تتشبع بالسوبرين او الشموع وذلك للحماية من فقد الماء.

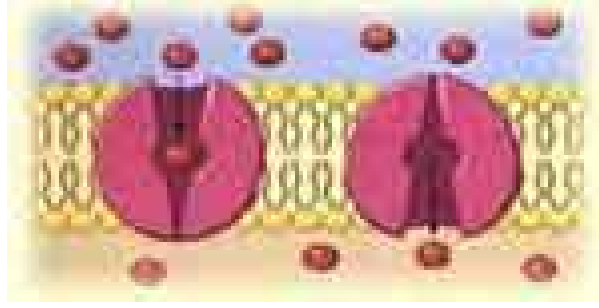


الخيوط البلازمية Plasmodesmata وحقول النقر Pit Field :

الخيوط البلازمية (مفردها: Plasmodesma) هي خيوط سيتوبلازمية في خط استواء الخلية المتصلبة حول خيوط الشبكة الاندوبلازمية خلال تكوين الصفيحة الوسطي . وهذه الخيوط تخترق الجدر الخلوية ويعتقد انها تعمل كطرق موصلة في غاية الأهمية للماء وللمواد الأخرى عبر الخلايا. والخيوط البلازمية قد توجد متجمعة في حزم من الجدار يعرف بحقول النقر الأولية وهي مساحات رقيقة في جدر الخلايا والنقر تقابل بعضها البعض في الجدر الابتدائية للخلايا المتجاورة والتي تعرف بالنقر الزوجية. وفي الخلايا التي لها جدر ثانوية فان النقر تكون بسيطة او ذات حافة مضفوفة

الأغشية Membranes :

يجب ان يفهم ان معظم الأنشطة الخلوية تعتمد علي تنظيم مختلف المكونات الكيماوية داخل الأغشية المرتبطة او أغشية العضيات الخلوية والشبكة الاندوبلازمية . أول من اقترح نموذج للأغشية هو Danielle سنة ١٩٤٣ وهو نموذج حاز القبول من العلماء لانه يفسر كثير من وظائف الغشاء الخلوي وفي هذا النموذج يقترح دانيل وجود طبقتين من الدهون ويحيط بهما من الخارج والداخل طبقتين من البروتين وتسمح الليبيدات الموجودة بالغشاء بمرور المواد اللاقطبية Nonpolar او التي لا تحمل شحنة علي سطحها كما ان وجود طبقتي البروتين تسمح بمرور المواد القطبية او التي تحمل شحنة علي سطحها وهذا النموذج لوحدة الغشاء Membrane Unit لا يوجد في جميع التراكيب الغشائية كما انه لا يفسر ديناميكية التغيرات في نفاذية الأغشية إلا انه يمدنا بقواعد تقودنا لفهم تركيب الأغشية . وهناك نموذج اكثر قبولا الآن للغشاء وهو الموديل المبرقش السائل The Fluid Mosaic Model ويحتوي الغشاء علي طبقتين من الفوسفوليبيدات بذيولها الهيدروكربونية الكارهة للماء والمتجهة للداخل . والبروتينات الكروية والتي تنتشر داخل الفوسفوليبيدات والتي تشبة كرات البنج بونج المختلفة الأوزان داخل بركة من سائل لزج .



والمركبات البروتينية ربما تكون تركيبية أو أنزيمات وتختلف جوهريا من عضو لآخر أو من غشاء لآخر أو بين وجهي نفس الغشاء . وهذا النموذج أوضح وجود مكونات غشائية أخرى مثل مشتقات الكربوهيدرات والبروتينات وكما سنري ان الأغشية ربما تحتوي علي أنزيمات وحوامل ومضخات بروتون وبروتينات تركيبية ومركبات ذات طاقة عالية تسهل إخراج وتحرك العناصر والكيماويات لداخل وخارج الخلية . ومما لا شك فيه أن كمية الدهون والبروتين والمكونات الأخرى للأغشية من المحتمل ان تتغير من لحظة لأخرى بالتغير النسبي للمجاميع المحبة والكارهه للماء . لذلك فالأغشية اختيارية النفاذية **Permeable Differentially** اي انها تنظم خاصية مرور المواد المختلفة خلال الغشاء . وهذا ادق من اصطلاح شبه المنفذ . ويعرف النقل السلبي للأغشية بأنه مرور المواد خلال الأغشية دون حاجة الي الطاقة الناتجة من عمليات التحول الغذائي للخلايا. فالانتشار **Diffusion** والتبادل الايوني **Ion Exchange** والتدفق الكتلي **Mass Flow** جميعها صور من الانتقال السلبي وبعض المواد ربما تتراكم في الخلية أو تهرب الي البيئة الخارجية بما يعرف بالنقل النشط **Active Transport** وهذا التحرك عبر الأغشية يحتاج لطاقة حيوية . ووجود مستقبلات أو حوامل يؤدي الي تجمع المواد عكس منحدر التركيز ويسمي نظام الحامل المحتاج للطاقة بالمضخات **Pumps** .

الغشاء البلازمي **Plasma lemma** :

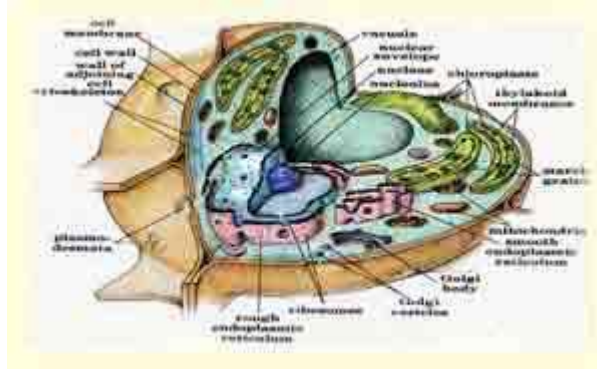
رغم ان الغشاء الخلوي يبدو انه يفصل الخلية عن الوسط الخارجي إلا ان العديد من المواد تنتقل خلاله عن طريق المسام والبلازموديزمات أو عن طريق الفعل التشرابي للماء . ويتأخم هذا الجدار الخلوي غشاء رقيق مرن يعرف بالغشاء السيتوبلازمي أو الغشاء البلازمي الخارجي وهو يغلف السيتوبلازم ويكسو المكونات الخلوية وينظم عبور المواد من والي الخلية . ونظرا لتشابه الغشاء السيتوبلازمي والسيتوبلازم يصعب التمييز بينهما بالميكروسكوب الضوئي ولكن باستعمال صبغات معينة وباستعمال الميكروسكوب الالكتروني يمكن رؤية الغشاء السيتوبلازمي .

الشبكة الاندوبلازمية **Endoplasmic Reticulum (ER)**

يتشابه سيتوبلازم الخلية بنظام غشائي مرتبط متقن يعرف بالشبكة الاندوبلازمية وتظهر الحويصلات كفجوات محاطة ممتلئة وتسمى السسترنات **Cisternae** وعندما تلتصق الريبوزومات بالشبكة الاندوبلازمية فإنها تكون جزءا من الشبكة يعرف بالشبكة الخشنة **Rough Endoplasmic Reticulum** وفي هذه المصاحبة فان الريبوزومات تشترك في تمثيل الببتيدات العديدة اي تمثيل البروتينات ، وعندما لا تصاحب الريبوزومات الشبكة الاندوبلازمية تسمى بالشبكة الاندوبلازمية الملساء وهي تلعب دورا أساسيا في تمثيل وتجميع الجليكوليبيدات (وهي المركبات التي تتكون من كحولات واحماض دهنية وكربوهيدرات) وطبقا لملاحظات عديد من العلماء فان تجويف الشبكة

الاندوبلازمية تتصل بالغلاف النووي وتمتد لتصل لسطح الخلية وقد وجد ان هناك أغشية من هذا النظام موجودة في الجدر الابتدائية لبعض الخلايا بل وتمتد الي الخلايا المتجاورة . كما ذكر بعض العلماء ان اتصال الغشاء النووي مع الشبكة الاندوبلازمية يزيد من سطوح الاتصال بين المكونات النووية وسيتوبلازم الخلية . وعندما تمتد الشبكة الاندوبلازمية الي الخلايا المتجاورة فهذا يعني اتصالا مباشرا بين انوية الخلايا المتجاورة وهذا قد يفسر انتظام عمل النسيج الواحد في الكائن الحي

واذا تصورنا الشبكة الاندوبلازمية وتفرعها داخل السيتوبلازم فهذا يعني تقسيم سيتوبلازم الخلية الي حجرات عديدة وصغيرة . وداخل هذه الحجرات ربما تتراكم أنزيمات معينة وأيضا مركبات معينة وسوف نري ان هذا التقسيم يؤدي الي إمكان حدوث تفاعلات عديدة داخل سيتوبلازم الخلية بدون حدوث تداخل علاوة علي ان هذا يمكن أن يوجه اتجاه التفاعل الرجعي للحدث في الاتجاه المطلوب عن طريق حجز بعض المركبات داخل هذه الحجرات او اخراج بعضها .



أجهزة جولجي Golgi Apparatus او (Dictyosomes) :

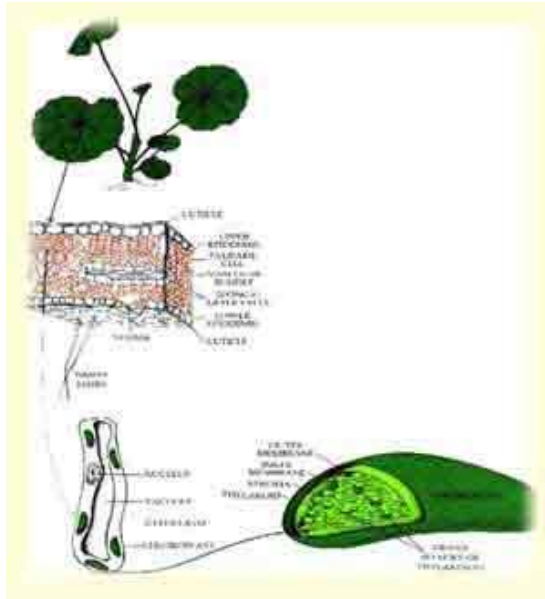
تبدو أجسام جولجي في الميكروسكوب الالكتروني إنها عبارة عن كومة مكدسة من ٥-١٥ من الأغشية المرتبطة والمفلطحة والمنبسطة وعديد من الحويصلات الكروية الصغيرة تظهر كمجموعة حول هذه الأغشية ويطلق علي هذه الأوعية والحويصلات أجهزة جولجي. وتتشابه أغشية احسام جولجي مع أغشية الشبكة الاندوبلازمية . وتحوي الحويصلات علي منشئات الجدار الخلوي (مثل عديدات السكر وبروتينات ومركبات اخري) وهذه المركبات تتراكم داخل الحويصلات ثم تنتقل عند إتمام الانقسام المبتوزي الي الصفيحة الوسطي او سطح الخلية وترسب مواد الجدار الخلوي علي السطح البيني . وعلي ذلك تلعب اجسام جولجي والشبكة الاندوبلازمية دورا هاما في تكوين الجدار الخلوي .

الميتوكوندريا Mitochondria :

الميتوكوندريا مفردتها Mitochondrion أجسام لها عديد من الأشكال والصور محاطة بوحدين غشائيتين يضمنان بداخلهما الحشوة و الـ RNA وأنزيمات دورة كربس ومركبات عديدة من نواتج التفاعلات الأنزيمية والسيتوكرومات مما يبين ان وظيفتها هي القيام بعملية التنفس . وهكذا فهي تختص بإنتاج الطاقة المستخدمة في الخلية ولذلك يلاحظ كثافة الميتوكوندريا في الخلايا النشطة مثل الخلايا الميرستيمية حيث تسود بها الميتوكوندريا . ويعني ان الميتوكوندريا تمد الخلايا بالطاقة انه عندما تتحلل الدهون والكربوهيدرات في السيتوبلازم ينتج عن أكسدة هذه المواد ثاني أكسيد الكربون وماء وطاقة وهي التي تخزن في الميتوكوندريا في صورة روابط فوسفاتية غنية بالطاقة مثل الـ ATP ونظرا لاحتواء الميتوكوندريا علي DNA فان لها القدرة علي الانقسام دون الاعتماد علي النواة .

البلاستيدات Plastids :

البلاستيدات هي عضيات مميزة للنبات وهي عادة مستديرة او بيضيه او قرصية الشكل قطرها حوالي ٤ - ٦ ميكرون وتحاط بغشاء مزدوج وبداخلها حشوة تحاط البلاستيدات بغشاء مزدوج يسمى الغلاف Envelope مع تراكيب أخرى في الحشوة او الاستروما Stroma تسمى الجرانات وهي علي شكل أقراص وتتكون من ٥ - ٥٠ من الأكياس المقلطحة وهي التي تحوي الكلور وفيلات والبلاستيدات تحوي عادة DNA و RNA ولهذا فهي يمكن ان تتكاثر مستقلة عن انقسام الخلية ويعتقد انها تنشأ من البلاستيدات الأولية Proplastids



وتنقسم البلاستيدات الي عدة اشكال:

Proplastids : وهي البلاستيدات الأولية

وهي التي تنمو وتكون البلاستيدات .

Leucoplasts : وهي البلاستيدات عديمة

اللون لا تحتوى على الكلوروفيل

والكاروتينويدات. وتنتج بروتينات وزيوت

ويمكنها ان تخضر اذا تعرضت للضوء .

Chloroplasts : وهي بلاستيدات تحوي صبغات الكلوروفيلات والكاروتنويدات وتظهر بلون اخضر لتغلب لون الكلوروفيل ولزيادة تركيزه وتقوم بالتمثيل الضوئي.

Chromoplasts : وتحتوي فقط علي صبغات الكاروتنويدات. وظيفتها لازالت مبهمه ولكنها مسئولة عن تلون أوراق الخريف والأزهار والثمار الناضجة حيث تتراكم بها الكاروتنيدات والصبغات الاخرى كما في الطماطم .

Amyloplastids : وهي البلاستيدات النشوية وهي تلعب دورا هاما في تمثيل النشا في خلايا أعضاء معينة مثل درنات البطاطس واندوسبيرم حبوب الذرة .

الريبوزومات Ribosomes :

توجد الريبوزومات في الخلية اما بمصاحبة الشبكة الاندوبلازمية او حرة في السيتوبلازم او في الميتوكوندريا او البلاستيدات ويتراوح قطرها بين 0.1 - 0.3 ميكرون وتحتوي علي 50 - 60 % حمض RNA و 40 - 50 % بروتين اي انها عبارة عن تجمع من جزيئات الـ RNA والبروتين ويطلق علي الـ RNA المشترك في بناء الريبوزوم بـ RNA الريبوزومي (r- RNA) وتوجد الريبوزومات عادة في مجاميع عنقودية او في شكل سبحي او عديدات الريبوزومات Polyribosomes وهي الاماكن النشطة لتمثيل الببتيدات عندما ترتبط بالـ RNA الرسول او (m-RNA)

الفجوات Vacuoles :

هي عبارة عن مساحة محاطة بغشاء مملوءة بسائل مائي او عصير خلوي Cell sap وتوجد الفجوات العصارية مبعثرة في السيتوبلازم في الخلايا الحديثة الميرستيمية حيث تمتلئ الخلية بالسيتوبلازم الكثيف وعند نضج الخلية تتجمع هذه الفجوات مع بعضها لتكون فجوة واحدة كبيرة في وسط الخلية وتكون محاطة بغشاء هو جزء من الغشاء البلازمي الداخلي Tonoplast وهو غشاء اختياري النفاذية وتدفع الفجوة عند تجمعها من الفجوات الصغيرة السيتوبلازم ليلصق الجدار كطبقة رقيقة ومن وظائف الفجوة المحافظة علي استمرارية ضغط الامتلاء Turgor pressure للخلية وهو هام جدا للتركيب الدعامي وللتحكم في حركة الماء. كما أن من مهام الفجوة تخزين المواد الأساسية اللازمة للنشاط التمثيلي للخلية وتخزين منتجات التمثيل الثانوية والمركبات الدفاعية للخلية والسامة وهكذا يحتوي العصير علي مواد كالكسكريات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والغازات والصبغات والقلويدات والدهون والتانينات وأحيانا البللورات وعادة يكون الـ pH للعصير الخلوي حامضيا الا انه في بعض الاحيان قد يتراوح بين 1 - 11 حسب مكوناته . ولهذا فدراسة غير سهلة من الناحية السيتولوجية والكيموحيوية . والغشاء المحيط بالفجوة Tonoplast غير المزدوج

يلعب دورا هاما في النشاط الكيميائي للخلية مثل تراكم أيونات الهيدروجين وتخزين المواد السامة والسماح بعبور بعض المواد في اتجاه واحد (من الخلية للفجوة) . ووجود الصبغات بالفجوة مثل الانثوسيانين والذي يلون عديد من الأزهار والثمار والأوراق . وبسبب تغيره في اللون حسب الـ pH استعمل كدليل لدرجة الحموضة (مثل صبغة عباد الشمس) .

الأنابيب الدقيقة Microtubules :

هي تراكيب مستطيلة مجوفة لا غشائية قطرها ١٠ - ٢٠ أنجستروم وهي تعتبر جزيئات كبيرة بروتينية ويسمى البروتين B - tubulin ، ويمكن تسميته بروتين انبوبي حيث توجد متلاصقة مع سنتروميروموسومات والخيوط المغزلية خلال الانقسام الميتوزي . وتشترك في انفصال وهجرة الكروموسومات المتماثلة لقطبي الخلية كما تساعد في تكوين الجدار الخلوي . كما تعتبر تحت تراكيب للاسواط والفلاجلات والأهداب في الخلايا النباتية ذاتية الحركة .

الأجسام الدقيقة Micro bodies :

وهي الجليوكسيسومات والبيروكسيسومات والاسفيروزومات ، تلك الجسيمات يطلق عليها الأجسام الدقيقة وقطرها ١ - ٢ أنجستروم يحيط بها غشاء فردي وهي لا تشابه البلاستيدات او الميتوكوندريا حيث لا يشاهد بها اي تراكيب غشائية الا انها تحتوي علي بروتينات داخلية كثيفة جدا . وتوجد الجليوكسيسومات في انسجة البذور الزيتية حيث يتحول الدهن الي كربوهيدرات وتلك العملية يصاحبها أنزيمات دورة الجليوكسلات وتوجد كلها في الجليوكسيسومات . اما البيروكسيسومات فهي تشابه مظهرها الجليوكسيسومات وتحتوي علي عدد من نفس أنزيماتها ولها دور في تمثيل الجليكولات المنتجة بواسطة البلاستيدات الخضراء وتبين الملاحظات ان البيروكسيسومات تصاحب عملية التمثيل الضوئي في بعض النباتات . والاسفيروزومات اي الأجسام الكروية ما هي الا أجسام صغيرة او جسيمات تحتوي علي أنزيمات مثل أنزيمات Hydrolases وأنزيمات تحليل مائي أخرى مثل الـ Proteases (أنزيمات تحليل البروتينات) و Ribonucleases (أنزيمات تحليل آل أحماض النووية) وأنزيمات الفسفرة والاسترة ويبدو ان وظيفتها في الخلية هو تخزين وانتقال الليبيدات .

النواة Nucleus:

اكتشفت النواة سنة ١٨٣٥ بواسطة العالم Robert Brown ومنذ ذلك الحين نالت كما هائلا من البحوث لدراسة دورها المؤثر المتحكم في التوريث والنشاط الخلوي . فالنواة تتحكم وتدير تمثيل جميع البروتينات التي تتضمن الأنزيمات التي تساعد علي معظم ان لم يكن جميع التفاعلات التمثيلية في الخلية . والنواة في الخلية الصغيرة عبارة عن جسم كروي منغمس في السيتوبلازم . وفي الخلية الناضجة تسكن النواة في أحد جوانب الخلية بتأثير تكون الفجوة العصارية . وقطر النواة ٥ -

١٠ ميكرون وتحاط النواة بغشاء مزدوج يعرف بالغلاف النووي envelope Nuclear وهو متصل بالشبكة الإندوبلازمية كما يحوي هذا الغلاف مسام أو ثقب Pores ويظهر اتصال بين السيتوبلازم والعصير النووي . والعصير النووي يتركب من طورين أحدهما تركيبى شبكى الشكل من خيوط تسمى كروماتين والذي يتكون من DNA والبروتينات . والطور غير التركيبى يبدو كمواد حبيبية وتسمى العصير النووي Nuclear sap وتوجد في النواة كميات جوهريّة أساسية من الـ DNA و الـ RNA والليبيدات والفوسفوليبيدات وبروتين معين يسمى هستون بالإضافة لبعض الأنزيمات .

وفي الطور التمهيدى لانقسام الخلايا تحتوي النواة على واحدة أو أكثر من النويات Nucleolus حسب النوع النباتي .

شكل الخلية Shape Cell :

من المعلوم ان الكائنات الحية جميعها تبدأ من خلية واحدة وانها تتكون من بروتوبلازم وهو الاسم الذي يطلق على كل المحتوي الحي للخلية وهو عبارة عن سائل لزج يحاط بغشاء مرن . وبالنظر لهذه الاعتبارات نجد ان شكل الخلية سيكون كروي وذلك نتيجة للتوتر السطحي خاصة بالنسبة للخلايا الحرة ، فعلا نجد ان كثيرا من خلايا البكتيريا والخمائر والطحالب وحيدة الخلية تكون كروية الشكل ولكن يلاحظ ان بعض البكتيريا تأخذ الشكل العصوي كذلك فان الاميبا ليس لها شكل محدد .

ولا يجب إغفال تأثير العوامل الخارجية الميكانيكية في شكل الخلايا لأن وظيفة الخلية قد تحدد شكلها مثل خلايا الدم الحمراء في الإنسان التي تبدو كروية من كل من السطح العلوي والسفلي بينما تبدو مسطحة ومقعرة من الشكل الجانبي . وهذا الشكل يناسب وظيفتها في تبادل الغازات في الرئة والأنسجة . وبالنسبة للنبات يختلف شكل الخلايا على حسب شكل العضو وكذلك نشاط الخلية نفسها مثل خلايا الأوراق والجذور والخلايا الحارسة للثغور والشعيرات حيث يختلف شكل كل خلية على حسب وظيفتها ويتلائم معها تماما . وبالنسبة لخلايا النبات والحيوان يلاحظ ان خلايا الحيوان تهبأ احيانا للحركة بينما في النبات لا . كذلك توجد في الحيوان خلايا عضلات واعصاب وعظام واخراج وهضم .

حجم الخلية Cell Size

اصغر حجم للخلايا يوجد في البكتيريا التي يتراوح قطرها بين ٠.٢ - ٠.٥ ميكرون بينما أكبرها بيضة النعامة التي يصل قطرها الي ١٥ سم . ويتحكم في اكبر حجم للخلايا عوامل عديدة من العوامل مثل نسبة النواة الي السيتوبلازم فمن المعروف ان النواة تنظم نمو ووظيفة السيتوبلازم وبقاء الخلية ككل فبالرغم من ان الخلية يمكنها أن تعيش قليلا بدون نواة إلا إنها تبدو في هذه الحالة بدون عقل مدير ينظم لها وظائفها ومن جهة أخرى لأن النواة تنتج وسائل بناء البروتين فلها فهي تحدد كمية السيتوبلازم التي يمكن ان تتحكم فيه . وهناك بعض الخلايا التي تحوي اكثر من نواة مثل طحلب

النوستوك كما يتحكم في الحجم النسبة بين حجم الخلية ومساحة سطحها و لسطح الخلية أهمية في التحكم في مرور السوائل منها واليها وكذلك الغازات والغذاء . ونظرا لأن مساحة السطح تزيد بمربع زيادة القطر بينما يزداد الحجم بمكعب هذه الزيادة فان حجم الخلية يتوقف علي مقدرة سطحها علي امداد الخلية بما تحتاجه لعمليات التمثيل بها . والخلية النباتية تواجه هذه المشكلة لوجود الفجوة العصارية بها . وهناك عامل آخر وهو حركة السيتوبلازم والتي يجب ان تكون انشط في الخلايا الكبيرة . كما يتحكم في الحجم معدل نشاط الخلية في التمثيل فمعدل تبادل المواد في الخلايا الصغيرة اكبر منه في الخلايا الكبيرة وذلك خلال سطحها وبالتالي فأنه يلزم أن تكون الخلية في اقل حجم ممكن لكي تكون النسبة بين مساحة السطح والحجم ملائمة لعمليات الامتصاص .

والآن السؤال ما هو الحجم الأمثل للخلية لكي تقوم بوظائفها بكفاءة ؟؟ وواضح انه ليس لهذا السؤال إجابة محددة لأن اكبر قطر لخلية معروفة يصل الي ١٠٠ ميكرون واصغر قطر ٠.١ ميكرون اي بنسبة ١ - ١٠٠٠ مع العلم باننا استبعدنا الفيروسات بصرف النظر عن كونها خلايا ام لا حيث ان الطاقة اللازمة للفيروس تأتي من خارجة (من الخلايا التي يتطفل عليها) .

الصفات المشتركة للحياة :

قبل ان نترك الكلام عن الخلية يجب ان نعلم السمات المشتركة للكائنات الحية والتي تمثلها الخلية النباتية التي نحن في صدد دراستها فنج ان اهم تلك الصفات هي :

١. الحركة
٢. التكاثر
٣. النمو
٤. التمثيل الغذائي
٥. الحساسية
٦. التنظيم والتصغير

هناك نوعين مميزين من الخلايا في الكائنات الحية النباتية سواء الدنيئة او الراقية :

خلايا راقية Eukaryotic cells	خلايا دنيئة Prokaryotic cells
تحتوى نواة	ليس لها نواة او غشاء نووي
تحتوى على ميتوكوندريا	ليس بها ميتوكوندريا
تحتوى على شبكة اندوبلازمية	ليس بها شبكة اندوبلازمية
تحتوى على بلاستيدات خضراء	ليس بها بلاستيدات والكلوروفيل حر بالسيتوبلازم
الريبوزومات ملتصقة بالشبكة الاندوبلازمية	الريبوزومات حرة في السيتوبلازم
بها عديد من الكروموسومات	بها عادة كروموسوم واحد
تنقسم انقساماً غير مباشراً	تنقسم انقساماً مباشراً عند التكاثر
بها اجسام جولجي apparatus Golgi	ليس بها اجسام جولجي

أجزاء النبات

مقدمة:

تقسم النباتات تبعاً لعمرها الفسيولوجي

أ - الحوليات: Annuals

وهي نباتات تستمر في الحياة لمدة حول أي عام أو أقل وفيه يكون النبات بمجموع خضري ثم تنتهي حياة النباتات الوصول إلى مرحلة الاثمار.

ب - نباتات ذات حولين: Biennials

وتستمر هذه النباتات لمدة حولين أو عامين ففي العام الأول تزرع البذور وتعطى نمو خضري وفي العام التالي تستكمل النباتات دورة حياتها وتعطى نمواً خضرياً ونمواً إنتاجياً وتنتهي حياتها بعد ذلك ومثال ذلك البصل وبجر السكر.

ج - نباتات معمرة: Perennials

وتشمل النباتات التي يمكنها أن تعيش أكثر من سنتين وتنقسم إلى قسمين:

(١) نباتات عشبية معمرة: Herbaceous perennials

وهي النباتات التي تعيش أكثر من سنتين وسيقانها غضة غير متخشبة طرية وتعطى سنوياً نمواً خضرياً وإنتاجياً وتموت أجزاؤها الخضرية أو الهوائية وذلك بسبب عدم ملائمة البيئة أو الظروف الطارئة الشديدة مثل ارتفاع درجة الحرارة أو سقوط الصقيع أو الجفاف. وغالباً ما يكون لهذه النباتات أنسجة مدفونة تحت سطح الأرض تحتوى على مواد غذائية مخزنة ومثال ذلك نبات الاسبرجس والبرباب.

(٢) نباتات خشبية معمرة: Wool Perennials

وغالبية هذا القسم لا تنتهي حياة النباتات بالاثمار بل يتجدد إثمارها سنوياً وهي النباتات التي تعيش أكثر من سنتين وسيقانها صلبة غير غضة مثل الأشجار والشجيرات والمتسلقات.

الأشجار Tress ولها ساق رئيسي مستديم غالباً ما يكون مستقيماً يحمل باقى المجموع الخضرى وكذلك الثمار.

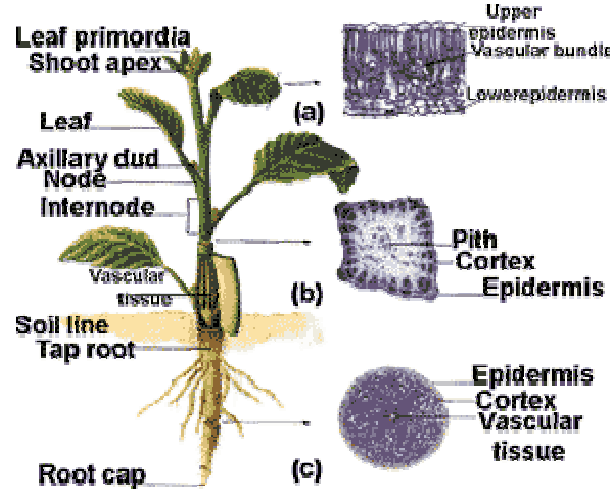
الشجيرات Shrubs وهي أصغر حجماً من الأشجار وقد يكون لها ساق واحدة أو عدة سوق متصلبة.

المتسلقات Vines وتتميز بأن سوقها متصلبة ويمكنها أن تتسلق الأشجار والمبانى والأسلاك وإذا لم يوجد دعامة تساعد على التسلق فإنها تزحف على الأرض وذلك لعدم مقدرة الساق على النمو في اتجاه مستقيم رأسى.

وتوجد نباتات في هذه الأقسام متدرجة في صفاتها بين كل قسم والقسم الذى يليه وقد يتبع بعض النباتات أحد الأقسام في بعض أطوار نموها على حين أنها تنتمى إلى أقسام أخرى في أطوار ثانية من حياتها.

ويوجد قسم ثالث وهو قسم نباتات معراة البذور وذلك في حالة اعتبار أشجار صنوبر ضمن نباتات ذات القيمة الاقتصادية . ومثل ذلك صنوبر تورينا *Pinus torreyana* وصنوبر بينين *Pinus pinaster* و *Cembra* وكلاهما من نباتات معراة البذور. ويوجد العديد من النباتات تحت هذه الأقسام يؤدى

أحياناً إلى الخلط في صفاتها التشريحية.



تركيب أجزاء النبات

المختلفة من الضروري معرفتها لفهم طبائع النمو الخضرى والشرى وكذلك طرق إكثارها وتختلف النباتات طبقاً لطبيعة نموها وصفاتها التشريحية إلى الأجزاء الآتية:

المجموع الهوائى
التلقيح وإخصاب وتكوين الثمرة

المجموع الجذرى
الزهرة والبراعم الزهرية

المجموع الجذرى أو المجموع الأرضى وتقسم من حيث :
(أ) المنشأ:

١- جذور أصلية المنشأ وهى الجذور التى تنشئ أصلاً من جذير البذرة وتوجد هذه فى النباتات المنزرعة بواسطة البذور أو المزروعة على أصول بذرية ولهذه النباتات جذر رئيسى وجذور جانبية وجذور ليفية.

٢- جذور أصلية المنشأ وهى الجذور التى تنشئ أصلاً من جذير البذرة وتوجد هذه فى النباتات المنزرعة بواسطة البذور أو المزروعة على أصول بذرية ولهذه النباتات جذر رئيسى وجذور جانبية وجذور ليفية.



ب - تسمية الجذور :

تسمى الجذور التي يبلغ قطرها أكثر من بوصة بالجذور الخشبية الرئيسية والجذور التي يقل قطرها عن بوصة تسمى بالجذور الشعرية والجذور التي تنحصر بين بوصة تسمى بالجذور الثانوية الخشبية.

ج- توزيع الجذور بالتربة:

(١) جذور تنتشر أفقياً وهي الجذور الموازية لسطح التربة وتنتشر عادة أفقياً في طبقة تحت التربة في حدود ٤٠ : ٥٠ سم.

(٢) جذور متعمقة وهي تتعمق الى أسفل في التربة وقد تصل إلى عدة أمتار على حسب مستوى الماء الأرضي ووظيفتها تثبيت النبات في التربة والامتصاص أيضاً.

د- تحورات الجذور :

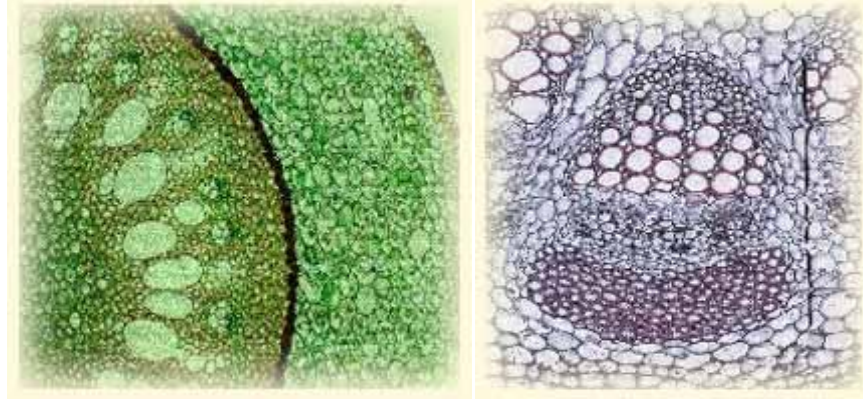
توجد عدة تحورات في الجذور مثل الجذور الهوائية كما في بعض نباتات الفيكس ووظيفتها تثبيت النبات أو امتصاص الرطوبة من الهواء. والجذور المتسلقة كما في نباتات حبل المساكين التي تساعد على التسلق والجذور المخترنة كما في الجزر واللفت



وتتميز الجذور عن

السوق من الناحية التشريحية بوجود القلنسوة التي تغلف قمة الجذر والوضع المتبادل قطريا بمجاميع الخشب واللحاء ووجود الخشب الأول للخارج عكس الساق حيث أن الأول للداخل ويختلف تركيب الجذور ذات الفلقة الواحدة بوجود مجاميع خشب الخشب

حوالى من ١٥ : ٢٠ حزمة فى حين أن مجاميع الخشب تكون قليلة فى ذات عديدة عددها الحزمة أو رباعيتها أو ثلاثية الحزم ويكون اللحاء فى الجذور ذات الفلقة الفلقتين ثنائية أنابيب غربالية وخلايا مرافقة أى لا يوجد براشيمة اللحاء بينما توجد هذه الواحدة من البرشيمية فى جذور ذات الفلقتين كما أن القشرة تكون أكبر نسبياً من ذوات الخلايا السمك ولكنها تبقى لمدة طويلة حيث تتميز هذه الجذور بعدم نموها فى الفلقتين



المجموع الهوائي أو المجموع الخضرى :

وهى أجزاء النبات الموجودة فوق سطح التربة وتتكون نباتياً من المجموع الخضرى. ويشمل الساق والأفرع والبراعم والأوراق بالإضافة إلى الأزهار والثمار .

١- الساق : The Stem

وتختلف الساق عن الجذر فى وجود العقد وهى الأماكن التى تظهر فيها البراعم سواء كانت ورقية أو زهرية والمسافة بين كل عقدتين تسمى سلامية وتمتاز سوق نباتات الفاكهة (ذات الفلقتين) بأنها صلبة وتزداد فى السمك بتقدم العمر ولايصبح لونها أخضر والنباتات التى تتميز بهذه السوق قد تكون أشجار Trees إذا كانت كبيرة الحجم ويوجد بقاعدتها ساق رئيسية واحدة وتعرف فى هذه الحالة بالجذع Trunk أو تكون شجيرات Shrubs وتصغر عن السابقة فى الحجم وقد يوجد عند قاعدتها ساق واحدة أو عدة سيقان ومتساوية تقريباً فى السمك. ويختلف تركيب ساق نبات الفلقة الواحدة عن ذات الفلقتين فى خلوه من الكامبيوم وينتج عن ذلك أن ساق النخلة (جذوعها) يكون اسطوانيا ولايزيد فى السمك بمرور السنين ولكن يزداد طولها وذلك بواسطة البرعم الطرفى الوحيد (الجمارة) وهو عبارة عن مجموعة من الخلايا المرستيمية الموجودة فى قمة ساق النخلة ويبلغ نموها فى السنة حوالى ١٢-١٨ بوصة وتنمو الأوراق (الجريد) من مجموعة الخلايا المرستيمية الموجودة فى قاعدة البرعم الطرفى ويلاحظ أن ساق النخيل لا تتفرع ولكن يحدث فى الدوم. حيث تنقسم القمة النامية أو البرعم الطرفى الى قسمين ثم يتكرر ذلك على فترات معينة (كل ٤ سنوات) وتعرف هذه الطريقة بالتفرع القمى Apical branching أو التفرع الثنائى الشعبة. وتتحوّل الساق فى نبات الموز (ذات الفلقة الواحدة) الى قلنسية التى تسمى نباتيا بالكورمة وهى موجودة تحت سطح الأرض وتحتوى على مواد غذائية تساعد على تكوين باقى أعضاء النبات وكذلك تفيد فى تكوين الخلفات التى تنمو من براعم على هذه القلنسية وتعتبر ساق نبات الموز الموجودة فوق سطح الأرض وعلى شكل اسطوانة ساق كاذبة عبارة عن التفاف قواعد الأوراق وذلك لى تحمى بداخلها الأوراق الحديثة والعنقود الزهرى وعلى ذلك يعتبر نبات الموز من أكبر النباتات الأرضية التى ليس لها ساق خشبية فوق سطح التربة وعلى ذلك اختلفت تقسيمات الفاكهة المختلفة فى وضع نبات الموز بالنسبة للتقسيم سواء وضعه مع الأشجار أو الشجيرات أو الأعشاب المعمرة أو النباتات الحولية ونبات الموز لايشتر إلا مرة واحدة يعطى فيها سوباطة واحدة يعقبها موت المجموع الخضرى. لذلك يحبذ بعض العلماء وضعه تحت الأعشاب المعمرة Perennials والتى لها فترة طويلة من النمو الخضرى يليها فترة قصيرة من النمو الثمرى وبعدها موت النبات.

وتوجد عدة تحورات في سيقان النباتات، أهمها السوق المتورقة أو السوق المخزنة الموجودة في التين الشوكي حيث تظهر السوق على هيئة ألواح مبسطة وتوجد على تلك الألواح العقد على هيئة انتفاخات أو وسائد مرتبة في نظام حلزوني يظهر على هيئة صفوف طويلة مائلة متصلة وتحمل هذه الانتفاخات أوراق جلدية سريعة التساقط يخرج من اباطها أشواك تعتبر أوراق متحورة وقد تتحول الساق الى أشواك كما في بعض أصناف الموالح أو تتحول إلى محاليق كما في العنب لتساعده على التسلق وتعتبر أمكنة لتخزين الغذاء كما في الموز (كورقة الموز) أو الساق المتشحمة في التين الشوكي وقد توجد السوق تحت سطح الأرض كما في الكورمات (الموز) والدرنات (البطاطس) والابصال والريزومات كما تشير الى منطقة الالتحام بين الأصل والطعم أسفل الجذع وذلك بالقرب من سطح الأرض. ويمكن مشاهدة مدى التفاوت بين سمك كل منهما وتنمو الساق رأسية لأعلى مستقيمة وتتفرع الى عدة أفرع وتسمى الأفرع التي تشكل أو تكون الهيكل الأساسي للشجرة بالأفرع الرئيسية Branches Main وهي التي تحمل عليها النموات المختلفة.

٢- النموات الحديثة: Shoots

وهي نموات جديدة أو أفرع حديثة تحمل الأوراق الجديدة وهي نموات عمرها أقل من سنة وقد يطلق عليها (أفرخ وفردا فرخ).

٣- نموات مسنة: Twigs

وهي عبارة عن النموات الحديثة بعد تقدمها في العمر أي هي نموات عمرها أكثر من سنة وقد يطلق عليها (علوج) وتعتبر النموات الحديثة نموات مسنة في الأشجار المتساقطة الأوراق عند نهاية موسم تساقط الأوراق أما في الأشجار المستديمة الخضرة فتعتبر النموات الحديثة نموات مسنة عندما تحمل ثماراً.

ويقوم الساق والأفرع بانتاج وحمل الأوراق والأزهار والثمار كما تقوم بتوصيل العصارة الممتصة النينة من المجموع الجذري الى أماكن البناء بالأوراق وتقوم أيضاً بتوصيل الأغذية المجهزة من الأوراق الى أنسجة النبات المختلفة وكذلك إلى الجذور كما يجرى تخزين المواد الغذائية بأنسجتها لحين الاحتياج إليها وأهم هذه المواد هي النشا والسكريوز ونسبة قليلة من البروتينات والدهون التانيات... الخ وعلاوة على ماسبق تقوم بدور هام في عملية التكاثر الخضري في أشجار الفاكهة وذلك بواسطة العقل الساقية Stem cuttings وتسمى هذه العقل في حالة أخذها من نموات حديثة Soft or green Cuttings وفي حالة أخذها من نموات مسنة Hard Wood Cutting.

٤- الأفراخ المائية: Water Sprouts

وهي عبارة عن نموات جانبية تأخذ وضعها رأسياً نتيجة قوة وسرعة استطالتها وهي تخرج من براعم ساكنة أو عرضية موجودة على الأفرع الرئيسية أو في المنطقة العليا بالجذع ويكثر وجودها في الليمون الأضاليا والليمون الحلو وعادة تظهر عند إجراء تقليم للأشجار أو إضافة كميات كبيرة من الأسمدة.

٥- السرطانات: Suckers

وهي عبارة عن نموات خضرية حديثة (أفرخ) تنمو من براعم عرضية على جذع النبات وبالقرب من سطح الأرض، وفي الأشجار المطعومة قد تظهر السرطانات أسفل منطقة التطعيم أو بالقرب من منطقة جذور وفي بعض الأحيان قد تخرج هذه السرطانات جذوراً من أسفل مع بقائها ملتصقة بالأم وفي هذه الحالة تسمى بالخف وتستخدم السرطانات في التكاثر الخضري وذلك بازالتها مع قطعة من ساق الأصل (الأم) ويسمى هذه الجزء بالكعب.

٦- الدواير الثمرية: Frutting spurs

وهي عبارة عن أفرع أو نموات قصيرة تنمو عمودية تقريباً على الأفرع طولها حوالي ١ إلى ٧ سم

وقد تظل دائما قزمية وهي متخصصة في حمل الأزهار والثمار في بعض أنواع الفاكهة ولقصر هذه النموات تكون عقدها كبيرة متقاربة وسلامياتها قصيرة جداً وقد تكون هذه النموات حديثة أو نموات مسنة وأثناء موسم النمو تحمل أحياناً في قممتها مجموعة من الأوراق وعلى الجانبين تحمل الثمار ومثال ذلك الدائرة الثمرية في البرقوق وعلى ذلك تكون هذه الثمرات أو الفرع ذات تفرع صادق في المحور وقد تنتهي الدائرة الثمرية ببرعم زهري كما في التفاح والكمثرى وعلى ذلك يكون تفرعها كاذب المحور. ويلاحظ هذه التعبيرات تتغير في نبات العنب.

أ - الساق الأصلية: ويطلق على جزء العقلة الذي يظهر فوق سطح الأرض بعد زراعتها وتكون الساق الرئيسية هي التي تحمل الأذرع والفروع الثمرية.

ب- الأذرع Arms: وهي الأفرع الرئيسية ويكون عمرها أكثر من سنتين.

ج- القصبات Canes: وهي أفرع أو نموات العام السابق وقد تحمل على الأفرع الرئيسية وتحمل القصبات أزهار أو عيون والفرق بين الزر والعين هو أن الأخير عبارة عن ذر مركب يتكون من ثلاثة براعم ويسمى البرعم أو الزر الأصلي والزرين الجانبين بالزرين الثانويين وفي العادة الزرين الجانبيين لا يعطيان أفرع تحمل ثماراً بينما الزر الأصلي يعطي غالباً فرعاً يحمل ثماراً.

د - الأفرع الحديثة أو الأفرخ Shoots: وهي عبارة عن نموات حديثة غضة عمرها أقل من سنة وهي التي تتكون منها القصبات بعد سقوط أوراقها في العام التالي.

هـ- الدائرة Spur: وهي ترمز إلى القصبية بعد تقصيرها إلى الجزء القاعدي الذي يحمل عدداً قليلاً من العيون وتنقسم الدائرة إلى:

- دابرة ثمرية: وهي عبارة عن قصبية مقصرة تحمل عدداً من العيون التي تخصص لحمل الثمار.
- دابرة تجديرية وهي عبارة عن قصبية مقصرة تحمل عينين وتترك الدوابر التجديرية للحصول على قصبات للعام القادم.
- دابرة استبدالية وهي عبارة عن دابرة قصيرة تحمل عينين.

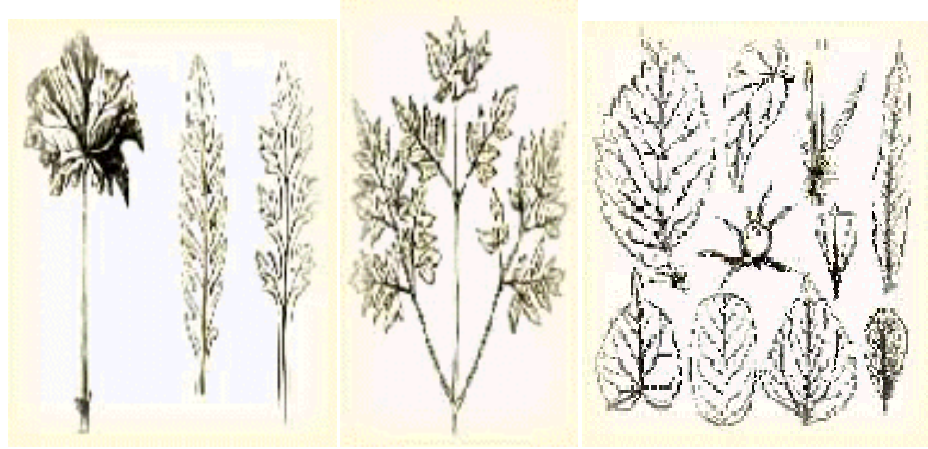
٧- الأوراق: Leaves

وهي إحدى الأعضاء الهامة في النبات وتستخدم في تكوين الغذاء عن طريق عملية التمثيل الضوئي. كما تستخدم في التنفس والنتح اللذان يساعدان في إيجاد قوة شد هائلة داخل الأوعية الناقلة للحاء في النبات وتسبب في معظم الأحيان دخول كميات كبيرة من الماء من التربة إلى الشعيرات الجذرية كما تساعد على خفض حرارة الجو حول النباتات نتيجة لعملية النتح وتقلل من إصابة الثمار بلفحة الشمس نتيجة تضليلها ولو أنه في بعض الأحيان يقل تلوين الثمار نتيجة لقلّة الضوء المار إليها وتختلف عمر الأوراق تبعاً لنوعها فيتراوح عمر الورقة في أشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق أقل من سنة حيث تسقط أوراقها دفعة واحدة مرة كل سنة. بينما تبقى الأوراق على الأشجار المستديمة الخضرة لمدة تمتد من سنة إلى خمس سنوات وهي لاتسقط أوراقها في وقت واحد بل تدريجياً على فترات. وتحتوي الورقة الكاملة على:

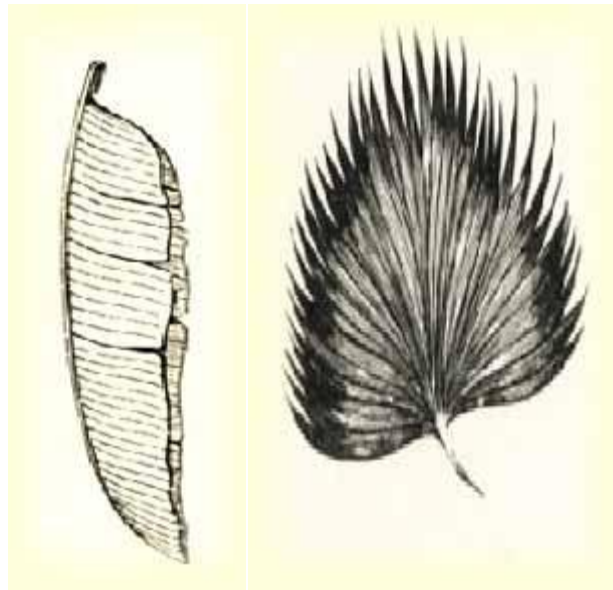
أ) عنق الورقة Petiol: وهو الذي يحمل النصل بعيداً عن الساق وقد يتورق العنق فيصبح مجنحاً كما في الموالح وخاصة الليمون الهندي والنانرج.

ب) النصل Blade: وهو الجزء الأساسي من الورقة ويظهر عادة منبسطة أخضر اللون والسطح العلوي للورقة يصبح أدكن لوناً مقارناً بالسطح السفلي وقد توجد شعيرات أو زغب يغطي السطح السفلي وتوجد أشكال كثيرة للنصل وتتوقف على شكل قمة النصل أو قاعدته وحافته وتعريقه وإذا كان نصل الورقة قطعة واحدة أو مفصلاً بحيث لا تنفصل عن بعضها أو عن العرق الوسطى للورقة فتعتبر

الورقة بسيطة وإذا تكون النصل من عدة وريقات منفصلة سميت الورقة مركبة ويمكن التفريق بين الوريقات عن الورقة العادية بعدم وجود براعم في ابطها وبوجودها في مستوى واحد تعتبر ورقة البكان مثال للورقة المركبة.



ويلاحظ أن الجهاز الوعائي Vascular system في الورقة يكون شبكة دقيقة متفرعة من العروق ويختلف هذا التفرع في ذات الفلقتين عن نباتات ذات الفلقة الواحدة. ففي الأولى يكون التعريق شبكي وفي الثانية يكون التعريق متوازي عرضي كما في الموز.





وقد تتحور الأوراق إلى:

- **أوراق حرشفية Scale Leaves :** وهى عبارة عن أوراق صغيرة صلبة سميكة قرنية القوام وظيفتها وقاية البراعم فى فصل الشتاء.
- **القنابة Bracts :** وهى ورقة يخرج من ابطها زهرة أو مجموعة من الأزهار وقد تكون القنابة ملونة فتساعد على جذب الأنظار للأزهار وقد تكون القنابة متشحمة كما فى الخرشوف.
- **الأوراق المحلاقية Tensrils :** وقد تتحور الورقة جميعها الى محلاق أو أجزاء منها بغرض التسلق.
- **الأشواك Thorns :** ويرجع ظهور الأشواك على النباتات اما لتحور حدث فى الساق أو الأوراق أو أجزائها وقد يكون الغرض من ذلك التحوير هو حماية النبات نفسه من الحيوانات الضارة أو لتقليل النتج. وفيما يلى أمثلة لتحورات الأشواك :
- (أ) **تحور الأفرع الى أشواك:** مثل ما يحدث فى الرمان من تحور الأفرع الاسطوانية المرنة الى أشواك قصيرة تعتبر نتيجة لتحوير الأوراق القاعدية للبرعم الابطى.
- (ب) **تحور الأوراق الى أشواك:** وقد يحدث هذا التحور فى الورقة الكاملة كما فى الأشواك الكبيرة للتين الشوكى أو يحدث التحور لبعض الوريقات فى الورقة المركبة كما فى نخيل البلح (ذات فُلقة واحدة) أو تتحور الاذانات الى أشواك صغيرة توجد على جانبى قواعد الأوراق كما فى العنب. أو قد تتحور الورقة إلى أشواك رفيعة فتكون حافتها شوكية مثل بعض أصناف الاناناس ولو أنه توجد بعض الأصناف أوراقها عديمة الأشواك ملساء.

٨- البراعم Buds:

البراعم هى مبادئ تكوين نموات خضرية أو زهرية أو هى نموات خضرية أو زهرية فى حالة نشأته. وتنقسم إلى:

- (١) **براعم خضرية أو براعم ورقية buds Leaf :** وتحتوى على مبادئ تكوين نموات خضرية فقط

وهى عبارة عن أفرع فى حالة بدائية عليها مبادئ أوراق فى اباط مبادئ البراعم.

(٢) **براعم زهرية أو مثمرة Simple Flower buds**: وهى البراعم التى تتكون من الأزهار وتنقسم:

(أ) براعم زهرية بسيطة **buds Simple flower**: تحتوى على مبادئ تكوين أزهار فقط وينتج عن تفتحها أزهار فقط سواء زهرة واحدة أو أكثر (نورة) كما فى الخوخ والبرقوق واللوز والمشمش واليكان.

(ب) براعم زهرية مختلطة **buds Mixed flower**: تحتوى على مبادئ تكوين أزهار وأوراق معا وينتج عن تفتحها نمو خضرى يحمل أوراق وأزهار وقد يكون وضع الأزهار طرفى أو جانبى عليه ومن أمثلتها الكمثرى والسفرجل والتفاح هذا ولايسهل تمييز البراعم الزهرية عن الخضرية فى الأشجار المستديمة أو المتساقطة الأوراق (ماعدًا) العنب فيسهل التمييز بكبر البرعم الزهرى نسبياً وقمته المنتفخة بينما البرعم الخضرى حجمه أصغر وقمته مدببة.

(ج) براعم مركبة **buds Compound**: والمثل لها العين فى حالة العنب المتكونة من ثلاثة براعم كما ذكرنا. وقد تنقسم البراعم حسب موضعها كما يلى:-

(١) **البرعم الطرفى أو القمى Terminal of apical buds**: ويوجد فى قمة السوق أو الأفرع.

(٢) **البرعم الابطى أو الجانبى Axillary or lateral buds**: وهى الذى يوجد على جانب الساق أو الفرع ويخرج من أباط الأوراق فى أماكن العقد وقد يوجد أكثر من برعم فى ابط الورقة وتعرف باسم البراعم الاضافية **Accessory buds**. وتكون أصغر حجماً وأقل عمراً من البراعم الابطى وقد تسمى هذه البراعم بالبراعم الثانوية ويطلق اسم البرعم الرئيسى على البرعم الابطى الأول.

(٣) **البرعم العرضى Adventitious buds**: وتظهر هذه البراعم فى أى مكان بالنبات ماعدا القمة النامية للساق أو الأفرع وكذلك أباط الأوراق ويتكون أيضاً أسفل السطوح المقطوعة من الأفرع أو على السلاميات أو أنصال الأوراق وكذلك على الجذور وأحياناً من كالوس الجروح.

الزهرة والعلاقة بين طبيعة النمو وموضع البراعم الزهرية :

ترتبط طبيعة نمو الأشجار الى حد ما بطريقة حملها للثمار والأزهار فيكون النمو عادة محدوداً بصفة عامة فى الأنواع التى تحمل فيها البراعم الزهرية طرفياً على الأفرع. إذ يبدو أن الحمل الطرفى يشجع التفريغ الجانبى من الجزء القاعدى للأفرع أكثر منه بجوار الأشجار أو العناقيد الزهرية وبذلك تصبح الأشجار مزدحمة ونموها محدود عنه فى الأشجار التى تحمل فيها البراعم الزهرية جانبياً كما تكون طبيعة النمو فى الأشجار التى تحمل فيها البراعم الزهرية على أفرع قصيرة أو دوابر سواء طرفياً كالنفاح أو جانبياً كالكريز أكثر ازدحاماً عنها فى الشجار التى تحمل فيها البراعم الزهرية جانبياً على أفرع طويلة كالخوخ والعنب مثلاً، كما يقل فيها أيضاً ظهور مشكلة امتداد السطح الحامل للثمار عن قلب الشجرة وتؤدى حالة وجود البراعم الزهرية جانبياً على أفرع طويلة الى وجود تباين فى طبيعة النمو بصفة عامة حيث يتوقف ذلك على وجود هذه البراعم على الجزء القاعدى أو الوسطى أو الطرفى من الأفرع لذلك يلجأ المزارع الى التقليم القصير أو المتوسط أو الطويل تبعاً للحالة الموجودة فى الصنف وهذه الحالة يجب معرفتها بالنسبة لأصناف العنب المختلفة كما سيأتى ذكره فى باب التقليم:

وقد قام جارنتور بتقسيم النباتات إلى ست أقسام رئيسية بالنسبة لأماكن وأنواع تلك البراعم الزهرية:

براعم زهرية طرفية وبراعم زهرية جانبية بسيطة تحتوى على أجزاء زهرية فقط.

البرعم الزهرى طرفى يحتوى على أجزاء زهرية فقط وتتفتح عن أزهار فقط مثل: المانجو- البشملة.

البراعم الزهرية جانبية تحتوى أجزاء زهرية فقط وتتفتح عن أزهار فقط مثل: الخوخ، المشمش، اللوز، البرقوق، الموالح، البكان (النورات المذكرة) الجوز (النورات المذكرة)، جوز الهند. مختلطة والشمرخ الزهرى جانبى

البراعم الزهرية طرفية وتتفتح عن نمو خضرى يحمل الأزهار أو العناقيد الزهرية جانبياً فى أباط أوراق مثل: الجوافة، والزيتون جزء من المحصول.

البراعم الزهرية جانبية تتفتح عن أفرع خضرية توجد فى أباط أوراقها الأزهار أو العناقيد الزهرية: الكاكي، والتوت، وأبو فروة، والتين، والزبدية، والزيتون (جزء من المحصول). مختلطة والشمرخ طرفى البراعم الزهرية طرفية وتتفتح عن نمو خضرى ينتهى طرفياً بالأزهار مثل: التفاح (معظم المحصول)، والكمثرى (معظم المحصول)، والسفرجل (النورات المؤنثة)، والبكان (النورات المؤنثة).

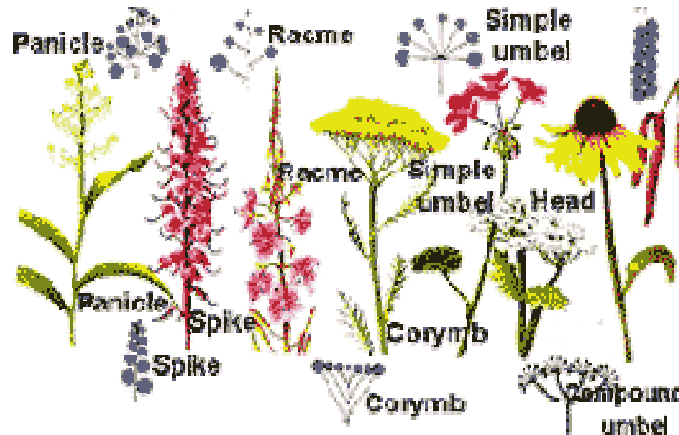
البراعم الزهرية جانبية تتفتح عن أفرع خضرية تحمل الأزهار طرفياً عليها مثل: العنب والبلوبرى والراسبرى، والفشطة، والتفاح (أحياناً)، والكمثرى (أحياناً)، والبندق.

موعد بدء تمييز البراعم فى أنواع الفاكهة المختلفة:

يختلف موعد بدء تمييز البراعم الزهرية باختلاف أنواع الاشجار. والفكرة السائدة أن البراعم الزهرية للفاكهة المتساقطة الأوراق تبدأ فى التمييز والتكوين فى الموسم السابق لموسم تفتحها أما الفاكهة المستديمة الخضرة فيبدأ تكوينها فى نفس موسم تفتحها إلا أن هذه القاعدة ليست ثابتة. فاللوز مثلاً فى أغسطس وإلى سبتمبر، والمانجو فى مارس، التفاح فى نصف يونية، المشمش فى أوائل أغسطس، الخوخ فى أواخر يوليو، الكمثرى فى يونيو ويوليو، البرقوق فى يوليو إلى أوائل أغسطس.

الزهرة: Flower

تختص الزهرة بحمل المحيطات الأساسية والغير أساسية الخاصة بالتكاثر الجنسى وإنتاج ثمار وبذور لحفظ النوع بعد ذلك، وتختلف الأزهار فى النباتات المختلفة من حيث الحجم مثلاً فتوجد أزهار كبيرة الحجم مثل زهرة الرمان والحمراء اللون التى تستخدم فى تزيين الحدائق أو الأزهار صغيرة الحجم مثل أزهار العنب والمانجو. وقد تختلف وجود الأعناق فتوجد أزهار ذات أعناق (معنقة) وأخرى بدون عنق (جالسة). وقد توجد الأزهار مفردة أو توجد الأزهار متجمعة على شمراخ وتعرف بالنورة



تختلف الأزهار من حيث إحتوائها على الأعضاء الجنسية فتوجد الأزهار الخنثى والأزهار المذكرة والأزهار المؤنثة مثل. وتتكون الزهرة من الآتى:

(١) المحيطات الغير أساسية:

أ - الكأس: Calyx

وهو المحور الخارجى للأزهار واحدى وريقاته تسمى سبلّة وهى عادة خضراء اللون تحمى أجزاء الزهرة قبل التفتح وقد تكون لحمية ثم تتخشّب كما فى الرمان.

وتتكون القشرة السمكية الجلدية للثمرة من الكأس الملتحم السبلات الذى ينمو بداخله المبيض.

ب- التويج: Corolla

وهو المحيط الذى يلى الكأس للداخل واحدى وريقاته تسمى بتلة وغالبا ما يكون ملونا لجذب الحشرات للمساعدة فى التلقيح.

(٢) المحيطات الأساسية وهى:

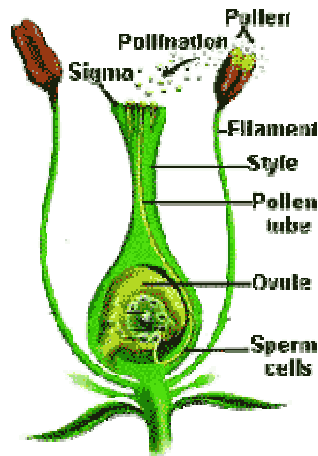
أ - الطلع: Androecium

ووحداته هى الأسدية Srament وتتكون السداة من خيط طويل يحمل المتك ويتكون غالباً من فصين بكل فص كيسين لقاحين يتكون بداخلها حبوب اللقاح.

ب- المتاع: Gynoccium

وهو المحيط الأخير فى الزهرة للداخل وتخصص أساساً لتكوين وحمل البويضات ووحداته تعرف بالكربلة وهى تتركب من المبيض.

وتتكون بداخله البويضات التى تنتج البذور ثم ينتهى المبيض بجسم اسطوانى رفيع يعرف بالقلم ويوجد فى قمته الميسم الذى يكون وبرياً أو أملس لزجاً لاقتناص حبوب اللقاح.

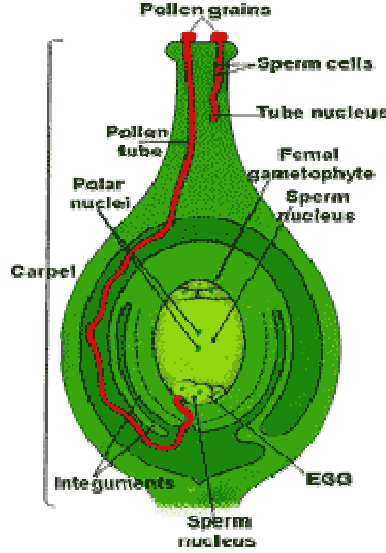


وتعتبر الزهرة كاملة Complete اذ توفر فيها كل من الكأس والتويج والطلع والمتاع ، وتعتبر ناقصة Incomplete إذا اختزل أحدهما أو أكثر فإذا نقص المتاع واحتوت الزهرة على الطلع فقط سميت زهرة مذكرة Staminate or male وإذا نقص الطلع واحتوت الزهرة على المتاع سميت الزهرة المؤنثة Pistillate of female وقد يختزل الكأس أو التويج أيضاً من الزهرة وعندما يوجد الطلع والمتاع معاً فى الزهرة تسمى خنثى أو ثنائية الجنس Bisexual or herma phrodite

والنبات الذى يحمل أزهار خنثى يسمى Herma phrodites أى نبات ثنائى الجنس يختلف فيهما ميعاد نضج أجزاء الزهرة الجنسية والنبات الذى يحمل الأزهار المذكرة منفصلة عن الأزهار المؤنثة يسمى نبات وحيد المنزل Monoecious والنبات الذى يحمل أزهار مذكرة على نبات منفصل والأزهار المؤنثة على نبات آخر سمي نبات ثنائى المسكن Dioecious مثل النخيل والباباظ .

التلقيح والاختصاب وتكوين الثمرة:

يتوقف تكوين الثمار والبذور على حدوث عمليتي التلقيح والاختصاب والتي هي عبارة عن اتحاد الجاميطات المذكرة Sperms والناتجة عن إنبات حبوب اللقاح بالجاميطات المؤنثة أو البويضات Eggs الموجودة في مبيض الزهرة. وحيث أن البويضات توجد دائماً داخل المبيض لذلك يجب أن تنتقل إليها الجاميطات المذكرة وتسمى عملية الانتقال هذه بعملية التلقيح.



أما عملية الاختصاب فتبدئ عندما تصل الأنبوبة اللقاحية الى نسيج البويضة وتدخل الأنبوبة اللقاحية الى فجوة المبيض حاملة الجاميطات المذكرة التي تندمج أو تتحد مع الجاميطات المؤنثة وعملية الاندماج هذه تعرف بالاختصاب والتي بواسطتها يتكون الجنين. ومن ذلك نرى أنه توجد مدة من الزمن من ابتداء إنبات حبة اللقاح واختراقها نسيج الميسم حتى عملية الاختصاب وهذه المدة تختلف طولاً في النباتات تبعاً لسرعة سير الأنبوبة اللقاحية أو بطئها فقد تبلغ يومين أو ثلاثة أيام أو أكثر في عدد كبير من النباتات وقد تمتد هذه المدة فتبلغ ١١ شهراً كما في بعض أنواع البلوط أو تصل إلى سنتين كما في الصنوبر .

وعادة يتم التلقيح أو انتقال حبوب اللقاح الى مياسم الكرابل بالملامسة وذلك عندما تكون المتوك والمياسم متجاورة الوضع وتنضج في وقت واحد أو بالجاذبية وذلك في حالة إرتفاع متوك الأسدية عن المياسم وقد يحدث التلقيح بفعل الرياح أو الحشرات أو المياه أو الطيور أو الانسان.

ويوجد نوعان من التلقيح النباتات وهما:

١- نباتات ذاتية التلقيح:

وأزهار هذه النباتات كاملة وتسقط حبوب لقاح الأزهار على مياسم نفس الزهرة بمجرد انتشارها من المتوك قبل أو بمجرد تفتح الزهرة كما يعتبر سقوط حبوب لقاح على زهرة أخرى من نفس الشجرة تلقيحاً ذاتياً أيضاً وأهم نباتات الفاكهة التي تتلقح ذاتياً هي الزيتون والجوافة والبشملة ومعظم أنواع وأصناف الموالح وكذلك الرمان والمشمش وبعض أصناف الخوخ والعنب والكريز

٢- نباتات خلطية التلقيح:

وتنتقل حبوب لقاح النبات الى مياسم ازهار نبات آخر ويحدث في الحالات الآتية:

(أ) **النباتات الثنائية المنزل:** أي تكون الأزهار المذكرة على نبات والأزهار المؤنثة على نبات آخر كما في حالة نخيل البلح أو الباباظ.

(ب) **انتاج حبوب لقاح غير حية:** وذلك كما يحدث في حالة صنف الخوخ Hale والذي لا يثمر إلا في وجود ملقحات لكي تعقد ثماره ومعظم أصناف الفاكهة ثلاثية التضاعف الكروموزومي مثل الليمون العجمي Limon Pears وهو عديم البذور ويرجع عدم تكوين البذور فيه لعقم حبوب اللقاح وتعقد

ثماره بكرياً.

(ج) اختلاف ميعد نضج أعضاء الزهرة الجنسية وتنقسم إلى قسمين:

* النباتات المبكرة الطلع وفيها تنضج حبوب اللقاح قبل استعداد المياسم لاستقبالها وتظهر هذه الحالة في بعض أصناف الجوز والبكان حيث أن نوراتها المذكرة تفتتح قبل النورات المؤنثة.

* النباتات المبكرة المتاع وفيها تنضج المياسم قبل نضج حبوب اللقاح كما في حالة القشدة.

(د) عدم الموافقة: وينتمي لهذا القسم مجموعتين من النباتات:

* نباتات عديمة التوافق ذاتيا: Incompatability Self وفي هذه الحالة لا يوجد توافق بين حبوب اللقاح وبين البويضات في نفس الصنف على الرغم من أن هذه الحبوب اللقاحية يمكنها إخصاب بويضات أزهار صنف آخر وتظهر هذه الحالة في معظم أصناف اللوز وكذلك في بعض أصناف التفاح والكمثرى والبرقوق.

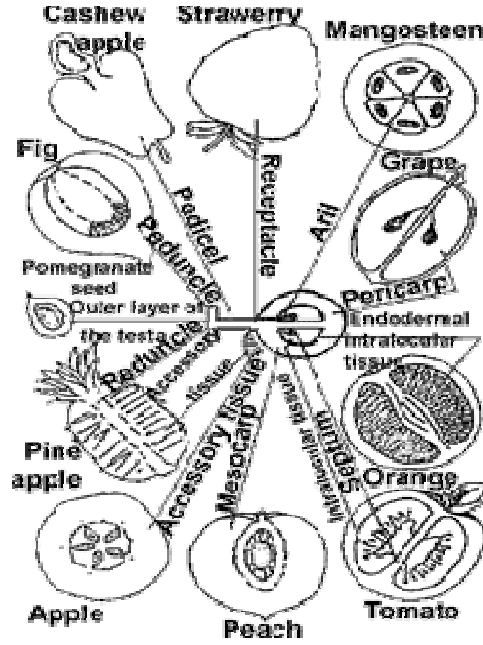
* نباتات عديمة التوافق خلطيا Incompatability Gross : وفي هذه الحالة لا يمكن لحبوب لقاح الصنف إخصاب بويضات الأزهار أو بويضات صنف أو اثنين معروفين ولكن هذه الحبوب اللقاحية يمكنها إخصاب بويضات أصناف أخرى يوجد بينها توافق وعادة تفشل حبوب اللقاح في إخصاب البويضات السالفة الذكر لوقوف نمو انبوبة اللقاح وفشلها في اختراق أغلفة البويضة أو لوجود بعض العوامل الوراثية الخاصة بعدم التوافق.

تكوين البذور والثمار:

بعد تكوين الجنين وتكوين غذائه المدخر تنمو البويضة بتأثير الإخصاب وتتكون منها البذرة كما تتكون الأغلفة البذرية على اختلاف أنواعها من أغشية البويضة وقد يبقى الاندوسبرم في البذور بعد تكوينها كما في حالة البلح أو يتلاشى كما في حالة الموالح.

ولا يقتصر النتيجة الحاصلة من الإخصاب على تكوين البذرة من البويضة بل يسرى تأثير الإخصاب وينبه كل أجزاء المبيض الذي عندما يتم نضج جميع البذور بداخله تتكون منه ثمرة النبات ويتكون من جداره الغلاف الثمري Pericarp إذ تنشأ الثمرة من مبيض الزهرة غالباً بعد إتمام عملية الإخصاب والتي ينشأ من تأثيرها أحياناً نمو الغلاف الزهري أو التخت وبذلك قد يدخل بعض هذه الأجزاء في تركيب الثمرة وبعد حصول الإخصاب عادة يسقط التويج والطلع أو يذبلان وقد يسقط الكأس أحياناً ولكن المبيض يبقى في كل الأحوال وينمو نمواً كبيراً ليسمح للبذور الموجودة بسرعة النمو أما الميسم والقلم فيذبلان وقد يبقى لهما أثر بأعلى الثمرة ووظيفة الثمرة هي المحافظة على البذور ومدها بالغذاء حتى يتم نموها ومساعدتها على الانتشار.

العقد البكرى Parthenocarp



قد تنمو الثمرة من المبيض بدون إخصاب كما يحدث في البرتقال أبوسرة والموز والعنب البناتي والجوافة البناتي والليمون العجمي أو البناتي والماناس والثمار البكرية تكون عادة لابذرية أى عديمة البذور Seedless إلا أنه قد يتكون في بعضها أحياناً بعض البذور الناتجة عن نمو بويضات غير مخصبة ويطلق على حالة تكوين البذور من بويضات غير مخصبة اصطلاح Perthenogenesis كما يحدث في ثمار البرتقال أبوسرة ويجب أن ننوه هنا بأن الثمار البلابذرية ليس من الضروري أن تكون بكرية ولكن قد تحدث هذه الظاهرة نتيجة ضمور الجنين وتلاشى الأجنة بعد تكوينها بواسطة التلقيح والإخصاب مثل بعض أصناف العنب والكمثرى والتفاح.

وتنقسم الثمار البكرية عموماً إلى قسمين:

(١) ثمار بكرية خضرية: parthenocarp Vegetative

وهي عادة تسمى العقد البكرى الكامل Complete parthenocarp وفيها تنمو الأجزاء الزهرية التي ستتحول إلى ثمار بدون الحاجة إلى تأثير خارجي مثل التأثير الناتج من عملية التلقيح أو أى مؤثر آخر وتظهر هذه الحالة في الموز والكثير من أصناف الكاكي الياباني والبرتقال أبوسرة.

(٢) ثمار بكرية نتيجة تنشيط: parthenocarp Simulative

وقد تسمى بالعقد البكرى التنشيطي ويلزم لبدء تكوينها أن تحدث عملية التلقيح التي يترتب عليها تأثير منشط وكفى لدفع الأجزاء الزهرية الداخلة في تكوين الثمار إلى بدء نموها دون حاجة إلى إخصاب البويضات وقد يكون التأثير ناتجاً عن وجود بعض الحشرات في مبايض الأزهار كحالة التين البري حيث لا تتكون الثمار إلا إذا وجدت الحشرات في مبايض أزهارها وقد تتكون الثمار في بعض الحالات إذا رشّت بمستخلص حبوب اللقاح أو بإحدى المواد الهرمونية.

ثمار الفاكهة:

ويمكن تقسيمها بالنسبة إلى عدة اعتبارات:

أولاً: باعتبار تكوينها من المبيض وتنقسم في هذه الحالة إلى قسمين:

* ثمار صادقة: وتطلق على الثمار المتكونة من مبيض الزهرة وحده ولا يدخل في تركيبها التشريحي أى جزء من أجزاء الزهرة مثل ثمار الخوخ والبرقوق والمشمش والكريز ويكون الأكسوكارب فيها قشرة الثمرة الرقيقة ويكون بالميزوكارب لب الثمرة بينما يكون الاندوكارب النواة المتخشية الصلبة التى تحيط بالبذرة ومن هنا جاءت تسمية هذه الثمار بذات النوات الحجرية.

* ثمار كاذبة: وتطلق على الثمار التى تتكون من المبيض ويدخل أيضاً في تركيبها أى جزء آخر من أجزاء الزهرة.

١ - كالتخت مثلاً كما في الشليك فتوجد الكرابل مرصعة على التخت الشحمى المحدب.

٢ - يدخل في تركيب الثمرة أيضاً الأنبوية الزهرية المكونة من التحام قواعد السبلات والبيلات والاسدية كما في التفاح والكمثرى فتتكون ثمرة التفاح من خمسة كرابل ويتكون جدار المبيض في الثمرة من الميزوكارب والاكسوكارب اللحميين ويتكونان جزء من لب الثمرة بينما يكون الاندوكارب جلدى أو قرنى متصلب يحيط بالكرابل الموجودة بداخلها البذور ويحيط بهذه الأجزاء كلها طبقة خارجية لحمية والتي تكون معظم لب الثمرة وهى ناتجة من التحام قواعد السبلات والبيلات والاسدية ويعتقد بعض العلماء أنها نشأت من التخت.

ثانياً: باعتبار منشأها من زهرة واحدة أو أكثر:

فتكون ثمرة بسيطة إذا نتجت عن زهرة واحدة كما في المشمش أو ثمرة متجمعة Aggregate fruits كما في الشليك أو ثمرة مركبة Multiple إذا نشأت من نورة كما في التين والجميز.

ثالثاً: باعتبار الغلاف الثمرى وغالباً تقسم الثمار تبعاً لطبيعة غلافها وحالة انفتاحه إلى قسمين:

* ثمار جافة Fruits Dry مثل البندق Nut كما في الجوز والبكان والبندق.

* ثمار غضة طرية Fleshy مثل الحسلة Drupe كما في المشمش والوخ والبرقوق أو العنبه Fruits Berry كما في العنب والموز وتفاحية Pome كما في التفاح والكمثرى والسفرجل.

البذرة والإنبات

أنواع البذور	مكونات البذرة
إنبات البذرة	التكاثر البذري
سكون البذرة	مراحل الإنبات
أنواع السكون الثانوي للبذرة	أنواع السكون الأولي للبذرة
العوامل البيئية التي تؤثر على إنبات البذرة	المعاملات التي تؤدي إلى كسر سكون البذرة

مقدمة :

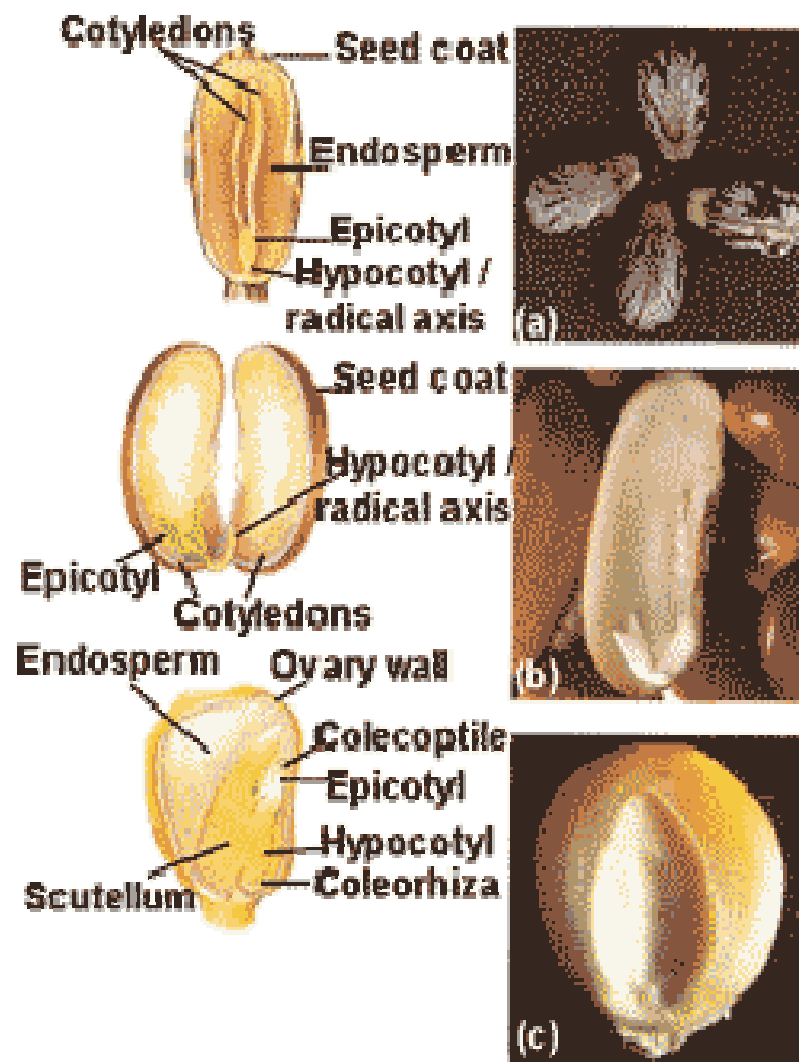
يبدأ تكوين البذرة بعد تمام عملية الإخصاب وبعد تكوين الزيجوت يبدأ نمو البذرة وتكوين أجزائها المختلفة ثم تبدأ في تخزين المواد الغذائية حتى اكتمال نموها. وإذا استمر تكوين البذور وتخزين المواد الغذائية بها دون عائق تكونت بذوراً ممتلئة.

تتكون البذرة من الأجزاء الآتية:

١- الجنين: يعتبر الجنين منشأ لنبات جديد ويتكون غالباً نتيجة لاتحاد الجاميطة المؤنثة المذكرة وقد تحتوى البذرة على أكثر من جنين واحد ويتركب الجنين من السويقة الجنينية السفلى، الفلقات، السويقة الجنينية العليا والريشة والجذير.

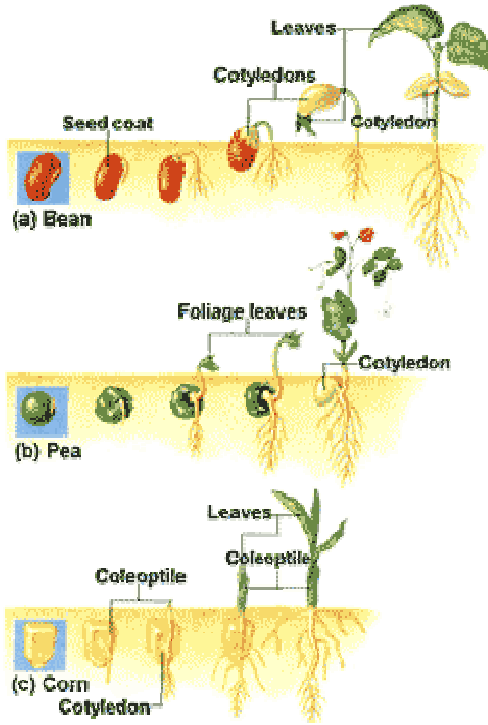
٢- الأنسجة المختزنة: تخزن البذور الغذاء اما في الفلقات أو في الاندوسبرم أو البرسبرم وتسمى البذور الاندوسبرمية albuminous أما الغير اندوسبرمية فتسمى exalbuminous وفي هذه الحالة يخزن الغذاء اما داخل الفلقات أو أحيانا في البرسبرم الذى ينشأ من النيوسيلة.

٣- الأغلفة البذرية: تتكون من أغلفة البذرة أو بقايا النيوسيلة والاندوسبرم ويتكون غلاف البذرة (القصرة testa) من أغلفة البويضة وهى تتكون من علاف أو اثنين عادة وغالبا ما يتصلب الغلاف الخارجى ويصبح ذو لون غامق فى حين يظل الغلاف الداخلى شفاف رقيق وتبقى النيوسيلة والاندوسبرم داخل الغلاف الداخلى مكونة فى بعض الحالات طبقة واضحة حول الجنين.



أنواع البذور:

تقسم البذور عادة إلى قسمين من ناحية التركيب التشريحي:



أ- بذور وحيدة الأجنة: وهي التي عندما تنمو تعطى نبات واحد.

ب- بذور عديدة الأجنة: وهي التي تعطى عند إنباتها عدة بادرات إحداها ناتجة من الجنين الجنسي أما النوات الباقية فتنبت خضرياً من نسيج النيوسيلة وتكون متشابهة وراثياً تماماً لأنسجة الأم لذا يمكن اعتبار هذه النباتات خضرية التكاثر ولو أنها ناتجة من البذور وتعتبر المانجو والموالح والكازمارو من أشهر الأمثلة لهذه البذور عديدة الأجنة.

التكاثر البذري :

هو إنتاج فرد أو نبات جديد طريق جنين البذرة الجنسي والناتج عن عمليتي التلقيح والإخصاب. وتستخدم البذرة كوسيلة إكثار أساسية . ولكن بالنسبة لأشجار الفاكهة فإنه قد لا ينصح باتباع التكاثر الجنسي حيث أن معظم أشجار الفاكهة خلطية التلقيح مما يعنى أنها خليط وراثي أي تختلف وراثياً فيما بينها، حيث أنه عند تكوين حبوب اللقاح والبويضات من خلال الانقسام الاختزالي يحدث الانعزالات الوراثية والعبور والكيازما ومن ثم تختلف الجاميطات الناتجة عن بعضها في التركيب الوراثي والذي يؤدي إلى إنتاج نسل يختلف كل فرد فيه عن الآخر، أو غير متماثلة .

إنبات البذرة germination Seed:

هو مقدرة البذرة على إعطاء بادرة واستئناف نمو الجنين بعد توقفه عن النمو أو سكونه مؤقتاً لحين تهيئ الظروف الملائمة للإنبات وتشمل عملية الإنبات عمليات طبيعية ، وكيميائية فسيولوجية حيوية .

العمليات الطبيعية للإنبات : تبدأ العمليات الطبيعية بامتصاص الماء Imbibition وهي عملية طبيعية تحدث سواء للبذور سواء كانت حية أم ميتة فتنفخ الخلايا ويصبح السيتوبلازم أكثر مائية Hydrated وتطرى أغشية البذرة وتصبح أكثر نفاذية للغازات وينتج عن التشرب انطلاق حرارة .

العمليات البيوكيميائية للإنبات : تشمل العمليات الكيميائية للإنبات التنفس وزيادة حجم الخلايا وتنشيط الأنزيمات وتكوين أنزيمات جديدة وهي التي تقوم بهضم الغذاء المخزون في مناطق تخزين الغذاء Stored food digestion بتحويل النشا إلى سكريات والليبيدات إلى الأحماض الدهنية والجلسرول والبروتينات إلى أحماض أمينية والفيتين إلى أيونات فوسفات وبذلك يسهل نقلها إلى المرستيمات .

يتطلب إنبات البذرة توافر ثلاثة عوامل رئيسية هامة وهى:

- * يجب أن تكون البذور حية ، بمعنى أن يكون الجنين حياً وله القدرة على الانبات.
- * عدم وجود البذرة فى حالة السكون وأن يكون الجنين قد مر بمجموعة تغيرات مابعد النضج، وليس هناك موانع كيميائية أو فسيولوجية تعيق عملية الانبات.
- * توافر الظروف البيئية الضرورية للانبات ومنها الماء ودرجة الحرارة والأكسجين وأحياناً الضوء.

مراحل الانبات stages of germination:

يمكن تقسيم عملية الانبات إلى عدة مراحل منفصلة، وذلك بغرض تفهم كل مرحلة منها على حدة، إلا أنها فى حقيقة الأمر مراحل متداخلة مع بعضها، وهذه المراحل هى:

أ- المرحلة الأولى (مرحلة امتصاص الماء): وفيها تقوم المواد الغروية فى البذور الجافة بامتصاص الماء مما يزيد من المحتوى الرطوبى للبذور، ويعقب ذلك إنتفاخ البذور وزيادة أحجامها وقد يصاحب هذا الانتفاخ تمزق أغلفة البذرة. وتجدر الملاحظة هنا أن عملية إمتصاص الماء وإنتفاخ البذرة يمكن أن تحدث حتى مع البذور الغير حية. وعقب إمتصاص الماء وإنتفاخ البذور يبدأ نشاط الأنزيمات التى تكونت أثناء تكوين الجنين، وكذلك تخليق بعض الأنزيمات الجديدة. كما تنشط بعض المركبات الكيميائية الخاصة بإنتاج الطاقة اللازمة لعملية الانبات مثل (ATP) أو الأدينوزين ثلاثى الفوسفات. وفى نهاية هذه المرحلة يمكن مشاهدة أولى مظاهر الانبات والتى تتمثل فى ظهور الجذير والذى يظهر كنتيجة لاستطالة الخلايا أكثر من كونه نتيجة للانقسام الخلوى. وعادة ما يظهر الجذير من البذور الغير ساكنة خلال عدة ساعات أو أيام من الزراعة وبظهوره تنتهى المرحلة الأولى.

ب- المرحلة الثانية (مرحلة هضم المواد الغذائية): ويحدث فى هذه المرحلة تحول المواد الغذائية المعقدة مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات المخزنة فى الأندوسبيرم أو الفلقات الى مواد بسيطة والتى تنتقل إلى نقط النمو الموجودة بمحور الجنين، والتى يسهل على الجنين تمثيلها.

ج- المرحلة الثالثة (مرحلة النمو): وفى هذه المرحلة يحدث نمو البادرة الصغيرة كنتيجة لإستمرار الإنقسام الخلوى الذى يحدث فى نقط النمو المختلفة والموجودة على محور الجنين. ويتقدم مراحل النمو تأخذ البادرة الشكل الخاص بها.

ويتكون الجنين من المحور الذى يحمل واحدة أو أكثر من الأوراق الفلقية، والجذير الذى يظهر من قاعدة محور الجنين، بينما تظهر الريشة من الناحية العلوية لمحور الجنين فوق الأوراق الفلقية. ويقسم ساق البادرة إلى السويقة الجنينية العليا والتى توجد أعلى الفلقات، والسويقة الجنينية السفلى التى توجد أسفل الفلقات.

ويأخذ إنبات البذور صورتين مختلفتين هما:

(أ) الإنبات الهوائى: وفيه تنمو السويقة الجنينية السفلى إلى أعلى، حاملة الفلقات لتظهر فوق سطح التربة، كما فى حالة إنبات بذور الكريز.

(ب) الإنبات الأرضى: وفى هذه الحالة تنمو السويقة الجنينية السفلى إلا أنها لا تتمدد بالقدر الذى يسمح برفع الفلقات فوق سطح التربة ولكن الذى يظهر فوق سطح التربة هى السويقة الجنينية العليا، كما هو الحال عند إنبات بذور الخوخ.

سكون البذرة Deormancy Seed :

لقد حبا الله البذرة القدرة على تأخير أو تأجيل إنباتها حتى يتهيأ لها الوقت الملائم والظروف البيئية المثلى، وذلك لضمان بقاء الأنواع النباتية جيلاً بعد آخر. هذه الميكانيكية خاصة بالنسبة للأنواع النباتية التي تتواجد بالمناطق الصحراوية أو المناطق الباردة، حيث تكون الظروف غير ملائمة لإنبات البذور عقب نضجها أو جمعها مباشرة. وقبل تناول هذا الموضوع يجب أن نفرق بين سكون البذرة الناتج عن عدم توافر الظروف الضرورية للإنبات وهذا ما يطلق عليه Quiescence وبين السكون الحقيقي true dormancy والذي يمكن تعريفه بأنه عدم قدرة البذور الحية على الانبات حتى مع توافر الظروف المثلى والملائمة لذلك، أي يرجع هذا النوع من السكون إلى عوامل داخلية خاصة بالبذرة نفسها. وهناك نوعين من السكون هما:

أ - السكون الأولي: Primary dormancy
وعادة ما يحدث هذا النوع من السكون بالبذرة أثناء نضجها على النبات.

ب- السكون الثانوي: Secondary dormancy
وهذا النوع من السكون يحدث للبذرة بعد جمعها وفصلها عن النبات الأم. ويحدث هذا السكون نتيجة لتأثير واحد أو أكثر من العوامل البيئية.

أولاً: السكون الأولي Promary dormancy

وهو أكثر أنواع السكون شيوعاً. ويحدث السكون الأولي نتيجة لعدد من العوامل الطبيعية والفسيولوجية، وهذه العوامل يمكن إجمالها فيما يلي:

١- السكون الراجع إلى أغلفة البذرة: Seed coat dormancy وفي هذه الحالة يقوم غلاف البذرة بالدور الهام في عدم إنباتها وقد يرجع ذلك إلى:

أ- السكون الطبيعي: dormancy Physical
ويتمثل في وجود غلاف البذرة الصلب والذي لايسمح بنفاذية الماء، والسكون هنا لايرجع إلى سكون الجنين، وهذه الظاهرة توجد في بذور كثير من العائلات النباتية مثل العائلة البقولية والعائلة النجيلية والبادنجانية وغيرها وكثير من النباتات الخشبية.

ب- السكون الميكانيكي: Mechanical dormancy
يتمثل في وجود الأغلفة الصلبة التي تمنع تمدد الجنين خلال عملية الانبات. ولاشك أن وجود هذا العامل يؤخر من إنبات البذرة. وتوجد هذه الحالة في كثير من الأنواع النباتية مثل الجوز والفواكه ذات النواة الحجرية (خوخ، مشمش.. الخ). ولقد لوحظ أن الغلاف الصلب (الأندوكارب) المحيط ببذور الخوخ يقتل من معدل إمتصاص الماء ومن ثم يؤخر من التخلص من المواد المثبطة للانبات والموجودة في أنسجة البذرة.

ج - السكون الكيميائي (المواد المثبطة للانبات): Chemical dormancy
ويرجع سكون البذرة في هذه الحالة إلى وجود مواد كيميائية يطلق عليها مثبطات الانبات توجد في أنسجة الثمرة وأغلفة البذرة. ولقد لوحظ أن عصير مثل هذه الثمار يثبط إنبات البذور بشدة. وتوجد هذه الظاهرة في كثير من الأنواع النباتية مثل الموالح (الحمضيات) والقرعيات، والثمار ذات النواة الحجرية والتفاح والكمثرى والعنب والطماطم. ومن أمثلة المواد المثبطة للانبات بعض المركبات الفينولية والكومارين Coumarin وحمض الأبسيسك abscisic acid. وتجدر ملاحظة أن هذه المواد المثبطة يمكن أن تتواجد بالقرب من أجنة بذور بعض الأنواع النباتية الأخرى مثل Atriplex والرجلة.

د- الأغلفة غير المنفذة للغازات

Impermeability of seed coats to gases:

على الرغم من أن الماء والأكسجين تتكون من جزيئات صغيرة، إلا أن أغلفة البذرة تتميز بوجود ظاهرة الاختيارية بالنسبة لنفاذية هذه الجزيئات من خلالها، فهي تسمح بمرور جزيئات الماء بينما تمنع مرور جزيئات الأكسجين الضروري لعملية الانبات. وظاهرة النفاذية الاختيارية توجد في بذور بعض النباتات مثل الشبيط والتفاح والبسلة. وتجدر ملاحظة أن انخفاض معدل نفاذية الأكسجين أو زيادته من خلال أغلفة البذرة يرتبط ببعض العوامل الأخرى. فقد لوحظ أن أغلفة بذور التفاح لم تسمح بنفاذ الأكسجين في حين حدث إمتصاص البذرة للماء وانتفاخها على درجة حرارة ٢٠ هـ، بينما يزداد معدل نفاذية الأغلفة للأكسجين عندما تكون درجة حرارة الوسط الذي تم فيه إمتصاص البذرة للماء ٤ هـ. كما أن هناك بعض البذور تختلف درجة نفاذيتها لغازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون. فقد وجد Brown 1940م أن الغلاف النيوسيلي الداخلي لبذرة الخيار يسمح بنفاذية أكبر لغاز ثاني أكسيد الكربون (١٥.٥ مل/سم^٢/ ساعة) عن غاز الأكسجين (٤.٣ مل/سم^٢/ ساعة).

٢- السكون المورفولوجي: Morphological dormancy

ويوجد هذا النوع من السكون في بعض العائلات النباتية التي تتصف ببذورها بعدم إكمال نمو الأجنة وقت جمع البذور، ومن ثم يلزم إكمال نمو هذه الأجنة عقب فصل البذور وجمعها وقبل الإنبات. وقد يرجع السكون في هذه الحالة إلى وجود الحالات التالية:

أ- الأجنة الأثرية:

الأجنة الأثرية عبارة عن أجنة غير متكشفة وقت نضج الثمار. فهناك بعض البذور تحتوى على أجنة غير متكشفة وعادة ما تكون هذه الأجنة صغيرة جداً ومطمورة بين الأنسجة المغذية كالاندوسبيرم كما هو الحال في بذور المانوليا *magnolia* وبذور كثير من الزهور وأبصال الزينة مثل الأنيمون *enemone* وشقائق النعمان *ranunculus* والأوركيد *orchids*. وبالإضافة لوجود الأجنة الأثرية فقد توجد أيضاً مواد مانعة للانبات في الأندوسبيرم المحيط بهذه الأجنة. ويمكن إجراء بعض المعاملات التي من شأنها أن تدفع الجنين على النمو مثل تعريض البذور لدرجة حرارة ١٥ هـ أو أقل، وتعريض البذور لدرجات حرارة مختلفة (مرتفعة أو منخفضة) في تتابع، أو معاملة البذور ببعض المواد الكيميائية مثل نترات البوتاسيوم أو حمض الجبريليك.

ب- الأجنة غير مكتملة النمو :

في بعض الحالات تحتوى البذور على أجنة غير مكتملة النمو بحيث نجد أن الجنين لا يشغل سوى نصف فراغ البذرة وذلك عند نضج الثمار ومن ثم لابد أن ينمو الجنين ليشغل هذا الفراغ قبل الإنبات. وتوجد هذه الحالة في بعض نباتات العائلة الخيمية *Umbelliferae* مثل الجزر وبعض نباتات العائلة *Ericaceae* مثل الأزاليا *rhodidendron*. وهناك عدد من الأنواع النباتية وخاصة وحيدة الفلقة منها والتي تنمو في المناطق الإستوائية توجد ببذورها مثل هذه الظاهرة. أى تحتوى ببذورها على أجنة غير مكتملة النمو، ويمكن المساعدة في إكمال نمو الجنين وتمددة وذلك بتعرض البذور لدرجات حرارة مرتفعة حتى يحدث الإنبات. فعلى سبيل المثال نجد أن بذور بعض الأنواع المختلفة من النخيل تحتاج إلى فترة طويلة قد تصل إلى عدة سنوات حتى يحدث بها الإنبات، ولكن يمكن إختصار هذه المدة إلى ثلاثة أشهر فقط وذلك بتعرض البذور لدرجة حرارة تتراوح ما بين ٣٨ - ٤٠ هـ، أو يمكن أن يحدث الإنبات خلال ٢٤ ساعة وذلك بفصل الأجنة وزراعتها على بيئات ملائمة. ويمكن معاملة البذور بحمض الجبريليك بتركيز ١٠٠٠ جزء في المليون وهذه المعاملة تسرع من إنبات بذور النخيل، غير أن أغلفة البذرة تحتاج إلى معاملات خاصة لضمان دخول وتغلغل حمض الجبريليك.

٣- السكون الفسيولوجي: Physiological dormancy

وهذا النوع من السكون يتحكم فيه عدة عوامل داخلية خاصة بأنسجة البذرة نفسها. فكثير من بذور النباتات العشبية التي تنمو بالمناطق المعتدلة تتميز ببذورها بالسكون الفسيولوجي الذي يكون واضحاً عقب جمع البذور والذي يختفى تدريجياً خلال نقل وتداول البذور وتخزينها تخزيناً جافاً. وقد تمتد فترة السكون في مثل هذه البذور من ١ - ٦ أشهر.

وعندما تكون البذور ساكنة فسيولوجياً فإنها تحتاج لكي تنبت إلى عدة عوامل بيئية خاصة تختلف عن تلك العوامل المطلوبة للإنبات في حالة عدم سكون البذرة. فبذور الأمرنتس الطازجة يمكنها أن تنبت فقط على درجات الحرارة المرتفعة (٣٠م) في حين أن بذور الخس يشبث إنباتها عند درجات حرارة أعلى من ٢٥م. كما أن بذور بعض الأنواع النباتية تحتاج إلى الضوء حتى تستطيع الإنبات مثل الخس، بينما بذور بعض الأنواع الأخرى تحتاج إلى فترات إظلام حتى يحدث الإنبات.

ويعتقد بأن السكون الفسيولوجي للبذرة وعلى وجه العموم ينظم بمدى التوازن بين كل من مثبطات ومنشطات النمو الداخلية. ويعزى السكون إلى وجود المواد المثبطة أو غياب المواد المنشطة للنمو، أو لمدى العلاقة بين الاثنين. ويتأثر مستوى هذه المواد سواء أكانت مثبطات أو منشطات بعدد من العوامل البيئية الخارجية مثل الضوء والحرارة. ولتوضيح العلاقة بين هذه المواد وكيفية تنظيمها لحدوث السكون من عدمه فقد اقترح Khan 1971م أن هناك ثلاثة أنواع من الهرمونات النباتية تتحكم في هذه الميكانيكية. النوع الأول وهو الجبريلين وله تأثير تنشيطي على الإنبات. ولكي يحدث الإنبات لابد من وجود الجبريلين، غير أنه في وجود المواد المثبطة (النوع الثاني) يختفى التأثير التنشيطي للجبريلين أما النوع الثالث من الهرمونات فهو السيتوكينين ويعمل على كسر السكون عن طريق منع المواد المثبطة من إظهار تأثيراتها، ومن ثم فإنه إذا وجدت المواد المثبطة في حالة غير منشطة فإن السيتوكينين لا يصبح له أي دور في كسر سكون البذرة حيث أن هذه هي وظيفة الجبريلين.

٤- سكون الجنين: dormancy Embryo

ويرجع سكون البذرة في هذه الحالة إلى أن الجنين نفسه في مرحلة سكون، والدليل على ذلك أنه إذا ما فصلت مثل هذه الأجنة لتنميتها على بيئات معقمة لا يمكن أن تنبت بحالة طبيعية. وهذه الظاهرة توجد في بذور العديد من أنواع نباتات المناطق المعتدلة. ويلزم لكسر هذا النوع من السكون وتحرير الأجنة منه، أن تعرض البذور لدرجة حرارة منخفضة ورطوبة لفترة معينة من الزمن تحدث خلالها عدة تغيرات تؤدي إلى الإنبات وهذه التغيرات يطلق عليها تغيرات بعد النضج. وتعرض البذور لدرجات حرارة منخفضة ورطوبة مناسبة مع وجود التهوية الجيدة لفترة زمنية تطول أو تقصر حسب الأنواع. كل هذه الاحتياجات يمكن الإبقاء بها عن طريق ما يطلق عليه الكمر البارد Cold stratification وفيه توضع البذور في طبقات متبادلة مع طبقات من الرمل أو نشارة الخشب المنداه في صوان أو صناديق، ثم تخزن في الثلاجة على درجة حرارة منخفضة (٢-٧م) لفترة زمنية تختلف باختلاف الأنواع النباتية، ويحدث خلالها تغيرات ما بعد النضج.

وبذور الأنواع النباتية التي بها هذا النوع من السكون، تحتاج إلى برودة عالية لمدة تتراوح من ١-٤ أشهر لكي يحدث الإنبات. علاوة على ذلك فإنه عند فصل أجنة هذه البذور وتنميتها على بيئات مغذية، فهي عادة لا تنبت بحالة طبيعية بل تظهر درجات مختلفة من أعراض السكون. فقد تتمدد الفلقات ويحضر لونها مع خروج جذير قصير وسميك، كما لا يحدث نمو أو استطالة للسويقة الجنينية العليا. ويمكن استخدام هذه المظاهر البسيطة للحكم إلى حد ما على مدى حيوية هذه البذور الساكنة.

ولكسر هذا النوع من السكون يجب توافر الظروف التالية:

- ١- إمتصاص البذرة للماء وإنتفاخها.
- ٢- تعريض البذور للبرودة (ليس من الضروري أن تكون على درجة التجمد).

٣- التهوية الجيدة.

٤- الوقت الكافي.

ولحدوث تغيرات ما بعد النضج، لابد للبذور من إمتصاص الماء، حيث لوحظ أن البذور ذات الأغلفة الصلبة (مثل الخوخ والمشمش... الخ) تمتص الماء ببطء شديد مما يؤدي إلى زيادة الفترة اللازمة لحدوث التغيرات المطلوبة.

وخلال تعرض البذرة لدرجة الحرارة المنخفضة، نجد أن المحتوى الرطوبي الداخلي بالبذرة يظل ثابتاً

تقريباً أو ربما يرتفع هذا المحتوى تدريجياً، ولكن بنهاية السكون ومع بداية الانبات يبدأ الجنين في إمتصاص الماء بسرعة. ويجب ملاحظة أن نقص المحتوى الرطوبي للبذور خلال عملية الكمر البارد يؤدي إلى حدوث آثار سينية. فالجفاف قرب نهاية الكمر البارد يمكن أن يؤدي إلى الأضرار بالجنين. كذلك فإن جفاف البذور خلال عملية الكمر البارد يؤدي إلى إيقاف تغيرات ما بعد النضج، علاوة على أنه يؤدي إلى ما يسمى بالسكون الثانوي (سيأتي ذكره فيما بعد).

وتعتبر الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على معدل حدوث تغيرات ما بعد النضج خلال فترة كمر البذور. وقد وجد أن أنسب درجات حرارة والتي يمكن عندها كسر السكون وحدث التغيرات المختلفة تتراوح بين ٢ - ٥٧ هـ. وقد تحدث درجات الحرارة الأقل أو الأعلى من هذا المدى نقصاً في معدل تغيرات ما بعد النضج. وقد تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى فشل الانبات وحدث السكون الثانوي. وقد وجد أن تعريض بذور التفاح لدرجة حرارة ١٧ هـ يحدث عندها توازن بين العمليات المؤدية إلى تغيرات بعد النضج وتلك المسنولة عن السكون الثانوي. وتسمى هذه الدرجة من الحرارة بحرارة التعويض *Compensation temperature*. وإستجابة بذور التفاح للانبات تختلف باختلاف درجات الحرارة التي عرضت لها البذور، فعند درجات الحرارة المنخفضة كان إنبات البذور بطيئاً، ولكن نسبة الانبات كانت مرتفعة، بينما عند درجات الحرارة المرتفعة زاد معدل الانبات غير أن نسبة الانبات إنخفضت، وهذا الانخفاض في نسبة الانبات يزداد كلما إرتفعت درجة الحرارة.

ولابد من توافر التهوية الجيدة حول البذور أثناء عملية الكمر البارد إذ أن ذلك يؤدي إلى حدوث تغيرات ما بعد النضج بحالة طبيعية. ويختلف طول فترة بعد النضج باختلاف الأنواع أو الأصناف التابعة لنفس النوع. وقد تمتد هذه الفترة من ١-٣ أشهر، إلا أنها قد تزداد إلى ٥ أو ٦ أشهر في بعض الأنواع النباتية الأخرى.

٥- سكون السويقة الجنينية العليا: *Epicotyl dormancy*

في بعض الحالات نجد أن البذور تحتاج إلى عمليات كمر بارد منفصلة لكل من الجذير والسويقة الجنينية السفلى والسويقة الجنينية العليا. ويمكن تقسيم الأنواع التي تقع تحت هذا القسم إلى مجموعتين هما:

أ- بذور يمكن تنشيط إنباتها وذلك بتعرضها لوسط دافئ لفترة تختلف من ١-٣ أشهر، وهذه المعاملة تنشط نمو الجذير والسويقة الجنينية السفلى، وبعد ذلك تحتاج البذور للتعرض للبرودة لمدة تتراوح بين ١-٣ أشهر أيضاً حتى يمكن للسويقة الجنينية العليا أن تنمو بحالة طبيعية.

ب- وفي هذه المجموعة تحتاج البذور للكمر البارد لأحداث تغيرات بعد النضج في الجنين، ثم يعقب ذلك تعريض البذور لفترة دافئ للسماح للجذير بالنمو ثم تعرض مرة ثانية لفترة برودة حتى ينشط النمو الخضرى. وفي الطبيعة نجد أن بذور مثل هذه الأنواع تحتاج إلى موسمي نمو كاملين حتى يكتمل إنباتها.

٦- وجود نوعين من السكون: *Double dormancy*

في بعض الحالات يوجد بالبذرة أكثر من نوع واحد من السكون، فمثلاً في بعض الحالات تتميز البذرة بالأغلفة الصلبة الغير منفذة للماء، هذا بالإضافة إلى سكون الجنين نفسه، ولتشجيع البذور على الانبات لابد من كسر كلا نوعي السكون. فيمكن معاملة أغلفة البذرة ببعض المعاملات التي تسمح للماء بالمرور من خلاله إلى الجنين، ثم تحدث تغيرات بعد النضج التي من شأنها كسر سكون الجنين. وأفضل طريقة للتخلص من سكون هذه البذور هو إجراء كمر دافئ لبضعة أشهر تنشط خلاله الأحياء الدقيقة لتحلل غلاف البذرة ثم يعقب ذلك كمر بارد.

وهذا النوع من السكون يوجد في بذور الأنواع الشجرية والشجيرية والتي تنمو في المناطق الباردة حيث تتميز بذورها بوجود الأغلفة الصلبة. وفي الطبيعة تلعب العوامل البيئية دوراً هاماً في كسر هذا السكون حيث أنه عند سقوط البذور على سطح الأرض يحدث كسر للسكون الطبيعي (الناسئ) عن أغلفة البذرة حيث تحدث ليونة أو تطرية في هذه الأغلفة، ثم يتعرض البذور لبرد الشتاء تحدث تغيرات بعد النضج.

ثانيا : السكون الثانوى Secondary dormancy

هذا النوع من السكون يحدث للبذور عقب فصلها وجمعها من النبات الأم. وهنا يجب ملاحظة أن البذور فى هذه الحالة عقب جمعها لا تكون ساكنة ولكن نتيجة لتعرضها لبعض الظروف يمكن دفعها إلى دخول السكون.

ويمكن تحرير البذور من السكون الثانوى وذلك بتعرضها للبرودة وأحيانا للضوء وفى كثير من الحالات بمعاملة البذور بالهرمونات المنشطة للنبات خاصة حمض الجبريليك gibberellic acid. كذلك يمكن منع حدوث السكون الثانوى بتجفيف البذور وتخزينها تخزيناً جافاً.

ويلعب السكون الثانوى دوراً هاماً للمحافظة على الأنواع النباتية فى الطبيعة. فكما هو ملاحظ أن بذور نباتات الأنواع المنزرعة تحتفظ بحيويتها لمدة طويلة إذا كانت هذه البذور جافة، كما أنها تفقد سكونها الأولى خلال فترات التخزين، ويمكن لمثل هذه البذور أن تنبت مباشرة عند غمرها بالماء.

المعاملات التى تؤدى إلى كسر سكون البذرة seed Treatments to overcome dormancy :

هناك عدة معاملات تجرى على البذور قبل زراعتها وذلك لإخراجها من السكون وحتى تنبت بصورة طبيعية، وتعطى بادرات قوية النمو. بعض هذه المعاملات تجرى بغرض تطرية أو تليين غطاء البذرة حتى يسهل دخول الماء والغازات من خلاله، والبعض الآخر يجرى لكسر سكون الجنين نفسه أو لازالة المواد المثبطة للنمو والتى تمنع إنبات البذور. وفيما يلى وصفاً موجزاً لهذه المعاملات:

- أ- الخدش الميكانيكى: scarification Mechanical
 - ب- الغمر فى الماء الساخن: scarification Hot water
 - ج- المعاملة بالأحماض: Acids scarification
 - د - الكمر الدافئ: scarification Warm moist
 - هـ- المعاملة بالحرارة المرتفعة: scarification High temperature
 - و- جمع الثمار غير مكتملة النمو: fruits Harvesting immature
 - ز- الكمر البارد: Cold stratification
 - ح- غسل البذور: Leaching
 - ط- إستخدام أكثر من معاملة: treatments Combination of
 - ى- تعريض البذور لدرجات حرارة متبادلة: alternation of tempeature Daily
 - ك- تعريض البذور للضوء: Light exposure
 - ل- الغمر فى محلول نترات البوتاسيوم potassium nitrate solution Soaking in
 - م- إستخدام الهرمونات وبعض الكيماويات المنشطة Hormones and /other chemical stimulants
- توجد بعض الهرمونات والمركبات الكيماوية التى يمكن بإستخدامها كسر سكون البذرة وتشجيع إنباتها. ويعتبر حمض الجبريليك أكثر إستخداماً فى هذا المجال. وحمض الجبريليك يؤدى إلى كسر

السكون الفسيولوجي بالبذرة وينشط إنباتها بشرط عدم سكون الجنين نفسه. وعادة ما تبلى بيئة إنبات البذور بتركيزات معينة من حمض الجبريليك تتراوح بين ٥٠٠ - ١٠٠٠ جزء في المليون. كما يستخدم السيتوكينين وهو أحد منظمات النمو بالطبيعية في تنشيط إنبات البذور وذلك عن طريق إيقافه لنشاط مثبطات الإنبات التي تؤدي إلى سكون البذرة. ويعتبر الكينيتين من أكثر المركبات المستخدمة في تنشيط إنبات البذور وكسر السكون الراجع إلى درجات الحرارة المرتفعة كما هو الحال في بذور بعض الأنواع النباتية مثل بذور الخس. ولتحضير محلول من الكينيتين تذاب أولاً كمية صغيرة منه في قليل من حمض الهيدوكلوريك ثم تخفف بالماء، وعادة ما تغمر البذور في محلول تركيزه ١٠٠ جزء في المليون لمدة ثلاث دقائق.

وفى بعض الأحيان يمكن استخدام محلول ثيووريا بتركيز ٠.٥-٣% لكسر سكون البذور خاصة تلك التي لا تنبت جيداً في الظلام التام أو على درجات الحرارة المرتفعة، أو تلك البذور التي تحتاج إلى معاملات الكمر البارد. وحيث أن الثيووريا تعتبر من مثبطات النمو، لذلك من المفضل غمر البذور في محلولها لمدة لا تزيد عن ٢٤ ساعة ثم ترفع البذور وتغسل جيداً بالماء.

العوامل البيئية التي تؤثر على إنبات البذرة affecting Environmental factors : seed germination

سبق أن ذكرنا أن إنبات البذرة يتطلب توافر عدة عوامل منها وجود الظروف البيئية اللازمة لذلك مثل الماء والحرارة والهواء والضوء وغيرها. وفيما يلي موجزاً لدور كل عامل من العوامل البيئية على حدة:

أولاً: الماء: Water

يعتبر الماء من العوامل البيئية الأساسية اللازمة لحدوث الإنبات. حيث أن النشاط الأنزيمي وعمليات هدم وبناء المواد الغذائية المختلفة تتطلب لاتمامها وسطاً مائياً. وكما هو معروف فإن إنبات البذرة يتحكم فيه بصفة أساسية محتواها المائي، فالبذرة عادة لا تنبت إذا كان محتواها الرطوبي أقل من ٤٠ - ٦٠% (على أساس الوزن الطازج). وعند زراعة البذور الجافة تقوم بإمتصاص الماء بسرعة في بادئ الأمر حتى يحدث التشبع والانتفاخ، ثم يعقب ذلك إنخفاض في معدل إمتصاص الماء والذي لا يلبث أن يزداد بظهور الجذير وتمزق الغلاف. وقدرة البذرة على إمتصاص الماء تتوقف على عدة عوامل هامة منها نفاذية أغلفة البذرة للماء والماء المتاح بالوسط المحيط بالبذرة وأيضاً درجة حرارة الوسط أو البيئة، فنجد أن ارتفاع درجة حرارة البيئة يزيد من معدل إمتصاص البذرة للماء. وبإنبات البذرة وتكوين الجذير تبدأ البادرة الصغيرة في الاعتماد على مجموعها الجذري ومقدرته على تكوين شعيرات جذرية صغيرة أخرى تساهم في إمتصاص الماء من الوسط المحيط وكمية الماء التي تمتصها البذرة خلال فترة الانتفاخ وحتى ظهور الجذير تعتبر من الأهمية بما كان حيث أنها يمكن أن تؤثر على كل من نسبة ومعدل إنبات البذور.

وتستطيع بذور كثير من الأنواع النباتية أن تنبت في مدى من الرطوبة الأرضية يقع بين السعة الحقلية (Field capacity (FC ونقطة الذبول المستديمة (Permanent wilting point (PWP ومع ذلك فإن إنبات بذور بعض الأنواع النباتية الأخرى مثل الخس والبنجر يتوقف عند مستويات الرطوبة المنخفضة بالتربة. ومثل هذه البذور تحتوى على مواد مثبطة للإنبات يلزم للتخلص منها توافر رطوبة أرضية عالية. وتجدر ملاحظة أن معدل ظهور البادرات الصغيرة يتأثر كثيراً بمحتوى الرطوبة الأرضية، حيث يقل إلى حد كبير مع إنخفاض الرطوبة في الوسط المحيط بالبذور. ويمكن تسهيل إنبات البذور وذلك بغمرها في الماء لعدة ساعات قبل الزراعة.

ثانياً: الحرارة: Temperature

ربما تعتبر الحرارة من أهم العوامل البيئية التي تنظم عملية الإنبات وتتحكم بدرجة كبيرة في نمو الشتلة أو البادرة. وعموماً فإن للحرارة تأثير على نسبة ومعدل إنبات البذور. حيث أنه عند درجات الحرارة المنخفضة يقل معدل الإنبات وبارتفاع درجة الحرارة يزيد هذا المعدل حتى يصل إلى المستوى الأمثل، ولكن بزيادة درجة الحرارة عن هذا الحد يقل معدل الإنبات نتيجة للضرر الذي يحدث للبذرة. وعلى العكس من ذلك فإن نسبة الإنبات ربما تظل ثابتة إلى فترة محددة بارتفاع درجة الحرارة وحتى تصل هذه الدرجة إلى المستوى الأمثل وحتى يتوفر الوقت الذي يسمح بحدوث الإنبات. وتقسّم درجة الحرارة التي

يحدث عندها الانبات إلى ثلاث درجات هي:

- أ- درجة الحرارة الصغرى: وهي أقل درجة حرارة يحدث عندها الإنبات.
 - ب- درجة الحرارة المثلى: وهي درجة الحرارة التي يحدث عندها أكبر نسبة إنبات وأعلى معدل إنبات. وتتراوح درجة الحرارة المثلى للبذور الغير ساكنة لمعظم الأنواع النباتية بين ٢٥ - ٣٠ هم.
 - ج- درجة الحرارة القصوى: وهي أعلى درجة حرارة يحدث عندها الانبات. وأى ارتفاع فى درجة الحرارة عن الدرجة القصوى ربما تضر البذور أو تدفعها إلى دخول السكون الثانوى.
- وعموماً تختلف إحتياجات بذور الأنواع المختلفة لدرجات الحرارة التى تشجع إنباتها، ومن ثم يمكن تقسيم النباتات تبعاً لدرجة الحرارة اللازمة لانبات بذورها إلى:

- أ- بذور تتحمل درجات الحرارة المنخفضة: يمكن لبذور كثير من الأنواع النباتية- وخاصة البرية منها- النامية فى المناطق المعتدلة من الانبات خلال نطاق حرارى واسع يتراوح ما بين ٤.٥ هم (وفى بعض الأحيان قرب درجة التجمد) حتى حدود درجات الحرارة المميتة (٣٠ - ٤٠ هم). وتشمل هذه المجموعة بذور كثير من النباتات منها على سبيل المثال بذور الخس والكرنب.
- ب- بذور تحتاج إلى درجات حرارة منخفضة: وتحتاج بذور نباتات هذا القسم الى درجة حرارة منخفضة حتى تنبت. وغالباً ما يفشل الانبات إذا تعرضت البذور لدرجة حرارة أعلى من ٢٥ هم. وعدم قدرة البذور على الانبات فى ظروف درجات الحرارة المرتفعة ظاهرة شائعة الوجود فى البذور حديثة الحصاد لكثير من الأنواع النباتية. وتشمل هذه المجموعة بذور كثير من الأنواع النباتية مثل البصل والبرمبولا والدلفينيوم.
- ج- بذور تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة: تحتاج بذور عديد من الأنواع النباتية خاصة تلك التى تنمو فى المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية الى درجة حرارة مرتفعة نسبياً حتى تستطيع الانبات، فأقل درجة حرارة يمكن أن يحدث عندها إنبات بذور الاسيرجس والطماطم هي ١- هم، فى حين أن درجة ١٥ هم تعتبر أقل درجة تلزم لانبات بذور بعض المحاصيل الأخرى مثل الباذنجان والفلفل والفول... الخ.
- د - بذور تحتاج إلى درجات حرارة متبادلة: تذبذب درجات الحرارة خلال الليل والنهار تعطى نتائج أفضل إذا ما قورنت بدرجات الحرارة الثابتة بالنسبة لانبات البذور ونمو البادرات. وبذور قليل من الأنواع النباتية لايمكن أن تنبت على درجات الحرارة الثابتة، بل يلزم تعريض البذور لدرجات حرارة متبادلة بحيث يكون الفرق بين درجتى الحرارة التى تعرض لهما البذور لا يقل عن ١٠ هم.

الثالث: التهوية Aeration

كما هو معروف فإن الهواء الجوى يحتوى على ثلاث غازات أساسية ضمن مكوناته وهى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون والنيتروجين. ويمثل الأكسجين ٢٠% بينما يشكل ثانى أكسيد الكربون ٠.٠٣% أما غاز النيتروجين فيمثل مايقرب من ٨٠% من مكونات الهواء الجوى. ويعتبر الأكسجين ضرورى جداً لانبات بذور كثير من الأنواع النباتية. أما إذا ارتفع تركيز ثانى أكسيد الكربون عن ٠.٠٣% فى البيئة، فغالباً ما يثبط إنبات البذور. ومن ناحية أخرى فإن غاز النيتروجين ليس له تأثير على إنبات البذور بصفة عامة.

ويزداد معدل تنفس البذور زيادة كبيرة خلال الانبات، والتنفس عملية أساسية لاتمام عمليات الأكسدة اللازمة لنمو وتمدد الجنين ومن ثم فإن توافر الأكسجين بالبيئة يعد ضرورياً لحدوث الانبات الجيد. لذلك فإن أى نقص فى تركيز الأكسجين الموجود بالبيئة عن تركيزه فى الهواء الجوى يؤدى إلى إعاقه أو تثبيط إنبات بذور كثير من النبات.

ونقص الأكسجين اللازم للجنين خلال الانبات ينتج أساساً من ظروف بيئة الانبات خاصة إذا كانت تلك البيئة مغمورة بالماء. أو قد يرجع نقص الأكسجين إلى عدم نفاذية أغلفة البذرة له، حيث أنه فى كثير من الحالات فإن أغلفة البذور لاتسمح بتبادل الغازات بين الجنين والهواء الخارجى. ويتأثر مستوى

الأكسجين في بيئة النمو بمقدار ذائبيته القليلة في الماء وعمق الزراعة، حيث يقل تركيز الأكسجين بشدة كلما زاد عمق زراعة البذور.

أما بالنسبة لغاز ثاني أكسيد الكربون (ك أ^٢) وهو يمثل ناتج عملية التنفس- فيتجمع ويزداد تركيزه خاصة في البيئات سيئة التهوية، كما يزداد تركيزه بازدياد عمق الزراعة ومن ثم فإنه يعمل على تثبيط إنبات البذور.

رابعاً: الضوء Light

يمكن للضوء أن يؤثر على إنبات البذور- وتختلف احتياجات بذور الأنواع النباتية المختلفة للضوء- فهناك بعض النباتات مثل نوع التين (Ficus aurea) Strangling Fig تحتاج بذورها إلى ضوء تام ومستمر حتى تنبت، وتفقد هذه البذور حيويتها خلال بضعة أسابيع إذا لم تعرض للضوء. كما يشجع الضوء إنبات بذور مجموعة أخرى من الأنواع النباتية تشمل كثير من أنواع الحشائش والخضر والزهور. وقد يثبط بالضوء من إنبات بذور بعض الأنواع النباتية الأخرى مثل البصل. وتستجيب بعض النباتات لطول النهار (الفترة الضوئية) فهناك بذور تحتاج إلى نهار طويل لكي تنبت مثل بذور البتولا ولكن يلزم أيضاً تعريض هذه البذور لفترة برودة معينة حتى تساعد على إنباتها، بينما يثبط النهار الطويل إنبات بذور بعض الأنواع الأخرى.

النمو الخضري

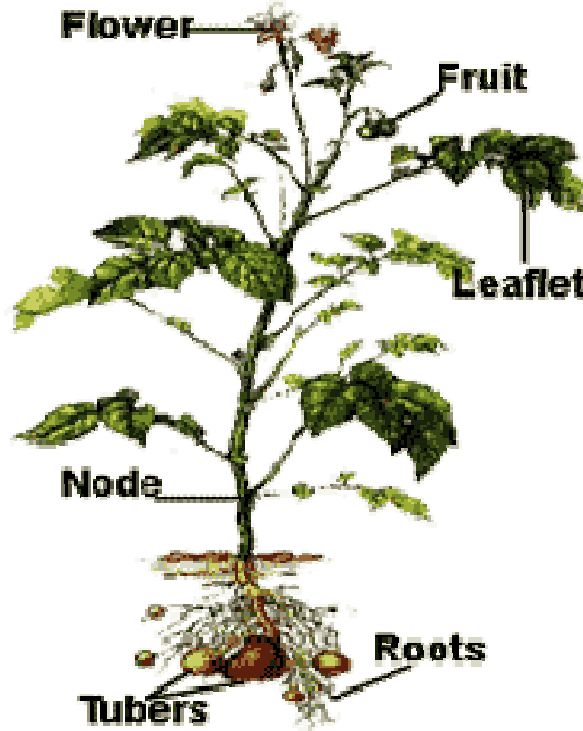
تكوين الجدار الخلوي ووظيفته
نشاط الكميوم وتكشف الأنسجة

مكان النمو
مراحل النمو
دور الهرمونات النباتية في استطالة الخلايا

مقدمة :

قبل الخوض في دراسة دورة حياة النبات ومراحل نموه وتطوره يجب دراسة النمو فسوف نبدأ بتحديد وتعريف دقيق لكل من النمو والتطور ثم تعريف التميز والتكشف... الخ فالنمو هو الزيادة الغير رجعية في وزن او حجم الخلايا والأعضاء وبالتالي النبات الكامل نتيجة انقسام واستطالة الخلايا .

أما التشكل والتميز المعروف **Differentiation** فهو التميز الذي يؤدي الى تغير شكل ووظيفة الخلايا داخل الأنسجة والأعضاء لتكوين تراكيب متميزة في الوظيفة وهو ليس نموا ولكنة ملازم له أما التكشف **Development** فهو المحصلة النهائية او الكلية للنمو والتميز في تسلسل محدد او هي الانتقال من مرحلة من مراحل التطور الى مرحلة أخرى والتكشف يتبعه سلسلة متعاقبة من التغيرات داخل كل عضو من أعضاء النبات خلال دورة حياته ولكن يمكن متابعتها كل على حدا داخل كل عضو او نسيج او خلية ومن أكثر صور التطور وضوحا هو انتقال النبات من الحالة الخضرية الى حالة الأزهار او تطور الورقة من الحالة التي تكون فيها الورقة في صورة مبادئ خروج للأوراق أثناء وجودها بالبرعم الى حالة الورقة الكاملة الناضجة لذلك نطلق مصطلح التمييز **Differentiation** عند التحدث عن كل حالة تحدث للخلايا المرستيمية عند تميزها الى أنواع من الخلايا تدخل في أنسجة مختلفة او أعضاء مختلفة والتي بالتالي سوف تختلف في الشكل والتكشف البيوكيميائي ورغم أننا سوف نلاحظ ان النمو والتميز والتكشف عادة يكونا متلازمين الا انه في بعض الحالات يحدث النمو دون تميز لخلايا او أعضاء . كما يحدث في نمو نسيج الكلس او نسيج الجروح ويمكن دراسة التكشف من خلال وسيلتين اما موفولوجيا او كيميائيا اي فسيولوجيا فالأول يتم دراسة التغيرات التركيبية والتشريحية التي تتكون ويمكن ملاحظتها ورصدها خلال التطور ويكون من المثير دراسة وفهم ومعرفة العوامل التي تؤثر وتؤدي الى تلك التغيرات الشكلية ولكن ذلك لا يؤدي الى الفهم الصحيح بدون دراسة العمليات الحيوية الكيميائية الفسيولوجية التي تصاحب ذلك التغير الشكلي لذلك تم الاتفاق على إطلاق مصطلح التخليق المورفولوجي **Morphogenesis** وهو تخليق وتشكيل خلايا وأنسجة وأعضاء النبات والأسباب المؤدية لذلك من العوامل الطبيعية والبيوكيميائية وحتى لأن فمعلوماتنا عن الأسباب المؤدية الى **Morphogenesis** على المستوى الجزيئي **Molecular Basis** قليلة للغاية فمثلا غير معروف على وجه الدقة ما هي العوامل الفسيولوجية والطبيعية التي تدفع الى تكوين مبادئ الأوراق ونشأتها وتطورها الى الأوراق الكاملة.



مكان النمو The Localization of Growth

يتأتى النمو من مقدرة الخلايا والأعضاء على امتصاص أو الحصول على المواد البسيطة من ماء وأملاح وثاني أكسيد الكربون من البيئة المحيطة بها واستخدامها في تكوين مركبات مختلفة ومعقدة والتي تشكل بها مكونات تلك الخلايا فيؤدي تراكمها إلى النمو المستمر كذلك يؤدي ذلك التراكم من تلك المركبات إلى إضافة مادة الحياة للخلايا الجديدة المتكونة من الانقسام وتكوين الخلايا الجديدة مع الأخذ في الاعتبار أنه ليست كل خلايا أعضاء النبات تستمر في النمو والانقسام ولكن تتحول الخلايا القابلة للانقسام والاستطالة إلى خلايا بالغة وتحاط بخلايا ذات جدر سميكة نسبياً وعديد من الخلايا الميكانيكية والأوعية الناقلة الغير حية .

وتبقى الخلايا القابلة للانقسام والاستطالة في مناطق النمو المرستيمية وفي الأنسجة الجنينية مع ملاحظة أنه سوف يظل للخلايا البالغة القدرة على استعادة قدرتها للانقسام والاستطالة أي العودة للحالة المرستيمية وذلك تحت ظروف معينة .

يحدث النمو من انقسام واستطالة في عديد من المناطق المرستيمية المختلفة وهي تشمل ثلاث أنواع من المرستيمات هي المرستيمات القمية مثل التي توجد بقمم السيقان والأفرع وقمم الجذور وهي المتسببة في نموها الطولي Apical meristems والمرستيمات البينية وهي المسببة للزيادة في القطر أو السمك أو الزيادة في حجم الورقة وسمكها وتعرف أحيانا بالكمبيوم البيني كما أنه موجود بين العقد والسلاميات ولو أن البعض يعتبر المرستيم بين العقد والسلاميات جزء من المرستيم القمي أما النموات الخضرية الجانبية والأزهار والثمار فتنتج من المرستيمات الجانبية Lateral meristems كما في البراعم الإبطية التي توجد في أباط الأوراق والتي يتحول بعضها إلى براعم زهرية في عملية الأزهار كما يوجد نوع آخر من المرستيمات تعرف بالكمبيوم الفليني Phellogen هو المسئول عن تكوين القلف وقد تختفى تلك المرستيمات بأن تتحول إلى أنسجة غير مرستيمية أي خلايا بالغة أو تظل على حالتها المرستيمية إلى الأبد كما يحدث في المرستيمات البينية المعروفة بالكامبيوم ويتوقف نشاط المرستيم في وقت معين على الظروف البينية والداخلية فمثلا يحدث خمول للمرستيمات القمية في أشهر الشتاء ونتيجة وجود مثبطات للنمو ويتم النمو في المرستيمات على ثلاث مراحل تعرف بمراحل النمو.

مراحل النمو Growth Stages:

تنقسم مراحل النمو إلى : مرحلة الانقسام الخلوي ومرحلة الاستطالة والزيادة في الحجم والمرحلة الأخيرة هي مرحلة التميز

انقسام الخلية Cell Division

تنمو النباتات وتزداد رأسياً تبعاً لعملية الانقسام الحادثة في القمم الطرفية المرستيمية للنباتات عن طريق الانقسام الميتوزي وكذلك في الخلايا الإنشائية في الكمبيوم بسيقان النباتات ثنائية الفلقة وفي الخلايا الإنشائية في الأوراق الحديثة تنقسم الخلايا في القمم النامية وتحدث الاستطالة على بعد عدة ملليمترات أسفل منطقة القمة النامية وتعرف المنطقة أسفل منطقة الانقسام أو منطقة القمة Dome بمنطقة الاستطالة أما الأعضاء المحددة النمو مثل الأوراق والثمار يكون الانقسام والاستطالة كعمليتي منفصلتين زمنياً تبدأ بالانقسام وتنتهي الزيادة العددية لتبدأ مرحلة الاستطالة وتكون الأوعية الناقلة ونضج الخلايا وتخصصها وتكون الخلايا صغيرة نسبياً وذات نواة كروية مركزية بالنسبة للسيتوبلازم وبدون فجوات عصارية والجدر رقيقة ليس معروف إلى

الآن لماذا تظل بعض الخلايا محتفظة بقدرتها على الانقسام أو اى مرستيمية أو جنينية فى حين تتحول الأخرى الى خلايا متخصصة .

الامتصاص

الازموزية على

امتصاص قدر

كبير من الماء

مما يتسبب فى

تعدد الخلية حتى

يتساوى ضغط

الامتلاء مع

الضغط

الاسموزى

للخلية والذى

يسببها تكون

السكريات

وامتصاص

الأملاح وتكوين

الأحماض

العضوية بالخلية

ويتكون الجديد

من البروتوبلازم

لذلك فالمحصلة

الكلية هى زيادة

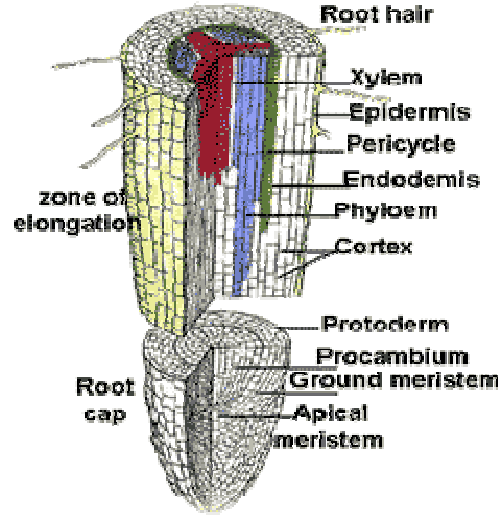
المادة

Dry الجافة

matter

وعملية تكوين

الجديد من البروتوبلازم يلزمها بالطبع زيادة العمليات المنتجة للطاقة وإنتاج بالبروتينات لذلك فعمليات النمو تتطلب ظروف هوائية وامداد بالكربوهيدرات كمصدر للطاقة ومواد أساسية للبناء فضلا على الهرمونات النباتية والتي لها دور هام فى عمليات الانقسام والاستطالة والتي سوف يتم مناقشتها لاحقا فإذا كان الجدار الخلوى من المرونة بدرجة كافية تمدد مما استوجب إضافة مواد جدارية من السليولوز والهيميسليولوز عليها ويبدو ان البروتوبلازم كطبقة رقيقة بجوار الجدار وأغشية الخلية السيتوبلازمية ويصحب الزيادة أيضا بناء الجديد من البروتوبلازم .



٢- مرحلة الزيادة فى حجم

الخلية Cell Enlargement

ثم تأتى العملية التالية للانقسام والزيادة العددية بعملية الاستطالة الخلوية حيث يزداد حجم الخلية زيادة غير رجعية نتيجة الضغط الاسموزى وضغط الامتلاء المرتفع وقلة الضغط الجدارى ثم زيادة محتواها العصري ومكوناتها العضوية وتكوين الفجوات العصارية بها متحولة بذلك من الحالة المرستيمية الى الحالة البارنشيمية البالغة تزداد الخلايا فى الحجم قد تصل الزيادة فى الحجم من ٣٠ - ١٥٠ مرة من حجم الخلايا الإنشائية حيث تزداد قدرتها على امتصاص الخلايا للماء وانتقال المواد الغذائية والايضية التى تتكون فى الأوراق الى مناطق النمو حيث الخلايا المرستيمية التى انتهت من الانقسام فتظهر الفجوات العصارية

٣- مرحلة التميز الخلوى Cell Differentiation

تبدأ تلك المرحلة بتغيرات تشريحية وفسيولوجية والخلايا البرانشيمية هى اقل الأنواع تميزا حيث لا تختلف كثيرا عن الخلايا الإنشائية سوى زيادة الحجم ودرجة نمو فجواتها ولا تتكون فيها الجدر الثانوية عادة بل تظل ذات جدر رقيقة وتنتشر تلك الخلايا فى القشرة والنخاع والأشعة النخاعية ، اما الخلايا التى تتحول الى عناصر وعانية كالأنابيب الغربالية والأوعية الخشبية والألياف فتتعرض الى تغيرات اذ تزداد فى الحجم كثيرا وترسب على جدرها جدر ثانوية تتخذ أشكالا مختلفة منها الحلقي والحلزونى والمنقر وترسب خلال ذلك مادة اللجنين بين المواد الجدارية الثانوية وفى الأنابيب الغربالية تختفى الانوية ويستمر السيتوبلازم فى أداء وظائفه فى حين تظل النواة فى الخلية المرافقة .

تكوين الجدار الخلوي Cell Wall ووظيفته :

كما هو معروف فإن الخلية النباتية تتكون من جدار وبروتوبلازم ويتكون البروتوبلازم من سيتوبلازم ونواة وقد نطلق على المكونات البروتوبلازمية اسم البروتوبلاست . يحاط السيتوبلازم بغشاء بلازمي Plasmalemma معقد التركيب وتوجد داخل الخلية الشبكة الاندوبلازمية التي تتكون من نفس مادة الغشاء الخلوي او بالاحرى هي امتداد له وهي موجودة خلال سائل شبة غروي ويحتوى على عديد من العضويات مثل الميتاكوندريا والريبوزومات والبلاستيدات والجسيمات الدقيقة لجهاز جولجى . والطبيعة الغروية للبروتوبلازم هي أساس المظاهر المادية للحياة ، كما يوجد بالخلية الفجوات العصارية الممتلئة بسائل مائى به مواد كيميائية ذائبة مثل السكريات والأملاح والاصبغات والفضلات الناتجة من عمليات التمثيل الغذائى للخلية والبلورات .

خلال تمدد الخلايا تزداد جدر الخلايا وتمتد لاستيعاب زيادة حجم الخلية وزيادة محتوياتها ويتم بإضافة مكونات الجدار ولا تسبب تلك الإضافة زيادة فى السمك ولكن تستخدم فى تمدد الجدر وذلك بإضافة ألياف السليولوز بسمك ٥-١٠ نانومتر وبطول ٦٠ نانومتر ($1 \text{ cm} \times 10^{-9} = \text{nanometer}$) ، قد تحتفظ جدر بعض الخلايا مثل خلايا النخاع والخلايا الحية فى اللحاء ومعظم خلايا القشرة بالتركيب الأصلي السليولوزى البكتينى الى ما لا نهاية فى حين تتلجن بعض الخلايا الأخرى مثل جدر معظم أنسجة الخشب وبالمثل تترسب السوبرين على جدر خلايا الفلين ، فى حين ان البروتوبلازم يخفى بسرعة من الخلايا التى تتلجن جدرها.

وظيفة الجدار الخلوي هو التدعيم الميكانيكى للخلية من ثم النبات فهو مع الضغط المائى يعطى للخلية شكلها ويحافظ على تراكيبها وللجدار دور هام فى امتصاص الماء والذائبات من خارج الى داخل الخلية بالإضافة الى دوره فى الإفراز Secretions فضلا على دوره فى مقاومة اختراق الكائنات الممرضة للخلية ، المسئول عن إفراز وتكوين الجدار الخلوي هو البروتوبلاست ثم هو المسئول أيضا فى تدعيم الجدار فيما بعد عند تكوين الجدر الثانوية وتكوين المواد اللاصقة والتى تربط الخلايا بعضها ببعض او ما يعرف بالصفحة الوسطى ثم ان البروتوبلاست أيضا هو المسئول عن الترسيب الزائد حتى موت الخلية وتحويلها الى وعاء ناقل للماء والعناصر الغذائية الممتصة من التربة والمعروفة بعناصر الخشب. والمركب الرئيسى للجدار هو السليولوز والهيميسليولوز والمواد البكتينية واللجنين والسوبرين.

يبدأ تكون الجدار فى الطور النهائى Telophase للانقسام الميتوزى بعد تكوين الصفحة الوسطى حيث تتجه حويصلات صغيرة Vesicles او قطرات صغيرة Droplets الى الخط الاستوائى للخلية الأمية وتلتحم معا حيث تتكون المواد البكتينية والتى تشبة الهلام ثم تأخذ فى التصلب نتيجة اتحادها بالكالسيوم، عندئذ يبدأ ترسيب السليولوز لتكوين الجدار الابتدائى او الأولى Primary Wall ثم يتشرب الجدار الابتدائى بالهيميسليولوز والذى يتكون من عديد التسكر للسكريات الخماسية مثل Glactans Glycoproteins Xylans, Arabans كما يترسب بينها Para-Crystalline ويمتاز الجدار الابتدائى فى تلك المرحلة بالمطاطية سواء مطاطية عكسية Reversible plastic او غير عكسية عند بداية تكوين الجدار الثانوى يحدث إضافة مكونات أخرى للجدار الابتدائى فى عملية يطلق عليها عملية الأعماد الداخلى Intussusceptions حيث يقوم السيتوبلازم بملئ الفراغات بالجدار بالمواد الكيميائية ثم تأتى مرحلة التراكم Apposition فتتكون طبقات جديدة لتنتهى بذلك مرحلة الاستطالة وتبدأ مرحلة التميز لتكون الخلية بأداء وظيفة خاصة يحددها لها نظام Gene off and on بالنواة.

يزداد الكشف الكيميائى لجدر الخلايا ذات البروتوبلازم الميت كالأوعية والقصبات والألياف بالطرق البيوكيميائية التى تستمر فيها او نتيجة تأثير الخلايا المجاورة ويعتبر اختفاء الجدر العرضية بين عناصر الخشب اثناء تكوين الأوعية مثالا مألوفاً لذلك فى تلك الخلايا يتم كشف وايض الكربوهيدرات التى تتحول الى المواد الجدارية الجديدة فى حين ينعدم تكوين البروتينات والبروتوبلازم اثناء هذا الطور من عملية التطور فضلا على قلة النشاط التنفسى وذلك حتى يكتمل كشف تلك الخلايا .

دور الهرمونات النباتية في استطالة الخلايا :

قد فسر حدوث استطالة الخلايا نتيجة نقص الضغط الجداري وارتخاء الجدار الخلوي وتغير تكوين الجدار أو تقطع وانفصال مكونات الجدار الخلوي مع إعادة تكوين روابط جديدة ، لذلك اقترح ان الأوكسين يقوم بدور في فك الروابط الهيدروجينية غير التساهمية بين بوليميرات الزيلوجلوكونات وألياف السليولوز الدقيقة مما يسمح بتسلل الزيلوجلوكونات الى السليولوز ينتج عنه انبساط غير عكسي في جدار الخلية خاصة عند انخفاض pH وذلك من خلال فعل أنزيمي ليس معروف على وجه الدقة وهذا بالطبع يشجع زيادة مرونة Plasticity او ارتخاء Loosening او زيادة مطاطية Elasticity جدر الخلية هذا الارتخاء يؤدي الى نقص مقاومة الضغط الداخلي على الأغشية الخلوية مع نقص في ضغط الامتلاء وعلية فالجهد المائي للعصير الخلوي يصبح اكثر سالبيه عنه في الخلايا المجاورة فينتشر الماء ناحية منحدر التدرج فتزداد الخلية في الحجم

ثم يأتي دور إضافة مواد جديدة للجدار وإعادة تثبيت الروابط غير التساهمية بين السليولوز والسكريات العديدة (الزيلوجلوكونات) فيتكون بذلك خلايا ذات جدر اكبر ، ويبدو ان نقص درجة pH تنشيط ارتباط أيون الأيدروجين مما يزيد من نشاط أنزيمات الارتخاء او الأنزيمات التي تعمل على فك الارتباط بين السليولوز والزيلوجلوكونات.

ثبت عمليا ان للجبرلين دورا في تخليق وتنشيط أنزيم الالفا اميليز amylase الذي يعمل على تحويلا النشا الى سكريات مختزلة والتي يؤدي زيادة تركيزها في العصير الخلوي الى رفع الضغط الاسموزي للخلايا النباتية وبالتالي الى دخول الماء والمواد الغذائية مما يؤدي الى انتفاخها وكبر حجمها واستطالتها معنويا وكذلك وجدت علاقة بين استطالة السوق واختفاء النشا وتحوله الى سكريات ذائبة تستغل في بناء الخلايا الجديدة واستطالتها وبالتالي استطالة السوق ، كما ان للجبرلين دورا في تخليق أنزيم بيتا جلوكانيز B 1,3 glucanase المؤدى الى خفض الضغط الجداري الذي يسمح بدورة الى مرور الماء والغذاء للخلية . مما سبق نجد ان الأوكسين يشترك مع الجبرلين في التأثير على استطالة الخلية ولكن كل منهما له ميكانيكته الخاصة به.

اما عن دور السيتوكينين فلم يثبت ان له دور في استطالة الخلايا لكن ينحسر دوره في التشجيع على الانقسام الخلوي من خلال تنشيطه لعمليات الامتصاص والانتقال للعناصر المعدنية وعصارة الأوعية الناقلة خاصة للحانية وزيادة معدل إنتاج الأحماض النووية وتكوين البروتينات خاصة تكوينه لأنزيمات اختزال النترات مما يوفر المواد التي تحتاجها الخلية للانقسام وتكوين البروتوبلازم الجديد الذي يكفى للخليتين البنويتين .

نشاط الكمبيوم وتكشف الأنسجة :

أولى علامات نمو الأشجار في الربيع هو انتفاخ البراعم وانبثاقها ثم استطالة السيقان ويبدأ الكمبيوم في النمو ببطء وعادة ما يبدأ الانقسام والنمو في المناطق القريبة من قمم السوق ثم ما يلبث من ان ينتقل النشاط الى المنطق السفلى من الساق وهو ما يتمشى مع انتقال الأوكسين من أعلى الى اسفل بمعنى ان تدافع على النشاط هو تأثير الأوكسين على انقسام واستطالة خلايا الكمبيوم البين حزمى فعندما يبدأ الأزهار يتعطل نشاط الكمبيوم ويستمر نشاط الكمبيوم في الانحدار بتقدم الأزهار الى ان تبدأ خلايا الكمبيوم كلها وكأنها تكشف الى أنسجة لحاء وخشب . ويبدأ نقص النشاط الكمبيومي اول ما يبدأ في جزء الساق الأقرب الى النورة ويبدو ان الارتباط بين نشاط الكمبيوم والأزهار ذو الية هرمونية نظرا لقللة الأوكسين عندما تتحول المرستيمات الخضرية الى مرستيمات زهرية ، إذن هي علاقة يحكمها الأوكسين .

والتكشف له في النبات عدة مستويات المستوى الأول هو تكشف الخلايا الى أعضاء مثل السوق والأوراق والبراعم والأزهار والجذور ثم المستوى الثاني هو تكشف الخلايا داخل الأعضاء الى أنسجة مثل أنسجة البشرة القشرة والبريسكل والأنسجة الوعائية والنخاع ثم يأتي بعد ذلك المستوى الثالث من الكشف وفيه تتكشف الخلايا الى خلايا متخصصة داخل النسيج مثل الخلايا الغريالية والخلايا الغريالية وبرانشيمية اللحاء داخل نسيج اللحاء ويحدث الكشف بمستوياته الثلاثة في تتابع زمني وعادة يحدث الكشف بمستوياته الثلاثة في الزيوجوت أثناء تكون الجنين والبذرة واثاء نمو وتطور القمم النامية للسيقان والجذور ويكون أمام كل خلية أثناء الكشف عدة قنوات للتطور Canalization of development وعندما يتحدد وظيفة الخلية نتيجة بداية كشفها يطلق على تلك المرحلة باسم مرحلة التحديد Determination ولك بعض الخلايا يكون

لديها القدرة على الرجوع عن التكشف وإعادة الدخول في مسلك آخر من مسالك التطور ونطلق عليها عندئذ **. Dedifferentiation**

ولا يقتصر التكشف على خلايا الزيغوت أو الساق والجذور بل هناك تكشف على مستوى النبات كلة عند تحول النبات من مرحلة الطفولة الى مرحلة البلوغ أو مرحلة الأزهار والإنتاج الثمرى حيث يحدث تغيرات تركيبية في محور الساق وعندئذ تحدث التغيرات الفسيولوجية لتكون مصاحبة للتغيرات التركيبية والوظيفية الجديدة.

اما عن الأسباب التي تؤدي الى التكشف في غير معروفة الى الآن على وجه الدقة ولكن هناك إشارات تفسر أسباب حدوث التكشف فعلى مستوى الزيغوت المخصب وعندما ينقسم أول انقسام نجد ان الخليتين الناتجتين تكون إحداهما طرفية صغيرة نسبيا **Terminal Cell** وأخرى قاعدية كبيرة نسبيا **Basal Cell** ثم يسلك كل منهما مسلك مختلف ناتج عن الانقسام الغير متساوى ثم تنقسم الخلية الطرفية الى خليتين ويكون الانقسام عرضيا بينما تنقسم الخلية القاعدية انقساما طوليا ، كذلك نجد ان البيضة داخل الكيس الجنينى وقبل إخصابها يتوزع فى السيتوبلازم بكثافة غير متساوية حيث تختلف قطبى الخلية فى درجة كثافة وتوزيع السيتوبلازم .

تكشف القمة النامية تكشف الورقة والبرعم ارتباطات النمو السيادة القمية الاستقطاب

تكشف القمة النامية :

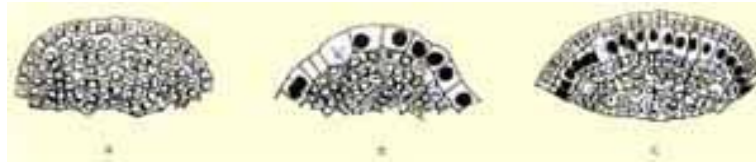
أول من درس تطور القمم النامية هو العالم Shemidt ١٩٢٤ حيث أشار أول خلية تكون القمة النامية والناجمة من انقسام الزيجوت Single apical cell تنقسم لينتج عنها طبقتين من الخلايا هي التي تكون القمم النامية في النباتات الراقية ووضعت نظرية تشرح ذلك عرفت بنظرية الجسم والغطاء فيها افترض ان النبات يتكون في قمته المرستيمية من طبقتين متميزتين هما:

الطبقة السطحية او الغطاء Outer Tunica

تنشأ في منطقة القبة المرستيمية Apical Dome مجموعة من الخلايا البادئة تكون طبقة الغطاء وتتكون من صفوف مرتبة ومنظمة من الخلايا المرستيمية والتي يتراوح عددها بين ٢-٥ صفوف في النباتات ذات الفلقتين و ٢-٣ صفوف في النباتات أحادية الفلقة ويكون انقسام الخلايا فيها موازيا للسطح اي عرضيا وتحيط إحاطة كاملة إحاطة السوار بالمعصم بالطبقة الداخلية او طبقة الجسم ذات الخلايا الاكبر حجما من خلايا Tunica

الطبقة الداخلية او الجسم Inner Corpus

تلك الطبقة هي التي تختص بنمو النبات في الحجم وطبقاتها غير مميزة والانقسام فيها يكون في الاتجاهين طوليا وعرضيا وطبقة الجسم ذات خلايا اكبر حجما من خلايا Tunica تعرف تلك الخلايا بالخلايا المركزية الأمية Central mother cells تنقسم بمعدل اقل لتعطى منطقة مرستيمية تسمى المنطقة المحيطة Flank or Peripheral Meristems تلك الطبقة التي يتكون منها خلايا نسيج القشرة والنخاع فيما بعد تليها منطقة ذات صفوف طولية تعرف بمنطقة المرستيم اللبي او العرقي Rib Meristems



ينشأ النمو الطولي كما ذكر من انقسام واستطالة البراعم الطرفية في السوق والأفرع وكذلك نتيجة النمو للمرستيم البيئي في منطقة القعد وبين السلاميات والذي يعتبر جزء من المرستيم القمي ، اما النمو القطري فينشأ من نمو المرستيمات الجانبية او من الكمبيوم الحزمي والذي يؤدي باستمرار الى تكوين الجديد من الخشب واللحاء والذي يؤدي الى النهاية الى زيادة قطر المحور .

كما يؤدي الكمبيوم الفليني الي تكوين نسيج أحادي الطبقات وهو الفلين وهي خلايا غير حية تتميز بوجود صفحات سوبرينية في جدر الخلايا فهي غير منفذة للماء تماما اما خلايا الفللوجين والتي توجد اسفل الفلين فهي خلايا حية متراصة بش من التفكك وتسمى مجموعة الفلين والفللوجين بالبريديرم او القلف.

تكشف الورقة والبرعم :



تنقسم القمة النامية ويعرض طرفاها في حالة النباتات متقابلة الاوراق او يعرض طرف واحد في حالة النباتات متقابلة الاوراق ويتفطح الجزء العريض ليكون نتوء ورقى في النباتات المتبادلة او نتوءان في النباتات متقابلة

الأوراق ثم يكبر هذا النتوء ليكون مبادئ خروج الأوراق **Leaf Primordium** ثم بعد ذلك يحدث تخصص وظيفي مع الانقسام حيث ينشأ عن تلك العمليتان أى الانقسام والتخصص أجزاء الورقة من نصل وعنق وأذنان وبراعم ابضية بعد ذلك وينشأ النصل من انقسام خلايا الصفيين من الخلايا المرستيمية للنتوءات تحت بشرية كل على احد جانبي اصل العرق الوسطى وبتتابع الانقسام تتكون الخلايا الإسفنجية والدعامية للورقة من الطبقة الثانية ثم العروق الوسطية والجانبية من الطبقة الثالثة ولا تظهر المسافات البينية حتى تصل الورقة الى ربع او ثلث حجمها النهائي . يقف انقسام البشرة أولا يليها فى الترتيب النسيج الوسكى الاسفنجى ثم الدعامى وقد تستمر انسجة العروق الجانبية فى التكوين لفترة طويلة بعد ثبات الانقسام .

ولفهم اكبر لتكون أعضاء النبات كالورقة التى نحن بصدها افترضت نظرية أخرى بعد نظرية الغطاء والجسم عرفت بنظرية الطبقات الثلاثة **Three Layer theory** وهى لا تختلف عن نظرية الغطاء والجسم **Tunica and Corpus theory** سوى انها تفترض ان طبقة الغطاء تتكون من طبقتين اما الجسم فيكون الطبقة الثالثة وهى تمثل الجزء الأكبر من جسم الساق حيث يتكون منها الأوعية الناقلة من خشب ولحاء وكذلك أنسجة النخاع وكذلك تمثل الطبقة الثالثة الجزء الأكبر من خلايا الجذور الدرنية وغير الدرنية مثل الاسبرجس والداليا والبطاطس والبطاطا وقصب السكر .

اما الأوراق فتنشأ نتيجة النمو السطحى فتتكون فى أغلبها من الطبقة الاولى والثانية اما الطبقة الثالثة تكون اقل أهمية فى تركيب الورقة وكذلك الأعضاء المشابهة للورقة مثل الأعضاء الزهرية والثرمية والبذور فلون الأزهار بالبتلات مسنول عنة الطبقة الاولى وكذلك لون الثمار اما لحم الثمار فمسنول عنة غالبا الطبقة الثانية اما البذور فتتكون من طبقة اثنين . وقد تم التعرف على ما سبق من علاقة الطبقات بنمو انسجة الأعضاء من دراسة توريث الصفات فوجد ان الطبقة الثانية هى التى تورث خواصها للنسل فهى المسنولة عن انتاج حبوب اللقاح والبويضات الزيجوت ومن ثم الجنين وكذلك نسيج النيويسيلة وذلك إذا ما تضاعفت تلك الطبقة بالكولشيسين واصبحت رباعية التضاعف فان صفات الخلايا الرباعية التضاعف تنتقل الى تلك الأعضاء سالفة الذكر وقد تم التأكد من ذلك من خلال الدراسات السيتوكيميرا والدراسات السيتولوجية للهجن الخضرية ، وإذا نظرنا تكوين الورقة نجد ان الطبقة الاولى تكون كل من سطحي الورقة السفلى والعلوى ويتكون كل منهما من صف او صفين من الخلايا تليها الطبقة الثانية وهى التى تحصر بينها الطبقة الثالثة فى الورقة والتى تشكل عند نضج الورقة الأنسجة الوعائية وبعض الأنسجة القليلة الأخرى ، اى ان طبقات الورقة إذا قمنا بعمل قطاع طولى بها تكون (١,٢,٣,٢,١) تظهر البراعم الابضية على اساس انها أفرع جانبية جنينية تنو فى أباط الأوراق وتظهر أول على شكل بروزات مرستيمية فى إبط الأوراق الجنينية ويغلف كل برعم أوراق حرشفية تسقط عند استئناف الساق فى النمو الطرفى .

ارتباطات النمو :

يتأثر نمو كل عضو في نبات ما بالعمليات الفسيولوجية او الظروف البيئية والبيوكيميائية الساندة في عضو من الأعضاء فالنمو الخضري يتعطل أثناء فترة النمو الثمري . كذلك يتأثر حجم المجموع الجذري بنشاط البناء الضوئي في الأوراق كما يتأثر التحول من البراعم الخضرية للبراعم الزهرية بعمليات حيوية تحدث في الأوراق كذلك العمليات الفسيولوجية التي تجرى في نسيج ما تؤثر على نسيج آخر ويرجع تأثير عضو على آخر او نسيج على آخر الى توزيع كميات الكربوهيدرات المتكونة في الأوراق على أجزاء النبات المختلفة وعند تواجد الثمار مثلاً ونتيجة احتوائها على البذور التي تكون مصدراً للهرمونات فإنها اي الهرمونات تعمل على جذب الكربوهيدرات اليها من خلال اليه تعرف بال sink source relationships فتقل كمية الكربوهيدرات التي تصل الى المجموع الجذري ونظراً لانخفاض الكمية الواردة للجذور فيقل استهلاك الكربوهيدرات في تنفس الجذور وبالتالي يقل الامتصاص النشط للأملاح المعدنية والتي تقل بدورها بالمجموع الخضري فيقل النمو كما تحتكر الثمار أيضاً لجميع المركبات النيتروجينية الموجودة بالنبات ولقد نتج عن نزع الثمار تضاعف كمية من الكربوهيدرات بالمجموع الجذري الى ثلاثة أضعاف وزيادة امتصاص الأملاح زيادة كبيرة .

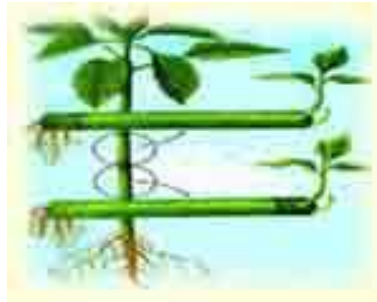
وتدل نتائج الأبحاث على ان نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري تزيد زيادة كبيرة ومطرودة بزيادة تركيز النترات في المحلول الأرضي ويفسر ذلك على انه في حالة وجود النترات في التربة بقلّة فإن معظم الممتص يستهلك في تخليق الأحماض الأمينية في الجذور وجدير بالذكر ان المجموع الجذري يقوم بتمثيل عدد من الأحماض الأمينية لا يكونها المجموع الخضري وتستخدم الأحماض الأمينية المتكونة في الجذر في تخليق البروتينات البروتوبلازمية اللازمة لنمو الجذور وفي نفس الوقت لا يقوم الجذر بتصدير شيء منه للمجموع الخضري او ينتقل منه القليل على هيئة نيتريت او أحماض أمينية وبالقدر الغير كافى لاحتياجات المجموع الخضري من تلك الأحماض فيقل نموها لقلّة الأنزيمات اللازمة للنمو كذلك تكون نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري منخفضة نسبياً ، وعند توفر النترات يستخدم جزء منه في الجذور ويتوفر قدر مناسب من النيتروجين الى الأجزاء الهوائية حيث تستخدم في تكوين بروتينات البروتوبلازم ويؤدي ذلك الى المزيد من استهلاك الكربوهيدرات والنتيجة نسبة مجموع خضري الى الجذري أعلى، كذلك نقص كمية الكربوهيدرات نتيجة نقص معدل التمثيل الضوئي او نتيجة الإصابة بالأمراض او الآفات يؤثر أيضاً على نسبة المجموع الخضري الى المجموع الجذري وكذلك النباتات النامية في الظل يكون نمو المجموع الخضري أعلى من المجموع الجذري ، وبعد التقليم يكون النمو الخضري أعلى وأقوى لاحتكار المجموع الخضري للكربوهيدرات والهرمونات المنبعثة من الجذور لحجم اقل من المجموع الخضري مما يعمل على دفع النموات للنمو بمعدل سريع واستهلاك معظم الكربوهيدرات في تكوين الجديد من الخلايا ، وعند توفر الماء الأرضي والتهوية الجيدة يزيد المجموع الخضري الى الجذري نظراً لان توفر الماء يعمل على اكتمال انتفاخ الخلايا التي تساعد على الانقسام والاستطالة وبالتالي استهلاك الكربوهيدرات على حساب الكربوهيدرات المتوفرة للجذور وبالتالي تزيد نسبة المجموع الخضري كذلك فتوفر الأكسجين في التربة يزيد تنفس الجذور وزيادة نشاط الجذر الامتصاصي والذي ينعكس أثره على المجموع الخضري ويأتي ضعف المجموع الجذري نتيجة ضعف تهوية التربة نتيجة الرطوبة الزائدة.

السيادة القمية :

يحدث ان تنمو بعض النباتات العشبية وبعض النباتات الخشبية عند قمة المحور الرئيسى للساق او الأفرع الرئيسية ورغم وجود برعم جانبي فى إبط كل ورقة فإن الفروع الجانبية لا تنمو ما دام البرعم الطرفى محتفظا بقوته ومستمر فى النمو ، فإذا ما أضرى او تم إزالته فالنمو يبدأ فى الحال من البراعم الجانبية معطية الاوراق او الأفرع او الأزهار . وهذا التأثير المثبط للبرعم الطرفى على نمو البراعم الجانبية هو ما يسمى بالسيادة القمية ، ويقل تأثير السيادة القمية هذه كلما زادت المسافة بين البرعم الجانبي وقمة الساق او البرعم الطرفى ويبدو ان ذلك التأثير راجع الى تأثير الأوكسين الذى يتكون فى ذلك البرعم الطرفى والأوراق الحديثة النمو المحيطة به والذى ينتقل منها الى البراعم الجانبية ليرفع محتواها الاوكسينى فيصل الى التركيز المثبط للنمو مما يجعلها تستقبل كميات قليلة من نواتج الايض والتمثيل الغذائى مقارنة بالبراعم النشطة . وهناك رأى آخر وهو ان الهرمونات الساقية المعروفة بالكولوكالين تنجذب الى المناطق التى يبلغ تخليق الأوكسين فيها اقصى الى الأجزاء الطرفية ويقل تركيزها بالطبع فى المناطق السفلى والتى بدورها تكون غير كافية لبدء البراعم الجانبية فى النمو ، وقد يرجع البعض السيادة القمية الى زيادة الأوكسين بالبراعم وفى نفس الوقت قلة السيوتوكينين فعند اضافة السيوتوكينينات خارجيا أمكن إلغاء السيادة الكمية ويبدو ان العلاقة التضادية بين الأوكسين والسيوتوكينين هى المسؤولة عن السيادة القمية

الاستقطاب :

كثير من ارتباطات النمو تكون قطبية بمعنى ان طرفى المحور النامي يتخذان طريقتين مختلفتين تماما فى نوع العضو المتكشف او فى مسالك التطور ، فالجذور تنمو عادة فى الجزء القاعى مورفولوجيا بينما تنمو النموات الخضرية الساقية فى الجزء القمى مورفولوجيا على المحور النامى . وقد وجد ان كثير من ظواهر الاستقطاب ترجع الى الانتقال القطبى للهرمونات خاصة الأوكسين ويبدو ان الانتقال مرتبط بطراز أساسى فى تنظيم البروتوبلازم ولا يمكن تغييره بسهولة.



يوجد بالنبات بالإضافة الى الاستقطاب المورفولوجى استقطابا فى توزيع المواد واستقطاب كهربى أيضا ويبدو ان كل خلية بالنبات لها استقطاب كهربى وتعمل كبطارية دقيقة والجهود الكهربائية فى الأنسجة هى فى الواقع مجموع تأثيرات الجهود الكهربائية للخلايا الفردية والتى تعمل معا على التوالى او التوازى ولعل اختلاف الخلايا فى قدرتها على التكشف يرجع الى اختلاف الجهد الكهربى فيما بينها وكنتيجة للاختلافات فى الجهد الكهربى فى جزء من النبات لآخر تسيل تيارات كهربية باستمرار عبر دوائر معينة فى النبات وهى التى تعمل كآلية للترابط.

قاد الاستقطاب بين نهايتى المحور سواء للعضو او حتى على مستوى الخلية الى اختلاف كل قطب على ما يتعرض له من شدة إضاءة او لاختلاف درجة pH ونسبة ثائى أكسيد الكربون والأكسجين . وقد يفسر الاختلافات الفسيولوجية لقطبى المحور على ان نواتج عمليات التمثيل تنتقل من أعلى الى اسفل وبالتالي لابد ان يكون هناك تدرج فى تركيزات المواد فى اتجاه الحركة فعند اخذ نمو جذرى لنبات *Cichorium* وتقسيمة الى عدة أجزاء سلك كل جزء منفردا بشك يوحى بالقطبية فكون على الجزء العلوى منه مجموعا خضرىا وعلى الجزء السفلى مجموعا جذريا رغم تقارب الأنسجة القمية عند الانفصال للجزء الوسطى مع الأنسجة القاعدية للجزء الأول ، وعليه فهناك اعتقاد ان كل خلية من خلايا النبات داخل النسيج لها قطبية خاصة بها هى التى توجه سلوكها وترجع الى توزيع المحتويات السيوتوبلازمية والشبكة الاندوبلازمية وتوزيع الأنزيمات داخل الجدار الخلوى بشك قطبى اى ان قطبى الخلية مختلفان لذلك فهى تتصرف بشكل بة قطبية على المستوى الخلوى ثم مجتمعة مع الخلايا الأخرى على

مستوى النسيج ثم مع الأنسجة المختلفة داخل العضو الواحد.

دور الهرمونات في النمو الخضرى

تلعب الهرمونات دورا هاما في النمو الخضرى للنبات من خلال تأثيرها على عمليتي الانقسام والاستطالة السابقة الذكر ، فنجد ان ألاوكسينات تؤدي الى زيادة النمو لان كمية الأوكسين الموجودة في القمة الطرفية والسوق لاى نبات ذات علاقة موجبة بمعدل النمو الطبيعي لة فعلى سبيل المثال السلامية الاولى القريبة من القمة النامية تكون أطول من مثيلاتها الأبعد من القمة وتقل في الطول كلما ابتعدنا عن القمة ولقد ثبت ان الأوكسين ليس هو الوحيد المسئول عن نمو الساق واستطالتها لكن يشاركه الجبريلينات وهرمونات أخرى ، كما أشارت الدراسات ان الاستطالة الخلوية لا تحدث الا في وجود تركيزات منخفضة من الأوكسين فالتركيز المرتفع يعمل على تثبيط النمو كما وجد ان الأوكسين اللازم لنمو ونشاط الأعضاء الهوائية للنبات لا يصلح لنمو وتنشيط المجموع الجذرى كما ان التركيزات المثلى من الأوكسين اللازمة لنمو المجموع الخضرى تكون مرتفعة عن التركيزات المثلى لنمو المجموع الجذرى لنفس النبات .

ظهور سلالات من النباتات القصيرة السيقان ذات سلاميات متقزمة يرجع الى وجود نظام إنزيمي معقد داخل أنسجة تلك السوق النباتية تحتوى على بعض الأنزيمات المؤكسدة للاوكسينات خاصة أنزيم اندول حمض الخليك اوكسيديز المتخصص في هدم اندول حمض الخليك وتحويله الى ثانى أكسيد الكربون والأكسجين واندول الالدهيد الغير فعال بيولوجيا . بالإضافة الى أنزيم Peroxidase الحامل للحديد، وقد يرجع التقزم او بطئ النمو الخضرى لنقص او تثبيط عمل ألاوكسينات نتيجة توفر نواتج الايض الغذائية التى تؤدي عند اتحادها مع IAA الى تثبيطه مثل

توفر سكر الارابينوز الذى يتحد مع IAA ليكون اندول حمض الخليك الارابينوزى وكذلك توفر الحمض الامينى الاسبارتيك فيتكون اندول حمض الخليك الببتيدي IAA - Aspartate كذلك توفر الاسترات فيتكون مركب اندول ايثيل استرات Indol ethyl acetate وكذلك فالأصناف والسلالات النباتية طويلة الساق تحتوى على أنظمة أنزيمية تتحكم فى استطالتها حيث تمنع نشاط الأنزيمات المؤكسدة والمحللة لهرمونات النمو مثل ألا وكسين ، كما تحتوى على تركيزات عالية نسبيا من المركبات العضوية الفينولية مثل حمض الكافيك وحمض الكلوروجينيك والتي تعمل على إيقاف النشاط الأنزيمي المؤكسد المشار إليه والتي تتركز فى المجموع الخضرى ذو السيقان الطويلة.

وهناك تأثير آخر للاوكسينات على صلابة جدر الخلايا حيث يعمل الاوكسين على إزالة بكتات الكالسيوم والأيونات المعدنية المسنولة عن الصلابة كما يؤثر على بعض المركبات العضوية ويؤدى الى تحللها مثل البكتين والهيموسليولوز والتي توجد كمادة لاصقة بين الخلايا ، وقد ترجع استطالة الخلايا بفعل الاوكسين أيضا حيث دورة فى زيادة نفاذية الأغشية خاصة طبقة الفسفوليبيدات مما يؤدى الى زيادة انتشار المواد العضوية وأيونات الأيدروجين والمعادن الأخرى مما يرفع الضغط الاسموزي للخلايا وبالتالي زيادة امتصاص الماء والغذاء من الخلايا المجاورة وفى النهاية رفع ضغط الامتلاء مما يؤدى الى استطالة الخلايا وزيادة حجمها وزيادة نموها الغير عكسى كما وجد ان زيادة سمك السوق للنباتات ذات الفلقتين ترجع أساسا الى النمو العرضى نتيجة نشاط الكامبيوم الوعائى والمسمى بالنمو الثانوى والمسؤول عنه وجود الأوكسين فى خلاياه، ومهمة هذا النمو هو تكوين الخشب الثانوى للداخل واللحاء للخارج وعند قطع القمم الطرفية وهى مصدر الأوكسين بالنبات يفشل الكامبيوم الحلقى فى تكوين النمو الثانوى وبإضافة الأوكسين الى ساق هذا النبات منزوع القمم الطرفية يستأنف النمو العرضى وتزداد السوق فى السمك.

أما عن دور الجبرلين فنجد ان له دور فى نمو الجذير لاسفل والريشة لاعلا عند إنبات الذرة حيث يعمل على زيادة الأنزيمات المحللة للمواد الغذائية فى اندوسبرم البذرة ويؤدى زيادة تركيزه فى السويقة الجنينية العليا الى سرعة انقسامها وحملها الريشة والقيام بالإنبات الأرضي والعكس صحيح بالنسبة للإنبات الهوائى فنجد التركيز العالى للجبرلين فى السويقة الجنينية السفلى أعلى منه فى العليا مما يعمل على سرعة انقسامها فتأخذ السويقة الجنينية العليا والفلقات والريشة والصعود بها الى أعلى سطح التربة والقيام بالإنبات الهوائى بينما نجد فى النباتات الحولية ان معدل نمو السلاميات العلوية يكون مرتفعا او اكثر طولا من مثيلاتها القاعدية نتيجة ارتفاع محتواها من الجبرلين ، وبذلك نرى ان دورة يكون من خلال دفعه لزيادة حجم الخلايا واستطالة المجموع الخضرى .

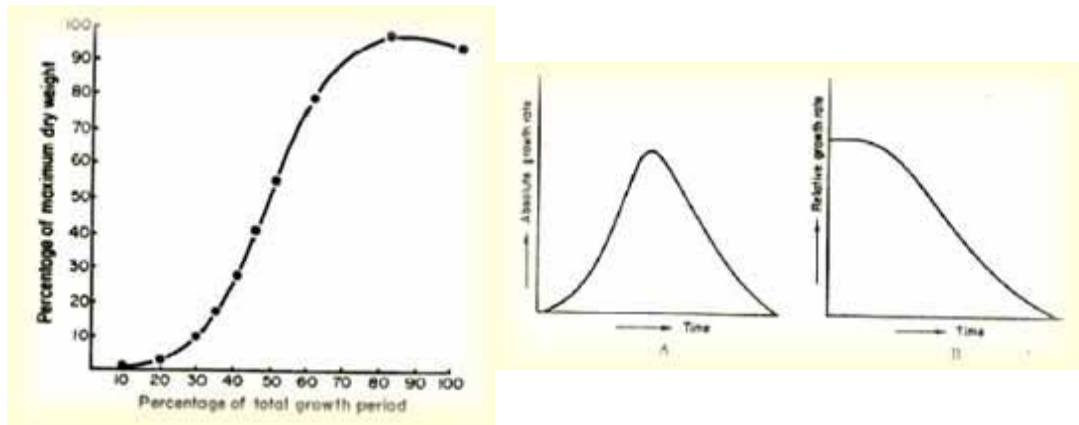
أما عن دور الاثيلين فى تنظيم نمو الأوراق فنجد انه إذا زاد مستواه فإنه يعيق النمو ويثبطه فعلاقة الاثيلين بالنمو الخضرى علاقة عكسية فزيادة تركيزه يؤدى الى التقزم ويلاحظ ان التأثير المثبط على النمو الخضرى خاصة نمو الساق يكون كبيرا فى الظلام عنه فى الضوء .

قياسات النمو الخضرى

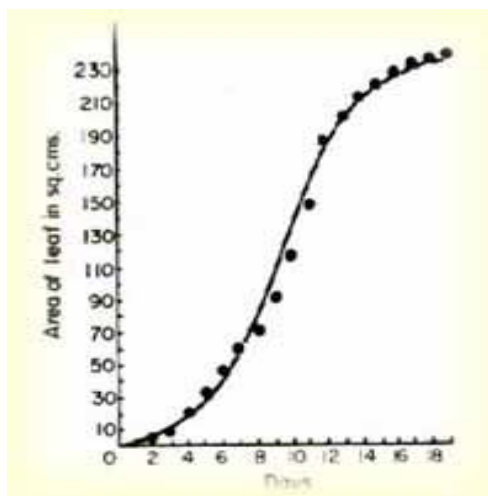
أما عن دور الجبرلين فنجد ان له دور فى نمو الجذير لاسفل والريشة لاعلا عند إنبات الذرة حيث يعمل على زيادة الأنزيمات المحللة للمواد الغذائية فى اندوسبرم البذرة ويؤدى زيادة تركيزه فى السويقة الجنينية العليا الى سرعة انقسامها وحملها الريشة والقيام بالإنبات الأرضي والعكس صحيح بالنسبة للإنبات الهوائى فنجد التركيز العالى للجبرلين فى السويقة الجنينية السفلى أعلى منه فى العليا مما يعمل على سرعة انقسامها فتأخذ السويقة الجنينية العليا والفلقات والريشة والصعود بها الى أعلى سطح التربة والقيام بالإنبات الهوائى بينما نجد فى النباتات الحولية ان معدل نمو السلاميات العلوية يكون مرتفعا او اكثر طولا من مثيلاتها القاعدية نتيجة ارتفاع محتواها من الجبرلين ، وبذلك نرى ان دورة يكون من خلال دفعه لزيادة حجم الخلايا واستطالة المجموع الخضرى

اليوم	الطول / سم	معدل الزيادة اليومية
الساعة الأولى الزمن 0.0	١	٠.٠
١	2.8	١.٨
2	6.5	٣.٧
3	24	١٧.٥
4	40.5	16.5
5	57.5	17
6	٧٢	١٤.٥
7	٧٩	٧
8	٧٩	٠.٠

جدول ١: يوضح علاقة الزمن بالنمو الطولي ومعدل الزيادة اليومية والذي يمكن من بياناته رسم كل من منحنى النمو ومنحنى معدل النمو.



هذا النمو لا يقتصر على الأعضاء فقط بل ينطبق على النمو الكامل للنبات كما نرى في المنحنى التالى الذى يعبر عن علاقة الزمن بنمو المساحة الورقية لنبات الخيار .



اليوم	مساحة ورقة الخيار سم ^٢
2	6
4	٨
6	32
8	75
10	90
12	١٤٠
14	١٨٠
16	210
١٨	230

ويمكن استنتاج النتيجة هذه من المعادلة التالية $W = W_o e^{rt}$ حيث W وزن النبات فى الزمن

W_0 = الوزن الابتدائي
 e = ثابت مقداره ٢.٧١٨٢
 r = نسبة معدل الزيادة
 ويمكن استخدام صورة أبسط للمعادلة السابقة بأستعمال تلك المعادلة

$$\text{Log } W = \text{Log } W_0 + rt \text{ Log } e$$

معدلات النمو

تعبر عن المعدلات المطلقة للنمو بزيادة ارتفاع السوق أو قياسا الزيادة في الوزن الرطب والوزن الجاف لبعض الثمار. ويختلف معدل النمو الطولي اختلافاً كبيراً بين الأنواع المختلفة للنباتات وكذلك بين أفراد النوع الواحد تحت الظروف البيئية المختلفة. فقد تنمو السوق الصغيرة لنبات الحيزران بمعدل يصل لقدمين في الأربع وعشرين ساعة وقد يصل معدل زيادة طول ساق الاسبرجس الي قدم واحد في نفس الفترة وقد يزداد طول عنق زهرة نبات الصبار الأمريكي بمعدل ٦ يوصه في اليوم وتحت الظروف الملائمة للنمو تضيق نباتات الذرة الي قوامها اطوالاً محسوسة في ليلة واحدة. ويمكن قياس معدل النمو في قمة الساق أو الجذور بطريقة بسيطة هي عمل خطوط عرضية علي العضو بفصلها عن بعضها مسافات متساوية ونوضع هذه العلامات بالجير الصيني ويعين معدل النمو بملاحظة وضع العلامات بعد فترة محددة من الزمن.



ويمكن قياس معدل زيادة سطح الورقة برسم خطوط متقاطعة علي الورق وقياس مساحة المربعات الناتجة كل فترة معينة وهذه الطريقة تشير الي أجزاء العضو الذي يتم التكبير فيها بمعدل أسرع من الأخرى. وحديث يمكن قياس معدل النمو بمتابعة النمو بأستخدام كاميرا للفيديو متصلة بالكمبيوتر واخذ صورة يمكن قياس أبعادها كمبيوتريا وقياس معدل النمو من خلالها

يعبر العلماء عن النمو بطرق مختلفة تعرف بمعادلات النمو Growth Formulas أو دلائل النمو Growth Parameters واهم تلك الدلائل :

المحصول البيولوجي : Biological Yield

هو الوزن الجاف لكل الأعضاء النباتية وهو ناتج من المحصلة النهائية لعمليات البناء الضوئي والتنفس وامتصاص الماء والعناصر الغذائية وقد يهمل المجموع الجذري لصعوبة تقديره بدقة .

الوزن الجاف Dry weight:

الوزن الجاف لكل الأعضاء النباتية المتراكمة خلال فترة زمنية محددة (الفترة الزمنية قد تكون يوما أو أسبوعا) ويرمز لها W أي التغير في الوزن الجاف في مدة معينة (يعبر عنه بالجرام / يوم أو جرام / أسبوع أو جرام / موسم) ويمكن التعبير عنها بالسعرات الحرارية.

$$\Delta w = \Delta w \times 4000 \text{ سعر حراري يومي}$$

وذلك لأن كل جرام وزن جاف يعادل ٤٠٠٠ سعر حراري

كفاءة استخدام الضوء في التمثيل الضوئي (Eu) Efficiency of Utilization :

$$EU = \frac{\text{صافي الطاقة الشمسية التي تثبت البناء الضوئي}}{\text{الطاقة التي استقبلها النبات}} = \frac{4000 \times W}{S - St}$$

$$= \frac{\text{معدل لتغير في الوزن الجاف}}{\text{الطاقة الشمسية الكلية} - \text{الطاقة الشمسية النافذة}}$$

$$= \frac{W \times 4000}{\Delta W \times 4000} = \frac{\Delta W \times 4000}{(100 \times S - E I) \times \text{الطاقة الشمسية الكلية}}$$

حيث

S = الطاقة الشمسية الكلية

St = الطاقة الشمسية النافذة

E I = كفاءة اعتراض الضوء الساقط

$$\text{Efficiency of interception} = \frac{S - St}{S} \times 100$$

كفاءة التحويل : Efficiency of Conversion

وتقدر من المعادلة التالية :

$$EC = \Delta \frac{W \times 4000}{S} = E I \times EU$$

وهي بمثابة معدل النمو المحصولي Crop growth rate

المساحة الورقية الكلية : Area Total Leaf

وهو محصلة ضرب عدد الأوراق الكلية بالنبات في متوسط مساحة الورقة وهو مقياس لقدرة النبات على البناء الضوئي ولو ان الأجزاء الخضرية الأخرى في النبات مثل السيقان الخضراء التي تحتوى على الكلوروفيل يمكنها أيضا التمثيل الضوئي ولكن لا تؤخذ في الحسبان . ويعتقد البعض ان أعماد الأوراق ونورات الحبوب أيضا لها القدرة على التمثيل الضوئي وقد يبلغ ٥٠% من قدرة أنصال الأوراق الشريطية للنباتات الحبوب ولكن نظرا لصعوبة تقدير مساحتها فهي أيضا تهمل ويكتفى بتقدير المساحة الورقية الكلية.

الوزن النوعي للورقة Specific Leaf Weight

هو الوزن الجاف لوحدة المساحة من الورقة وتقدر بالسم²/ جرام cm² g⁻¹ وهي تعكس سمك الورقة حيث تزداد كفاءة الورقة في القيام بالتمثيل الغذائي والضوئي بزيادة سمك الورقة .

$$SLW = \frac{\text{متوسط مساحة الورقة}}{\text{متوسط وزن الورقة}} = \dots \text{جرام / سم}^2$$

دليل مساحة الورقة: (Index(LAI Leaf Area)

هو مساحة المسطح الورقي بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض التي يشغلها النبات وهو كالتالي :

$$\text{دليل مساحة الورقة} = \frac{\text{مساحة أوراق النبات الكلية}}{\text{مساحة الأرض التي يشغلها النبات}}$$

ويقدر دليل مساحة الورقة خلال فترة زمنية معينة من المعادلة التالية :

$$LAI = \frac{F_2 - F_1}{\log F_2 - \log F_1}$$

حيث F_1 ، F_2 هي دليل مساحة الورقة في أول ونهاية الفترة الزمنية فإذا كانت قيمة دليل الورقة ٤.٠ مثلا كان ذلك دليلا على ان إجمالي مساحة المسطح الورقي للنبات يبلغ أربع أمثال مساحة الأرض التي يشغلها والقيمة المثلثي لدليل مساحة الورقة هي التي يحدث عندها أقصى تراكم للمادة الجافة (تتراوح بين ٢.٥ - ٥) ويقل تراكم المادة الجافة بانحراف قيمة دليل مساحة الورقة عن القيمة المثلثي سواء بالزيادة او النقصان . ففي الحالة التي يقل فيها الدليل عن الحد الأمثل يقل تراكم إنتاج المادة الجافة وتصبح الأوراق السفلى تستهلك من الغذاء أثناء تنفسها اكبر من تلك التي تصنعها ، وعندما يزيد دليل مساحة الورقة عن القيمة المثلثي تصبح الأوراق السفلى مظلمة ويتبع ذلك نقص في الكفاءة التمثيلية، وتزداد الفائدة من دليل مساحة الورقة في المحاصيل الخضرية الورقية حيث يتم جمع النبات عندما يصل دليل مساحة الورقة للحد المثالي وليس قبل ذلك .

معدل النمو النسبي: (RGR) Rate Relative Growth

هو الوزن الجاف المتراكم للنبات لكل وحدة من الوزن الأصلي خلال وحدة زمنية معينة

$$RGR = \Delta \frac{W}{W \times \text{time}} = \log W_2 - \log W_1 / t_2 - t_1$$

حيث W الوزن الجاف في الزمن الأول t_1 ، W_2 الوزن الجاف في الزمن الثاني t_2 ويمكن الاستدلال على معدل النمو النسبي باستخدام مقياس آخر مثل طول النبات

الكفاءة التمثيلية : Net Assimilation Rate

هي الوزن الجاف المتراكم لكل وحدة مساحة ورقية في وحدة الزمن وهي ليست مقياس دقيق لمدى كفاءة عملية البناء الضوئي ولكنها مقياس للزيادة في الوزن الجاف للنبات والتي هي محصلة للفرق بين البناء الضوئي والتنفس

التحكم او تنظيم النمو والتكشف

The Control or Regulation of Growth and Differentiation (Plant Phenology)

-التكشف على مستوى الخلية والنسيج والنبات
-التكشف البيوكيميائي
-نوع التنظيم داخل الخلية

قبل أن ننوّه على موضوع التحكم او تنظيم عملية النمو والتكشف في النبات يجب أن ننوّه الى الآتي :-

Differentiation : هو التشكل أو التميز وهو عبارة عن التغيرات التي تؤدي في النهاية لتكوين تركيبات مختلفة أو متميزة ولا يعتبر هذا نمواً ولكن ملازم له. كما في تشكل الخلايا المرستيمية حيث تنمو زوائد صغيرة من المرستيم المحور في ترتيب سوارى منتظم وهذه الزوائد هي التي يتكون فيها اجزاء الزهرة بطريقة تشبه تكوين الأوراق وبذلك يقال أن البرعم تكون وان الـ Determination قد حدث .

Development : هو الكشف أو محصلة التأثير الكلى الناتج عن التميز والنمو في تسلسل محدد أو هو التغير في الشكل والتخصص والانتقال من مرحلة الى أخرى .

Canalization of development هو دخول خليتين أو مجموعة من الخلايا في قنوات التطور والتكشف غير رجعية وفيها يكون أمام الخلايا المنقسمة عدة مسالك alternative pathway للتطور تنتج من الانقسام الغير متساوي للسيتوبلازم . فالزيتوت تتكشف خلاياه أما الى ساق أو جذر أما الساق فتتكشف خلاياه الى أعضاء مختلفة ساق أو أوراق وبراعم و أزهار ، وبداخل كل عضو يحدث تخليق لأنسجة مختلفة وبداخل كل نسيج يحدث تخليق لخلايا.

Determination in plant : هو تحديد شكل العضو وهي مرحلة تالية للتمييز فعندما يصل العضو مثل leaf primordium الى مرحلة متقدمة لا يمكن أن يرجع ليكون نسيج آخر anther structure يقال أنه حدث له تحديد determined

Induction : وهو الحث حيث أن كثير من العمليات الفسيولوجية تبدأ بمرحلة حث مثل الحث الزهري flower induction وهي تسبق التخليق أو التميز الزهري وهو تميز فسيولوجية غير مرئية يتعلق بالظروف الايضية داخل المرستيم . تلى تلك المرحلة

Initiation : وهو أول تغير ميكروسكوبي يحدث عند تحول المرستيم الخضرى الى مرستيم زهرى وهو تغير يشمل شكل المرستيم إذ يبدو كما لو كان قد تعطل في الجزء المركزي حتى يصبح مفلطحاً عند قمته بدلا من شكله المخروطي ثم يلي ذلك مرحلة

التكشف على مستوى الخلية والنسيج والنبات :-

يحدث الكشف ابتداء من الزيجوت حيث ينمو قطبيا متأثرا بالعوامل البيئية مثل الضوء كماً وكثافة ، كمية الاكسجين المتاحة لكل خلية أو نسيج ، كمية الماء المتاحة ، ضغط الخلايا المجاورة ، كمية الغذاء العضوي والمعدني المتاحة بالخلية نتيجة توزيع السيتوبلازم الغير متساوي ، الجاذبية الأرضية ، درجة pH الخلية ، اختلاف الجهد الكهربى غير الخلايا المختلفة واخيراً كمية ونوع الهرمونات المتمركزة بالخلايا نتيجة توزيع السيتوبلازم الغير متساوي . فتتقسم خلايا الزيجوت الى عدد كبير لتكوين الجنين كل خلية من الخلايا المتكاثرة تحتوى على نفس التركيب الوراثي لخلية الزيجوت الأم ولكن بالرغم من ذلك فالخلايا الناتجة تتميز الى أنسجة (جذور وسيقان) .

أما الكشف على مستوى الأنسجة والنبات فتظهر جلياً في النباتات الخشبية حتى تتميز الى طورين هي Juvenile ، Adult تمتاز الأولى بعدم مقدرة النباتات على الإزهار ولكن ليس الإزهار هو الفرق الوحيد بين الطورين فحسب بل هناك فروق أخرى تؤثر في الحد من الصفات الحضرية وكذلك فروق تشريحية بين قمم الفروع في كلا من الطورين حيث يتميز طور البلوغ بوجود مساحة مرستيمية اصغر من تلك الموجودة في طور البادرة .

مما تقدم يظهر السؤال القائل ما هي العوامل التي تؤدي الى الكشف وظهور الظواهر الفسيولوجية المختلفة ولماذا تتكشف خلية معينة لتصبح خلية وعاء خشب وأخرى لتصبح خلية مرافقة بالرغم من أن الخليتين لهما نفس التركيب الوراثي ولماذا تتكشف مجموعة من الخلايا المرستيمية لتعطي فرع خضرى وأخرى لتعطي زهرة وهو ما يعرف ال Morphogenesis ويبدو أن هناك عوامل كثيرة تتضافر تؤدي الى التحديد والتكشف .

التكشف البيوكيميائي

هناك مظاهر كثيرة تختص بالتكشف البيوكيميائي مثل الاختلافات بين الأنسجة في مقدرتها على إنتاج الأنزيمات والأحماض الأمينية والفيتامينات والقلويدات وتخزين المواد الغذائية هذه الاختلافات في مقدرة الخلايا على إنتاج أو عدم إنتاج تلك المواد يعنى بالضرورة تنشيط جينات معينة أو قمعها وقد وجدت كثير من الأدلة على اختلافات الخلايا في مقدرتها على التمثيل الحيوي مثل امتصاص الجذور في تمثيل بعض الأحماض الأمينية مثل حمض الجلوتاميك وحمض الاسبارتيك بينما الأوراق تمثل أحماض الارجنين وحمض الفالين والتريبتوفان كما أن القلويدات تمثل في الجذور ولا تمثل في الأوراق وتنتقل من الجذور لتخزن في الأوراق كما في نبات ألا تروبا . كذلك بعض الهرمونات تتكون في الجذور مثل السيتوكينين والجبرلين ثم تنتقل الى الأوراق في حين ألا كسين يمثل في القمم النامية للفروع والأوراق الحديثة كذلك نجد عند زراعة قمم الجذر In Vitro نجدها تحتاج بالضرورة الى فيتامين الثيامين والبيرودكسين وحمض النيكوتين في بيئتها للحصول على نبات كامل هذا يعنى ان تلك الفيتامينات لا تمثل في البذور بل تمثل في الأوراق والأفرع ثم تنتقل للجذور حتى يمكنها النمو بدليل عدم قدرة الجذور المفصولة على النمو بدون إضافتها للبيئة الغذائية .

مما تقدم يعنى أن الأعضاء المختلفة تختلف في قدرتها على التمثيل الصوى الكيميائي وهذا دليل على أن بعض الجينات تكون في حالة قمع on Turing والبعض الآخر في حالة نشاط Turing off وهذا يؤدي إلى ذلك الاختلاف وهو ما يعرف بنظام genes on and off Switching

نوع التنظيم داخل الخلية Type of regulation in plant

اتفق الفسيولوجيون منذ ١٩٠٣ على أن النمو والتكشاف وبمعنى اشمل جميع المراحل الفسيولوجية للنبات ما هي إلا ناتج سلسلة من التفاعلات الحيوية والتي تتأثر بعدد من العوامل الداخلية والخارجية ويكون تنظيمها عن طريق تنظيم عمليات التمثيل الحيوي ويمكن تلخيص طرز التنظيم كما يلي

أ-التنظيم بتأثير العوامل الداخلية

١-تنظيم نشاط الجين

٢- تنظيم نشاط الأنزيم

٣- التنظيم بواسطة الهرمونات الداخلية

ب-التنظيم بتأثير العوامل الخارجية

١- درجة الحرارة

٢- الضوء ونظام الفيتو كروم

أولاً: التنظيم بتأثير العوامل الداخلية

١- تنظيم نشاط الجين

يشمل تنظيم نشاط الجين تنظيم كل من عمليتي النسخ وعملية الترجمة لان تلك العملتين متتبعتان في تسلسل يؤدي في النهاية الى تكوين الببتيد العديد والبروتين أو بمعنى آخر بروتين الإنزيم ففي سنة ١٩٦١ أعلن Monod&Jacob اقتراحهم حول تنظيم عملية النسخ والتي عرفت فيما بعد بنموذج Jacob&Monod وتبعاً لهذا الاقتراح فقد قسمت الجينات الى ثلاث أنواع وهى :

١- Regulator Genes وهى الجينات المنظمة لعمل عديد من الجينات الأخرى والتي يطلق عليها اسم الجينات العاملة

٢- Operator Genes وهى الجينات العاملة التي تقوم بدور عامل التليفون وهى التي تتحكم في فتح وغلق عدد كبير من الجينات الأخرى التي يطلق عليها StStructural Genes

٣- Structural Genes وهى الجينات المسنولة عن التركيب الخاص بالبروتينات أو بروتين الإنزيم ولقد افترض تنظيم نشاط الجين يكون عن طريق Regulator Genes والذي يتحكم في Genes Regulator الذي بدوره يقوم بفتح أو قفل عدد من Structural Genes المسنولة عن إنتاج أنزيمات معينة تؤدي تفاعلات بيوكيميائية في سلسلة ينتج عنها في النهاية ظاهرة فسيولوجية معينة . ويتم ذلك بأن يقوم ال Regulator Gene بإفراز مثبط لعمل Operator Genes ويطلق على هذا المثبط اسم القامع أو الكابح وقد اقترح Gelbert 1967 أن عديد من هذه Repressor هي عبارة عن بروتينات تقوم بمنع الجين العامل وبالتالي لا تؤدي وظيفتها كما اقترح Monod&Jacob أن الكابح يمكن تثبيطة بمادة ذات وزن جزيء منخفض أطلق عليها effector والتي تلغى قدرة الكابح على العمل وبالتالي يصبح Operator Genes حراً تاركا ال Genes Structural قدرة على العمل من خلال إصدارها الأوامر الخاصة بتكوين البروتين وهى mRNA وبالتالي لإنتاج إنزيمات متخصصة لاتمام تفاعلات معينة وظهور ظاهرة فسيولوجية أو صفة أو تميز خلوي أو تكشف خلايا أو أنسجة معينة

هناك عدة اقتراحات لطبيعة عمل ال Effector أول تلك الاقتراحات هي :

أ- induction Substrate وفيها يفترض أن مادة التفاعل هي التي تقوم بدور ال Effector حيث ان القامع يتكون باستمرار الى أن يتوافر تركيز معين من مادة التفاعل فتقوم بالتأثير على القامع فتغير تركيبة الجزيئي وبذلك يصبح غير قادر على التأثير على (Operator gene) steric configuration وبالتالي تتمكن Structural genes في إرسال mRNA وتكوين الأنزيمات الخاصة بالعمل على مادة التفاعل Substrate وبذلك تكون مادة التفاعل هي المحفزة على إنتاج الأنزيمات بطريقة غير مباشرة

ب- product repression End في هذا الافتراض أن الكابح أو القامع الذي ينتج regulator gene يكون غير نشط في بادئ الأمر وبالتالي لا يستطيع أن يقوم بعملية inactive يسمح ال Operator لل Structural بالعمل في إفراز mRNA وإنتاج الأنزيمات التي تعمل على أداء تفاعلات معينة يكون من نواتجها مواد " End product" تعمل على تنشيط القامع لاداء عمله وإيقاف إنتاج الإنزيمات وإيقاف التفاعل بالتالي . ونواتج التفاعلات هذه تكون ذات أوزان جزيئية منخفضة فهي التي تقوم بدور Effector في هذه الحالة.

ج- Repression by Histones هذه النظرية تفترض أن البروتين القاعدي المعروف بالهستون والذي يحتوي على نسبة كبيرة في تركيبه على الحمض الأميني الأرجينين والليسين" والموجود بالكروموسومات يعمل كمادة مثبطة لفصل المادة الوراثية إذا ما اتحد بها وبذلك ينظم فعلها من المراحل الجينية وحتى الموت.

وهناك تجربة مثيرة تشير إلى أن الهستون هو المنظم لنشاط الجين وذلك من خلال استخدام نظام Cell free system وفي هذا النظام يتم عزل إحدى عضويات الخلية مثل الكلوروبلاست أو الريبوسومات أو الميتاكوندريا المراد دراسة ما بها من التفاعلات ويضاف إليها الأنزيمات الضرورية ومعاونات الأنزيمات ومواد التفاعل لاختبار سير التفاعلات بها" .

في هذه التجربة ولدراسة تحكم البروتين الهستوني في عملية النسخ والترجمة في النباتات البقولية والتي تقوم بتخزين Globulin في فلقاتها مثل البسلة . تم استخدام نظام cell free system وذلك بعزل كروماتين من البزاعم الجانبية ومن الفلقات "الكروماتين يحتوي على DNA الخاص بالمعلومات الوراثية الخاصة بإنتاج الجلوبولين بالإضافة إلى البروتين الهستوني" ويضاف إليه كل المكونات المطلوبة لتكوين mRNA وأنزيمات الخاصة بعملية تكوينه مثل أنزيم RNA polymerize وكذلك الريبوسومات المسنولة عن عملية الترجمة وتستخدم بكتريا E. Coli كمصدر لتلك المركبات كذلك يشمل cell free system الأحماض الأمينية جميعها وعادة يضاف الليسين المعلم leucine c14 لأنه يدخل في تركيب البروتين القاعدي المعروف بالهستون لاختبار مكان وجوده. ثم يحضن هذا النظام ويختبر بعد ذلك تكوين Globulin من عدمه .

وقد وجد أنه عند استخدام كروماتين من البراعم الجانبية لم ينتج عنها تكون Globulin. أما الكروماتين المعزول من الفلقات فقد أمكن بواسطة إنتاج Globulin من خلال نظام system cell free وذلك لاحتواء الأول علي الهستون وخلو الثاني منه وعند فصل DNA عن البروتين الهستوني من كل من نوعي الكروماتين أمكن تخليق Globulin في نظام Cell free system .

ولقد وجد من الدراسات المتقدمة إن كمية الهستونات تتغير مع تغيير طور النبات وأثناء الانقسامات الميوزيه للخلايا وأثناء تكوين حبوب اللقاح وتطور الأزهار فقد أختفي الهستون من تلك الأعضاء لذلك وجد الباحثين أن افتراض أن الهستون هو المنظم لنشاط الجين افتراض مقبول ولكن ما زلنا نحتاج إلي كثير من الأدلة علي ذلك .

والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو كيف يعمل الهستون علي تنظيم نشاط الجين وهناك احتمالين لذلك هناك عدة افتراضات :

١- الافتراض الاول Possibility I يتحد الهستون مع DNA فيؤدي ذلك إلى تقلص الكر وموسوم ويطلق عليه حينئذ heterochromatic يتم ذلك أثناء الانقسام وبذلك يتقدم نشاطه .

الافتراض الثاني Possibility II يقوم الهستون بحجب RNA وبالتالي لا يتكون RNA m ويقوم هنا بدور masked.

٢- تنظيم نشاط الأنزيم cavity regulation of enzyme a

من المعروف أن الأنزيمات تساعد علي إتمام التفاعلات الكيميائية الحيوية بخفض طاقة التنشيط اللازمة لجزيء المادة المتفاعلة لكي تتفاعل وذلك عن طريق اتحاده أو ملاصقه لها فيتكون المركب الجديد ذو طاقه تنشيط اقل فيتم التفاعل. ويلزم لتأثير الأنزيم وجود مواقع متقابلة من الأنزيم والمادة المتفاعلة substrate لكي يتم التجمع السطحي للمادة المتفاعلة علي جزيئات الأنزيم ويطلق علي تلك المواقع في الأنزيم اسم المراكز النشطة وهي عبارة عن مجموعات قابله للتأين مثل مجموعات الكربوكسيل في الأحماض الأمينية ومجموعة Imidazole في الحمض الأميني الهستيون ومجموعة السلفهيدريل للسستين ومجموعة الأمين لليسين أو طرف السلسلة الببتيديه .

ويتم تنشيط أو تثبيط التفاعلات الحيوية وبالتالي الظواهر الفسيولوجيه بتنشيط أو تثبيط الأنزيم ويتم ذلك بعدة وسائل .

أ- التثبيط بالتنافس Competitive inhibition (Isosteric effete)

هناك بعض المواد التي قد تتشابه مع substrate تقوم بالادمصاص علي سطح الأنزيم وينتج عن تجمعها السطحي شغل المراكز النشطة للأنزيم وبالتالي منعه من أداء عمله ويطلق علي ذلك التثبيط اسم التثبيط بالتنافس أو Isosteric effect .

ب - End Product Inhibition (Allosteric effect)

افترض Bielka 1969 أن نواتج التفاعل قد تؤدي إلي تثبيط فعل الإنزيم وفي هذه الحالة يطلق عليها Allosteric ويجب عدم الخلط يكون نواتج التفاعل تعمل كمثبط للأنزيم أو كونها Effecton تعمل علي تنشيط الكابح الذي يؤثر في Operator genes

و عليه فتتراكم نواتج التفاعلات تعمل علي تثبيط أو تقليل سرعة التفاعل الأنزيمي ويرجع ذلك الى أن تراكم النواتج يعمل علي إسرار التفاعل العكسي Reversibility of enzyme action أو أن تراكم نواتج التفاعل علي المراكز الفعالة للأنزيم تقلل من قوة تنشيطه أو تثبيطه كما سبق الإشارة أو قد تسبب نواتج التفاعل تغير درجة تركيز أيون الأيدروجين لوسط التفاعل و الذي يعمل علي تغير حالة التأين في المراكز النشطة للأنزيم أو يؤثر علي قرائن الأنزيمات و بذلك يصبح الإنزيم غير مناسب للعمل فمثلا ينتج عن تحليل الدهون الجليسرول و الأحماض الدهنية و

تسبب الأخيرة انحراف درجة أيون الأيدروجين في وسط التفاعل للناحية الحمضية و كذلك نجد عند تحليل اليوريا الي NH_3 ، CO_2 و التي تسبب انحراف درجة تركيز أيون الأيدروجين للناحية القلوية.

٣ - التنظيم بواسطة الهرمونات الداخلية Regulation by phytohormones

أدت ملاحظة إضافة IAA ، Kinetin الى الأنسجة الى زيادة تمثيل RNA و البروتين كما أن إضافة GA يؤدي لانتاج إنزيم & اميليز في طبقة ألا ليرون في بذور الشيلم الي اقتراح أن تأثير الهرمونات ربما يكون عن طريق تنشيط الجين و الأمثلة التي تؤيد ذلك كثيرة

- عند معاملة نسيج الكلس لنبات الدخان Vitro In بالاكسين بمستوى عالي و منخفض من الكينيتين ينتج من الكلس جذوراً و عندما يكون مستوى ألاكسين منخفض و الكينيتين عالي أدى ذلك الى كشف نسيج الكلس إلى براعم خضريه .

- تشجيع الأزهار في نباتات Long Day Plant و الارتباع باستخدام GA و هذا يعني أن الهرمونات تعمل على تغيير نشاط أو قمع الجينات

- هناك إشارة الى أن الهرمونات تشترك في تحديد الجنس في النباتات و يبدو أن نسبة ألاكسين و الجبرلين هو المحدد للجنس فيقلب تكوين الأعضاء الأنثوية في وجود مستوى عالي من ألاكسين و الاعضاء المذكرة في وجود مستوى عالي من الجبرلين

- عند تطو يش فرع من نبات البطاطس فان البراعم ألا بطية تنمو كورق أما إذا اضيف كلا من IAA ، GA معاً فان تغيرات في الشكل الظاهري للفرع قد تحدث فتتبدل الأوراق بحراشيف عديمة اللون و تستطيل السلاميات و تتجه الفروع الى الأرض بدلا من نموها الرأسى و عند إضافة الكينيتين الى قمة الساق الغير طبيعية فان الساق يغير سريعا من شكله الظاهري و يصبح ساق قائم و ذو أوراق عادية من ذلك يتضح أن الشكل هنا يتغير نتيجة تداخل كل من ألاكسين و الجبرلين و السيوكينين .

- عند معاملة عقل السوق الخشبية بال IAA فانه يشجع انقسام الكامبيوم و تكشف خلايا الخشب و إذا اضيف GA فانه يشجع انقسام الكامبيوم و تتكشف الى خلايا اللحاء و عند إضافة IAA + GA في وقت واحد فان انقسام الكامبيوم ينشط و يتكون الخشب واللحاء بصورة طبيعية . هذه الملاحظة توضح أن طبيعة الاستجابة تعتمد على نسيج الكامبيوم نفسه و الهرمونات هنا تساعد على الكشف أي أن وجود أو غياب الهرمونات يحدد إذا كان الكامبيوم سوف يتكشف أم لا ولكن قدرة الكامبيوم على تكوين خشب للداخل و لحاء للخارج فتنعكس على نسيج الكامبيوم نفسه و ليس للهرمونات دخل في ذلك

- و عليه فإذا سلمنا بأنه من الجائز بان الهرمونات تتحكم في Switch gene mechanism فليس المستحب القول أن العدد المعروف من الهرمونات هو الذي يتحكم في العدد الهائل من الجينات بالنبات Gene background

و هناك عدة احتمالات لميكانيكية عمل الهرمون في تنشيط الجين . نجملها في الآتي :

١ - الفرض الأول يشير الى أن تنشيط أو تثبيط المادة الوراثية يتم بتحرر أو اتحاد الهستون مع المادة الوراثية و يتم ذلك تحت تأثير توازن هرموني معين و أن التوازن الهرموني يقع تحت تأثير توازن بيني معين

ب - تنشيط الهرمونات أو تثبط خطوة الترجمة بالتأثير على وظيفة mRNA

ج - عن طريق تنشيط تمثيل tRNA

د - التأثير على نظام Relay System و فيه يفترض أن الهرمون يؤثر على Development Mayor Pathways أي يؤثر في مرحلة رئيسية من مراحل الكشف ثم تعمل تلك المرحلة كمحرك للمرحلة التالية أي نظام Relay أو أن الهرمونات تقوم بدور الإشارات أو الذبذبات في نظام Relay System

هـ - التأثير في عملية النسخ Transcription و تبعاً لهذا الفرض قسمت الهرمونات الى هرمونات إيجابية التأثير Positive مثل GA ، IAA ، K

وأخرى سالبة التأثير أو مثبطة Negative على العمليات المختلفة كما يلي :

ABA	IAA	Gibberellins	Lytokinius	
-	-	-	+	Fall of leaves and fruit
-	-	.	+	Dormancy of buds
+	+	.	-	Germination
+	+	+	-	Cell elongation
+	+	+	-	Cell division
.	+	+	-	Flower formation LDP
.	.	-	+	Flower formation SDP
-	-	-	+	Seves cence
+	+	+	-	Transcription

_ = Inhibition ، + = Stimulation ، . = no effect

و قبل أن نفرض التفسيرات التي توضح كيفية تأثير الهرمونات في تنشيط الجين . يجب إلقاء الضوء عن حالات الجين المختلفة من حيث التنشيط والتثبيط وهي كالتالي :

أ- Active genes (a) و هو الجين النشط قبل تنشيطه و يظل كذلك بعد عملية التنشيط

ب- Inactive gene (ina) و هو الجين الغير نشط قبل تنشيطه و غير نشط بعد التنشيط

ج- (potentially active gene) (p.a) و هو الجين النشط قبل التأثير عليه و غير نشط بعد المعاملة الهرمونية.

ولتفسير دور الهرمونات في تنشيط الجينات هناك عدة افتراضات سوف نوجزها في الآتي:

الفرض الأول: تقوم الهرمونات ذات التأثير الإيجابي مثل الأكسينات والجبر لينات والسيتوكينات بتنشيط والجينات القابلة للتنشيط مثل p.a, a, ina في حين تثبط الهرمونات السالبة مثل حمض الأبسيسك كل الجينات القابلة للتنشيط مثل P.a,P,ine .

الفرض الثاني: في هذا الفرض يقترح بناء على نموذج جاكوب وموند ان Regulator gene ينشط أو يثبط جين واحد فقط وذلك بإفراز الكايج كما سبق ذكره. وان الهرمونات أو المستوي الهرموني يقوم بدور Effects في تأثيره على تغير طبيعة الكايج وبذلك يطلق قدرة الجين في التغير عن نفسها في صورة RNA .

الفرض الثالث: في هذا الفرض يقترح أن الهرمونات لا تقوم مباشرة بتنشيط الجين بل هي تؤثر في سير تفاعلات معينة أثناء عمليات التمثيل وان إحدى أو بعض نواتج تلك التفاعلات هي التي تقوم بالتنشيط والتثبيط للجين.

الفرض الرابع: هي نظرية أطلق عليها حديثاً messenger Second تفترض هذه النظرية أن تأثيرات الهرمون لا يكون مباشراً لذلك افترض أن الهرمون هو رسول أول في التأثير على الظواهر الفسيولوجية وهو يعمل على حث أو تكوين رسول ثاني وهو المسئول عن إظهار تأثيرات الهرمونات . وقد اقترح zenk ١٩٧٠ أن الرسول الثاني هو (Cyclic Adenosine monophosphate) (CAMP) وهو الذي يؤثر على العمليات المختلفة مثل:

فالهرمون ينشط إنزيم triphosphate Adenosine والذي يقوم بتحويل (ATP) إلى cAMP ثم يقوم الأخير بالتأثير في عديد من الأنزيمات مثل تنشيطه لأنزيم Kinase والذي له دور في فسفرة عديد من المواد من أهمها البروتينات الهستونية فيؤدي ذلك إلى إيقاف تثبيطها لل DNA وبالتالي تسمح له بعملية النسخ وعليه فالهرمون هنا ينشط الجين من خلال الرسول الثاني بطريقة غير مباشرة .

أما مستوى cAMP الداخلى فيمكن تنظيمه بواسطة تنشيط adenylylcyclase والذي يعمل على بناءه بواسطة تنشيط إنزيم Phosphodiesterase والذي يعمل على هدم رابطة الأسطر الفسفورية في جزيئه فيتحول إلى مركب غير نشط هو monophosphate Adenosine وكمثال على تنشيط cAMP في النباتات الراقية ما نجده من تنشيط GA لتكوين انزيم الاميليز في طبقة الليرون في بذور النجيليات .

هناك ايضا اعتقاد أن الاثيلين يقوم بدور second messenger حيث انه يتكون في كل الخلايا بتركيزات مختلفة ويبدأ تكوينه من الحمض الأميني الميثونين وميكانيكية هدمه ليست ضرورية حيث انه غاز يتصاعد إلى الفضاء الخارجي atmosphere وهناك كثيرا من الدلائل على أن IAA هو المحفز لانتاج الاثيلين مما يؤكد هذا الاعتقاد أن الهرمونات أو مستوى معين من الهرمونات تؤثر في إنتاج الاثيلين ويقوم هو بدور الرسول الثاني في التأثير على نشاط الجينات بالسلب أو بالإيجاب .

ثانيا : التنظيم بتأثير العوامل الخارجية Regulation by external

١- درجة الحرارة Temperature

تتميز التفاعلات الحيوية بان لها درجات حرارة خاصة تؤثر على سرعتها . ولكن تفاعل حيوي معامل حراري خاص (Q 10) و المعامل الحراري هو مقدار الزيادة في سرعة التفاعل الحيوي عند درجة حرارة ١٠ مئوية عند درجة الصفر المئوي)

Velocity at 05/Q10 = velocity at 105

و عموما فدرجة الحرارة المثلى لمعظم النباتات تتراوح بين ٢٤م - ٣٢م وتكون درجات الحرارة اقل او ازيد من ذلك ضارة بسير التفاعلات الحيوية ويختلف مقدار الضرر باختلاف النبات . ونظرا لان لكل تفاعل حيوي معامل حراري خاص به لذلك نجد أن التغير في درجات الحرارة بالزيادة أو بالنقصان سوف يصبح مفضل لتفاعل حيوي عن آخر وبذلك تصبح درجة الحرارة عامل منظم لسير التفاعلات الحيوية وعمليات التمثيل الغذائي وعمليات التكشف ، وعليه نجد أن لكل طور من أطوار النمو درجة مثلى من درجات الحرارة تختلف عن الأطوار الأخرى . والأمثلة على دور درجة الحرارة في التأثير على عمليات التكشف عديدة سنورد منها على سبيل المثال لا الحصر فقد وجد Caso & Kefford ١٩٧٢ عند دراسة على نبات *Chondrilla juncea* أن زراعة الجذور *In vitro* لتكوين النموات الخضرية العرضية عليها Adventitious shoot كان افضل عند درجة حرارة ٢١ - ٢٧م نهائياً ، ١٦ - ٢٢ ليلا افضل من تعرضها لدرجة واحدة مستمرة هي ٢٥م . كما وجد Gautberet 1969 أن درجة حرارة ٢٦ نهائياً ، ١٥ ليلا افضل في تجديد قطاعات فن درنات الطرطوفة افضل من ٢٥م مستمرة أشار الى ان درجة الحرارة العالية نهائياً تشجع على تخليق الكامبيوم في حين تشجع درجات الحرارة المنخفضة ليلا على تكشف الكامبيوم إلى مبادئ خروج الجذور .

٢- الضوء Light

يجب النظر إلى الاحتياجات الضوئية للنباتات ليست لاتمام عملية البناء الكربوهيدراتي و البناء الضوئي فحسب بل أن للضوء دور هام في عمليات التكشف ويعمل الضوء بميكانيكيات أخرى غير ميكانيكية التمثيل الضوئي في كثير من عمليات التميز والتكشف في النبات مما أطلق عليه اسم Photomorphogenesis وفي دراسة زراعة الأسجة وجد Naylos & Nobel ١٩٨٦ أن أقصى تخليق للجذور على قطاعات من درنات الطرطوفة يكون عند تعريضها لكثافة ضوئية قدرها ٥٠٠٠ Lux باستعمال ضوء لمدة ١٢ ساعة في حين وجد Margara ١٩٦٩ أن الحد الأقصى لتخليق الجذور على Explant من نبات القرنبيط كان ٤٠٠ Lux فقط ولمدة ٩ ساعات كما وجد Alleweldt & Radlar 1961 أن نشأه الجذور العرضية لا تتكون على شرائح سيقان نبات قصير النهار لاحدي أصناف العنب إلا إذا عرضت لظروف النهار القصير فقط.

كذلك نعلم أن هناك عدد من البذور يشجع الضوء من إنباتها مثل الخس *Lactuca sativa* كما وجد أن الضوء الأحمر يشجع على الإنبات في حين الأشعة فوق الحمراء تثبط ذلك الإنبات وبالمثل هناك تأثيرات مشابهة للضوء على عمليات التكشف الأخرى مثل عملية الإزهار.

وتحتوي خلايا النباتات الراقية على نظام صبغي يعرف بالفيتو كروم يمتص الضوء الأحمر ويتحول إلى صورة أخرى قادرة على امتصاص الفوق احمر ثم تتحول الصورة الأخيرة إلى الصورة الأولى عند امتصاصها للضوء فوق الأحمر Far red هذا النظام الصبغي يرتبط بالبروتين ولذلك أطلق عليه اسم Chromoprotein ويتربك من سلسلة من حلقات البيروول التي ترتبط فيما بينها بذرة كربون.

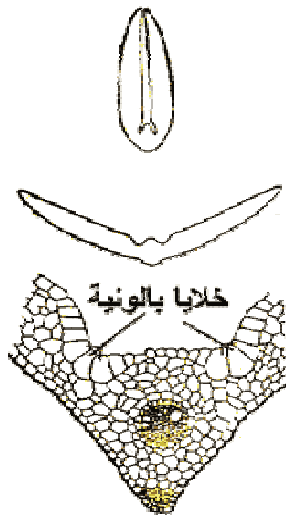
الفيتوكروم و تنشيط الجين

مازال دور الضوء غير معروف في تنشيط الجين مباشرا أو بطريقة غير مباشرة مثل تأثيره على إحدى عمليات التمثيل والتي تقوم بدورها في تنشيط الجين كما أو يقوم بالتأثير على عدد من Effectors الخاصة بالتأثير على الكايج الذي يفرزه Regulator gene لمنع عمل Operator gene او انه تحت تأثير توازن بيني معين (حرارة - ضوء) تم التأثير في آليات الهرمونات فتكون توازن هرموني معين يؤثر على نشاط الجين ما زالت الأبحاث لها باقية .

النمو الجذري

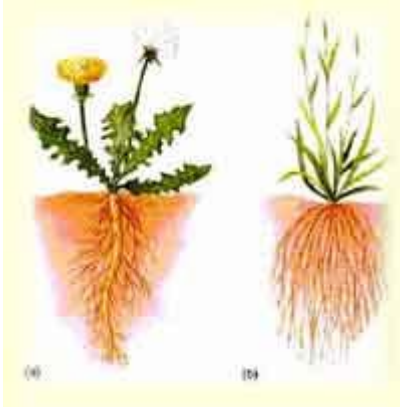
النمو الابتدائي في الجذور :

يظهر النمو الابتدائي في المنطقة التي تلي قلنسوة الجذر مباشرة نشاط مرستيمي شديد وتتحول المنطقة الوسطى في مرستيم الجذر أثناء النمو إلى الكامبيوم الأولي الذي يعطى بدوره الأنسجة الوعائية ثم يحدث تكشف للخلايا وفتصبح مميزة للنسيج الذي تدخل في تكوينه .



تلي المنطقة المرستيمية منطقة قصيرة لا يزيد طولها عن المليمتر الواحد تستمر فيها إستطالة الخلايا رغم توقف الانقسام . و لما كانت الخلايا أثناء نموها تتخذ أشكالاً و أحجاماً شديدة التباين لذلك يجب أن يتأثر حجم كل خلية وشكلها بطريقة ما بالتغيرات التي تطرأ على الخلايا الملاصقة لها وينتج عن إستمرار تكوين و إستطالة الخلايا الجديدة الناتجة عن الانقسام بروز قمة الجذر محمية بالقلنسوة إلى الأمام ويحدث التكشف في الجزء العلوي من منطقة الإستطالة .

ثم ينشأ النمو القطري للجذور من نشاط المرستيمات الجانبية أو الكامبيوم كما في حالة السيقان ويتركب الكامبيوم من طبقة سمكها خلية تقع بين الخشب واللحاء وينشط الكامبيوم عادة في تكوين الخلايا قبل إنتهاء نمو جميع الأنسجة الابتدائية الموجودة في نفس مستوى الكامبيوم اللسان و بتتابع إنقسامات الكامبيوم في اتجاه عمودي على محورها القطري يتكون الخشب الثانوي للداخل و اللحاء الثانوي للخارج وبذا يزداد قطر المحور كما يزداد طول الأشعة الوعائية .

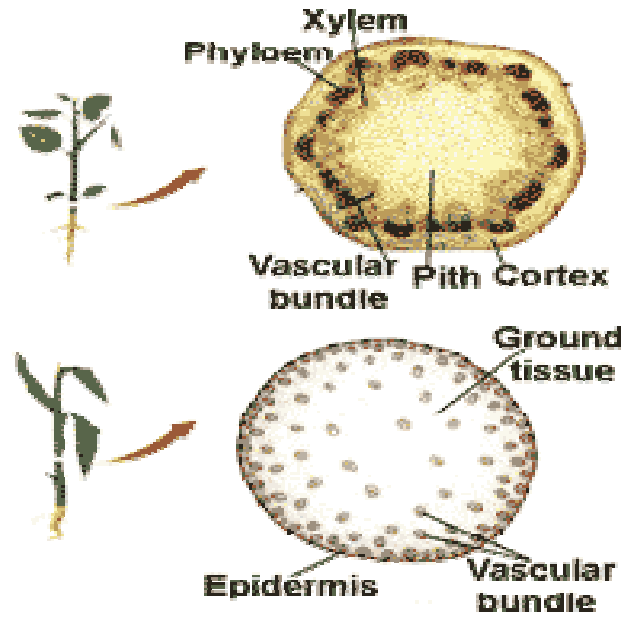


تقسم الجذور من حيث المنشأ الى جذور أصلية و جذور عرضية ، فالجذور أصلية المشأ تلك التي تنشأ من جذير البذرة . و يكون لهذه النباتات التي تنشأ من البذور جذر رئيسي وجذور جانبية أو ثانوية و جذور ليفية أما الجذور التي تنشأ على اصل خضري مثل التي تنشأ من زراعة العقل او الدرنات أو الجذور التي تنمو أي من الأجزاء الخضرية فوق سطح الأرض فتعتبر جذورا عرضية .

كما تقسم الجذور الى جذور تنتشر أفقيا حيث تنمو موازية لسطح التربة واخرى متعمقة تتعمق إلى اسفل في التربة

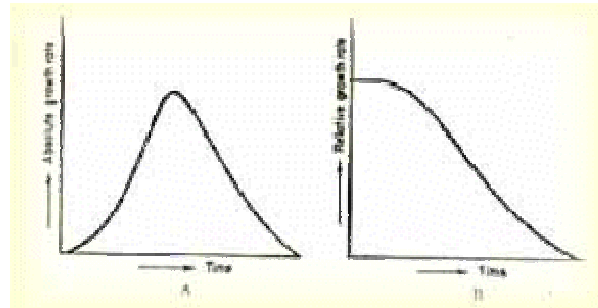


وتتميز الجذور عن السوق تشريحيا بوجود القلنسوة التي تغلف قمة الجذر والتي تحميه من الإحتكاك بسطح حبيبات التربة ، يتمزق السطح الخارجى للقلنسوة بالتدريج ويصير لزجا مما يساعد على انسيابه بسهولة بين حبيبات التربة ويعوض ما تمزق من الخلايا السطحية للقلنسوة بخلايا جديدة تضيفها القمة النامية الى القلنسوة من الداخل ، كما يختلف الجذر تشريحيا بالوضع المتبادل قطريا بمجاميع الخشب و اللحاء من الداخل ووجود الخشب الأول بالخارج عكس الساق حيث أن الخشب الأول للداخل كذلك يختلف تركيب الجذور ذات الفلقة الواحدة بوجود مجاميع خشب عديدة عددها حوالي خمسة عشر إلى عشرين حزمه في حين أن مجاميع الخشب تكون قليلة في ذات الفلقتين فتكون ثنائية الحزم أو رباعيتها أو ثلاثية الحزم و يكون اللحاء في الجذور ذات الفلقة الواحدة من أنابيب غربالية و خلايا مرافقة أي لا يوجد براشيمية اللحاء بينما توجد هذه الخلايا البراشيمية في جذور ذات الفلقتين كما في القشرة تكون اكبر نسبيا من ذات الفلقتين و لكنها تبقى لمدة طويلة حيث تتميز هذه الجذور بعدم نموها في السمك .



شكل يوضح اختلاف الجذر تشريحيا بالوضع المتبادل قطريا لمجاميع الخشب و اللحاء من الداخل ووجود الخشب الأول بالخارج عكس الساق حيث أن الخشب الأول للداخل

في بعض الجذور ذات الجذر الوتدي يختزن الغذاء في الجذر الابتدائي فينتشر وينتفخ و يتخذ أشكالاً مختلفة فيكون مغزليا كما في الفجل أو مخروطيا كما في الجذر أو متكورا كما في اللفت



أما انواع الجذور العرضية فهي :

- الجذور الليفية الخيطية Fibrous Root

وتكثر في النباتات ذات الفلقة الواحدة و تنشأ لتحل محل الجذر الابتدائي الذي يتوقف عن النمو كما تتكون على السوق الأرضية كالأبصال والريزومات و على السوق الهوائية المدادة أو الجارية كالشيليك



- الجذور المساعدة Prop Roots

تخرج من العقد السفلي القريب من سطح الأرض على سيقان بعض النباتات كالقصب وهي تساعد على تدعيم النباتات وحفظه دائما قائما لمقاومة الرياح والمؤثرات الخارجية

- الجذور الشاذة Contraetile Roots

اسفل الكورمات و الأبصال و تمتاز بنقلصها إلى أسفل فتشد النبات لأسفل فتهبط بالكورمة أو البصلة إلى المستوى الملائم .

- الجذور الهوائية

تخرج من الأجزاء الهوائية كالسيقان وتقوم بامتصاص الماء من بخار الماء الجوى قبل أن تصل لسطح التربة لتقوم بالامتصاص و مساعدة النبات في الامتصاص كما في التين البنغالي .

- الجذور التنفسية

هي الجذور التي لنباتات تعيش في المستنقعات الطينية حيث أن التربة رديئة التهوية و مشبعة بالماء وهي تربة محتواها عالي من ثاني أكسيد الكربون نتيجة تحلل المواد العضوية فلا تجد تلك النباتات احتياجاتها الملانمة من الأكسجين اللازم لتنفس خلايا الجذور فتخرج جذور عريضة تنفسية تنبثق من جذور أفقية تمتد مسافات طويلة تحت سطح التربة وتتجه لأعلى بدلا من أسفل بالامتصاص الأكسجين وتحتوى في أنسجتها الداخلية فراغات هوائية واسعة و على سطحها عديسات وظيفتها توصيل الهواء الجوى للفراغات الهوائية التي تتخلل أنسجة الجذور.

النمو التكاثرى

مقدمة

يشير لفظ لنمو التكاثرى في النباتات البذرية إلى تكوين الأزهار والثمار والبذور. والأحداث الرئيسية في النمو التكاثرى لنبات بذري هي ظهور مرستيم اصل الزهرة ونضج الأجزاء الزهرية وتكوين حبوب اللقاح داخل ألتك وتكون كيس جنيني يحوي نواة البيضة والتلقيح والإخصاب وتكوين الجنين من البيض المخصبة وتكون اندوسبيرم من نواة الاندوسبيرم وتكون البذرة من البويضة وتكون الثمرة من المبيض والأنسجة المجاورة له ويمكن تمييز مرحلتين رئيسيتين في النمو التكاثرى هما مرحلة الأزهار ومرحلة الأثمار. وتتحكم في مرحلة

الأزهار الهرمونات النباتية الداخلية.

الأزهار:

تستمر مرستيمات السوق القمية في النمو الخضري غير أن بعضها يتحول في حياة معظم النباتات إلى مرستيم زهري يحدث تحول من الحالة الخضرية إلى الحالة الزهرية كلما هيأت الظروف البيئية ظروفًا داخلية في المرستيم تكفي حفز تكون الأزهار. ويختلف الزمن الذي يقضيه مرستيم قمى معين في الحالة الخضرية قبل أن يتحول إلى مرستيم زهري اختلافًا كبيرًا من طراز نباتي إلى آخر ومن مرستيم إلى آخر أو نتحكم فيه العوامل الوراثية و البيئية تحكما جزئيا قبل حدوث التخلق في البرعم الزهري يحدث ما يعرف بالتنبيه الزهري أو الحث الزهري Flower Induction وهو عبارة عن تميزات فسيولوجية غير المرئية التي تتعلق بالظروف الأيضية داخل المرستيم ، تلي تلك المرحلة حدوث نشأ البرعم الزهري Initiation وهو أول تغير ميكروسكوبي يحدث عند تحول المرستيم الخضري إلى مرستيم زهري وهو تغير يشمل شكل المرستيم إذ يبدو كما لو كان قد تعطل في الجزء المركزي حتى يصبح المرستيم مفلطحا عند قمته بدلا من شكله المخروطي نوعا



البرعم الزهري بعد مرحلة الحث الزهري



البرعم الخضري قبل تحوله لبرعم زهري

تلي تلك المرحلة مرحلة التخليق أو التمييز الزهري Differentiation أي حدوث تمييز وتشكيل لخلايا المرستيم حيث تنمو زوائد صغيرة من هذا المرستيم المحور في ترتيب سوارى منتظم وهذه الزوائد هي التي يتكون فيها أجزاء الزهرة بطريقه تشبه تكون الأوراق وبذلك يقال أن البرعم الزهري تكون و أن مرحلة التحديد Determination قد حدثت ثم يحدث الكشف الزهري أي تفتح البرعم عن الزهرة الكاملة والذي يطلق عليه Development Flower

تأثير درجة الحرارة على التزهير :

يرتبط تأثير درجة الحرارة على الأزهار ارتباطاً وثيقاً بتأثير التوافق الضوئي وبدراسة التأثير المشترك لدور الحرارة و فترة الإضاءة نجد أن تأثير هذا العامل يدعم تأثير فترة الإضاءة في تحفيز الأزهار أو تثبيطه أو أنه يعمل على معارضته وفي الحالة الأخيرة قد يسود تأثير الحرارة أو فترة الإضاءة تبعاً لنوع النبات

وتؤثر درجة الحرارة في الآلية الهرمونية للأزهار بطرق متعددة فقد تؤثر في معدلات التخليق أو معدلات الإلتلاف للمركبات المعنية بالأزهار وفي معدل انتقالها من الأوراق إلى المرستيمات وقد تؤثر في فاعلية الهرمون أو في إحداث التغيرات المرفولوجية في المرستيمات ، وقد لوحظ أن تحفيز الأزهار بتأثير الحرارة يكون أكثر تأثيراً في فترة الإظلام من درجة الحرارة في فترة الإضاءة فقد وجد أن درجة ١٣ م أثناء فترة الإظلام أعطت عدد براعم زهرية أقل كثيراً منها حيث كانت درجة حرارة الإظلام من ١٨ الى ٢٤ م ، كذلك كانت أقل مما سبق عندما كانت درجة حرارة الإظلام ٢٩ و لكن كانت أفضل من البراعم الزهرية المتكونة عند ١٣ درجة ليلاً .

كذلك لدرجة حرارة الليل تأثير هام على تفاعلات التوافق الضوئي للنباتات فمثلاً نبات الدخان أزهر تحت فترة إضاءة قصيرة ٩ ساعات إذ كانت درجة حرارة الليل ١٨ م ولم تزهّر تحت فترة إضاءة طويلة ١٦ ساعة ودرجة حرارة ١٨ م وحينما كانت درجة الحرارة ١٣ م أزهر النبات تحت كل هاتين الفترتين من الإضاءة

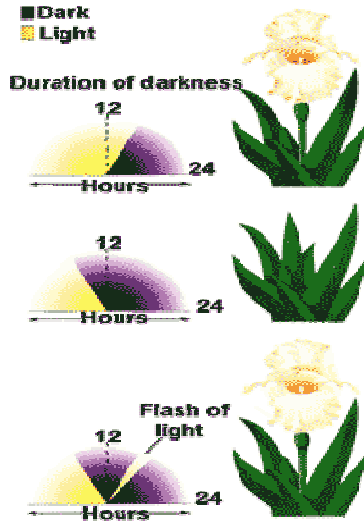
أما عن درجة الحرارة المنخفضة فقد وجد أن التأثير المعطل لليلي الباردة على تحفيز الأزهار في درجة النباتات ناتج بصفة مبدئية عن تأثيرها على التفاعلات التي تؤدي إلى الأزهار أكثر من تأثيرها على انتقال المواد المحفزة للأزهار و تكشف الأجزاء الزهرية وهذه الأنواع التي تتأثر بالحرارة لا تستبعد هذا التأثير إلا عندما يكون للنبات عدد معين من الأوراق

تأثيرات التوافق الضوئي Light Quality Photoperiodism

لا شك أن الضوء هو أحد المؤثرات الهامة في حياة النبات حيث تختلف استجابة النبات في الظلام عنه في الضوء ، ويقوم باستقبال هذا المؤثر مستقبل للموجة الضوئية (صبغة) ينتج عن أثارها تنشيط المستقبل والذي ينشأ عنه تفاعلات كيميائية تؤدي في النهاية الى الاستجابة العامة للنبات فيما يعرف بالعملية الضوئية الحيوية biological Process Photo ومن بين ما درس من العمليات الضوئية الحيوية : التمثيل الضوئي - الانتحاء الضوئي - التاكسد الضوئي -الانقباض الضوئي للورقة - تثبيط استطالة الساق - التزهير - التأقت الضوئي

التأقت الضوئي هو استجابة النبات للعلاقة النسبية لفترات طول الضوء والظلام المتعاقبة وتشمل تأثير مدة التعرض للضوء والظلام وكمية الضوء المستقبلية والتي تسمى الاستجابة للفترة الضوئية Photoperiodic response فالنزهير والنمو الخضري وانبات البذور وتساقط الأوراق والسكون ما هي إلا مظاهر استجابة النبات للفترة الضوئية

في عام ١٩٢٠ ظهر أول تفسير لتأثير التأقت الضوئي على التزهير بواسطة العالم Garner & Allard حيث وجد أن طفرة نبات الدخان المسمى Maryland Mammoth لا تزهّر في الحقل في اشهر الصيف حيث الفترة الضوئية الطويلة (نهار طويل) ومع ذلك فعند إنمائها في الصوبة تحت ظروف إضاءة قصيرة فقد أزهرت بغزارة وعلية استنتج أن استمرار حالة النمو الخضري تحت ظروف النهار الطويل تمنع تكون البراعم الزهرية لتلك النباتات وان الأزهار لا يتم إلا إذا تعرضت لنهار قصير مع استبعاد العوامل الأخرى مثل درجة الحرارة والتغذية وشدة الإضاءة وبذلك ظهر أول دليل على أن طول النهار يتحكم في الأزهار وعرف ذلك حينئذ بالتوافق الضوئي .



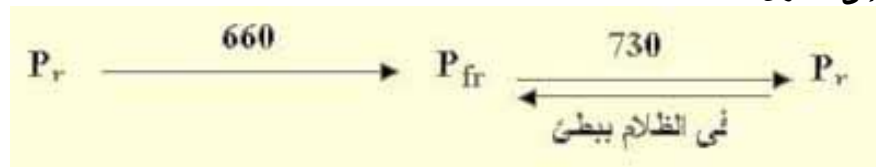
أهمية فترة الظلام وفترة الإضاءة :

لاحظ الباحثون الأوائل Allard & Garner أن النبات لا يزهر بالرغم من تعرضه للدورة الضوئية الاستثنائية الصحيحة إذا كسرت فترة إظلامه المستمرة بواسطة فترة ضوئية قصيرة بينما كسر فترة الإضاءة بفترة إظلام قصيرة فليس لها إلا تأثيراً ضئيلاً جداً .

من تلك النتائج تبين أن التزهير يكون أكثر استجابة لفترة الظلام من فترة الإضاءة فطول فترة الظلام أكثر أهمية لتشجيع التزهير إلا أن فترة الإضاءة تؤثرها كمي على التزهير .

وقد وجد الباحثين أن فترة الإظلام تحدد إنشاء المبادئ الزهرية Initiation of floral primordia إلا أن طول الفترة الضوئية يؤثر في عدد المبادئ الزهرية .

الآن لابد من التساؤل هل لشدة الإضاءة تأثير على عدد المبادئ الزهرية الأولية المتكشفة ؟ والإجابة أنه قد يكون لشدة الإضاءة تأثير على تخليق وتهيئة بعض العوامل أو الهرمونات الأساسية اللازمة للإزهار تكون الاستجابة لطول الفترة الضوئية عن طريق صبغة تعرف بـ **Phytochrome** حيث تتواجد في صورتين إحداهما تمتص الضوء في منطقة الأشعة تحت الحمراء و صورة تمتص الضوء في منطقة الضوء الأحمر و يرمز للأولى P_{fr} الثانية P_r وهاتين الصورتين يحدث بينهما تحول من إحدى الصور إلى الأخرى .



هذا الجهاز هو الذي يتحكم في قياس طول فترة الإضاءة اليومية في النبات ومحصلة ضوء الشمس تكون الأشعة الحمراء هي السائدة على تحت الحمراء وبالتالي تتحول الصورة التي تمتص الضوء الأحمر إلى P_r إلى P_{fr} وفي الظلام يحدث تحول الـ P_{fr} إلى P_r ودلت الأبحاث على أن الصورة المنشطة للأزهار هي P_{fr} وقد قسمت النباتات حسب الاستجابة لطول الفترة الضوئية للتهيأ للأزهار إلى نباتات قصيرة النهار Short day plants ونباتات طويلة النهار Long day plants ونباتات محايدة Indeterminate “neutral plants Day plant نباتات النهار الطويل هي التي تحتاج لحد أدنى من ساعات الإضاءة لكي تزدهر أي يجب أن تزيد ساعات الإضاءة إلى الحد الحرج اللازم لأزهارها .

أما نباتات النهار القصير فهي التي تحتاج لحد أدنى من فترات الظلام لكي تزدهر أي يجب أن تقل فترة الإضاءة اليومي عن الحد الحرج اللازم لأزهارها ، وهناك نوع من النباتات يلزم لكي يزهر النبات أن يتبع النهار الضوئي فترة من النهار القصير أو العكس لا تزهر بل تظل على الحالة الخضريّة إذا تعرضت لطول نهار أكبر من تلك الفترة الحرجة ، وتختلف طول الفترة المسماة بطول النهار الحرج Critical day length باختلاف الأنواع النباتية .



أما النوع الأخير فهي التي لا تتأثر فترة الإضاءة وهي النباتات المحايدة في تلك النباتات فالأزهار ينظم داخليا دون التأثير بالظروف البيئية وهذه النباتات تظهر خاصية Heteroblastic والتي يكون فيها الأوراق المبكرة كبيرة في الحجم عند اكتمال نموها و تصغر الأوراق الناتجة بعد هذا تدريجيا بمعنى أن النبات يأخذ الشكل الهرمي فعندما يبدأ النبات في الأزهار وعند وصوله لمساحة ورقية معينة أو أن القمة تنتظر تراكم كمية مناسبة من هرمون الأزهار والذي يتخلق و يتراكم في القمم النامية .

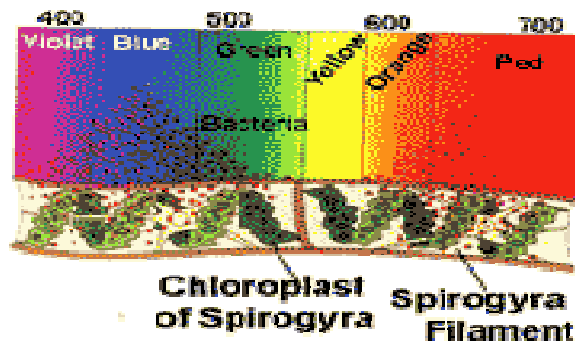
في النباتات ذات الحولين لا يزهر النبات إلا بعد توافر وتراكم عدد ساعات من الحرارة المنخفضة فيتكون على أثرها هرمون الأزهار وعلى ذلك فإن وجود مواد ذات طبيعة هر مونية تحفز الأزهار و أن معدلات تخليق و إتلاف مثل هذه المواد تتأثر بدورة التوافق الضوئي وقد وجد أن الأوراق هي العضو المستقبل المؤثر وان الأوراق الكاملة النمو Mature أكثر حساسية لاستقبال المؤثر من الأوراق الناضجة أو الصغيرة جدا ثم ينتقل التأثير عن طريق إشارة كيميائية من الأوراق ينتج عنها الهرمونات المؤثرة على إنتاج هرمون الأزهار Florigen والذي ينتقل خلال اللحاء إلى البراعم ليؤثر على الأحماض النووية بها و التي توجه نحو تخليق إنزيمات معينة هي المسؤولة عن التحول الزهري

الدورات التعاقبية للضوء والإظلام المحثة للأزهار Photoinductive Cycles

اهتم الباحثين بدراسة العلاقة بين عدد الدورات التعاقبية للتأقت الضوئي والتزهير. وقد وجد أن عدد الدورات يختلف اختلافا كبيرا تبعا للنوع النباتي فنباتات السلفيا (نهار قصير) تحتاج الى ١٧ دورة تأقت ضوئي محفزه على التزهير ، اما نبات البلاتاجو (نهار طويل) يحتاج الى ٢٥ دورة ويبدو أن عدد الدورات التعاقبية هنا هام لتراكم كمية كافية من عامل التزهير لكي يدفع النبات الى التزهير

نوع الضوء والتأقت الضوئي :

لوحظ في التمثيل الضوئي ان أطوال الأطياف الأكثر تأثيرا على عملية البناء الضوئي قد وجدت في المنطقة الزرقاء والحمراء في الطيف المرئي وتقوم صبغة الكلوروفيل بامتصاص تلك الموجات الضوئية .



أما الطيف الفعال في انحناء غمد الريشة للشوفان والناشئ عن تحلل الاكسين ضوئيا فان الطيف الممتص يكون مشابه لذلك الممتص بواسطة الريبوفلافين Riboflavin

لذلك فمن المتوقع أن تكون صبغة الريبوفلافين هي المستقبل للتأثير الضوئي في تحلل الاكسين .

وقد اقترح في دراسة على الطيف المؤثر على عملية الأزهار أن المستقبل للطول الضوئي المؤثر في التأقت

الضوئي يقع بين طول موجي يقع ما بين ٦٢٠ - ٦٦٠ nm " البرتقالي والاحمر " لذلك الكسر الضوئي لليل الطويل للنباتات قصيرة النهار وأن الصبغة المستقبلية هي الفيتوكروم وهو بروتين صبغى Chromoprotein يتكون من تترابيرول كروموفور مرتبط بالبروتين للحلقة الثالثة من حلقات البيرول ، وان التغير من صورة P_r الى P_{fr} والعكس هو عبارة عن تغير إلكتروني فى الحلقة الأولى مع إضافة أو فقد بروتون (أيون أيديروجين) وان الصورة النشطة هي صورة P_{fr}

إن الإشارة الضوئية التي يستقبلها الفيتوكروم تتحول الى إشارة بيوكيميائية فى صورة تمثيل هرمونات الأزهار والذي يعتقد أنها الفلوريجين Florigen (اى عامل الأزهار) والذي لم يحدد كنهه ولكن يفترض وجوده كمحث على التحول الزهرى وهناك العديد من التجارب التي أثبتت وجوده رغم عدم القدرة على استخلاصه حتى الآن ، لكن الأبحاث تشير على انه يتبع مركبات الايزوبرينويد أو مشابهات الاستيرويدات

Isoprenoid or Steroid like

منظمات النمو وعلاقتها بالأزهار

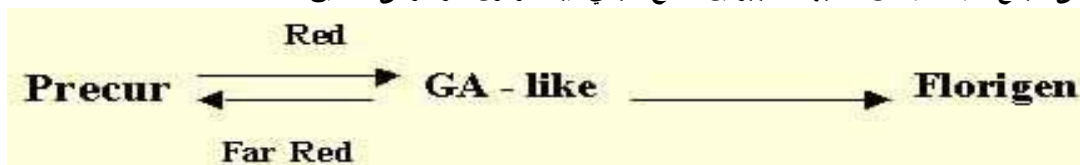
قبل الاستفاضة فى هذا الموضوع يجب التنبيه على التفرة بين تأثير منظمات النمو على التكبير فى وقت الأزهار أي إسرار التكشف الزهري و التأثير على عملية الحث الزهري Flower Induction نفسها

الأكسين :

ثبت أن للأكسين ليس له أي تأثير منشط على الأزهار بل فى غالب الأنواع النباتية له تأثير مانع على الحث الزهري بكل من النباتات النهار الطويل و القصير على السواء لذلك اقترح Galston أن كل من الأكسين و الفلوروجين متضادان فى التأثير antagonistic وبالطبع تعمل مضادات الأكسين مثل Tiba التي تمنع حركة الأكسين لأسفل على تنشيط الأزهار . ولهذه القاعدة شواذ حيث وجد ان الأكسين يشجع أزهار نبات الأناناس ونباتات أخرى من العائلة Bromeliaceae ثم اتضح فيما بعد انه من الممكن أن ينشط أزهار أنواع من النباتات الطويلة النهار وأخرى قصيرة النهار بالأكسين على أن تلي المعاملة ظروف من الحرارة المنخفضة أن تكون المعاملة بالأكسين قبل حدوث induction Flowe وقد ثبت أن هذا الفعل التنشيطي للأزهار راجع إلى أن الأكسين فى مثل هذه الحالة يعوض فترة الإضاءة الطويلة ، إلى أن التركيزات المرتفعة منه كانت مانعة للأزهار تماما

الجبرلين :

تزرع كثير من نباتات النهار الطويل بعد معاملتها بالجبرلين حتى فى ظروف النهار ولكن إذا تجاوز احتياج النبات النهار الطويل وأي عامل آخر مثل الحرارة المنخفضة فانه يعجز عن دفع النبات للأزهار على ذلك لا يمكن أن يعوض الجبرلين كل من النهار الطويل و الارتباع معا ، وقد أثرت التركيزات المرتفعة للجبرلين تأثيرا مانعا للأزهار فى نباتات النهار الطويل وبدلا منه زاد النمو الخضري حتى تحت ظروف النهار الطويل . أما فى النباتات قصيرة النهار فلم تجدي المعاملة به فى دفع الأزهار تحت ظروف مغايرة لتلك اللازمة للأزهار وحتى فى ظروف النهار القصير أدت المعاملة إلى منع الحث الزهري ويعتقد أن الجبرلين يمنع الأزهار فى جميع النباتات قصيرة النهار . أما عن دور الجبرلين على الأزهار فيرى البعض انه يؤثر على إنتاج مواد فى الخلية مما يهيئها "الخلية لتصنيع المؤثر الزهري Flowering Stimulus وقد اقترح ان مولد الجبرلين يتحول إلى مشابهات الجبرلينات فى الضوء وفى الظلام يتحول مولد الجبرلين ثانيا إلى مشابهات الجبرلين حتى تتجمع كمية كافية من مشابهات الجبرلين النسيج النباتي فيبدأ هرمون الأزهار فى التخليق



ومن هنا كان تأثير الجبرلين المضاف على نباتات النهار الطويل دون النباتات النهار القصير ويضيف Chailaklyan 1961 ان هناك مادة أخرى افترضها تسمى Anthesis تتكون في الظروف الضوئية الغير مناسبة للأزهار حيث يكون الجبرلين منخفض فتؤدي المعاملة بالجبرلين عندئذ الى الأزهار ، أما في حالة النباتات قصيرة النهار والمعرضة لظروف ضوئية غير مناسبة "نهار طويل " يكون مستوى الجبرلين مرتفع ومستوى Anthesis منخفضة لذلك لا تؤدي المعاملة بالجبرلين إلى حدوث التأثير الزهري .

ولوقت المعاملة بالجبرلين على نباتات النهار القصير اثر كبير في حدة منع induction Flower فعند المعاملة به وقت الحث الزهري يكون المنع كبيرا وتخف حدة المنع بالبعد عن الوقت الذي يبدأ فيه الحث الزهري ويستحسن أن تكون المعاملة في وقت تطور المبادئ الزهرية . وعموما إذا احدث الجبرلين تنشيطا على النمو الخضري فانه يمنع في نفس الوقت حدوث التزهير وذلك انه في وقت حدوث الحث الزهري يتوقف النمو الخضري نسبيا .

ويجب الانتباه إلى تأثير الجبرلين عند معاملة أشجار الفاكهة صيفا يعوض التأثير على النمو الخضري فمن الغالب حدوث الحث الزهري صيفا وفي نفس وقت المعاملة مما يجعله يتأثر أيضاً بمعاملات الجبرلين فقد وجد أن رش التفاح بالجبرلين صيفا قلل عدد البراعم الزهرية للموسم التالي أي أن هناك تأثير مانع للحث الزهري وقد يستفاد من ذلك من التغلب على ظاهرة المقاومة في كثير من أشجار الفاكهة .

وإختلفت نتيجة المعاملة على نباتات الخضر إذا أسرع الأزهار في الطماطم والفاصوليا و البسلة ولم يكن التطبيق عملي للاستطالة الزائدة في النمو الخضري نتيجة المعاملة ، وفي إيصال الأيبرس أدى حقن الأبصال في بدء فترة التخزين البارد بالجبرلين إلى زيادة تكوين الأزهار بزيادة عدد المبادئ الزهرية نتيجة المعاملة.

السيتوكينين :

للسيتوكينين تأثير موجب على دفع أنواع نباتية كثيرة للأزهار حتى تحت ظروف غير ملائمة لحدوثه فقد يزيد السيتوكينين من استجابة نباتات النهار القصير الأزهار تحت ظروف ضوئية غير ملائمة للأزهار عند معاملة أوراقها الجنينية بالباردة وقد حصل Nitsch 1969 على إزهار أنسجة *Plimbago indica* ذات النهار القصير بعد المعاملة به خاصة عند استعمال Zeatin أو Kinetien أو Benzyl adenine (٦) (methyl amino purine)

المواد المثبطة للنمو

اختلف تأثير المواد المثبطة على الأزهار وحدث الحث الزهري تبعا للنوع النباتي و احتياجات النبات الضوئية لكي يزدهر فبينما أعاق حمض الابسيسيك الأزهار في السباتخ (نهار طويل) فانه دفع الشيلك (نهار قصير) للأزهار وقد تؤدي المعاملة بالمثبطات إلى التزهير نتيجة لتأثيرها على إيقاف النمو الخضري خاصة تلك الباتات التي تعطى براعمها الزهرية عند انتهاء نمو الفرع الخضري مثل CCC ، B9 فهي في ذلك تشبه في تأثيرها المعاملات الزراعية الدافعة للأزهار مثل تقطيع الجذور أو جرحها أو التقليم الجانز أو التعطيش ومن النتائج الجانبية لاستعمال مثبطات النمو هو تأثيرها على زيادة قدرة البراعم الزهرية على النبات المعامل من مقاومة الصقيع المتأخر في بدء الربيع في المناطق الشمالية ويمكن ربط هذا بما لحمض الجبرلين من تأثير على زيادة حساسية النسج للصقيع وعى ذلك ربما يكون تأثير مثبط النمو في تهينة النبات لمقاومة الصقيع راجع لتأثير المثبط على منع بناء الجبرلين وقد تلاشى ضرر الصقيع لبراعم الخوخ الزهرية بعد رشها Alar قبل بدء الصقيع وكذلك بالرش CCC على الطماطم

الارتباع Vernalisation

فى النباتات الحولية التى تنمو فى المناطق المعتدلة يبدأ النمو الخضرى فى الربيع وتنمو الأزهار فى الصيف وتنتج الثمار والبذور فى الخريف ونجد أن تأثير درجة الحرارة على تزهير النباتات الحولية يكون ثانوياً بالنسبة لتأثير الضوء حيث ينصب تأثير درجة الحرارة على العملية الايضية أكثر من تأثير تحفيز الأزهار أما فى النباتات ذات الحولين التى تنمو فى أول عام نموا خضرىاً فقط نجد أن التزهير يتأثر بتعرضها لدرجات من البرودة تعرف بالارتباع ، ولقد وجد أنه من المفيد لمثل تلك النباتات استغلال درجة الحرارة المنخفضة (ويكون عادة فوق الصفر لتقليل) لتقصير فترة الأزهار بتعريض البذور المستنبه للارتباع أو المعاملة الحرارية المنخفضة قبل الزراعة . كما يستعمل لفظ الارتباع للإشارة الى معاملة البذور بدرجات الحرارة المرتفعة أو الى معالجة الجزء أخرى من النبات خلاف البذور. فارتباع بذور القمح الشتوي يؤدي الى أن يصبح النبات ربيعي ويبدو أن الأثر الفسيولوجي الرئيسي لعملية الارتباع هو دفعها للأزهار المبكر. ويبدو أن قمة الساق هى المكان المدرك للارتباع حيث ينتقل المحفز Stimulus الى الأجزاء الأخرى من النبات.

أوضح Lang ١٩٥١ عند دراسته على نبات السكران أن هناك علاقة بين درجة الحرارة ومدة التعرض وتأثير هذه العلاقة على كفاءة الارتباع ، وقد وجد Hansel فشل الارتباع على درجة - ٤ درجات ١ - ٧ م متساوية فى كفاءتها فى تقصير عدد الايام اللازمة للأزهار ويوجد هبوط سريع فى معدل الارتباع عندما تزداد درجة الحرارة عن ٧ حتى ١٥ م كما وجد أن أكثر العوامل الفعالة فى إبطال الارتباع هى درجات الحرارة المرتفعة (٣٥ م) فهى تزيل أو تبطل تأثير المعاملة بالبرودة

اللقاح والتلقيح

تختلف حبوب اللقاح فى الشكل والحجم إلا إن دورها الفسيولوجي واحد فى جميع الأنواع النباتية. وتمثل حبة اللقاح وأنبوبة اللقاح التى تنمو منها هى النبات المشيجي المذكر. ويتم التلقيح أي انتقال اللقاح من منك الزهرة الى ميسم أي زهرة أساساً بواسطة الرياح والحشرات وبعض النباتات تكون هوائية التلقيح كليه أو حشرية التلقيح تماماً أو بكلتيا الوسيلتين ويعرف التلقيح الذاتي بأنه انتقال اللقاح لميسم نفس الزهرة أو زهرة أخرى على نفس النبات أما التلقيح الخلطي فهو انتقال اللقاح من تلك نبات الى ميسم نبات آخر من نفس النوع وقد يوجد التلقيح الذاتي والخلطي معاً فى بعض الأنواع وقد يكون التلقيح الخلطي إجبارياً فى النباتات ذاتية العقم يقوم بعملية النقل هذه الحشرات وعلى الأخص النحل لذلك فإن وجود كمية كافية من النحل فى المزرعة يعتبر من المتطلبات الهامة لإتمام عملية التلقيح ومن الأفضل أن يخصص طائفتين من النحل لكل فدان فى المزرعة وغالباً توضع هذه الطوائف فى منحل خاص فى وسط المزرعة ونظراً لأنه قد لوحظ أن اثر النحل يكون أكيدا فى الأشجار المجاورة لخلاياه فإن الطوائف توزع فى موسم التزهير فى مجاميع داخل أقسام البستان المختلفة. ويتم إنبات حبه اللقاح عادة فى الظروف البيئية المناسبة بعد دقائق من ملاستها لسطح الميسم وعادة تنمو أنبوبة لقاح واحدة وتقوم أنبوبة اللقاح بنقل الخليتين الذكريتين من الميسم للكيس الجنيني والمسافة التى تنموها أنبوبة اللقاح قد تكون قصيرة جداً أو قد تصل الى ٣٠ سمك فى نباتات الأقلام الطويلة كالذرة. وتختلف الفترة الزمنية التى تنقضى بين إنبات حبه اللقاح والأخصاب اختلافاً كبيراً من نبات لآخر وبالنسبة لنباتات كثيرة تتراوح بين ١٢-٤٨ ساعة وقد تقل عن الساعة الواحدة فى قليل من النباتات كالشعير وقد تصل فى بعض الأنواع كالبلوط والصنوبر الى شهور وقد تتجاوز العام فى قليل من الأنواع. ويتأثر معدل إنبات حبه اللقاح بدرجة الحرارة فى البيئة ويدرجة التوافق الفسيولوجي بين أنبوبة اللقاح وأنسجة القلم. وعادة لا يوجد توافق بين لقاح نوع معين من النبات وبين ميسم نوع آخر. وأنبوبة اللقاح تتطفل على أنسجة القلم فى الحقول على الماء والأغذية وربما الهرمونات. ويتراوح طول الفترة الزمنية التى تحتفظ فيها حبوب اللقاح بحيوتها فى الهواء الجاف بين بضع ساعات الى عدة شهور ولقاح الجيليات مشهور بقصر العمر.

بدء النمو في الجنين والأندوسبيرم:

الأخشاب والاندماج الثلاثي: ان المظهر الأساسي للتكاثر الجنسي هو اندماج بيضه ونواة ذكره وهو ما يعرف بالإخصاب. والخلية البويضية في مغطة البذور جزر مكمل للكيس الجنيني والكيس الجنيني يمثل النبات المشيجي المؤنث لمغطة البذور وبالإضافة الى الخلية البويضية فإن النواتين القطبيتين اللتان بتحدان معاً لتكون نواة واحدة يتحد معها النسيج الذكري الثاني القادم من أنبوبة اللقاح مكوناً نواة الاستروسبيرم

التوالد البكري:

وهو التكاثر اللاجنسي أي تكاثر بدون إخصاب. وهو ثلاثة أنواع :

أولاً :- تنمو الخلية البويضية ان الي نبات جرتومي بدون إخصاب بطريقة ذاتية او يتأثير عامل منشط من انبوبة اللقاح والجنين هنا أحادي الكروموسوم (N1) وعقم عادة .

ثانياً :- تكون خلايا الكيس الجيني ثنائية الكروموسوم (NC) وينمو الجنين ثنائية الكروموم.

ثالثاً :- ينمو الجنين مباشرة من نسيج من انسجة المبيض في النبات الجرتومي الوالد ويكون عادة من غلاف البويضة ويكون الجنين ثنائي الكروموسوم ومطابق من الناحية الوراثة الجرتومي الوالد.

تعدد الأجنة:

ويعني هذا أكثر من جنين واحد داخل البويضة وتعدد الأجنة ظاهرة شائعة او منتظمة الحدوث في بعض الأنواع النباتية ففي معراة البذور توجد بشكل منتظم خليتان بيضيتان او أكثر في كل نبات شيجي مؤنث تنمو كل منها بعد الإخصاب لتكون جنيناً وقد يحدث في بعض الأنواع ان تنشط البويضة الملقحة او الجنين الي شطرين او أكثر ينمو كل منهما لجنين وذلك في معراة البذور بوجه خاص. وهناك سبب آخر وهو نمو كيسي جنينين في البويضة الواحدة كما في شجر الحور الرومي وتعطي كل منهما جنيناً.

وهناك سبب آخر هو النمو العذري لجنين او أكثر من نسيج المبيض كما سبق وهناك في بعض الأنواع أجنة متكونة من هذا الطريق بجانب جنين ناتج من البويضة المخصبة. وقد تكون الأجنة عذرية فقط.

تنمية البذرة: وتؤدي الحالات الأربع الأولى لتكون بذور فارغة اما الأخيرة فتؤدي لتكون بذور ضارة ان عملية الإخصاب والاندماج الثلاثي لا تحفز ان تنمية الجنين والأندوسبيرم علي التوالي فحسب ولكنها تؤثران أيضا تأثيراً منشطاً علي نمو البويضة وتحولها الي بذرة كما تؤثر علي نمو الثمرة.

والعادة ان البويضة المخصبة تبدأ الانقسام بعد فترة قصيرة ويستمر الانقسام حتي يتكون الجنين الكامل وتأتي الأغذية التي يستهلكها الجنين من النبات الام عن طريق الأندوسبيرم. وينمو الأندوسبيرم وهو نسيج قصير العمر في معظم الأنواع النباتية من نواة الأندوسبيرم ويصبح نسيجاً نشطاً بعد حدوث الاندماج الثلاثي بقليل وتختلف الحد الذي ينمو اليه نسيج الأندوسبيرم من نوا أخر وفي معظم الأنواع النباتية ينمو الأندوسبيرم سريعاً أثناء أطوار نمو البذرة الأولى ولكنه يهضم بعد ذلك ويستخدم كمصدر غذائي للجنين النامي حيث ان الأندوسبيرم وسط مناسب لنمو الأجنة كمصدر غذائي حيث تتحلل خلايا الأندوسبيرم المجاورة للجنين وتخفي ولا يبقى شئ عند نضج البذور وفي مراحل الجنين المتأخرة لهذه الأنواع يتراكم كميات محسوسة من الغذاء في الفلقات وفي أنواع قليلة مثل الحبوب والبلج وجوز الهند وبذور الخروع يبقى الأندوسبيرم كنسيج مخزن في البذرة الناضجة وتكون فيها الفلقات اقل تطوراً وتستخدم الأغذية المخزنة في الأندوسبيرم لتغذية البنية أثناء الإنبات. وأثناء نمو البذور تنمو أغلفة البويضة لتكون أغلفة البذور وعادة تكون ملساء لحماية ورغم ان تكون البذور ونموها هو نتيجة طبيعية لعملية التلقيح إلا إنها قد لاتحدث وفشل تكون البذور في الثمار يمكن حدوثها عندما يحدث تلقيح ذاتي في نوع من الأنواع النباتية ذات التلقيح الخلطي او عند حدوث تلقيح خلطي بين أصناف مختلفة لنفس النوع .

النمو الثمري

<u>عقد الثمار</u>	<u>العقد البكري</u>	<u>العقد والتوازن الهرموني الداخلي</u>
<u>نسبة الثمار</u>	<u>نمو الثمار</u>	<u>اختلاف التركيب الكيميائي للثمار</u>
<u>صلابة الثمرة</u>	<u>صبغات الثمار (التلوين)</u>	<u>المركبات الفينولية</u>
<u>محتوى الثمرة من الغذاء</u>	<u>النضج الفسيولوجي للثمار</u>	<u>التطور الثمري نحو النضج</u>
<u>تبادل الحمل</u>	<u>خف الثمار</u>	

عقد الثمار

هي عملية تحول الزهرة إلى ثمرة فيعد التلقيح و الإخصاب تبدأ مرحلة جديدة هي مرحلة تكون الثمار وبدخلها البذرة أو البذور في بداية تلك المرحلة يحدث ذبول للبتلات وتساقطها ثم تساقط الأقسام بما تحملها من مياسم أصابها الجفاف بعد أن أدت دورها .

يتم التحول من حالة الزهرة إلى الثمرة فيما يسمى بالعقد من عدة ساعات كما في أزهار المانجو إلى عدة أيام كما في أزهار الطماطم وتحتاج الثمار لتكوينها إلى انقسام خلايا جدار المبيض وهذا يحتاج منشط هرموني تحصل عليه جدر المبيض الثلاثة والمعروفة بالجدار الخارجي Exocarp ، و الأوسط Mesocarp والداخلي Endocarp أما من حيوب اللقاح فهي مصدر غنى بالأكسين أو ببائى تكوين الأكسين Auxin precursor وهو الحمض الأميني التربتوفان والذي يتحول الى اندول حمض الخليك وهو الفيتواكسين الضروري لتنشيط انقسام الخلايا ولا يلعب الأكسين وحدة هذا الدور بل يشترك معه كل من الجبرلين السيتوكينين .

ثم يأتي دور البذرة فعند تكوينها من الزيوجوت بعد إتمام عملية الإخصاب ونظرا لتوفر الأحماض الأمينية و الأحماض العضوية و السكريات الواردة من الورقة للثمرة العاقدة فإنه يتم تكوين المزيد من هرمونات النمو مثل الأوكسين و الجبرلين والسيتوكينين اللازم لانقسام تمييز وتخليق خلايا الجنين وعليه يصبح البذرة مصدر لتلك الهرمونات التي يحدث لها تسرب Release إلى جدار المبيض من يساعد على إتمام عملية انقسام واستطالة خلاياها ومن ثم تطور الثمرة حتى وصولها إلى مرحلة اكتمال النمو وقد وجد انه كلما زاد عدد البذور زاد حجم الثمرة النهائي حيث ان هناك علاقة بين توزيع البذور وشكل الثمار في بعض الأنواع .

العقد البكري

يقصد به عقد الثمار بدون إخصاب المبيض وتكوين ثمار بدون بذور يرجع في الغالب إلى عيب في الكيس الجنيني فيعرف بالعقد البكري Parthenocarpy تميزا له عن Stenospermocarpy حيث يتم التلقيح والإخصاب ولكن الجنين يضرر ويموت مع استمرار جدر المبيض في النمو لتكوين الثمرة ، وتنتشر تلك الظاهرة في عدة سلالات نباتية خاصة تلك التي تتميز بوجود عدة بويضات لكل ثمرة مثل الموز والتين والأناناس وهناك عدة حالات للعقد البكري :

Ø تكوين الثمار بدون تلقيح الأزهار وبدون إخصاب ويسمى بالعقد البكري الخضري مثل الطماطم والبرتقال أبو سرة والموز والأناناس .

Ø تكوين الثمار بتشجيع من التلقيح دون وصول أنبوبة اللقاح للمبيض مثل البطيخ ويسمى العقد البكري التنشيطي وقد يحدث فيه التنشيط من زيارة الحشرات للزهرة أو من تجريح الأزهار أو حتى بتأثير ذرات الغبار ويمكن تشجيع ذلك النوع من العقد باستخدام التالي .

Ø التحكم في الظروف البيئة مثل تعريض النباتات لدرجات حرارة منخفضة مع شدة إضاءة عالية فتكون نسبة التلقيح منخفضة تحت تلك الظروف كما في الطماطم أو تشجيع اختفاء الجنين بتعرض الثمار للصقيع أو الحرارة المنخفضة كما في التفاح و الكمثرى .

Ø تشجيع العقد البكري باستخدام منظمات النمو رشاً على النباتات بالأكسين كما فى الطماطم و الجبرلين كما فى العنب .

وفى حالات العقد البكري تتميز مبايض الأزهار و الثمار فيما بعد بارتفاع المستوى الهرموني عن مثيلاتها البذرية العادية فيدفعها هذا المستوى الهرموني المرتفع للاستمرار فى النمو وعدم التساقط أما فى الأنواع البذرية فتسقط ثمارها إذا فشل التلقيح و الإخصاب أو عند ضمور إجنتها بالثمار العاقدة ومعادلة تلك الأزهار بالهرمونات من الخارج Exogenous قد يعوض غياب الجنين مما يسمح المبيض الثمرة من الاستمرار فى النمو .

العقد والتوازن الهرموني الداخلى :

الأكسين والعقد : يبدأ الإفراز الهرموني فى الثمرة مع أول خطوة نحو تكوين الثمرة أي عند انتقال حبة اللقاح إلى ميسم الزهرة حيث تنمو أنبوبة اللقاح متوغلة بأنسجة القلم ، تحتوى حبة اللقاح على فيتوهرمونات الأكسين و الجبرلين التي تنشط وتصبح فعالة عند إنبات اللقاح بل الأكثر من هذا أن نمو أنبوبة اللقاح فى أنسجة القلم ينشط بناء الجديد من الأكسين بأنسجة المبيض ويرتفع المستوى الاوكسينى بصورة ملحوظة بالأنسجة المحيطة بقمة أنبوبة اللقاح النامية .

يحدث الإخصاب وينقسم الاندوسبرم سريعاً وينمو الجنين فيرتفع المستوى الاوكسينى لزيادة الناتج منه فى نسيج الاندوسبرم و الجنين حيث إنها أنسجة مرستيمية ويرتبط محتوى الثمرة من الأكسين بعد العقد بنموه وتطوره البذور فى الثمار البذرية ارتباطاً وثيقاً بل يتوقف مدى استمرار الثمرة فى النمو والتطور وبالتالي زيادة حجمها فى دوره نموها الأول بعد العقد على المستوى الاوكسينى بها ويعنى انخفاض هذا المستوى تساقط الثمرة البذرية أو حتى تساقط الزهرة قبل ذلك التي فشلت فى العقد .

يؤجل الأكسين من تساقط الأزهار بذاً تطول الفترة بين وقت استعداد الزهرة للتلقيح وبين وقت تساقطها وبذا تزيد فرصة واحتمال حدوث الإخصاب والعقد الطبيعي بدرجة احسن فقد أدت المعاملة بالأكسين "عجينه اللانولين ١ % من تحسين عقد البطيخ .

وبالرغم من انه أمكن الحصول على ثمار بالعقد البكري بعد معاملة مبايض الأزهار لأنواع كثيرة بالأكسين إلا أن ذلك لا يمكن تعميمه فمن الثابت انه لم يمكن الحصول على ثمار بكريه فى أكثر من ٨٠ % من الأنواع البذرية فلا بد من توفر الاستعداد الطبيعي الموروث لتكوين ثمار بكريه العقد أي أن فرصة حدوث العقد البكري تزداد فى الأنواع التي تعتقد بعض أصناف بكرياً طبيعياً خاصة إذا عوملت بمنظمات النمو الهرمونية .

ولا ينفرد الأكسين بالدور الرئيسي فى دفع الثمرة للنمو و التطور بل يشترك معه هرمونات أخرى مثل الجبرلين .

وقد وجد أن مستوى الأكسين فى الثمار البذرية يكون أكثر ارتفاعاً فى طور الأزهار ولعدة أيام بعد حدوث العقد مباشرة عن نظيره بالثمار البذرية لنفس النوع النباتي ، وقد ارتفعت نسبة الثمار المتساقطة بعد العقد بيوم أو بيومين فى الثمار البذرية كنتيجة لانخفاض الأكسين بها فى هذا الوقت بغض النظر عن سبب انخفاضه .

ولنمو البذرة أثره الكبير فى نمو الثمرة وزيادة حجمها حيث تمد البذرة الثمرة بالأكسين القابل للانتشار Diffusible auxin ومثال على ذلك ثمرة الشيك المتجمعة فان حجمها يتوقف على الثميرات الاكينية Achenes و التي تمد نسيج التخت اللحمي بالأكسين فتتمو وينمو معه الثمرة ، وغياب إحدى الثميرات الاكينية يمنع الإمداد الاكسينى لنسيج التخت وبالتالي يمنع نمو الأنسجة بهذا الجزء وتبدو الثمرة غير منتظمة الشكل . أمكن الاستعاضة عن الثميرة بوضع عجينه اللانولين المحتوية على ٢ Naphthoxyacetic acid بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون فتتمو الثمرة كما لو كانت كل الثميرات موجودة .

ولعدد من البذور فى الثمرة دور كبير فى زيادة مستوى الأكسين بها ومن ثم يرتبط حجم الثمرة بعدد البذور بها فقد وجد أن محتوى الثمار الكبيرة كان خمس أضعاف ما بالثمار الصغيرة و التي سقطت فى مرحلة التساقط الثمري الأول وقد انخفض المستوى الاكسينى بالثمار التي عقدت دون تلقيح عنه فى الثمار التي عقدت بعد تلقحها و إخصابها ثم

سقطت في التساقط الأول وفسر ذلك على أساس أن كميات الأكسجين المطلقة بالثمرة ليست هي المتحكمات في التساقط من عدمه ولكن يحدده المستوى الأكسجيني بالثمرة وعلاقته بالمستوى الأكسجيني بالثمار المتاخمة لها على العنقود بمعنى أنه عندما تنتج بعض الثمار من أزهار ملقحة و البعض من أزهار فشل تلقيحها فإن الفرق الكبير بين المستوى الأكسجيني إي التدرج الأكسجيني يسبب التساقط السريع للثمار ذات المحتوى الأكسجيني الأقل وقد لوحظ أن تدهور الجنين في الخوخ والكريز يؤثر على حجم الثمار وموعد النضج وقد يسبب موته أو ضموره لتساقط الثمرة في حين يؤدي ضمور الجنين في آخر مراحل النمو البيريكارب قد يزيد من نمو الثمرة أن لم يكن له تأثير .

مصدر الأكسجين بالثمرة : يختلف نوع النسيج المانح للأكسجين بالبذرة " نيوسيلة ، اندوسبيرم جنين ، قصره) تبعا للنوع النباتي وعمر البذرة ففي العنب الكونكورد الأمريكي ارتبط نمو النيوسيلة انقسام وتضخم الخلايا لمدة أسبوع بعد الأزهار بنشاطها في تكوين معظم الأكسجين بالبذرة ثم يظهر الاندوسبيرم الخلوي في اليوم التالي بعد العقد وبذلك يبدأ مصدر آخر للأكسجين بالبذرة حتى حين يقل تدريجيا المصدر النيوسيلي ويزيد في المقابل المصدر الاندوسبيرم ثم يبدأ الجنين في الانقسام بعد ١٤ يوم من العقد ثم ينمو ببطيء حتى يصل أقصى نموه له بعد ٢٥ يوم من العقد وذلك يشارك متأخراً في إنتاج الأكسجين أما الأغلفة البذرية فلها أيضاً دور بجانب الاندوسبيرم لكن هناك اعتقاد يرى أن الاندوسبيرم هو مركز إنتاج الأكسجين ويصل الإنتاج لأقصاه عند تحول nuclear Free إلى Cellular endosperm .

مما سبق يتضح أهمية الفيتو هرمونات في عقد الثمار من عدمه وحاول كثير من الرش بمنظمات النمو لإسراع إنبات حبة اللقاح وإسراع استطالة أنبوبة وبالفعل نشط IAA، IBA، NAA و الجبرلين و السيوتوكينين من نمو حبة اللقاح و بالتالي زيادة العقد وكانت التركيزات المستعملة في حدود ضيقة للغاية من ١-٥٠ جزء في المليون بينما تمنع التركيزات العالية من إنبات حبة اللقاح ويستفاد من ذلك في برامج التربية للحصول على هجن أكثر منه بغرض تحسين العقد .

الجبرلين و العقد : تمد البذرة الثمرة أيضاً بالجبرلين اللازم لنمو أنسجة الثمرة ، أن احتواء جدر المبيض على الفيتو هرمونات يساعدها في القيام بدور المستقبل في العلاقة Sink/Source Relation والتي تؤدي إلى جذب المواد الغذائية المتكونة في الأوراق لتخزن في خلايا الثمرة المتكونة ، وتستجيب نباتات العائلة القرعية لمعاملات الأكسجين والجبرلين لأحداث العقد البكري وتتميز التركيزات المستعملة باتساع مداها إذا يقع التأثير في حدود ١٠ - ٢٠٠ جزء في المليون في دفع الأزهار المعاملة للعقد البكري . وتدل النتائج أن خلط أكثر من جبرلين يعطي تأثير أكبر في إحداث العقد البكري في الثمار الفرعية .

وتختلف الأصناف في استجابتها إذ بينما لا يحدث أي تحسن في عقد التفاح صنف Golden delicious بعد المعادلة بتسعة جبريلينات نجد أن العقد زاد ٤٠ - ٨٠ % بعد المعاملة ب ١٠٠ - ٨٠٠ ppm في الصنف Lombartacol villa ، وقد أمكن الحصول على عقد بكرى للكريز لا تختلف عن الثمار العادية بعد المعاملة بمخلوط من ٢,٤ - D-٢,٥ GA3 -NAA -T-٢,٤ بتركيز ٢٠ في المليون .

وللتوقيت الصحيح للمعاملة أثره الكبير على نجاح العقد البكري من عدمه وكلما بكر في الاستعمال كلما زاد عدد الأزهار التي تعقد بكرى مما يجب معه إجراء خف عناقيد العنب مثلاً أو الحبات كما أنه تأخير المعاملة لا يتحقق معه الزيادة المرغوبة في حجم الحبة لذا فاحسن وقت للمعادلة يكون بعد تساقط الأزهار التي فشلت في العقد مباشرة .

تبدى الأصناف البذرية أو غالبيتها عد استجابة للمعاملة با GA3 بل قد يسبب ضرراً مثل انفصال الحبات وقلة المحصول وقلة نمو الأفرع الحضرية في العام التالي للمعاملة كنتيجة لتأثيره في تأخير نضج الخشب سنه المعادلة بل قل الأزهار في العام التالي .

السييتوكينين و العقد : لوحظ وجود السييتوكينين في ثمار الموز البكرية بينما احتوت الثمار البكرية على القليل من السييتوكينين أو حتى غيابه كلياً وقد أعطت المعاملة بمخلوط من $BA + GA3$ زيادة العقد البكري في الموز .

معوقات النمو والعقد : أدت المعاملة بCCC على العنب البذري ١-٣ أسابيع قبل الأزهار بتركيز ١٠ - ١٠٠ جزء في المليون إلى زيادة عدد الثمار العاقدة بحوالي ٢٠ % و ارتبطت الزيادة في عدد الحبات العاقدة بالزيادة في تركيز السييكوسيل المستعمل .

نسبة الثمار

تعتبر نسبة العقد أي عدد الأزهار العاقدة إلى العدد الكلي للأزهار أحد العوامل المحددة لمحصول أي نبات تجارى وهناك عدة عوامل تحدد نسبة العقد وهي :-

Ø عدم كفاية التلقيح حيث تؤثر قلة الإضاءة ودرجات الحرارة المنخفضة على تركيب الأزهار مما يقلل من كفاءة عملية التلقيح الذاتي فيه ، كما تؤثر الظروف الجوية على طول الفترة التي تكون فيها المياسم مستعدة للتلقيح فانخفاض الرطوبة النسبية وزيادة إشعاع الشمس وسرعة الرياح تسبب سرعة جفاف المياسم وبالتالي تقل المدة التي يكون فيها مستعد لاستقبال حبوب اللقاح وتهينة البينة الملانة لإنبات حبوب اللقاح عليها كما يزيد أو يقل عقم حبوب اللقاح تحت ظروف بيئية معينة من كفاءة التلقيح .

Ø تنافس الثمار الصغيرة على الغذاء الممنوح من الأوراق والذي ينتقل للثمار بسبب قلة العقد حيث تسقط الثمار العاقدة الصغيرة والتي لم تحصل على احتياجاتها الغذائية واللازمة للاستمرار حياتها وقد وجد أن التحليق يمنع انتقال المواد الغذائية خارج الفروع وبالتالي يزيد عدد الثمار العاقدة على الفرع وتسبب قلة كمية الماء المتوفر للنبات أيضاً على انخفاض نسبة العقد وذلك إذا وصل النبات إلى حد الاستنزاف المائي فارتخت جدر خلاياه وتوقف عن الانقسام فقد يؤدي ذلك إلى التضحية ببعض الثمار الصغيرة العاقدة للمحافظة على الاتزان المائي ، وقد يتم تساقط الأزهار والثمار الصغيرة العاقدة نتيجة عدم الاتزان الهرموني نتيجة عدم وفرة الهرمونات اللازم لإتمام العمليات الفسيولوجية المختصة بالتطور الثمري والنضج وهذا التوازن الهرموني الضروري للثمار يتأثر بالظروف الجوية من حرارة ورطوبة نسبية ورياح وغيرها ويمكن استخدام الهرمونات رشاً لرفع نسبة العقد كاستخدام نفتالين حمض الخليك NAA و مركبات الفينوكس مثل ٢,٤ - D .

نمو الثمار

تختلف فترة انقسام الخلايا أثناء نمو الثمار بعد العقد Anthesis من نبات لآخر فبينما تكون ٤-٨ أيام في الكوسه ، تكون ٤-٩ أسابيع في البرتقال ويستمر انقسام الخلايا حتى اكتمال النمو وتنمو معظم أنواع الثمار حسب منحني النمو المعروف على شكل S ويسمى Sigmoid curve مثل البرتقال، البلح، الطماطم، البسلة، القرعيات بينما يتبع عدد آخر من الثمار منحني نمو ذو دورتين curve Double sigmoid مثل المشمش والخوخ والبرقوق و الزيتون والتين والعنب حيث تتميز الثمار بوجود فترتين للنمو السريع بينهما فترة للنمو البطيء تكون الأولى مرحلة نمو سريع للمبيض ومحتوياته ما عدا الاتدوكارب ونمو سريع للاندوسيرم والجنين . ثم يعقبها مرحلة نمو سريع ثانية للطبقة الوسطية للثمرة (الميزوكارب) نتيجة كبر حجم الخلايا وليس لزيادة أعدادها حتى اكتمال النمو .

تنتقل المواد الغذائية أثناء نمو الثمار من الأوراق القريبة القادرة على التمثيل الغذائي إلى الثمار. لذلك نجد أن نمو الثمار يصاحبه زيادة حجم ووزن . إلا أن في بعض الحالات مثل ما هو موجود في التفاح نجد أن زيادة الحجم تفوق الوزن ب ٢٥ % وذلك نتيجة تكون فراغات هوائية بين خلايا الثمار . أما في العنب فيحدث العكس حيث يزيد الوزن عن الحجم نتيجة تراكم المواد الصلبة الذائبة في الثمار .

اكتمال نمو ونضج الثمار : اكتمال النمو هو وصول الثمرة لعمر فسيولوجي هو نهاية منحنى النمو الثمرى فتصل الثمرة إلى الحجم النهائي وإذا قطفت الثمرة عند تلك المرحلة تستطيع بعيدا عن الأم من الاستمرار في مراحل التطور لتصل إلى النضج دون نقص في صفاتها الثمرية من حيث الجودة والطعم وعند ذلك نجد أن الثمرة استعدت للتحول للنضج بمعنى أن كل المواد الداخلة في تفاعلات النضج قد جهزت و الأنزيمات التي سوف تقوم بالعمل قد أنتجت وسوف يتم البدء في العمل .

مرحلة النضج هي مرحلة يتم فيها حدوث تغيرات في اللون والصلابة والطعم والرائحة لتصبح الثمرة صالحة للاستهلاك وصالحة للقطف ، ولكن هناك إستثناءات حيث أن بعض الثمار لا تنضج إلا بعد قطفها كالزبدية ، ويسرع القطف من البعض الآخر من الثمار مثل التفاح والموز والبابا . ويجب الأخذ في الاعتبار أن القطف قبل وصول الثمرة إلى مرحلة اكتمال النمو يمنعها من الوصول للنضج بكفاءة فتقل بذلك جودتها وصلابتها للأكل .

تلي مرحلة النضج دخول الثمرة في مرحلة الشيخوخة وبداية حياتها الفسيولوجية ، يصاحب النضج تغيرات منها فقد الصلابة بتحلل المادة اللاصقة بين الخلايا (بكتات الكالسيوم) وهى الميولاميل ، كما يحدث تحول المواد النشوية إلى سكرية ، وفقد المواد التانينية والفينولية ، وتكوين صبغات اللون وتكوين الغازات المتطايرة المسنولة عن الرائحة والنكهة والتغير في معدل التنفس وبالتالي التغير في محتوى الثمرة من الأحماض فتعدل النسبة بين السكريات إلى الأحماض فيحدد الطعم المميز للثمرة

اختلاف التركيب الكيميائي للثمار باختلاف نوع الثمار وأصناف النباتات

رغم أنها تسقى بماء واحد تحتوى الثمار على مواد كيميائية عديدة كالماء والكربوهيدرات والفيتامينات.....الخ وتستمد الثمار مكوناتها الكيميائية نتيجة لانتقال المركبات الكيميائية من مواد كربوهيدراتية وبروتينات ودهون وعناصر وفيتامينات وغيرها من المجموع الخضرى خلال الأوعية اللحانية إلى الثمار وبذلك فالثمار تعتبر أعضاء تخزين ، كما يحدث فيها تحول المركبات الكيميائية البسيطة إلى مركبات أكثر تعقيدا .

تنتقل المحاليل الغذائية المتكونة في الأوراق إلى الثمار وتندفع بخاصية الاندفاع بالضغط فعند تكوين السكريات في الورق يزداد ضغطها الاسموزى فتمتص الماء وتنتفخ وتزداد الضغط الناتج عن الانتفاخ (ضغط الانتفاخ) عن الخلايا المجاورة فيندفع المحلول إلى الخلايا المجاورة فيندفع المحلول إلى الخلايا المجاورة خلال البلازموذما ثم إلى الأنابيب الغربالية وينساب ليصل في النهاية إلى خلايا الثمار ، وفي الثمار تستهلك الكربوهيدرات في التنفس لإنتاج الطاقة أو تتحول والكربوهيدرات البسيطة والمسببة للضغط الاسموزى إلى نشا (والمسبب للضغط الاسموزية المنخفضة) وبذلك يظل ضغط الانتفاخ في خلايا الثمار منخفضة مما يسبب اندفاع و انتقال المزيد من الكربوهيدرات الذاتية من الورقة إلى الثمرة .

وبالرغم من أن الأنواع المختلفة لثمار الحاصلات البستانية تتشابه في محتوياتها الكيميائية من الناحية الوصفية إلا إنها تختلف اختلافا كبيرا في الكميات ويرجع الاختلاف بين أنواع الثمار في تركيبها الكيميائي فان الثمار داخل النوع الواحد تختلف في الكميات الموجودة بها من المركبات الكيميائية ويرجع ذلك لعوامل وراثية وعوامل بيئية مختلفة .

ترتبط صفات الجودة من حيث الطعم من كمية النشا و السكر ونسبتها الى الأحماض وكمية المواد البكتينية الذائبة بالصلابة ونوع بكمية الصبغات النباتية باللون وكمية الفينولات والتانينات بالطعم القابض وكمية الأحماض العضوية بدرجة الحموضة وهكذا وترتبط هذه التغيرات الكيميائية مع التنفس .

تعتبر الكربوهيدرات من أهم المكونات الكيميائية للثمار وتشمل السكريات الأحادية الثلاثية والرابعة والخماسية والسداسية كما تحتوى السكريات الثنائية والثلاثية ، ومشتقات السكريات ، الاسترات ، الجليكوزيدات و السكريات العديدة مثل النشا والسيليلوز و الانبولين تتراوح نسبة الكربوهيدرات في ثمار الجوافة ٧ % ، الموز ٢٣ % والمانجو ١٨ % والخوخ ١٦ % والعنب ٣٧ % واهم السكريات هي السكروز والجلوكوز و الفركتوز ، يحتوى الخرشوف على الانبولين كمادة كربوهيدراتية بدلا من النشا أما الثوم فيحتوى على نسبة عالية من الدكسترين .

يوجد النشا في صورتيه ، الاميلوز ويوجد في الثمار بنسبة ٢٠-٢٥ % بينما تصل نسبة الاميلوبكتين إلى ٧٥-٨٠ % وتختلف شكل حبيبات النشا من نوع من الثمار للآخر ، يوجد في الثمار نوعين من أنزيم الاميليز المحلل للنشا آلافا اميليز ويعمل على تكسير الروابط الجليكوزيدية الوسيطة ويحول النشا الى دكسترين ، أما البيتا اميليز فيعمل على تكسير الروابط الجليكوزيدية الطرفية لتحويل النشا و الدكسترين إلى مالتوز كما يوجد في الثمار أنزيم المالتيز الذي يحول المالتوز الى جلوكوز ، كما قد يتحول النشا الى جلوكوز بفعل أنزيم phosphorylase Starch في وجود حمض الفوسفوريك الغير عضوي وينشط هذا التفاعل على درجات الحرارة المنخفضة .

توجد بالثمار عدد كبير من الأحماض العضوية بكميات متفاوتة خاصة أحماض دورة كربس في تفاعلات التنفس مثل حمض الستريك في الموالح والماليك في التفاحيات والطرطريك في العنب .

الحمض	الثمرة	الحمض	الثمرة
الفورميك	التفاحيات	الجليوكسيليك	البطاطس
الجليكوليك	العنب - الطماطم	اللكتيك	الجزر
السكسينيك	العنب-الموز-التفاح	المالونيك	البقوليات
الطرطريك	العنب-الأناناس	البيروفيك	كل الثمار
الماليك	التفاح-الخوخ	الاوكسالوستيك	كل الثمار
الكوينيك	التفاح-الخوخ	الفيوماريك	كل الثمار
الكلوروجينيك	التفاح	الالفاكيتوجلوتاريك	كل الثمار
الستريك	الموالح- الجوافة-الماتجو	الاكساليك	الموز الطماطم -الخضر الورقية

المواد البكتينية وصلابة الثمار :

تلعب دورا هاما في صلابة الثمار حيث أن الصفحية الوسطية middle lamella تتكون فقط من مواد بكتينية ، أما الجدار الأولى فيحتوى على المواد البكتينية بالإضافة إلى السليولوز وهيمسليولوز و البروتينات والليبيدات ، يلي الجدار الأولى الجدار الثانوي لخلايا الثمار فيحوى القليل من المواد البكتينية ويكون المكون الأساسي هو السليولوز. وعند نضج الثمار يحدث التغيرات في الصفيحة الوسطى والجدار الأولى بينما لا يحدث أي تغيير في الجدار الثانوي وما يحدث في الصفيحة الوسطى والجدار الأولى ما هو إلا تحلل بكتات الكالسيوم الغروية اللاصقة بين الخلايا إلى مركبات تذوب في الماء فينتهي دورها اللصق وتلين على أثره تلك الثمار فتصبح سهلة نزع القشرة عن الثمرة أو الأكل المباشر .

تتكون المواد البكتينية في الصفيحة الوسطى والجدار الثانوي من وحدات متكررة من حمض الجلاكتورونيك مرتبطة بروابط جلوكوزيدية ومجموعات ميثانول وتشمل على كل من:

❖ حمض البكتيك الذي يتكون من أربع وحدات حمض الجلاكتورونيك بالإضافة إلى سكر خماسي هو الارابينوز وآخر سداسي هو الجالاكتوز وهو يماثل سابقة بالإضافة إلى اتحاد الميثيل بدلا من ذرة أيروجين على مجموعة الكربوكسيل ليكون ميثيل استر

Ø البكتينات او البكتين يتكون من ٢٥ وحدة حمض بكتيك و البكتينات وهى الصورة المعقدة وهى عبارة البكتينات المرتبطة بالكالسيوم أو السكريات أو بروابط ايدروجينية لتكون مركب ذو وزن جزئي مرتفع ويؤدى إلى صلابة الثمار وتختلف نسبة المواد البكتينية تبعاً لنوع الثمار فهي تمثل ٣٥% من وزن قشرة الليمون ، ١٧% من وزن قشرة التفاح ، ٣% من وزن قشرة الطماطم، ويوجد تناسب بين الميثلة فى البكتين و صلابة الثمار فكلما نقصت الاسترة نقصت الصلابة .

ويلعب الكالسيوم الدور الأساسي فى تحديد مدى صلابة الثمار حيث أن اتحادها مع البكتين و الأحماض البكتينية يسبب الصلابة وعند تحرره بواسطة أنزيم البكتينيز تفقد الثمرة صلابتها ، ولا يلعب أنزيم البكتين الدور الوحيد فى لين الثمار بل يشاركه عدة أنزيمات أخرى مثل البروتوبكتينيز الذي يحلل البروتوبكتين إلى حمض بكتينيك . وأنزيم البكتين ميثيل استريز الذي يكسر رابطة الميثيل استر فى حمض البكتينيك و البروتوبكتين كما يشارك إنزيم البولي جلاكتورينز فى تكسير الروابط الجليوكوزيدية (١-٤) بين حمض الجلاكتوريك مما يعمل على تقصير السلسلة وقد وجد أن نشاط تلك الأنزيمات سابقة الذكر يزيد مع تقدم الثمار فى النضج ويعتقد الكثير من الباحثين أن كمية الأنزيمات فى الثمار لا تتغير أثناء مرحلة التطور الثمري إنما تكون فعالة فى مرحلة النمو لوجود مواد مانعة لنشاط الأنزيمات والتي نقل مع تقدم الثمرة فيظهر نشاط تلك الأنزيمات كما وجد أن نشاط تلك الأنزيمات يتأثر بما تتعرض له من ظروف تشجع على نشاط تلك الأنزيمات مثل ارتفاع درجة الحرارة والمعاملة بغاز الأيثلين

صبغات الثمار (التلوين)

هي مجموعة مركبات مسنولة عن الألوان فى الثمار وتنقسم إلى :

Ø صبغات غير قابلة للذوبان فى الماء وتذوب فى الليبيدات

Ø الكلوروفيلات وتشمل كلوروفيل أ ، ب وهى المسنولة عن اللون الأخضر

Ø الكاروتينات وتشمل صبغات مسنولة عن اللون الأصفر والبرتقالي مثل الالف كاروتين

Ø والجاما كاروتين والزنثوفيلات وكذلك صبغة الليكوبين الحمراء

Ø صبغات قابلة للذوبان فى الماء

Ø الفلافونول ولونها اصفر أو اصفر مبيض

Ø الفلافونات ولونها اصفر أو كريمي فاتح

Ø الانثوسيانينات ويسبب الألوان من الأحمر إلى الأزرق وإذا اتحدت هذه الصبغات مع

Ø المركبات الفينولية فى الثمار تظهر الألوان البنية

أما الفلافونينات وهى الأصباغ التي تذوب فى الماء وهى عبارة عن جلوكوزيدات من نوع خاص توجد فى العصير الخلوي وتتكون من السكريات عن طريق حمض الشيكيميك والذي ينتج عنه حمض التيروزين والفينيل الانين ثم يتكون منهما أحماض السيناميك ثم الشالكونز الذي يتكون منه الانثوسيانينات والفلافونات وتمتاز الفلافونات عن الانثوسيانين باحتوائها على الأوكسجين وعند تحليلها تنتج السكر واجليكون وتوجد فى البصل و القرنبيط و الكرنب

Ø الانثوسيانينات اى الفلافونينات المؤكسدة ومن أهمها :

_ سيانيدين - ٣ جلاكتوزيد وتوجد فى الخوخ و التفاح والبرقوق

_ دلفينيدن ٣-جلوكوزيد وتوجد فى الرمان و العنب

_ سياندين ٣- مانوزيد وتوجد فى التين

_ بلارجونيدن ٣- جلاكتوزين

ومن هنا يتضح أن اللون الأحمر فى التفاح و الخوخ والنكتارين و المشمش و البرقوق والعنب و الرومان و الشليك ويرجع إلى الانثوسيانينات .

تتكون الكلوروفيلات فى الثمار من اتحاد حمض الجليسن مع حمض السكسينيل المحمول على المساعد الأنزيمي A (Succinyl CO A) لتكوين مركب البروتوبرفيرين Protoporphyrin الذي تتحد أربع جزيئات منه مع المغنيسيوم ليكون حمض الكلوروفيلين فتتحد مع تربين يعرف بحول الريبتول ليكون جزيء الكلوروفيل ، يأخذ الكلوروفيل فى التأكسد و الاضمحلال كلما تقدمت الثمار فى النضج ومع اختفاء الكلوروفيل تبدأ الصبغات الأخرى فى الظهور ويفقد الكلوروفيل فيتحول الى مركب Pheophytin والذي يتحول إلى مركب Chlorins وهى مواد عديمة اللون

أما الكاروتينات فتنتج من اتحاد مركب الأسيتيل مع حمض اللي وسين لينتج حمض الميفالونيك الذي تتكشف ثمان وحدات منه ليكون phytoene ثم phytofluene ثم Neurosporene عند ذلك الحد تكون الثمار وصلت إلى مرحلة اكتمال النمو

تلك المركبات السابقة الذكر عديمة اللون وعند بداية النضج يتحول المركب الأخير أما إلى الكاروتين أو إلى الليكوبين ثم الزانثوفيل وذلك بمساعدة الضوء فهو يساعد على تغير لون الانثوسيانين تبعاً لتغير درجة حموضة المحلول الذائب فى العصير الخلوي فتكون حمراء فى الوسط الحامضى وبنفسجي فى الوسط المتعادل و ازرق فى الوسط القلوي كما يتوقف اللون على نوع السكر المرتبط بالاجليكون وعلية فإن توفر الضوء داخل قلب الشجرة ضروري لتكوين الألوان وجودة الثمار وبالتالي فإن عملية التقليم او فتح قلب الشجرة للسماح للضوء من تخلل قلب الشجرة من المهارات الأساسية للبستانيين للحصول على ثمار ذات جودة عالية من حيث التلوين الذى يعتبر هو الصفة الأساسية فى الجودة

المركبات الفينولية

تشمل عدد من الأحماض العضوية العطرية المنتشرة في الثمار بالإضافة إلى الفلافونات والليكوانثوسيانينات والكاتيكينات وغيرها ، تحدد الفينولات طعم الثمار ومدى صلاحيتها للاستهلاك ويوجد في الثمار عدد من الأنزيمات التي تؤثر على المواد الفينولية من أهمها البولي فينول اوكسيديز ، التيروسينيز ، الاوكسجينيز و الفينوليز.

الفينول	الثمرة
حمض البنزويك (ابسط الفينولات)	معظم الثمار
حمض الكلوروجينيك	تفاح - كمثرى - خوخ
حمض الكونيك	تفاح - كمثرى - خوخ
حمض السالسليك	العنب والفراولة
حمض الكافيك	العنب - الطماطم - الخيار - الشمام - البطيخ
حمض الفروليك	الطماطم - الفلفل
الكاتيكين	العنب
الجالوكاتيكين	الجريب فروت
الفلوريديزن	التفاح
الاربوتين	الكمثرى
الفلافونينات	الحلويات - الفراولة
الليكوانثوسيانينات	التفاحيات - الحلويات - العنب
الانثوسيانينات	الرمان - العنب

التانينات : هي مواد فينولية عديدة Polyphenoles المسنولة عن الطعم القابض قبل اكتمال نمو الثمار وتعتبر استرات سكرية لحمض الجاليك واللاجيك ... وتنقسم التانينات الى قسمين :

Ø تانينات قابلة للتحلل Hydrolysable tannins

وهي عبارة عن جزيئات حمض الجاليك (حمض الجاليك يتكون من عدد من جزيئات حمض البنزويك) وتنقسم هذه المجموعة الى Gallotannins تعطى عن تحليلها حمض الجاليك وسكر الجلوكوز و Ellagitannins تعطى عن تحليلها حمض جاليك وحمض اللاجيك (٢ جزيي جاليك) وجلوكوز

Ø تانينات غير حرة Condensed tannins

هي أنواع من الفلافينات مثل الكاتيكين والسانيدين و الليكوانثوسيانينات عديمة اللون ، وبصفة عامة تقل كمية التانينات الحرة في الثمار مع تقدمها في النضج نتيجة زيادة قابليتها للذوبان وزيادة تحول التانينات الغير حرة إلى أجسام تانينية صلبة غير ذاتية يودي إلى تحوصل الخلايا فلا تنهشم أثناء الأكل فلا تنتشر في الفم و لا تختلط باللعاب وبذلك لا يشعر بالطعم القابض .

محتوى الثمرة من الغذاء :

البروتينيات : تختلف البروتينيات باختلاف الثمار وهي في الغالب فقيرة بالبروتينيات باستثناء بعض الثمار الغنية بالبروتين مثل الزيتون ٣% ، الزبدية ٤% ، البيكان ١٠% الجوز ١٦% اللوز ١٨%

وقد يوجد البروتين في الثمار في صورة أحماض أمينية حرة . وقد وجد أن هناك تغير نسبي في نوع الأحماض الأمينية مع تقدم الثمار في النضج فمثلا يزيد البرولين ويقل الاسبارتيك والجلوتاميك في الكمثرى ، كما وجد في ثمار الطماطم أن كمية الأحماض الأمينية ثابتة في مراحل النضج المختلفة إلا أن كمية الجلوتاميك و الاسبارتيك تزيد مع تقدم الثمار في النضج ، زيادة الأحماض الأمينية الحرة تنتج نتيجة تحليل البروتين .

الليبيدات : تتكون في الثمار كمواذ مخزنة ولتوليد الطاقة عند الحاجة ويختلف كمياتها أيضا تبعا لنوع الثمار فهي قليلة جدا في معظم الثمار باستثناء الزيتون ١٢-٢٠% الزبدية ١٦% اللوز ٥٤% الجوز ٦٤% البيكان ٧٠% . وتحتوى الثمار الدهنية على أنزيم الليبيز الذي يحلل الدهون وقد وجد أن هناك علاقة بين هرمون الاثيلين بالثمار وكمية الحمض الدهني اللينوليك .

تدخل الشموع في تكوين طبقة الكيوتيكل على سطح الثمار التي تعمل على الحد من تبخر الماء وتكسب الثمار البريق اللامع وهي مواد تشبه الدهون في احتوائها على الأحماض الدهنية ولكن تختلف في احتوائها على كحولات أحادية الايدروكسيل بدلا من الجليسرول .

المركبات الطيارة : تعرف بالمركبات الطيارة الغير ايثيلينية Nonethylenic volatiles تسبب رائحة الثمار ونكهتها وهي مواد طيارة لاحتوائها على روابط زوجية تتكون المركبات الطيارة من التربينات و مواد أخرى مثل الأسترات و الكحولات و الالدهيدات و الكيتونات و الأحماض العضوية ، يصل تركيز الغازات المتطايرة غير الايثيلينية حوالي ٦ - ٤.٣ ملجرام / لكل من ثمار التفاح ، الكمثرى على الترتيب .

الثمار	المركبات الطيارة
التفاح	كحولات : ميثانول - ايثانول - بروبانول - البيوتانول - ميثيل بيوتانول - هكسانول استرات : استرات الميثانول والايتانول والبيوتانول والهكسانول مع حمض الفورميك والخليك والبروبيونيك والبيوتريك والفاليرك والكبريك والكبروك الدهيدات وكيتونات: استيالدهيد - أسيتون - ايثيل ميثيل كيتون استرات : استرات أميل لأحماض الخليك والبروبيونيك والبيوتريك كحولات: بنتانول -نونانول - ديكانال
الموز	استرات : بروبييل استيات - جيرانييل استيات - لينانييل استيات - سترونييل بيوترات
الطماطم	الحمض الأميني اليبينين وأنزيم الالينيز الذى ينتج مركبات البسين وحمض بيروفيك وغاز الأمونيا ، تتبخر الاليسين فى الهواء وتتفكك لتعطى الرائحة المميزة مادة بروبييل ينتج من تطايرها بروبييل داي سلفيد ومادة اليل تتطاير لتكون اليل دايسلفيد

تلون الثمار باللون البني : يحدث ظاهرة التلون البني فى بعض الثمار عند قطعها وذلك لقيام إنزيم Polyphenol oxidase بتأكسد مادة الكاتيكول باستخدام الأكسجين الذي يتوفر عند حدوث القطع أو الجرح فتتحول إلى الارثوكينون ثم تتحول الأخيرة إلى هيدروكسى كينون ثم يتفاعل المركبان معا ليتكون الكاتيكول مرة ثانية بالإضافة إلى هيدروكسى كينون التي تتجمع لتكون صبغة الميلانين البنية اللون ، ويمنع وجود حمض الاسكوربيك أكسدة الكاتيكول بأنزيم البولى فينولأكسيديز .

الفيتامينات : تعتبر ثمار الفاكهة أهم المصادر الطبيعية للفيتامينات وتمتاز بعض الثمار بانفرادها بين أنواع الثمار الأخرى باحتوائها على فيتامين معين مثل الموالح والجوافة و البلح و الطماطم و الفلفل بفيتامين ح أو حمض الاسكوربيك ، كما يتوفر فيتامين (فيتامين أ) فى ثمار المشمش والبرقوق واليوسفي وفيتامين ب بكميات بسيطة فى البرتقال و التفاح و التين و العنب ويوجد النياسين فى البرتقال و التين والجوافة و الرومان و العنب و الموز كما يوجد السترين (فيتامين أ) فى الموالح خاصة الليمون.

الأملاح : لا تقتل أهمية عن الفيتامينات وتحتوى الثمار على كميات متفاوتة منها كالصوديوم والمغنيسيوم والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمنجنيز والحديد والنحاس والزنك وتتراوح نسبتها فى الثمار ما بين ٠.٢٥ إلى ٠.٦٤ % على أساس الوزن الجاف . وتوجد الأملاح عادة فى صورة أملاح للأحماض العضوية ذائبة فى العصير وتوجد العناصر كالحديد والنحاس والمنجنيز والمغنيسيوم كعوامل مساعدة لفعل الإنزيمات العاملة فى الثمار .

النضج الفسيولوجي للثمار وعلاقته بالتنفس (ظاهرة الكلايمكتريك)

اكتشف West & Kidd فى الثلاثينات عند دراسة تنفس ثمار التفاح أن معدل تنفس الثمار ينخفض عند اكتمال النمو ثم يرتفع أثناء النضج حتى يصل إلى ذروة التنفس يعقبه انخفاض مرة أخرى عند دخول الثمار فى الشيخوخة أطلق على تلك الظاهرة اسم الكلايمكتريك Climacteric

قسمت الثمار إلى ثمار تحدث فيها وثمار لا تحدث فيها ظاهرة الكلايمكتريك

ثمار غير كلايمكتيرية	ثمار كلايمكتيرية
كرز - تين - عنب - الليمون - البرتقال - الأناناس - الفراولة - الشمام - الخيار	تفاح كمثرى - مشمش - خوخ - برقوق - زبدية - مانجو - موز - باباظ - بشملة - طماطم

ثم توالت الأبحاث لتحديد مواعيد ذروة التنفس للثمار التي بها ظاهرة الكلايمكتريك فقسمت الثمار إلى :

- ثمار تحدث فيها ذروة التنفس فى نفس الوقت الذي تكون فيه الثمار صالحة للاستهلاك مثل الكمثرى
- ثمار تحدث فيها ذروة التنفس قبل وصول الثمار لدرجة الصلاحية بفترة قصيرة مثل التفاح والموز و المانجو
- ثمار تحدث فيها الذروة قبل النضج بفترة كبيرة مثل الطماطم

لوحظ أن كل الثمار الكلايمكتيرية تنتج اثيلين وان ارتفاع تركيز الاثيلين داخل الثمرة يحدث قبل بدء الكلايمكتريك وبالتالي فان الاثيلين كهرمون للإنبضاج قد يكون مسؤولا عن حدوث ذروة التنفس فى الثمار .

وفى العادة فان الثمار تخزن مواد اكثر من حاجتها المباشرة وتقوم الثمار بأكسدة السكريات للحصول على الطاقة اللازمة لإتمام باقي التفاعلات الحيوية الخاصة بالنضج علاوة على أن أثناء عملية التنفس تتكون مركبات وسطية أثناء التنفس تستخدم فى تكوين الصبغات اللازمة لتلوين الثمار كما أن النقص فى الحموضة ينتج من استخدام بعض الأحماض العضوية فى عملية التنفس .

التطور الثمرى نحو النضج

يبدأ تحول الثمرة نحو النضج النهائي Ripening مع تغيرات مصاحبة فى اللون والقوام و لطعم و النكهة .. الخ ويحدث النضج بعد اكتمال نمو الثمرة وتوقفها عن المزيد من النمو ، ونقطة بدء اكتمال النمو يحددها تداخل العوامل الوراثية الخاصة بالصنف مع مؤثرات عوامل البيئة المحيطة بالنبات وتلعب الفيتو هرمونات دورا فى نمو وتطور الثمرة وتؤثر بطريقة ما على حجم التطور المؤدى لظاهرة النضج بصورتها المعقدة

أولاً : منشطات النمو :

الأكسين : عملية التلقيح كما ورد تضيف للمبيض اوكسيناً طبيعياً من تنشيط بناءه فى الأنسجة المجاورة لأنبوبة اللقاح النامية بالقلم وحتى فى الثمار البكرية العقد يحتوى المبيض على مستوى عالى من الأكسين وكما هو معروف فان علاقة حجم الثمرة وعدد البذور بها تفسر على أساس أن البذرة مكان بناء الجديد من الفيتواوكسين كما أن المعاملة بالاكسين ينشط نموها ويسرع نضجها الفسيولوجي (البلوغ) وقد أدت المعاملة بمنظم النمو ألوأكسيني من اكتمال نمو الثمار التين وكان تأثيرها راجعا إلى تنشيط بناء الاثيلين فى الثمرة ويعتمد الاكسين فى تنشيطه على إنتاج الاثيلين على التوقيت ففى الطماطم زاد الاثيلين بعد المعاملة بالاكسين فى مرحلة اكتمال نمو الثمرة مباشرة ولكن معاملة الثمرة فى طور Stage Pink لم يؤثر على إنتاج الاكسين وفى الموز وجد أن المعاملة بالاكسين ٢,٤-D بتركيز ٢٠٠-٦٠٠ أسرع من النضج . ومن خلال الاستنتاجات المتحصل عليها من تأثير الاكسين على بناء الاثيلين بنسبه أمكن تفسير تغير المستوى الاكسينى أثناء نمو وتطور الثمرة نحو النضج حيث ينخفض بتقدم الثمرة ويصحب انخفاض مستواه ظهور مركبات أخرى من ارتباطه بغيره من المواد وينتج مثلاً Indole acetyl glucose او مثل tryptophan – D – Malonyl يقودنا ذلك إلى ارتباط الاكسين الموجود بالثمرة وقت البلوغ مما يخفض من مستواه ، وقد فسر Zeum ما يحدث للاكسين عند اكتمال النمو مؤداه انه يتحول الى Indole acetyl glucose او Indole acetyl Aspartate او قد يقف إمداد الثمرة بالجديد من الاكسين حيث يتحول مولد الاكسين الى التربتوفان والأخير يتحول الى المالمونيل تربتوفان

الجبرلين : سبق أن عرفنا أن الجبرلين اختص وحده فى زيادة عقد ثمار الموالح حيث لم يكن للاوكسين تأثير واختص وحده أيضاً بإحداث العقد البكري بالثمار ذات النواة الحجرية ودور الجبرلين فى نمو ثمار أنواع نبات كثيرة لا يقل فى دوره فى العقد فلقد ثبت احتواء ثمار الخوخ على مواد مشابهة للجبرلين تؤثر على نمو الاندوكارب وتنظم انقسامه وتضخم الخلايا بالميزوكارب . وقد لوحظ أن الجبرلين يؤخر من اكتمال نمو الثمرة ونضجها لذلك فان مستواه يقل عندما تبدأ الثمرة فى الدخول فى طور اكتمال النمو وأيضاً أخرت وصولها إلى مرحلة النضج وذلك تتلف المعاملة من استجابتها للاثيلين فى إسرار نضجها ، وفى المشمش لوحظ تأخر نضج الثمار حيث انخفض معدل تنفس الثمرة وقد أدت المعاملة بالجبرلين من فقد وتحلل الكلوروفيل بثمار الموالح بل قد تعيد اخضرار الثمار التي تحول اللون بها إعادة الاخضرار Regreening وقد فسر كل الظواهر الناتجة من تأثير الجبرلين على تأخير النضج بان كل من الجبرلين و الاثيلين متعارضا فى تأثيراتهما ، ويقترح Report & Hashimata تحول الجبرلين الموجود بالعضو النباتي أثناء مراحل النمو إلى صورة خاملة غير نشطة عند اكتمال النمو فى حين العكس يظل الاثيلين بمستواه المنخفض أثناء النمو ثم يرتفع ليدفع الثمرة لاكمال النمو والنضج

السيتوكينين : يؤثر السيتوكينين على الانقسام الخلوي بالثمرة خاصة خطوة Cytokinesis (تضاعف DNA) وأدت المعاملة به أيضاً إلى زيادة حجم حبات العنب اللابذرى إلى ثلاث أضعاف الحجم العادي عندما عوملت الثمار بتركيز ١٠٠-٥٠٠ جزء في المليون ، وتأخرت سرعة نضج ثمار المشمش بعد معاملتها بالبازيلادينين بعد جمعها عند اكتمال النمو (BA بتركيز ١٠٠ جزء في المليون) .

الاثيلين : عرف بهرمون النضج وفي عام ١٩٥٤ طرح العلماء سؤالاً للبحث هو هل الاثيلين نتيجة لعمليات النضج أو انه سبب لها ؟

اثبت Leapold ١٩٦٤ أن الاثيلين هو المسئول عن ذروة التنفس وانه حتى في المانجو يخرج اثيلين بكميات كافية في مرحلة ما قبل الكليميكتريك لتسبب حدوث الكليميكتريك بها ، وقد أشار Hansen ١٩٦٧ أن للاثيلين دوراً في إحداث الحث على النضج الخاص بالنضج ولا بد أن تتأهل الثمرة فسيولوجياً لحدوث هذا التأثير قبل أن يتمكن الاثيلين من إحداث الحث وقد وجد أن الاثيلين ينشط إنتاج الجديده من mRNA اللازم لتكوين أنزيمات معينة ضرورية للتفاعلات الخاصة بالنضج وقد اتضح أن إيقاف تمثيل البروتين باستخدام Cycloheximide يحدث منع لإنتاج الاثيلين الطبيعي بالنبات ومن ثم يمنع تقدم الثمرة نحو عقد النضج . وتتشابه العمليات البيوكيميائية الخاصة بنضج الثمار في نواحي كثيرة بتلك الخاصة بتساقط الأوراق والشيخوخة وربما يفسر لنا تأثير الاثيلين على إنتاج IAA Oxidase في طور اكتمال نمو الثمرة وضرورة انخفاض مستوى الاكسين الطبيعي بالثمرة عند اكتمال نموها.

وهذا يعنى أن الهرمونات الثلاثة المنشطة تنشط مرحلة انقسام واستطالة الخلايا ثم يقل مستواها ويرتفع مستوى الاثيلين الذي يقوم بالحث اللازم لدفع الثمرة للنضج .

ثانياً : مثبطات النمو :

عرف مثبط النمو الطبيعي ABA بمنع الاستجابة GA3 فهما متضادان في تأثيرها وقد اقترح أن حمض الابسيسيك يزداد بتقدم الثمرة نحو اكتمال النمو الثمرى والنضج فعند تقاطع منحنى الجبرلين الهابط مع الابسيسيك الصاعد تتحدد نقطة اكتمال النمو الثمرى واسفل نقطة التقاطع هذه تقع تركيزات الجبرلين بمستوى يقل عن اللازم توفره لحدوث التفوق على مستوى الاثيلين بالثمرة وعلى ذلك يبدأ النضج متأثراً بفعل الاثيلين ويرتفع محتوى الثمار من حمض الابسيسيك .

تبادل الحمل

تتميز الكثير من أشجار الفاكهة بما يسمى بظاهرة تبادل الحمل وفيها تحمل الشجرة محصولا غزيرا في سنة ويطلق عليها اسم سنة الحمل الغزير **On year** مما ينشأ عنه قلة في تكوين البراعم الزهرية وبالتالي نقص في المحصول في السنة التالية والتي يطلق عليها اسم (سنة الحمل القليل **Off year** والسبب الأساسي في هذه الظاهرة سبب وراثي .. وتوجد تلك الظاهرة في الأشجار المتساقطة الأوراق مثل التفاح والكمثرى وأيضا في الأشجار المستديمة الخضرة مثل النخيل واليوسفي وقد فرضت نظريات عديدة لتفسير هذه الظاهرة مثل نظرية التوازن الهرموني والنظرية الغذائية :

تفترض نظرية التوازن الهرموني أن مجموعة الجبريلينات التي تتكون داخل البذور بالثمرة وتنقل منها إلى البراعم (أسفل الثمرة في الدابرة) ويمنع من تحوله إلى برعم زهري وقد ثبت ذلك بإزالة البذور جراحيا دون الأضرار بالثمرة في المراحل الأولى من نموها مما أدى إلى تحويل هذا البرعم إلى برعم زهري ومن الطرق المستخدمة لمنع ظاهرة تبادل الحمل إجراء عملية خف شديد للثمار خلال الـ ٣ - ٤ أسابيع التي تلي مرحلة التزهير في سنة الحمل الغزير وقد ثبت أن هذه العملية لها اثر فعال .

أما النظرية الغذائية فتقول بان محصول العام الغزير يؤدي إلى استهلاك الكربوهيدرات المخزنة وبالتالي عدم توافر القدر الكافي منها لتكون البراعم الزهرية بذلك لا تزهر الشجرة ولا تحمل محصولا في الموسم التالي. وغالبا فإن أي عامل بيئي يؤثر بالسلب على عملية تكوين الكربوهيدرات سوف يكون المسبب المباشر على تبادل الحمل لان كمية الغذاء القليلة التي تتكون في ذلك الموسم المتأثر بالظروف البيئية الغير مناسبة سوف يتجه معظمه الى الثمار مما تحرم تبعا لذلك البراعم الزهرية من التكون مما يؤدي الى أزهار قليل في العام التالي فتزداد حدة ظاهرة تبادل الحمل .

خف الثمار

تجرى عملية الخف بهدف إزالة جزء من الثمار على النبات لزيادة حجم ورفع جودة الثمار للمعد المتبقي من الثمار وتجرى عملية الخف باستخدام مركبات تقتل الأزهار أو تحولها إلى أزهار عقيمة مثل الفينولات ومركبات الدي نيترو ، كما قد تستعمل مركبات تشجع على العقم مثل داي كلورو بيوترات الصوديوم أو باستخدام مشابهاة الاكسين .

سكون البراعم (التوقف المؤقت عن النمو)

سكون البراعم في النباتات العشبية.

سكون البراعم في النباتات المعمرة.

سلوك اجزاء الشجرة اثناء فترة الراحة.

تتابع النمو ومراحل الكمون.

التمييز بين دور الراحة وحالات السكون.

انواع السكون.

بداية السكون و استمراره.

كيفية تفاعل البيئة مع الجهاز الخلوى.

احتياجات البرودة للفواكه المتساقطة.

أسباب حدوث دور الراحة في البراعم.

تفتح البراعم.

كسر السكون بالمعاملات الصناعية.

تساقط الثمار.

عوامل تساعد على إنهاء السكون.

دور الاكسين في منع التساقط.

مقدمة

التشكل المورفولوجي للنبات كما سبق الإشارة اليه عملية مستمرة تبدأ بالانبات مروراً بالنمو الخضري والجذري ثم الزهري والثمري وتنتهي بالشيخوخة والموت. فأشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق تنمو نمواً خضرياً عديد الحول أى أنها تتبع في نموها دورات سنوية تبدأ بتفتح البراعم في الربيع وتنتهي بسكون النبات وتساقط أوراقه ثم تعاود النمو في الربيع التالي وتستمر على هذا المنوال لعدة سنوات.

أن الأشجار المتساقطات تتداخل فيها دورات النمو مع دورات التزهير سنوياً ويعمل النبات دائماً على التوازن بين الهرمونات الزهرية وهرمونات النمو الخضري حيث أن اختلال هذا التوازن يؤدي إلى الوصول إلى مرحلة الشيخوخة بسرعة وهي المرحلة النهائية من عمر الشجرة وفيها يقل النمو الخضري والزهري والثمري وقد ثبت أن حمض الأبسيسيك ABA يزداد في هذه المرحلة كما وجد أن الأشجار المتساقطة المطعومة على أصول مقصره تصل إلى هذه المرحلة في فترة أقصر من المطعومة على أصول منشطة ، كما إن الزراعة في تربة غير ملائمة أو بيئة غير مناسبة وسوء عمليات الخدمة والتقليم وعدم التوافق بين الأصل والطعم يؤدي إلى سرعة الوصول إلى هذه المرحلة .

سكون البراعم في النباتات المعمرة :

خلال دورة حياة النبات يتوقف النبات أحياناً عن النمو مؤقتاً رغم نشاطه الأيضي الحيوي لكن بمعدلات دنيا لدرجة قد يصعب معها قياسها ، وقد استخدم العلماء مصطلح السكون dormancy لوصف توقف نمو البراعم على الأشجار أو توقف استئناف نمو الجنين وهو ما يعرف بالسكون. قد يكون توقف النمو المؤقت نتيجة الظروف البيئية الغير مواتية للنمو مثل ظروف الجفاف أو لعدم الظروف الملائمة لنمو البراعم حيث أنها تحتاج إلى ظروف خاصة من الضوء والحرارة خاصة للأشجار المتساقطة الأوراق والذي ينظم فيه السكون عن طريق التآقت الضوئي والحراري ولكن هناك فرق بين توقف النمو نتيجة عامل بيئي أو أكثر غير ملائم وبين التوقف عن النمو أو السكون الناشئ عن عوامل داخلية Internal limitation وقد اتفق العلماء على أنه إذا كانت الظروف المؤدية إلى إيقاف النمو ظروف خارجية فيطلق على هذه الحالة الكمون Dormancy ، أما إذا كانت الظروف متعلقة بالعضو النباتي فيسمى ذلك فترة الراحة الداخلية Period Endogenous Rest .

يحدث الكمون على مستوى الجينات بأبطال مفعول بعضها ويؤثر في ذلك فترات الإضاءة وبرودة الشتاء وبعض الهرمونات ، ويساعد في فهم الكمون معرفة ميكنة التحكم الوراثي في النمو والتطور ويعتبر سكون البذور والإبصال والدرنات والحشرات من الأشكال المشابهة لكمون الأشجار

ونظراً لأن معظم النباتات لا تستطيع البقاء على قيد الحياة تحت ظروف حرارة الشتاء الباردة في حالة خضرية أو زهرية لذلك تلجأ عدد من النباتات إلى الدخول براعمها وبذورها في طور السكون مع بداية الشتاء البارد للمرور خلال الشتاء وبدون ضرر على حياة النبات . وفي المناطق الجافة تنمو النباتات خلال فترات سقوط الأمطار القصيرة نسبياً وتظل البذور ساكنة لا تنبت حتى يتهيأ لها فرصة جيدة للبقاء والحياة وذلك عند هطول الأمطار بالقدر الكافي والسؤال كيف يمكر الله لها ؟ ذلك بأن يكون سبب سكون البذور لمثل تلك البذور هو وجود مواد كيميائية مانعة للنبات على سطوح تلك البذور وعند غسلها بماء المطر الوفير يزال سبب المنع فتنبت البذور لتجد التربة ميتلة بالقدر الكافي لنمو جذور البادرات وبسرعة حتى تصل إلى مستوى الماء الأرضي فتتحمّل بعد ذلك الجفاف اعتماداً على الماء الأرضي ، وسكون البذور قد يلائم الإنسان ليتمكن من حصر البذور وتخزينها فترة ملائمة لحين استخدامها أو لحين زراعتها مرة أخرى .

سكون البراعم في النباتات العشبية :

يعتبر سكون براعم درنات البطاطس من الأمثلة الجيدة لسكون البراعم في النباتات العشبية حيث إن الدرنات هي عبارة عن ساق أرضية متحورة متشعبة لحمية تحتوي على براعم في أماكن يطلق عليها العيون وتكون البراعم ساكنة وهي ليست بسبب السيادة القمية لأن كل برعم وإن فصل يظل ساكناً حتى تتعرض الدرنات للتخزين الرطب على درجة ٢٠ م أو التخزين الجاف على درجة ٣٥ م ليُزال السكون . ويبدو هنا أن الحرارة المنخفضة ليس لها تأثير على السكون

وقد درست عدة محثات على كسر سكون البراعم درنات البطاطس مثل ٢ كلورو إيثانول والثيويوريا والجبرلينات ، كما اقترح أن المعاملة باثيلين كلورو هيدرين تسبب كسر سكون الدرنات نتيجة إزالتها في تمثيل الأحماض النووية . وقد تمت عدة اقتراحات في تفسير دور كاسرات السكون لدرنات البطاطس ولكن على الأرجح يبدو أن عمل معظم الكاسرات مثل ٢ كلورو إيثانول والجبرلينات يرجع إلى منع أو تثبيط الكايج الذي

ينتجة الجين المنظم والذي من شأنه فتح الجينات التركيبية المسنولة على انتاج الانزيمات الخاصة بخروج البراعم من السكون وبداية نموها .

تتابع النمو ومراحل الكمون :

يتبع النمو والكمون مراحل حيث يتدرج النبات فى الدخول من مرحلة الى اخرى فلا تحدث الظاهر الفسيولوجية فجأة وفى حالة النمو والكمون تتابع تلك المراحل :

١ - مرحلة النمو The steady state condition of growth

فيها يزداد نمو الاشجار ويحدث استطالة وانقسام الخلايا للنموات الخضرية الحديثة وكذلك الاوراق ، ثم خروج النموات الزهرية وتكون الثمار واثنائها يحدث استطالة لسلاميات النموات الخضرية ونضجها وكذلك اكتمال نمو ونضج ثمارها

٢ - مرحلة الحث على الدخول فى طور الراحة Rest induction

هى المرحلة التى تقترب الاشجار من الدخول فى السكون فيقف النمو نسبيا كما يبطئ تكوين السليولوز ويسرع تكوين الجنين ويتجمع النشا والدهون فى انسجة التخزين وتنمو البراعم متخذة شكل القبة ، فى تلك المرحلة يتأثر النبات بقصر النهار فيتكون فيها بعض المواد الغير ثابتة فى الظلام فى الاوراق المسنة وتنتقل الى القمم المرستيمية فتؤدى الى ايقاف بنائها بأستعمال وميض من الضوء يقطع الظلام فيعمل بذلك عمل النهار الطويل فى استمرار النمو وقد اتضح ان ادراك الحث الضوئى Perception of light stimulus يتم فى الاوراق فهى العضو المستقبل للحث الضوئى فى تأثيرة على سكون البراعم . الا انه وجد فى بعض النباتات ان غياب الاوراق لا يعيق تلك النباتات على ادراك التاقت الضوئى وقد استقبل التاثير الضوئى فيها الحراشيف البرعمية Bud scales وكان الفيتوكروم هو المستقبل الكيمايى الذى يقود الى انتاج الهرمونات المحثة للسكون ، فقد صاحب تعريض النباتات المتساقطة الاوراق للنهار القصير بشكل متوازى الزيادة فى معدلات المثبطات الهرمونية فى البراعم والاوراق مثل حمض الابسيسيك وان نمو البراعم لا يبدأ من جديد الا بعد هبوط مستواها مرة اخرى او التغلب عليها بأضافة هرمون مضاد مثل GA3

٣ - مرحلة السكون الحقيقى Mid = Main = True Dormancy

وهى مرحلة السكون الحقيقية او الرئيسية الغير رجعية وتصبح المواد المانعة للنمو فى حالة ثابتة ويكون النبات فى حالة عدم نشاط والامتصاص معدوم فى الجذور

٤ - مرحلة ما بعد السكون العميق Post dormancy

فيها يزداد تركيز منشطات النمو ويزداد معدل التنفس وتستقبل الاوراق الحرشفية التى تحيط بالبراعم تأثيرا منشطة للضوء لتبدأ البراعم فى التفتح فتخرج النموات الخضرية الحديثة والنموات الزهرية مع بداية الربيع وارتفاع درجة الحرارة وطول النهار وبذا يكون النبات خرج من طور السكون .

وعلى ذلك فالكمون يبدأ بمرحلة حث على الكمون فتحدث اولا تغيرات فسيولوجية غير مرئية على النبات تتعلق بعمليات الايض حيث تتكون هرمونات او تنشط هرمونات التي تساعد في انتاج الانزيمات المحللة للسليولوز والبكتينيز اللذان يعملان على تحلل الصفيحة الوسطى بمنطقة الانفصال عند قاعدة اعناق الاوراق وتنتقل المواد الغذائية وتهاجر العناصر من الاوراق الى الاجزاء المستديمة بالشجرة الى الجذوع والافرع والجذور ، ثم تسقط الاوراق وتغلف الاوراق الحشفية ذات الاوبار الصوفية البراعم وكأنها البستها المعاطف الواقية من برودة الشتاء القارصة والمتوقعة حينئذ تكون الاشجار قد تمت استعدادها لمواجهة الشتاء وقادرة على مقاومة البرد وتحملته وتظل كذلك حتى تستوفي احتياجاتها من الحرارة المنخفضة لتخرج تدريجيا من السكون .

سلوك اجزاء الشجرة المختلفة اثناء فترة الراحة :

لا تعتبر كل اجزاء الشجرة الكامنة في راحة حقيقية اثناء الشتاء فيعتقد البعض ان الكامبيوم ليس له راحة حقيقية وكذلك فليس هناك خموم للبراعم فقد لوحظ ان البراعم تكبر في الحجم واحيانا تحتوى على خلايا تنقسم وتتغير نوعيه الانزيمات بها . فيقل تركيز الفينولات وتزداد تركيز انزيمات الكتاليز والهيدروليزات كما يقل تركيز الدهون والانثوسيانين والناثرجين وحمض الابسيسيك وتستمر عمليتي التمثيل والتنفس اثناء الشتاء وخاصة اذا ارتفعت درجة الحرارة الى اعلى من ٥ م .

تظهر هذه الحالة رئيسياً في البراعم. ويفترض Chandler أن المؤثر الذي يسبب هذه الحالة يبدأ ظهوره في الأجزاء القاعدية من الأفرع ثم ينتقل ببطء إلى أعلا القمم الميرستيمية الموجودة على تلك الأفرع ويسبب دخولها في طور الراحة. فقد لاحظ انتقال المؤثر من الفرع الذي لم يتعرض لاحتياجات البرودة اللازمة إلى الأقسام المطعومة عليه وسبب توقف نموها بالرغم من أن الأقسام كانت قد استوفت احتياجات البرودة اللازمة لإنهاء دور الراحة في براعمها قبل تطعيمها والجدير بالذكر أن دخول البراعم في طور راحتها لا يعني سكون جميع أجزاء النبات حيث أن الجذور و الثمار تستمر في نموها في أواخر الصيف عندما تكون البراعم قد دخلت راحتها. كما يجب ملاحظة أنه بينما تكون العلامات الظاهرية الدالة على حدوث النمو غير موجودة خلال دور الراحة إلا أن العمليات الحيوية الهامة الأخرى اللازمة لبقاء النبات تكون نشطة .



انواع السكون :

وقد قسم السكون إلى ثلاثة أنواع هي :

السكون الداخلي Endodormancy : هو حالة السكون التي تنشأ نتيجة لوجود مسبب للسكون داخل البرعم نفسه (العضو نفسه) وقد كان يشار إلى هذه الظاهرة فيما سبق بدور الراحة الشتوية.

السكون المتلازم Paradormancy : ينشأ هذا السكون في بعض الحالات نتيجة لإشارة تنشأ من عضو آخر وتأثر على البرعم المعني فيمكن اعتبار السيادة القمية والتي فيها يؤدي وجود برعم في طرف الفرع إلى عدم نمو البراعم الجانبية حالة من حالات السكون المتلازم كما أن السكون الناشئ من وجود الحراشيف حول البراعم سكون متلازم أيضاً

السكون البيئي Ecodormancy : ينشأ السكون البيئي نتيجة لوجود ظروف بيئية محيطة بالنبات تمنع من نمو البراعم بالرغم من أن عدم وجود أى سكون داخلي فيها ، فنشاهد عدم نمو البراعم في التفاح و الكمثرى في أواخر الشتاء بعد انتهاء السكون الداخلي بها نتيجة من عدم توافر الكمية الملائمة من الحرارة اللازمة لتفتح البراعم ويعتبر في ذلك الوقت سكوناً بيئياً.

التمييز بين دور الراحة وحالات السكون :

مما سبق يتضح بأن دور الراحة يتميز بما يلي :-

- ١ - ظهوره في براعم الأشجار المتساقطة في فترة معينة غالباً ما تكون أثناء الخريف والشتاء.
 - ٢ - حدوثه لأسباب فسيولوجية داخلية تتحكم في ظهورها العوامل الوراثية الخاصة بالنوع
 - ٣ - حدوثه بالرغم من توفر الظروف البيئية الملائمة للنمو وهذه العوامل قد تؤثر في ميعاد حدوثه.
 - ٤ - وجوب تعرض براعم الأشجار المتساقطة الأوراق التي دخلت في دور الحرارة للجو البارد أثناء الشتاء لفترة معينة تختلف حسب النوع والصنف وبعض العوامل الأخرى وذلك حتى يزول المسبب لحدوث هذه الحالة والذي يعتقد بأنه وجود مواد مانعة للنمو في البراعم وبذا تكون البراعم مستعدة للخروج بحالة نشطة عند دفء الجو في الربيع.
- أما حالات السكون فهي غالباً ما تنشأ نتيجة لعدم ملائمة أحد العوامل البيئية المحيطة بالنبات كعوامل الجو و التربة ، ولو أنها قد ترجع إلى أسباب داخلية كما في حالة السيادة القمية.
- هذا وقد يتداخل حدوث دور الراحة مع حالات السكون فمثلاً تكون براعم أشجار بعض الأنواع المتساقطة الأوراق في المناطق الشمالية الباردة في حالة سكون أثناء الصيف بعد تكونها بتأثير فعل الأوكسين من القمم الطرفية. هذا بينما تكون في حالة عدم نشاط في أواخر الصيف وخلال الخريف وجزء من الشتاء نتيجة لوجودها في دور الراحة. وعادة ما تستوفي البراعم احتياجاتها من البرودة اللازمة لإنهاء دور راحتها قبل نهاية فصل الشتاء بوقت ما إلا أنها تبقى ساكنة لعدم توفر الظروف البيئية الملائمة وبذلك تنتقل البراعم من دور الراحة إلى حالة سكون ناتجة عن تأثير برودة الجو التي تمنع استئناف النمو وتنتهي حالة السكون هذه وتنتفح البراعم عند دفء الجو في الربيع.

كيفية تفاعل البيئة مع الجهاز الخلوي :

تتفاعل البيئة مع الجهاز الخلوي عن طريق صبغة الفيتوكروم phytochrome فهي المقياس الذي يقيس طول الفترة الضوئية عن طريق صورتيه PFR ، PR ففي نهاية موسم النمو وبداية الخريف حيث تنخفض درجة الحرارة ويقل طول النهار يستقبل هذا المؤثر صبغة الفيتوكروم ثم تنقل هذه المعلومات عن طريق هرمونات خاصة فتؤدي إلى إنتاج الانزيمات المحللة لتكون منطق الانفصال وعند نهاية طور السكون وبداية موسم النمو وعندما ترتفع درجة الحرارة ويطول النهار وعن طريق نفس الجهاز الذي يتحكم في قياس طول فترة الاضاءة اليومية تتكون المواد المنشطة الهرمونية بنفس الكيفية والمستقبل هنا هي الاوراق الحرشفية

فتخرج البراعم من السكون .

بداية السكون و استمراره :

يهمنا في هذا المجال السكون الداخلي في غالبية الأحوال والسكون المتلازم في البعض الآخر وقد أوضحنا في بداية هذا الفصل أن السكون الداخلي يبدأ في الحدوث عند الدرجة ١٨٠ من دورة النمو السنوية ويجدر بنا أن نعلم متى تحدث هذه الدرجة ؟ وعموماً فإن تاريخ حدوثها يختلف حسب الأنواع والأصناف والأصل المطعوم عليه الأشجار وهي تكون محصلة لعدد كبير من العوامل الجينية كما أن حالة نمو النبات و تساقط أوراقه ومستواه الغذائي قد يؤثر تأثيراً كبيراً في هذا الموعد. وقد أثبتت الدراسات أن هذا السكون الداخلي يحدث في أصناف التفاح التي تنجح في مصر مثل الآنا في منتصف ديسمبر في حين أن الأصناف التي لا تلائمها الظروف الجوية فإنه يبدأ في الحدوث في أوائل فبراير. وتختلف فترة السكون الداخلي في الطول وتبقى مستمرة ولا تنتهي إلا إذا ما توفرت عوامل أو حدث ما يؤدي إلى انتهاء مسبب السكون الداخلي في المتساقطات " توفر كمية مناسبة من البرودة في الشتاء " حيث أن هذه البرودة تؤدي إلى حدوث تغيرات داخل البرعم سواء تغيرات فيزيائية مثل التغير في الماء الحر والماء المرتبط في البرعم أو تغيير في المواد الكيميائية الداخلية أو زيادة منشطات النمو كالجبرلينات وقلة المثبطات مثل (حمض الأبسيسيك) أو النسبة بينهما أو نتيجة للتحويل الغذائي للبرعم أو نشاطه الإنزيمي مما يسمح بنموه .

أسباب حدوث دور الراحة في براعم الأشجار المتساقطة الأوراق :

أجريت الكثير من الأبحاث في محاولة لمعرفة سبب أو أسباب حدوث الراحة كما أعطيت الكثير من التفسيرات لحدوث هذه الحالة منها :-

أولاً : التغيرات الكربوهيدراتية : ربط بعض العلماء اسباب الكمون بوجود تغيرات في المواد الكربوهيدراتية في انسجة النبات حيث أنه في فترة النمو يتراكم النشا وعند انخفاض درجة الحرارة يبدأ تحول النشا الى سكر فيتراكم في الشتاء بقدر كافى لدفع النبات لبدء النمو والنشاط ويعمل على إنهاء طور الراحة الداخلي . تم الاعتراض على تلك النظرية حيث أنه وجد ان اى نسيج لا يخلو من السكر تماماً سواء كان في فترة النمو او في السكون ولا يمكن منع دخول البراعم في طور السكون بمعاملة القمم النامية بمعاملة تزيد من نسبة السكر الذائب

ثانياً : تأثير الأوكسين الطبيعي : يربط الكثيرون بين حدوث دور الراحة وبين كمية الأوكسين الطبيعي في البراعم. فمن المعروف أن للأوكسين تأثير مزدوج على نمو البراعم فبينما تشجع التركيزات المنخفضة منه نمو البراعم ، تعمل زيادة تركيزه على وقف نموها. وإزاء ذلك اختلفت الآراء حول الدور الذي يلعبه الأوكسين الطبيعي في حدوث دور الراحة إلا أنها انحصرت في الاتجاهات التالية

أولاً : يعتقد البعض أن زيادة تركيز الأوكسين في البراعم هي السبب في حدوث دور الراحة كما يحدث في حالة السيادة القمية. فقد لوحظ ان زيادة تركيز الأوكسين الكلي Total Auxin (الحر والمرتبط) في براعم الكمثرى والتفاح أثناء دور الراحة و تناقصه قرب نهاية هذا الدور وبالعكس من ذلك توجد أدلة كثيرة تشير إلى خطأ الرأي السابق فقد ثبت أن البراعم لا تحتوي أثناء دور الراحة إلا على كمية صغيرة جداً من الأوكسين الحر Diffusible Auxin Free or لا يمكنها أن تسبب منع النمو. وفي حالات كثيرة لم تلاحظ زيادة الأوكسين القابل للانتشار في البراعم إلا قبيل تنبه البراعم بوقت قصير فقد لاحظ Skoog & Bennett سنة ١٩٣٨ عدم وجود الأوكسين القابل للانتشار في البراعم الساكنة لكل من الكرز والكمثرى. بتعرض البراعم للبرد تتكون بها بادئات الأوكسين Auxin Precursor، ثم يبدأ ظهور الأوكسين نفسه تدريجياً بعد ذلك ، وكان ظهوره مصحوباً بانتهاء دور الراحة. و تتفق هذه النتائج مع ما ذكره Bonner & Thimann سنة ١٩٣٨ من أن نمو البراعم يكون مصحوباً بزيادة كبيرة في كمية الأوكسين و ان زيادة البراعم في الحجم عند نموها ينتج عن كبر حجم الخلايا الذي يكون محكوما بتأثير الأوكسين.

ثانياً : فسرت الظاهرة على ان النباتات تتأثر بانخفاض درجة الحرارة عند بداية الشتاء ونهاية الخريف وكذلك تتأثر بقصر طول النهار فتتكون مواد معيقة للنمو في الاوراق المسنة على الاشجار تلك المواد تعمل على تضاد فعل منشطات النمو الهرمونية مثل الاكسين والجبرلين ، او انه خلال موسم النمو تتكون مثبطات النمو بكميات ضئيلة لكنها تتراكم الى ان تصل الى التركيز الفسيولوجى المؤثر واللازم لاجداث السكون وذلك فى نهاية موسم النمو ثم بتأثير برودة الشتاء تتكسر المواد المثبطة لتصل الى التركيز الاقل من التركيز الفسيولوجى وفى نفس الوقت تزداد الهرمونات المنشطة الدافعة للنبات على الخروج من السكون واستئناف النمو الخضرى والزهرى .

احتياجات البرودة للفواكه المتساقطة وأثرها في تحديد مناطق زراعتها :

يحدد توفر أو عدم توفر احتياجات البرودة للأنواع المتساقطة الأوراق التي يمكن زراعة هذه الأنواع فيها بنجاح فتحتاج بعض أنواع الفواكه المتساقطة الأوراق مثل التفاح والكمثرى والكرز والخوخ والبرقوق الأوربي والجوز لفترة طويلة من الجو البارد أثناء فصل الشتاء لأنها الراحة في براعمها، ولذلك لا توجد زراعتها في المناطق الواقعة بين خطي عرض ٣٣° شمالاً وجنوباً والتي تتميز بالشتاء الدافئ إلا إذا كانت المنطقة مرتفعة إرتفاعاً كافياً لتوفير احتياجات البرودة. فالمعروف أن كل ارتفاع مقداره ١٦٥ متر عن سطح البحر يعوض خطأ من خطوط العرض. كما أن كل ارتفاع قدره ١٠٠ متراً ينتج عنه انخفاض في درجة الحرارة مقداره درجة فهرنهايتية. هذا بينما تتميز بعض الأنواع كالعنب والتين والرومان بقلة احتياجاتها للبرودة شتاءً بدرجة كبيرة مما ساعد على زراعتها بنجاح في المناطق المعتدلة الدافئة والتحت استوائية.

كيف تتحمل النباتات برودة الشتاء ؟

سبق ان ذكرنا ان النباتات خوفاً على النموات الخضرية الحديثة من برودة الشتاء فانها تدفعها للسكون حتى لا تخرج تلك النموات الرقيقة فتؤذي بالبرودة وكذلك تحمي النباتات براعمها الساكنة بألباسها معاطفها الصوفية التي تكون على هيئة اوراق حشفية وبرية ، ثم تسقط الاشجار ما تبقى عليها من نموات بتكوين منطقة انفصال عند قواعد الاوراق والازهار والثمار المتبقية على الشجرة في نهاية الخريف . عندئذ لا يبقى سوى الاجزاء الرئيسية من الشجرة والتي تقوم بحمايتها بأحداث عديد من التغيرات الايضية التي من شأنها حماية الماء داخل هيكل النبات الاساسي وذلك بتحويل الماء داخلة الى ماء مرتبط والذى من خصائصه عدم تجمده على درجة الصفر المنوى وبذلك تحمي الخلايا من تجمد مائها والحفاظ على اغشيتها من التمزق . وتلك هي اهم العمليات الايضية التي يحدثها النبات لمواجهة بها برودة الشتاء

ماذا يحدث لو زرع نبات ما في منطقة لا يستوفى فيها احتياجاته من البرودة ليخرج من طور الراحة ؟

- * تأخير البراعم في التفتح مما يعرضها لشدة الحرارة صيفاً فيقل المحصول حتى اذا عقدت الثمار فأنها تتأخر في النضج وتكون الثمار اقل جودة
- * جفاف تدريجي للنبات حيث تقل كمية النموات الخضرية وقد تصاب الاشجار بلفحة الشمس او ضربة الشمس
- * قد يؤدي عدم توفر Chilling Requirement عدم نمو الاعضاء الزهرية (تكون ازهار ناقصة احد الاعضاء الاساسية) كما يحدث في المشمش مما ينعكس على المحصول بالنقص
- * التأخير في الخروج من طور الراحة يتبعه تأخير في الدخول في طور الراحة في العام التالي فينشأ عن ذلك خلل فسيولوجي ينتج عنه ضعف تدريجي يؤدي الى الموت
- * زيادة النفقات لاستعمال الكيماويات اللازمة للمساعدة على خروج البراعم (كاسرات السكون) من طور السكون مثل تعريض النباتات للثبر او الكلوروفورم او الاثيلين او رش البراعم بالزيوت المعدنية مثل زيت الكتان ٢ - ٥ % او الرش GA بتركيز ١٠٠ - ١٠٠٠ جزء في المليون او استعمال الثيويوريا او الدورمكس الخ .

كسر السكون بالمعاملات الصناعية :

١- استخدام المواد الكيميائية: عمل الكثير من الباحثين من بداية القرن في محاولة التغلب على السكون الشتوي للأشجار المتساقطة في المناطق الدافئة الشتاء والتي لا يتوفر فيها البرودة المطلوبة وذلك للمساعدة على إنهائه في الموعد المناسب وانتظام تفتح البراعم في الربيع وتقصير فترة التفتح وقد أدت كثير من هذه المعاملات على نجاح كبير في الأصناف المتوسطة الاحتياج للبرودة.

اول ما استخدم في هذا المجال هو رش الزيوت المعدنية بتركيزات تتراوح من ٢ - ٤ % في الشتاء ثم استخدمت هذه الزيوت مخلوطة ببعض المركبات مثل مركبات الداينيترو (مثل زيت اليونيفيرسال والكفروسال ثم استخدمت مركبات الثيووريا أو نترات البوتاسيوم بتركيزات مختلفة ومركب الثيووريا هو احد مركبات اليوريا والذي يستخدم بتركيز حوالى ٠.٥ % في حين ان مركب نترات البوتاسيوم فيستخدم بتركيز ١ % وهو يعتبر من المواد المتفجرة والذي يستعمل باحتراس كما انه يمكن استخدامها كمخلوط من مادتين بمفردها أو مع زيت معدني بتركيز ضئيل للحصول على نتائج طيبة في بعض الحالات. استخدم في الفترة الأخيرة في غالبية البلدان الدافئة الشتاء مركبات جديدة من اهمها مادة سيناميد الهيدروجين " H₂CN₂ " والذي يباع تجارياً تحت اسم (دورمكس) بنسبة تتراوح بين ٢ - ٤ %. كما جرب أيضاً مادة Thidiazeron (الثايدوزرون) بتركيزات ضئيلة.

٢- إسقاط الأوراق صناعياً: لاتساقط أوراق المتساقطات في المناطق الدافئة غالباً بل يتأخر سقوطها حتى بداية الشتاء وقد وجد في حالة الشتاء الدافئ جداً بقاء الكثير من الأوراق ملتصقاً بالأشجار حتى بداية الربيع. وقد أثبتت التجارب أن بقاء الأوراق على الأشجار يؤخر من بدأ السكون الداخلي للبراعم وبالتالي يؤجل نموها في الربيع. وقد أجريت تجارب عديدة في كثير من البلدان بإسقاط الأوراق صناعياً في أواخر الخريف وقد ثبت أن الإسقاط اليدوي الصناعي ليس له تأثير على عملية السكون في حين ان الإسقاط باستعمال المواد الكيميائية مثل سيناميد الهيدروجين (الدورمكس) او الإيثيفون أو مركبات النحاس أو اليوريا له تأثير فعال بدرجة كبيرة.



٣- **تعطيش الأشجار :** وجد من البحوث المبدئية والملاحظات الحقلية أن إعطاء الأشجار حاجتها الكاملة من الماء في الخريف والشتاء يؤخر من استغراق براعمها في السكون الداخلى وينصح حالياً بمنع الري في الأراضي التي تروى بالغمر مبكراً أما التي تروى بالتنقيط فتعطى الحد الأدنى للماء الذى يبقى على حياة الأشجار خلال الخريف والشتاء.

٤- **التقليم :** سبق أن اوضحنا أن سكون الكثير من البراعم فى أصناف التفاحيات قليلة الاحتياج للبرودة هو سكون متلازم ينتج من وجود البراعم الطرفية على الأفرع. وإن إزالة البرعم الطرفى من الأفرع عمر سنه فى التفاح (Anna) يؤدى إلى كسر سكون البراعم التى تلية مباشرة إلا أنها لا تؤثر على البراعم التى تقع أسفل هذا البرعم لأنه يؤثر عليها نفس تأثير البرعم الطرفى وبذلك فالتقليم مفيد فى المساعدة على خروج البراعم من السكون .

تفتتح البراعم Bud burst :

تبدأ البراعم فى التفتتح فى بداية الربيع إذا انتهت حالة السكون بها وتوفرت لها الظروف الجوية اللازمة للنمو ومن أهم هذه الظروف هى توفر كمية كافية من الحرارة لتساعد على حدوث التفاعلات الكيماوية التى تؤدى إلى تكوين المواد اللازمة للنمو.

وتحسب كمية الحرارة بطرق مختلفة وأكثر الطرق استخداماً الآن هى الطريقة التى تعرف بطريقة (حساب درجات النمو بالساعة Degree Hours (GDH Growing) وعند استخدام هذه الطريقة تحدد درجة الحرارة التى يبدأ عندها النمو وتحدد غالباً فى التفاح مثلاً بدرجة ٥٤.٤ م ثم يتم الحصول على درجات الحرارة السائدة فى المنطقة كل ساعة خلال الفترة من انتهاء السكون الداخلى حتى تفتتح البراعم ويقدر GDH طبقاً للمعادلة الآتية :

$$\text{GDH} = \text{مجموع (درجة حرارة الساعة - درجة بدء النمو)}.$$

وعموماً فكلما توفرت كمية الحرارة المطلوبة فى منطقة ما بسرعة.. كلما كان التفتتح أكثر تبكيراً بشرط انتهاء السكون الداخلى ولذلك فإن الذى يحدد التبكير أو التأخير فى التزهير ليس السكون الداخلى وكمية الحرارة اللازمة للتفتتح بمفردهما على ذلك فإن موعد بدء تفتتح البراعم والتزهير يختلف من موسم لآخر طبقاً للظروف الجوية السائدة واختلاف الصنف ومدى احتياجاته للبرودة وتوفر الظروف الحرارية المناسبة.

بعض العوامل الأخرى التى تساعد على إنهاء السكون :

الضوء : هناك عوامل أخرى تساعد على إنهاء السكون الداخلى منها الضوء حيث أن طول فترة النهار تؤثر على فترة السكون وقد ثبت أن البراعم تبدأ سكونها الداخلى عندما يقصر النهار كما أن زيادة طول النهار تساعد على كسر السكون فى الربيع.

الأمطار: تدل الأبحاث الحديثة على أن هطول الأمطار فى الشتاء يساعد على كسر السكون وقد ثبت ذلك من تجربة أجريت على الكمثرى البارتلليت، تفاح استارك كريسون ومن المحتمل أن ذلك يحدث نتيجة لإذابة مادة مانعة للنمو توجد داخل البراعم أو حراشيفها تذوب فى الماء.

الحرارة : يعتبر انخفاض درجة الحرارة أثناء فصل الشتاء عاملاً أساسياً فى إنهاء دور الراحة فى براعم الأشجار المتساقطة الأوراق. وقد لوحظ أن تأثير درجات الحرارة المنخفضة يكون مقصوراً على الأنسجة المعرضة للجو البارد فقط، فعندما وضعت شجرة Blueberry داخل صوبة مدفأة أثناء فصل الشتاء وعرض أحد فروعها للجو البارد خارج الصوبة نمت البراعم الموجودة على هذا الفرع فى أوائل الربيع بينما ظلت باقى براعم الشجرة ساكنة. هذا وقد ذكر العالم Chandler أن لارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً غير عادى إلى حوالى ١١٣ ف فى أواخر الصيف والخريف أثر فى إنهاء حالة الراحة. فقد لاحظ تزهير بعض أشجار التفاح فى أحد المزارع فى مدينة لوس أنجلوس بولاية كاليفورنيا بعد تعرضها لفترة من الجو الحار خلال الفترة الواقعة فى أوائل شهر سبتمبر ، خاصة فى الأصناف المعروفة باحتياجات البرودة القليلة.

التظليل : ظهور الغيوم والضباب فى المنطقة تؤثر على درجة حرارة البراعم وبذلك فهى تؤثر على احتياجات البرودة اللازمة لإنهاء دور الراحة. فعادة ما تكون درجة حرارة البراعم فى المناطق ذات الشمس الساطعة أعلى نوعاً عن درجة حرارة الجو المحيط بها، بينما لا يوجد هناك فارق فى المناطق المظللة أو التى تكثر بها الغيوم والضباب. ولذلك يلاحظ عادة أن الأشجار الموجودة فى الأماكن الأخيرة كثيراً ما تستوفى احتياجاتها بدرجة أسرع نوعاً عن أشجار نفس الصنف المجاور لها والمعرضة لأشعة الشمس المباشرة.

الرياح : تساعد الرياح على زيادة النتج من الأنسجة النباتية مما يكون له أثر فى خفض درجة حرارة البراعم وفى تقليل احتياجات البرودة اللازمة لها نوعاً.

الليبيدات : اكتشف العلماء زيادة الاحماض الدهنية الغير مشبعة وذلك لزيادة نشاط لانزيمات Esterases وتغيرات فى الاغشية الخلوية بما تحتوية من ليبيدات تغير من نفاذيتها فتؤدى تلك التغيرات فى الاغشية الى اعادة توزيع الماء بين وداخل الخلايا مما يحافظ على الماء دون تجمد وهى من اساسيات تحمل البرودة

الكربوهيدرات : وجد ان توفر السكروز يكون حاميا Protectant ضد فعل التجمد المدمر لطبيعة البروتين Denaturation بالإضافة الى دورة كمنظم اسموزى Osmoregulators ويسبب انحدار الجهد المائى ويعمل على ربط الماء binding Water وهو الضرورى لتحمل البرودة . وقد وجد ان البرودة تنشط انزيم الاميليز المحلل للنشا وان هذا الانزيم لا يعمل تحت درجات حرارة الصيف

الاحماض النووية : تزداد الاحماض النووية خلال عمليات التقسية خاصة RNA وهي خطوة اساسية فى ميكانيكية او آلية الحماية فقد اقترح Weiser & Li ان الزيادة فى الاحماض النووية ترجع الى التغيرات الايضية الخاصة بالانزيمات اللازمة لتخليق المكونات الجدارية والتي تعتبر ذات اهمية فى مقاومة درجات الحرارة المنخفضة

البروتينات : يبدو ان للبروتينات علاقة وثيقة بتحمل النبات للبرد وذلك من خلال الوظيفة المزدوجة للبروتين فهو يعمل كمنظم من خلال الانزيمات ويعمل كواقى من خلال زيادة البروتينات الذائبة فى القلف الحى والذي يساعد على تحمل البرد كما اظهرت الدراسات زيادة النشاط الانزيمى للانزيمات المحللة للبروتين فى النباتات المقاسة . ويظهر التخطيط التالى علاقة الانزيمات ونواتج التحليل الايضى للمركبات وبين عملية مقاومة او تحمل البرد

حيث يتضح من التخطيط ان عملية التحفيز تتأتى عن طريق استقبال النباتات للتغيرات فى الفترة الضوئية وانخفاض درجة الحرارة فيكونان عاملان مؤثران على النظام الجينى المعروف Gene on and off وتكوين mRNA ثم تخليق الجديد من البروتين الذى يكون منه الانزيمات الهاضمة والتي منها المحلل للاكسين الداخلى IAA والذي يودى تناقص النمو الخضرى وتوقفة ثم يتراكم السكروز وتحدث التغيرات الاسموزية فيترتبط الماء وتتغير الاغشية وتؤدى كل تلك التغيرات الى زيادة قدرة النباتات على مقاومة وتحمل البرد .

تساقط الثمار Fruit drop " منعه او الحد منه " :

تساقط الثمار البذرية فى فترات يقل فيها الامداد الاوكسينى من الانسجة المختلفة المانحة للاوكسين بالبذرة فينخفض مستوى المستوى اللازم لاستمرار نموها .

فشل الازهار فى العقد : فشل الاجنة فى النمو يودى الى تساقطها ويزداد احتمال تساقط الثمرة كلما قل عدد البذور بها حيث يترتب عليه انخفاض المحتوى الاكسينى للثمرة وبالتالي انخفاض قدرتها على المنافسة للحصول على المواد والعناصر الغذائية اللازمة لنموها اذ ان الافراز الهرمونى يحدث مناطق جذب لهذه العناصر

لذا فتساقط الثمار يكون اما بعد العقد او قبل الجمع والاخير اهم لما يحدثه من خسائر وتلف لمحصول الثمار . وقد وجد ان تلك الاوقات يكون مستوى الاثيلين مرتفع والذي يسبب ضعف وتكسر الصفيحة الوسطى فتحدث منطقة الانفصال والذي يختلف مكانة باختلاف النوع النباتى التابعة لة الثمرة فتنفصل ثمرة البرقوق بجزء من العنق فى التساقط الاول اما تساقط ما قبل الجمع فتنفصل بدون عنق اما الكريز فيحدث منطقة الانفصال اما بين عنق الثمرة وحامل الثمرات او بين حامل الثمار والدابرة .

ويفترض تكون منطقة الانفصال بنشاط انزيمى هادم لمحتويات جدر الخلايا مثل المواد البكتينية والسليولوزية والسكريات العديدة غير السليولوزية ويحدث هجرة لعنصر الكالسيوم والمغنسيوم من جدر الخلايا فى تلك المنطقة قبل او عند نهاية الطور المؤدى للانفصال ولا يشمل هذا التغير الحادث فى منطقة الانفصال الخلايا الخاصة بالحزم الوعائية مما يجعل الثمرة ملتصقة دون انفصال فترة حتى تتمزق هذه الحزم طبيعيا Physically ويختفى البكتين سواء المثلى Methylated Pectins او الكلى من خلايا الانفصال وتتجلجن الخلايا فى انسجة الثمرة عند منطقة الانفصال ويستمر بتقدم ظاهرة الانفصال حتى التساقط .

دور الاكسين في منع التساقط :

يمنع الاكسين تكون وتخلق طبقات الانفصال ويرجع ذلك الى دورة في منع تكوين الانزيمات الهادمة للبكتين مثل *esterase Pectin methyl* وايضا لدورة في التدرج الاكسيني *Auxin gradient* عند النهاية القمية للعنق *Proximal end* (اتصال العنق بالثمرة) وقد افادت تلك المعلومات في منع التساقط باستعمال الاوكسينات .

استعمل *Naphthalen acetamide* بتركيز ١٥ - ٢٠ جزء في المليون عند تساقط اول ثمرة تفاح ثم تكرر المعاملة حتى الجمع ويستعمل *D - ٢,٤* بتركيز ٨ - ١٠ جزء في المليون لمنع تساقط ثمار الموالح " ابو سره " والتفاح والكمثرى . وقد وجد ان الرش البرتقال ابو سره قبل الازهار بستة اسابيع زاد الحجم وقل التساقط اي ان تأثير دام سبعة شهور

اما عن دور الجبرلين فعند المعاملة بـ ٥ على ثمار التفاح *Red delicious* فقد قل التساقط بنسبة ٢٠-٥٠ % وكانت المعاملة بعد ٦ اسابيع من تساقط البتلات الزهرية بتركيز ٢٥ - ١٠٠ جزء في المليون غير ان الجبرلين لم يعطى نتائج ايجابية اخرى في منع تساقط كثير من الثمار للأنواع الاخرى .

B9 اثر في منع التساقط او التقليل منه بالتفاح عند الرش به بعد ثلاث اسابيع من التزهير وتساقط البتلات بتركيز ٢.٥ جم / لتر.

التساقط

<u>العوامل المؤثرة على سقوط الأوراق</u>	<u>تأخير سقوط الأوراق</u>	<u>تساقط الثمار</u>
<u>دور الهرمونات في منع تساقط الأوراق</u>	<u>الخف</u>	

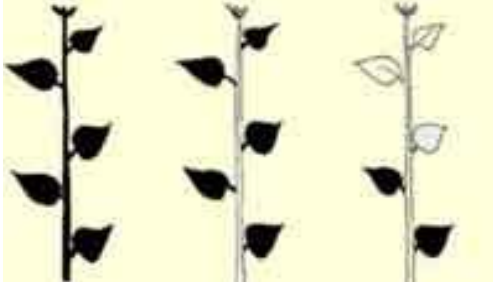
مقدمة:

التساقط هو أحد مظاهر الشيخوخة أو هو أحد مظاهر انتهاء عمر العضو داخل منظومة النبات حيث إن جميع النباتات الراقية وخاصة الأشجار مستديمة الاخضرار أو متساقطة الأوراق قد تتخلص من أعضائها المسنة سواء أكانت أوراقا أو أزهارا أو ثمارا بعد وصول كل منها طور الشيخوخة والتحلل والهدف من تساقطها هو استبدالها بأخرى حديثة ونشطة فسيولوجيا وكيميائيا. ويتم سقوط هذه الأعضاء خاصة الأوراق إما منفردة و علي فترات متباعدة علي مدار العام كما في الأشجار مستديمة الخضرة أو تسقط الأوراق دفعة واحدة خلال فصل الخريف و تصبح الأشجار عارية تماما في الشتاء كما في متساقطة الأوراق التي تمر نباتاتها بفترة السكون أو الراحة نتيجة انخفاض الحرارة شتاء ثم تستأنف نموها بعد تكشف براعمها لتتحول الي الأوراق الحديثة أو الأزهار أو كلاهما مع تكوين النموات الخضرية خلال فصل الربيع لارتفاع معدل الحرارة و سريان العصارة و توفير الماء و الغذاء . حتي الأزهار و الثمار تسقط منفردة أو علي دفعات بعد عملية الإخصاب أو العقد أو تكوين الثمار الصغيرة و يتم سقوط كل منها طبيعيا أو بعوامل المناخ مثل الرياح الشديدة . وفي بعض الحالات الشاذة قد تسقط هذه الأعضاء دفعة واحدة نتيجة الاستعمال الخطأ بفعل مبيدات الحشائش أو الفطريات المرضية

العوامل المؤثرة علي سقوط الأوراق :

وبالنسبة لسقوط الأوراق سواء أكانت للأشجار المستديمة أو المتساقطة لابد من حدوث بعض التغيرات المورفولوجية تركيبية و التفاعلات الكيميائية داخلها من خلال مراحل و خطوات متتالية تؤدي في النهاية الي سقوط الورقة و التي تتلخص خطوات هذه المتغيرات تبعا للآتي :

أ – التغيرات التشريحية : تتلخص في التالي:



1- عند دخول الورقة مرحلة شيخوختها يبدأ ظهور اختناق دائري مقعر الشكل في صورة حلقة خارجية عميقة نوعا حول قاعدة عنق الورقة ويأخذ لونا خاصا دون باقي العنق خارجيا .

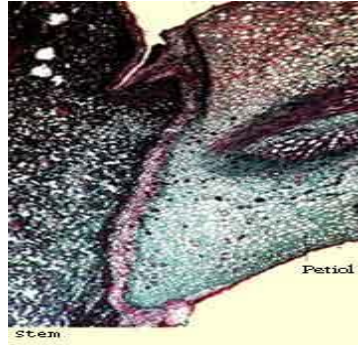
2- عند عمل قطاع طولي في الجزء الحلقي المقعر حول قاعدة الورقة يتميز بوجود الأوعية الناقلة ضيقة القطر وشكلها منضغط الي الداخل مع قلة خلايا العنق

سواء أكانت خلايا كولنشيمية او اسكلورانشيمية أو تكاد تكون منعدمة مع وجود طبقتين أو أكثر من الخلايا البارنشيمية ذات الجدر الرقيقة غير المنتظمة شكلا وغير المتساوية حجما والمنضغطة طوليا واحتواءها علي كثير من الانوية والميتوكوندريا . وعندما يتصف هذا الاختناق بهذه الصفات التركيبية يطلق عليها طبقة الانفصال Separating layer أو منطقة التساقط Abscission zone

3- تحلل طبقة الانفصال أو منطقة التساقط بفعل أنزيمات التحلل التي تعمل تحطيم وتحلل وإذابة الجدر الخلوية وخاصة الصفائح الوسيطة أو تتمزق الأخيرة بفعل الضغط الناشئ نتيجة التزاحم بين الخلايا الكبيرة و المجاورة لمنطقة التساقط و تصبح طبقة هذه المنطقة علي هيئة شكل منتفخ و في حشوة جيلاتينية لامتلانها بالعصير الخلوي والسيتوبلازم مما يكسب هذه الطبقة اللون الداكن و المظهر اللزج و تصبح الورقة متصلة بالساق عن طريق خلايا طبقة البشرة والأوعية الناقلة فقط لإختفاء خلايا طبقة البشرة نتيجة عمليات التحلل والإذابة مما يساعد ذلك علي سقوط الأوراق بسهولة بفعل ثقل وزنها أو بفعل الرياح العادية

4- قبل سقوط الأوراق و بعدها مباشرة تتكون طبقة أو طبقتين من الخلايا البارنشيمية القريبة من منطقة الانفصال لغلق فوهة الأوعية الناقلة و تصبح محكمة القفل لمنع خروج العصارة النينة من الخشب و الطازجة من اللحاء مع إضافة بعض المواد اللزجة و المنتجة ذاتيا من المواد التيلوزية لتكوين غشاء أو غلافا وافيأ ليزيد من إحكام القفل لفوهة الأوعية بفعل طبقتي الخلايا المتكونة حديثا و التي تتحول بعد ذلك الي خلايا فليلينية بعد ترسيب مواد تدعيمية مثل اللجنين و السيوبرين بينها لشدة تماسك الطبقة الفليلينية و عدم اتصال عصارة الأوعية الناقلة بالوسط الخارجي.

5- عقب سقوط الأوراق مباشرة تتخلف عنها ندبة صغيرة الحجم مثلثة الشكل و لامعة المظهر ممثلة نقطة الاتصال بين الورقة و السوق الحامل لها.



ب -التفاعلات الكيميائية :

وتتلخص خطوات العمليات الكيميائية التي تحدث داخل خلايا منطقة الانفصال في عنق الأوراق قبل

تساقطها في التالي :

- 1- بعد دخول الأوراق مرحلة شيخوختها يبدأ ظهور علامات الشيخوخة علي نصل الأوراق نتيجة ظهور الاصفرار الكامل و سرعة ذبولها و يرجع ذلك الي تحلل الكلورفيل و المواد البروتينية و الأحماض النووية خاصة RAN بفعل نشاط الأنزيمات المتخصصة اللازمة لعمليات الهدم السريع مصحوبا ذلك باليخر السريع لسرعة النفاذية من خلال الأغشية لجدر الأوراق المسنة بالإضافة الي ما سبق تكوين الأزهار و الثمار تعمل علي سحب معظم الغذاء من الأوراق و الجذور في صورة ذائبة معدنيا أو عضويا لاكتمال أجزائها و تكوين ثمارها و نضج بذورها مما يدفع ذلك الأوراق علي دخولها مرحلة شيخوختها مبكرا و العمل علي سرعة سقوطها سواء أكانت أشجارا مستديمة الخضرة أو متساقطة الأوراق . بينما النباتات العشبية و المعمرة مثل الأبصال و الدرنات و الریزومات تقوم بدورها علي سحب الغذاء المجهز سواء كان عضويا أو معدنيا في صورة ذائبة و سهلة الامتصاص و انتقالها من الأوراق الي الأعضاء المتحورة أرضيا لكي تتجمع بداخلها و تزداد أحجامها و تثقل أوزانها مما تدفع الأوراق بأن تدخل مرحلة الشيخوخة المبكرة بناءا علي ما سبق يمكن استغلال الظواهر السابقة في مجال الإنتاج الزراعي لتقليل التنافس علي الغذاء بين الأعضاء النباتية و لتأخير مرحلة الشيخوخة لها مع عدم سحب الغذاء من أحد الأعضاء الي الأخرى و علي سبيل المثال عمليات إزالة البراعم الخضرية قميا أو جانبيا حتي البراعم الزهرية في نبات الدخان بغرض تشجيع النمو خضريا و تحسين صفات الأوراق مظهريا وزيادة محتواها الكيميائي داخليا و رفع النكهة و الرائحة بها . كما أثبتت الدراسات أن إزالة البراعم الزهرية يوميا من نبات فول الصويا قد تؤدي الي إطالة عمر الأوراق وتأجيل شيخوختها و عملية خف الأزهار أو الثمار الصغيرة لنباتات الفاكهة تعمل علي كبر حجم الثمار و رفع صفاتها الطبيعية و الكيميائية من حيث الطعم و اللون و خفض الحموضة و زيادة السكريات .
- 2- خلال مرحلة الشيخوخة للأوراق النباتية تحدث بداخل طبقة الانفصال في قاعدة الورقة بعض التغيرات الكيميائية مما ينتج عنها تحليل وهدم الجدر الخلوية و الأغشية البروتوبلازمية و الصفائح الوسيطة لخلايا القشرة مصحوبة بإذابة المواد البكتينية و الهيميسليولوزية و المواد السكرية المعقدة و أهم الأنزيمات الداخلة في التفاعل و المتعلقة بالتحلل و الهدم هي أنزيم البكتينيز ، السليوليز ، الفوسفاتيز ، البيروكسيديز ، حمض السكسينيك ديهيدروجينيز ، حمض الماليك ديهيدروجينيز ، البروتيز ، اكسيديز حمض أندول الخليك . بعد الانتهاء من عمليات التحلل تصبح طبقة الانفصال متكونة من الخلايا المفككة و الجدر الممزقة ذات المظهر الجيلاتين نتيجة نشاط أنزيم بكتين ميثايل الاستريز و أنزيم حامض RAN ase
- 3- زيادة معدل التنفس بفعل الأنزيمات المتخصصة و بالاشتراك مع أنزيمات التحلل الأخرى قد تعمل معا علي سرعة التساقط في الأوراق فقد وجد أن مانعات التنفس تشترك بدورها في عدم أحداث التساقط فعند إعطاء جرعات من المواد السكرية خفيفة التركيز لمنطقة التساقط أسرع من تساقط الأوراق مبكرا مما يؤكد أن عملية الانفصال تحتاج الي طاقة حرارية تكون مصدرها الطبيعي عملية التنفس
- 4- نقص المحتوي الكلي من الأوكسين أندول حمض الخليك في منطقة التساقط يعتبر عاملا محددا لهذه الظاهرة . و تفاعلات الأكسدة الناتجة بفعل أنزيم أوكسيديز حمض أندول الخليك تؤدي بدورها علي سرعة التساقط نتيجة خفض الأوكسين و عند إضافته علي طبقة الانفصال فإنه يمنع أو يؤخر تساقط الورقة .
- 5- انخفاض المحتوي البروتيني و الحامض النووي RNA مرتبطا بالنشاط الأنزيمي المحلل لكل منهما ويعزى ذلك الي ارتفاع معدل النشاط أنزيم البروتيز protease ، و أنزيم الريبونوكليز Ribonuclease علي التوالي و المحللة لهما في منطقة الانفصال.

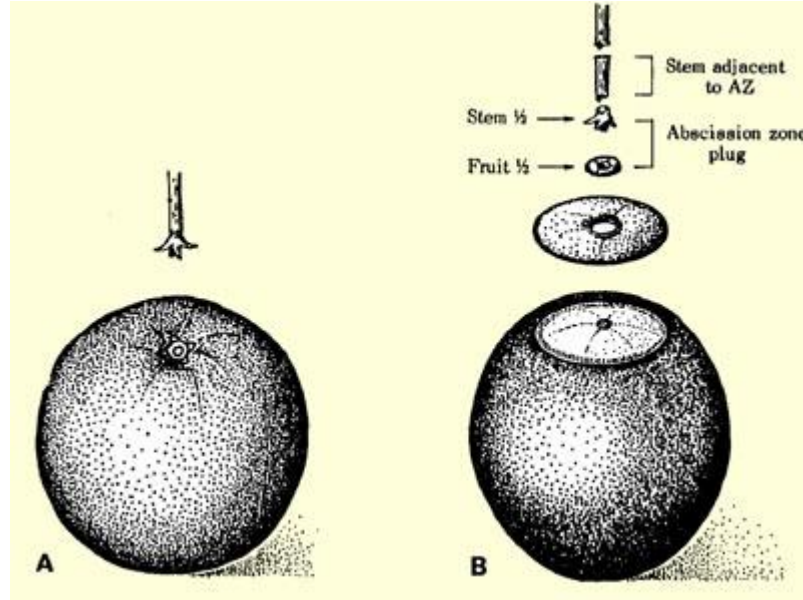
تأخير سقوط الأوراق

من المعروف أن الأوراق الحديثة تزداد فيها تركيزات الاوكسينات الطبيعية و تقل معدلها مع تقدم الأعضاء في العمر وبالتالي يسهل سقوطها بعد تكون منطقة الانفصال لذلك يمكن منع تساقط الأوراق أو تأخير

تساقطها بالرش بالاكسينات وربما يرجع ذلك المنع الى زيادة سرعة الانقسام الخلوى وتجديدها عند قاعدة الورقة ووقف النشاط الأنزيمي المحلل لجدر خلاياها

تساقط الثمار Fruit drop

ظاهرة سقوط الثمار المنتشرة طبيعيا في أشجار الفاكهة تحدث عادة عقب عملية الإخصاب والعقد مباشرة أو أثناء نضج و اكتمال التسوية في الثمار ، مع العلم أن النسبة المرتفعة في ظاهرة التساقط الثمري تحدث في النباتات ذاتية التلقيح . ويتم التساقط علي فترتين كما في أشجار التفاح . يسمى الأول بالتساقط المبكر الذي يحدث بعد انتفاخ المبيض وتكوين الاندوسبرم البذري للثمرة و الثاني يعرف بتساقط يونية الذي يحدث خلال الفترة السريعة لتكوين الجنين وهناك نوع آخر من التساقط يعرف بتساقط ما قبل الجمع حيث تسقط الثمار وهي على وشك النضج تحدث منطقة الانفصال في الثمرة إما في منطقة اتصال العنق بالثمرة أو قد تحدث في طبقة القشرة والبشرة للثمرة قرب العنق بمسافة نصف ملليمتر في العنق أو عمقا في الثمرة والذي يختلف مكانة باختلاف النوع النباتي التابعة له الثمرة فتتفصل ثمرة البرقوق بجزء من العنق في التساقط الأول أما تساقط ما قبل الجمع فتتفصل بدون عنق أما الكرز فيحدث منطقة الانفصال اما بين عنق الثمرة وحامل الثمرات أو بين حامل الثمار والدابرة.



تساقط ما قبل الجمع يؤدى الى الأضرار بالثمار الساقطة على سطح الأرض حول جذوع أشجارها حيث تتعرض هذه الثمار للإصابة البكتيرية و الفطرية نتيجة حدوث بعض الجروح الميكانيكية علي الثمار بعد سقوطها وتصبح بعد ذلك غير صالحة للاستهلاك أو البيع و يمكن تجنب مثل هذه الحالات بقطف الثمار قبل اكتمال تسويتها وتلوينها بالرغم من عدم صلاحيتها للاستهلاك والأفضل ترك هذه الثمار فوق الأشجار حتي تصبح مكتملة النضج والتسوية ولا يتأتي ذلك إلا باستخدام بعض المنظمات النباتية للعمل علي منع سقوطها أثناء النضج وبعده كما في ثمار التفاح و المشمش لأن ظاهرة التساقط الثمري قبل القطف-Pre harvest drop مرتبطة بالنقص في معدل الأوكسين ويمكن التغلب عليها باستخدام الرش لمحاليل نفتالين حامض الخليك (١٠ جزء في المليون) بشرط أن يستخدم الأوكسين مرتين كل ٥-٦ أيام قبل سقوط الثمار لأشجار التفاح ، كما يستعمل (الآلار) مرة واحدة رشا علي الأشجار قبل سقوط الثمار بحوالي شهر واحد ويمكن استخدام بعض المواد الصناعية من الأوكسينات لنفس الغرض السابق مثل مركب ثلاثي كلورو الفينوكسي حامض البروبيونيك

يرجع تساقط الأزهار الى فشلها في التلقيح والإخصاب فالفشل في العقد يؤدى الى أن تحرم الأزهار من المدد الاوكسينى الذى يعينها على البقاء والاستمرار فى القيام بدورها ، كما إن فشل الأجنة فى النمو يؤدى

الى تساقطها أيضا لنفس السبب وهو ما يحدث عادة بعد ذلك للثمار البذرية في فترات يقل فيها الإمداد الاوكسينى من الأنسجة المختلفة المانحة للاوكسين بالبذرة فينخفض مستواه دون المستوى اللازم لاستمرار نموها

وهناك العديد من البحوث التي أثبتت أن ظاهرة التساقط الثمري تعزي الي انخفاض مستوي الأوكسينات في الثمار أو الي التدرج الاوكسينى على جانبي منطقة الانفصال فأن كان مستوي الأوكسين على الجانب الداخلى اكبر منه على الجانب الخارجى في هذه الحالة لا يحدث التساقط أما أن قل المستوي الاوكسينى الداخلى ليعتادل مع مستواه الخارجى البعيد عن منطقة التساقط في هذه الحالة تتكون منطقة الانفصال ويزداد احتمال تساقط الثمرة كلما قل عدد البذور بها حيث يترتب عليه انخفاض المحتوى الاوكسينى للثمرة وبالتالي انخفاض قدرتها على المنافسة للحصول على المواد والعناصر الغذائية اللازمة لنموها إذ إن الإفراز الهرموني يحدث مناطق جذب لهذه العناصر

وقد وجد أن في أوقات التساقط عادة ما يكون مستوي الاثيلين مرتفع والذي يسبب ضعف وتكسر الصفيحة الوسطى فتحدث منطقة الانفصال ويفترض تكون منطقة الانفصال بنشاط أنزيمي هادم لمحتويات جدر الخلايا مثل المواد البكتينية والسلولوزية والسكريات العديدة غير السلولوزية ويحدث هجرة لعنصر الكالسيوم والماغنسيوم من جدر الخلايا في تلك المنطقة قبل أو عند نهاية الطور المؤدى للانفصال ولا يشمل هذا التغير الحادث في منطقة الانفصال الخلايا الخاصة بالحزم الوعائية مما يجعل الثمرة ملتصقة دون انفصال فترة حتى تتمزق هذه الحزم طبيعياً Physically ويختفى البكتين سواء المثلي Methylated Pectins أو الكلى من خلايا الانفصال وتتلفن الخلايا في أنسجة الثمرة عند منطقة الانفصال ويستمر بتقدم ظاهرة الانفصال حتى التساقط.

وقد أيد ذلك كل من Addicott Davies & Morgan (1972) حيث وجدوا زيادة إنتاج الاثيلين طبيعياً في ثمار القطن قبل سقوط اللوز (الثمرة) الصغير بينما ارتفع حمض الأبسيسك خلال سقوط ثماره مما نستنتج أن المركبين السابقين يشتركان معا في ظاهرة التساقط الثمري.

دور الهرمونات في منع تساقط

يمنع الاكسين تكون وتخلق طبقات الانفصال ويرجع ذلك الى دورة في منع تكوين الأنزيمات الهادمة للبكتين مثل Pectin methyl esterase وأيضا لدورة في التدرج الاوكسينى Auxin gradient عند النهاية القمية للعنق (Proximal end اتصال العنق بالثمرة) وقد أفادت تلك المعلومات في منع التساقط باستعمال الاوكسينات. فقد وجد أن استعمال Naphthalen acetamide بتركيز ١٥ - ٢٠ جزء في المليون عند تساقط أول ثمرة تفاح ثم تكرار المعاملة حتى الجمع ويستعمل D_{2,4} - بتركيز ٨ - ١٠ جزء في المليون لمنع تساقط ثمار الموالح " أبو سرة " والتفاح والكمثرى . وقد وجد أن الرش البرتقال أبو سرة قبل الأزهار بستة أسابيع زاد الحجم وقل التساقط أي أن تأثير دام سبعة شهور في أشجار المانجو و أصنافها المختلفة تصل نسبة تساقط الثمار غير تامة النضج حوالي ٩٨ % و يتبقى من الثمار العالقة بالأشجار حتي تنضج تماما حوالي ٢ % و يمكن التغلب على نقص العقد لارتفاع التساقط بالاستخدام الأمثل من نفتاليك حمض الخليك أو مركب ٢ ، ٤ - ت

أما عن دور الجبرلين فعند المعاملة به على ثمار التفاح فقد قل التساقط بنسبة ٢٠-٥٠ % وكانت المعاملة بعد ٦ أسابيع من تساقط البتلات الزهرية بتركيز ٢٥ 100 جزء في المليون غير ان الجبرلين لم يعطي نتائج إيجابية أخرى في منع تساقط كثير من الثمار للأنواع الأخرى

أشارت الأبحاث الأخيرة أيضا اثر B9 في منع التساقط أو التقليل منه بالتفاح عند الرش به بعد ثلاث أسابيع من التزهير وتساقط البتلات بتركيز ٢.٥ جم / لتر

الخف Thinning

أمكن استغلال ظاهرة سقوط الأوراق أو الأزهار أو الثمار الطبيعية صناعيا وذلك بتحفيز أو تسريع تكوين طبقة الانفصال لأحداث التساقط المبكر وذلك باستعمال الأوكسين أيضا فكما أن له دورا في منع التساقط فقد وجد أن له أيضا دورا في الإسراع من حدوث التساقط وهو تعديل التدرج الاوكسيني لصالح حدوث الانفصال.

كما توجد بعض المحاولات لتقليل الإنتاج الثمري للمحافظة على النوعية الثمرية لأشجار الفاكهة بإضافة حمض لجبريللين على الأشجار خارجيا في وقت إحداث التنبية الزهري **Flower Induction** لأزهار الموسم التالي والذي يسبب تقليل عدد البراعم الزهرية وتكشفها . إلا أن الهرمون يعمل على تشجيع النمو الخضري على حساب النمو الزهري في بعض الأشجار الخشبية . وعلية يفضل استخدام الأوكسينات مثل نفتالين حامض الخليك عقب العقد وتكوين الثمار الصغيرة كما في التفاح والخوخ والعنب ، كما يفضل استخدام الأوكسين في صورة نفتالين حمض الخليك أثناء العقد الثمري لنبات العنب ، بينما يفضل استعمال حامض الجبريلليك قبل تفتح الأزهار للعتب لتقليل ظاهرة العناقيد المزدحمة ومنع تعفن الثمار مصحوبا باستطالة العناقيد وخفض نسبة العقد مما يسبب زيادة الإنتاج الثمري لكبر حجم الحبات العالقة حتي مركبات المورفاكتين و الاثيفون قد تستخدم لنفس الغرض السابق في أشجار العنب لأنها تعمل علي سقوط حبات أو ثمار العنقود لتقليل تراحمه مؤديا في النهاية الي كبر حجم الثمار المتبقية علي العنقود وقد وجد أن استخدام مركب الايثيريل أثناء عقد الثمار لأشجار الخوخ يعمل علي تقليل الثمار الناتجة مع زيادة أحجامها و أوزانها وتحسين صفاتها الطبيعية والكيميائية

وجد أن استخدام محاليل الرش لمركب الايثيريل (١٠٠٠ جزء في المليون) على أشجار الجوز قبل ميعاد الجمع الثمري بحوالي أسبوعين يؤدي الي سهولة القطف ميكانيكيا تبعا لدراسة (Martin 1971) وأمكن تطبيق هذه الطريقة بنفس المركب السابق على أشجار التفاح والمشمش والبرتقال لتسهيل سقوط الثمار العالقة بالأشجار عندما تهز فروعا وسوقها مع استقبال الثمار الساقطة علي مشمعات من البلاستيك لتقليل الجروح الميكانيكية نتيجة عملية التساقط لذلك شاع استعمال بعض المركبات الكيميائية الصناعية مثل الايثيريل، البيوتاييل كابتاكس الأراجيرانين ،الببيوتيفوس وكلوريد المنجنيز للرش علي النبات خلال موسم الأزهار أو الأثمار لخف الأزهار والثمار للمحافظة علي الصفات الطبيعية والكيميائية للثمار المتبقية بشكل أفضل من حيث كبر الحجم وزيادة الوزن واللون وزيادة المحتوى السكري لتتناسب مع الذوق الاستهلاكي وفي القطن يتم إسقاط الأوراق صناعيا للتخلص من الأوراق لسهولة الجمع الميكانيكي ، كما توجد في بعض أشجار الفاكهة ظاهرة تعرف بالحمل المتبادل كما في النخيل والمانجو والتفاح بأن تعطى الأشجار إنتاجا ثمريا مرتفعا في عام ثم تنتج ثمارا قليلة في العام التالي وهكذا ، ويتم التغلب على هذه الظاهرة بإزالة الثمار الصغيرة خلال أطوار نموها الأولى مما يؤدي الى الحصول على حمل متوسط الإنتاج بدلا من الإنتاج الثمري الثقيل . مع ملاحظة أن عملية الخف اليدوي للأزهار أو الثمار في أشجار الفاكهة لم تكن مجدية عمليا بل الأفضل استخدام وسائل الخف الكيميائي باستعمال المركبات الكيميائية مثل مركب داي نيتروارثوكريسول **Dinitroorthocresol (DNOC)** لخف الأزهار لكل من التفاح والخوخ عندما ترش على الأشجار ذات الأزهار المتفتحة ، لأن عملية خف الأزهار أفضل من خف الثمار غير الناضجة.

و يمكن توضيح ميكانيكية عمل المركبات الصناعية و المستخدمة في خف الثمار لأشجار الفاكهة المختلفة نتيجة العوامل التالية :

- أ- منع أنبات حبوب اللقاح و عدم تكوين الأنابيب اللقاحية فيها .
- ب- إعاقه حركة و انتقال المواد الغذائية من الأوراق و باقي أجزاء النبات الي الثمار خلال مراحل تكوينها و نضجها
- ج- تشجيع تداخل النمو لكل من الجنين و الاندسبرم يؤدي الي ظهور البذور المختزلة .
- د- سرعة سقوط الثمار مباشرة.

حركة النبات

- حركات الامتلاء

- الحركات الانتحانية

- حركات النمو

مقدمة

إن حركة النبات كثيرا ما يهملها الفسيولوجيون نظرا لبطنها غير أن ما ظهر من تقنيات حديثة في التصوير وكاميرات الفيديو الرقمية الحديثة التي تلتقط صورة كل عدة ثوان وتسجلها داخل الكاميرا ليتم نقلها للكمبيوتر ليتم عرضها بالسرعات التي تظهر حركة النبات بشكل جيد للوقوف على حركة الأعضاء النباتية بدقة وإظهار واقعية الحركات الذاتية للأوراق والسوق . وبذلك الطريقة أمكن ملاحظة أن أوراق الدخان تبدو وكأنها ترتفع وتنخفض وكأنها أجنحة طير أثناء الطيران ، كما يمكن رؤية الساق وهي تتحرك حركات حلزونية منتظمة ، كما يمكن إظهار الحركات التي تحدث أثناء تفتح البراعم سواء كانت براعم ورقية أو الزهرية . كذلك اهتم الفسيولوجيون بدراسة إيقاع النبات الداخلى والبحث عن كيفية تنفيذ النبات لبرنامج في التطوير وإحساسه بالليل والنهار وبقياسه درجة الحرارة وأوضاع النبات عن مجاورته لأخرى وشن حربة للدفاع عن نفسه إذا تعرض لهجوم بكتيري أو فيرسى أو أصابته حشرة أو حتى إذا وقع تحت وطأة الإجهاد البيئي من حر أو برد أو تعرض للملوحة أو الجفاف ... الخ .

حركات النمو :

هي التغيرات في وضع الأعضاء نتيجة زيادة حجم الخلايا وزيادة أعدادها وانحنائها ويحدث الانحناء نتيجة زيادة عدد وحجم الخلايا الغير متساوى في الأجزاء التي تحدث لها النمو والانحناء ، فالحركة الانتحائية هي الحركات التي تحدث بتأثير العوامل البيئية مثل الانحناء للضوء الساقط على السوق والجذور (الانتحاء الضوئي) والانتحاء بتأثير الجاذبية الأرضية (الانتحاء الأرضي) أو اتخاذ أوضاع حركية بتأثير اختلافات المحتوى المائي للتربة (الانتحاء المائي) والانتحاء نتيجة التلامس الفيزيائي أو التلامس الكيميائي (الانتحاء التلامسي) أو (الانتحاء الكيميائي) . وتعتبر الحركة موجبة حينما ينحني العضو في اتجاه المؤثر وسالبة حينما ينحني العضو في الاتجاه المضاد .

الحركات الانتحائية :

هي الحركة التي تحدث في العضو نتيجة تساوى العامل المؤثر على العضو من جميع الاتجاهات بالتساوى ، فحركة الأوراق الحديثة أثناء النمو وحركة حراشيف البراعم وبتلات الأزهار عند التفتح أمثلة للحركات الانتحائية وتنتج من نمو السطح السفلي للعضو أسرع من السطح العلوي مما يجعلها تنحني الى أعلا مثلا لتغليف قمة الساق أو حدوث زيادة النمو في السطح العلوي اكبر فيحدث تفتح البراعم ، أما قمة الساق فتتمو حلزونيا رغم أن ظاهر الأمر إنها تنمو راسيا وينتج التثني من عدم تساوى معدلات النمو في الأجزاء الرأسية المختلفة حول محور الساق بعض الحركات الانتحائية تحفزها عوامل بيئية كالحرارة والضوء فتتهدل الأوراق ليلا في بعض الأنواع وتتعدل أوضاعها في أثناء النهار وهذه الحركات عادة تكون مرتبطة بتوزيع الاوكسينات في الأنسجة المتأثرة .

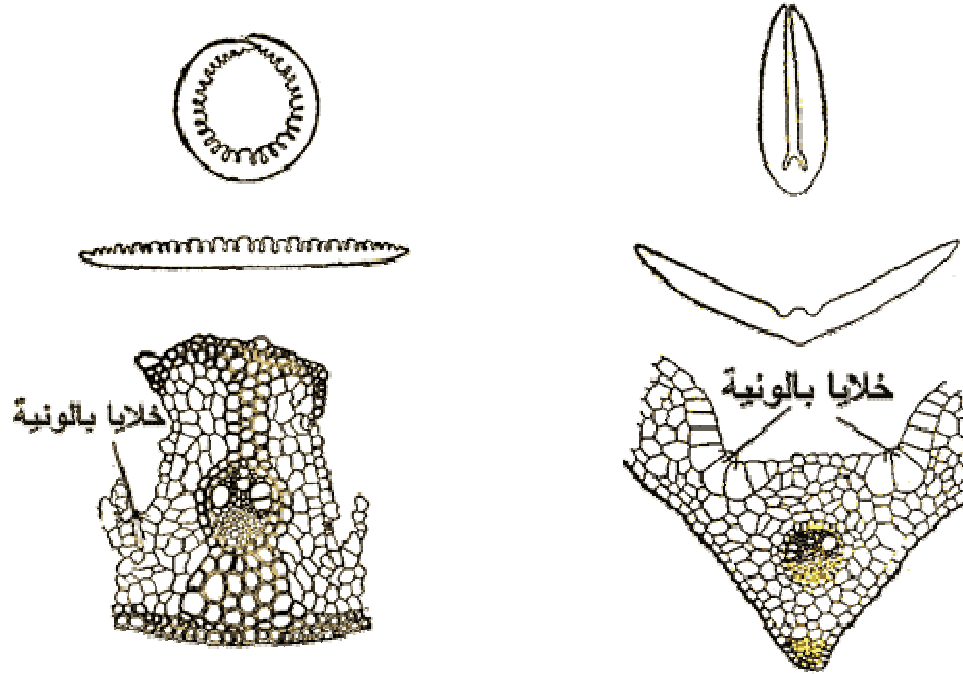
حركات الامتلاء :

وهي التي تنتج نتيجة التغيرات والتغيرات العكسية في امتلاء الخلايا بالماء وعادة تكون الأعضاء المتأثرة

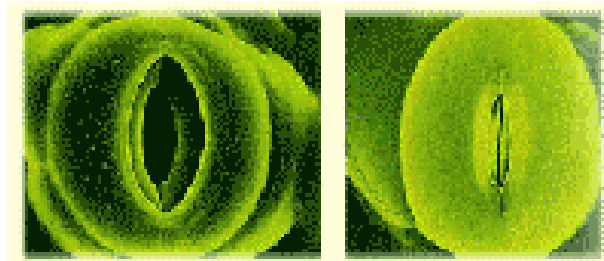
بتلك الحركات الامتلائية ذات خلايا رقيقة الجدر تسمى أعضاء الحركة أو الوسائد مثل حركة النوم للنبات ميموزا بوديكا وهو أحد البقوليات ، وكذلك فتح وغلق الثغور وحركة الأوراق الناتجة عن الذبول والشفاء منه ، وعادة تحدث حركات الامتلاء التي تؤدي الى التفاف الأوراق من وجود خلايا كبيرة في الحجم تسمى الخلايا البالونية توجد على السطح العلوي للورقة عند قاعدتي أخدودين في محاذاة العرق الوسطى .

فعندما يكون الامتلاء كبيرا تكون الاوراق منبسطة وعندما يكون ينخفض ضغط الامتلاء ترتخي جدر تلك الخلايا البالونية فتتطبق الورقة (كما في نبات حشيشة الرمال) وعندما تعيد الخلايا المرخية امتلائها تنبسط الورقة مرة اخرى ، وتستغرق الاوراق ما بين ٨ - ٢٠ دقيقة لاعادة امتلائها وبالتالي انبساطها

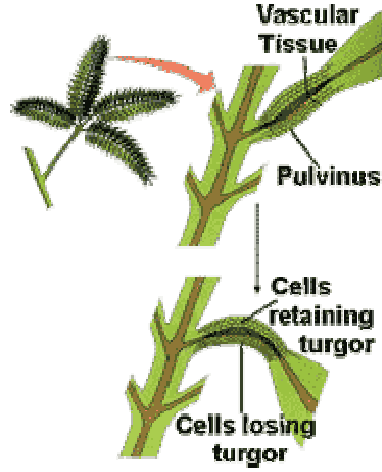
أما عن الآليات التي تفسر الحركة الامتلائية فكلها ترجع الى إفراز مواد ذات نشاط اسموزي عالي يسمح بدخول الماء أو خروجه الى المسافات البينية من خلال الأغشية السيتوبلازمية وهي تغيرات عكسية بعضها بيوكيميائي والبعض الآخر فيزيائي مثل التعرض للغازات والصدمة الكهربائية والارتجاج والانتقال من الضوء الى الظلام والعكس



وسوف يتم مناقشة العوامل المؤثرة على الحركة الامتلائية عند التحدث عن حركة الماء والية حركة الثغور



يسبب ضغط الامتلاء بالزيادة أو بالنقص الى انتفاخ الخلايا الحارسة الموجودة على حافتي الثغر أو الى ارتخائها فينتج عن ذلك حركة فتح وغلق الثغر.



كما تظهر حركة الامتلاء عند انتصاب الأوراق أو الورقات بعد رى النباتات وعند ارتخاء الأوراق وتهديلها عند جفاف التربة وكذلك تظهر تلك الحركة على الأوراق بوضوح في الصباح الباكر حيث تكون الخلايا في تمام الاختلاف ثم يقل الضغط الجداري فترتخي الخلايا لخروج الماء الى المسافات البينية خاصة في الخلايا السفلية لاعناق الأوراق فينتج عن ذلك حركة الارتخاء كما هو موضح بالصورة .

توضح الصورة حركة الامتلاء في الخلايا العلوية والسفلية المحيطة بعنق الورقة فعند تساوى ضغط الامتلاء في كل الخلايا ينتج عن ذلك انتصاب الأوراق .

وانبساطها وعند فقد انتفاخ الخلايا السفلية اكثر من الخلايا العلوية ينتج عن ذلك الارتخاء فمن المعروف أن تغير الامتلاء في خلايا الأعناق هو الذى يسبب حركات الأوراق التى تتبع مسار الشمس أثناء النهار

حركات التميؤ :

وهى الحركة التى تحدث فى الأنسجة الغير حية من النبات نتيجة تميؤ أو جفاف جدر الخلية وهى التى تسبب انشقاق القرنيات وتفتح الثمار العلبية والحركات السريعة للحواظ الجرثومية الناضجة فى السراخس .

الانتحاء الضوئى :

ينتج الانتحاء الضوئى نتيجة التعرض للإضاءة الغير متساوية على جانبي العضو النباتي، وعادة تنحنى السوق فى اتجاه الضوء الأقوى كما أن الأوراق تتخذ وضعا معيناً بالنسبة لمصدر الضوء وكثيراً ما تتخذ أوراق بعض النباتات مثل الخس أوضاعاً بحيث تواجه أنصالها الشرق والغرب حتى لا تواجه أنصال الأوراق الشدة الكاملة لشمس الظهيرة سوى حواف الأوراق فتعرف عندئذ تلك النباتات بنباتات البوصلة ، تلك الحركات التى تضع الأوراق والسوق فى مواضع معينة بالنسبة للضوء ترجع لأختلاف فى معدلات النمو فى الأجزاء المضاعة عن الأجزاء المظلمة فى السوق والأعضاء .

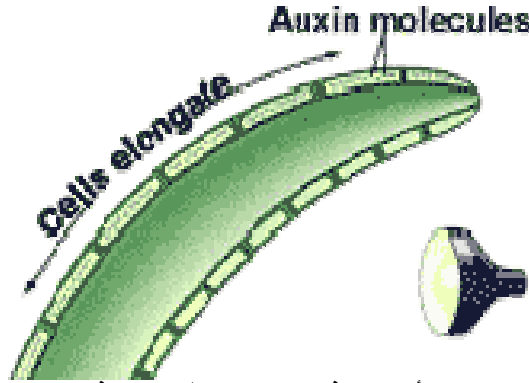


فقد أشارت تلك التجارب إن قمم الغلاف الورقى للشوفان تمد البادرة بالأكسين ونتيجة توزيعه الغير متساوى نتيجة تعرض الجزء المقابل للضوء و الذى يؤثر سلبياً على الأكسين حيث يودى الى أكسدته ضوئياً فيقل تركيزه فى الجزء المقابل للضوء مقارنة بالجزء المظلل أو البعيد عن الضوء . وهناك رأى آخر يرى أن للضوء تأثير على هجرة الأكسين من الجانب المعرض للضوء الى الجانب المظلل ونظراً لارتفاع تركيزات الأكسينات فى الجزء الغير مقابل للضوء .



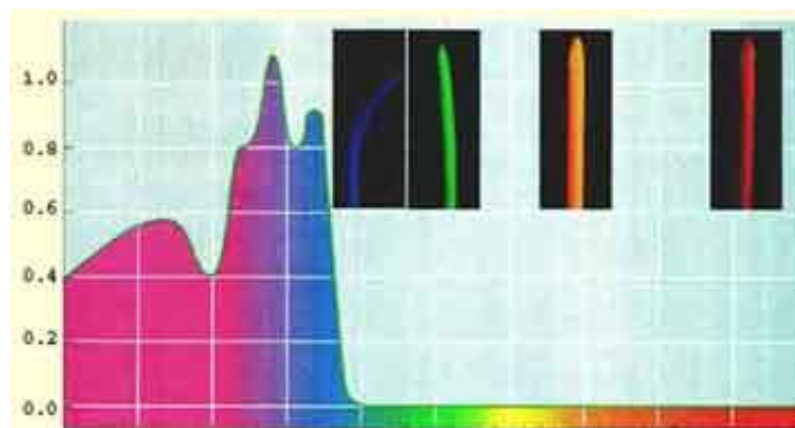
وقد عرفت آلية حركات الانتحاء الضوئي من دراسة سلوك الغلاف الورقي لنبات الشوفان وذلك لحساسية وبساطة تركيبية فقد عرف أن المنطقة التي تتأثر بالضوء إذا عرض من جانب واحد هي المنطقة التالية للقمة النامية لبادرات الشوفان بدليل عند إزالة القمة فإن الانحناء يكون قليلا ولكن عند وضع القمة أو قطعة من الجلاتين محتوية على الأوكسين سببت الانحناء بشدة

فيحدث استطالة لتلك الخلايا بمعدل أعلى من الخلايا المقابلة للضوء والأقل تركيزا للأوكسين مما يسبب انحنائها ناحية الضوء



وعلى ما يبدو انه ليس لزيادة تركيز الأوكسين في الجانب المظلل سببا في زيادة الاستطالة في الخلايا وبالتالي الانحناء ولكن ينتج الانحناء نتيجة نقص استطالة الجانب المضى لنقص الأوكسين به وهو ما اثبتته القياسات الفوتوغرافية

وجد أن ليست جميع الأطوال الموجية للطيف المرئي متساوية التأثير في إحداث الانتحاء الضوئي فالموجات الأقصر هي الأكبر تأثيرا كما نجدها في الصورة التالية فيتأثر النبات بالأطوال الموجية الزرقاء والبنفسجية أكثر من غيرها ولا يتأثر بالموجات الطويلة لألوان الطيف الأحمر والبرتقالي والأخضر وهناك صبغة ما في الأنسجة الحساسة تمتص هذه الموجات وهي غالبا صبغة البيتاكروتين ومن الممكن أن تكون الصبغة المستقبلية للإحساس بالضوء إحدى صبغات الريبوفلافين الذي يقترب طيف امتصاصه من الطيف الخاص بالبيتاكروتين



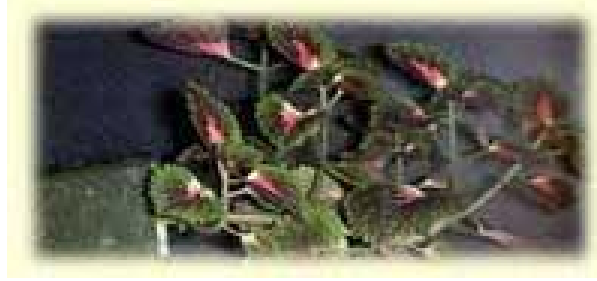
ولقد أثبتت التجارب أن هناك حدا من شدة الإضاءة لكي يستجيب النبات للانتحاء الضوئي فبمجرد تعرض النبات للقيمة الدنيا من شدة الإضاءة لبادرات الشوفان فأنها تنتحي ناحية مصدر الضوء وتكون درجة الانحناء متناسبة مع مقدار الإضاءة وذلك في حدود مجال ضيق من شدة الإضاءة ، غير انه إذا زادت كمية الضوء على ذلك فأن هذه العلاقة تتغير فتقل درجة الانحناء الى أن يحدث انحناء سالب ، وإذا زادت شدة الإضاءة أكثر تبدأ موجة أخرى من الانحناء .

جدول يوضح اختلاف نسب توزيع الأوكسين في كل من جانبي بادرات الشوفان نتيجة تعرضها للضوء من جانب واحد وتأثرها بالانحناء تبعا لشدة الإضاءة

النسبة المئوية لتوزيع الأوكسين		درجة الانحناء	كمية الإضاءة شمعة / م / ثانية
الجانب المظلل	الجانب المضئيء		
٥٠.١	٤٩.٩	صفر	صفر
٥٩	٤١	(٥ ١٠) +	٢٠
٧٤	٢٦	++	١٠٠
٦٨	٣٢	(٥ ٤٨) ++	١٠٠٠
٥١	٤٩	صفر	١٠٠٠٠

الانتحاء الأرضي

إذا وضع نبات أصبى في وضع أفقي بضعة أيام فإن السوق تبدأ في الانتحاء إلى أعلى بعيداً عن الجاذبية الأرضية أما قمم الجذور الابتدائية تتغير وضعها في الاتجاه المضاد أي إلى مركز الأرض .



ويمكن مشاهدة سلوك الجذور بسهولة أكبر في البذور النابتة وتفشل الجذور في الانتحاء إذا ثبتت البذور على حافة عجلة تدور في مستوى أفقي لإلغاء قوة الجاذبية الأرضية . يسمى اتجاه الجذور إلى مركز الأرض بالانتحاء الموجب Positive Geotropism وإذا كان عكس ذلك سمي الانتحاء الأرضي السلبي Geotropism Negative أما إذا كان نمو الجذور مائلاً دون تعامدها على الجاذبية فتعرف بالانتحاء الأرضي المائل Plagiogeotropic كما في الجذور الثانوية أما إذا كانت نامية أفقياً عرفت بالانتحاء الأفقي Diageotropic .

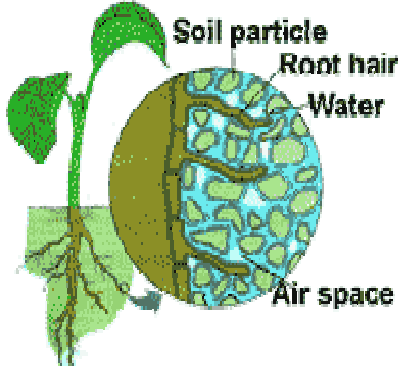


ويبدو أن الجاذبية الأرضية تشبه الضوء في تأثيرها على توزيع الأوكسين فتحدث الانتحاء إلى أعلى بتأثير الجاذبية الأرضية إنما ينتج من زيادة تركيزات الهرمون على الجانب السفلي للغلاف الورقي الأفقي الوضع . ويختفى هذا التأثير بعد ٤٠ دقيقة فقط ، أما عن تأثير الضوء على توزيع الأوكسين فإنه يزول المؤثر بعد ٦ ساعات (بعد استبعاد الضوء).

الانتحاء التلامسي :



هي حركات النمو التي تؤديها النباتات نتيجة ملامستها للأجسام بتأثيرات الانتحاء التلامسي مثل حركة نمو المحاليق و هي أعضاء رفيعة أسطوانية تمثل سوقاً و وريقات متحورة مثل ما توجد في العنب و البازلاء حيث تنتهي قمم المحاليق الحديثة نتيجة اختلاف معدلات النمو في الجانب الملامس للجسم الصلب عن الجزء المقابل والذي ينمو بمعدل اعلى مما يؤدي الي التفاف المحلاق حول الدعامه و نتيجة سرعة الالتفاف يصعب تفسير الانحناء ويعتقد إن الأمر يتعلق بضغط الامتلاء ثم بعد الالتفاف يبدأ تغليظ الجدر وثبات شكل الخلايا بعد تكون الجدر الثانوية فيتحول الحلاق الي جسم دعامي متين .



الانتحاء المائي :

هو انتحاء قمم الجذور النامية الي الاماكن ذات المحتوي المائي العالي . فتظهر الجذور على أنها باحثة عن الماء وهي الخاصية التي يتبعها البستاني الماهر في تربية مجموع جذرى قوى لنباتاته بأن يبعد في كل عدة ريات بين فترات الري أي يعرض الجذور الماصة لقليل من الجفاف مما يدفعها الى البحث عن الماء في طبقات التربة الأبعد والتي ما زالت محتفظة بالرطوبة الأرضية فوق مستوى الاستنزاف .

الحركات في النباتات أكلة الحشرات :

وهي الحركات التي تستخدمها النباتات أكلة الحشرات في اقتناص الحشرات ففي نبات خناق الذباب (ديونيا موسكيبولا) ينطبقان سطحى الورقة كفكي فخ إذا لمست الشعيرات الزنارية (تشبة الزناد) الموجودة علي سطح الورق لمسا خفيفا و قد تستغرق عملية الإغلاق اقل من ثانية . و يرجع ذلك الي وجود توترات نتيجة اختلافات في نمو السطحين العلوي و السفلي لنصل الورق غير ان تحرر التوترات بشكل مفاجئ غير معروف علي وجه الدقة .



مقاومة اللمس :

تتأثر النباتات باللمس وتختلف درجة الحساسية تبعا لنوع النبات فقد تكون الحساسية عالية في النبات صائد الحشرات حيث تصبح الاوراق بمثابة الفخاخ او قد يكون التويج في الزهرة هو الفخ . وفي حالة ملامسة الامطار وهجمات الرياح المتكررة للاشجار نجد ان جانبيها غير متماتلين نتيجة تعرض هما للمس الهواء او الماء فيؤدى التلامس الى تمدد الساق وتضخم نصف قطره ويصبح اكثر صلابه في الجزء المعرض للمس .

ويمثل رد الفعل عند التلامس انبعاث موجات كهربية عبر الغشاء الخلوى وتتدفق ايونات داخلية وخارجية لتعديل سيولة ونفاذية الغشاء على غرار ما يحدث في الخلايا العصبية في الانسان فيزيد دخول ايونات الكالسيوم لداخل الخلايا وتنشط بعض الجينات ، فقد وجد خمس جينات تتأثر وتنشط عن تعرض النبات للرياح او البرد او الاجهاد البيئي او الاصابة المرضية او الحشرية .



تسبب الظلمة أيضا إغلاقا للوريقات كما في نبات الحميض ونبات المستحية وكذلك بعض الأزهار كزهرة شب الليل التي تتفتح قبل المغيب وبعده ، وقد يشعر النبات بالدفء ولو لدرجة واحدة فتتفرج بتلاته كما في التبوليب . اما الزعفران فيتأثر بارتفاع درجة او دفء الجو وبدرجة قليلة للغاية تصل الى ٠.٢ درجة مئوية للغرض نفسه وقد وجد أن النباتات المتحملة للحرارة العالية تنتج بروتينات خاصة تسمى بروتينات الصدمة الحرارية لتحميها من التأثيرات السامة للحرارة العالية .

الحيل الدفاعية للنبات الحساس :

- * عند تعرض الجذور للنترات تنتج جذورا جانبية عرضية .
- * عند تعرض النبات للإصابة تقوم الخلايا بإرسال إشارات كهربائية بعيدة عن منطقة الهجوم لتحث الخلايا الأخرى على القيام بردود للأفعال على طول الخط الدفاعي .
- * بعض النباتات عندما تهاجمها الحشرات تقوم بإفراز ابر على الأوراق لتقلل من شهية الحشرات المهاجمة .
- * تنتج أشجار الزان مركبات مثبطة ضد الحشرات العسلية التي تتغذى عليها .
- * تدافع أشجار الصنوبر ضد الحشرات الحافرة للممرات داخل لحائها بإفراز الراتنج الصمغي المقاوم لانتشار الحشرات داخل الأنفاق .
- * تنتج بعض النباتات الفينول وقلويدات لمقاومة الغزاة .
- * عندما يتدفق لعاب ديدان الفراشات أكلة العشب تفرز بعض النباتات روائح خاصة تجذب الزنابير المتطفلة على يرقات هذه الديدان المهاجمة فتمنعها من مهاجمتها .

كل ما سبق يدل على قدرة النبات على الإحساس والحركة والتفاعل مع البيئة المحيطة به فسبحان من قدر وهى ومنحها تلك التقنيات ليسر لها العيش فسبحان الله الخالق العظيم الذى احسن كل شئ خلقه فهو احسن الخالقين .

الشيخوخة في النبات Senescence

مقدمة :

يلى طور النضج الثمرى طور الشيخوخة Ageing والذي ينتهى بنشاط بيو كيميائى ينتج عنه تحلل الأنسجة ثم الموت ، وهى مرحلة أخيرة فى مراحل تطور أى عضو نباتى وهى كآى تغير فسيولوجى يطرأ على النبات يبدأ بسلسلة من التغيرات والعمليات الغير رجعية والتي تقود فى النهاية الى الموت والتحلل . والشيخوخة مثلها مثل أى عملية فسيولوجية تنظمها أنزيمات متخصصة يتحكم فيها ميكانيكية وراثية تحدث إما تدريجيا او قد تحدث بمعدل سريع جدا لذلك فهى تختلف من نبات لآخر .

يعتبر البعض أن الشيخوخة لا تأتى فجائية أبدا حيث إنها تأتى نتيجة تراكم تغيرات ليست فى صالح الكائن الحى مثل الطفرات الغير مرغوبة ، وتغير نشاط الأغشية الخلوية وحدوث نسخ خاطئ فى انقسام الخلايا يتجمع مع تقدم العمر ، ثم انخفاض فى معدل العمليات الفسيولوجية البانية وزيادة العمليات الفسيولوجية الهادمة .

تختلف أيضا أعضاء النبات الواحد فى مواعيد شيخوختها فتختلف شيخوخة الجذور عن شيخوخة باقى النبات أما فى النباتات الحولية فالموت يكون شامل للنبات كله فى وقت واحد ، فى حيث نجد فى الأعشاب المعمرة والتي لها أعضاء تخزين مثل الأصيل والكورمات والريزومات فإن المجموع الخضرى هو الذى يصاب بالشيخوخة بعد تكون الأزهار والثمار الموسمى ثم تهاجر المواد الكربوهيدراتية والبروتينية بعد هدمها الى مواد بسيطة الى أماكن التخزين التى تزداد فى الحجم وتظل حية من أجل أن تعاود النشاط واعطاء مجموع خضري مرة أخرى للموسم التالي . لذلك نجد أن هناك ارتباط بين النمو التكاثرى والشيخوخة ففى النباتات العشبية ذات الحول الواحد حيث تشيخ الأوراق والسيقان أثناء نضج الثمار بينما تظل السوق والأوراق حية خضراء أثناء النضج فى النباتات المعمرة التى تزهر أكثر من مرة polycarpic ولكن يحدث أثناء نضج الثمار هدم للمركبات المعقدة فى الأوراق وانتقالها الى أماكن التخزين فى لبذور والثمار او السيقان ليبدأ بها الموسم الجديد من النشاط فى إنتاج النموات الخضرية والزهرية.



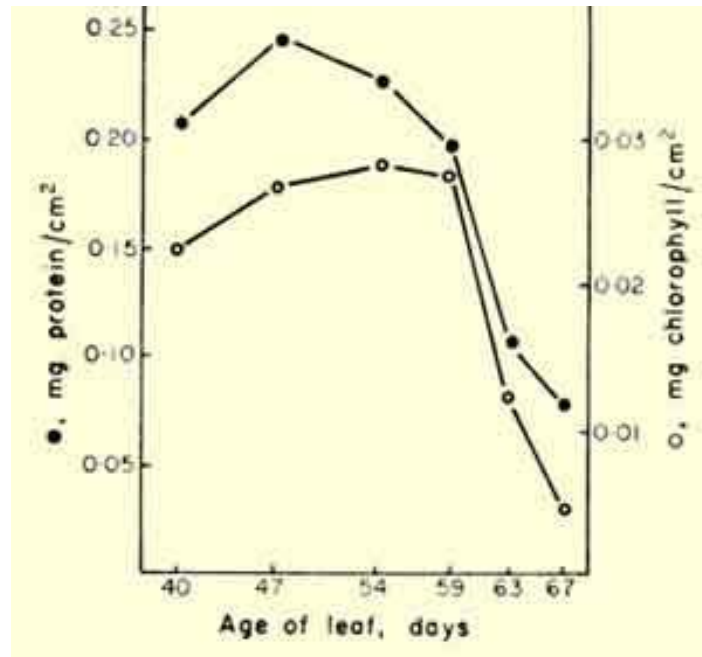
شكل يوضح تدرج دخول النبات فى الشيخوخة حيث تبدأ الشيخوخة فى الأوراق الناضجة ثم تصل الى شيخوخة كل الأوراق ثم يتبعها شيخوخة الأفرع ثم النبات ككل .

أهم مظاهر الشيخوخة :

اصفرار الأوراق وتكسر الكلوروفيل مما يزيد من ظهور الصبغات الأخرى مثل الزانثوفيل والكاروتينات فتظهر الأوراق بألوان أخرى غير الأخضر مثل الأصفر والبرتقالي والأحمر .



من علامات الشيخوخة أيضا اختفاء الريبوزومات وتكسر الشبكة الاندوبلازمية وتهدم البلاستيدات فقد أشار Vicentini وآخرون سنة ١٩٩٥ الى إن الهدم يتم عن طريق إزالة طرف جزئ الفيتول باستخدام أنزيم **chlorophyllase** ثم إزالة ذرة الماغنسيوم بواسطة إنزيم **Mg-dechelatase** ثم تفتح حلقة البروفرين بواسطة أنزيم **dioxgenase** مع تدفق البروتين المرتبط والمتبقي من هدم الكلوروفيل ليذهب مع باقي المكونات الى الفجوات العصارية من اجل عمليات هدم مستقبلية كما يحدث اختفاء للميتاكوندريا . ثم هدم البروتينات ونقص محتوى الأوراق من الأحماض النووية الريبوزية وزيادة التنفس وبالتالي هدم الكربوهيدرات ويصاحب تحلل البروتين زيادة مستوى الاميدات والامونيا بدليل استخدام الأحماض الأمينية في التنفس بعد نزع مجموعات الأمين وتحولها الى امونيا واستخدام الأحماض العضوية الكيتونية في الأكسدة في دورة الأحماض الثلاثية.



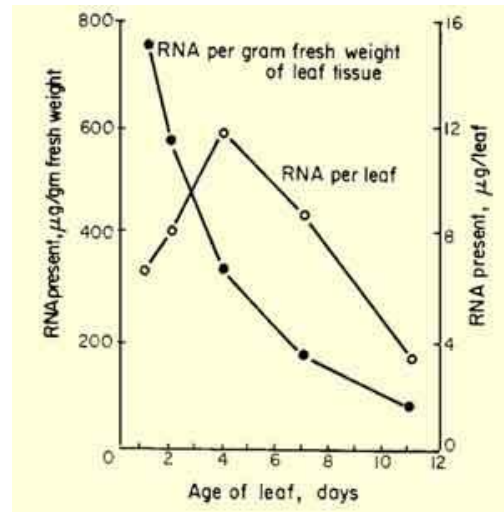
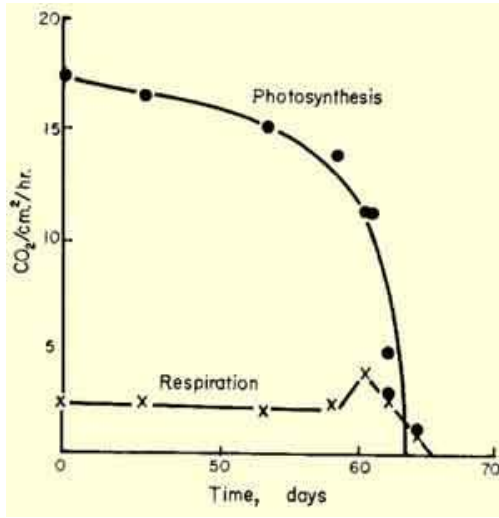
شكل يوضح انخفاض الكلوروفيل والبروتين مع تقدم الورقة في العمر

من علامات الشيخوخة على التركيب الداخلي للخلايا هو انحلال الغشاء البلازمي الداخلي **Tonoplast** للفجوات العصارية و إبطال دور الفجوة وتدفع الأنزيمات المحللة يصاحب شيخوخة الأوراق ارتفاع مستوى حمض الابسيسيك والذي يصاحب ذلك إغلاق الثغور وخروج أيونات الكالسيوم من الخلايا الحارسة .

ميكانيكية النضج والشيخوخة :

تعتمد ميكانيكية الشيخوخة أولاً على التنفس حيث أنه مصدر للطاقة اللازمة لأتمام التفاعلات الحيوية ثم بناء أنظمة أنزيمية جديدة التي تعمل على إحداث التغيرات اللازمة للنضج والشيخوخة ثم تكسر الخلايا وتحللها وموتها .

أما دور الهرمونات يكون على التأثير على تخليق الجديد من الرنا RNA تحت تأثير نظرية الهستون و التي تفترض أن البروتين الهستوني ينظم فعلها في كل مرحلة من كل المراحل ابتداءً من المراحل الجنينية حتى الموت فالمادة الوراثية DNA المسنولة عن إنتاج RNA تثبط باتحادها مع البروتين الهستوني وتنشط عن تحررها منه ويقع التنشيط والتثبيط تحت تأثير توازن هرموني وهذا التوازن يقع تحت تأثير توازن حيوي يخضع لتوازن بيني



شكل يوضح انخفاض الأحماض النووية من نوع RNA يتقدم الورقة وبداية الشيخوخة
شكل يوضح انخفاض التمثيل الضوئي وارتفاع التنفس مع تقدم عمر الورقة وبداية الشيخوخة

تنظيم الهرمونات للشيخوخة :

الأوكسين والشيخوخة :

يعمل الأوكسين على تأخير الشيخوخة من خلال زيادة معدل اتحاد أو ارتباط القواعد النيتروجينية ثلاثية الفوسفات ATP بالأحماض الأمينية أثناء ترجمة mRNA وبالتالي زيادة المنتج منه وقد وجد أنه يزيد من ارتباط الأحماض العطرية الأمينية خاصة Aromatic amino acids في البروتين وبالتالي زيادة المحتوى البروتيني وهو عكس عملية الهدم أثناء الشيخوخة

يصاب شيخوخة الخلايا سواء في الثمار والأوراق والبتلات نقص في معدل الأوكسين الطبيعي فالأوكسين يحافظ على طفولة الخلايا ولقد وجد أن المعاملة بنفثالين حمض الخليك NAA يعيق ليونة الثمار ويعمل على زيادة الأحماض الفوسفاتية . وبالرغم من أن الأكسينات تنبه إنتاج الاثيلين لكنها تعيق النضج وان التأثير المثبط على النضج يفوق إي تأثير ناتج الاثيلين وعندما تبدأ الثمار في النضج والشيخوخة فلأن الاثيلين ينشط الأنزيمات الهادة والتي تؤدي الى خفض مستواه

الجبرلين والشيخوخة :

يؤخر الجبرلين من طور الشيخوخة وذلك بتأثيره على تنشيط عمليات بناء mRNA والبروتين كما يعيد اخضرار الثمار الناضجة والمتجهة الى الشيخوخة كما يعوق هدم الكلوروفيل ويعوق ليونة الثمار وتراكم الكاروتينات كما وجد أن له علاقة بزيادة استهلاك الأكسجين وارتفاع مستوى الفوسفات . كما أدت المعاملة به الى تأخير شيخوخة المشمش عندما رش بتركيز ١٠ - ١٠٠ جزء في المليون قبل الجمع

ولقد لوحظ زيادة مستوى ABA عند التقدم نحو الشيخوخة يعقبة نقص مستوى GA ، ولقد ذكر أن هناك تأثيرا مثيرا للجبرلين على الشيخوخة في أوراق الخيار وهو تأثير يرتبط بالقدرة على التكوين الشكل اللولبي لل DNA ثنائي الخيط loop forming DNA وانه في وجود حمض الجبرلين يظهر اثر عكسي فقد احتفظت الخلايا بقدرتها على تكوين الشكل اللولبي او الحلقي نتيجة اتصال GA ب DNA عند موقع خيوط DNA وحيدة الخيط وان أهمية ذلك غير معروفة الآن

السيوتوكينين و الشيخوخة :

أشارت الدراسات أن للسيوتوكينين دور في المحافظة على عدم هدم البروتين بل يزيد من معدل بناءها وقد استعمل السيوتوكينين لتأخير شيخوخة ثمار الفراولة وكذلك أدت المعاملة به الى تحمل المحاصيل الورقية للتخزين دون تدهور كما في السبانخ والاسبرجس ، كما أعاققت المعاملة به من التغير في اللون في ثمار البرتقال الخضراء ويعتقد أن السيوتوكينين يعمل من خلال المحافظة على مستوى الجبرلين الداخلي أو إعاقه الزيادة في ABA like compounds

اكتشف أهمية السيوتوكينين في تأخير الشيخوخة والحفاظ على الكلوروفيل ١٩٥٧ فهو من خلال تثبيط أنزيم RNA ase وتثبيط عمليات التحلل وتشجيع نشاط أنزيم aminoacyl-s-RNA وهو ما يفسر قلة كمية الأحماض الأمينية في الأنسجة المعاملة بالكينيتين بالمقارنة بالغير معاملة كما ينظم من عمليات إنتاج الطاقة وذلك بزيادة محتوى الأوراق من الجلوكوز فوسفات والادينوسين فوسفات عن طريق نشاط أنزيم الانفرتيز invertase كما تشجع transformation من الليبيدات الى سكريات . كما وجد أن للكينيتين دورا على تحول حمض الابسيسيك من الصورة الحرة الى الصورة المرتبطة الغير نشطة . كما لوحظ أن السيوتوكينين يقلل من تنفس الأوراق الزائد عند بداية شيخوختها وذلك بإيقاف سريان تدفق الإلكترونات داخل الميتوكوندريا وبذلك يقل تأكسد المركبات السكرية والذي من شأنه تأخير عمليات الهدم . كما يساعد السيوتوكينين على توفر المواد الايضية وكثير من المركبات وفيها الأوكسين من خلال ميكانيكية source relation ship / sink / والتي تجذب المركبات من خارج الورقة الى حيث مكان احتفاظ الأجزاء المعاملة والمحتوية على تركيز عالي من السيوتوكينين بحيوته لفترة أطول . فقد وجد أن الفوسفور ينتقل الى الأماكن الذي يرتفع فيها هرمون السيوتوكينين خلال اللحاء دون الارتباط بحركة الماء في الخشب

الاثيلين والشيخوخة:

يلعب دور في تنظيم عمليات تساقط الأزهار والثمار والأوراق عند نضج الثمار وشيخوخة الأوراق فالمعاملة به تؤدي الى غلق الأزهار التي على وشك التفتح وان تفتحت فان ألوانها تبهت وتسقطت ويساعد الاثيلين على شيخوخة الأوراق من خلال منعه انتقال الأوكسين من نصل الورقة الى قاعدتها فينتج التدرج الاوكسيني في منطقة الانفصال وتتكون منطقة الانفصال كما يزيد من نشاط IAA oxidase فيقل مستوى الأوكسين الطبيعي ويزيد من نشاط أنزيم السليوليز في منطقة التساقط والذي يعمل على تحلل جدر الخلايا في منطقة الانفصال مما يؤدي الى انفصال العضو مثل انفصال الورقة عن الساق . يزيد أيضا الاثيلين من نشاط أنزيم chlorophyllase لذلك ينهدم الكلوروفيل وتصفّر الأوراق عند بداية شيخوختها

حمض الابسيسك :

يزداد مستوى حمض الابسيسك مع تقدم الأوراق في العمر وبداية تحولها الى طور الشيخوخة ويقل تركيز الجبرلين ويرتبط ما هو موجود بالورقة ليكون جلوكوزيدات غير نشطة للجبرلين

مثبطات النمو الأخرى :

أدت المعاملة بال B9 الى تأخير حدوث ذروة التنفس في التفاح وبالتالي زادت مقدرة الثمرة على التخزين والتداول

حمض الجاسمونك عرف مؤخرا أن حمض الجاسمونك والاستر الجاسموني مع الميثيل Methyl Jasmonic acid (MJA) وهما من مشتقات حمض اللينولينك بأنه من مؤخرات النمو أو أحد الهرمونات المؤدية للشيخوخة حيث انه يقلل من مستوى التعبير الجيني إلا ان اعتباره هرمون شيخوخة قابل اعتراض حيث وجد بتركيزات عالية في منطقتي النمو والمرستيمات الورقية الصغيرة، إلا ان المؤيدين يرونه كذلك حيث إنه يزداد انتقاله من الأوراق الى السيقان الأرضية Stolen لنبات البطاطس مما يدفعها لتكوين الدرنات والتخزين وهو مظهر من مظاهر بداية الشيخوخة حيث يتبع تكون الدرنات وانتهاء التخزين الكربوهيدراتي بها بداية شيخوخة المجموع الخضري (العرش)

يصاحب الشيخوخة نقص شديد في الكربوهيدرات نتيجة زيادة التنفس ونتيجة نقص المدد منة نتيجة تكسير الكلوروفيل ونقص البناء الضوئي عند إذن تعتمد الخلايا في تنفسها على البروتينات بعض تحليلها الى أحماض

أمينية ثم تهدم الأحماض الأمينية فينفرد الامونيا وتستخدم الأحماض الكيتونية كوقد للتنفس يعقبها استخدام الدهون عن طريق استخدام جزيئات الدهون الموجودة بالأغشية السيتوبلازمية مما يؤثر على تلك الأغشية فتفقد دورها في تنظيم المرور ولذلك يستخدم جزء من جزيئات الدهن وهو حمض اللينوليك في التحول الى الجاسمونك بمساعدة أنزيم phospholipidase acyl hydroxylase كما أن MJA يعمل على تثبيط بناء البروتين الداخلى فى بناء البلاستيدات بعض هدمها ، كذلك شجعت المعاملة به من الخارج من هدم الكلوروفيل والبروتين وأكسدة الليبيدات

لشيخوخة والاجهاد :

الجهاد المائي أو الجفاف Water Stress

عند تعرض الأوراق لنقص الماء (الإجهاد المائي) يتبعه نقص البروتين والأحماض النووية والكلوروفيل ثم زيادة مستوى ABA ونقص نشاط GA ويتأثر ذلك بدرجة الحرارة فأنخفاض درجة الحرارة يعطل ذلك التغير فى المستوى الهرمونى وارتفاع درجة الحرارة يسرع منه وهذا من شأنه إسرار شيخوخة الأوراق ويؤدى الإجهاد المائي الى انخفاض الضغط الانتفاخي لخلايا الأوراق وإيقاف الانقسام الخلوي لتراخي الجدر الخلوية ، كما يؤدى ألأجهاد المائي الى نقص نشاط إنزيم reductase glutamine synthetase nitrate

الإجهاد الملحي Salinity stress

تسرع الملوحة من دخول الأوراق الى مرحلة الشيخوخة ويزاد فيها مستوى ABA وقد لوحظ فيها أيضا نقص مستوى السيتوكينين حيث تؤثر الملوحة على نشاط أنزيم mailc dehydragenase وهو ما يؤثر على نشاط المركبات الوسيطة لدورة السترات .

الشيخوخة والامونيوم

هناك علاقة بين تمثيل الأمونيوم ammonium assimilation والشيخوخة حيث يتراكم الأمونيوم فى الأوراق أثناء تقدم عمر الورقة وشيخوختها وذلك راجع لنقص إنزيم glutamine synthetase وزيادة معدل اختزال النترات وقد فسر ذلك أو تشجيع الأمونيوم للشيخوخة على انه ربما يرجع الى انه ربما يرجع الى انه يعمل كحاجز لمنع تدفق أيون الكالسيوم الى السيتوبلازم وكذلك يتراكم الامونيا عن طريق نزع مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية وهدم الأحماض النووية وتحولها الى جلوتامين .

الكالسيوم والشيخوخة :

وجد عند توفر الكالسيوم فى أنسجة الثمار يتكون ذلك من شأنه تأخير نضج الثمرة وانخفاض معدل تنفسها وقلة إنتاج الاثيلين وبالتالي تأخر ليونة الثمار وشيخوختها . وقد أدت المعاملة به الى تأخير هدم الكلوروفيل وتأخير تراكم البيروكسيديز ، وان تلف الأغشية أثناء الشيخوخة مرتبط بعمليات هموم الفوسفوليبيدات الذى يشجعها وجود الكالسيوم .

الشيخوخة والأجسام الدقيقة بالخلية :

الأجسام الدقيقة bodies micro هي جسيمات صغيرة توجد فى سيتوبلازم الخلايا ذات أقطار صغيرة (٢-١.٥ ميكرون) ذات غشاء فردى تختلف عن البلاستيدات والميتوكوندريا فى عدم احتوائها على تراكيب داخلية . وعادة تكون مرتبطة بالشبكة الاندوبلازمية وهى ثلاث أنواع هى البيروكسوزوم Peroxisome يوجد قريب من البلاستيدات الخضراء يتم فيه تمثيل الجليكولات glycolate المنتج فى البلاستيدات (من خلال عملية التنفس الضوئى فى النباتات ثلاثية ورباعية الكربون) والجليكسوزوم Glyoxysomes التى تتواجد فى أنسجة البذور الزيتية حيث يمثل فيها الدهون الى كربوهيدرات أثناء الإنبات (بذور فروع) والاسفيروزم Spherosome وتحتوى على أنزيمات التحلل مثل Esterase ،Hydrolase ،Phosphatase ،Rilonuclease ، Protease

التنفس الضوئى فى البيروكسوزوم يسحب ناتج التمثيل الضوئى لأكسدته ضوئيا لذلك يعد خسارة دون الحصول على مكسب ، ثم تخليق المادة الكربوهيدراتية سواء للتخزين أو للاستخدام فى التنفس لانتاج الطاقة أو فى بناء المركبات الأخرى ومن الجدير بالذكر انه عند الشيخوخة يزداد التنفس الضوئى داخل البيروكسوزوم الى الدرجة التى تهدم معظم الكربوهيدرات المنتجة بالتمثيل الضوئى كما أن عمليات الهدم يدخل من ضمنها عمليات الانتقال وإعادة التوزيع remobilization للمركبات الناتجة من الهدم ويمثلها انتقال الاميدات كالجلوتامين والاسبرجين والأحماض الأمينية والسكريوز من الأماكن التى وصلت فيها الأعضاء الى الشيخوخة الى الأماكن الأخرى حيث تخرج الأعضاء الحديثة أو الأزهار أو الثمار

يبدو أن عمليات الهدم لا تحدث إلا فى حالة توفر الشوارد الحرة Free radicals والتى تقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات الهاضمة فتقوم بهدم المركبات الأساسية فى الخلية بالإضافة الى أكسدة الكلوروفيل . كذلك

توفر الأكسجين النشط (H_2O_2 hydrogen peroxide) الناتج عن الإجهاد البيئي يكون هو الفاعل الأول في عمليات الهدم ولكن تسير بجانب عمليات الهدم السابق ذكرها عمليات أخرى تثبط الشيخوخة وتؤخر من الوصول للموت لتبقى الخلايا المسنة حية الى أقصى مدى ، من هذه الميكانيكيات المقترحة قيام بعض الجينات بإنتاج بروتينات تعمل على مجابهة تراكم الشوارد الحرة بالارتباط بها ، وكذلك إبطال سمية detoxify فوق أكسيد الهيدروجين الناتج من التنفس الضوئي بواسطة تلك البروتينات أو الأنزيمات مثل أنزيم Catalase

العوامل المؤثرة على الشيخوخة :

أثناء مراحل تطور النبات ووصول النبات الى مرحلة بداية الشيخوخة يؤدي اي عامل من عوامل الإجهاد البيئي الى الإسراع من الشيخوخة مثل الإجهاد الحرارى أو الجفاف أو الإضاءة الضعيفة أو نقص التغذية أو الأصالة المرضية والحشرية الهرمونات النباتية الداخلية التى تساعد على التطور الثمرى تساعد أيضا على بداية الشيخوخة مثل السيتوكينين و الاثيلين وبعض المركبات التى تنتمى الى الهرمونات مثل حمض الجاسمونك وعلى ما يبدو إن التحكم الذى يديه السيتوكينين على الشيخوخة يكون على مستوى عملية النسخ بحيث يثبط كل التغيرات الجينية التى لها علاقة بالشيخوخة . أما الاثيلين فيمثل استجابة النبات الى العوامل الخارجية مثل الجروح والمسببات المرضية والتلوث والإجهاد البيئي حيث ينتج عنها جميعا ارتفاع محتواة ثم يسرع هو من التعبير الجينى للأنزيمات التى تعمل على شيخوخة الخلايا او الإنضاج فى الثمار فتجد فى على العكس من ذلك نجد تتميز نباتات الطماطم بإنتاج الاثيلين بمستوى عالى ورغم ذلك لا يحدث شيخوخة للأزهار ولا للثمار والأوراق وذلك لتضاعل الإشارات الأخرى الواردة لإحداث الشيخوخة هذا يدفعنا الى الاعتقاد بأن دور الاثيلين ربما لا يقوم به الى بعد ورود الإشارات الأخرى للشيخوخة والتى منها نقص معدل تثبيث الكربون فى الأوراق أو زيادة حساسية الأوراق للتأثيرات الخارجية وذلك بعد تنشيط جينات فرط الحساسية Hypersensitive response مثل جين LSC54 والذي يكون من تأثيره نشاط الخلايا الزائد لردود الأفعال ضد العدوى بالمرض والتى تؤدي الى قتل الخلايا المصابة لنفسها وللخلايا المحيطة لوقف تقدم المرض فتكون المقاومة بحصر مكان الإصابة نتيجة فرط الحساسية للإصابة بالموت.

نظريات الشيخوخة :

المحاولة الوحيدة لاعطاء تفسير لحدوث الشيخوخة فى النبات أجريت بواسطة العالم (Molisch 1938) علي أساس تجاربه التى عدل فيها من حدوث الشيخوخة بإزالة الأزهار والثمار وقد اقترح بأن أنشطة الإكثار فى النبات وخاصة نمو وامتلاء الثمار بالمواد الغذائية الذي يؤدي الى تغريغ بقية النبات من المواد الغذائية والتي تحدث من انتقالها للثمار وهذا الافتراض أثبتته الدراسات التى أجريت علي انتقال المواد الغذائية للثمار التى قام بها كل من (Mothes 1931) وبعده (Petrie 1940) علي تتبع المواد النتروجينية فى نبات الدخان فى مختلف أجزاء النبات خلال نموه . فقد لاحظوا انه يمكن تقليل انتقال المواد النتروجينية من أوراق نبات الدخان الى الثمار بواسطة التطويع. وقد تبين لهم أن نمو النورات الزهرية سببت نقص المواد البروتينية فى أجزاء النبات خاصة الأوراق ووجد كذلك أن قطع النورات الزهرية أوقفت لحد كبير فقد الأوراق للمواد البروتينية. كما أثبتت القدرة الهائلة للأعضاء التكاثرية لجذب المواد الغذائية من بقية أجزاء النبات إليها ، كما أظهرت التجارب أن تنبيه حدوث الشيخوخة يزداد تدريجياً خلال فترة التكاثر من أولها لأخرها. فقد أظهرت تجارب علي فول الصويا أن تأثير منبه الشيخوخة يزداد حتي فى فترة الأزهار وقبل أن تتكون أي ثمار وتمتلئ بالمواد الغذائية. وان هذا التأثير يكون فى اعلي مراحلها خلال فترة النضج الثمرى وبعد اكتمال انتقال المواد الغذائية إليها. وجد (Varner 1961) انه بزيادة العمر يمكن أن يحدث تغيرات جوهرية فى تركيب الأغشية البلازمية الحية فمن دراسة التغيرات فى الخلايا خلال تساقط الأوراق أدت الي استنتاج ان تدهور الأغشية الحية يمكن أن تكون السبب فى تدهور الخلايا كلها فقد وجد Leopold Das and أن هناك زيادة فى نفاذية أنسجة أوراق الفول كلما اقتربت من الشيخوخة وقد بينت نتائجهم انه لا يحدث زيادة فى فقد العناصر فقط من الأوراق بزيادة العمر ولكن وجد أن تطويع النبات يؤخر شيخوخة الأوراق ويوقف أيضا زيادة نفاذية الخلايا وبزيادة العمر تزداد نفاذية الأوراق حيث تزداد درجة التوصيل الكهربى للمحاصيل عند تطويع النبات بعد 9 أيام قد يكون التدهور فى النظام الحيوى للخلايا والأنسجة والأعضاء عند الشيخوخة نتيجة لزيادة المسببات للتدهور مثل زيادة أنزيم RNA ase أو لاضعاف أنشطة بناء RNA والبروتين أو الكلوروفيل فإن ارتباط تدهور الكلوروفيل مع تدهور البروتين وRNA يؤكد إن تنظيم أو التحكم فى الشيخوخة أحد وظائف لـRNA. تأثير انتقال العناصر effect Mobilization أصبح الأكثر أهمية عند دراسة ظاهرة الشيخوخة وذلك عندما لاحظ Richmand and Lang أن الكينيتين عند معاملة الأوراق به يؤخر حدوث الشيخوخة فيها ، بعد ذلك لاحظ العالم (Mothes 1959) أن نفس المادة يمكن أن تكون مناطق جذب لانتقال العناصر المغذية إليها من

الأنسجة المحيط الى الأوراق عند معاملتها مثل جذب الكربوهيدرات والأحماض الأمينية ومختلف أيونات العناصر الغذائية وبذلك تحتفظ الأوراق المعاملة بأخضرارها وبمحتواها من البروتين عن الأوراق الغير معاملة والتي تدخل في طور الشيخوخة أسرع منها. مما يثبت إن الكينيتين يؤخر حدوث الشيخوخة عن طريق قدرته على جذب وانتقال العناصر الغذائية .

الجفاف

مقدمة :

يقصد بالجفاف نقص ماء التربة الميسور الذي يؤدي إلى نقص كمية الماء الداخلي للنبات بدرجة تقلل من نموه . وبالرغم من أن ضرر الجفاف يسببه أساسا نقص ماء التربة إلا أن الضرر يزداد بالعوامل الجوية المختلفة مثل درجة الحرارة المرتفعة والرطوبة المنخفضة والرياح التي تزيد من سرعة النتج التي تعجل بدورها من حدوث نقص الماء الداخلي .

وهناك نوع آخر من الجفاف هو الجفاف الفسيولوجي **Physiological Drought** ينتج فيها نقص ماء النبات الناتج عن برودة التربة أو ارتفاع الضغط الاسموزي للمحلول او حدوث الغرق وقلة امتصاص الأوكسجين اللازم للتنفس والامتصاص فيقل بذلك امتصاص الماء رغم توفرة في التربة حيث يعانى النبات الجفاف لعدم قدرته على امتصاصه.

وقد وضعت عدة تفسيرات لتحمل ومقاومة النبات للجفاف نورد منها الآتي :

١ - سرعة فقد الماء في تلك الأنواع تكون منخفضة لقلة الماء المفقود بالنتج ولكن هذا الرأي انتقد حيث أن كثير من النباتات التي تتحمل الجفاف تنتج بسرعة إذا ما زودت بالماء وبذلك يبدو أن انخفاض سرعة فقد الماء في تلك الأنواع يعزي أساسا لنقص كمية الماء الموجودة أصلا والميسورة للنبات .
اتجه الرأي الى أن العامل الأساسي في مقاومة الجفاف هو مقدرة البروتوبلازم علي تحمل الجفاف وليس الصفات التركيبية التي تقلل من فقد الماء ويوجد اتجاه لقبول الرأي بأن سبب مقاومة الجفاف يرجع لعدة عوامل منها تلك العوامل التي تؤجل جفاف البروتوبلازم بالإضافة إلى تلك العوامل التي تزيد من قدرته علي تحمل الجفاف .

يحدث الجفاف في كل حالات المناخ فتسبب فترة قصيرة غير ممطرة في المناطق الرطبة اثر فترة طويلة في مناخ شبه جاف ولا يتسبب الجفاف عن قلة المطر فحسب فقد تسبب الحرارة المرتفعة جفاف المناخ بسبب حاجة النبات بدرجة كبيرة الى الماء لذلك تعمل الطرق الإحصائية المستعملة لكفاءة المطر في انواع المناخ المختلفة كأساس لقياس جفاف الجو .

أنواع ودرجات المقاومة للجفاف

يمكن تقسيم انواع ودرجات المقاومة للجفاف الي ما يأتي :-

١ - بعض النباتات لا تتحمل الجفاف وتتأثر بسرعة او تموت بمجرد نقص الماء وذلك لأنها سريعة الجفاف مثل نباتات الظل .

٢ - نباتات كالصبار وغيرها من النباتات العصارية تحتزن كميات كبيرة من الماء وفي نفس الوقت يفقد منها الماء ببطء لصغر سطحها الى حجمها وسمك الكيوتين وقلة الثغور فتكون مقاومتها للجفاف عالية.

٣ - نباتات تتحمل الجفاف لان بروتوبلازم خلاياها يمكن تجفيفه بدون حدوث ضرر مستديم مثل الحزازيات وبعض النباتات البذرية .

٤ - نباتات ذات مقدرة معتدلة او محدودة لمقاومة الجفاف مصحوبة بميزات تركيبية تقلل من سرعة فقد

الماء حيث تزيد الماء الممتص وبذلك تؤجل حدوث نقص حرج في الماء الداخلي وتضم هذه المجموعة معظم المحاصيل .

التوازن المائي في النباتات : plants Water balance in

من المعتقد أن النباتات البدائية قد نتجت في البحار حيث لا يوجد نتح ولا ذبول ولا جفاف وحدثت الملانمات التي تيسر التوازن بين الفقد وامتصاص الماء في اتجاهين :

أ - تكوين الأغشية غير المنفذة حيث يعيق السوبرين والكيوتين فقد الماء من سطح الورقة كما يمنع تبادل الغازات ولكن أمكن التغلب على هذه الصعوبة عن طريق الثغور والعديسات.

ب - توفر الجذور ذات القدرة الفائقة على سحب الماء .

- لا يجب أن ينظر لوظيفة الثغور على أنها تعمل على فقد الماء ولكن هذا الفقد أمر لا بد منه عند نتحها لتسمح بتبادل الغازات $CO_2 + 2O_2$ للنتح فائدة أخرى فهو يرفع معدل صعود المواد الغذائية المعدنية لأجزاء النبات ولكن إذا حدث النتح بدرجة أعلى اللازم كان أثره سينا على النبات فتفقد الخلايا ضغطها لابتدائي وتتعمل الوظائف المعتادة للبروتوبلازم .

- قد تسبب زيادة النتح بدرجة كبيرة تجفيف البروتوبلازم لأقل من الحد الأدنى الذي يسمح ببقائه حيا ويتغير معدل النتح بتغير القوة التبخرية للهواء التي يحدها نقص تشبع الهواء ودرجة تشبع انسجة الورقة بالماء التي تؤثر على فتح الثغر وقدرة غرويات البروتوبلازم على إعطاء الماء واستجابة الخلايا الحارسة للضوء الذي يعمل على فتح الثغور وزيادة نفاذية البروتوبلازم

- تعرف النسبة بين امتصاص الماء بواسطة الجذور وفقده من خلال المجموع الخضري (بالتوازن المائي للنبات) وتوجد مظاهر خارجية وأخرى داخلية للتوازن المائي بالنبات والمظاهر الخارجية هي كمية الماء المتاح للأعضاء الماصة والعوامل التي تساعد على زيادة النتح وينخفض المحتوى المائي لدرجة قد تصل الى 40% من الوزن الرطب في بعض النباتات في المناطق الجافة ويحدث عكس ذلك في الليل فينعكس اتجاه توازن الماء لدرجة قد تصل به الى الإدماج .

- يظهر أن تركيب النباتات يتأثر بظروف التوازن المائي أثناء نموها أكثر من تأثيرها بأي عامل آخر للبيئة وتتميز النباتات النامية تحت ظروف غير ملائمة للتوازن المائي بالخصائص الآتية :

مظاهر تركيبية

- أ - اختزال حجم المجموع الخضري .
- ب - زيادة حجم المجموع الجذري .
- ج - صغر حجم خلايا الأوراق وصغر مساحة النصل وصغر حجم الثغور وزيادة عدد الشعيرات في وحدة المساحة .
- د - سمك الأدمة وجدر الخلايا وزيادة كمية الليبيدات على الأسطح .
- هـ - تكون جيد للنسيج العمادى وضعف تكوين النسيج الإسفنجي .
- و- صغر المسافات البينية.
- ز- صغر نسيج الخشب وزيادة نسبة الأنسجة الملجننة.

مظاهر وظيفية

- ١ - معدل سريع للنتح لوحدة المساحة رغم قلة النتح .
 - ٢ - معدل سريع للبناء الضوئي بالنسبة لوحدة المساحة .
 - ٣ - نسبة قليلة للنشا : السكر
 - ٤ - ضغط أسموزي مرتفع
 - ٥ - لزوجة منخفضة البروتوبلازم
 - ٦ - ارتفاع نفاذية البروتوبلازم
 - ٧ - زيادة نسبة الماء الموجودة بوحدة الوزن الجافة للأنسجة
 - ٨ - أزهار واثمار مبكر
- تحسين التوازن المائي للنباتات المنزرعة
من الممكن تحسين التوازن المائي للنباتات المنزرعة بالطرق الآتية
- ١- زيادة الماء بالري وتقليل معدل البخر بإضافة القش أو الملش بالبولى اثيلين وعمل مصدات الرياح أو تقليل مساحة الأوراق بالتقليم أو إضافة مادة دهنية شمعية لتقليل النتح.

٢- زيادة مقاومة النباتات للجفاف بتربية سلالات مقاومة للجفاف وزيادة المدة الزمنية بين فترات الري لتكوين الجذور العميقة الباحثة عن الماء فينتج عن تلك المعاملات في البروتوبلازم تزيد من مقاومته للجفاف.

مقاومة الجفاف resistance Drought :

من الأهمية بمكان دراسة مدي مقاومة الأنواع المختلفة بل والأصناف المختلفة من النباتات المنزرعة وخاصة عند الزراعة في المناطق الجافة أو التي تتعرض من فترة إلى أخرى لظروف الجفاف حيث يتوقف علي مدي مقاومة الصنف المنزرع للجفاف مدي نجاح زراعته في هذه المناطق والتي يطلق عليها مناطق جافة Arid Zones أو مناطق نصف جافة Semiarid Zones وإصطلاح مقاومة الجفاف يمكن أن تطلق للإشارة إلى المعاني المختلفة والتي يتعرض لها النبات لفترات من نقص الماء أو إلى الإجهاد المائي Water Stress في البيئة المحيطة به.

بصفة أساسية فإن النباتات المقاومة للجفاف هي النباتات التي تكون قادرة علي الحياة أي البقاء حية أما لان البروتوبلازم فيها قادرة علي احتمال انتزاع الماء منه Dehydration دون حدوث ضرر دائم له أو لان له تركيب خاص أو أن من صفاته الفسيولوجية تجنب أو تحتمل ذلك المستوي المميت من نقص الماء أو فقده Water Stress .

وقد أشار Parker . 1968 الى العوامل المختلفة التي تعمل علي مقاومة النبات للجفاف ومنها:-

أ- تحمل البروتوبلازم للتجفيف Desiccation Tolerance :-

كما هو الحال في الكثير من الطحالب والاشن وحتى بعض النباتات البذرية فإن البروتوبلازم فيها يمكنه أن يظل حيا عند نزع الماء منه Dehydration ويمكن أن نلاحظ ذلك بسهولة في الكثير من الأعشاب والشجيرات التي تنمو في المناطق الجافة . ويلاحظ انه بالنسبة لهذه النباتات أن الصفات الخاصة بمقاومة النبات تحتل المكانة الأولى ، تعتبر أكثر أهمية من كمية المحصول . ومن أمثلة النباتات ويعتبر من احسن الأمثلة في هذا الشأن الزيتون . حيث يمكنه أن ينمو حيث يكون الجفاف علي اشده ولا تناسب البيئة أي نوع آخر من الأشجار . وقد وجد أن من صفاته أن أوراقه تقاوم نزع الماء منها بشدة ، كما أن أوراقه مغطاة بطبقة سميكة من الكوتين وكذلك مغطاة بطبقة من الزغب كما انها جلدية وصغيرة . ويعتبر هذا النبات من اقدر النباتات علي المعيشة في ظروف الجفاف

ب- تجنب الجفاف أو تأخير حدوثه :-

ولذلك أهمية اقل في تحمل الجفاف ، ويوجد ذلك في معظم النباتات الـ Mesophytes وقد يرجع ذلك إلى بعض الصفات المورفولوجية والفسيولوجية ، والتي ينتج عنها تجنب حدوث نقص الماء Water Stress وذلك يكون بطرق كثيرة منها ج-تعديل موسم النمو:-

وذلك كما في حالة الكثير من الحوليات التي تنمو وتزهر خلال اسابيع قليلة ، فبعد نزول الأمطار علي سطح التربة لا يلبث النبات أن ينمو ويكتمل نموه ويزهر ويكمل حياته قبل أن يحدث النقص الشديد في الماء Water Stress وبذلك أمكن للنبات أن يقاوم الجفاف ، ولكن عن طريق تجنب الفترة التي يحدث فيها الجفاف حيث أن فترة حياته قصيرة وينمو في خلال اسابيع محددة ، وكذلك لوحظ انه في بعض أعشاب البحر الأبيض انه يحدث بها سكون خلال موسم الجفاف Dry Seson وخلال ارتفاع درجات الحرارة (McWillam . ١٩٦٨) .

د-المجموع الجذري المنتشر :-

المجموع الجذري المنتشر من اكثر العوامل المؤثرة في حماية النباتات ضد ضرر الجفاف . فالعمق والانتشار الواسع والتفرغ الكثير للجذور ويعمل علي وقاية النبات من الجفاف لان جذوره في هذه الحالة تكون قادرة علي امتصاص الماء من طبقات التربة ولذا يتجنب النبات ضرر الجفاف ، فمثلا يلاحظ أن النباتات ذات الجذور المتفرقة والمتنوعة والتي لا تمتد كثيرا مثل البطاطا والخس انها تعاني من نقص الماء اكثر من تلك النباتات ذات الجذور المتعمقة والكثيفة كالطماطم والتي تتمكن من امتصاص الماء اكثر من طبقات التربة المختلفة .

هـ-التحكم في معدل النتج:-

من الطرق التي يحتملها النبات لتأجيل حدوث نقص الماء في النبات Plant Water Stress حيث

يتفاعل النبات مع الظروف المحيطة به لكي يعمل علي تقليل معدل النتج مثل نبات *Larrea* حيث يعمل التفاف أوراقه فيقلل ذلك من معدل النتج . كما أن الكثير من النباتات تتفاعل مع *Water Stress* عن طريق إغلاق ثغورها . ويبدو أن تلك المجموعة من النباتات انها أكثر تحملا . وأكثر مقدرة علي المعيشة تحت ظروف الجفاف . واستجابة النباتات لـ *Stress Water* في هذه الحالة وإغلاقها لثغورها يكون بمجرد بدء حدوث النقص المائي *Stress Water* كما أن وجود طبقة من الكيوتين علي الأوراق والتي ينتج عنها تحكم شديد فعال في معدل النتج وبذا يمكن للنبات مقاومة أو تجنب حدوث الجفاف ، وقد وصف Tal 1966 طفرة من الطماطم *Wilty tomato* والتي من الضعف أن تنمو حتى ظروف الجو المشبع بالرطوبة أو تحت ظروف المراقدة الزجاجية وذلك لان ثغورها لا يمكن أن تغلق علي الإطلاق . وذلك يوضح أهمية إغلاق الثغور للتقليل من معدل فقد الماء في النبات . وقد وصف *Simmonds & Waggoner* 1966 طفرة مشابهة من البطاطا .

كفاءة استخدام النبات للماء *Water use Efficiency of*

كفاءة استخدام الماء عبارة عن عدد الوحدات من الماء والتي تستخدم للحصول علي وحدة واحدة من الماء الجافة . ولكفاءة استخدام النبات للماء أهمية قصوى وخاصة عندما يكون الإمداد بالماء *Water Supply* قليل . وقد ذكر Sletyer 1964 أن كفاءة استخدام الماء تختلف من ٢٠٠-٥٠٠ للحصول علي اعلي محصول وقد يبلغ ٢٠٠٠ أو أكثر في المناطق الجافة ، وبصفة عامة فإن المحصول العالي في المادة الجافة دليل علي كفاءة عالية في استخدام الماء وفي هذه الحالة فإن إنتاج المادة الجافة يتم بسرعة اعلي من فقد النبات للماء . لذلك فإن كفاءة استخدام النباتات ذات الجذور المتعمقة مع وجود تغذية كافية وتحت ظروف مثالية تكون من ٢٠٠-٥٠٠ وحدة من الماء تستخدم لإنتاج وحدة واحدة من المادة الجافة . وزيادة كفاءة استخدام النبات للماء ترجع لكفاءة عملية البناء الضوئي والتي تتسم بدخول كميات كبيرة من ك أو خروج كميات كبيرة من بخار الماء خلال الثغور . وفي نبات *pimeapple* نجد انه ينتج كميات كبيرة من المادة الجافة كل عام بينما يحدث أقل فقد في الماء حيث أن الثغور في *pimeapple* تكون مغلقة معظم اليوم ويعتبر هذا من الأمثلة علي كفاءة عالية في استخدام الماء لتكوين كميات كبيرة من المادة الجافة ؛ وقد يرجع ذلك أيضا إلى قدرة هذا النبات علي تمثيل حمض *crassuiacean* وفي هذه الحالة يكون النبات قادر علي تخزين ك كمادة عضوية خلال الليل ثم يحوله إلى كربوهيدرات خلال النهار . فيلاحظ دائما انه لزيادة كفاءة استخدام الماء فإن النبات يعمل علي زيادة المادة الجافة وليس العمل علي النقص في استخدام الماء . وقد أشار viets ، ١٩٦٦ ، انه من الجائز أن يزيد المحصول مع تكرار عمليات الري . ولكن المحصول لكل وحدة من الماء من الجائز أن تقل في النسب العالية من الري؛ وقد لوحظ أن التسميد يزيد من كفاءة استخدام النبات للماء .

التقسية :

يعتقد الكثير أن الزيادة الفجائية أو الارتفاع الفجائي والقاسي في *Water Stress* يرجع إليه أكثر ضرر عكس الزيادة التدريجية في *Water Stress* لفترة طويلة من الزمن . والنباتات التي تتعرض لفترة أو أكثر من النقص المتوسط للماء *Moderate Water Stress* يطلق عليها أن تقسية *Hardened* وهذه النباتات عادة يمكن أن تبقي حية تحت ظروف الجفاف دون حدوث ضرر عكس النباتات التي لم تتعرض للمعاملة السابقة . وقد ذكر البحوث أن التقسية *Hardening* تحدث تغيرات رئيسية في البروتوبلازم كزيادة في *Water Binding Capacity* أو الماء المرتبط بجانب زيادة لزوجته ونقص في النفاذية وقد ذكر ذلك Hencke 1964 . وقد قادت تلك الفكرة – التقسية – العلماء للمحاولة زيادة مقاومة النباتات للجفاف وذلك بمعاملة البذور قبل الزراعة . فيمكن تقع الجذور قبل الزراعة في الماء ثم تجفف هوانيا أو تنقع في محلول ملحي . وقد أشار May 1962 ان التغيرات التي تحدث في البروتوبلازم أمكن ملاحظتها في النباتات التي تعرضت للجفاف وان هذه التغيرات في الغالب ناتجة عن *Water Stress* . وقد وجد ان الزيادة في نسبة الجذور إلى الأفرخ ، وكذلك صغر حجم الأوراق وسمك طبقة الكيوتين من الصفات التي توجد في النباتات التي عرضت إلى *Water Stress* ولذلك أهميتها حيث ان النباتات التي تتعرض مرة *Water Stress* تحمل من الصفات التي تعمل علي زيادة جيدة في الإمداد المائي لأنسجة الورقة . كما تتميز بمعدل نتج اقل لكل واحدة من سطح الورقة حيث ان الثغور تغلق عند حدوث *Water Stress* ولذا ظن هذه النباتات تكون قادرة علي التحكم في فقد الماء عن تلك النباتات التي لم تتعرض لـ *water Stress* . وكمثال لتوضيح ذلك نبات فول الصويا فانه بعد

تعرضه لـ water Stress يكون سطح الأوراق به نسبة اعلي من الدهون ولذلك فان معدل النتج يكون اقل وبذلك تكون هذه النباتات اكثر قدرة علي مقاومة الجفاف Levitt & Ciarck ، ١٩٥٦ .
 وقد ذكر Kelly et al ان نباتات الـ Guagule والتي عرفت بالـ Stress High Water يمكنها ان تسترد قوة نموها بسرعة ويمكن ان تنمو احسن من تلك النباتات التي لم تتعرض لـ water Stress والتي أعطيت كميات وفيرة من المياه . وقد قدر ١٩٦٧ Orchard ان أوراق نبات الـ Icale-Brassila الجفاف اكثر من تلك التي تفتحت بينما النبات يروي بصفة دائمة . وبالرغم من ان الـ Water Stress يقلل من النمو فانه لوحظ ان النباتات التي تتعرض لـ moderate Water stress في بعض الأحيان يكون نموها اكثر وبسرعة وخاصة عند إعادة ريتها فأنها تنمو اكثر من تلك النباتات التي لم تتعرض لـ Stress Water وربما يحدث تجمع للكربوهيدرات و المركبات النيتروجينية في الـ Stressed Plov فتكون بعد ذلك في متناول النبات وتعمل علي تنشيط نموه عند توفر الماء .

علاقة النبات بالماء

يقول الله عز وجل

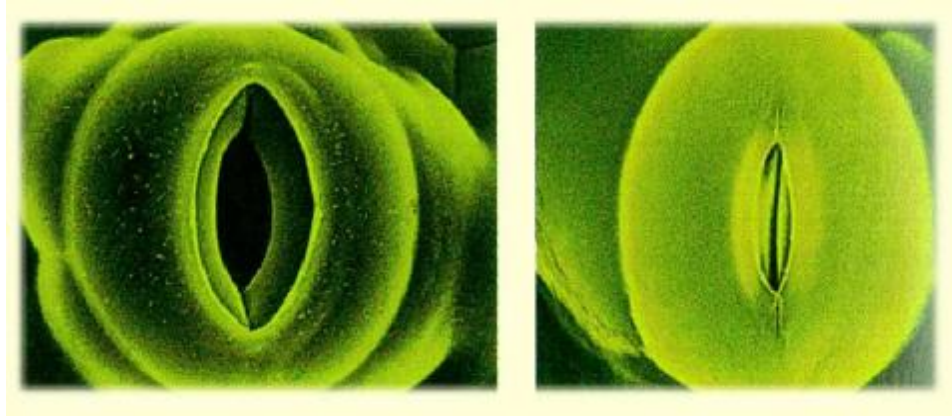
(وجعلنا من الماء كل شئ حي)

صدق الله العظيم

من المعروف أن بخر الماء الى الهواء الخارجي يتم في وجود الطاقة الشمسية والتي تزيد من قابلية الهواء على حمل المزيد من جزيئات الماء ويحصل الهواء على جزيئات الماء من أي سطح رطب يكون فيه جهد الماء (طاقة الماء الحر) أعلى من الجهد المائي للهواء والأوراق النباتية إحدى هذه السطوح الرطبة الغضة التي يمكن أن تمد الهواء بجزيئات الماء . نتيجة لفقد الأوراق للماء لا بد من وجود عملية إمداد للنبات بالماء من التربة لتعويض الفقد وهو ما يعرف بعملية الامتصاص. فعملية الامتصاص إذن عملية دخول الماء للنبات مع ما يحتويه من أملاح وأيونات ذائبة من خلال الجذور وقد يتم امتصاص الماء عن طريق المجموع الخضري ولكن الكميات الممتصة من الماء عن طريقة الأوراق عادة ما تكون قليلة.

امتصاص الماء وعلاقته بالنتج

يفقد الماء من الأوراق خلال الثغور التي تفتح لتسمح بدخول ثاني أكسيد الكربون وهو المادة الضرورية لعملية البناء الضوئي لذلك يمكن اعتبار النتج عملية ثانوية و ضريبة لابد أن يدفعها النبات لقاء تسهيلات المرور التي تعطيها الأوراق لمروور ثاني أكسيد الكربون نتيجة الفقد المستمر للماء كان لابد للنبات تعويض هذه الكمية بالامتصاص و إلا هلكت الأوراق و هلك النبات



شكل يوضح الجهاز الثغري و عملية فتح و غلق الثغور

يفقد الماء من أعلى النبات فيزداد تركيز المواد في خلايا الأوراق فيقل الجهد المائي فيها مما يزيد من سحبها للماء من الخلايا المجاورة وينتقل هذا التأثير الي خشب الأوراق ثم الى خشب الساق و الجذور ومن الجذر إلى جزينات التربة المحيطة بها فيتحرك الماء من التربة إلى الأوراق كخيط قوى يتحرك حين يسحب أحد طرفيه . وعمليتي النتج و الامتصاص متلازمتان على الدوام عندما يزيد النتج عن الامتصاص يقل محتوى خلايا النبات من الماء فيقل الضغط في داخلها فيذبذب النبات و يحدث هذا عادة أثناء ساعات النهار التي ترتفع فيه درجات الحرارة و تقل الرطوبة النسبية فيكون النتج في أقصاه والجهد المائي للخلايا الورقية في أدنى مستواه . لذلك لابد من أخذ فكرة عن النتج و العوامل المؤثرة عليه

هو فقد الماء على هيئة بخار ماء من أسطحه المعرضة للجو خاصة الأوراق عن طريق ثغوب ميكروسكوبية تسمى بالثغور stomata ويعرف ذلك الماء المفقود بالنتج الثغري . كما يفقد الماء على صورة بخار الماء من خلال العديسات lenticles الموجودة في الأنسجة الفلينية التي تغطي أسطح السيقان و الأفرع فيما يعرف بالنتج العديسي أما الفقد من أسطح الأوراق و السيقان العشبية خلال طبقة الأديم يسمى بالنتج الأديمي . لما كان النتج ضروريا للنبات و كان من الضروري أيضا أن يقي النبات نفسه من أخطار الذبول المترتب علي شدة النتج تعين أن يوجد جهاز خاص علي السطوح الورقية لتنظيم حركة فقد الماء من النبات بحيث لا يفقد النبات الماء إلا بالقدر المناسب و هذا الجهاز هو مجموعة الثغور المبعثرة علي سطح الأوراق.

للنتج فوائد عديدة نجملها في النقاط التالية:

1. يقي النبات من أخطار الحر الشديد لان تبخر الماء من أنسجة الورقة يقتضي استنفاد مقدار من الحرارة تعرف بحرارة التبخير و التي تستمدّها من الأوراق فتبرد.
2. ينتج من النتج قوة سالبة هي العامل المهم في إمداد النبات بالماء.
3. يساهم النتج في زيادة معدل امتصاص النبات للذائبات من التربة.

ميكانيكية فتح و غلق الثغور (الحركة الثغرية)

يحمل سطح بشرة الورقة عدد كبير من الثغور تحاط كل منها بخليتين من خلايا البشرة متخصصتين تعرفان بالخلايا الحارسة يتحكمان في فتح و غلق الثغور. و الحركة الثغرية تعتمد بصفة عامة علي الاستجابة المباشرة للزيادة أو النقص للجهد الاسموزي للخلايا الحارسة و التغير في الجهد المائي الناتج من التغيرات الأسموزية بسبب تحرك الماء من أو الي الخلايا الحارسة . فعند امتلاء الخلايا الحارسة (أي يخرج منها الماء) فان الثغر يغلق . و يرجع زيادة الضغط الاسموزي للخلايا الحارسة و نظرا لاحتوائها علي البلاستيدات الخضراء الي زيادة السكريات الناتجة من عمليات التمثيل الكربوهيدراتي فقد قيس الضغط الاسموزي للخلايا الحارسة ووجد أنها ٩٠ ضغط جوي بينما تصل الي ربع هذا المقدار في خلايا البشرة المجاورة. وقد لوحظ أنه بمجرد غلق الثغور يتراكم في النشا الخلايا الحارسة وفي نفس الوقت ينخفض ضغطها الاسموزي حتى يوازي الضغط الاسموزي لخلايا البشرة.

غير أن فتح الثغور أسرع من أن يرجع الي عملية التمثيل الضوئي وهي عملية تتطلب وقتا حتى ينتج السكر، لذلك أن يكون هناك سببا آخر مباشرا لإحداث التغير اللازم في الضغط الاسموزي للخلايا الحارسة. فهناك رأي أن زيادة الضغط الاسموزي ناتج من تحلل النشا تحليلا مائيا الي سكريات تزيد من الضغط الاسموزي للخلايا الحارسة و هذا التفاعل عكسي نتيجة عمل أنزيم starch phosphorylase ، فعند ارتفاع الرقم الايدروجيني pH الي حوالي ٧ تحدث عملية الفسفرة phosphorolysis أو التحلل الفسفوري بمساعدة الأنزيم لتكوين جلوكوز -١- فوسفات ، وعند انخفاض الرقم الي حوالي ٥ فان النشا يتكون من جلوكوز -١- فوسفات بواسطة نفس الأنزيم و ينفرد حمض الفوسفوريك . فعند حلول الظلام ليلا يتراكم ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس و الذي يتحول الي حمض كربونيك فيؤدي الي رفع الحموضة و انخفاض رقم ال pH هذا الوسط الحامضي يلائم أن يعمل الأنزيم في اتجاه (سكر---نشا) فينخفض الضغط الاسموزي في الخلايا الحارسة فتسحب المياه من الخلايا فتتكشف و تضيق فتحة الثغر و تغلق الثغور. أما في الضوء فعلي العكس حيث أن عملية التمثيل الضوئي تستهلك ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس وبذلك تقل الحموضة و يرتفع رقم ال pH في العصير الخلوي للخلايا الحارسة وهذا الوسط القريب للتعاادل يلائم عمل الأنزيم في اتجاه (نشا---سكر) فيؤدي الي رفع الضغط الاسموزي للخلايا الحارسة و بالتالي تمتص الماء من الخلايا المجاورة فتتفتح الخلايا الحارسة و ينفث الثغر. و هناك رأي آخر للعالم Scarth وضعه لتفسير سرعة الثغور عند تعرضها للضوء و الذي أنكر علي الأنزيم سرعة فتح الثغر لان العمل الأنزيمي يحتاج الي وقت أطول من فتح الثغر عند تعرضه للضوء ، فقد أشار الي أن الضوء يسبب نقص تركيز الايدورجين في عصارة الخلايا الحارسة وهذا يزيد من قوة التشرب للمكونات الغروية للخلايا الحارسة فتتمص الماء من الخلايا المجاورة ، وعليه فانتقال الماء في هذه الحالة ما هو الا نتيجة لقوة التشرب و ليس لقوة الامتصاص الأسموزية.

العوامل المؤثرة علي الحركة الثغرية

1- الضوء:

يؤثر الضوء علي فتح و غلق الثغور بالميكانيكية السابق ذكرها و بعض الآراء التي تفسر تأثير الضوء علي انفتاح الثغر يمكن تلخيصها في المخطط التالي :

2- البوتاسيوم:

مما يؤدي لانحلال النشا الى سكريات بسيطة وزيادة التركيز الاسموزي في الخلايا الحارسة مما يؤدي لانتقال الماء الى داخل الخلايا الحارسة مما يزيد من ضغط الامتلاء فيفتح الثغر

3- تركيز CO₂:

عند زيادة تركيز CO₂ في المسافات البينية لأنسجة الورقة عن التركيز في الجو الخارجي يؤدي لغلق الثغور وعند التعرض للضوء يستهلك CO₂ في عملية التمثيل الضوئي فيقل تركيز CO₂ ويفتح الثغر.

4- درجة الحرارة :

عند درجة حرارة من 0-30° م يزداد فتح الثغر وعند درجة حرارة أقل من ٥° م أو أكثر من ٣٠° م يؤدي ذلك إلى غلق الثغور وذلك في معظم النباتات. ويرجع غلق الثغور إلى زيادة معدل التنفس عند هذه الدرجات من الحرارة فيزداد تركيز CO₂ فيغلق الثغر.

5- نقص الماء وحامض الابسيسيك:

هناك بعض الحالات لا يستطيع النبات امتصاص الماء رغم الظروف الملائمة لامتصاص فيحدث بالتالي نقص الماء داخل النبات وللحفاظ على القدر الضئيل من الماء داخل النبات يتجه النبات الى تكوين هرمون حمض الابسيسيك ABA وينقل هذا الهرمون إلى الأوراق ويؤدي ذلك لتنشيط غلق الثغور

العوامل المؤثرة على معدل عملية النتج

(أ) العوامل النباتية

1- **نسبة المجموع الجذري إلى المجموع الخضري** عندما يزداد المجموع الجذري عن المجموع الخضري للنبات ووجود الظروف الملائمة للامتصاص والنتج تكون كمية الماء الممتص اكبر من كمية الماء المفقود بالنتج وبالتالي ينمو النبات والعكس عندما يقل المجموع الجذري عن المجموع الخضري يحدث ذبول للنباتات.

2 - **مساحة الورقة من المعلوم** زيادة مساحة الورقة يتبعها زيادة الماء المفقود وغالبا ما تنتج النباتات الصغيرة بمعدل اكبر عن النباتات الكبيرة وذلك على أساس وحدة المساحة ولو أن النباتات الكبيرة تفقد كميات من الماء اكبر إلا أن الماء المفقود بالنسبة لوحدة المساحة يكون اكثر في النباتات الصغيرة

3- **تركيب الورقة** تختلف عدد الثغور الموجودة وسمك طبقة الكيوتين المغطية للأوراق وسطحية وتعمق الثغور على سطح الورقة وتعريق الأوراق باختلاف الأنواع النباتية مما يؤثر على معدل النتج.

(ب) العوامل البيئية

1- الرطوبة النسبية في الجو

ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو يترتب عليه زيادة الضغط البخاري لبخار الماء في هذا الجو ،ويؤدي ذلك بالطبع إلى تقليل البخر وبالتالي تقليل النتج.

2- الرياح:

يتسبب عن حركة الهواء تقليل الرطوبة النسبية بإزالة الهواء الرطب في الجو الملامس مباشرة لسطح الأوراق وبالتالي يزداد النتج . أما عند اشتداد الرياح فان الثغور تقفل ، وبالتالي يقل معدل النتج .وتقفل الثغور هنا بسبب فقد النبات لكميات هائلة من الماء تؤدي الى نقص شديد في انتفاخ البشرة والخلايا الحارسة وبالتالي تقفل الثغور

3- درجة الحرارة

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة الى زيادة البخر وبالتالي الى زيادة النتج وتعتبر عملية النتج عملية تلتف من حرارة النبات لان قدر كبير من الحرارة التي تتعرض لها أسطح الأوراق تستنفذ في تبخير كميات كبيرة من الماء في

صورة نتج.

4- الضوء

تتجلى دور الضوء من خلال تأثيره على حركة فتح وغلق الثغور كما ان الضوء الشديد يزيد من درجة الحرارة وبالتالي يزيد من معدل النتج

5- تيسر ماء التربة

كلما كان ماء التربة محددا كلما قل امتصاص الجذور للماء ويؤثر ذلك بالطبع على التوازن المائي في النبات وعلى النتج.

امتصاص الماء

1- مسار تحرك الماء خلال الجذر

يمتص الماء بواسطة الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة الأخرى القريبة من منطقة الشعيرات الجذرية ثم يتحرك الماء من هذه الخلايا الى خلايا أنسجة القشرة ثم الى الاندودرمس ثم الى البريسيكل وفي النهاية الى الخشب . يتحرك الماء الى خلايا الاندودرمس خلال التدرج الاسموزي الى البريسيكل ثم الى الخلايا الموصلة للخشب . ويتصل نسيج خشب الجذر مباشرة بنسيج الخشب في الساق ولذلك يتحرك الماء من الجذر الى الساق تركيب النسيج الناقل في الساق والأوراق : عند فحص قطاع عرضي لساق خشبية يلاحظ وجود منطقتين متميزتين هما:

-القلف وهو على شكل حلقة خارجية تحيط بالساق وتتشقق أحيانا
-الخشب ويشكل اسطوانة الى داخل القلف وقد يوجد النخاع pith الى داخل الخشب . ويوجد بين اسطوانة الخشب او القلف عدة صفوف من خلايا نشطة تسمى الكمبيوم الوعائي والذي ينقسم مكونا خلايا جديدة للخشب واللحاء ويحاط القلف من الخارج بالكمبيوم الفليني وهو نسيج مرستيمي تنقسم خلاياه ببطيء لذلك فان الانقسامات السنوية للكمبيوم الوعائي تؤدي الى زيادة نسبة الخشب الى القلف .
-ويتكون الخشب من:

- 1-أوعية Vessels وهي خلايا متتابعة طوليا أسطوانية الشكل تفصل نهايتها مع بعضها البعض لتكون أنابيب طويلة نسبيا.
- 2-قصيبات Tracheids وهي خلايا تميل للاستطالة ذات نهايات مدببة فتموت فيها البروتوبلازم عند النضج وتحتوى بعض القصيبات على حالات نمو بشكل حلزوني ،حلقي مكون من السليولوز الملجنن كما تحتوى جدرانها على نقر تسهل حركة الماء والمواد المذابة من قصيبة لأخرى.
- كما تحتوى نسيج الخشب ايضا على أشعة وعائية تساعد على حركة الماء بصورة افقية في الساق وبعض الخلايا البرانشيمية التي تخزن الماء والمواد الغذائية والألياف الخشبية وتعمل على دعم الأنسجة الأخرى.
- أما العروق الورقية فأنها عبارة عن حزم وعائية تتصل بمثيلاتها بعنق الورقة وتتركب العروق من خشب مكون من أوعية وقصيبات ولحاء مكونا أساسا من أنابيب منخلية ويكون الخشب القسم العلوي من العروق الى جهة البشرة العلوية بينما يكون اللحاء القسم السفلي

ب-حركة الماء في الساق

يتحرك الماء الى الأعلى مع بعض المواد الذائبة من أملاح ذائبة وتركيز منخفض من السكريات والممر الرئيسي للحاء هو الخشب وتختلف سرعة صعود الماء الى الأعلى باختلاف النبات ،فصل النمو ،والظروف البيئية المحيطة

ج-حركة الماء في الأوراق

تمثل الأوراق المرحلة النهائية لحركة الماء في النبات .يتصل نصل كل ورقة بالساق في عقدة الساق وفي العقدة يبرز النسيج الناقل الذي يغذى الورقة بالماء ويتوزع النسيج الناقل في كل ورقة باختلاف النبات .ففى أوراق معظم النباتات ذات الفلقة الواحدة تكون العروق موازية للعرق الرئيسي وتتفرع من هذه العروق فروع صغيرة ليصل الماء الى كل منطقة فى الورقة وفي نباتات ذات الفلقتين يختلف توزيع العروق فى أوراقها فبعضها ذات عروق راحية حيث تتصل العروق الثانوية فى الورقة بالعرق الرئيسي عند قاعدة الورقة .وفى البعض الآخر تكون العروق ريشية حيث يمتد العرق الوسطى الى حافة الورقة وتتصل بها الأفرع من الجانبين.

طرق قياس سرعة حركة الماء (1) حقن المحاليل الملونة ،المواد المشعة:

حيث يتم عمل شق في الساق وتحقن محاليل ملونة، محاليل مواد مشعة باستعمال مكابس خاصة بضغط المحلول إلى أنابيب معدنية تفرز في الساق. يقاس الوقت الذي استغرق المحلول للوصول إلى ارتفاع معين حيث يقطع الساق إلى مقاطع ويلاحظ المقطع الذي وصلت إليه الصبغة ولكن هذه الطريقة غير دقيقة في نتائجها لأن سرعة حركة الماء قد تتغير نتيجة شق الساق ،فرز الأنابيب.

(2) الطريقة الحرارية:

حيث يسخن الماء في الخشب بوضع سخان كهربائي على الساق وتقاس سرعة حركة الماء إلى الأعلى بواسطة محبس حراري يوضع على ارتفاع مناسب من السخان وهذه الطريقة لها عيوب إلا أنها ما زالت تستخدم على نطاق واسع.

آلية امتصاص الماء

لقد بين علماء النبات أن امتصاص الماء يحدث بطريقتين رئيسيتين هما:

- (1) الامتصاص النشط active absorption: وهو أقل أهمية لمعظم النباتات ولأغلب الظروف
- (2) الامتصاص السلبي passive absorption: ويحدث هذا الامتصاص نتيجة لتأثير قوة فيزيائية لا تحتاج لطاقة واهم هذه القوى هي النتج

(أولاً): الامتصاص النشط

من أهم الظواهر المألوفة في النبات

(أ) ظاهرة الادماغ (guttation : ب) ظاهرة الضغط الجذري root pressure:

-الادماغ هو خروج قطرات الماء من الأوراق خلال العديسات الموجودة على حواف الأوراق نتيجة الضغط الجذري يزيد عن المقاومة التي يلاقها الماء في حركته داخل النبات. وقد يكون هناك ضغط جذري دون حدوث ظاهرة الادماغ كما هو الحال في بعض النباتات مثل سيقان كروم العنب في بداية الربيع ويمكن ملاحظة الضغط الجذري بقطع أحد السيقان فيستمر ينزف الماء مما يدل على أن الماء داخل السيقان واقع تحت ضغط موجب (يزيد عن الضغط الجوي).

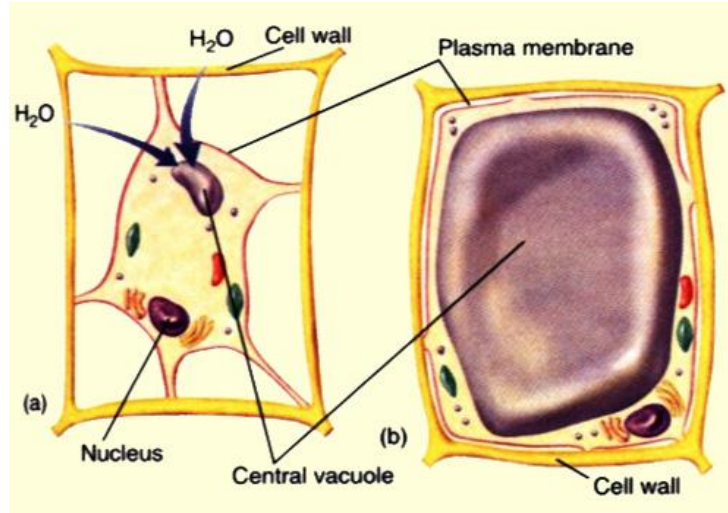


وظاهرة الادماغ والضغط الجذري لا يمكن تفسيرهما بالامتصاص السلبي فالامتصاص السلبي يعني سحب الماء من الأعلى ويكون ضغطه داخل الساق سلبيا نتيجة الشد الواقع عليه من الأعلى بينما تحدث السابقة الذكر نتيجة دفع الماء من الأسفل أي من قبل الجذر و يكون ضغط الماء داخل الساق موجب .
وقد وجد أن مقدار الضغط الجذري في معظم النباتات يتراوح من ١-٢ بار قد يصل لأكثر من ذلك في بعض

النباتات مثل الطماطم (٧ بار) وسيقان نبات العنب (٥-٦ بار).
-الضغط الجذري غير ثابت و يعتمد علي كثير من العوامل .

•العوامل المؤثرة علي الضغط الجذري

- 1-توفر الماء في التربة : الضغط الجذري يكون في أشده عند السعة الحقلية .
- 2-الجهد الاسموزي لمحلول التربة : يصل الماء الي الجذر نتيجة فرق الجهد و تزداد كمية الضغط الجذري كلما كان الجهد الاسموزي للخلايا الجذرية قليل و الجهد الاسموزي لمحلول كبير (أقل سلبية)
- 3-درجة حرارة التربة : يقل الضغط الجذري في التربة المنخفضة الحرارة وذلك لزيادة لزوجة الماء و مقاومة الجذر وقلة نمو الجذر الرئيسي و بطئ سرعة امتصاص الأيونات.
- 4-تهوية التربة :تزداد سرعة امتصاص الماء و يزداد الضغط الجذري في التربة جيدة الصرف وقليلة الأملاح.
- 5-عمر النبات :يقل الضغط الجذري في الجذور القديمة التي تحتوي علي نسبة عالية من اللجنين و السوبرين و يزداد في الجذور النشطة .
- 6-ينعدم تأثير الضغط الجذري في النباتات عندما تكون سرعة النتج أعلي من سرعة اندفاع الماء بالضغط الجذري لذلك فان جميع العوامل البيئية تساعد علي سرعة النتج تقلل من أهمية الضغط الجذري للنبات.
- 7-يختلف مقدار الضغط الجذري خلال ساعات النهار و باختلاف الفصول بغض النظر عن تأثيره في رفع الماء و يكون في أشده في منتصف النهار و يقل أثناء الليل و يعزي ذلك الي عاملين هما الامتصاص النشط للأيونات و انتقالها الي الساق يكون في أشده خلال ساعات النهار و ذلك لتوفير الطاقة اللازمة لفاعلية الجذر خلال هذه الساعات . و زيادة مقاومة الجذر خلال ساعات النهار.



شكل يوضح ضغط الامتلاء واثرة علي امتصاص الماء

كيفية حدوث الامتصاص النشط (الضغط الجذري)

لقد عزي الضغط الجذري الي ثلاثة عوامل و هي:

- يحدث الامتصاص نتيجة حدوث فرق في الجهد الاسموزي بين الجذر ومحلول التربة :
- يتحرك الماء من المناطق التي يكون فيها جهده مرتفعا الي المناطق التي يكون فيها جهده منخفضا. يقل الجهد الاسموزي لخلايا الجذر نتيجة تجمع الأيونات داخل خلايا الجذر و الخشب و تجمع هذه الأيونات من قبل الجذر ناتج عن استهلاك طاقة لان تجمع الأيونات يحدث بعكس تركيزهما . و يحافظ الجذر علي فرق الجهد بين خلاياه و محلول التربة باستمرار جمع الأيونات و حصوله علي السكريات من الجزء الخضري . و نتيجة لفرق الجهد يدخل الماء من التربة الي الجذر بعملية الانتشار البسيطة . إذن فعلمية الامتصاص بهذه الطريقة لا تحتاج الي طاقة بصورة مباشرة و لكنها تحدث نتيجة امتصاص الأيونات بالامتصاص النشط و باستهلاك الطاقة . و لقد أمكن في كثير من الحالات تقليل الضغط الجذري باستعمال مواد مثبطة لتنفس الجذر كما أمكن تثبيط الامتصاص النشط بتسخين التربة أو وضع الجذر في محلول الجهد الاسموزي مساويا للجهد الاسموزي فيه خلايا الجذر.
- امتصاص جزيئات الماء امتصاصا نشطا :

قد اقترح ان جزيئات الماء قد تمتص باستهلاك طاقة بصورة مباشرة أي أنها تمتص امتصاصا نشطا كما هو الحال بالنسبة للأيونات و لم تجد هذه النظرية قبولا من أغلب الباحثين

• فرق الجهد الكهربائي الاسموزي:

من المعروف أن الماء يمر من مكان الي آخر عبر الأغشية المنفذة إذا كان هناك فرق في التيار الكهربائي بين الجهتين و تكون حركة الماء في اتجاه القطب الكهربائي الذي يحمل شحنة مشابهة لشحنة الغشاء و بما أن غشاء السليولوز يكون شحنته سالبة في الماء و القسم الداخلي من الجذر يكون شحنته سالبة أيضا فان الماء يتحرك باتجاه الجذر و قد بينت الأبحاث بان فرق الجهد الكهربائي بين سطح الجذر و داخله تقدر بحوالي مائة مللي فولت و هذا الفرق تبين فيما بعد بأنه غير كافي لحركة الماء.

• قياس الضغط الجذري

يمكن قياس مقدار الضغط الجذري لاغلب النباتات باستعمال مانوميتر حيث يقطع ساق النبات قرب سطح التربة و يوصل بأنبوب مطاط يتصل بالمانوميتر . يندفع الماء داخل الأنبوب فيرتفع الزئبق في أنبوبة المانوميتر و من حساب الفرق بين عمودي الزئبق يمكن حساب الضغط الجذري

(ثانياً): الامتصاص السلبي

1- نظرية التماسك و الشد Cohesion – Tension theory

ولوان الضغط الجذري يساعد في رفع الماء من الجذر الى الأوراق لكنه لا يعتبر القوة الأساسية المحركة للماء فالقوة المحركة للماء هي النتج والدليل على ذلك تلازم عمليتا الامتصاص والنتج وهذه القوة تتكون في الأجزاء الخضرية وينتقل تأثيرها الى الجذور ويساعد في ذلك قوة تماسك جزيئات الماء Cohesion وقوة التصاقها بالخشب Adhesion ويمكن تفسير آلية الامتصاص السلبي كالتالي:-

يتبخر الماء من الأوراق لان الجهد المائي للهواء المحيط بالورقة يكون قليلا (اكثر سلبيا)، وعندما يتبخر الماء من خلايا الأوراق ويقل جهدها المائي فتتحرك نتيجة ذلك جزيئات الماء من الخلايا المجاورة حيث أن الماء يحاول موازنة جهده وينتقل التأثير من خلية الى أخرى حتى يصل الى العروق الورقية فيقل الماء في هذه العروق نتيجة حركته الى الخلايا وعندما يقل في العروق يتخلل الضغط فيحدث Tension على جزيئاته وهذا الشد مشابه للشد الذي يحصل خيط من الجزيئات عند سحب أحد اطرافه ونتيجة للشد الحاصل على جزيئات الماء في عروق الورقة يتحرك اليها الماء من العروق الأكبر حتى يصل التأثير الى خشب الساق ثم خشب الجذر وحتى الخلايا الحية من الجذر ثم الى سطح الجذر وعلى سطح الجذر تتماسك جزيئات الماء مع الجزيئات الموجودة في محلول التربة وعلى هذا فان الجهد المائي يقل تدريجيا من التربة وحتى خلايا الورقة عندما يكون النتج مستمرا وهنا يتبادر لي الذهن سؤال في أنه إذا كانت جزيئات الماء تسحب من أعلى بشكل سلسلة فهل يتحمل عمود الماء هذا الشد دون انفصال جزيئات الماء عن بعضها ؟ حيث ان انكسار عمود الماء يعني موت النبات .

يعتمد مقدار الشد الواقع على عمود الماء على ارتفاع النبات فالشد الواقع على جزيئات الماء في شجرة ارتفاعها ١٣٠م يبلغ (١٣ بار) هذا بالإضافة الى الشد الناتج عن مقاومة خشب الساق والأوراق والخلايا ولهذا فان الشد الواقع قد يصل الى (٢٦ بار) بمعنى آخر أن هناك قوة سحب تحاول فصل جزيئات الماء عن بعضها البعض وهذه القوة تعادل ٢٦ بار فهل تتحمل الرابطة الموجودة بين جزيئات الماء هذه القوة ؟

تختلف القوة التي تربط جزيئات الماء مع بعضها Cohesion باختلاف قطر الأنبوب فكلما قل قطر عمود الماء (قطر الأنبوب) زادت القوة التي ترتبط بها الجزيئات. ولقد وجد بالتجربة العملية ان قوة ارتباط الجزيئات مع بعضها في أنبوب قطره ٠.٥ مم تبلغ 20- بار، وقطر أوعية وقصبيات الساق أقل بكثير من ٠.٥ مم لهذا فان قوة ارتباط جزيئات الماء في أوعية الساق قد تصل لاكثر من ٣٠ بار.

لقد أصبح واضحا أن الامتصاص النشط يحدث عرضيا نتيجة الفرق في الجهد الاسموزي بين الجذر و محلول التربة . الامتصاص النشط لا يشكل أهمية كبيرة في امتصاص الماء في معظم النباتات وذلك للأسباب التالية:

1- يتكون الضغط الجذري في ظروف معينة من درجة حرارة و رطوبة.

2- أن كمية الماء الناتجة عند قطع الساق و المدفوعة بالجذر قليلة قياسا الي الكميات التي يفقدها النبات بالنتج و هذه الكمية وجد انها لا تتعدى ٥% من الماء المفقود بالنتج في نباتات الطماطم .

3- تمتص النباتات الماء عند وضع جذورها في محاليل يزيد تركيزها عن تركيز محلول الجذر عندما يكون النتج مستمرا و يتوقف دخول الماء عند قطع الساق . و لقد وجد أن النبات يمكنه امتصاص من محاليل يصل جهدها الاسموزي الي سالب ١٤.٦ بار بينما لايمكن الجذر الذي فصل من الجزء الخضرى من امتصاص الماء من محاليل جهدها الاسموزي سالب ١.٩ بار .

4- هناك العديد من النباتات لا تكون ضغط جذري واضح مثل الصنوبريات .

5- أن الضغط الذي يكونه الجذر يتراوح من ١-٣ بار و هذا الضغط غير كافي لصعود الماء الي قمم الأشجار المرتفعة .

6- لوحظ أن امتصاص الماء من قبل الجذور يزداد عند موت الجذور في بعض النباتات حتى يستمر النتج من

- أجزائها الخضرية و يعود سبب ذلك الي قلة المقاومة التي تبديها الجذور الميتة لحركة الماء المسحوبة من الأوراق بالنتج .
- 7- إذا كان الضغط الجذري كافيا لرفع الماء الي الأعلى فان ضغط الماء داخل خشب الساق يكون موجب و يندفع نتيجة ذلك الي الخارج عند قطع الساق ولكن الواقع غير ذلك فالماء داخل النبات واقع تحت شد كبير ويمكن الاستدلال علي ذلك بقطع الساق بأحد النباتات بعد غمره في محلول من صيغة ملونة يلاحظ صعود الماء الي الجزئين العلوي و السفلي للساق مما يدل علي وجود تخلخل في الضغط داخل الساق
- 8- لقد ثبت أن المجاميع الخضرية المقطوعة التي أطرافها في الماء تستطيع امتصاص الماء من الجزء المقطوع لفترة طويلة .
- 9- تقلص سيقان الأشجار عندما يكون النتج سريعا يدل علي حدوث ضغط سالب داخل الساق .
- 10- يزداد امتصاص الماء في جذور الأشجار المسبورة التي حدث فيها تشقق أو جروح التي تكثر فيها العديسات
- كل الأدلة السابقة تشير الي أن القوة المحركة للماء في النبات هي النتج و هنا لا نريد أن نقلل من أهمية الجذر في امتصاص الماء فالجذر يوفر للنبات سطح امتصاص واسع كما أن النموات الجذرية التي تضاف كل يوم تشكل أهمية بالغة في التفتيش عن أماكن جديدة من التربة يكثر فيها الماء و الأيونات .

العوامل المؤثرة علي امتصاص الماء

يمكن تقسيم العوامل المؤثرة علي امتصاص الماء الي:

أ - عوامل التربة :

1-توفر الماء (تيسر الماء)

ان الماء الميسر للنبات هو الماء الذي تحتويه التربة بين السعة الحقلية ونقطة الذبول و تعتمد كمية الماء المتوفرة علي تركيب التربة و عموما تكون هذه الكمية كبيرة في التربة الثقيلة و قليلة في التربة الرملية. و الجهد المائي لماء التربة عند السعة الحقلية يساوي سالب 3 / 1 بار تقريبا و يقل هذا الجهد كلما قلت نسبة الماء في التربة و ذلك لزيادة شد الماء و التصاقه بحبيبات التربة . و يقل امتصاص الماء كلما قل الماء عن السعة الحقلية.

2-درجة الحرارة:

يلاحظ أن النبات يمتص كمية قليلة من الماء عند درجات حرارة التربة المنخفضة و يرجع ذلك العوامل التالية:

- قلة نمو الجذور و تفرعاتها .
- انخفاض سرعة حركة الماء من التربة الي الجذر.
- زيادة مقاومة الجذور حيث تقل نفاذية أغلفة خلايا الجذور و تزداد لزوجة البرتوبلازم
- تزداد لزوجة الماء في درجات الحرارة المنخفضة حيث تصل الضعف عندما تقل درجة الحرارة من ٢٥ مئوية الي الصفر. و يقل امتصاص العناصر و الأيونات المختلفة عندما تقل درجة الحرارة فيقل دخول الماء بفرق الأسموزية .

3-التهوية:

تزداد سرعة امتصاص الماء في التربة جيدة الصرف حيث أن قلة تركيز الأكسجين و زيادة تركيز CO₂ يؤدي الي زيادة مقاومة الجذور لدخول الماء للأسباب التالية:

- تزداد لزوجة البرتوبلازم و تقل نفاذية الغشاء الخلوي لزيادة تركيز CO₂
- قلة التفرعات الجذرية و النمو الجذري .

• تقل فاعلية الخلايا الجذرية فيقل الضغط الجذري .

4-تركيز محلول التربة:

تمتص الجذور الماء نتيجة فرق الجهد بين التربة و الجذر . و الجهد المائي لماء التربة هو محصلة الجهد الاسموزي لمحلول التربة و الجهد الحبيبي الناتج من جذب حبيبات التربة للماء . و عليه فزيادة تركيز محلول التربة تعني قلة الجهد الاسموزي و قلة الجهد المائي الكلي لمحلول التربة و بالتالي قلة حركة الماء باتجاه الجذر و صعوبة امتصاصه . ان سرعة دخول الماء الي الجذر تعتمد علي فرق الجهد بين التربة و الجذر ، وهو ما يسمى بانحدار الجهد G و كلما كان هذا الفرق كبيرا زادت سرعة الامتصاص (في حدود معينة) . و يتوقف الماء عن الدخول إذا تساوي الجهد المائي للتربة مع الجهد المائي للجذر و قد يتحرك الماء من الجذر الي التربة إذا زاد الجهد المائي للجذر عن الجهد المائي للتربة و هذا ما يحدث عند ري النباتات بمحلول ملحي مركز.

و تسبب إضافة الأسمدة أحيانا قلة امتصاص الماء و ظهور علامات الذبول علي الأوراق و ذلك لزيادة تركيز الأيونات و قلة الجهد الاسموزي لمحلول التربة . وهذا الانخفاض في الجهد الاسموزي الناتج عن إضافة الأملح نادر الحدوث في الحقل و إذا حدث فانه يكون في طبقة التربة السطحية بعد وضع السماد مباشرة فالأيونات المذابة سوف تنتشر بسرعة في محلول التربة . إلا أن ظاهرة ذبول النباتات المزروعة في الأصص بعد إضافة

الأسمدة أمر مألوف. بالإضافة الي تأثير الأملاح في تقليل الجهد الاسموزي فأنها تسبب قلة امتصاص الماء نتيجة التأثير المباشر علي خلايا الجذور من الأيونات المؤثرة - SO_4 , CL , K^+ حيث تؤثر هذه الأيونات علي فعالية خلايا الجذور كما قد تؤثر هذه الأيونات في غلق الثغور و عملية البناء الضوئي .

5-التوصيل المائي للتربة (التوصيل الهيدروليكي):

تختلف سرعة حركة الماء في التربة باختلاف نوع التربة فالتوصيل الرطوبي للتربة الرملية أقل من التوصيل الرطوبي للتربة الطينية. و تؤثر حركة الماء في التربة علي سرعة إمداد الجذور بالماء من مناطق بعيدة بعد نفاذها من محيط الجذر . و حركة الماء باتجاه الجذور تتم نتيجة فرق الجهد فالجذر يمتص الماء من حبيبات التربة القريبة منه فيقل جهدها المائي فيندفع الماء من مناطق التربة المجاورة و نتيجة لامتصاص الماء من قبل الجذور و مقاومة التربة تنشأ حول الجذر مناطق مدرجة الجهد و عمق هذه المسافة علي سرعة امتصاص الماء و التوصيل الرطوبي للتربة فكلما كان النتج سريعا و التوصيل الرطوبي بطيئا زاد عمق هذه الطبقة.

أ - عوامل بيئية:

تناسب كمية الماء الممتصة تناسباً طردياً مع كمية الماء المفقودة بالنتج إذا كانت رطوبة التربة عاملاً غير محدد . و من أهم العوامل التي تؤثر علي سرعة النتج و بالتالي تلعب دوراً هاماً في سرعة الامتصاص هي:

1-شدة الإضاءة ٢ -درجة حرارة الهواء

3-الرطوبة النسبية ٤ - سرعة الرياح

ب - صفات المجموع الجذري:

1 - تعمق الجذور و انتشارها:

تختلف جذور النباتات اختلافاً كبيراً من حيث عدد التفرعات و انتشارها و العمق الذي تصل إليه . تمتص جذور النباتات معظم الماء من أطراف الجذور الحديثة النمو و يقل الامتصاص من مناطق الجذور المتصلبة و تزداد أهمية انتشار الجذور و تعمقها في الأراضي ذات التوصيل الرطوبي المنخفض عنها في ذات التوصيل الرطوبي الجيد . و عندما يقل الماء في إحدى مناطق التربة في إحدى مناطق التربة تمتص الجذور الماء بسرعة من مناطق التربة الرطبة لسد النقص و عموماً يمتص الماء من الطبقة السطحية للتربة أولاً ثم تدريجياً لأسفل في النباتات الحولية أما في النباتات المعمرة فإن امتصاص الماء قد يتم من مناطق مختلفة و للعمق الذي يصل إليه الجذر تأثير كبير في مقاومة النبات للجفاف بالنباتات ذات الجذور السطحية تتعرض للجفاف حال نفاذ الماء من الطبقة السطحية كما أنها تعاني من الشد بعد إجراء العرق الذي يؤدي الي قطع تفرعات الجذر السطحية .

2-نفاذية الجذر:

حيث أن الجذور تختلف من حيث التركيب فأنها لابد أن تختلف من حيث النفاذية و لما كانت نفاذية أطراف الجذر أكثر من قاعدته فإن المجاميع الجذرية ذات العدد الكبير من الأطراف ذات نفاذية عالية كما تختلف النفاذية باختلاف عمر الجذور و الظروف البيئية المحيطة .

3-اختلاف فعالية الجذر:

تختلف الجذور في قابلية امتصاصها للأيونات ومقاومتها للظروف البيئية المحيطة و ترجع هذه الاختلافات لعوامل وراثية . بعض الجذور ذات قابلية عالية لجمع الأيونات من مناطق التربة المختلفة وتجمع الأيونات في الجذر يساعد علي امتصاص الماء النشط و يزيد من فرق الأسموزية بين الجذر ومحلول التربة كما أن الجذور تختلف في مقاومتها للظروف الساندة كما تختلف جذور النباتات من حيث تأثرها بسرعة التهوية و درجات الحرارة غير الملائمة فجذور الصفصاف يمكنها القيام بفعاليتها المختلفة و هي مغمورة بالماء.

4-صفات المجموع الخضري:

كل صفات المجموع الخضري التي تؤدي لزيادة النتج تؤدي الي زيادة سرعة امتصاص الماء حيث أن العمليتين مترابطتين تماماً و عموماً تزداد سرعة امتصاص الماء كلما زادت نسبة المساحة السطحية للجزء الخضري الي المساحة السطحية للجذور لان المساحة الخضرية تمثل سطح الفقد و معظم الماء الداخل الي النبات يجد طريقه عبر الجذور.

التغذية المعدنية Mineral nutrition

سوف نتناول في هذا الباب المبادئ الأساسية لتغذية النبات المعدنية فقد ادرك المزارعون الأوائل ان النباتات النامية في الوحل (الماء المختلط بالطين) Muddy water أفضل من النباتات النامية على ماء المطر الرائق . وبفضل العالم de sausure سنة ١٩٠٤ عرف العالم حاجة النبات للعناصر الغذائية الموجودة في التربة . وبأستخدام المزارع المانية (محاليل مانية تنمو فيها النباتات لتتغذى على ما فيها من عناصر) تم التعرف على أهمية العناصر الغذائية للنبات .

قسمت العناصر الغذائية الى مجاميع على اساس تأثير العنصر على نمو النبات وتركيبه ودوره في تكوين المحصول النهائي الى:

عناصر ضرورية :

وهي التي توجد في النبات بكمية كبيرة وكمية وجودها في التربة كافية لسد حاجة النبات منها وفي حالة عدم كفايتها لابد من اضافتها للتربة (التسميد) لتعويض النقص وحتى لا تعاني النباتات من الحرمان عند عدم اخذ كفايتها منها ، ولو اخذ النبات منها كمية اكبر من حاجته اليها فأنها تسبب له التسمم . وقد قسمت العناصر الضرورية الى مجموعتين هما:

العناصر الكبرى :

وهي ستة عناصر هي النيتروجين N, الفسفور P, البوتاسيوم K, الكالسيوم Ca, الماغنسيوم Mg, الكبريت S. بالإضافة الى الكربون C و الاوكسجين O₂ والايديوجين H⁺ الذي يحصل عليهم النبات من امتصاص غاز ثاني اكسيد الكربون CO₂ اثناء عملية التمثيل الضوئي والماء الميستخدم في نفس العملية

العناصر الصغرى :

وهي عناصر ضرورية ولكن لا يحتاجها النبات بكميات كبيرة وهي جميعها تعمل كعناصر منظمة للنمو حيث انها تعمل كمساعدات انزيمية Cofactor ولا تدخل في تركيب المركبات الأساسية للنبات (كربوهيدرات ، بروتينات ، دهون) كما في حالة سابقتها اي العناصر الكبرى ، والعناصر الصغرى ست عناصر هي الحديد ، والمنجنيز ، البورون ، الزنك ، النحاس ، الموليبدنيم . ويعتبر البعض أن الحديد عنصرا من العناصر الكبرى والبعض الآخر لا يعتقد هذا ويبدو ان الامر يتعلق بالنبات ففي حالة احتياج النبات لهذا العنصر بكميات كبيرة يعتبر عنصرا من العناصر الكبرى ، وفي حالة احتياجه بكميات قليلة يعتبر عنصرا من العناصر الصغرى . وهناك معيار اخر يمكن ان يحدد لنا مدى احتياج النبات وكونه من العناصر الكبرى ام الصغرى وهي نفس المعيار التي نحكم بها على كون المحلول المغذي محلول جيد يفي باحتياجات النبات . وهذا المعيار هو نسبة تركيز العنصر في صورته الايونية والتي تتفاوت مع نسبة الايونات في المحلول الأرضي للأراضي الخصبة التي تمد النبات باحتياجاته فلا يعاني من نقص اي من العناصر الضرورية وهي كالتالي

العناصر الكبرى

عناصر يحتاجها النبات بنسب كبيرة		عناصر يحتاجها النبات بنسب متوسطة		عناصر يحتاجها النبات بنسب قليلة	
الأيون	التركيز	الأيون	التركيز	الأيون	التركيز
NO ³⁻⁻	1000	Ca ⁺⁺	200	Mg ⁺⁺	50
K ⁺	500	So ₄ ⁻	200		
		H ₂ Po ₄ ⁻	100		

العناصر الكبرى

عناصر النبات كبيرة	عناصر النبات متوسطة	عناصر يحتاجها النبات بنسب قليلة	عناصر النبات قليلة جدا
الأيون	الأيون	الأيون	الأيون
Fe	Mn	Mg ⁺⁺	Mo
1.0	0.5	50	0.001
	B		
	0.5		

العناصر الغير ضرورية :

وهي التي ينطبق عليها شروط العناصر الضرورية بمعنى عدم تأثير نمو النبات بها ولا تدخل في تركيبه ولا تؤثر في المحصول النبات النهائي ولكنها ضرورية للإنسان ويظل لها دور في النبات وهو حفظ التوازن الأيوني داخل النبات، والعناصر الغير ضرورية هي الكلورين ، الصوديوم ، اليود ، السيلكون ، الألمونيوم

التعرف على الاحتياجات الغذائية للنبات:

اولا : تحليل الرماد:

يمكن التعرف على احتياج النبات من العناصر الغذائية بالكشف على ما يحتويه النبات النامي في ظروف ملائمة وفي تربة جيدة للوقوف على كمية العناصر في ذلك النبات . لكن تلك الطريقة غير مجدية حيث لا يوجد في الرماد سوى العناصر المعدنية لخروج بعضها في صورة غازية مثل الكربون والأيدروجين والأكسجين والنتروجين حيث تتطاير على هيئة ثاني أكسيد الكربون CO_2 وبخار ماء H_2O و أكسجين O_2 وأمونيا NH_3 . لذلك فبيانات تلك الطريقة غير موثوق بها بالإضافة لأخطاء التحليل الكمي إلا أنها تمدنا بنسب العناصر بعضها الى بعض فعلى سبيل المثال نجد تلك النسب كما في الجدول التالي عند تحليل الرماد

جدول يوضح نسب العناصر في رماد نبات الذرة

العناصر الكبرى			العناصر الصغرى		
نسب العناصر	العنصر	التركيز %	نسب العناصر	العنصر	التركيز %
النسب الكبرى	النتروجين	1.46	النسب الكبرى	الحديد	0.083
	البوتاسيوم	0.92	النسب المتوسطة	المنجنيز	0.35
النسب المتوسطة	الكالسيوم	0.23		البورون	غير مقدرة
	الكبريت	0.21	النسب القليلة	الزنك	غير مقدرة
	الفسفور	0.20		النحاس	غير مقدرة
النسب القليلة	الماغنسيوم	0.18	النسب القليلة جدا	المولبيدينم	غير مقدرة

ثانيا : مزارع المحاليل الغذائية

استخدمت تلك المزارع في الدراسات الجادة لمعرفة مدى احتياج النبات الى العناصر الغذائية الكبرى والصغرى

لأنه وجد من الصعب دراستها بالتربة لصعوبة التحكم فى المغذيات لذلك أستخدم الماء كوسط للزراعة وباستخدام أوعية زجاجية من نوع البوروسليكات أو البولى اثيلين المتعادل ثم أستخدمت المحاليل الغذائية لتنمية الجذور فيها مع التهوية أو اذابة الأوكسيجين فيما يعرف **Culture Hydroponics** وبالرغم من انها بدأت للدراسة فقط الا انها تطورت لتصبح وسيلة من وسائل الزراعة الغير تقليدية خاصة لانتاج النباتات البستانية مثل الخضروات ونباتات الزينة وبعض نباتات الفاكهة وذلك داخل الصوب الزراعية فى المناطق القاحلة أو تحت الاقبية أو فى الحدائق المنزلية أو فوق اسطح المنازل



شكل يوضح الزراعة فى الاوساط الغير تقليدية والمعروفة Hydroponics والمستخدمه فى الصوب والحدائق المنزلية وفوق اسطح المنازل

تأتى الخطوة التالية وهى تحضير المحاليل المغذية التى تحتوى على العناصر الغذائية الضرورية بكميات كافية لتلائم النبات النامى وبنسب معلومة وفى حالة ائزان (تساوى عدد الكاتيونات مع عدد الانيونات) وبالطبع لا يوجد محلول مغذى يصلح لجميع النباتات لاختلاف الاحتياجات الغذائية من نبات الى آخر ولاختلاف حاجه النبات من مرحلة الى أخرى ولكون النبات النامى كائن حى فأن له اختيارية فى الامتصاص وهو ما يجعل بعض النباتات تلائمها بيئة دون غيرها

يجب تغيير المحلول الغذائى من آن الى آخر للأسباب التالية :

- بقاء المجموع الجذرى فى المحلول الغذائى لفترة طويلة يغير من تركيز العناصر به ويخل توازنها
- امتصاص الماء منها يزيد الضغط الاسموزى للمحلول المتبقى
- تغير pH المحلول نتيجة تنفس الجذور وخروج ثانى اكسيد الكربون الذى يتحول الى حمض الكربونيك والذى يعمل على تعديل الرقم الايدروجينى وهو ما يدعونا الى تغيير المحلول من آن الى آخر
- غسيل احواض الزراعة حتى لا تنمو فيها الفطريات

ثالثا : دراسة اعرض نقص العناصر على النبات

دراسة نقص العناصر وسيلة لتحديد حاجة النبات للتغذية الا انها طريقة غير سليمة للاعتبارات التالية :

- ١ - اعراض نقص عنصر ما ليست متشابهة في جميع النبات بل تختلف من نبات الى اخر . وان وجدت اعراض عامه مشتركة
- ٢ - تختلف اعراض نقص العنصر في النبات الواحد من طور نمو الى اخر
- ٣ - في حالة نقص اكثر من عنصر يصعب تحديد الاعراض حيث تتداخل مظاهر الاعراض للعناصر وايهما هي المسببة للأعراض وتحتاج المسئلة الى خبرة عالية وفي نفس الوقت لا يعتمد عليها بدقة في تعويض النقص في تغذية العناصر
- ٤ - هناك تأثيرات متبادلة للعناصر وتأثيرها على بعضها
- ٥ - تتشابه أعراض نقص العناصر مع أعراض نقص الرى أو أضرار الرش بالمبيدات الحشرية والمرضيه ، وأعراض سوء الأحوال الجوية .

الاعراض العامة لنقص العناصر الغذائية على النباتات

اولا : اعراض نقص تظهر على النبات كله

إذا كان المجموع الخضرى اخضر فاتح فى الأوراق العليا وبالنزول نجدالأوراق صفراء ، اما الأوراق السفلية فنجدها بنية اللون . وعلى الأرض نجد أوراق ميتة وملقاه على الأرض . فيكون ذلك نقص عنصر النيتروجين يرجع الأصفرار الى هدم الكلوروفيل وقد تظهر الالوان الارجوانية علىالاعناق بعد اختفاء الكلوروفيل فتظهر لون صبغات الانثوسيانين

إذا كان المجموع الخضرى ذو لون أخضر داكن مع وجود نقط حمراء فى الأوراق العلوية وعند النزول على النبات نجد الأوراق ذات لون بنى مخضر وبالنزول أكثر نجد الأوراق لونها اسود . اما الأوراق المسنة فتموت وتقع على الأرض فتكون هذه اعراض نقص الفسفور

-

ثانيا : اعراض نقص تظهر على الاوراق السفلى وتظل الاوراق العليا سليمة

أ - الأوراق العلوية سليمة والسفلية صفراء وعليها بقع من انسجة ميتة بنية . فيكون نقص العنصر متوقف على مكان البقع الميتة

✓ إذا كانت البقع الميتة البنية على حواف الورقة يكون النقص هو البوتاسيوم

✓ إذا كانت البقع الميتة البنية بين العروق بنصل الورقة يكون النقص هو الزنك

ب - إذا كانت الأوراق السفلية صفراء بدون بقع ونصل الورقة ملتف على بعضها وتأخذ شكل الطبق ، يكون أعراض النقص هو الماغنسيوم

ثالثا : اعراض نقص تظهر على الاوراق السفلى وتظل الاوراق السفلية سليمة

أ - تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم الطرفي يظل حيا

الأوراق خضراء داكنة مع ذبول الأوراق العلوية بدون اصفرار والنصل منحنى فتكون هذه أعراض نقص النحاس

الأوراق صفراء مع تواجد بقع متحللة بوضع منتظم في شطرى الورقة . فيدل ذلك على نقص المنجنيز

الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطى أخضر فاتح فيكون النقص للكبريت

الأوراق صفراء وبدون بقع والعرق الوسطى أخضر داكن فيكون النقص الحديد

ب - تظهر الأعراض على الأوراق العلوية والبرعم الطرفي ميت

الأوراق الطرفية تأخذ شكل خطاف مع تفصيل النصل

فتكون الأعراض لنقص الكالسيوم

الأوراق الطرفية سليمة اما قاعدة نصل الورقة تأخذ اللون الأخضر الغامق وعليها نقط حمراء نتيجة ظهور صبغة الأنثوسيانين نتيجة ضعف عمليات التمثيل الكربوهيدراتى فيكون ذلك أعراض نقص البورون

اهمية العناصر وتواجدها

النيتروجين

يدخل النيتروجين في تركيب جزئى البروتين حيث يدخل اولا في صورة مجموعة امين بتركيب الحمض الامينى وعلى فهو يدخل في تركيب كل المركبات التى تتكون منها الاحماض الامينية مثل الانزيمات الذى يشكل البروتين الجزء الاساسى في بنائها كما يدخل النيتروجين في بناء الاغشية الخلوية حيث تحتوى على جزء بروتينى ، كما يدخل في بناء الاحماض النووية لوجود القواعد النيتروجينية في تركيبها مثل قواعد البريميدين والبيورين ، كما يدخل في بناء المرافقات الانزيمية لانه يدخل في بناء الفيتامينات وهى الشق النشط في المرافق الانزيمى ، كما يدخل النيتروجين في البورفيرينات والتى تكون مركبان غاية في الاهمية للنبات الاول هو جزئى الكلوروفيل الهام لعملية التمثيل الضوئى والثانى في تكوين السيوكرومات اللازمة لأتمام عمليات التأكسد الطرفى في التنفس التى تقوم بدور مضخة لامتناس للانيونات من التربة اثناء الامتناس النشط للاملاح ، كما يدخل النيتروجين في بناء المركبات الحاملة للطاقة والمالحة لها مثل ATP

الفسفور

يوجد كمكون أساسى للأحماض النووية التى تحتوى على شق قاعدى هو القواعد النيتروجينية وسكر خماسى وحمض الفوسفوريك ، كما يدخل الفوسفور في تكوين الفوسفوليبيدات والمرافقات الانزيمية مثل NAD, NADP كما يدخل في بناء المركبات الغنية بالطاقة مثل ATP

البوتاسيوم

لا يدخل البوتاسيوم في تركيب اى مركب من مركبات الخلية النباتية او من المركبات العضوية بالنبات الا انه له دور هام جدا في فسيولوجية النبات منها :

٧ للبوتاسيوم دور في فتح وغلق الثغور وبالتالي فهو المتحكم في التوازن المائى داخل النبات

٧ البوتاسيوم منشط اساسى للانزيمات المصاحبة لتمثيل الروابط الببتيدية فعند نقصه يضعف تكوين البروتين مما يودى الى تترام الكربوهيدرات والذى كان يجب ان يستهلك في بناء البروتين " حيث ان البروتين يتكون من هيكل كربونى اتى من الكربوهيدرات في صورة الاحماض الكيتونية التى يتم تركيب مجموعات الامين عليها "

٧ يعمل كمنشط لعديد من الانزيمات التى تصاحب تمثيل الكربوهيدرات ونجد ان السيادة القمية تختفى عند نقص البوتاسيوم

٧ يعتبر البوتاسيوم وزير المواصلات داخل النبات فهو المنظم لحركة الذائبات بدأ بالماء الحر الى الكربوهيدرات من الاوراق والى الثمار والازهار والدرنات لذلك نقصه يودى حتما الى نقص المحصول وتساقط الازهار والثمار لنقص المدد الكربوهيدراتى والهرمونى الذى يساعد البوتاسيوم على نقله

الكالسيوم

يدخل في تركيب الصفيحة الوسطية التى تتركب كيميائيا من بكتات الكالسيوم وهو هام لتكوين الاغشية الخلوية ، وقد اقترح أن الكالسيوم يشترك في تنظيم الكروماتين على المغزل اثناء الانقسام الميتوزى وينشا الانقسام الشاذ نتيجة نقص الكالسيوم ، كما وجد أن له دورا في تنشيط لبعض الانزيمات مثل

Arigenin kinase , Adenozine triphosphatase

الكبريت

يدخل في تركيب البروتين في صورة الأحماض الأمينية الحاملة للكبريت مثل السستين و السستين والمثيونين ، كما يقوم الكبريت بالربط بين البروتينات عن طريق رابطة ثنائية الكبريتيد ، كما يدخل الكبريت في بعض الفيتامينات مثل البيوتين والثيامين والمرافق الانزيمي أ . كما أن الكبريت يمثل المركز النشط لكثير من الأنزيمات التي يكون احدى مراكزها مجموعة السلفهيدريل وله دور في التمثيل الضوئي وأيض النيتروجين

المغنسيوم

هو من مكونات الكلوروفيل ، كما يدخل في تنشيط العديد من الأنزيمات أثناء الأيض الكربوهيدراتي وهو منشط للأنزيمات التي تصاحب تمثيل الأحماض النووية ويعتقد ان دورة التنظيمي يكون من خلال ارتباطه بكل من ATP والأنزيم ليكون معقد مخلبي (الأنزيم ، المغنسيوم ، البيروفوسفات) . في بعض الحالات يحل المنجنيز محل المغنسيوم كمعاون انزيمي كما يقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات تثبيت ثاني أكسيد الكربون لكل من انزيمي phosphoenolpyruvate carboxylase, Ribulose 1,5 diphospho carboxylase وقد يكون هو عامل الربط لدقائق الريبوزومات عند تكوينها للبروتينات أثناء عملية الترجمة

الحديد

يدخل الحديد الى النبات في صورة حديدك الا أن الصورة النشطة هي الحديدوز حيث يدخل في تركيب السيتوكرومات . تلك المركبات التي تساهم في انسياب الالكترونات في الميتوكوندريا أثناء التنفس الطرفي أو أثناء انتقال الألكترون من النظام الصبغي الأول وهي يرجع الألكترون مرة أخرى خلال الأكسدة الضوئية الدائرية Cyclic photophosphorelation ويصاحب الحديد انزيمات تمثيل الكلوروفيل الذي يعتمد في تمثيلة على اما المغنسيوم او الحديد كما يوجد الحديد في كل مكونات الفلافوبروتين

المنجنيز

هو عنصر من العناصر الصغرى يقوم بدور العامل المساعد للأنزيمات في عمليات التنفس وأيض النيتروجين فهو على سبيل المساعد co-factor لأنزيم malic dehydrogenase بدور كربس ، وكذلك decarboxylase oxalal succinic كما يلعب دورا في اختزال النترات حيث يعمل كمعادن أنزيمي لأنزيم nitrite reductase وأنزيم hydroxylamine reductase كما أن له دور في هدم أو أكسدة الأوكسين الطبيعي حيث يعمل كمعاون انزيمي لأنزيم indole-3-acetic acid oxidase كما يدخل في انتقال الألكترون من الماء الى الكلوروفيل في تفاعلات الضوء للتمثيل الضوئي

البورون :

يلعب دور في انتقال الكربوهيدرات داخل النبات . حيث يكون مع الكربوهيدرات معقد بوراتي يسهل الانتقال عبر الأغشية الخلوية لذلك فنقصه يسبب أعراض مشابهة لنقص أعراض السكر وهي موت القمم النامية والجذور وتساقط الأزهار وهي الأعضاء النشطة أيضا لم تثبت ان له دورا آخر غير انتقال السكريات حتى الأبد .

الزنك :

يلعب الزنك دورا أساسيا في تمثيل التريبتوفان وهو منشأ الأوكسين وبالتالي في تمثيل الأوكسين الطبيعي في النبات. كما يساعد على تفاعل السيرين مع الاندول لتكوين التريبتوفان . كما ان له دور منشط للعديد من الأنزيمات مثل carbonic anhydrase الذي يحلل حمض الكربونيك الى ثاني أكسيد الكربون والماء كما ان له دور مع أنزيمات الأكسدة والاختزال . وفي الأنزيمات الناقلة الفوسفات مثل hexose kinase

كما يدخل الزنك في تكوين اصابع الزنك في عوامل النسخ المسنولة عن البحث عن صندوق TATA والتي تحدد أماكن نسخ الجينات لإنتاج البروتينات في عملية الترجمة والنسخ وتكوين الجديد من mRNA

النحاس :

يعمل النحاس كمكون لأنزيمات phenolases, ascorbic acid oxidase كما انه يعمل كحامل للاكترون في عمليات التمثيل الضوئي كما تحتوى البلاستيدات الخضراء على بروتينات بها نحاس تسمى plastocyanin

اما الدور الاساسى فهو عمليات الاكسدة والاختزال التى تقوم بها مجموعة انزيمات phenolases والتى تحرر الفينولات كمادة مقاومة ومهاجمة للكائنات الممرضة وعند الاصابة الحشرية فهى بمثابة الجهاز المناعى لحماية النبات .

المولبدنيم

يلعب دورا هاما فى تثبيت غاز النيتروجين ، كما يلعب دورا هاما فى اختزال النترات داخل لتكوين النشادر واللازم لتكوين الأحماض الأمينية أثناء تمثيل البروتين.

امتصاص العناصر الغذائية

كما سبق الاشارة اليه توجد العناصر الغذائية فى التربة اما فى صورة مركبات معدنية او عضوية ذائبة فى محلول التربة على صورة ايونات موجبة الشحنة الكهربائية تعرف بالكاتيونات مثل ص⁺ ، يد⁺ ، بو⁺ ، ك⁺⁺ ، مغ⁺⁺ ، ح⁺⁺⁺ . نح⁺⁺ ، من⁺⁺ ، ز⁺ او فى صورة ايونات سالبة تعرف بالانيونات مثل ن^{٣-} ، كب⁻ ، أ⁻ ، أيد⁻ ، يدك^{٣-} وقد يمتص العنصر فى صورة مخليبية

تتحول العناصر الغذائية من صورتها الصلبة سواء كانت على معدن الطين او مضافة عند التسميد فى صورة سماد ملهى الى الصورة السائلة بثلاث اليات هما

١- الأذابة ٢- التبادل ٣- الخلب

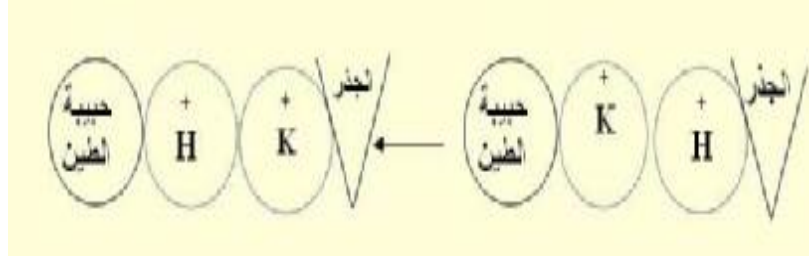
الأذابة حيث تذوب الاملاح بالتربة فى الماء ويساعد الأذابة ارتفاع درجة حرارة التربة وكلما توفر ثانى أكيد الكربون تحول لحمض الكربونيك المانح للايدروجين البدول الذى يساعد الاملاح التى لا تذوب الا فى الوسط الحمضى

التبادل حيث تتبادل الايونات المدمصة على اسطح الغرويات سواء كانت معادن الطين الغروية او المادة الدبالية بالتربة مع الايونات المذابة فى محلول التربة مثل ايونات الايدروجين الناتجة من حمض الكربونيك لتتبادل بدورها مع ايونات الايدروجين الموجودة على اغشية خلايا الجذر والناتجة من مضخة السيوتوكروم لتتمكن الايونات من الدخول للجذر

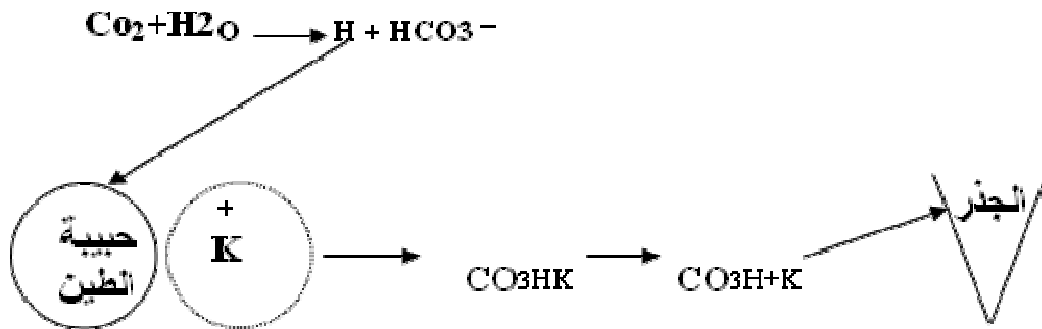
الخلب وهو اتحاد انيون عضوى مع كاتيون معدنى فييسر امتصاصه دون التعرض للتثبيط او الادمصاص على اسطح الغرويات فلا يتأثر بظروف الاكسدة والاختزال بالتربة مثل اتحاد انيون الحديدوز الميسر Fe^{++} مع انيون الطرطريك فيصبح الحديدوز فى صورة مخليبية ولا يتحول الى الحديدك Fe^{+++} الغير ميسر للامتصاص

الانتقال :- Translocation

١- يتم الانتقال من التربة إلى الجذر بطريقتين.

أ- التبادل بالتلامس

يتم انتقال الأيون من حبيبة الطين إلى الجذر بدون تدخل الكتروليتات حرة أي أن الأيون قد يدمص على جذور النبات بدون أن يحتاج للذوبان أولاً في محلول التربة فالأيون إلكتروستاتيكياً على الجزيء الصلب مثل حبيبة التربة أو جذر النبات لا يكون ممسوكاً بقوة شديدة بل يكون مفصلاً عنه بفراغ معين ولو صفر . فلو أن جزيئان مدمصان (الجذور و حبيبة التربة) كانا بالقرب الكافي فأن الفراغ الفاصل بين الأيون الممتص على أحد الجزيئات قد يتدخل مع الفراغ الفاصل لأيون ممتص على حبيبة أخرى وبالتالي قد يحدث تبادل للأيونات على الحبيبات. يمتص النبات الأيونات بواسطة مجموع النبات الجذري بواسطة عدة اليات للامتصاص

ب- نظرية حمض الكربونيك

يقوم محلول التربة بدور هام حيث يكون هو وسط التبادل الايوني بين الجذر وحبيبة التربة وحسب هذه النظرية فإن ك أ ٢ الناتج من تنفس الجذور يتحول في التربة إلى حمض كربونيك بعد اتصاله بمحلول التربة وهنا يتحلل إلى كاتيون يد+ وانيون يدك أ ٣ وبينما ينتقل أيون الأيدروجين إلى حبيبة التربة يتحرر أحد الكاتيونات المدمصة عليها ويدخل إلى الجذر كاتيونات في محلول التربة أو محمولاً في صورة بيكربونات .

تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشط معاً. حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشط إلى الحيز الداخلي space inner

الامتصاص السلبي Passive absorption

يحدث الامتصاص عن طريق الاتصال المباشر بين حبيبات التربة أو محلولها والمجموع الجذري وكثيراً ما لوحظ أنه عن نقل أنسجة النبات من وسط يحتوي على تركيز منخفض من الأملاح إلى وسط يحتوي على تركيز ملحي مرتفع فإنه يحدث الامتصاص uptake سريع للأيونات أي تنتقل الأيونات من الوسط الأكثر تركيزاً إلى الوسط الأقل تركيزاً داخل النبات حتى يحدث الاتزان عندما يتساوى نشاط الأيون في جميع أجزاء المحلول الداخلي والخارج ويسمى ذلك بالانتشار البسيط Simple diffusion ويعقب ذلك فترة من الامتصاص البطيء المستقر

والذي يخضع للنشاط الأيضي والامتصاص الأول السريع لا يتأثر بدرجة الحرارة ولا بمثبطات التمثيل الغذائي أي أن الطاقة الأيضية لا تتدخل في هذه الخطوة ولو أعيد النسيج بعد ذلك إلى وسط ذو تركيز منخفض من الأملاح فإن بعض الأيونات الممتصة سوف تخرج إلى الوسط الخارجي وبعبارة أخرى فإن جزء من الخلية أو النسيج المغمور في المحلول الملحي سوف يكون معرضاً لخروج الأيونات منه بطريقة حرة حتى يتم حدوث توازن بين الأيونات بصورة ما داخل وخارج الخلية أو النسيج والمحلول الخارجي وهذا الجزء من النسيج المسموح له بالخروج الحر للأيونات يرمز له باصطلاح الحيز الخارجي outer space وهو بصفة عامة يعتبر جدار الخلية وجزء من السيتوبلازم .

العوامل المؤثرة على الامتصاص السلبي:

1-التبادل الأيوني Adsorption exchange

2-توازن دونان Dannaan equilibrium

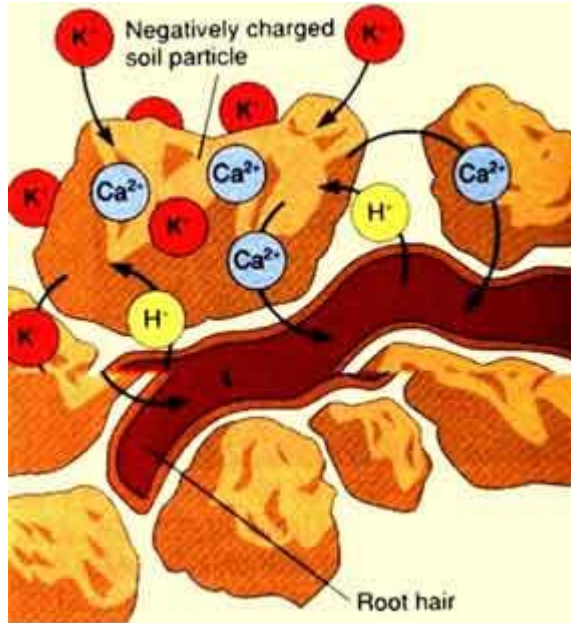
3-الانسياب الكتلي Adsorption exchange

4-تبادل الأيونات بالتلامس The contact Exchange

1-التبادل الأيوني Adsorption exchange

الكاتيونات الممسوكة على غرويات التربة يلزم لكى تترك السطوح الغروية ان تتبادل مع كاتيونات اخرى وتلك الكاتيونات الاخرى لها مصدران ١ - الكاتيونات الحرة فى محلول التربة ٢ - الأيدروجين الخارج من سطوح جذور النبات

ومن ناحية اخرى فقد يكون أيدروجين الجذور ممسوكا هو الآخر على السطوح الفعالة لهذه الجذور على نقط خاصة على هذه السطوح تعرف بمراكز التبادل ولكى يصل هذا الأيدروجين الى كاتيونات التربة المتبادلة على أسطح الطين لابد ان يتبادل اولاً مع الكاتيونات الحرة فى المحلول الارضى لذلك ظهر ما يعرف بنظرية ثانى أكسيد الكربون وملخصاً ان CO₂ حول الجذور والنااتج من تنفسها او من تنفس الكائنات الحية الدقيقة الموجودة فى التربة عند ذوبانه فى الماء يتحول الى حمض الكربونيك الذى يتأين الى كاتيونات الأيدروجين وانيونات البيكربونات ثم يتبادل الأيدروجين مع الكاتيونات الغذائية المدمصة على أسطح غرويات التربة فتتسبب فى محلول التربة ليمتصها الجذر بالانتشار البسيط تبعاً لتدرج التركيز او تتبادل الكاتيونات على أسطح أغشية الجذر مع الأيدروجين الخارج من الجذور من خلال مضخة السيوتكروم وعند امتصاص الكاتيونات يخرج بدلا منها انيونات أيد - والتي تتبادلا بدورها مع انيونات اخرى مثل الكبريتات او النترات ... الخ وعادة



شكل يوضح التبادل الكاتيوني بين الكاتيونات المدمصة على حبيبات الطين والايديروجين المدمص على الشعيرلت

يحدث التبادل الايوني بين الأيونات المتماثلة فى الشحنة او يتبادل ايونين أحادى التكافؤ مع أيون ثنائى التكافؤ

وظهرت معرضة لتلك النظرية حيث ان لو فرض ان الامتصاص يتم بالآلية السابقة فيجب بناء على ذلك ان يكون من معلق الطين يساوى الامتصاص من مستخلص هذا المعلق الناتج من تشبعة بغاز CO₂ الا انه اتضح ان الامتصاص من المعلق يزيد كثيرا على الامتصاص من مستخلص حمض الكربونيك لهذه المعلقات وقد فسر هذا النقض عن طريق نظرية تبادل الأيونات بالتلامس.

2- توازن دونان **Dannan equilibrium**

يتم الاتزان ويقف الامتصاص تبعاً لتلك النظرية إذا كان حاصل ضرب التركيز الجزئي للكاتيونات والأنيونات في جانب من غشاء ما يساوي حاصل ضرب تركيزها في الجانب الآخر . فلو أن الغشاء كان منفذاً للكاتيونات والأنيونات سوف تنتشر من المحلول الخارجي مختركة الغشاء حتى تصل إلى حالة استقرار ويكون الوضع متوازن كهربياً إلا أن هناك حاجة إلى كاتيونات إضافية لمعادلة الشحنة السالبة للأنيونات المثبتة على السطح الداخلي للغشاء وعلى ذلك فإن تركيز الكاتيونات سوف يكون أعلى في المحلول الداخلي وسوف يكون أقل من تركيزها في المحلول الخارجي . وهذا يمكن أن يفسر تراكم الأنيونات عند وجود تدرج في التركيز وظهور حالات الاستقرار أو التعادل بدون تدخل الطاقة التمثيلية.

3- الانسياب الكتلي **Mass Flow** :-

يتسبب الماء الخارج من الثغور في سحب تيار من الماء يبدأ من الثغر وينتهي إلى الجذر ثم محلول التربة وهذا التيار يتسبب في زيادة امتصاص الأيونات إما بصورة غير مباشرة عن طريق تحريك الأيونات بعد خروجها من أوعية الخشب مما يتسبب في زيادة نشاط الامتصاص الأيوني أو بصورة مباشرة بانسياب تيار الماء حاملاً الأيونات من المحلول الأرضي خلال الجذور إلى الأفرع وقد تأيد تلك النظرية بتعريض الجذور لضغط هيدروستاتيكي فكانت النتيجة زيادة الأيونات الممتصة

4- تبادل الأيونات بالتلامس **The contact Exchange** :-

فسر تلك النظرية القصور في امتصاص الكاتيونات عن طريق نظرية CO₂ فالامتصاص يتم أحياناً بدون وجود الكاتيون في محلول التربة أو عند pH مناسب ليحدث الامتصاص نتيجة لفرق الجهد ولكن تستطيع الجذور أخذ الكاتيونات مباشرة دون المرور بالمحلول الأرضي فكل أيون مدمص له حقل يتذبذب فيه **Field Oscillation** فإذا تداخل مع مجالذبذبة لأيون آخر مدمص على سطح غروي آخر أو على أسطح الأغشية السيتوبلازمية للجذور فإنه يحدث التبادل وبهذا يمكن أن تنتقل الأيونات مباشرة من حبيبة الطين إلى الجذر حيث أن الجدار جدار السليولوز ليس خاملاً حيث لارتباطه بمجموعة حامضية والجدار السليولوزي غير نقي لتخلل المسافات البينية له بالجنين والمواد البكتينية والتي لها خواص تبادلية

الانتقال النشط :-

لوحظ أن امتصاص الأيونات يحدث بدون تدخل الطاقة الأيونية إلى حد معين ثم يستمر بعد ذلك بصورة لا يمكن لنظريات الامتصاص السلبي تفسيرها وهذا الامتصاص التالي يحدث فيه تراكم للأيونات ضد تدرج التركيز ويتم تثبيطه عندما يكون النشاط الأيضي للنبات مثبطاً بالحرارة المنخفضة أو تركيز الأكسجين المنخفض أو المثبطات الأيضية.... الخ . وهنا يمكن افتراض أن التراكم الأيوني في النبات يحتاج إلى طاقة أيضاً وانتقال الأيونات بالاستعانة بالطاقة التمثيلية ويرمز له باصطلاح الامتصاص النشط **Active Transportation** عن طريق حوامل **Carrier** موجودة في الأغشية الخلوية.

ما هو الحامل **Carrier Concept** ؟

أعتقد البعض أن هناك ممرات خلال المنطقة بين الحيز الخارجي والداخلي للخلية لا تكون منفذة للأيونات الحرة تحتوي على حوامل منخفضة هذه الحوامل ترتبط مع الأيونات في الحيز الخارجي ثم تتخلص منها في الحيز الداخلي وأكثر ملامح نظرية الحوامل أهميه هو افتراض وجود معقد الحامل والأيون وهو مركب يمكنه التحرك خلال الغشاء الغير منفذ السابق ذكره وعند تتحرك الأيونات ولا تستطيع الحامل الحركة مره أخرى للخارج وعلى ذلك يتم تراكمها بينما يعود الحامل فارغاً . وهناك ثلاث خصائص تؤيد بشده صدق مفهوم الحوامل.

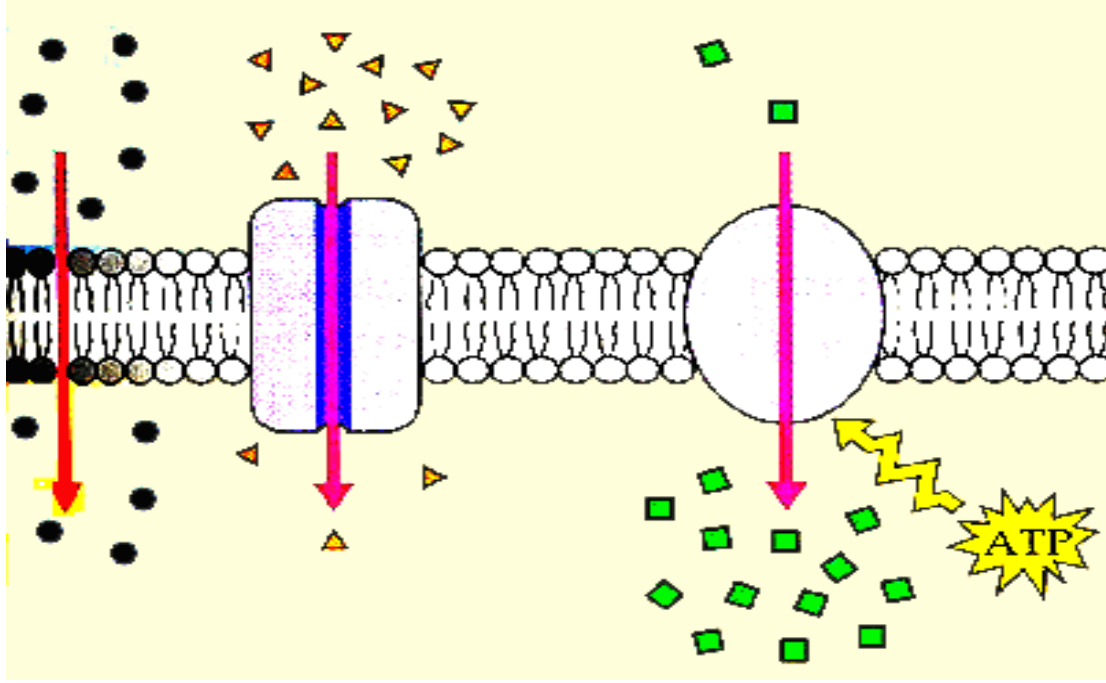
1- تبادل النظائر **Isotopic Exchange** :-

وجد أن الأيونات الممتصة امتصاصاً نشيطاً تكون غير قابلة للتبادل مع الأيونات من نفس النوع في الحيز الخارجي أو الوسط الخارجي وقد لوحظ ذلك باستخدام النظائر المشعة مما يدل على أن الغشاء ذو مناعة مرتفعه للانتشار الحر للأيونات وحيث أن الأيونات تمتص فإن حركتها خلال الغشاء يجب أن تمر بواسطة وسيط هو الحوامل.

وقد تم دراسة امتصاص الكبريت المعلم كب ٣٥ بواسطة جذور الشعير ووجد أن الكمية الممتصة يمكن أن تفصل إلى جزئين :-

1- كمية تمتص بالانتشار

2- كمية تمتص بالامتصاص النشط
كما وجد أن الكمية الممتصة بالانتشار يمكن أن تخرج عند غمر النسيج في الماء خروجا حرا بينما الكمية الممتصة امتصاصا نشيطا لا تخرج إلى الماء كما لا يمكنها التبادل مع أيونات كبريت عادية في محلول كبريت غير مشبع



الامتصاص النشط الانتشار بالمساعدة انتشار خلال الاغشية الدهنية
الامتصاص النشط

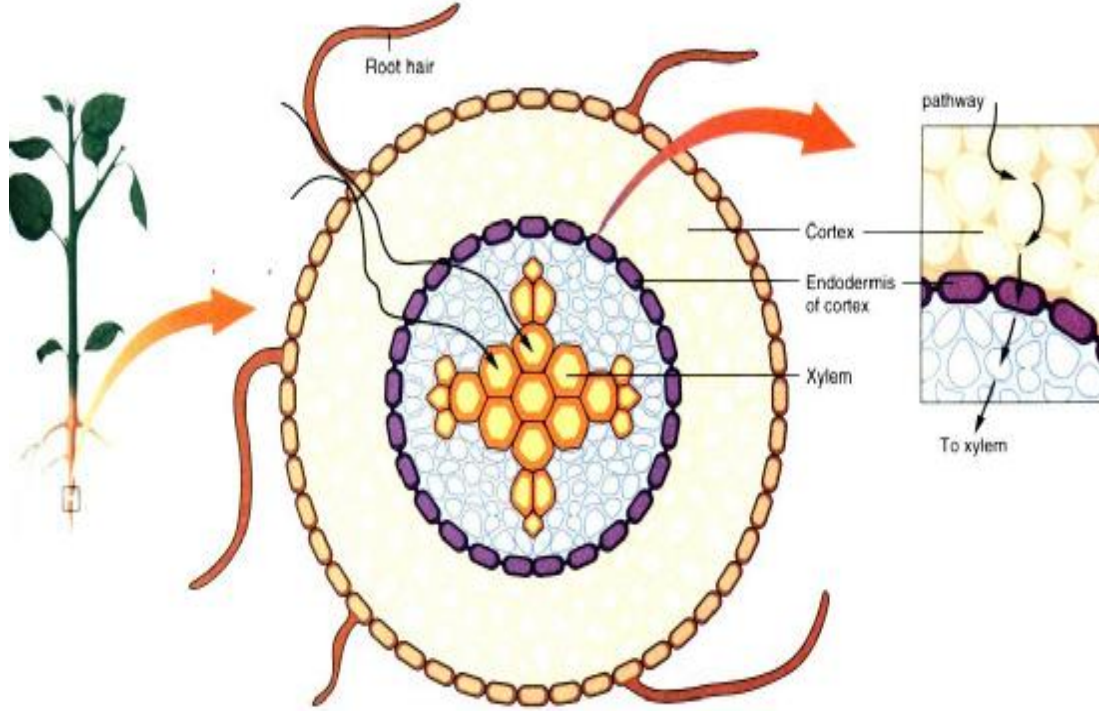
شكل يوضح انواع الامتصاص حيث يمتص النبات مغذياته بطريقتين اما امتصاصا سلبيا او امتصاصا نشطا

الامتصاص تقف عند حد معين أو عند نقطة التشبع عندها تكون جميع المواضع النشطة على الحوامل محتلة ، وهي حالة متشابهة لتأثير التشبع المعروف في التفاعلات الأنزيمية ، وهناك حقيقة تقول ان مستوى المعدل الأقصى للامتصاص يمكن أن يستمر لفترة طويلة نسبيا يؤيد وجود عدد محدود من الحوامل العاملة بأقصى كفاءه بمعنى أن المواضع النشطة على الحوامل تكون مشغولة طول الوقت . وبمجرد أن يتخلص أحد الحوامل من الأيون في الحيز الداخلي فإنه في الحال يتم انشغاله بأيون آخر من منطقة الحيز الخارجي للنسيج وعلى ذلك فإنه عند نقطة التشبع تظل الدورة مستمرة ولا يمكن أن تعمل بسرعة أكبر لو أن تركيز الأملاح تزايد.

3 - التخصص Specificity :-

الجذور تمتص الأيونات اختياريا بمعنى أن معدل امتصاص الأيونات يختلف كما يختلف معدل تراكمها في أنسجة الجذور مما يؤيد وجود الحوامل المتخصصة Specificity Carriers هذه الخاصية ترتبط بالأيونات ذات السلوك الكيمائي الغير متشابه إلا أنها لا تظهر مع الأيونات المتشابهة أو تكون ضعيفة الأثر فمثلا الكاتيونات الأحادية مثل البوتاسيوم والسيزيوم والروبيديوم تتنافس مع بعضها على نفس موضع الالتحام على الحامل أي أن معدل امتصاص الروبيديوم يمكن أن يخفض بإضافة مزيد من البوتاسيوم أو السيزيوم إلى المحلول المغذي وزيادة تركيز الروبيديوم يمكن أن يتلاشى الأثر المثبط للكاتيونات الأخرى ومما يؤيد وجود مواضع التحام مختلفة أن وجود زيادة من الصوديوم لا يثبط امتصاص الروبيديوم ، كذلك فإن السلينات تثبط امتصاص

الكبريتات بينما لا تؤثر على امتصاص الفوسفات أو النترات . وهي حالة تتشابه أيضا مع علاقة الأنزيم السيسترات حيث يفسر على أساس انتقال المواضع الفعالة في الأنزيم.



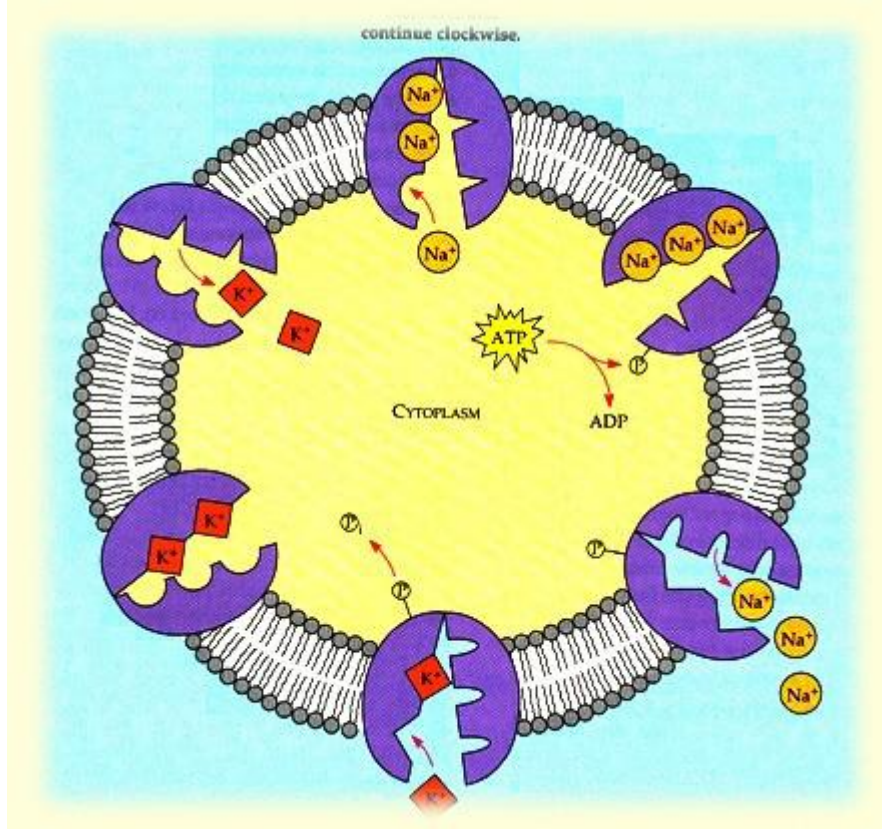
ميكانيكية الامتصاص النشط
هناك ميكانيكيتان محتملتان لعمل الحوامل:-

1- مضخة السيستوكروم Cytochrome Pump :

لوحظ Hoagland واخرين أن غمر النسيج في محلول محلي يتسبب في زيادة معدل التنفس وهو ما يسمى بالتنفس الملحي وان امتصاص الاملاح يعتمد على التنفس وهي ما قاد Lundagardh 1950 إلى نظرية تصيغ العلاقة السابقة ومحتواها هو ان الامتصاص يحدث من خلال السيستوكروم او كسيديز هذا بالاضافة الى ان السيستوكروم قد يكون حاملا للأيونات وقد تأكد من ذلك عندما وجد ان الامتصاص يثبط بتثبيط التنفس بمثبطات السيستوكروم او كسيديز فالحديد بالسيستوكروم يغير تكافؤه من ثنائي الى ثلاثي والعكس فأذا كان ثلاثي ح +++ يأخذ الكترول او انيون سالب ليصبح ح ++ والعكس وان مصدر الأيدروجين هو الأحماض العضوية الموجودة بجدار الاندوبلاست تحت تأثير أنزيم Dehydrogenase

وعلية فان:

- 1- امتصاص الأيونات يعتبر مستقلا عن امتصاص الكاتيونات وكلاهما يحدث عن طريق ميكانيكيات مختلفة
 - 2- يوجد تدرج في تركيز الأكسجين من السطح الخارجي الى السطح الداخلي للغشاء منها عند السطح الداخلي .
 - 3- الانتقال الفعلي للأيونات يحدث من خلال نظام السيستوكروم .
- وحيث أن هناك علاقة كمية بين امتصاص الأيونات والتنفس الملحي وهذه العلاقة لا تظهر عند امتصاص الكاتيونات فقد افترض أن أيونات فقط تنقل انتقالا نشيطا . وتثبط التنفس الملحي وما يترتب عليه من تثبيط امتصاص الأملاح بواسطة أول أكسيد الكربون قادت لاند جارد لان يفترض أن انتقال الأيونات يتم بواسطة السيستوكروم او كسيديز وبالتالي فإن السيستوكروم قد يكون من الحوامل الأنيونية.



شكل يوضح الية الامتصاص تبعا لنظرية الحوامل او نظرية مضخة السيوتوكروم التي تفترض وجود حامل ينشطه ATP يغير من شكله فينفتح على الخلية من الداخل ليمتص منها الصوديوم ثم يغير من شكله ليفرز الصوديوم خارجها ويمتص بدلا منه البوتاسيوم او اى كاتيون آخر ثم يغير شكله مرة أخرى ليتمكن من افراز الكاتيونات داخل

نظرية لاند جارد

- هناك علاقة بين التنفس وامتصاص الأيونات
- أن الأيونات تمتص امتصاصا نشطا.
- أي تثبيط للتنفس الملحي يسبقه تثبيط لامتصاص الأيونات.
- امتصاص الأيونات يتم بواسطة السيوتوكروم أو الاكسيديز لذلك افترض أن السيوتوكروم من الحوامل الايونيه

تفسير نظرية لاند جارد:-

وطبقا لنظرية لاند جار يتفاعل أنزيم الديهيدروجينيز على السطح الداخلي بإنتاج بروتون F^+ والكثرون e^- يتحرك الإلكثرون إلى الخارج عن طريقي سلسله السيوتوكرومات بينما يتحرك البروتون إلى الداخل . وعلى السطح الخارجي للغشاء يتم أكسدة الحديد الذي كان قد أختزل بالسيوتوكروم فيفقد الكثرون ويتكون أنيون يتحد الإلكثرون المتحرر مع بروتون والأكسجين مكونا جزئ ماء وعلى السطح الداخلي يصبح الحديد المؤكسد بالسيوتوكروم مختزلا بإضافة الإلكثرون الناتج من تفاعل الديهيدروجينيز ويتحرر البروتون إلى الداخل أثر هذا التفاعل . أما للكاتيونات فإنها تمتص امتصاصا سلبيا لموازنة فرق الجهد الناتج عن تراكم الأنيونات على السطح الداخلي

الاعتراضات:-

- رغم أن نظرية الانتقال بالسيوتوكروم تعطي صوره واضحه عن كيفية مساهمة الطاقة التمثيلية في امتصاص الأيونات إلا أنها لم تلقي قبولا عاما وواجهت اعتراضات محرجه مثل:-
- لوحظ أن أحد مثبطات الفسفرة الأكسجين وهو مركب يزيد من التنفس وفي نفس الوقت يقلل من امتصاص الأملاح . وذلك يعني أن الفسفرة يجب أن تكون ضمن أي نظريه تفسر تراكم الأملاح.
- كما لوحظ أن الأنيونات ليست هي فقط التي تشجع التنفس لأن أيونات كلا من الصوديوم والبوتاسيوم تشجع التنفس.

• وأخيرا ، لو أن هناك حامل واحد فقط لكل أنيون لكان من المؤكد أن يظهر تنافس بين الأنيونات على شغل موضع الالتحام ولكن على العكس (وكما ذكر من قبل) فإن الأنيونات مثل الكبريتات والنتروفوسفات لا تتنافس مع بعضها.

(2) ميكانيكية الحوامل

أقترح 1956 Bennet – Clark ميكانيكية الامتصاص النشط للأملاح يستخدم فيها ATP وفيها اقتراح بأن الفوسفوليبيدات قد تكون هامة لانتقال الأيونات خلال الأغشية التي تعتبر غير منفذة ، وفي هذا الانتقال يتم تخليق فوسفوليبيد وهو اللسيثين Lecithin يحتل مائيا فيما يشبه الدورة فيلقت الأيونات من السطح الخارجي ثم يدخلها عن طريق التحلل المائي إلى الحيز الداخلي وتخليق أحد مكونات هذه الدورة الفوسفاتيديـ Phosphatide cycle على الأقل يحتاج إلى ATP

العوامل المؤثرة على امتصاص الأملاح :-

يتم الامتصاص تحت ظروف متوافقة ومناسبة للنشاط الحيوي والتحوللات الفيزيائية الحادثة . ولو تغيرت الظروف البيئية فإن الامتصاص يتأثر . وأهم العوامل هي:-

1-درجة الحرارة Temperature :-

ارتفاع الحرارة بصفة عامة يسرع الامتصاص السلبي بزيادة الطاقة الكامنة للجزيئات وفي الامتصاص النشط يزيد النشاط إلى درجه مثلى ثم يتناقص مكافئ نشاطك حيوي آخر أي أن لها درجه صغرى ومثلى وعظمى .

2-تركيز أيون الأيدروجين Hydrogen ion Concentration :-

زيادة أو نقص التركيز الأيدروجين لمحلول التربة عن المدى الفسيولوجي يمر بالنشاط الحيوي العام بما فيه الامتصاص. وفي داخل هذا المدى فإن ارتفاع أو انخفاض رقم PH لا يؤثر إلا في حالة نقص العناصر في التربة بينما يكون تأثيره قليل في وجود وفرة منها . وتحت هذه التحفظات فإن الظروف الحامضية تساعد على توفير الفوسفات الأحادي الصالح للامتصاص . كذلك بتحسين صلاحية البورون للامتصاص في الظروف الحامضية . بينما تكون زيادة القلوية مناسبة لامتصاص الكاتيونات.

3-الضوء Light :-

الضوء يساعد على فتح الثغور وعلى التمثيل الضوئي . الثغور المفتوحة تزيد تدفق الكتلة الماء في تيار النتج فيشجع الامتصاص. والطاقة المستمرة من التمثيل الضوئي تشجع الانتقال النشط كما أن الأوكسجين الناتج يحسن الظروف المناسبة للامتصاص.

4-التركيز الأكسوجيني Oxygen tension :-

الانتقال النشط يثبط في كميات الأكسجين كما أن الأكسجين يساعد على امتصاص الفوسفات.

5-الأثر المتبادل Interaction :-

وجد أن امتصاص الشعير للبتواسيوم يتأثر بوجود الكالسيوم أو الماغنسيوم كما لوحظ أن الكالسيوم يقلل امتصاص البوتاسيوم والبروتين إلى حد معين لو زاد الكالسيوم بمده يزيد الامتصاص مره أخرى . والماغنسيوم يقل امتصاصه بوجود الكالسيوم . كما لوحظ أن البوتاسيوم والروبيديوم والسيزيوم تتنافس على شغل موضع التحام واحد . والباريوم والكالسيوم تتنافس على موضع واحد . وعموما ففي وجود مواضع التحام كافيه لا يظهر هذا التضاد . ولكن يظهر في وجود حوامل شديدة التخصص .

6-النمو Growth

عموماً فإن الأنسجة الحديثة أو المرستيمية يزيد فيها الامتصاص، ويتطور النسيج وتغليظه يقلل الامتصاص والمناطق المسويرة على الجذور غير صالحة للامتصاص وزيادة النشاط الأيضي يزيد استهلاك العناصر وبالتالي الامتصاص كما أن النمو الخضري المتزايد يكون مصحوبا بزيادة تحركات الماء فيزيد الامتصاص.

انتقال العناصر الغذائية داخل النبات

تدخل الأيونات إلى خلايا البشرة عن طريق الامتصاص السلبي والانتقال النشط معاً. حيث يدخل إلى الحيز الظاهري الحر بالامتصاص السلبي ثم ينتقل بالانتقال النشط إلى الحيز الداخلي inner space وتتحرك داخل خلايا البشرة بحرية حتى تصل إلى نسيج القشرة الداخلي endodermis حيث تلاقي ما يعيق تقدمها وهو الأشرطة الكسبرية والتحرك خلال خلايا البشرة يكون عن طريق plasmodia estate أو الطرق البلازميدية بين خلايا البشرة.

يوجد تدرج في تركيز أ² المتزايد و ك² المتناقص من القشرة إلى الحزمة الوعائية وبالتالي فإن النشاط الأيضي وبالتالي الامتصاص النشط يقل في المنطقة المحيطة بأوعية الخشب فتتميل هذه المنطقة إلى فقد الأملاح.

ونظراً لأن الانتشار العكسي خلال الحزام الكسيري الغير منفذ يعتبر مستحيلاً فإن ذلك يعني أن هناك اتجاه واحد ووحيد للتخلص من هذه الأملاح وهو الاتجاه إلى داخل أوعية الخشب.

تتحرك الأملاح المتراكمة في أوعية الخشب من الجذر إلى الأفرع ومنها يعاد توزيعها إلى أنحاء النبات وعموماً فإن هذه التحركات تحدث في الأنسجة الوعائية وباستخدام العناصر المشعة أمكن تحديد طرق واتجاهات هذه العناصر وهي:-

1- الانتقال لأعلى في أنسجة الخشب:

ويتم بواسطة تيار النتج من أسفل الجذر إلى أعلى الساق ، وقد لوحظت هذه الحركة باستخدام عناصر مشعة وتحليق اللحاء حيث لوحظ أن الانتقال لأعلى استمر رغم التحليق إلا أنه بدرجة أقل إلى حد ما مما يدل على أن هناك احتمال انتقال لأعلى داخل اللحاء أيضاً

2- الانتقالات الفرعية للأملاح:

يعتقد أن نسيج الكمبيوم الفاصل بين الخشب واللحاء يقوم بتنظيم كمية الأملاح المنقولة لأعلى مع تيار النتج ويساعد على ذلك ما يحدث من تراكم تنشيط للأملاح في أنسجة الكمبيوم ، فلو أن عنصر ما كان موجوداً بتركيز عالي في اللحاء وحدث توازن بين اللحاء والكمبيوم فإن التدخل في مرور هذا العنصر مع تيار النتج يكون ضئيلاً ، ومن ناحية أخرى لو أن هذا العنصر موجود بتركيز منخفض في اللحاء فإن انتقاله من الخشب إلى اللحاء خلال الكمبيوم يكون سريعاً.

3- انتقال الأملاح في اللحاء:-

لوحظت في اللحاء حركة ذات اتجاهين : اتجاه لأعلى للأملاح المتساوية من الخشب عن طريق الكمبيوم . واتجاه لأسفل للأملاح الخارجة من الورقة التي تعاود الحركة لأعلى عن طريق اللحاء أو خلال الكمبيوم عن طريق الخشب . وهذه الحركة ذات الاتجاهين bi-directional للأملاح تكون مميزة لأنسجة اللحاء 4- انتقال الأملاح إلى خارج الورقة:-

لوحظ أن أوراق النبات المتساقطة تحدث حركة للأملاح قبيل التساقط إلى خارج الورقة حيث تخرج بعض العناصر مثل النيتروجين والبوتاسيوم والفوسفات والكبريت . وتحت ظروف خاصة قد تخرج الحديد والماغنسيوم بينما لا تخرج عناصر أخرى مثل الكالسيوم البورون والمنجنيز والسليكون. والمواد الخارجة من الورقة تظهر أولاً في اللحاء حيث تتحرك لأسفل ثم تتحرك حركة فرعية خلال الكمبيوم إلى الخشب وهنا تتحرك لأعلى في الخشب ولأعلى وأسفل في اللحاء . وقد يتحرك الفوسفور من الأوراق السفلية لأسفل إلى الجذر بينما يتحرك الفوسفور من الأوراق العلوية لأعلى في الساق . وتستقبل الأوراق الصغيرة هذه العناصر وتلاحظ هذه الظاهرة مثلاً عند نقص النيتروجين والفوسفور في التربة فإن الأعراض تظهر أولاً على الأوراق السفلى حيث تهجر منها العناصر إلى الأوراق الأصغر التي يتأخر ظهور أعراض النقص عليها.

الجفاف

يقصد بالجفاف نقص ماء التربة الميسور الذي يؤدي إلى نقص كمية الماء الداخلي للنبات بدرجة تقلل من نموه . وبالرغم من أن ضرر الجفاف يسببه أساسا نقص ماء التربة إلا أن الضرر يزداد بالعوامل الجوية المختلفة مثل درجة الحرارة المرتفعة والرطوبة المنخفضة والرياح التي تزيد من سرعة النتح التي تعجل بدورها من حدوث نقص الماء الداخلي.

وهناك نوع آخر من الجفاف هو الجفاف الفسيولوجي **Physiological Drought** ينتج فيها نقص ماء النبات الناتج عن برودة التربة أو ارتفاع الضغط الاسموزي للمحلول أو حدوث الغرق وقلة امتصاص الأوكسجين اللازم للتنفس والامتصاص فيقل بذلك امتصاص الماء رغم توفرة في التربة حيث يعانى النبات الجفاف لعدم قدرته على امتصاصه.

وقد وضعت عدة تفسيرات لتحمل ومقاومة النبات للجفاف نورد منها الآتي

1-لرأي الأول لتفسير مقاومة النباتات للجفاف هو أن سرعة فقد الماء في تلك الأنواع تكون منخفضة لقلة الماء المفقود بالنتح ولكن هذا الرأي انتقد حيث أن كثير من النباتات التي تتحمل الجفاف تنتج بسرعة إذا ما زودت بالماء وبذلك يبدو أن انخفاض سرعة فقد الماء في تلك الأنواع يعزي أساسا لنقص كمية الماء الموجودة أصلا والميسورة للنبات.

اتجه الرأي إلى أن العامل الأساسي في مقاومة الجفاف هو مقدرة البروتوبلازم علي تحمل الجفاف وليس الصفات التركيبية التي تقلل من فقد الماء ويوجد اتجاه لقبول الرأي بأن سبب مقاومة الجفاف يرجع لعدة عوامل منها تلك العوامل التي تؤجل جفاف البروتوبلازم بالإضافة إلى تلك العوامل التي تزيد من قدرته علي تحمل الجفاف. يحدث الجفاف في كل حالات المناخ فتسبب فترة قصيرة غير ممطرة في المناطق الرطبة اثر فترة طويلة في مناخ شبه جاف ولا يتسبب الجفاف عن قلة المطر فحسب فقد تسبب الحرارة المرتفعة جفاف المناخ بسبب حاجة النبات بدرجة كبيرة الى الماء لذلك تعمل الطرق الإحصائية المستعملة لكفاءة المطر في انواع المناخ المختلفة كأساس لقياس جفاف الجو.

أنواع ودرجات المقاومة للجفاف

يمكن تقسيم انواع ودرجات المقاومة للجفاف الي ما ياتي:-

- 1-بعض النباتات لا تتحمل الجفاف وتتأثر بسرعة او تموت بمجرد نقص الماء وذلك لأنها سريعة الجفاف مثل نباتات الظل.
- 2-نباتات كالصبار وغيرها من النباتات العصارية تخزن كميات كبيرة من الماء وفي نفس الوقت يفقد منها الماء ببطء لصغر سطحها الى حجمها وسمك الكيوتين وقلة الثغور فتكون مقاومتها للجفاف عالية.
- 3-نباتات تتحمل الجفاف لان بروتوبلازم خلاياها يمكن تجفيفه بدون حدوث ضرر مستديم مثل الحزازيات وبعض النباتات البذرية.
- 4-نباتات ذات مقدرة معتدلة او محدودة لمقاومة الجفاف مصحوبة بميزات تركيبية تقلل من سرعة فقد الماء حيث تزيد الماء الممتص وبذلك تؤجل حدوث نقص حرج في الماء الداخلي وتضم هذه المجموعة معظم المحاصيل

التوازن المائي في النباتات

Water balance in plants

من المعتقد أن النباتات البدائية قد نتجت في البحار حيث لا يوجد نتح ولا ذبول ولا جفاف وحدثت الملائمات التي تيسر التوازن بين الفقد وامتصاص الماء في اتجاهين:

أ - تكوين الأغشية غير المنفذة حيث يعيق السوبرين والكيوتين فقد الماء من سطح الورقة كما يمنع تبادل الغازات ولكن أمكن التغلب على هذه الصعوبة عن طريق الثغور والعديسات.

ب - توفر الجذور ذات القدرة الفائقة على سحب الماء.

• لا يجب أن ينظر لوظيفة الثغور على أنها تعمل على فقد الماء ولكن هذا الفقد أمر لا بد منه عند نتحها لتسمح بتبادل الغازات $CO_2 + 2O_2$ للنتح فائدة أخرى فهو يرفع معدل صعود المواد الغذائية المعدنية لأجزاء النبات ولكن إذا حدث النتح بدرجة أعلى اللازم كان أثره سينا على النبات فتفقد الخلايا ضغطها لابتدائي وتتعلل الوظائف المعتادة للبروتوبلازم.

• قد تسبب زيادة النتح بدرجة كبيرة تجفيف البروتوبلازم لأقل من الحد الأدنى الذي يسمح ببقائه حيا ويتغير معدل النتح بتغير القوة التبخرية للهواء التي يحددها نقص تشبع الهواء ودرجة تشبع انسجة الورقة بالماء التي تؤثر على فتح الثغر وقدرة غرويات البروتوبلازم على إعطاء الماء واستجابة الخلايا الحارسة للضوء الذي يعمل على

فتح الثغور وزيادة نفاذية البروتوبلازم
• تعرف النسبة بين امتصاص الماء بواسطة الجذور وفقده من خلال المجموع الخضري (بالتوازن المائي للنبات) وتوجد مظاهر خارجية وأخرى داخلية للتوازن المائي بالنبات والمظاهر الخارجية هي كمية الماء المتاحة للأعضاء الماصة والعوامل التي تساعد على زيادة النتج وينخفض المحتوى المائي لدرجة قد تصل الى ٤٠ % من الوزن الرطب في بعض النباتات في المناطق الجافة ويحدث عكس ذلك في الليل فينعكس اتجاه توازن الماء لدرجة قد تصل به الى الإدماج.
• يظهر أن تركيب النباتات يتأثر بظروف التوازن المائي أثناء نموها أكثر من تأثيرها بأي عامل آخر للبيئة وتتميز النباتات النامية تحت ظروف غير ملائمة للتوازن المائي بالخصائص الآتية:

مظاهر تركيبية

- أ - اختزال حجم المجموع الخضري.
- ب - زيادة حجم المجموع الجذري
- ج - صغر حجم خلايا الأوراق وصغر مساحة النصل وصغر حجم الثغور وزيادة عدد الشعيرات في وحدة المساحة .
- د - سمك الأدمة وجدر الخلايا وزيادة كمية الليبيدات على الأسطح
- هـ - تكون جيد للنسيج العمادى وضعف تكوين النسيج الإسفنجي.
- و- صغر المسافات البينية.
- ز- صغر نسيج الخشب وزيادة نسبة الأنسجة الملجننة.

مظاهر وظيفية

- 1- معدل سريع للنتج لوحدة المساحة رغم قلة النتج.
- 2- معدل سريع للبناء الضوئي بالنسبة لوحدة المساحة.
- 3- نسبة قليلة للنشا : السكر
- 4- ضغط أسموزي مرتفع
- 5- لزوجة منخفضة البروتوبلازم
- 6- ارتفاع نفاذية البروتوبلازم
- 7- زيادة نسبة الماء الموجودة بوحدة الوزن الجافة للأنسجة
- 8- أزهار واثمار مبكر

تحسين التوازن المائي للنباتات المنزرعة

- من الممكن تحسين التوازن المائي للنباتات المنزرعة بالطرق الآتية
- 1- زيادة الماء بالري وتقليل معدل البخر بإضافة القش او الملش بالبولى اثيلين وعمل مصدات الرياح او تقليل مساحة الأوراق بالتقليم أو إضافة مادة دهنية شمعية لتقليل النتج.
 - 2- زيادة مقاومة النباتات للجفاف بترية سلالات مقاومة للجفاف وزيادة المدة الزمنية بين فترات الري لتكوين الجذور العميقة الباحثة عن الماء فينتج عن تلك المعاملات في البروتوبلازم تزيد من مقاومته للجفاف.

مقاومة الجفاف Drought resistance

من الأهمية بمكان دراسة مدي مقاومة الأنواع المختلفة بل والأصناف المختلفة من النباتات المنزرعة وخاصة عند الزراعة في المناطق الجافة او التي تتعرض من فترة إلى أخرى لظروف الجفاف حيث يتوقف علي مدي مقاومة الصنف المنزرع للجفاف مدي نجاح زراعته في هذه المناطق والتي يطلق عليها مناطق جافة Arid Zones او مناطق نصف جافة Semiarid Zones وإصطلاح مقاومة الجفاف يمكن أن تطلق للإشارة إلى المعاني المختلفة والتي يتعرض لها النبات لفترات من نقص الماء او إلى الإجهاد المائي Water Stress في البيئة المحيطة به.

بصفة أساسية فإن النباتات المقاومة للجفاف هي النباتات التي تكون قادرة علي الحياة أي البقاء حية أما لان البروتوبلازم فيها قدرة علي احتمال انتزاع الماء منه Dehydration دون حدوث ضرر دائم له او لان له تركيب خاص او أن من صفاته الفسيولوجية تجنب او تحتل ذلك المستوي المميت من نقص الماء او فقده Water Stress .

وقد أشار Parker . 1968 الى العوامل المختلفة التي تعمل علي مقاومة النبات للجفاف ومنها:-

أ-تحمل البروتوبلازم للتجفيف Desiccation Tolerance :-

كما هو الحال في الكثير من الطحالب والاشن وحتى بعض النباتات البذرية فان البروتوبلازم فيها يمكنه أن يظل حيا عند نزاع الماء منه Dehydration ويمكن أن نلاحظ ذلك بسهولة في الكثير من الأعشاب والشجيرات التي تنمو في المناطق الجافة . ويلاحظ انه بالنسبة لهذه النباتات أن الصفات الخاصة بمقاومة النبات تحتل المكانة الأولى ، تعتبر أكثر أهمية من كمية المحصول . ومن أمثلة النباتات ويعتبر من احسن الأمثلة في هذا الشأن

الزيتون . حيث يمكنه أن ينمو حيث يكون الجفاف علي اشدّه ولا تناسب البيئة أي نوع آخر من الأشجار . وقد وجد أن من صفاته أن أوراقه تقاوم نزع الماء منها بشدة ، كما أن أوراقه مغطاة بطبقة سميكة من الكوتين وكذلك مغطاة بطبقة من الزغب كما انها جلدية وصغيرة . ويعتبر هذا النبات من اقدر النباتات علي المعيشة في ظروف الجفاف

ب- تجنب الجفاف او تأخير حدوثه :-

ولذلك أهمية اقل في تحمل الجفاف ، ويوجد ذلك في معظم النباتات الـ Mesophytes وقد يرجع ذلك إلى بعض الصفات المورفولوجية والفسيولوجية ، والتي ينتج عنها تجنب حدوث نقص الماء Water Stress وذلك يكون بطرق كثيرة منها

ج-تعديل موسم النمو:-

وذلك كما في حالة الكثير من الحوليات التي تنمو وتزهر خلال اسابيع قليلة ، فبعد نزول الأمطار علي سطح التربة لا يلبث النبات أن ينمو ويكتمل نموه ويزهر ويكمل حياته قبل أن يحدث النقص الشديد في الماء Water Stress وبذلك أمكن للنبات أن يقاوم الجفاف ، ولكن عن طريق تجنب الفترة التي يحدث فيها الجفاف حيث أن فترة حياته قصيرة وينمو في خلال اسابيع محددة ، وكذلك لوحظ انه في بعض أعشاب البحر الأبيض انه يحدث بها سكون خلال موسم الجفاف Dry Seson وخلال ارتفاع درجات الحرارة. (1968. McWillam)

د-المجموع الجذري المنتشر :-

المجموع الجذري المنتشر من اكثر العوامل المؤثرة في حماية النباتات ضد ضرر الجفاف . فالعمق والانتشار الواسع والتفرغ الكثير للجذور ويعمل علي وقاية النبات من الجفاف لان جذوره في هذه الحالة تكون قادرة علي امتصاص الماء من طبقات التربة ولذا يتجنب النبات ضرر الجفاف ، فمثلا يلاحظ أن النباتات ذات الجذور المتفرقة والمتنوعة والتي لا تمتد كثيرا مثل البطاطا والخس انها تعاني من نقص الماء اكثر من تلك النباتات ذات الجذور المتعمقة والكثيفة كالطماطم والتي تتمكن من امتصاص الماء اكثر من طبقات التربة المختلفة.

هـ-التحكم في معدل النتج :-

من الطرق التي يحتملها النبات لتأجيل حدوث نقص الماء في النبات Plant Water Stress حيث يتفاعل النبات مع الظروف المحيطة به لكي يعمل علي تقليل معدل النتج مثل نبات Larrea حيث يعمل التفاف أوراقه فيقلل ذلك من معدل النتج . كما أن الكثير من النباتات تتفاعل مع Water Stress عن طريق إغلاق ثغورها . ويبدو أن تلك المجموعة من النباتات انها اكثر تحملا . واكثر مقدرة علي المعيشة تحت ظروف الجفاف . واستجابة النباتات الـ Water Stress في هذه الحالة وإغلاقها لثغورها يكون بمجرد بدء حدوث النقص المائي Water Stress كما أن وجود طبقة من الكيوتين علي الأوراق والتي ينتج عنها تحكم شديد فعال في معدل النتج وبذا يمكن للنبات مقاومة أو تجنب حدوث الجفاف ، وقد وصف Tal 1966 طفرة من الطماطم Wilty tomato والتي من الضعف أن تنمو حتى ظروف الجو المشبع بالرطوبة أو تحت ظروف المراقذ الزجاجية وذلك لان ثغورها لا يمكن أن تغلق علي الإطلاق . وذلك يوضح أهمية إغلاق الثغور للتقليل من معدل فقد الماء في النبات . وقد وصف Waggoner & Simmonds 1966 طفرة مشابهة من البطاطا.

كفاءة استخدام النبات للماء Efficiency of Water use

كفاءة استخدام الماء عبارة عن عدد الوحدات من الماء والتي تستخدم للحصول علي وحدة واحدة من الماء الجافة.

ولكفاءة استخدام النبات للماء أهمية قصوى وخاصة عندما يكون الإمداد بالماء Water Supply قليل. وقد ذكر Sletyer 1964 أن كفاءة استخدام الماء تختلف من 200-500 للحصول علي اعلي محصول وقد يبلغ ٢٠٠٠ أو اكثر في المناطق الجافة ، وبصفة عامة فإن المحصول العالي في المادة الجافة دليل علي كفاءة عالية في استخدام الماء وفي هذه الحالة فإن إنتاج المادة الجافة يتم بسرعة اعلي من فقد النبات للماء . لذلك فإن كفاءة استخدام النباتات ذات الجذور المتعمقة مع وجود تغذية كافية وتحت ظروف مثالية تكون من ٢٠٠-٥٠٠ وحدة من الماء تستخدم لإنتاج وحدة واحدة من المادة الجافة . وزيادة كفاءة استخدام النبات للماء ترجع لكفاءة عملية البناء الضوئي والتي تتسم بدخول كميات كبيرة من ك أ وخروج كميات كبيرة من بخار الماء خلال الثغور. وفي نبات الـ pimeappie نجد انه ينتج كميات كبيرة من المادة الجافة كل عام بينما يحدث أقل فقد في الماء حيث أن الثغور في الـ pimeappie تكون مغلقة معظم اليوم ويعتبر هذا من الأمثلة علي كفاءة عالية في استخدام الماء لتكوين كميات كبيرة من المادة الجافة ؛ وقد يرجع ذلك أيضا إلى قدرة هذا النبات علي تمثيل حمض crassuiacean وفي هذه الحالة يكون النبات قادر علي تخزين ك كمادة عضوية خلال الليل ثم يحوله إلى كربوهيدرات خلال النهار . فيلاحظ دائما انه لزيادة كفاءة استخدام الماء فإن النبات يعمل علي زيادة المادة الجافة وليس العمل علي النقص في استخدام الماء. وقد أشار viets ١٩٦٦ ، انه من الجائز أن يزيد المحصول مع تكرار عمليات الري. ولكن المحصول لكل وحدة من الماء من الجائز أن تقل في النسب العالية من الري؛ وقد لوحظ أن التسميد يزيد من كفاءة استخدام النبات للماء.

التقسية

يعتقد الكثير أن الزيادة الفجائية أو الارتفاع الفجائي والقاسي في Water Stress يرجع إليه أكثر ضرر عكس الزيادة التدريجية في Water Stress لفترة طويلة من الزمن.

والنباتات التي تتعرض لفترة أو أكثر من النقص المتوسط للماء $\text{Moderate Water Stress}$ ويطلق عليها أن تقسية Hardened وهذه النباتات عادة يمكن أن تبقى حية تحت ظروف الجفاف دون حدوث ضرر عكس النباتات التي لم تتعرض للمعاملة السابقة. وقد ذكر الباحث أن التقسية Hardening تحدث تغيرات رئيسية في البروتوبلازم كزيادة في $\text{Water Binding Capacity}$ أو الماء المرتبط بجانب زيادة لزوجه ونقص في النفاذية وقد ذكر ذلك . 1964 Henckei وقد قادت تلك الفكرة – التقسية – العلماء للمحاولة زيادة مقاومة النباتات للجفاف وذلك بمعاملة البذور قبل الزراعة . فيمكن تقع الجذور قبل الزراعة في الماء ثم تجفف هوانيا أو تنقع في محلول ملحي . وقد أشار May 1962 أن التغيرات التي تحدث في البروتوبلازم يمكن ملاحظتها في النباتات التي تعرضت للجفاف وأن هذه التغيرات في الغالب ناتجة عن Water Stress . وقد وجد أن الزيادة في نسبة الجذور إلى الأفرخ ، وكذلك صغر حجم الأوراق وسمك طبقة الكيوتين من الصفات التي توجد في النباتات التي عرضت إلى Water Stress ولذلك أهميتها حيث أن النباتات التي تتعرض مرة Water Stress تحمل من الصفات التي تعمل على زيادة جيدة في الإمداد المائي لأنسجة الورقة . كما تتميز بمعدل نتح أقل لكل واحدة من سطح الورقة حيث أن الثغور تغلق عند حدوث Water Stress ولذا ظن هذه النباتات تكون قادرة على التحكم في فقد الماء عن تلك النباتات التي لم تتعرض لـ Water Stress وكمثال لتوضيح ذلك نبات فول الصويا فإنه بعد تعرضه لـ Water Stress يكون سطح الأوراق به نسبة اعلى من الدهون ولذلك فإن معدل النتح يكون أقل وبذلك تكون هذه النباتات أكثر قدرة على مقاومة الجفاف Ciarck & Levitt ، 1956 .

وقد ذكر Kelly et al أن نباتات أل Guagule والتي عرفت بال High Water Stress يمكنها أن تسترد قوة نموها بسرعة ويمكن أن تنمو احسن من تلك النباتات التي لم تتعرض لـ Water Stress والتي أعطيت كميات وفيرة من المياه . وقد قدر ١٩٦٧ Orchard أن أوراق نبات أل Icale-Brassila Olerace Var. Fruticosa والتي تنفتح خلال فترة الجفاف يمكن أن تبقى حية وتتحمل أكثر ظروف الجفاف أكثر من تلك التي تنفتحت بينما النبات يروي بصفة دائمة . وبالرغم من أن Water Stress يقلل من النمو فإنه لوحظ أن النباتات التي تتعرض لـ $\text{moderate Water stress}$ في بعض الأحيان يكون نموها أكثر وبسرعة وخاصة عند إعادة ريتها فأنها تنمو أكثر من تلك النباتات التي لم تتعرض لـ Water Stress وربما يحدث تجمع للكربوهيدرات و المركبات النيتروجينية في أل Stressed Plov فتكون بعد ذلك في متناول النبات وتعمل على تنشيط نموه عند توفر الماء

انتقال الذائبات

قبل التحدث عن انتقال الذائبات يجب الامام بماهية الحالة الغروية وأنواع المحاليل والنفاذية

الحالة الغروية Colloidal State

من المعروف أن الخلية هي الوحدة الأساسية لتركيب الكائن الحي كما أنها وحدة النشاط الحيوي فية ، وبروتوبلازم الخلية هو مركز جميع العمليات في الخلية ، وهذا البروتوبلازم مركب اساسيا من مواد موجودة على حالة غروية واليه تنسب الخواص الطبيعية الكيماوية للبروتوبلازم كما أن كثيرا من العمليات الفسيولوجية التي تحدث في النبات تتم بواسطة عوامل مساعدة عضوية تعرف باسم الانزيمات وهذه الأخيرة موجودة أيضا على حالة غروية ، ويعزى كثير من خواص الانزيمات الى كون وجودها على حالة غروية من أجل كل هذا يلزم قبل دراسة الخلية النباتية أن ندرس الحالة الغروية وبعض خواصها الهامة.

انواع المحاليل:

- 1- إذا وضعنا قليلا من السكر او ملح الطعام مع التحريك فإنه سريعا ما يختفي الجسم الصلب ويتكون لدينا محلول يعرف بالمحلول الحقيقي وهذه المواد الذائبة تنتشر في جميع اجزاء المذيب على هيئة جزيئات وايونات في غاية من الدقة في الحجم بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة او باى وسيلة من وسائل الأبصار التي عرفت حتى الان .
- 2- وإذا وضعنا قليلا من السلت في الماء ورججنا المادتين معا فإننا نشاهد ان حبيبات السلت لا تذوب في الماء بل تنتشر في جميع اجزاء الماء ويطلق على هذه الحالة اسم المعلق ويكون حجم الحبيبات من الكبر بحيث يمكن رؤيتها بواسطة الميكروسكوب ، وإذا ما ترك هذا المعلق فترة من الوقت فإن حبيبات السلت لاتلبث ان تهبط الى القاع بفعل الجاذبية الأرضية نظرا لكبر حبيباته وينفصل السلت عن الماء أي أن المحلول غير ثابت.

3- وكذا نفس الحال عندما يرج قليل من الزيت مع الماء فإن نقط الزيت تتعلق بالماء قليلا ثم لا تلتبث ان تتجمع وتطفو فوق سطح الماء لانخفاض كثافة الزيت عن الماء ، ويسمى هذا المحلول المستحلب.

4- وهناك نوع اخر من المحاليل يمكن تحضيره ويختلف تماما عن الأنواع السابقة ، فإذا اذينا كمية ضئيلة جداً من الكبريت في حجم صغير من الكحول ثم صب هذا المحلول في كمية كبيرة من الماء فإنه يتكون محلول تنتثر فيه حبيبات الكبريت هذه ، ليست على حالة جزيئات بل مكونة من مجموعات من الجزيئات المتجمعة ولكنها تختلف عن المعلقات في انها محاليل ثابتة اي هذه المجموعات تبقى منتشرة في السائل ولا تتسرب من تلقاء نفسها . وهذه الوحدات المنتشرة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة أو بواسطة الميكروسكوب مما يدل على أنها أصغر من وحدات المعلقات والمستحلبات ولكن يمكن رؤية بعض خواصها الطبيعية بواسطة جهاز الميكروسكوب اللانهائي أو الالتراميكرسكوب، ومحلول الكبريت في الماء هذا يطلق عليه اسم محلول غروي . والمحلول الغروي يحتوي على طورين كما هو الحال في المحلول الحقيقي ولكن يختلف عنه في ان المادة المنتشرة ليست أيونات أو جزيئات بل مجزعة ممن الجزيئات ويطلق على المادة المذيبة الطور المستمر أو وسط الانتثار وتسمى المادة المنتشرة بالطور الغير مستمر أو الطور المنتثر.

وقد قسمت المواد من حيث علاقتها بالماء إلى بلورات Crystalloids وغرويات Colloids ، فالأولى هي المواد التي تكون عند خلطها بالماء محاليل حقيقية وسميت بلوريات لأنها تتبلور ، ومن خواص هذه المواد أن جزيئاتها تنفذ عادة خلال الأغشية الصناعية المعروفة كالبارشمنت ، أما الغرويات فهي المواد التي تكون عند خلطها بالماء محاليل غروية وهي لا تتبلور وتشبه الغراء من حيث عدم تبلورها ولا تنفذ حبيباتها خلال الاغشية الصناعية المذكورة.

إلا أن ذلك التقسيم خاطئ فقد اتضح الآن أن كثيراً من المواد التي تكون الماء محاليل غروية كبعض البروتينيات يمكن الحصول عليها بحالة بلورية كما أن معظم البلوريات أمكن الحصول عليها بحالة غروية ولكن تحت ظروف خاصة يتضح من ذلك أن المحاليل الحقيقية أو الغروية أو المعلقات أو المستحلبات ليست محاليل لأنواع معينة من المواد ولكنها محاليل ذات تركيب معين يختلف بعضها عن بعض فقط من حيث حجم الدقائق في السائل المذيب. وفيما يلي أنواع المحاليل السابق الإشارة إليها:

نوع المحلول	حجم وحدة المادة المنتشرة في المحلول	درجة الرؤية
المحلول الحقيقي	قطر الوحدة ١/١٠٠٠ من الميكررون (جزيئات وأيونات)	لا يمكن رؤيتها بأى آلة ابصار عرفت حتى الان
المحلول الغروي	قطر الوحدة لا تقل من ١/١٠٠ من ١٠/١ ميكرون	يمكن رؤية بعض خواصها الطبيعية بالالتراميكرسكوب
المعلقات والمستحلبات	قطر الوحدة أكبر من ١٠/١ ميكرون	يمكن رؤيتها بالميكروسكوب
(جزيئات متجمعة كبيرة الحجم)		

الخواص العامة للمحاليل الغروية:

1- الانتشار Diffusion

لما كان معدل الانتشار المادة يتناسب عكسيا مع حجم دقائقها لذا فإن الدقائق الغروية تنتشر بمعدل منخفض جدا إذا قورن بمعدل انتشار الدقائق الجزيئية أو الايونية في المحاليل الحقيقية ، ويمكن للدقائق الغروية ان تنتشر خلال ورق الترشيح العادي اذا ان قطر الثقوب ورقة الترشيح يقع بين 5 - 2 ميكرون بينما قطر الحبيبة الغروية يقع بين ٠.٠١ - ١ ميكرون على انه اذا عومل ورق الترشيح العادي بمواد خاصة فإنه يمكن الحصول على مرشحات دقيقة لا تسمح مسامها بمرور الدقائق الغروية اي ان مسامها تسمح بمرور وسط الانتشار ولا تسمح بمرور الطور المنتثر في المحاليل الغروية . وبذا يمكن بهذه العملية فصل دقائق المحاليل الغروية الموجودة في محلول ما وتسمى هذه العملية الترشيح الدقيق ويطلق على هذا المرشح اسم المرشح الدقيق ولا تستطيع الدقائق الغروية ايضا ان تنتشر خلال الاغشية الصناعية كالكلوديون والسولوفان مع ملاحظة ان هذه الاغشية تسمح بانتشار جزيئات المحاليل الحقيقية خلالها ، ويستفاد من هذه الخاصية في فصل المحاليل الحقيقية عن المحاليل الغروية وذلك بوضع الخليط في كيس غشائي وغمس هذا الكيس في ماء نقي يجدد من وقت لآخر في ماء جارى

بأستمرار وتسمى هذه العملية بالفرز الانتشاري للذائبات.

2- الضغط الاسموزي Osmotic pressure

تتوقف الضغوط الاسموزية للمحاليل على عدد الدقائق المادية الموجودة بها بغض النظر عن طبيعتها و حجمها فإذا اخذنا محلولين تركيز كل منهما ٢ % الأول منهما عبارة عن محلول حقيقي من سكر القصب والثاني محلول غروي من النشا فإن عدد الوحدات "الجزيئات" من السكر الموجودة في المحلول الأول تكون أكبر عددا من عدد الوحدات "التجمعات الجزيئية" من النشا الموجودة في المحلول الثاني وذلك لأن الوزن الجزيئي لسكر القصب أقل بكثير من الوزن الجزيئي للنشا وبالتالي يكون الضغط الاسموزي لمحلول النشا الغروي أقل بكثير من الضغط الاسموزي لمحلول السكر الحقيقي ، ومن المعروف ان الضغوط الاسموزية للمحاليل الغروية لا تتعدى كسر صغير من الضغط الجوي

3-ظاهرة تئدال

إذا سلطنا حزمة ضوئية على وعاء زجاجي ممتلئ بالماء النقي ثم فحصنا ذلك الوعاء في اتجاه جانبي عمودي على مسار الحزمة الضوئية فإنه لا يمكننا إدراك مسار الضوء خلال الماء النقي ، ويحدث ذلك أيضا إذا استبدلنا الماء بمحلول حقيقي كمحلول ملح الطعام ، اما إذا ملأنا الوعاء الزجاجي بمحلول غروي فاننا نستطيع في هذه الحالة ان ندرك مسار الضوء في المحلول الغروي ويمكننا ان نحدد المنطقة التي يمر خلالها وتبدو هذه المنطقة عكرة بالنسبة لبقية المحلول ، ويرجع ذلك الى انعكاس الضوء بواسطة الدقائق الغروية في المنطقة التي يمر خلالها الشعاع الضوئي ويسمى هذه الظاهرة ظاهرة تئدال .وهي تشبه تمام الشبه ما يلاحظ عند مرور شعاع ضوئي وسط حجرة مظلمة.

4-الحركة البراونية Brownian Movement

إذا فحصنا محلولاً غروباً بنوع من الميكروسكوب يسمى الميكروسكوب اللانهائي Ultra microscope وهو يختلف عن النوع العادي بان حقل الفحص به مظلماً ويمر خلال المحلول الذي يراد فحصه حزمة ضوئية قوية في اتجاه جانبي متعامد مع انبوبة الفحص فاننا نلاحظ مسار الضوء خلال المحلول الغروي مركب من نقطة مضئية لامعة تمثل كل منها شعاع ضوئي منعكس باحدى الدقائق الغروية الموجودة في المحلول كذا فان هذه النقط المضئية تتحرك حركة شديدة في اتجاهات مختلفة تعرف بالحركة البراونية نسبة الى العالم النباتي الذي اكتشفها وتعزى هذه الحركة الى دفع الدقائق الغروية دفعا غير منتظمة من نواحيها المختلفة بواسطة جزيئات السائل (وسط الانتشار) بفعل طاقتها الحركية وإذا رفعنا درجة حرارة المحلول الغروي فان درجة الحرارة البرورانية تزداد نظرا لزيادة طاقة جزيئات السائل المذيب.

5-الشحنة الكهربائية Electric Charge

توجد على الدقائق الغروية على الدوام شحنات كهربائية غير قاصرة على الذرات المكونة للدقيقة الغروية ولكنها موزعة على السطح الكلي للدقيقة ويمكن الاستدلال على وجود الشحنات بحركة الدقائق الغروية في اتجاه معين عند وضع المحلول في مجال كهربائي ويمكن معرفة نوع الشحنة من اتجاه الدقائق نحو أحد قطبي المجال الكهربائي وتسمى هذه الحركة الحمل الكهربائي Electrophoresis ويعزى ثبات المحاليل الغروية الى وجود هذه الشحنات على دقائنها ونظرا لتشابه الشحنات ، تتنافر الدقائق الغروية وبذلك تبقى معلقة في السائل المذيب وإذا عودلت شحنة الدقائق الغروية بأيونات الذائبات الكهربائية ذات الشحنات المضادة فان الدقائق الغروية تترسب في الحال وذلك في المحاليل الغروية الكارهة للمذيب وتزداد القوة الترسيبية لأيونات بازدياد تكافئها فمثلا وجد ان القوة الترسيبية لأيونات الموجبة Na^+ ، Mg^{++} ، على الدقائق الغروية هي كنسبة ٥٠ : ٧ : على التوالي ، ويلاحظ انه من الفوائد التي تنتج عن اضافة المركبات الجيرية الى التربة الطينية انها تجمع دقائق الطين الغروي السالبة للشحنة الكهربائية بفعل ايونات الكالسيوم الموجبة فتزداد مسامية التربة وتوجد تهويتها وتصبح اكثر ملائمة لنمو النبات ، كذا تتكون دلتا الانهار عند التقاء ماء النهر المحمل بالطمي الغروي بمياة البحر المحتوية على أملاح ذائبة متيانية فتتعاقل شحنات الطين الغروي السالبة مع الأيونات المضادة في الشحنة فيترسب الطين و تتكون الدلتا

6-التجمع السطحي او الامصاص Adsorption

من المعوف أن سطح أى سائل يختلف من حيث خواصه الطبيعية عن بقية كتلة السائل العام فجزيئات السائل الموجودة بداخله تكون معرضة لجاذبيات متكافئة من جميع نواحيها اما الجزيئات المكونة للطبقة السطحية فنها تكون معرضة لجاذبيات جانبية أخرى نحو الداخل ولكن لا يوجد ما يعادلها نحو الخارج اي هناك ميل لتقليل عدد

الجزينات المكونة للطبقة السطحية فتتضائل مساحة السطح تدريجيا حتى تصل لاقل حجم ممكن ويقال لهذا الشد الذى يعانیه سطح السائل و الذى يجعله ميالا للتقلص كما لو كان غشاء مرنا بالتوتر السطحي **Surface tension** وهو ما يفسر تجمع نقط السائل متى سقطت على سطح املس بتجمع هذه الجزينات تقل مساحة سطحها الكلى عما لو بقيت منفصلة وإذا كان لدينا سائلان لا يمتزجان فان الحد الفاصل بينهما معرضا لقوتين جاذبيتين فجزينات الطبقة السطحية لاحد السائلين تكون معرضة لجذبها نحو الداخل من جزينات السائل نفسه وجذب نحو الخارج من جزينات السائل الآخر ويكون الفرق بين هاتين القوتين هو ما يعبر عنه بالتوتر البيتي ، وتؤثر المواد الذائبة فى السائل على قيمة توتر سطحة الملامس لاي طور اخر لا يمتزج به فبعض المواد تميل الى التجمع على السطح الفاصل من توتر السطح ويطلق على ظاهرة تجمع المواد الذائبة الخافضة للتوتر البيتي التجمع السطحي وهذه المواد التى تعمل على خفض التوتر السطحي او البيئي فيطلق عليها المواد النشطة على السطح ومن امثلتها اغلب المواد العضوية وهناك مواد تجذبها جزينات الماء الى الداخل ولا تتراكم على السطح وهذه يطلق عليها المواد الغير نشطة على السطح واحيانا تعمل على زيادة التوتر السطحي للماء بدرجة قليلة مثل الأملاح والسكريات ولما كانت الغرويات تتميز بكبر المساحات الكلية لسطوحها وبذا تكتسب قدرة كبيرة على التجمع السطحي

ومن المعروف ايضا ان معدل الادمصاص ينخفض بارتفاع درجة الحرارة وهذا راجع الى زيادة الطاقة الحركية للمواد المتجمعة سطحيا فيسهل هروبها من السطح . وتلعب ظاهرة التجمع السطحي دورا كبيرا لاهميه الكائنات الحية ففى خلايا النبات يوجد عدد كبير ن السطوح البينية فهناك رأى يقول ان الأغشية البلازمية فى الخلية تتكون نتيجة لتجمع البروتينات والمركبات الدهنية تجمعا سطيا عند سطح الانفصال وعلى ذلك فالغشاء البلازمي الخارجى يتكون عند سطح الانفصال بين الجدار الخلوى المشبع للماء والبروتوبلازم اما الغشاء البلازمي الداخلى فيتكون عند سطح الانفصال بين الفجوة العصارية والبروتوبلازم وحيث ان تركيب المحاليل العصارية تختلف عادة عن تركيب المحاليل المبللة للجدر الخلوية و المتصلة بها اتصالا مباشرة بالسيتوبلازم فمن المتوقع ان ان يغير الغشاء البلازمي الخارجى من حيث تركيبية وخواصه الغشاء البلازمي الداخلى وكلما كان البروتين له بعض الخواص الكهربائية فانه لا يعتبر من المواد النشطة على السطح عند مقارنته بالمواد الدهنية لذا فانه فى البروتوبلازم الحى تكون المواد الدهنية على سطحة بتركيز المواد البروتينية وطبيعة تكوين هذه الاغشية البروتوبلازمية لها اهميتها فى نفاذية السيتوبلازم وتلعب ظاهرة الادمصاص دورا كبيرا فى وظائف الخلية فظاهرة التشرب لها اهمية فى علاقة الخلية بالماء تشمل ادمصاص الماء وعمل الانزيمات من الوجهة العامة تعرف بانها تشمل ظاهرة الادمصاص كما انه بواسطة استعمال الصبغات امكن الحصول على معلومات كثيرة عن الخلية حيث ان هذه الصبغات يختلف تجمعها السطحي باختلاف مركبات الخلية.

تقسيم الغرويات

تنقسم المواد الغروية الى قسمين هامين يتوقف على مدى القابلية بين المادة المنتشرة ووسط الانتثار

1- غرويات كارهة لوسط الانتثار Lyophilic colloids فاذا كان وسط الانتثار هو الماء سميت غرويات كارهة للماء **Hydrophilic** ومن امثلتها المواد الغروية المكونة من مواد معدنية مثل ايدروكسيد الحديد الغروى وايدروكسيد الالمنيوم الغروية وسمى هذا النوع بانه كارهة لوسط الانتثار لانه لا توجد قابلية بين دقائقه المادية وبين وسط الانتثار

2- غرويات محبة لوسط الانتثار Lyophobic colloids واذا كان وسط الانتثار ماء سميت غرويات محبة للماء **Hydrophobic** ومن امثلتها بعض المواد العضوية كالجيلاتين و النشا والصمغ العربى والبروتينات وأطلق عليها هذا الاسم لأنه توجد قابلية شديدة بين وسط الانتثار ونظرا لهذه الخاصية تتشرب هذه المواد المذيب بكميات كبيرة

وتتلخص اوجة الخلاف فى الخواص المميزة لكل من النوعين فى ما ياتى:-

1- الفحص الميكروسكوبى تشاهد الحركة البراونية بوضوح فى حالة فحص محاليل الغرويات الكارهة لوسط الانتثار اما فى النوع الاخر فيمكن مشاهدة خاصية تندال ولكن يتعذر رؤية الحركة البراونية بوضوح نظرا لوجود أغشية حولها من سائل وسط الانتثار

2- اللزوجة Viscosity لا تختلف لزوجة المحلول الغروى الكارهة لوسط الانتثار أختلافا محسوسا عن لزوجة وسط الانتثار اما الغرويات المحبة للمذيب فان لزوجة محاليلها تكون عادة اكبر من لزوجة وسط الانتثار وتزداد لزوجتها زيادة محسوسة بزيادة تركيزها وتعزى الزيادة فى هذه الحالة الى تشبع الدقائق المادية بسائل وسط الانتثار فيترتب على زيادة تركيز الطور المنتثرنتيجة خفض كمية السائل الحر النسبية نظرا لاتحاد جزء كبير منه بالدقائق الغروية وهذا من شأنه ان يقل من سيولة المحلول اى يرتفع من لزوجته وتتأثر لزوجة جميع السوائل بما فيها المحاليل الغروية بدرجة الحرارة فتقل بارتفاعها وتزيد بانخفاضها كالجيلاتين والاجار والنشا سواء بزيادة الطور المنتثر او خفض درجة الحرارة ادى ذلك الى تغير حالتها الطبيعية فيتماسك المحلول الغروى

ويصبح قوامه شبه صلب أى يتحول من حالة السيولة الى حالة الصلابة او الحالة الهلامية وهذا التحول هو نتيجة لانعكاس اطواره الذى قد يكون مرده الى تقارب دقائق الطور المنتثر المشبع بالسائل وذلك بسبب زيادة عددها فى حالة زيادة الطور المنتثر او زيادة سمك أغشيتها فى حالة خفض درجة الحرارة حيث ان هذه تعمل على ازدياد التوتر السطحي للسائل المغلف للدقائق بعضا ببعض فى صورة شبكة تملأ عيونها أجزاء منفصلة من وسط الانتثار ويسمى الماء الذى يغلف الحبيبات بالماء المرتبط اما الماء الذى يكون وسط الانتثار فيسمى الماء الحر وتتشرب الغرويات المحبة للماء بكميات كبيرة من الماء ويطلق على هذه الظاهرة ظاهرة التشرب **Imbibition** وفيها تتجمع أغشية كبيرة من الماء حول الدقائق الغروية وتتوقف كمية الماء الذى تتشرب به المادة على مدى قوة التماسك بين وحدات المادة حيث ان أغشية الماء تعمل على تباعد وحدات المادة عن بعضها فاذا كانت قوة التماسك بين وحدات المادة ضعيفة تشربت بكميات كبيرة من الماء حيث ينتهى الأمر الى تكوين محلول غروى وخاصية التشرب هذه اكثر وضوحا فى حالة انبات البذور تتشرب بكميات كبيرة من الماء اللازم لعملية الانبات **3- الترسيب Precipitation** يرجع ثبات الغرويات الكارهة لوسط الانتثار لعامل واحد هو الشحنة الكهربائية الموجودة على الدقائق الغروية و التى تسبب تنافرها وتحول دون تجمعها الى دقائق اكبر واذا عودلت هذه الشحنات او قللت قيمة هذه الشحنات عن حد معين فان الدقائق الغروية تترسب فى الحال وهذا يفسر شدة حساسية هذه المحاليل للذائبات الكهربائية ويكون الترسيب فى هذه الحالة غير عكسى أى لا يمكن اعادة الدقائق الغروية الى حالتها الطبيعية

أما محاليل الغرويات المحبة لوسط الانتثار فيرجع ثباتها الى عاملين:

أ - الشحنة الكهربائية

ب - التشرب بسائل وسط الانتثار

وهى ان تحاط كل دقيقة بغشاء وهذه الأغشية تمنع الدقائق الغروية من أن تلامس بعضها البعض وبذلك تظل معلقة فى وسط الانتثار ويكفى توافر أحد هذين العاملين لكى يبقى المحلول الغروى ثابت

النفاذية Permeability

أولا : نفاذية الجدار الخلوى

الجدار الخلوى يعتبر مركب غروى متصلب ومن خصائصه أن يتشرب بكمية كبيرة من الماء وبذا يمكن للماء ان يتغذ خلال مسامه وقد يختلط مع المركبات السللوزية و البكتينية التى تكون الجدار الخلوى مواد مثل اللجنين كما فى الأوعية الخشبية وهذه المواد لا تؤثر فى نفاذية الجدر الخلوية اما اذا دخل فى تركيب الجدار الخلوى الكيوتين او السوبرين بنسبة محسوسة فأنها تكون عديمة النفاذية للماء او على الأقل تقلل من درجة نفاذية الجدار الخلوى للماء والمواد الذائبة فى الماء تنفذ بسهولة تامة خلال الجدر الخلوية المنفذة للماء

ثانيا : نفاذية الجدار البروتوبلازمى

ينفذ الجدار البروتوبلازمى الماء انفاذا تاما ولكن تختلف درجة النفاذية باختلاف ظروف خاصة اما الذائبات فنجد انه بينما يسمح هذا الجدار بنفاذ جزيئات بعضها بسهولة تامة الا انه يعوق تماما الى حد محسوس نفاذ جزيئات البعض الآخر , و المواد التى ينفذها البروتوبلازم تختلف أختلافا كبيرا من حيث خواصها الطبيعية والكميائية فمنها مواد كربوايدراتية كالكسكليات والكحوليات كالجلسرين وكحول الأثيل ومواد غير عضوية ومركبات آزوتية كاليوربا والأحماض الأمينية وهذه المواد جميعها بعضها قاييل للذوبان فى الماء والبعض لا يقبل الذوبان فيه وقد سبق أن ذكرنا ان الغشاء البروتوبلازمى يتألف من أطوار متباينة فمن المحتمل ان تسمح أطواره التى من شأنها أن تمتص الماء كالأجزاء البروتينية بنفاذ الذائبات المائية بينما تمتص أطواره اللامائية كالأجزاء الدهنية مذيبات هذه الأطوار والمركبات التى تذوب فيها وطالما كان البروتوبلازم حيا وفى حالة طبيعية فأنه لا يسمح بنفاذ معظم الذائبات الموجودة بالفجوة العصارية أو قد ينفذ بعضها بمعدل ضئيل جدا اما فى حالة موت البروتوبلازم فان الغشاء يفقد سيطرته على محتويات الفجوة الخلوية وتنهار نفاذيته فتنتشر جميع الذائبات الخلوية الى الخارج واذا ما حدث تغير فى الحالة الطبيعية لغرويات البروتوبلازم برفع درجة الحرارة الى أعلى من ٦٠ درجة مئوية فأنه تحدث عملية التجمع لدقائق المادة الغروية وبذا تكون هذه الدقائق مجموعات كبيرة غير منتظمة تخللها ممرات تسمح بمرور الماء و الذائبات بسهولة وبذا تفسد النفاذية ويمكن احداث عملية التجمع فى البروتوبلازم بوسائل أخرى خلاف ارتفاع درجة الحرارة فمثلا السموم وأملاح المعادن الثقيلة و الأحماض و القلويات وأيضا أستخلاص الماء أستخلاصا بالغا من البروتوبلازم كل هذا يساعد على احداث عملية التجمع فى برتوبلازم الخلية وفقدتها خاصية النفاذية

نفاذية الذائبات خلال الغشاء البلازمي

هناك عدة عوامل تتحكم في نفاذية الذائبات خلال الغشاء البلازمي ومن أهمها

1- حجم جزيئات المادة:

هناك نظرية يطلق عليها اسم النظرية الغشائية تفترض ان الغشاء البلازمي يشبه الغربال في تركيبه وتوجد في هذا الغشاء فتحات دقيقة لا تسمح لجزيئات اى مادة بالنفاذ خلالها الا اذا اتسعت لها هذه الفتحات وتستند هذه النظرية الى بعض الحقائق العلمية اذ انه من المعروف أن الأغشية الصناعية كالبارشمنت لا تسمح بالنفاذ خلالها الا للمواد التي تتسع لها ثقبها وهذا بالتالي يتوقف على حجم دقائق المادة التي تنفذ ، غير هذه النظرية تعجز عن تفسير بعض الحالات ذلك ان الغشاء البروتوبلازمي تزداد نفاذيته في بعض الاحيان بازدياد حجم جزيئات المادة فمثلا وجد ان الغشاء البلازمي لا ينفذ جزيئات الأحماض الأمينية وينفذ جزيئات شبة القلويات كمركبات الكينين والنيوكتين رغم ان حجم جزيئات المواد الاخيرة اكبر من حجم جزيئات الاحماض الامينية.

2- درجة ذوبان المادة في الدهون:

يطلق على النسبة بين درجة ذوبان اى مادة في الدهون الى درجة ذوبانها في الماء اسم معامل التجزئة اى انه اذا ذابت مادة في مادة دهنية ولم تذوب في الماء ففي هذه الحالة تكون ذات معامل تجزئة عالي وقد دلت التجارب على ان هناك تناسباً طردياً بين درجة نفاذية المادة ومعامل تجزئتها اى انه كلما كانت المادة قابلة للذوبان في الدهون كلما نفذت داخل الخلية بسهولة وقد تمت دراسات واسعة النطاق على درجة نفاذية كثير من الكحولات خلال أغشية الخلية وقد اوضحت النتائج ان الكحولات ذات الوزن الجزيئي الكبير و السريعة الذوبان في الدهون كانت أسرع في النفاذية رغم كبر حجم جزيئاتها لانها كما سبق القول ذات درجة ذوبان عالية في الدهون و لكن يجب ان لا يفهم من هذا ان حجم جزيئات المادة ليس له اى تأثير على النفاذية فقد ثبت من التجارب ان المواد ذات معاملات تجزئة متساوية ولكن تختلف في أوزانها الجزيئية فان درجة نفاذيتها خلال الأغشية البلازمية تزداد بانخفاض أوزانها الجزيئية

3- تدرج التركيز :

اذا ما اتاحت لمادة ما حرية الحركة خلال غشاء فان معدل هذه الحركة يتوقف على الفرق بين درجة تركيز هذه المادة على جانبي الغشاء وذلك في حالة ما اذا كانت جميع العوامل الأخرى ثابتة وهذا ما يطلق عليه تدرج التركيز وهذا يتبع الظاهرة الطبيعية للانتشار وكلما ازداد معدل حركة المواد كلما اتاحت لها الفرصة لنفاذية أسرع خلال الغشاء ويزداد هذا المعدل كلما ازداد الفرق بين تركيزي المادة على جانبي الغشاء حيث يكون معدل نفاذية الجزيئات من الجانب الأكثر تركيزاً في المادة خلال الغشاء أعلى من معدل نفاذية نفس المادة من الجانب الأقل تركيزاً في المادة

نفاذية الأيونات خلال الغشاء البلازمي

هناك عمل آخر يتحكم في النفاذية هو الشحنه الكهربائية وقد دلت التجارب العديدة عل انه كلما كانت الشحنة التي يحملها الأيون أقوى كلما كانت درجة نفاذية الأيون ابطء وهذا يعني ان الالكترونوليتات الضعيفة التاين تنفذ خلال الخلية بمعدل أسرع من الالكترونوليتات القوية التاين ويتبع هذا أيضا ان الأيونات أحادية التكافؤ مثل الصوديوم والبوتاسيوم تنفذ خلال الخلية بمعدل أسرع من الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنسيوم او ثلاثية التكافؤ كالحديد والامونيوم ولم يعرف حتى الآن تفسير لهذه ظاهرة ويجب أن نشير هنا الى ان البروتينات تحمل شحنات موجبة واخرى سالبة وكذلك الفسفوليبيدات فان لها نفس الخاصية وعلى ذلك فان الغشاء البلازمي المكون من البروتينات وفسفوليبيدات يمثل كحاجز يحمل كلا من الشحنتين وعلى ذلك فعند ترك أيون يحمل شحنة خلال الغشاء البلازمي فإنه سيكون هناك تجاذب نحو جزء البروتين او الفسفوليبيدات التي تحمل شحنة مضادة وهذا بدوره يعرقل معدل النفاذية وفي نفس الوقت فانه هناك شحنات مماثلة يتحتم ان ينتج عنها تنافر مع شحنة الأيون والسؤال الآن لماذا لا يتعادل التجاذب والتنافر وبالتالي يمكن للأونات المرور خلال الغشاء البلازمي بدون اى تعويق لها وقد درس على نطاق واسع حركة الصوديوم والبوتاسيوم خلال الأغشية البلازمية ووجد ان البوتاسيوم ينفذ خلالها بمعدل أسرع من الصوديوم رغم ان كلاهما يحمل نفس الشحنة وتفسير ذلك ان لخاصية التميؤ اثر في ذلك فكلما زاد سمك الغشاء المائي حول الأيون وبالتالي زاد قطره كلما قلت درجة نفاذيته وفي هذا المثال يكون قطر أيون البوتاسيوم أصغر من قطر أيون الصوديوم عندما يكون كلاهما في حالة تميؤ .

وجدير بالذكر أن درجة نفاذية الغشاء البلازمي غير مستقرة فهي في تغير دائم وهذه ظاهرة طبيعية في الخلايا النشطة . وبعض هذه التغيرات ترجع الى أسباب داخلية ترجع الى تغيرات تطرا على الغشاء البلازمي نفسه فكتيرا ما يكون غشاء خلية ما اكثر نفاذية لبعض المواد في احد اجزائه منها في اجزاء اخرى . وبعد وقت قليل تنعكس الآية من حيث المناطق التي تكون اكثر نفاذية في الغشاء ولنفس المواد . ولذا يطلق على الغشاء البلازمي انه غشاء منفذ اختياري أي يسمح بمرور البعض الآخر . وهو في ذلك يختلف عن الغشاء شبه المنفذ الذي يسمح بمرور كل الجزيئات ما دامت تقل في أقطارها عن أقطار ثقبه.

حركة الايونات والجزيئات خلال الغشاء البلازمي بواسطة النقل النشط

ذكر فيما سبق ان مرور الذائبات والايونات خلال الغشاء البلازمي في الخلية تتوقف على بعض العوامل مثل حجم جزيئات المادة او الايون ودرجة ذوبانها في الدهون وتدرج التركيز والشحنة الكهربائية التي تحملها الايونات . ومثل هذه النفاذية لا تتطلب أي طاقة لمساعدتها على النفاذية كما أن الغشاء البلازمي لا يتدخل في الانتقال لأنها تنتقل خلاله بواسطة قوانين طبيعية ويطلق على هذه النفاذية عملية النقل السلبي.

ولكنه في حالات كثيرة وجد أن انتقال بعض المواد والأيونات ضد تدرج التركيز او ضد التجاذب الكهربائي ، ولكي يمكنها القيام بذلك لابد من طاقة تستهلك في هذه العملية ويطلق على عملية النقل هذه اسم النقل النشط ، وتفترض هذه النظرية أن جزيء أو أيون أي مادة لكي تنفذ خلال الأغشية البلازمية لابد وان تتحد أتحادا كيميائيا مع بعض المواد الموجودة في الناحية الخارجية للغشاء ويطلق على كل من هذه المواد اسم الحامل ويلزم لهذا الاتحاد الطاقة السابق الإشارة إليها ونتيجة لهذا الاتحاد الكيميائي تتكون مادة وسطية تستطيع ان تنتقل خلال الغشاء ثم تنفصل هذه الجزيئات او الأيونات بمجرد وصولها الى الناحية الداخلية للغشاء نتيجة لتفاعل كيميائي اخر وبذا تستطيع المادة ان تنتقل الى داخل الخلية عبر الغشاء السيتوبلازمي . والمواد التي تنقل بواسطة الحوامل معددة فمنها مواد غير عضوية وايضا مواد كربوهيدراتية. كما ان طريقة النقل النشط حساسة لدرجة كبيرة لغياب الاكسجين حيث ان نقص الاكسجين يضعف من درجة نفاذية المواد بهذه الطريقة (انظر موضوع التغذية المعدنية للنباتات)

تمثيل البروتينات

مقدمة

أن الخصائص الكيموحيوية للحياة وتطور الكائنات يعتمد في المقام الأول على كيمياء الاحماض النووية معبرا عنها من خلال البروتينات حيث ان للبروتينات دورا عظيما للكائن الحي حيث انها ذات نشاط وظيفي حيث تدخل في تركيب الانزيمات وهي اداة عمل الخلية كما تدخل في بناء بعض الهرمونات والكروموسومات . فضلا على دورها التركيبي فالبروتينات هي المكون الاساسي للخلية حيث تكون البروتوبلازم وهو مادة الحياة للانسجة كما انها مصدر طاقة للكائن الحي عندما تنضب موارده من الطاقة " عند نقص الكربوهيدرات وهي المصدر الرئيسي للطاقة - " تجود البروتينات باحماضها الكيتونية بعد نزع مجموعات الامين من عليها لتحرق في افران الطاقة بالخلية " الميتاكوندريا " فتمد النبات بالطاقة اللازمة لاستمرار حياته

التغذية النيتروجينية

بالرغم من وجود النيتروجين بكمية كبيرة داخل النبات وحاجة النبات له كبيرة الا ان النيتروجين غير ميسر في الطبيعة للنبات حيث لا يوجد في صورة معدنية ولكن يوجد النيتروجين كغاز بالهواء والتي تصل نسبته الى ٧٨% من مكونات الهواء ولكن النبات لا يستطيع تثبيت النيتروجين وتقوم الكائنات الدقيقة نيابة عنه بذلك الدور وقد يدخل النيتروجين للتربة عن طريق آخر كاسيد النيتروجين ناتج من الشحنات الكهربائية للبرق يمتص النبات النيتروجين اما في صورة نترات NO_3^- او في صورة امونيوم NH_4^+ الا ان النبات لا يستطيع استخدام النترات لذلك لزم اختزال النترات داخل النبات لتكوين الامونيا لكي يستطيع النبات استخدامها في تكوين الاحماض الامينية بتفاعل الامونيا مع الاحماض الكيتونية الناتجة من تمثيل الكربوهيدرات المتكونة اثناء التمثيل الضوئي وهو ما ثبت عندما لوحظ انه تحت ظروف الاختزال الشديد للنترات وتمثيلها في الظلام فان مستوى الكربوهيدرات في النبات يقل بدرجة كبيرة الا ان النقص سرعان ما يعوض في الضوء من نواتج عملية التمثيل الضوئي

النيتروجين العضوي

لعديد من النباتات قدرة على استخدام النيتروجين العضوي لمصدر للنيتروجين اللازم للنمو فالعديد من الاحماض الامينية والاميدات واليوريا توجد في التربة نتيجة تحلل نفايات المزرعة من سيقان النباتات المتبقية بعد الحصاد للمحصول السابق والاوراق الساقطة لبلوغ الاوراق الى عمر الشيخوخة او الساقطة لمواجه الظروف البيئية غير المناسبة او جذور النباتات المتبقية في التربة . ونتيجة اضافة السماد العضوي والدبال المتحلل . وعند تأكسد الاحماض الامينية في تلك المواد العضوية ينتج عنها الامونيا التي تتأكسد بدورها الى النترات والتي يمتصها النبات وتعتبر مصدر هام للحصول على احتياجاتها من النيتروجين, . قد ثبت ان رش اليوريا على الاوراق فعال في تغذية النبات بالنيتروجين حيث تتحلل بواسطة انزيم urease لينتج الامونيا وثاني أكسيد الكربون وهناك طريق آخر مباشر لاستخدام اليوريا داخل النبات عن طريق اندماج اليوريا مع الحمض الاميني الاورنيثين لتكوين الحمض الاميني الارجنين

تثبيت النيتروجين تكافليا Symbiotic Nitrogen Fixation

تحصل كثير من النباتات البقولية على النيتروجين المثبت عن طريق البكتريا التي تعيش تكافليا على جذورها مسببتا لها العقد الجذرية ومثبتة للنيتروجين من اجل الحصول على الغذاء الكربوهيدراي من النبات العائل والبكتريا التكافلية من جنس *Rhizobium* اما نبات الحور فيتكافل مع جنس *Actinomyces* وجد عند تمزيق العقد الجذرية صبغة حمراء تسمى الهيموجلوبين تسمى البقلوهيموجلوبين وهي المسؤولة عن حمل الاوكسجين اللازم لسلسلة الانتقال الالكتروني للمستعمرة الريزومية في العقد البكتيرية للعائل ليقوم انزيم النيتروجيناز Nitrogenase باستخدام بأختزال النيتروجين الجوي الموجود في حيز التربة ثم في خلايا العائل ليكون الامونيا

ويمر الالكترونات التي مصدرها الايدروجين الناتج من عمليات الاكسدة والاختزال الناتجة من تنفس البكتريا التكافلية ويقوم تيار الالكترونات بقذف الاوكسجين المحمل على صبغة البقلوهيموجلوبين ليتكون الماء في عملية تشبه عملية التأكسد الطرفى التي سوف يأتى التحدث عنها بالتفصيل عند مناقشة موضوع التنفس فى النبات .
 وهناك بعض العناصر الغذائية المهمة فى تلك العملية مثل الحديد والنحاس والكوبلت والمولبدنيم . اما الحديد لانه يدخل فى تركيب الصبغة المسنولة عن النقل الالكتروني وايضا النحاس لانه يدخل فى بناء جزيئ البقلهيموجلبين , اما الكوبلت فى جزء من تركيب فيتامين ب ١٢ وهو يدخل ايضا فى تركيب البقلهيموجلوبين اما وظيفة المولبيدينم فهو تبادل الالكترونات كمكتسب للالكترون ومناح له فى اختزال النيتروجين الى امونيا ويتم ذلك على عدة خطوات حيث يختزل النيتروجين N_2 الى ثنائى الاميد $HN=NH$ ثم الى الهيدرازين NH_2-NH_2 ثم الى الامونيا NH_3



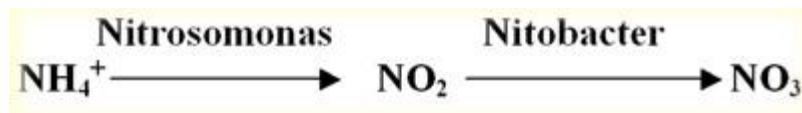
التحولات النيتروجينية بالتربة

تختزل بكتريا Azotobacter الازوت الجوى بساعدة الطاقة المنطلقة من اكسدة المواد العضوية اثناء التنفس وبعد موتها تتحلل تلك البكتريا كما تتحلل المركبات العضوية المضافة للتربة وينتج من التحلل الازوت وهو فى حالة امونيا وتعرف تلك العملية بالنشطرة.

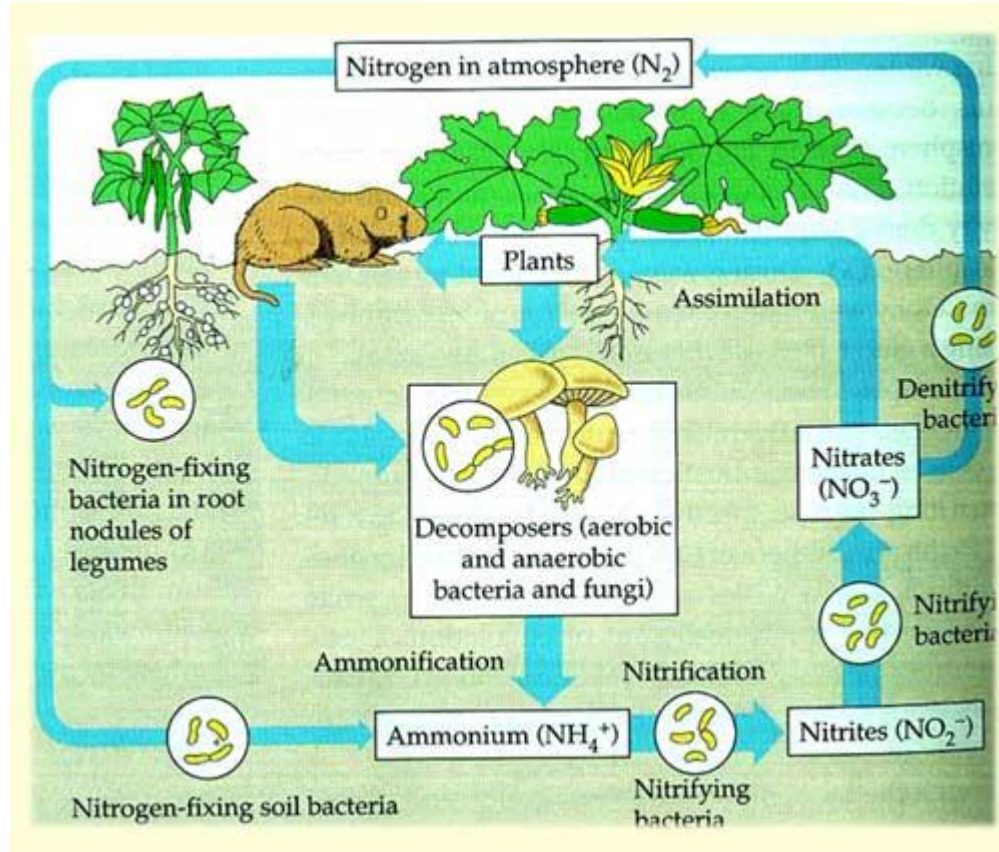
ثم تحدث اكسدة للامونيا لتتحول الى نترات بتاثير بكتريا تسمى ببكتريا التآزت Nitrifying bacteria ويتم ذلك على بسبب خطوتين الاولى يحدث اكسدة للامونيا فتتحول الى النيتريت ويؤديها بكتريا Nitrosomonas, Nitrococcus والخطوة الثانية هى اكسدة النيتريت الى نترات ويؤديها بكتريا Nitrobacter وتلك البكتريا ذاتية التغذية Atrophic وتحتاج فقط الى المواد الغير عضوية لنوها

دورة الازوت فى الطبيعة The Nitrogen Cycle

يتم تثبيت الازوت الجوى كما سبق الاشارة لذلك ليقوم النبات بامتصاص النترات والامونيا والبترت وكذلك المركبات الازوتية العضوية ويحولها الى امياض امينية وبروتينات حيث تشكل الهيكل الرئيسى فى بناء انسجة الحية ويقوم الحيوان بالتغذية على النبات وعند موت النبات والحيوان تقوم البكتريا بتحليلهما الى نشادر ويتحول النشادر الى نيتريت ثم الى نترات

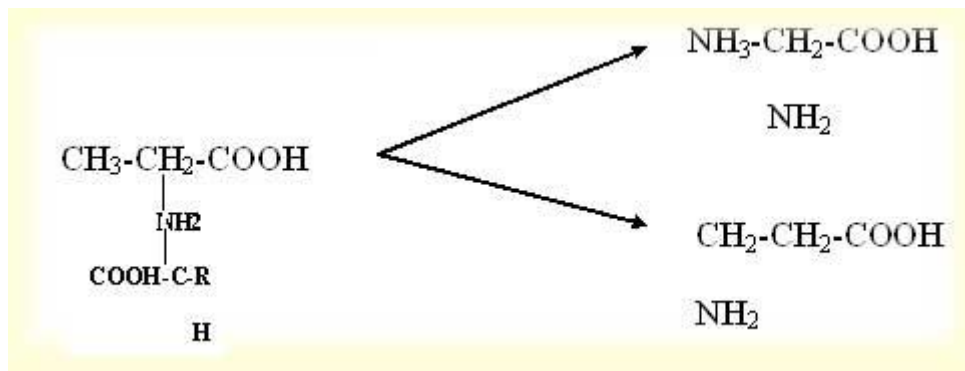


يحدث ايضا تحول النترات الى اكسيد النيتروز N_2O وغاز النيتروجين من خلال وساطة كائنات التربة الدقيقة في عملية **Denitification** عكس النترة والتي تنتهي بخروج غاز النيتروجين الى الغلاف الجوى لتكتمل الدورة المعقدة للنيتروجين في الطبيعة ، كما كمية صغيرة من النيتروجين تدخل التربة من خلال الامطار الرعدية



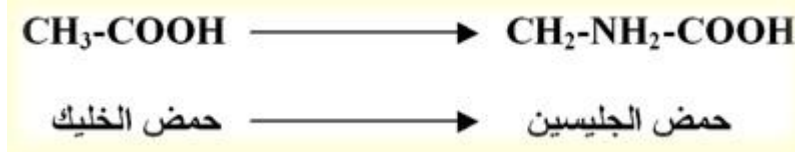
الاحماض الأمينية Amino acids

كما يستدل من اسمها هي مركبات تجمع خصائص الاحماض والامينات فهي تحتوى على مجموعة كربوكسيل $COOH$ ومجموعة امين NH_2 او اكثر وتعتبر الاحماض الامينية مشتقات للاحماض الدهنية باستبدال الهيدروجين بمجموعة امين . والاحماض الدهنية المحتوية على اكثر من ذرة كربون ينتج عنها عدة احماض امينية متشابهة في وضع مجموعة الامين فان كانت مجموعة الامين على ذرة الكربون الاولى المجاورة لمجموعة الكربوكسيل سمي الحمض الاميني الفا وان كانت مجموعة الامين على ذرة الكربون الثانية سمي الحمض الاميني بيتا وان كانت مجموعة الامين على ذرة الكربون الثالثة سمي الحمض الاميني جاما



والاحماض الامينية الكترولينات امفوتيرية Amphataric بالنسبة لاحتواءها على مجاميع امينو قاعديه

ومجموعه كربوكسيل حامضية وتكون الاحماض الامينية احادية الكربوكسيل احادية الامينو في الماء محاليل ثنائية القطب تحمل شحنتين احدهما سالبة والاخرى موجبه نتيجة انتقال بروتون H^+ مجموعة الكربوكسيل الى مجموعة الامينو ونظرا لوجود شحنة موجبه على مجموعته الامينو وسالبة على مجموعة الكربوكسيل يكون الجزى متعادل كهربائيا والاحماض الامينية تعمل لحامض او كقاعدة فعند وجود وسط متعادل كهربائيا $isoelectric\ point$ تحت تأثير الفصل الكهربى , Electrophoresis اما اذا كان الوسط قاعدي (pH مرتفع) فإن الحمض يسلك سلوك الأنيون بسبب سيادة NH_2/COO^- كمجموعات عمل فعالة وعلى النقيض ان كان الحمض في وسط حامضى (pH منخفض) فأنه يسلك سلوك الكاتيون بسبب سيادة $NH_3^+ / COOH$ كمجموعات عمل فعالة وهذا هو دور البروتينات المنظم Buffering ومن امثلة **الاحماض الامينية:** الجلوسين : يتركب الجلوسين من استبدال ذرة هيدروجين من مجموعة الالكيل بحمض الخليك بمجموعة امين



الألانين والجلوتاميك والاسبارتيك: تتكون تلك الاحماض بعملية نقل مجموعة الامين الى الاحماض الكيتونية المناظرة فيتكون الألانين من حمض البيروفيك والجلوتاميك من حمض الالف كيتو جلوتاريك والاسبارتيك من حمض الاكسالوخليك على التوالي والاحماض الكيتونية سالفة الذكر تنتج من التحولات الكربوهيدراتية خلال دورة حمض الستريك " اثناء التنفس او أكسدة السكر "

التيروسين : يتكون انتقال مجموعة الامين من حمض الجلوتاميك الى الحمض الكيتونى فينايل بيروفيك فيتكون حمض الفينايل الألانين الذى يتحد مع مجموعة ايدوكسيل لينتج حمض التيروسين

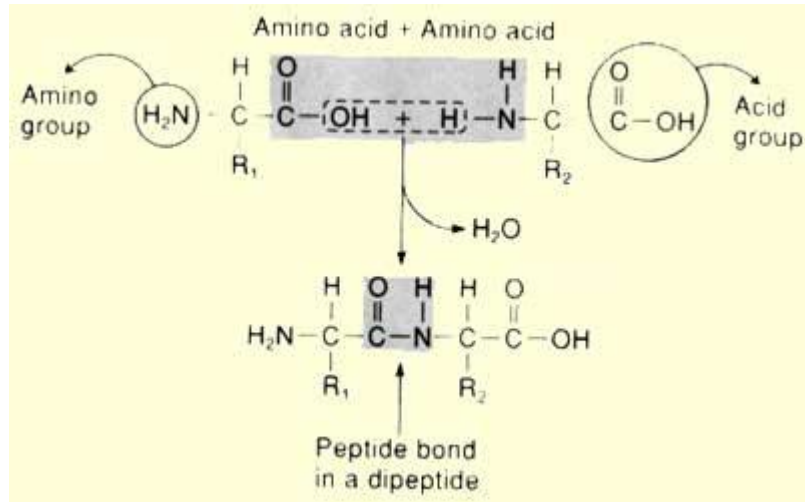
السستين والسستين : تتكون من اتحاد كبريتيد الايدروجين مع البيروفات ليتكون السستين ثم السستين التريبتوفان : يتكون عن طريق تكثيف الاندول مع الحمض الامينى السيرين او تكوين الاندول من حمض الانثرانيليك

البروتينات:

البروتينات نوعان احدهما ذائب فى عصير الخلية والآخر غير قابل للذوبان وهى البروتينات المكونة للاغشية الخلوية ، كما توجد البروتينات فى صورة شبة صلبة غروية فى البروتوبلازم او فى صورة صلبة فى البذور تحتوى البروتينات على الكربون بنسبة ٥٠ – ٥٤ % والايدروجين بنسبة ٧ % والنيتروجين بنسبة ١٦ – ١٨ % والاكسجين بنسبة ٢٠ – ٢٥ % من وزنها ويشترك الكبريت بنسبة ٢ % كما يشترك الفسفور فى بعض البروتينات الهامة

يتميز جزئى البروتين بكبر وزنها الجزيئ فانه يكون محاليل غروية ينتج عنها ضغطا اسموزيا ضعيف بالاضافة الى عدم قدرته على المرور خلال الاغشية شبة المنفذة وبذلك فهو يعمل على تنظيم مرور السوائل الحيوية خلال الأغشية

تتكون البروتينات من وحدات متكررة من الاحماض الامينية ترتبط مع بعضها بروابط ببتيدية وهى التى بين مجموعة الكربوكسيل لأحد الاحماض الامينية مع مجموعة امين لحمض امينى آخر ويخرج الماء نتيجة هذا الاتحاد لذلك يسمى اتحاد حمضيين اميينين باسم المركب ثنائى الببتيد وسلسلة البروتين المتكونة من عديد من الاحماض الامينية باسم عديد الببتيد . Polypeptide



وتقسم البروتينات تبعاً لنقائنها بمعنى بنائها من الوحدات الأساسية أي الأحماض الأمينية فقط أو دخول مركبات أخرى غير بروتينية في تركيبها لذلك تقسم إلى:

1- البروتينات البسيطة : وهي التي تتحلل إلى أحماض أمينية فقط وتقسم تلك البروتينات حسب درجة ذوبانها إلى :

أ- الألبومينات Albumins تذوب في الماء والمحاليل المخففة للأملاح المتعادلة وتتجمع بالتسخين وتوجد في البذور والأوراق

ب- الجلوبيولينات Globulins لا تذوب في الماء وتذوب في المحاليل المخففة للأملاح المتعادلة وتوجد في البذور والأوراق

ت- الجلوتيلينات glutelins تذوب في الأحماض والقواعد المخففة وتوجد في بذور النجيليات

ث- البرولامينات Prolamins تذوب في كحول الإيثانول ٥٠% وتوجد في بذور النجيليات

2- البروتينات المرتبطة : وهي بروتينات ترتبط بمواد غير بروتينية وتقسم إلى

أ- البروتينات النووية : وهي البروتينات المرتبطة بالأحماض النووية

ب- البروتينات الفسفورية : وهي البروتينات المرتبطة بحمض الفسفوريك وتوجد في كازين اللبن

ت- البروتينات الملونة : وهي البروتينات المرتبطة بصبغات النبات مثل الفيتوكروم والبروتينات الكاروتينية والبروتينات الكلوروفيلية

ث- بروتينات الليسيثين : وهي البروتينات المرتبطة بالليسيثين وهي إحدى مكونات البروتوبلازم

ج- البروتينات الدهنية : وهي البروتينات المرتبطة بالأحماض الدهنية وتوجد في الأغشية الحيوية

تركيب البروتين

يتركب البروتين من الأحماض الألفا أمينية مرتبطة ببعضها بروابط ببتيدية في سلسلة طويلة تحتوي على عدد قليل جداً من مجموعات أمينية أو كربوكسيلية منفردة وهي التي تمثل أطراف سلسلتها الببتيدية وتختلف

البروتينات في بنائها الكيميائي تبعاً لعدة اعتبارات كالتالي

* عدد ونوع الأحماض الأمينية المكونة لسلسلتها الببتيدية

* ترتيب تتابع الأحماض الأمينية بالنسبة لبعضها في السلسلة الببتيدية

* التوزيع الفراغي للذرات والمجموعات (R) بالنسبة لبعضها البعض في السلسلة الببتيدية وهذا يتوقف لحد كبير على درجة الالتفاف أو الالتواء على طول السلسلة والذي يؤدي إلى شكل حلزوني Helix

* الشكل والتكوين المجسم ثلاثي الأبعاد لجزئ البروتين

* التصاق جزيئات ببعضها مكونة تجمعات ذات وزن جزئ مرتفع

* ارتباط البروتينات مع مواد غير بروتينية مكونة أنواع من البروتينات المرتبطة

لذلك يتركب البروتين تبعاً لعدة مستويات

* التركيب الأولي Primary structure : هو تكوين البروتين على أكثر من سلسلة من عديد البروتين

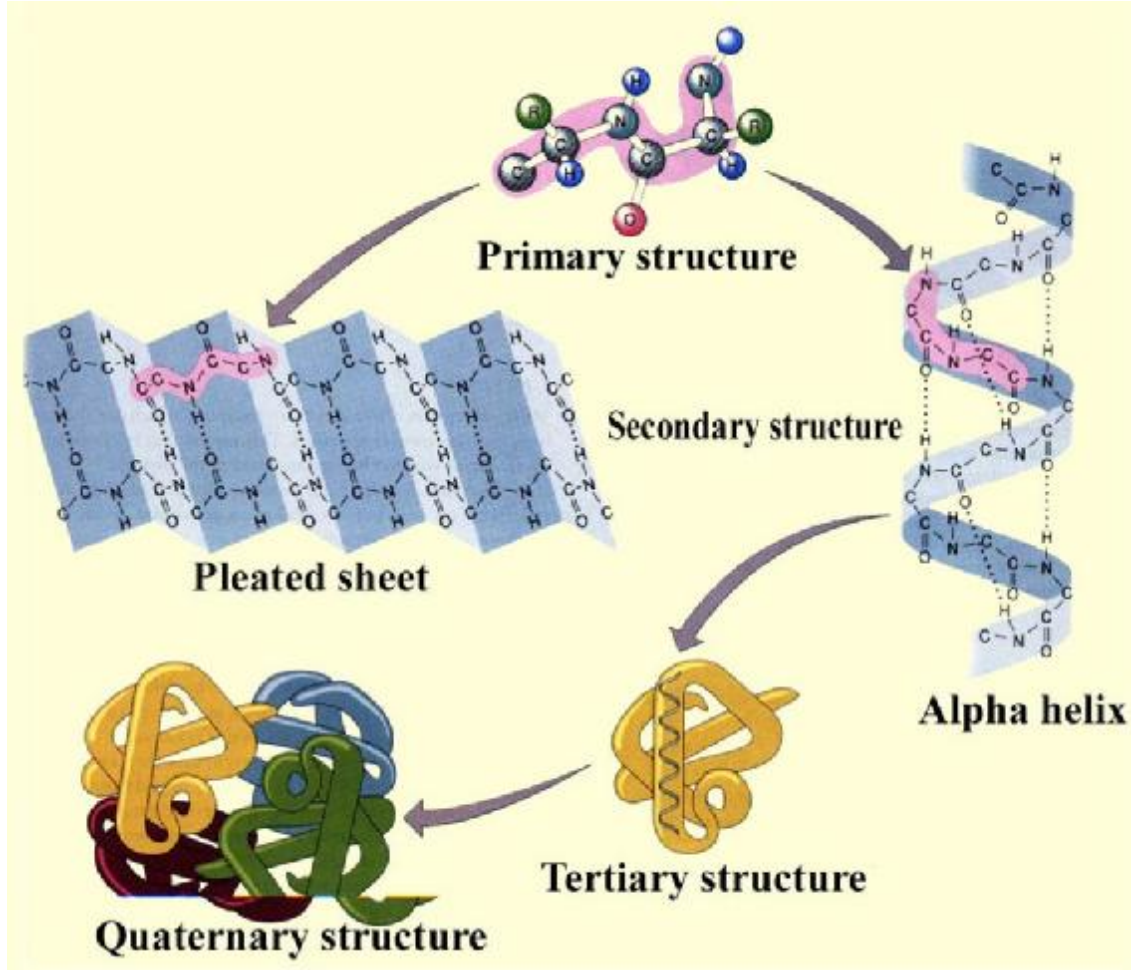
Polypeptide chain ويتم الربط بينهم بروابط غير ببتيدية مثل الرابطة ثنائية الكبريتيد (S-S -) بين اثنين من الأحماض الأمينية من نوع السيستين أو بين السيستين والسيستين

* التركيب الثانوي Secondary structure : تنتظم السلاسل الببتيدية في شكل لولبي Helical أو في شكل

صفائح مطوية Pleated sheet او يشكل عشوائي Random ويساعد على تنظيم البروتينات بتلك الاشكال روابط هيدروجينية او بالروابط الملحية او الربط بقوى فان درفالز

*التركيب الثالث tertiary structure : يحدث انطوانات واثناءات اضافية لتعطي التركيب الثالث وهو الخاص بخواص الانزيم بمعنى عند هدم ذلك التركيب يفقد البروتين والانزيم خواصة وتلك الخواص غير انعكاسية irreversible lost وهذا الفقد في النشاط يحدث بتعرض البروتين للحرارة العالية او بتغير رقم الحموضة pH او بالتعرض للأشعة فوق البنفسجية

*التركيب الرابع Quaternary structure : يحدث بأشتراك سلسلتين او اكثر وتأخذ الشكل ثلاثي الابعاد ويتم الربط بالروابط الهيدروجينية والروابط الكارهة للماء



الروابط التي تثبت سلسلة جزئ البروتين في اوضاعه

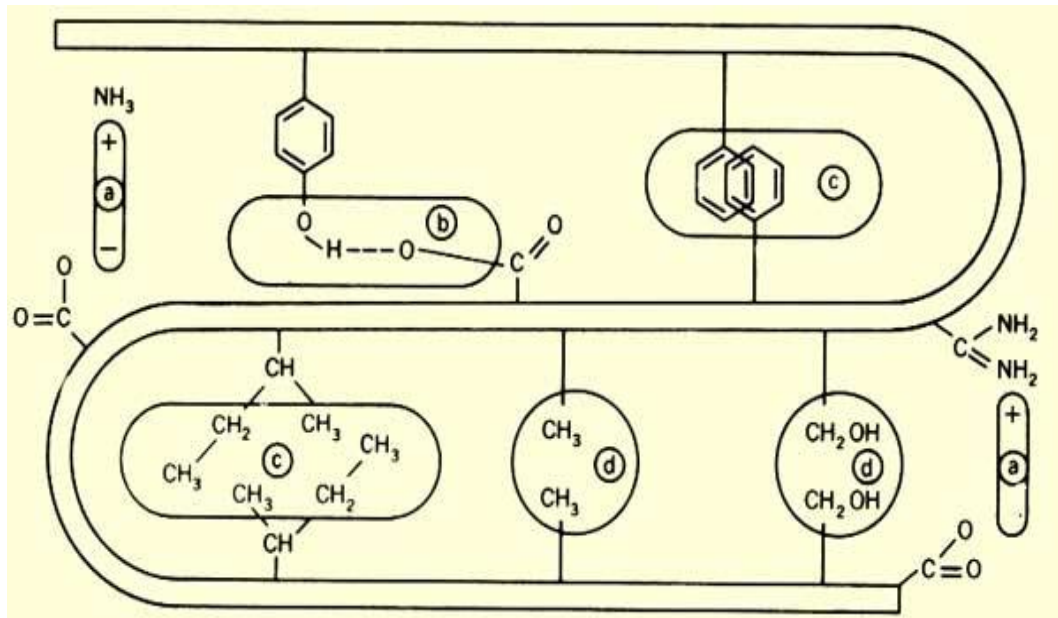
- اهم الروابط التي تعمل على تثبيت اوضاع السلسلة الببتيدية هي
- 1-رابطة ثنائي الكبريتيد The disulphide (-s-s-) bond تتكون نتيجة وجود الحمض الاميني السستين او السستين في مواضع مختلفة من السلسلة الببتيدية تحت ظروف الأكسدة عن ذرتي الكبريت مكونة تركيب سستين بة رابطة ثنائي الكبريتيد
 - 2-تجاذب اطراف متأينة مختلفة الشحنة الكهربائية Electrostatic interaction يحدث هذا بين مجموعات مختلفة من السلسلة وعلى حالة ايونات مرتبطة مثل تجاذب مجموعة كربوكسيل متأينة ذات الشحنة السالبة مع

مجموعة أمين ذات الشحنة الموجبة

3- الرابطة الايدروجينية Hydrogen bond هي نوع من الارتباط الغير اسهامى ينتج من التداخل الكهربائى الاستاتيكي بين جزيئات غير متأينة وفيها يحدث تجاذب لذرة ايدروجين بواسطة ذرتين سالبتيين الشحنة كل منها تعمل على جذبها فتتردد بينهما

4- التجاذب بقوى فان درفالز Van der vaals interaction هذه الرابطة تعمل بها تكافؤات ثانوية ضعيفة وتحدث بين الذرات او المجموعات التى بها توزيع الالكترونات فى الجزئ غير مستقر فلا يوجد بها حالة استقطاب دائم وتبدو متعادلة كهربائيا الا ان حركة الالكترونات فى مسار غير منتظم حول النواة يؤدى الى حالة عدم تناسق مؤقت للتوزيع الالكترونى أثناء دوران الالكترونات فى حركتها حول النواة فان الذرة او المجموعة تكتسب نوع من الاستقطاب المؤقت بالنسبة لما يجاورها مما يؤدى الى تجاذب مع ما يغيرها من المجموعات التى تحمل شحنة نسبية مختلفة عنها فى النوع . وفى اللحظات التى يحدث اثناها اتزان وسرعة حدوثه يخلق نوع من قوى التجاذب الضعيف وتسمى قى فان درفالز وهذا النوع من الارتباط يحدث بين مجموعتى ميثايل او مجموعتين كحول اول قريبة من بعضها فى مواضع مختلفة من السلسلة الببتيدية

5- التصاق المجموعات غير القطبية نتيجة تنافرها مع المذيب مثل الذى يحدث بين مجموعتى فينايل أو ايزوبروبايل نتيجة تنافر كل منها مع الماء



بناء البروتينات بالنبات

يتم بناء البروتينات على عدة خطوات كالتالى :

*امتصاص النترات واختزالها داخل النبات

*بناء الاحماض الامينية

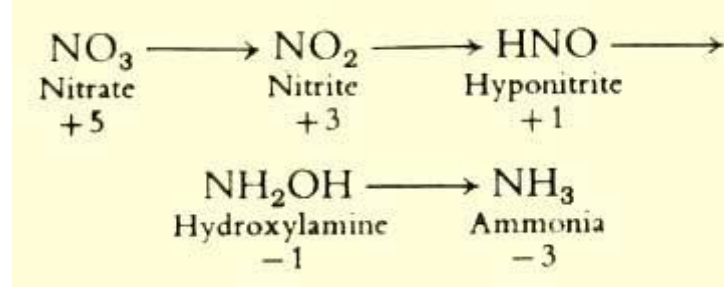
*نقل المجموعة الامينية

*بناء البروتين

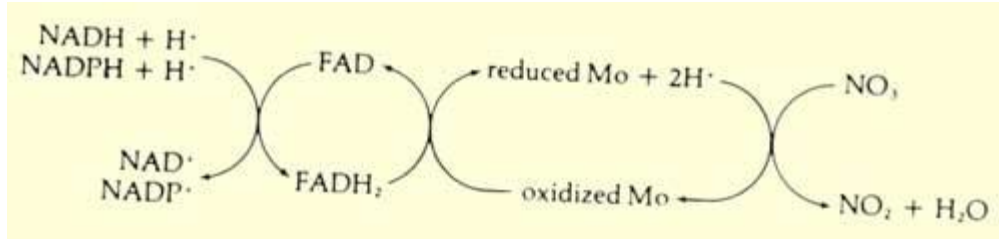
اولاً : اختزال النترات Nitrate reduction

يقوم النبات بامتصاص النيتروجين على صورة نترات كما سبق الاشارة اليه ولا يكن استعماله الا بعد اختزاله الى الامونيا قبل اتحادها لتكوين المركبات النيتروجينية

اول خطوات اختزال النترات هو تحويلها الى النيتريت -NO2 تحت تأثير انزيم nitrate reductase ثم يتحول النيتريت الى الهيبو امين HNO والذى يتحول الى الهيدروكسيل امين NH2OH يتحول اخيرا الى النترات



وقد وجد ان عنصر المولبيدينم عامل معاون CO-factor ضرورى لهذا الانزيم وان القرين الانزيمي NAD (Nictanoamide Adenine Dinucleotide) المانح للالكترن الرئيسي له والذي ينقله بدوره الى قرين انزيمي هو FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) ثم ينقل الألكترن منه الى المولبيدينم فينقله الى الاوكسجين بجزيئ النترات ليمكنة من الاتحاد مع الايدروجين والذي منحة من قبل المعون الانزيمي NAD ليكون الماء فيختزل جزيئ النترات الى النيتريت كما هو موضح فى الشكل التالى



العوامل المؤثرة على اختزال النترات

يعتبر وجود عوامل مثل الضوء وثانى اكسيد الكربون والكالسيوم من العوامل الهامة لاختزال النترات فقد وجد Beever وآخرين أن تخليق أنزيم اختزال النترات يزداد بزيادة الكثافة الضوئية وأن الحاجة للضوء ترجع الى الاحتياجات للنشاط الضوئى التمثيلى فى تخليق هذا الانزيم . اما Paulsen and Harper فقد وجد أن الكالسيوم يؤدى الى تراكم النيتريت وهو ما يؤدى الى تثبيت تمثيل انزيم اختزال النترات لذا اقترحا أن تراكم النيتريت لا يرجع الى تأثير نقص الكالسيوم على انزيم الاختزال بل ان التأثير يرجع الى أن نقص الكالسيوم يعيق انتقال النيتريت عبر الاغشية التى تعاني م ذلك النقص حيث أن الكالسيوم من العوامل المكملة لوظيفة الاغشية النحاس والحديد او كليهما معا بالاضافة الى ATP تشارك فى نشاط انزيم اختزال النيتريت . كما وجد أن البروتين الفلافيني FAD والمولبيدينم هاما لاختزال النترات حيث يعمل كحاملان للالكترن من NADH₂ الى أوكسجين NO₃ -

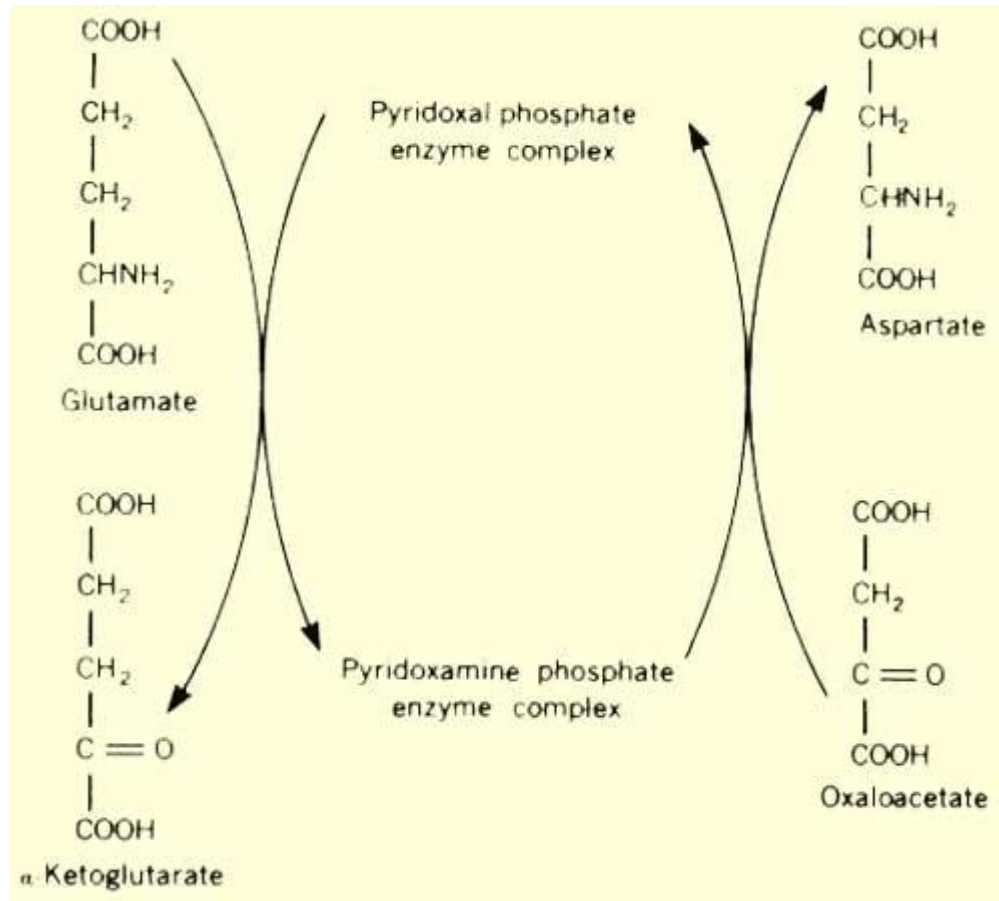
ثانيا : بناء الاحماض الامينية Amino acids synthesis

يبدو أن الاحماض الامينية تبنى فى الميتاكوندريا لتوفر الاحماض الكيتونية الناتجة من دورة كربى لاستخدامها فى بناء الاحماض الامينية الا أنه وجد ان البناء يمكن أن يحدث ايضا فى البلاستيدات الخضراء يتم البناء باندماج النشادر باحماض عضوية كيتونية مثل تفاعل حمض الالفاكيتو جلوتاريك مع النشادر مكونا الحمض الامينى الجلوتاميك ، وينشط هذا التفاعل أنزيم glutamic acid dehydrogenase فى وجود قرين الانزيم NAD او NADP ويعتبر هذا التفاعل اهم التفاعلات على الإطلاق حيث انه التفاعل الذى يتم فيه نقل النشادر الى الحمض الكيتونى بل يعتبر المنفذ الرئيسى والوحيد لنظام التحول الغذائى للنتروجين الغير عضوى . لكن اثير كثير من الشكوك فى كون ان التفاعل السابق هو الوحيد لادخال النشادر الى التمثل البروتينى فقد اشارت الابحاث الى احتمال اخال النشادر مباشرة الى الاوكسال خلات والبيروفات لتكوين حمض الاسبارتيك والالانين على التوالى وبذلك يكون هناك اربع طرق لادخال الامونيا الى الاحماض الكيتونية لتكوين الاحماض الامينية

ثالثا : النقل الامينى Transamination

يستطيع حمض الجلوتاميك المتكون بالطريقة السابقة اعطاء مجموعة الامين الى حمض الفا كيتونى آخر لتكوين احماض امينية أخرى وينشط عملية نقل المجموعة الامينية من حمض امينى الى حمض كيتونى مجموعة من

الانزيمات تعرف بأنزيمات النقل الأمينى Transaminase ويحدد تسميتها مادة التفاعل وناتج التفاعل فمثلا الأنزيم الذى ينشك نقل مجموعة أمين من حمض الجلوتاميك (مادة تفاعل) الى مجموعة الكربونيل لحمض الأوكسالو خليك ليتكون حمض الاسبارتيك (ناتج التفاعل) يسمى glutamate aspartic transaminase وقد توصل العلماء الى ان النقل الأمينى يتم بمساعدة المرافقات الانزيمية مثل فوسفات البيرودوكسال Pyridoxal phosphate أو فوسفات البيرودوكس امين Pyridoxamine phosphate

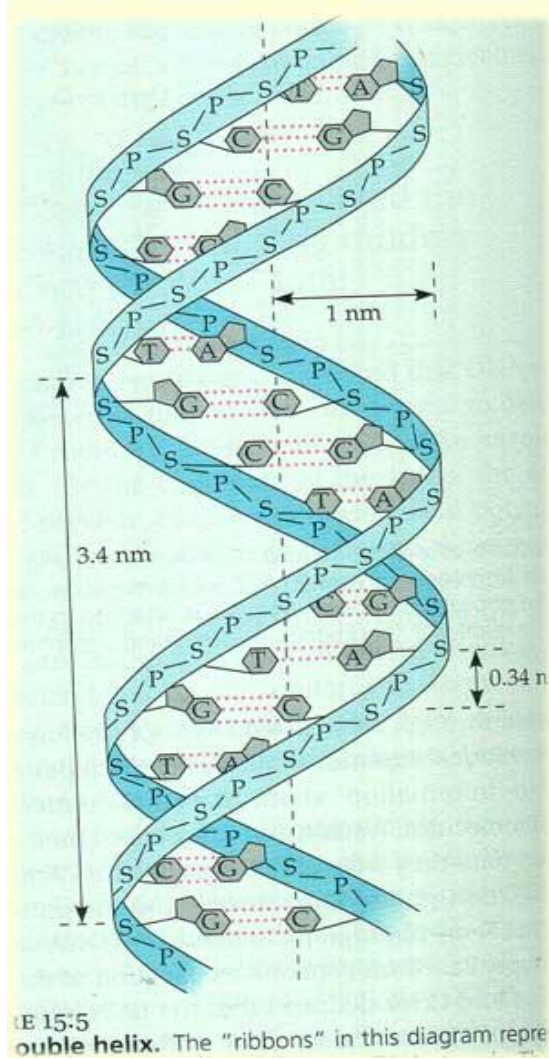


رابعاً : بناء البروتين Protein synthesis

تبنى البروتينات على الريبوسومات بآحاد الأحماض الأمينية أو تكثيفها معا برابطة ببتيدية بين مجموعة الكربوكسيل فى احدهما مع مجموعة الأمين فى الأخرى وبذلك تعد الريبوسومات بمثابة أنوال لتصنيع السلاسل الببتيدية ولكن السؤال الذى يجب ان نعرف الأجابة عليه هو أى الأحماض الأمينية تختار وبأى ترتيب ؟ نجد الأجابة وافبة فى الجزء التالى والذى سنعرض فيه كيف تتحكم الجينات فى بناء البروتينات

اين تحتوى الخلية على مخزون المعلومات الوراثية اللازم لتأدية عملها ؟
 •تحتوى الخلية على مخزون من المعلومات والخطط اللازمة لتأدية عملها داخل النواة والبعض الآخر خارج النواة فى احدى عضياتها وهو ما يسمى بالميتاكوندريا وهو بيت الطاقة فى الخلية حيث انه المسئول عن أكسدة السكر وانتاج الطاقة اللازمة للخلية فى تسير عملها .
 •تحمل التعليمات داخل وحدات صغيرة تسمى بالجينات والتي تتراص معا داخل حافظة تسمى الكروموسومات ومجموعة الجينات داخل الحواظ جميعها تسمى بالجينوم وهى المسئولة عن صفات الكائن التى تميزه والجينوم يعد مكتبة مرتبة دون قراءة

•يتكون الكروموسوم كيميائيا من حمض يسمى الحمض النووى والذى يرمز له بالدنا او DNA حيث يتكون من عدد هائل من الوحدات الصغيرة مرتبطة فى شكل سلسله وكل جزئ كامل من DNA يتركب من سلسلتين تلتفان كجديلتي حبل لتأخذ شكل اللولب المزدوج والوحدات الأساسية لهذه السلسلة هى اربع نيكلوتيدات تسمى



- الادينوزين A
- السيٲوزين C
- الثياميدين T
- الجواندين G

•هناك الة كيميائية فيزيقية بين الادينوزين والثياميدين وبين كل من السيٲوزين والجواندين تسبب نزوع كل قاعدة الى الالتصاق بمن تتألف معها فأذا ما انفصلت السلسلتين سريعا ما تعود الى التركيب الأصلي وإذا ما انفصلتا السلسلتين كالسوستة سرعان ما اختارت كل سلسلة ما يكملها او تجمع كل سلسلة القواعد التي تتألف معها ليتم بينها التحام لتكون سلسلة مكملة وبذلك يتم التضاعف عند انقسام الخلية وبذلك تتكون السلسلة بنفس الترتيب وبدقة بالغة.

تتكون كل نيكلوتيدة من ثلاثة اجزاء اثنان منها تكونان قوائم السلم الحلزوني وهما السكر الخماسي الريبوزي في صورة الديسوكسي (اى سكر الريبوز منزوع ذرة الأكسجين من على ذرة الكربون رقم ٢) حمض الفوسفوريك وتتحد النيوكلييدات معا برابطة ثنائية الأستر حيث تتحد احدى النيوكلييدات مع التي تسبقها في السلسلة برابطة استر بين مجموعة الايدروكسيل على ذرة الكربون رقم ٣ وحمض الفوسفوريك للنيوكلييدة السابقة , وبين مجموعة الايدروكسيل على ذرة الكربون رقم ٥ وحمض الفوسفوريك للنيوكلييدة التالية والجزء الثالث من النيوكلييدة عبارة عن احدى القواعد الاربعة والتي تكون بالاتحاد مع ما يناظرها درجات السلم الحلزوني

فيتم الاتحاد بين قاعدة الادينين في نيوكلييدة الادينوزين A مع قاعدة الثيامين في نيوكلييدة الثياميدين T برابطة ثنائية الايدروجين , وبين قاعدة السيٲوزين في نيوكلييدة السيٲوزين C وقاعدة الجوانين بنيوكلييدة الجواندين G برابطة ثلاثية الايدروجين

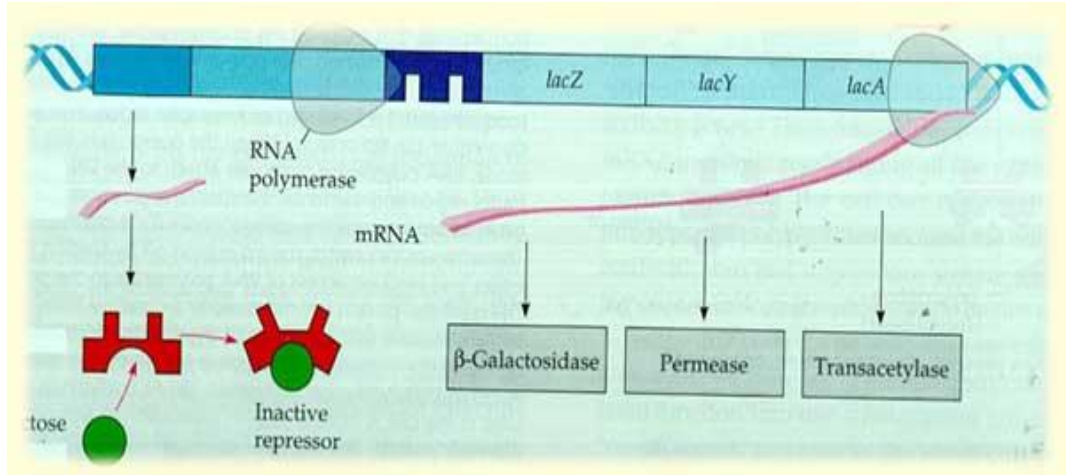
تركيب الجين وتنظيم عملة

تبعاً لنموذج Jacob&Monod فقد قسمت الجينات الى ثلاث أنواع وهي:

1- Regulator Genes وهي الجينات المنظمة لعمل عديد من الجينات الأخرى والتي يطلق عليها اسم الجينات العاملة

2- Operator Genes وهي الجينات العاملة التي تقوم بدور عامل التليفون وهي التي تتحكم في فتح وغلق

عدد كبير من الجينات الأخرى التي يطلق عليها **Structural Genes** وهي الجينات المسؤولة عن التركيب الخاص بالبروتينات أو بروتين الإنزيم ولقد افترض تنظيم نشاط الجين يكون عن طريق **Regulator Genes** حيث يتحكم في فتح أو قفل عدد من **Structural Genes** المسؤولة عن إنتاج أنزيمات معينة تؤدي تفاعلات بيوكيميائية في سلسلة ينتج عنها في النهاية ظاهرة فسيولوجية معينة . ويتم ذلك بأن يقوم ال **Regulator Gene** بإفراز مثبط لعمل **Operator Genes** ويطلق على هذا المثبط اسم القامع أو الكابح وقد اقترح **Gelbert 1967** أن **Repressor** عبارة عن بروتينيات تقوم بمنع الجين العامل من إتاحة الفرصة لأنزيم بلمرة الرنا من أن يعمل وبالتالي لا تؤدي وظيفتها واقترح أن ذلك يتم بوسيلتين



الاولى ان الكابح ينتج دون قدرة على الكبح الا في وجود منشط **Effector** عند وجوده يقوم بالالتصاق بمنطقة **Operator** فيمنع انزيم بلمرة الرنا من نسخ **DNA** وبالتالي عدم تكوين الرسالة كما اقترح **Jacob & Monod** أن الآلية الثانية للكابح تتم عن طريق تثبيطه بمادة ذات وزن جزيء منخفض **Effector** والتي تلغى قدرة الكابح على العمل وبالتالي يصبح **Operator Genes** حراً تاركا ال **Structural Genes** قادرة على العمل من خلال إصدارها الأوامر الخاصة بتكوين البروتين وهي **mRNA** وبالتالي لإنتاج إنزيمات متخصصة لاتمام تفاعلات معينة وظهور ظاهرة فسيولوجية أو صفة أو تميز خلوي أو تكشف خلايا أو أنسجة معينة

وهناك نظرية تفترض أن البروتين القاعدي المعروف بالهستون والذي يحتوي على نسبة كبيرة في تركيبه على الحمض الأميني الأرجينين والليسين "والموجود بالكروموسومات يعمل كمادة مثبطة لفصل المادة الوراثية إذا ما اتحد بها وبذلك ينظم فعلها من المراحل الجنينية وحتى الموت. ويسبق منطقة العامل أو **Operator** منطقة تسمى بمنطقة المستبدى أو المحفز **Promoter** هي التي تحدد لأنزيم بلمرة **mRNA** من أين يبدأ العمل نسخ رنا أو الرسالة **RNA Synthesis**

يتم نسخ رنا أي الرسالة التي ترسلها النواة إلى الخلية بدرجة انتقائية حيث يحدث نسخ جزئي فقط لتتابعات معينة من دنا الجين لإنتاج **mRNA** بقاء نسبة صغيرة فقط من هذه التتابعات المنسوخة يتم عليها عمليات تجهيز و تعديل وحذف لتتابعات من رنا النووى قبل خروجها النهائي إلى السيتوبلازم

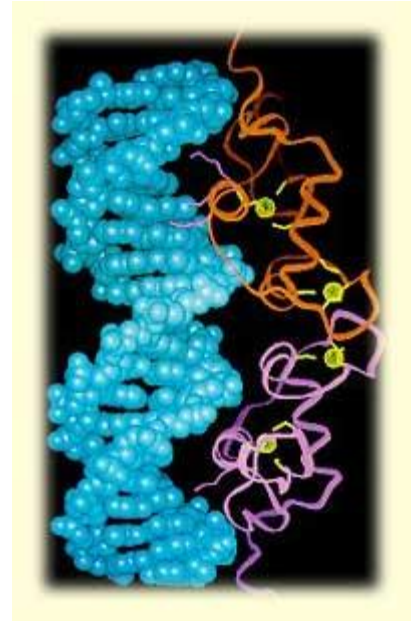
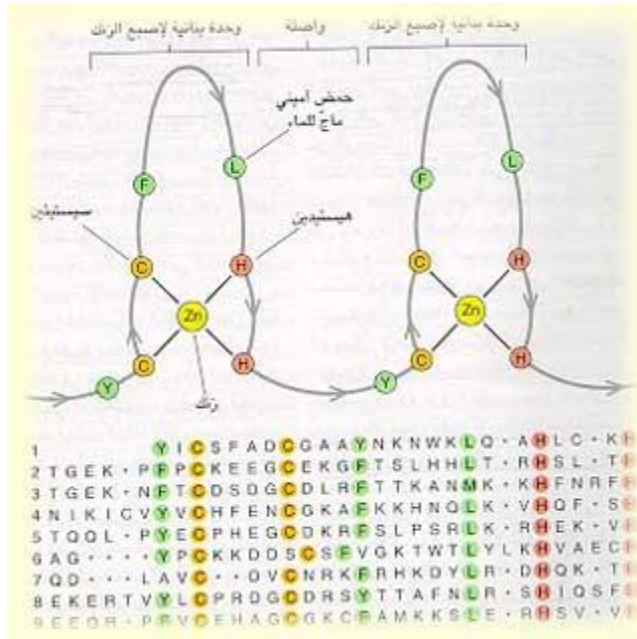
وتنتقى النواة جينات معينة لنسخها لتقوم بوظائف محددة تبعا لنوع الخلية ومكانتها ووظيفتها في النسيج أو العضو لذلك فإنزيمات بلمرة رنا لا بد لها من التعرف على منطقة المستبدى أو المحفز الموجودة في الجين والمعروفة **Promoter** عن طريق ارتباط بروتينات نوعية مع تتابعات معينة من دنا القالب لتنشيط المحفز يطلق على تلك البروتينات النوعية اسم عوامل النسخ وهي بمثابة مفتاح التشغيل لبدء التناسخ تحت عوامل النسخ على تتابع معين يعرف بصندوق **TATA** يتم التعرف عليه باستخدام أصابع الزنك في عامل النسخ ويكون عادة على بعد ٢٥٠ قاعدة من موقع بدء النسخ فيؤدي عامل النسخ على تحفيز النشاط النسخي لأنزيمات بلمرة رنا وينتج سلسلة رنا من عدد من الوحدات يتراوح عددها بين ٨٠٠٠-٢٠٠٠٠ نيكلويدة وهي أطول كثيرا من طول **mRNA** الذي يكون البروتين (١٢٠٠ نيكلويدة تشفر لحوالي ٤٠٠ حمض أميني ليكون سلسلة البروتين)

والسؤال الان كيف تنشط الجينات لكي تعمل ؟

وجد انه لكي ينشط الجين لا بد لعدد من البروتينيات تعرف بعوامل النسخ Transcription factors ان ترتبط بقسم من الجين يدعى المنشط او المعزز Promoter ليتمكن باقي الجين من التعبير عن نفسه في بدء عمل نسخة ال mRNA المسنولة عن إنتاج الأنزيم الذي يقوم بإتمام التفاعل الحيوى واطهار الصفة المحددة وعلية فأن عامل النسخ هذا هو بمثابة مفتاح التشغيل On gene للجين.

ولا يزال العلماء يفكرون فى الوسيلة التى يهتدى بها عامل النسخ هذا للوصول الى الجزء المنشط او المعزز للجين حتى أمكنهم من فك اللغز عندما وجدوا ان أحد عوامل النسخ يحتوى على نتوءات عرفت فيما بعد بأسم أصابع الزنك Zinc fingers والتى وجد انها مهيئة للتعرف على الجزء الخاص من الجين والمسنول عن تنشيطه.

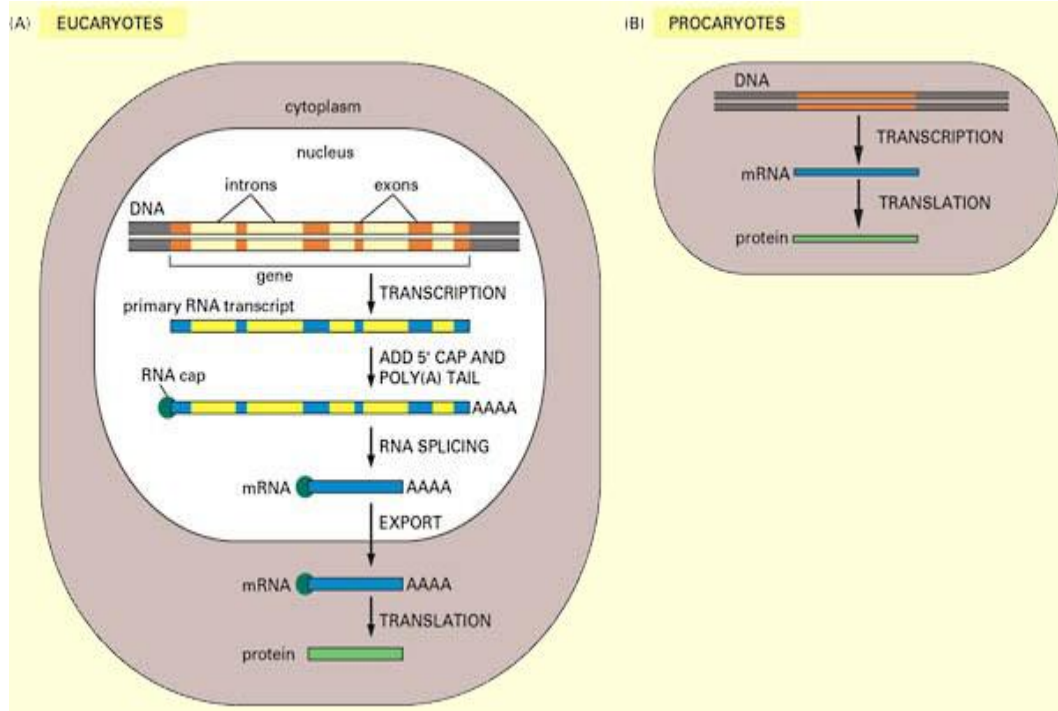
وأصابع الزنك اكتشفها كلاك عام ١٩٨٥ ووجد انها متواليات من أحماض أمينية تستطيع الانطواء حول أيون الزنك ولقد اكتشفت أصابع الزنك عندما حللت تتابعات الأحماض الأمينية فى إحدى عوامل النسخ ووجد ان هناك ترتيب خاص لتتابع الأحماض الأمينية فى تسع تتابعات او قطع متعاقبة او وحدات متتالية مرفمة من 9-1 بينهما تشابهات مهمة حيث تتشابه او تتطابق وجود زوج من الأحماض السيستينية (C) وزوجا من الأحماض الهيستيدينية (H) وان زوجى السيستيين والهيستيدين فى كل وحدة بنائية ينضمان الى أيون الزنك جاعلين الأحماض الأمينية الموجودة بينهما تتحلق على النحو المبين بالشكل



كما وجد من الدراسات المكثفة سنة ١٩٩١ باستخدام الرنين المغنطيسى ان أصابع الزنك لكى تتصل بجزء DNA لا بد لها من استعمال إصبعين على الأقل لكى يتعلق البروتين DNA بصندوق TATA بقوة كافية وتعتبر أصابع الزنك رؤوس قارنة Reading heads تتصل ببعضها بوصلات مرنة ، كما وجد ان حمض امينى معين (E,G,A) يتصل مع قاعدة نيتروجينية واحدة من الزوج القاعدى على DNA بالمجموعات الفوسفاتية فى سلاسل السكر والفوسفات التى تكون جانبى سلم DNA.

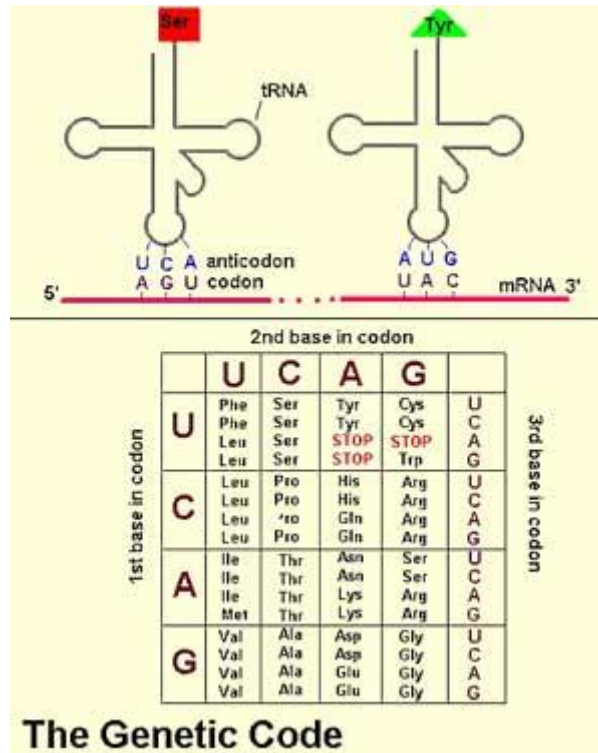
نظرا لان الجين فى مميزة النواة لا يتكون من تتابعات شفرية مستمرة بل تتخلله تتابعات غير شفرية طويلة يعكس جينات بدائية النواة فتسمى التتابعات التى تمثل باسم الاكسونات وتسمى التتابعات التى تحذف باسم الانترونات ثم توصل الاكسونات ببعضها RNA splicing حيث تتبعج الانترونات للخارج فى شكل عروات قبل استبعادها

تأتى مرحلة تعديل وتجهيز نسخة رنا حيث تعرف جزيئات رنا الغير متجانسة باسم nhRNA فيتم اضافة قلنسوة الجوانين المميثلة G-methylated nucleotide حيث ان للقلنسوة دور في بناء البروتين عندما ينتقل الى الريبوسومات كما يبدو انها تقوم بحماية النسخة النامية من رنا من عملية التحلل والهدم ، ويضاف لجزئ nhRNA زيل عديد الادينيين (Poly A Tail) قاعدة الادينوزين) يقوم بها أنزيم خاص يسمى Poly A Polymerase ويبدو ان الذيل له وظيفة تسهيل خروج mRNA من النواة الى السيتوبلازم ويؤخر هدمه فى السيتوبلازم ليتيح الدخول فى اكثر من دورة من دورات الترجمة



الشفرة الوراثية للجينات

• الجين Gene إذن هو جزء من DNA وهى بمثابة الحبات فى المسبحة وللجينات لغة تخاطب بها الخلية حيث تنقل اليها رسائل تقرئها الخلية فتتفقد ما فيها من تعليمات وأوامر فى منتهى الدقة ، لغة الجينات تتألف من أربع حروف هي A,C,T,G السابق ذكرها اما كلماتها فتتألف من ثلاث حروف فقط من تلك الحروف الأربعة ولتلك اللغة شفرات لكى تفهمها الخلية كعلامات الترقيم والفواصل بمعنى ابدأ من هنا ، توقف هنا ، بعض الشفرات تعمل كاقواس بين الجمل ليست لها أهمية تسمى انترونات . بعض أجزاء من DNA تعمل كمنظم لعمل الجين تعرف بالجينات المنظمة



تلك هي السيمفونية الربانية التي تعزفها الخلية لتقوم بوظائفها التي حددها الله في صورة هذا التسلسل والتتابع الدقيق للنوكليوتيدات في ما يعرف بالدنا ترسل الخلية رسالة الى الخلية تسمى رسالة الرنا ليتم ترجمتها على المصنع الصغير المسمى بالريبوسوم فيكون بذلك بروتينا معينا هذا البروتين يتتابع للاحماض الامينية حيث تتباين كيميائيا تباينا واسعا نتيجة تكونها من عشرين حمض اميني يجعل هذا التباين ممكنا ويتم بناء هذا العدد الهائل من البروتينات داخل الخلية باوامرها التي ترسلها مع الرسول وبذلك يتكون الحمض الاميني المضبوط في المكان المضبوط لينتهي بصناعة البروتين الذي يكون بعضه بنائى في الخلية والبعض الاخر تنظيمى اى يقوم بتنظيم سير التفاعلات الحيوية داخل الخلية فالبروتينات هي التي تحدد شكل الخلية ووظيفتها ومصير البروتينات الى اين تتجه ايضا حيث تتكون نوع من البروتينات تكون بمثابة بطاقة حقائب السفر حيث تنجذب الى تلك البروتينات بروتينات اخرى لتتوجه الى المكان الصحيح وبذلك تشبه سير حقائب السفر على السير المتحرك الى الوجهة المحددة , والبروتينات هي المكونة للانزيمات والتي تشبه الكماشة حيث تستطيع تشبيك الاشياء (المركبات الكيميائية) معا او تجدها معا او تفككها من بعضها ويتم ذلك بدقة مناهية , والبروتينات هي التي تصنع الغشاء المحيط بالخلية كما تصنع الابواب التي تسمح بدخول المركبات اليها او خروجها منها بل ان الانزيمات هي التي تسمح بذلك حيث تتحد مع المركبات الداخلة او الخارجة وتحوّلها حتى يمكنها الدخول او الخروج حتى الكائنات الممرضة كالبكتيريا فأن اسنانها هي الانزيمات التي تقوم بتمزيق مكونات الخلية وتحليلها الى مواد ابسط لامتصاصها والتغذية عليها.

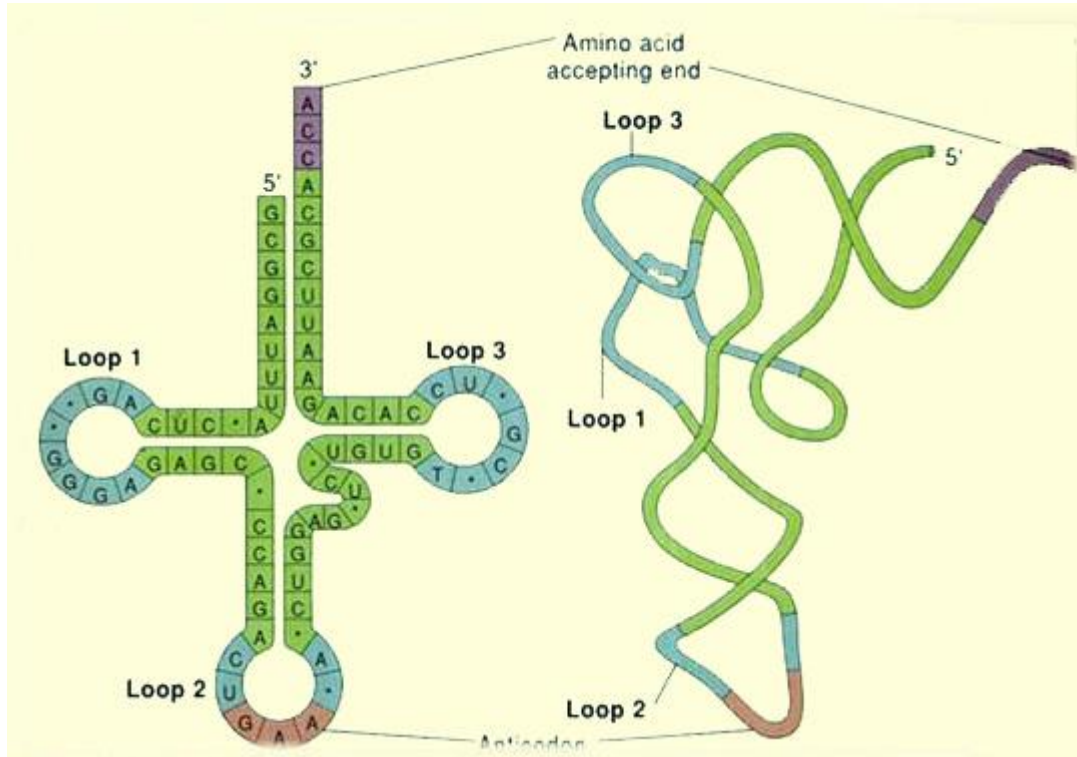
عرفت الشفرة الوراثية على انها ترتيب النوكليوتيدات في جزئ mRNA الذي يذهب الي الريبوسوم حيث يترجم الي تتابع للأحماض الامينية في سلسلة عديد الببتيد الذي يكون بروتينيا ما . في بداية تفكير العلماء عن الشفرة الوراثية كان معروف أن عدد الأحماض الامينية الموجودة في الطبيعة عشرون حمضا وعدد القواعد النيتروجينية الداخلة في تركيب جميع النوكليوتيدات أربعة هم (A,G,C,T) و للحصول علي لغة وراثية سليمة لابد من أن تشكل حروف هذه اللغة (القواعد النيتروجينية الأربعة) عشرين كلمة (الأحماض الامينية) وبالتالي الكلمة الوراثية (الحمض الأميني) أما أن يتكون من حرف أو حرفين أو ثلاثة حروف أو أكثر ومنطقي استحالة تكون الكلمة الوراثية من حرف واحد (قاعدة نيتروجينية واحدة) لان معنى ذلك أن عدد الأحماض الامينية هو أربعة فقط وهذا منافي للواقع حيث أن عددهم هو عشرون ولو كانت اللغة ثنائية الحروف 2 = 4 16 حمض أميني وهو اقل من العدد المطلوب أذن الشفرة الوراثية تتكون من ثلاثة حروف 3 = 27 64 حمض أميني أي أكثر من العدد الموجود فعلا من الأحماض الأمينية وبالرغم من ذلك فان هذا العدد رغم انه يزيد عن العدد الفعلي للأحماض الامينية ألا أنه يعتبر أصغر مجال نظري لكلمة شفرة . ففي عام

١٩٦٥ م عندما تم الوصول الي الشفرة الخاصة بكل حمض أميني و التي يطلق عليها اسم كودونات (Codes) تأكد بعد ذلك أن هناك أكثر من شفرة لكن حمض اميني . أيضا هناك كودونات توقف آلية بناء البروتين . كما أن هناك كودون بداية ، أي يعطي الإشارة للنقطة التي يبدأ عندها بداية آلية جديدة لصنع بروتين جديد.

و مما أظهرته الدراسات علي الشفرة الوراثية أنها عامة أو كونية بمعنى أن الأحماض الأمينية في الكائنات المختلفة لها نفس الشفرة فمثلا الحمض الأميني الجليسين في جميع الكائنات الحية يتواجد بشفرته المعروفة (GGU, GGC, GGA) ويتم توزيع الجينات علي الكروموسوم بشكل مقنن و ليس عشوائي و هذا التحديد يتم بواسطة المسافات الفاصلة بين الجينات علي الكر وموسوم.

بناء البروتين

تحتوي الخلية على مجموعة من ر ن ا الناقل و هي عبارة عن جزيئات من الأحماض النووية الريبوزومية صغيرة الطول (٧٠ - ٩٠) نيوكلييدة يسمح بتركيب جزئ tRNA بوجود موقعين نوعيين يمكن لاحدهما ان يتعرف على و يرتبط بالحمض الاميني بمساعدة أنزيم نوعي يسمى tRNA synthetase في حين يقوم الموقع الآخر و هو المحتوي على الكودون المضاد و الذي يحتوى على ثلاث قواعد يتعرف على الكودون الموجود في تتابع جزئ mRNA مما يسمح للأحماض الأمينية ان تصطف طبقا لهذا التتابع النيوكليدي و يوجد لكل حمض أميني tRNA او اكثر وهي بمثابة عربة لنقل لأحماض الأمينية من السيتوبلازم الى الريبوسوم حيث يتحد الحمض الاميني المعين مع احدى نهايتي الحمض النووي الريبوزمي في حين يتم التزاوج الصحيح بين الكودون و مضاد الكودون بالروابط الهيدروجينية و عليه يقوم tRNA بدور أساسي كوسيط في عملية الترجمة او يقوم بتحويل تتابع النيوكلييدات الى تتابع من الأحماض الامينية في نفس الوقت يتم تكوين رابطة ذات طاقة عالية عند النهاية الكربوكسيلية لهذا الحمض بحيث يمكنها ان تتفاعل مع المجموعة الأمينية للحمض الاميني التالي



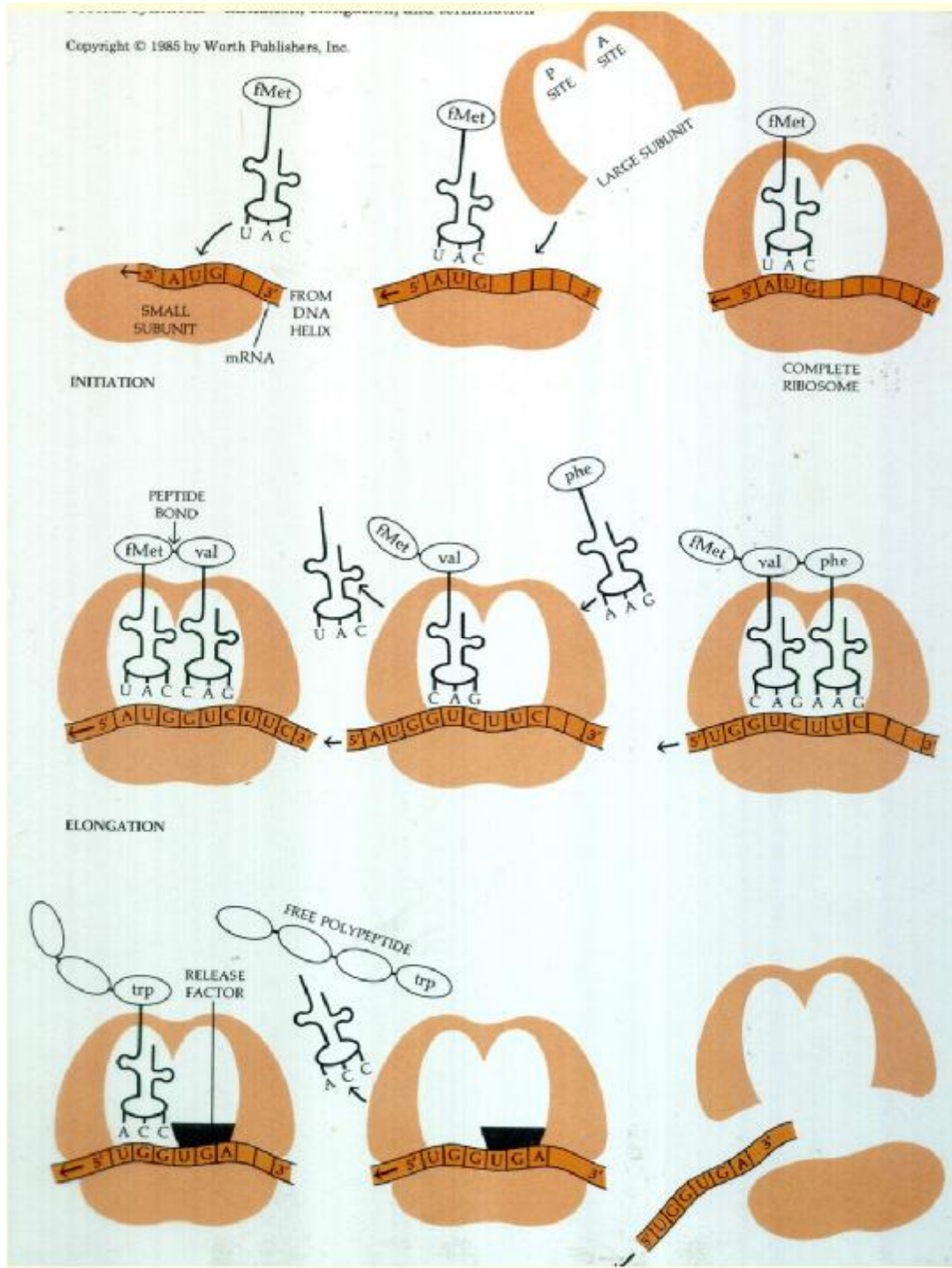
و السؤال الان كيف يتسنى لأنزيم Aminoacyl-tRNA synthetase الذي يؤدي الى ربط tRNA بالحمض الاميني المعين) التوفيق بين الحمض الاميني الصحيح وبين tRNA النوعي الخاص و خاصة للأحماض الامينية المتشابهة التركيب حيث يقوم الانزيم بالتمفرقة بين الاحماض الامينية تبعا للمراكز النشطة له و كذلك التفاتة حول tRNA الملانم

يدخل في بناء البروتين الريبوسومات و هي بمثابة انوال يتكون عليها البروتين و يتكون جسم الريبوسوم الذى يظهر كحبيبات على الشبكة الاندوبلازمية و يتكون من ر ن ا الريبوسومى و يتكون الريبوسوم من تحت وحدتين احدهما كبير والاخر اصغر يبدأ تخليق البروتين عندما ترتبط تحت وحدة ريبوسوم بجزئ mRNA الذى يكون له اول كودون AUG وهو كودون او شفرة البدا للترجمة وتكوين سلسلة عديد الببتيد او البروتين التى ستبنى ثم ترتبط تحت وحدة ريبوسوم كبيرة بالمركب السابق وعندئذ تبدأ تفاعلات بناء البروتين.

يوجد على الريبوسوم موقعان يمكن ان ترتبط بها جزيئات tRNA احدهما يطلق عليه موقع الببتيد P والثانى يطلق عليه الموقع امينو اسيل A و تبدأ سلسلة عديد الببتيد فى الاستطالة فى دورة تتكون من ثلاث خطوات يرتبط مضاد الكودون tRNA بالكودون التالى على جزئ mRNA و بالتالى يصبح الحمض الامينى الذى يحمله tRNA الحمض الامينى التالى فى السلسلة عديد الببتيد . حدوث تفاعل نقل الببتيد الذى ينتج عنه رابطة ببتيدية بعدة يكون tRNA الاول فارغا و يترك الريبوسوم اما tRNA الثانى فيحمل الحمض الامينى لة مع الحمض الامينى الاول (الميثيونين)

يتحرك الريبوسوم على امتداد mRNA فينتقل tRNA حاملا الحمض الحمضين الامينين الى الموقع P ويدخل الى الموقع A كودون جديد وهو التالى ثم تبدأ الدورة مرة اخرى جالبا الحمض الامينى الثالث وهكذا يتكرر الامر وتقف عملية البناء عندما يصل الريبوسوم الى كودون وقف البناء على mRNA وهناك بروتين يرتبط بكودون الايقاف يسمى عامل الاطلاق Release factor حيث يحرر الريبوسوم من ر ن ا الرسالة

ان تسلسل الأحماض الأمينية يمكن ان يقود الى بروتينات ذات اشكال متشابهة ولقد وضعت حديثا مجموعة دولية من علماء البيولوجيا البنيوية Structural biologists برنامجا عرف بمبادرة بنية البروتين Protein Structure Initiative ليحل شكل البروتينات اما من خلال صنع بلورات نقية جدا من بروتين ما ومن ثم قذف هذه البلورات بالأشعة السينية او من خلال دراسة البروتين بتحليل طيف الرنين المغنطيسى النووي Nuclear magnetic resonance وعند استعمال المعلومات عن البناء ذات الصلة من اجل جمع البروتينات فى عائلات تتشارك على الأرجح فى السمات الهندسية المعمارية ثم استهداف بروتينات ممثلة لكل عائلة لدراستها بالتقنيات الفيزيائية المجهدة Painstaking physical techniques وقد يكونوا قادرين فى المستقبل القريب الى وضع نماذج البروتين المدروسة فى اجهزة الحاسب الالى من اجل عمل برنامج حاسوبى من اجل نمذجة البروتين وابتكار اشكال لطى البروتينات ، ويتصور العلماء وجود ١٠٠٠ صورة أساسية لطريقة طى البروتين وسف يطرح عندئذ السؤال القائل هل تتشارك الكائنات الحية كلها فى مجموعة من البروتينات ؟ وما العمليات الكيميائية الحيوية المطلوبة للحياة ؟



الانزيمات Enzymes

إن من أهم مظاهر الحياة في النبات بناء مركبات معقدة من مواد بسيطة أو العكس أي تفتيت المركبات المعقدة إلى مواد أبسط منها ومن المعروف أن الخلايا التي تحوى البلاستيدات الخضراء تنفرد بتكوين المواد الكربوهيدراتية من مواد بسيطة بينما يبدوا أن كل خلية نباتية لها القدرة على تكوين مواد عضوية معقدة من أخرى أقل تركيباً وعلية فكل خلية أذن مركزا لعدد كبير من التفاعلات الكيميائية يتحكم فى سرعتها واتجاهها

وتنظيمها جهاز خاص يؤدي التفاعلات طبقاً لبرنامج معين يعرف الإنزيم بأنه عامل مساعد عضوي حيوي ذو وزن جزيئي كبير شديد الحساسية لدرجات الحرارة المرتفعة ويختص كل إنزيم بتنشيط تفاعل أو أكثر دون أن يتأثر بذلك التفاعل.

الصفات الطبيعية للإنزيمات

لقد أظهرت الدراسات الأولى للإنزيمات أنها تشترك مع البروتينات في كثير من الخواص وقد فشل الباحثون الأوائل في عزل الإنزيمات حتى أمكن من عزل إنزيم اليوربيز على شكل بلورات نقية وأثبت أنها عبارة عن بروتين ومنذ ذلك الحين أمكن عزل عدد من الإنزيمات من النباتات وقد أثبت دراستها أنها بروتينات بالرغم من أن كثيراً منها يحتوي على مجموعات غير بروتينية مرتبطة بجزيئات البروتين. وبروتينات الإنزيمات ذات وزن جزيئي كبير فإنزيم البيرواكسيداز الذي يعتبر من أصغر الإنزيمات وزنه الجزيئي حوالي 40000 بينما إنزيم الكاتالاز وزنه الجزيئي يبلغ ٢٤٨٠٠٠ وإنزيم اليوربيز وزنه الجزيئي ٤٨٣٠٠٠٠. تشترك الإنزيمات البروتينات الأخرى في تأثرها بالحرارة المرتفعة فإذا ما ارتفعت درجة الحرارة للغليان ولو لفترة وجيزة تخثر البروتين ورسب وبذلك يفقد الإنزيم نشاطه. وهناك مواد تؤثر أيضاً في البروتينات والإنزيمات تأثيراً مشابهاً لتأثير الحرارة المرتفعة ومن هذه المواد أيونات المعادن مثل الرصاص والزنك والفضة وكذلك الأحماض والقواعد والأشعة فوق البنفسجية. تتميز البروتينات وهي المادة الأساسية في تكوين الإنزيمات بأنها ذات طبيعة مزدوجة أي أنها تتأين إما كحامض أو كقلوي ويتوقف ذلك على درجة تركيز أيون الإيدروجين في الوسط الخارجي، وعند درجة تركيز خاصة لأيون الإيدروجين يحتوي جزئ البروتين على عدد متساوي من كل من الشقين الحامض والقلوي، ولذلك يكون الأيون متعادلاً من حيث الشحنات الكهربائية، وتعرف هذه الدرجة بنقطة التعادل وهي نقطة مميزة لكل نوع من أنواع البروتينات، ترجع أهمية تلك الظاهرة بالنسبة للإنزيمات إلى أن حيوية كل إنزيم تتوقف على طبيعة تأين جزئ البروتين المكون له، وبعبارة أخرى تتوقف حيوية الإنزيم على درجة تركيز أيون الإيدروجين في وسط التفاعل ولذلك فقد وجد لكل إنزيم درجة مثلى لأيون الإيدروجين pH يبلغ تأثيره عندها حده الأقصى.

التركيب الكيميائي للإنزيمات

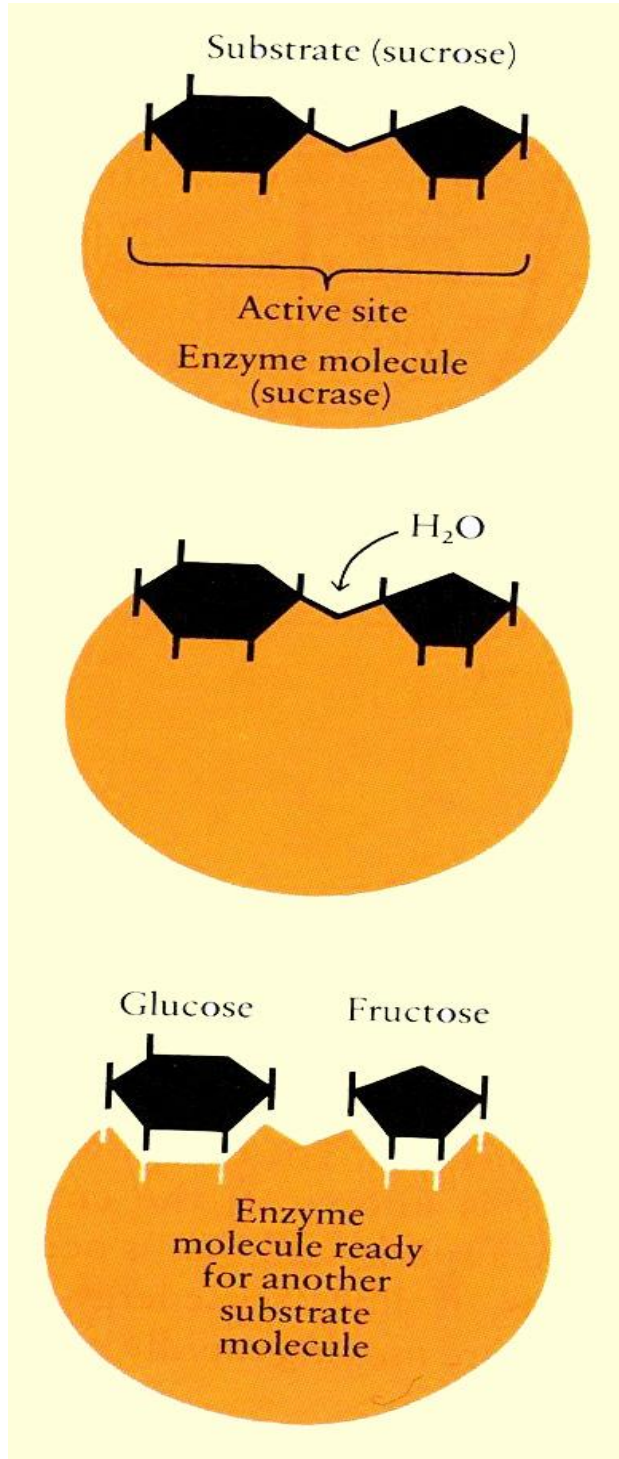
إن التقدم في دراسة في خواص الإنزيمات قد مكن الباحثين من تقسيم الإنزيمات من حيث تكوينها، إلى القسمين الآتين:

- 1- الإنزيمات التي تتكون من البروتينات البسيطة: وتشمل عدد من الإنزيمات المحللة مثل إنزيم البوربيز وإنزيم الأميليز وهذه الإنزيمات تتكون كلياً من أحماض أمينية.
- 2- الإنزيمات التي تتكون من شقين: أحدهما بروتيني والآخر غير بروتيني يتكون من ذرة معدنية أو جزئ عضوي، ويعرف هذا الشق باسم المجموعة الغير بروتينية، ولاشك أن المجموعات الغير بروتينية هي جزء من المركز الفعال لجزئ الإنزيم، وقد دلت الأبحاث على أنه يمكن فصل المجموعة الغير بروتينية عن الشق البروتيني في بعض الإنزيمات في حين لا يمكن حدوث ذلك في البعض الآخر نظراً لأرتباط الشقين. من الملاحظ أن عزل إنزيم ما، باستعمال طريقة الفصل الغشائي للذائبات، غالباً ما يؤدي إلى تغير حدث في طبيعة الإنزيم، ولكن يرجع إلى إزالة بعض المواد القابلة للفصل الغشائي والتي تعرف في هذه الحالة باسم قرين الإنزيم أو الممرق الإنزيمي Co-enzyme وكذلك العامل المعاون Co-factor وهذه المواد لازمة لنشاط الإنزيم ويسمى الشق البروتيني بأصل الإنزيم أي أن الإنزيم في هذه الحالة يتكون من أصل الإنزيم + قرين الإنزيم أو العامل المعاون. وقرين الإنزيم أو العامل المعاون عادة لا يتأثر بالحرارة بعكس أصل الإنزيم كما أنه يعتبر جزء متمم للإنزيم الخاص به.

أشارت الدراسات الأنزيمية إلى أنه يلزم لكي يقوم الإنزيم بعمله على أي مادة تفاعل Substrate من الناحية الكيميائية وجود التالي:

- أ- لابد من وجود مواقع مقابلة من الإنزيم والمادة المتفاعلة ولا يقل عادة عن ثلاثة مواقع
- ب- نشاط الثلاثة مواقع للإنزيم تكون مختلفة أو غير متناظرة
- ج - يجب أن تحتوي المادة على مجموعتين مماثلة للإنزيم مع مجموعتين آخريتين غير متماثلة وتكون المجموعات الأربعة متصلة بذرة كربون كما بالشكل التالي

شكل ١ يوضح أنه يلزم لكي يقوم الإنزيم بعمله على أي مادة تفاعل من وجود مواقع مقابلة من الإنزيم والمادة أن تكون المواقع للإنزيم مختلفة أو غير متناظرة كما يجب أن تحتوي المادة على مجموعتين مماثلة للإنزيم المجموعات الأربعة متصلة بذرة كربون



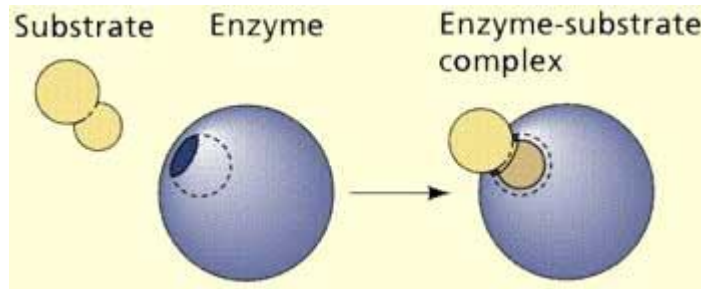
طبيعة عمل الإنزيم The nature of enzyme action

*قد كان يعتقد أن الإنزيم لا يتحد مطلقاً من مادة التفاعل Substrate وإنما يهيئ وسطاً صالحاً لحدوث التفاعل إذ أن جزيئات مادة أو مواد التفاعل تتجمع تجمعا سطحياً حول دقائق الإنزيم الغروية حيث تتلامس هذه الجزيئات ويتم التفاعل بينها ثم تنتشر المنتجات النهائية وتحل محلها جزيئات جديدة تتفاعل وهكذا.

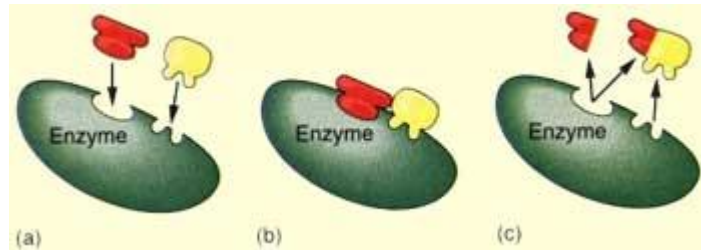
*وهناك رأى آخر يقول ان التفاعل الإنزيمي يحدث نتيجة لإتحاد المادة إتحاداً فعلياً بالإنزيم مكوناً مركباً ما وهذا الاتحاد مؤقت إذ ينحل هذا المركب سريعاً بعد أحداث تغيير في مادة التفاعل إلى الإنزيم الاصلى ونواتج التفاعل ثم يتحد الإنزيم من جديد بكمية أخرى من مادة التفاعل

*إن جزيئات مادة التفاعل (أ) في محلول ما تحتوى على كمية من الطاقة لذلك فهي دائمة الحركة

والتصادم بعضها ببعض ، فإذا ما اكتسبت تلك الجزيئات كمية طاقة كافية لبدء التفاعل مع جزيء مادة ثانية (ب) فإن نتيجة لتصادمها فإنها تصبح قادرة على التفاعل والتحول إلى المادة جديدة (أب أو ج .) لذلك تعرف كمية الطاقة التي يجب لجزيئات المادة أن تكتسبها حتى تتفاعل بطاقة التنشيط **Energy of activation** وتتبع تأثير الإنزيم في مثل هذه التفاعلات فقد وجد أن الإنزيم يسبب نقص كمية طاقة التنشيط اللازمة لاتمام التفاعل لجزيء المادة أ لتتحول إلى المادة ج ، وينتج عن ذلك أن عدداً أكبر من جزيئات المادة سوف يصل لمستوى طاقة التنشيط اللازمة في وحدة الزمن وبذلك تزيد سرعة التفاعل ، وقد قدرت طاقة التنشيط اللازمة للتحليل الحامضى لجزيء السكروز على ٥٢٥ م بمقدار ٢٥٥٦٠ كالورى ، بينما طاقة التنشيط اللازمة لتحليل جزيء السكروز في وجود إنزيم السكريز على درجة ٥٢٥ م تساوى ٨٧٠٠ سعراً.



*لذلك فمن المعتقد أن الإنزيم يقلل من طاقة التنشيط اللازمة لجزيء المادة المتفاعلة أى توصيل طاقة المادة الى طاقة التنشيط لكى تتفاعل وذلك عن طريق اتحاده معها فيكون معقد انزيمى ذو طاقة تنشيط أقل أى أن الإنزيم يخفض طاقة التنشيط اللازمة لأتمام التفاعل



تخصص الإنزيمات Specificity of enzymes

*إن التخصص من أهم مميزات الإنزيمات ويقصد بالتخصص أن لكل إنزيم مادة معينة أو مجموعة مواد متشابهة كيميائياً يستطيع أن يؤثر فيها دون غيرها ولتخصص الإنزيمات درجات متفاوتة.

*فهناك إنزيمات تتخصص فى التأثير على المواد ذات التشابه الفراغى ويعرف هذا التخصص بإسم تخصص التشابح الفراغى Stereo-chemical Specificity فالمعروف أن معظم المواد الكيميائية التى تتكون أثناء عمليات الهدم والبناء داخل الخلايا الحية ذات التشابه فراغى أى أن منها المركبات اليمينية والمركبات اليسارية ولقد بلغت معظم الإنزيمات درجة كبيرة فى تخصصها بحيث أنها تؤثر فقط فى المركب اليمنى مثلاً دون شبيهه اليسارى . ومثال ذلك إنزيم Lactic dehydrogenase الذى يؤثر فقط فى حامض اللكتيك اليسارى ويعطى حامض البيروفيك ويمكن لهذا الإنزيم أن يؤثر فى حامض اللكتيك اليمنى.

*ويمكن تمييز أنواع أخرى من الإنزيمات تختلف درجة التخصص فيها طبقاً للتركيب الكيميائى للمواد المتفاعلة . فهناك الإنزيمات ذات التخصص المنخفض Low Specificity وتتخصص هذه الإنزيمات طبقاً لنوع الرابطة التى تربط شقى جزيء المادة المتفاعلة . فمثلاً يجب أن يكون هذه الرابطة رابطة استرا فى حالة اللباز Lipase ورابطة بيتيد فى حالة بيتيديز Peptidase ورابطة جليكوسيد فى حالة جليكوسيديز Glucosidase

*وهناك نوع آخر من الإنزيمات يكون فيها التخصص تخصص مجموعة Group Specificity وهو واسع الانتشار فى الإنزيمات التى تؤثر فى المواد الكربوهيدراتية.

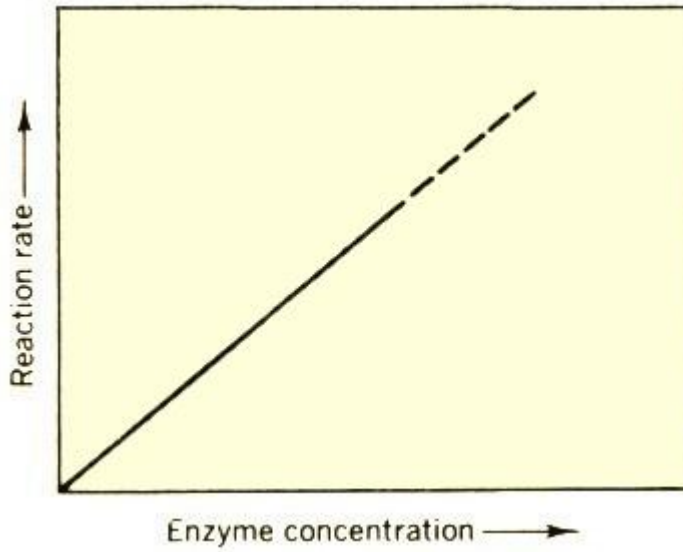
*وهناك تخصص للإنزيمات يعرف بالتخصص المطلق Absolute Specificity ومثال بأن يقوم الأنزيم بالتفاعل مع تركيب معين كان يقوم انزيم الكينيز Kinase بأدخال مجموعة الفوسفات على الالدوزات فى

وجود ATP فأذا قام الانزيم بذلك التفاعل على الجلوكوز فقط دون غيره من السكريات سمي ان تخصص الانزيم مطلق وسمى بأسمه Glucokinase وكما في إنزيم المالتيز فهو لا يؤثر إلا في سكر المالتوز فقط ، ولا يؤثر في المركبات الأخرى التي تحتوى على رابطة الالفاجليكوسيدات , اما اذا كان للإنزيم تأثير على مجموعة الالدوزات جميعها بأن ينقل لها مجموعة الفوسفات من ATP او يحلل الرابطة الجلوكوزيدية فإن ذلك الإنزيم يكون متخصص تخصص نسبي. Relative Specificity

العوامل التي تؤثر سرعة عمل الإنزيم Enzyme Kinetics

أولاً : تركيز الإنزيم Enzyme Concentration

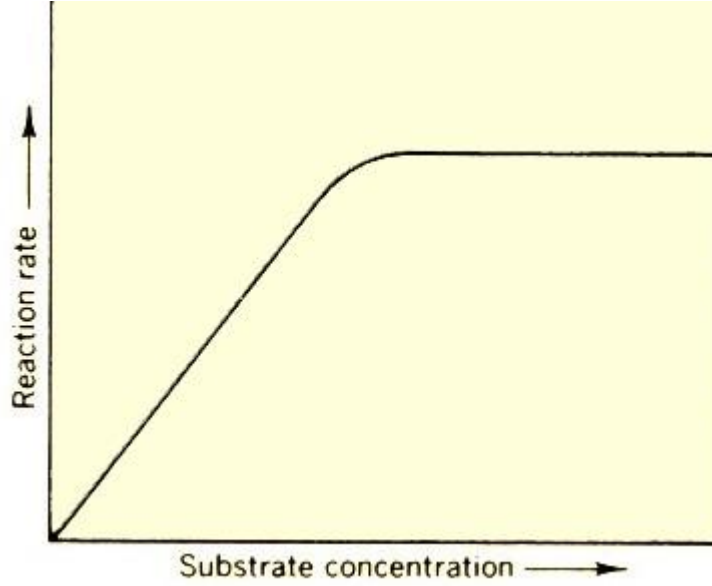
قد دلت الابحاث الخاصة بدراسة قوة تنشيط الإنزيمات خارج الخلايا الحية *in vivo* أن سرعة التفاعل تتناسب بوجه عام مع كمية الإنزيم المضافة هذه العلاقة صحيحة خصوصاً خلال الفترات الأولى للتفاعل حيث تكون كمية مادة التفاعل كبيرة تسبباً ، وبتقديم التفاعل ينخفض تركيز مادة التفاعل بينما تتراكم نواتج هذا التفاعل ، ولذلك لن تستمر سرعة التفاعل الا اذا تم المحافظة على وجود مادة التفاعل بكمية أكبر من تركيز الإنزيم فإن سرعة التفاعل سوف تتناسب طردياً مع زيادة تركيز الإنزيم



في وجود تركيز من مادة التفاعل أكبر من تركيز الإنزيم فإن سرعة التفاعل الأنزيمي تتناسب طردياً مع تركيز الإنزيم كما بالرسم البياني

ثانياً : تركيز مادة التفاعل Substrate Concentration

عند المحافظة على تركيز ثابت من الإنزيم وتغير تركيز المادة المتفاعلة فيمكن وصف التغير في سرعة التفاعل الإنزيمي بالمنحنى التالي



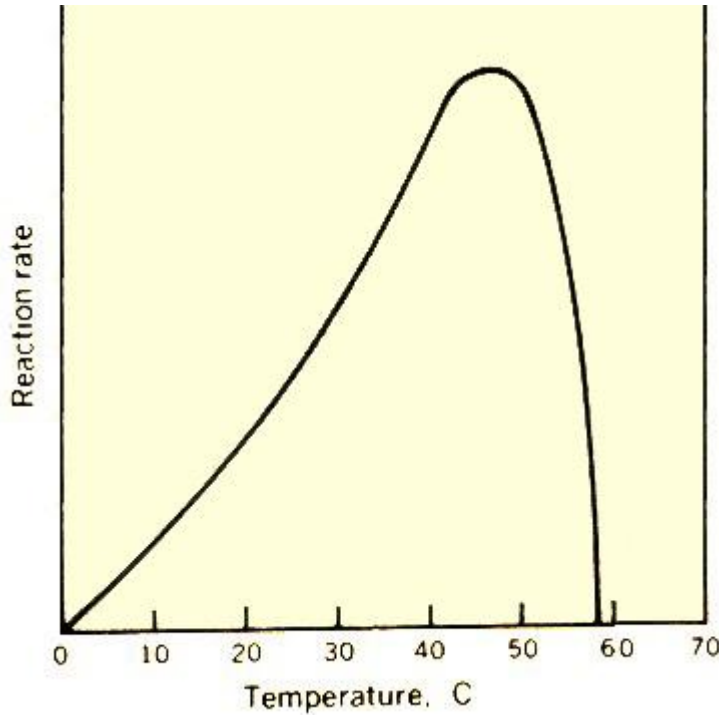
فعند افتراض بأن جزيئات الأنزيم تتحد بالمادة المتفاعلة فإنه عند التركيزات المنخفضة من المادة المتفاعلة تكون جزيئات الأنزيم ليست جميعها متحدة مع جزيئات المادة المتفاعلة ، وبإضافة مادة متفاعلة جديدة يرتبط جزئ أكبر من جزيئات الأنزيم به ويزداد معدل التفاعل حتى تصبح كل الجزيئات الانزيمية مشبعة ولا تتأثر بالزيادة في تركيز المادة المتفاعلة عندئذ فإن معدل التفاعل الانزيمي سوف يثبت على ذلك

ثالثاً : تأثير درجة الحرارة Temperature Effect

تختلف الإنزيمات عن العوامل المساعدة الغير عضوية في أن الأولى تفقد قوة تنشيطها او تتلف عند درجات حرارة قريبة من درجة غليان الماء بل يقف مفعول معظم الإنزيمات في الوسط السائل عند درجات أعلى من ٥٠ م ، بينما تتلف تماماً بين درجتى ٦٠ - ٧٠ م ويرجع تلف الإنزيم عند درجات الحرارة المرتفعة إلى ظاهرة التجلط (التجمع Coagulation) والتي تحدث للبروتينات عموماً بارتفاع درجة حرارتها حيث تتغير طبيعة البروتين الإنزيمى لفقد الروابط الخمس السابق ذكرها والتي تحافظ على التوزيع الفراغى والطى البروتينى نظراً لان تلك الروابط روابط ضعيفة.

توجد عدة عوامل تزيد من قدرة الإنزيمات على تحمل درجات الحرارة المرتفعة ، منها درجة الجفاف النسبى للوسط الموجود فيه الإنزيمات ، فقد وجد أن الإنزيمات الموجودة فى البذور تتحمل درجات الحرارة مرتفعة قد تصل إلى ١٣٠ م أو أكثر ، وتتوقف درجة الحرارة التى تتلف عندها الإنزيمات على بعض صفات وسط الانتشار . فقد وجد مثلاً أن درجة تركيز أيون الأيدروجين pH لها تأثير واضح على درجة تأثير الإنزيمات بالحرارة ووجود المادة المتفاعلة أو محللول التفاعل فى وسط الانتشار يؤثر كثيراً او قد يمنع كلياً الأثر الضار الذى قد تسببه درجة حرارة معينة فى حالة عدم وجود تلك المواد ، وسرعة التفاعل الإنزيمى لا تتأثر بدرجة الحرارة فقط بل وكذلك بطول الفترة التى يحدث فيها التفاعل عند درجة الحرارة المعينة ، لذلك تتضح أهمية إعتبار عامل الوقت عند دراسة أثر الحرارة على التفاعل الإنزيمى.

إن تأثير الأنزيم بالحرارة يكون فى مدى ضيق من درجات الحرارة فأرتفاع درجة الحرارة يسبب إزداد سرعة التفاعل فعند درجة الصفر المئوى تكون سرعة التفاعل الإنزيمى تساوى صفراً وتزداد تدريجياً مع زيادة درجة الحرارة إلى أن يصل إلى درجة الحرارة المثلى التى تعتبر أنسب درجات حرارة لعمل الإنزيم ، يمكن حفظ التفاعل عند سرعة ثابتة لوقت طويل عند درجة الحرارة أقل من الدرجة المثلى ولكن تقل السرعة عند درجات الحرارة أعلى بمرور الوقت . تقع درجة الحرارة المثلى لإنزيم ما تبعاً لاختلاف درجة التركيز أيون الأيدروجين لوسط التفاعل وكذلك تبعاً للنسبة بين تركيز الإنزيم ومادة التفاعل . ثم يبدأ التأثير الهادم للحرارة على معظم الإنزيمات النباتية إذا ما ارتفعت عن ٤٠ م ، درجة الحرارة المثلى هى الدرجة التى تتعادل عندها الزيادة فى سرعة التفاعل مع الفعل الهادم لتلك الدرجة على الإنزيم



ويكون معدل الزيادة في
سرعة التفاعل الأنزيمي
بمعدل ٢.٥ مرة كل ارتفاع
قدرة عشر درجات مئوية
فوق الصفر حتى تصل
لدرجة المثلى والتي في
الغالب تتراوح بين ٢٥-٢٧
°م ثم يقل التفاعل ليصبح
صفراً عند ٦٠ °م

ويرجع البعض تأثير درجة الحرارة على زيادة معدل التفاعلات الإنزيمية وحتى الدرجة المثلى الى:

أ - التأثير على ثابت الإنزيم Enzyme Stability وزيادة الطاقة الحركية

ب - تأثيرها على جاذبية الإنزيم للمادة المتفاعلة

ج - تأثيرها على درجة تأين مكونات التفاعل وهي محددة بدرجة التأيين

رابعاً: تأثير درجة تركيز أيون الهيدروجين

Hydrogen ion concentration (pH)

تعتبر درجة تركيز أيون الهيدروجين في وسط التفاعل من أهم العوامل التي تؤثر على سرعة عمل الإنزيم .

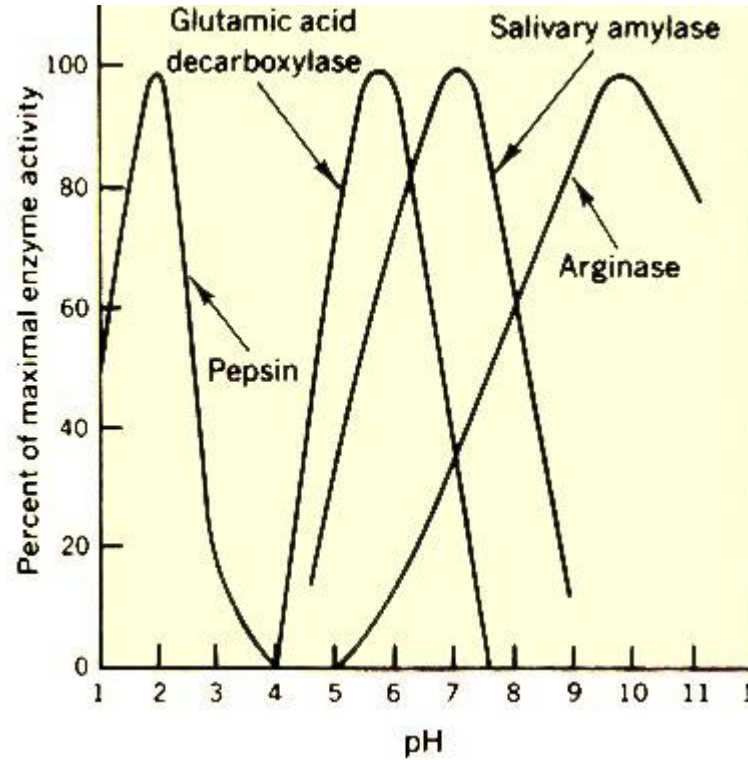
ولكل إنزيم درجة مثلى لتركيز أيون الهيدروجين يبلغ عندها الإنزيم أقصى نشاطه ، ويقل هذا النشاط كثيراً

خارج حدود تلك الدرجة . وتختلف الدرجة المثلى لإنزيم ما طبقاً لعدة عوامل منها مصدر الإنزيم ودرجة

الحرارة التفاعل وكذلك مدة حفظ الإنزيم تحت ظروف معينة

تنحصر الدرجة المثلى لأيون الهيدروجين لمعظم الإنزيمات المحللة بين pH 4-7 وتحفظ أنزيمات التأكسد

والاختزال بأقصى نشاطها في المحاليل المتعادلة أو القلوية نوعاً ما.



خامسا : تأثير المنشطات والمثبطات Activators and Inhibitors

وجد أن الأملاح وغيرها من المواد الذائبة تؤثر على نشاط الإنزيمات، فبينما يسبب بعضها تنشيطاً للتفاعلات الإنزيمية يسبب البعض الآخر تثبيطاً وسبب التنشيط غير معروف ولكن يحتمل أن بعضاً من هذه الأملاح تعمل كعامل معاون للإنزيم.

أما المثبطات فقد يرجع التأثير المثبط للدمصاص أو التجمع السطحي للمواد المثبطة على المراكز الفعالة للإنزيم ، أو يرجع التثبيط لتفاعل المثبطات مع مادة التفاعل أو للتأثير السام للمثبطات على بروتينات الإنزيم كما في حالة أول أوكسيد الكربون والسيانيد وكبريتات الكربامات وذلك لتقاربها مع المعادن الثقيلة والمثبطات أما تكون مواد غير عضوية أو مواد العضوية مثل الكلوروفوم وقد يرجع تثبيط أكسيديز السيتوكروم بواسطة (CO) أو (CN) يرجع لأن كلا منهما يرتبط بحديد المجموعة الغير بروتينية وكذلك تقارب ثنائي كبريتات الكربامات للنحاس يجعله مثبطاً قوياً لأكسيديز حامض اسكوربيك . ومن الملاحظ أن بعض المثبطات ذات تأثير مؤقت أي يعاود الإنزيم نشاطه بزوال المادة المثبطة بينما البعض الآخر ذات تأثير مستديم.

هناك أيضاً تثبيط بالتنافس وهو يطلق على الحالات التي يكون فيها المادة المثبطة مشابهة في تركيبها للمادة المتفاعلة حيث تتنافس معها على المراكز النشطة بالإنزيم بما يؤدي الى زيادة تركيز المادة المتفاعلة ، كما ان هناك أيضاً تثبيط غير متنافس راجع لخفض التركيز الفعال للإنزيم

سادسا : تراكم نواتج التفاعل

إن تراكم نواتج التفاعل يقلل عادة من سرعة التفاعل الإنزيمي ومثله في ذلك مثل التفاعلات الكيمائية العادية ويعزى بطء التفاعل عند تراكم نواتجه لعدة أسباب منها ان زيادة كمية النواتج تعمل على اسراع التفاعل العكسي وبذلك تقل سرعة التفاعل الأصلي وقد تتراكم نواتج التفاعل على المراكز الفعالة للإنزيم فتقتل من قوة تنشيطه وقد تسبب نواتج التفاعل تغيير درجة تركيز أيون الايدروجين لوسط التفاعل وبذلك يصبح غير مناسب لعمل الإنزيم فمثلا ينتج عن تحليل الدهون جليسول وأحماض دهنية وتسبب الأخيرة انحراف درجة أيون الايدروجين في وسط التفاعل للناحية الحمضية وينتج عند تحلل اليوريا الى ثنائي اكسيد الكربون والنشادر التي تسبب انحراف درجة تركيز أيون الايدروجين للناحية القلوية.

سابعا : الماء

لما كان الماء يدخل في عمليات التحليل المائي لذلك لا يتم مثل هذا التحلل بدون وجود الماء فإذا بدأنا بمادة جافة للتفاعل نلاحظ أن زيادة نسبة الماء تسبب زيادة في سرعة التحلل نتيجة لنقص لزوجة وسط التفاعل وازدياد انتشار مادة التفاعل والإنزيمات والنواتج . يتضح تأثير زيادة الماء في تنشيط الإنزيمات في النسيج النباتي أثناء انبات البذور فنشاط الإنزيمات الموجودة في البذور الجافة غير ملحوظ تقريبا فإذا ما امتصت البذور ازداد نشاط الإنزيمات زيادة كبيرة بإزدياد كمية الماء الممتص.

توزيع الإنزيمات داخل الخلية

إن معظم الإنزيمات ، إن لم تكن جميعاً موجودة في البروتوبلازم وقليل جداً أن وجدت في الفجوة أو في جدران الخلية وعلى ذلك يظهر أن معظم بروتين السيتوبلازم عبارة عن بروتين إنزيمي . كثير من الإنزيمات مرتبطة بالأجسام الموجودة في البروتوبلازم فانزيمات التمثيل الكلوروفيللي موجودة في البلاستيدات الخضراء و إنزيم الفوسفوريليز لمسل عن التنفس يوجد في الميتاكوندريا والانزيمات المسنولة عن تكوين الأحماض النووية والبروتين النووي موجودة في النواة وهكذا.

تسمية وتقسيم الإنزيمات:

تسمى الإنزيمات وتقسّم عادة طبقاً للتفاعل أو للتفاعلات التي تقوم بتنشيطها ويسمى الإنزيم عادة باسم التفاعل مضافاً إليه المقطع ase بعد حذف المقطع الأخير من اسم مادة التفاعل فمثلاً يسمى الإنزيم الذي يحلل سكر المالتوز باسم إنزيم المالتيز maltase وقد يسمى الإنزيم بإضافة المقطع ase مباشرة إلى اسم مادة التفاعل مثل إنزيم dextrinase الذي يحلل الدكسترين dextrin إلى سكر المالتوز.

وتقسم الإنزيمات إلى الأقسام التالية:

- 1- الإنزيمات الهاضمة
- 2- الإنزيمات المؤكسدة المختزلة
- 3- إنزيمات الإضافة
- 4- إنزيمات النقل
- 5- إنزيمات التشابه
- 6- إنزيمات الربط

أولاً : الإنزيمات الهاضمة Digestive enzymes ينقسم هذا القسم من الإنزيمات إلى المجموعات التالية:

أ - إنزيمات التحلل المائي Hydrolases

تنشط إنزيمات هذه المجموعة التحليل المائي لمواد التفاعل الخاصة بها وذلك باستعمال الماء وتنقسم إنزيمات هذه المجموعة إلى:

* إنزيمات تحلل المركبات الأزوتية ومن هذه الإنزيمات الببسين pepain والتريبسين trypsin وهي تحلل البروتينات إلى مركبات أبسط نتهها ومنها كذلك الببتيديزات peptidases وهي تحلل الببتيدات إلى أحماض أمينية.

* إنزيمات تحلل المواد الكربوهيدراتية وتشمل الإنزيمات التي تحلل المواد الكربوهيدراتية مثل الأميليز الذي يحلل النشا إلى سكر وكذلك إنزيم السيولوليز الذي يحلل السيولوز إلى سيلوببوز – وكذلك المالتيز الذي يحلل سكر المالتوز إلى سكر جلوكوز وإنزيم Cellobiase الذي يحلل السلوبيوز إلى جلوكوز- وإنزيم السكريز sucrase الذي يحلل السكروز إلى جلوكوز وفركتوز.

* إنزيمات تحلل المركبات الدهنية أو الأستيرازات Esterases وتشمل هذه المجموعة الإنزيمات التي تنشط التحلل المائي للسترات لمكونة من اتحاد الكحولات مع الأحماض العضوية أو الأحماض الغير عضوية مثل الليبيزات Lipases

ب - إنزيمات التحلل الفسفوري Phosphorylases

الفوسفوريليزات هي المجموعة تنشط تحليل المواد المتفاعلة باستعمال حامض الفوسفوريك وتسمى هذه العملية بالفسفرة ومثل هذه الإنزيمات إنزيم Starch phosphorylase الذي يحلل النشا في وجود حامض

الفوسفوريك إلى الفا جلوكوز - ١ - فوسفات

و إنزيمات الفوسفاتيزات وهي الإنزيمات التي تحلل الاستيريات المكونة من اتحاد الكحولات مع حامض فوسفوريك وينتج من تحليل هذه الاستيريات الكحول و حمض الفوسفوريك

ثانيا : الإنزيمات المؤكسدة والمختزلة Digestive enzymes

الأكسدة كما هو معروف هي عملية اضافة أوكسجين أو فقد ايدروجين أو فقد الكترون أى زيادة الشحنة الموجبة الى المادة. يصحب عملية الأكسدة عادة عملية اختزال ناتجة عن فقد الاكسجين من مركب مركب ما أو اكتسابه اما ايدروجين أو الكترون وتنقسم إنزيمات هذا القسم الى المجموعات التالية

* إنزيمات الأكسدة بنزع الأيدروجين Dehydrogenases

تقوم إنزيمات هذه المجموعة باكسدة المركبات بانتزاع ذرتي ايدروجين منها و اضافتها لمركب اخر مسببة بذلك اختزاله ويسمى المركب الاول الذي يعطي الايدروجين بالمختزل reductant او مانح الايدروجين Hydrogen donator أما المركب الثاني فيأخذ الايدروجين ويعرف بالمؤكسد Oxidant او قابل الايدروجين Hydrogen acceptor وقد دلت الأبحاث الحديثة انه من الضروري وجود مرافقات او قرانن إنزيمية لإنزيمات هذه المجموعة لتستطيع اداء عملها كما وجد ان المرافقات الانزيمية التي تأخذ ذرتين الايدروجين وتختزل وقد امكن حتى الان تمييز مرافقي إنزيمين وهما القرين الانزيمي ١ NAD والقرن الانزيمي ٢ NADP

* إنزيمات الأكسدة بنزع الكترون الحديد Iron oxidases

تحتوي انسجة النباتات على مجموعة من الإنزيمات تحتوي مجموعاتها المعدنية على الحديد مكونه مركب الهيماتين ومن هذه الإنزيمات ما يلي:

1- الكاتاليز catalase في جميع النباتات الراقية وهذا الإنزيم لا يؤثر الا في مركب فوق اكسيد الايدروجين فيحطه الى ماء واكسجين ويحتمل ان يقوم هذا الانزيم بالتخلص من فوق اكسيد الايدروجين الذي يتكون اثناء التفاعلات الحيوية داخل الخلايا الحية والذي قد يسبب تراكمه اضرارا لتك الخلايا.

2- البيروكسيداز peroxidase ويوجد هذا الانزيم في جميع انسجة النباتات تقريبا وهو يقوم بعمله في وجود فوق اكسيد الايدروجين ويسبب اكسدة مركبات كثيرة مثل مركبات الفينول والكريزول والهيدروكوينون

* إنزيمات الأكسدة بنزع الكترون النحاس Copper oxidases

وتتميز إنزيمات هذه المجموعة باحتواء مجموعاتها الغير بروتينية على النحاس ومن امثلتها ما يلي:

1- اكسيداز احادي الفينول Mono phenol oxidase ويؤكسد المواد احادية الفينولات مثل الكريزول فيعطي مركبات ثنائية الفينولات المناسبة.

2- اكسيدازات عديدة الفينولات Poly phenol oxidase لا تؤثر ال في المواد ثنائية الفينولات مثل الكاتيكول مكونه المركب المناسب من الأرتيوكينون وتؤثر هذه الانزيمات ايضا على المواد ثلاثية الفينولات مثال بيروجالول ويلاحظ ان هذه المجموعة من الانزيمات هي المسؤلة عن تلون الانسجة المقطوعة والمعرضة للجو اذ انها هوائية لا تعمل الا في وجود الاكسجين.

ثالثا : انزيمات الاضافة Adding enzymes

يحوى هذا القسم انزيمات تستطيع تكوين مركبات جديدة وذلك باضافة مادة الى مركب معين ومن هذه الانزيمات ما يستطيع اضافة الماء او النشادر او مواد اخري ومن امثلة إنزيمات هذا القسم:

1- فيوماريز fumarase وهو الانزيم الذي يساعد تكوين حامض المالك باضافة الماء الى حامض فيوماريك

2- اسبارتيز aspartase ويساعد على تكوين حامض الأسبارتيك وذلك باضافة النشا الى حامض الفيوماريك

رابعا : إنزيمات النقل Transferring enzymes

تستطيع نقل مجموعة او شق من جزئ مادة الى جزئ مادة اخري ومن امثلة هذه الإنزيمات إنزيم hexokinase الذي يساعد نقل شق الفوسفات من مركب ادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP الى الجلوكوز مكونا جلوكوز- ٦ - فوسفات

خامسا : انزيمات التشابهة Isomerising enzymes

تستطيع إنزيمات التشابهة تكوين المواد المتشابهة ومن امثلتها

1- انزيمات التشابهة الأيزوميري مثل Phosphotriose isomerase الذى يساعد على تحول كل من فو- ثنائى هيدروكسى اسيتون و فو-جليسرالدهيد الى الاخر

2- انزيمات التشابهة الميوتيزى مثل فوسفوجلوكوميوتيز phosphoglucomutase ويختص بتحويل

الفاجلوكوز - ١ - فوسفات الى جلوكوز - ٦ - فوسفات وبالعكس

سادسا : إنزيمات الاتصال Linking enzymes

وهي إنزيمات تساعد على عملية اتصال جزئين مع بعضهما ويصاحب هذا التفاعل كسر رابطة بيرو فوسفاتية ويحتمل اشتراك نيوكليوتيد ثلاثي الفوسفات ATP في التفاعل ومن امثلة إنزيمات الاتصال الانزيم المسمى ثيو كيناز thiokinase الذي يساعد اتصال جزئ الخلوات acetate مع جزئ قرين الانزيم Co A SH وذلك باشتراك ادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP ويتكون مركب acetyl Co A و ادينوسين احادي الفوسفات AMP وينفرد ذرتين فسفور

الأيض التحول الغذائي METABOLISM

التمثيل الغذائي للكربوهيدرات

يحصل النبات الأخضر على مواده الغذائية من البيئة المحيطة به وهي في الغالب مركبات غير عضوية بسيطة يستطيع النبات أن يبني منها أنواعا متعددة من المركبات التي تتفاوت في درجة تعقيدها ، مثل المواد الكربوهيدراتية والمواد البروتينية والدهون والأنزيمات والفيتامينات والأحماض العضوية والهرمونات وغيرها لذلك تعرف النباتات الخضراء بأنها ذاتية التغذية أي أنها تقوم بنفسها بإعداد المادة العضوية اللازمة لنموها . أما النباتات غير الخضراء والحيوانات فتعرف بأنها غير ذاتية التغذية إذ أنه يلزم لنموها امدادها بالمواد العضوية المختلفة والتي تحصل عليها من النباتات الخضراء . والنبات الأخضر يحصل على غذائه من مصدرين الأول هو التربة ويحصل منها على الماء والأملاح الذائبة والمصدر الثاني هو الهواء ويأخذ منه النبات ثاني أكسيد الكربون ، ويحتاج النبات لتكوين مثل هذه المركبات المعقدة سالفة الذكر الى تثبيت كميات كبيرة من الطاقة في جزيئاتها وهذه الطاقة تبقى كامنة بها طالما بقيت هذه المواد على حالتها . ويطلق على عمليات الكيماوية التي تتم داخل النبات والتي تؤدي الى تكوين هذه المركبات العضوية المختلفة اسم البناء

وقد يستخدم النبات بعض هذه المركبات في بناء جسمه ، كما قد يتراكم بعضها الاخر داخل الخلية النباتية وتستهلك تدريجيا فيما بعد في عمليات أخرى ومن هذه العمليات عملية تجزئة أو تفتيت المركبات المعقدة الى مركبات أقل تعقيدا أو الى مكوناتها الأصلية البسيطة ، وهذا يؤدي الى اطلاق بعض أو كل الطاقة التي كانت كامنة بجزيئات المركبات المعقدة ، وبذلك يتمكن النبات من استغلال هذه الطاقة في عملياته الحيوية المختلفة . ويطلق على مثل هذه العمليات المؤدية الى اطلاق الطاقة الكامنة اسم الهدم كما يطلق على ما يحدث داخل الخلايا النباتية من عمليات البناء والهدم اسم الأيض التحول الغذائي

تحدث عمليتا البناء والهدم في النبات جنباً الى جنب ، ويكون التوازن بين البناء والهدم في صالح أولهما أثناء نمو النبات ، غير أنه يحدث أحيانا أن يختل النظام الداخلي للبروتوبلازم ويفقد سيطرته على عمليات التحول الغذائي نتيجة لعوامل داخلية أو خارجية عارضة مما يؤدي الى حدوث الانحلال الذاتي الذي ينتج عنه تراكم منتجات ليس من المألوف وجودها بالنبات في الحالة الطبيعية ، فمثلا اذا وضع النبات في وسط خال من الأوكسجين - وهذه الحالة غير طبيعية بالنسبة للنبات - فإن النبات يضطر الى التنفس اللاكسجيني ويكون نتيجتها تراكم مواد ضارة وسامة بأنسجة النبات مثل الكحول والاسيتالدهيد.

مما تقدم يتضح أن التحول الغذائي يشتمل على عمليتين أساسيتين هما :

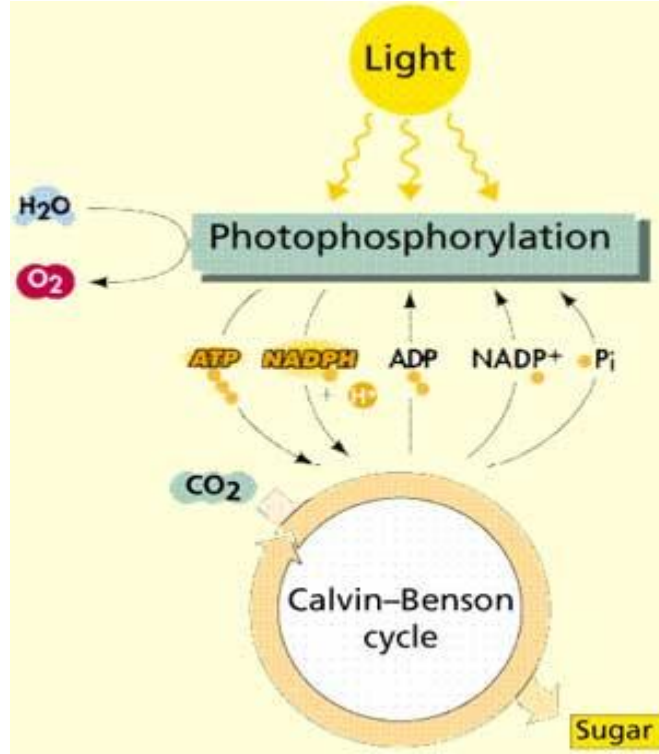
عملية البناء Anabolism وفيها يستخدم النبات المواد البسيطة في بناء المواد الأكثر تعقيدا مع استعمال الطاقة وتثبيتها

وعملية البناء تشمل بناء المواد الكربوهيدراتية وبناء المواد الأزوتية وبناء المواد الدهنية
عملية الهدم catabolism وفيها يتم تجزئة المركبات المعقدة الى مركبات أقل تعقيدا أو الى مكوناتها الأصلية البسيطة ويصحب ذلك انطلاق الطاقة التي كانت مختزنة بجزيئات المركبات المعقدة .

أولا البناء ANABOLISM

بناء المواد الكربوهيدراتية carbohydrate synthesis أو البناء الضوئي photosynthesis
البناء الضوئي عبارة عن العملية التي تبني فيها الخلايا النباتية الخضراء مواد كربوهيدراتية معينة من ثاني

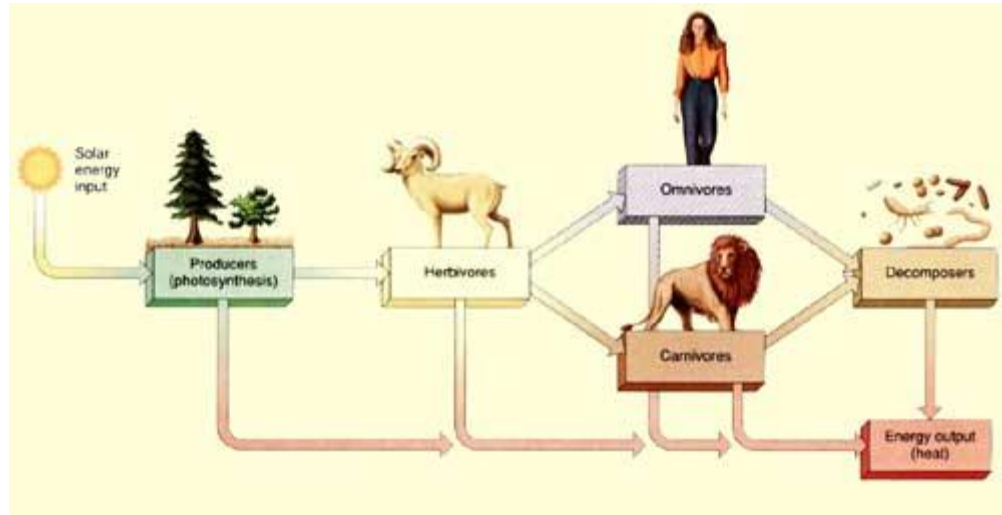
أوكسيد الكربون والماء فى وجود الطاقة الضوئية وفيها يتصاعد الأوكسجين كناتج ثانوى هذا ويمكن تعريف البناء الضوئى أيضا بأنها عملية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية تستغل فى بناء المواد الكربوهيدراتية كـ $C_6H_{12}O_6$ الموجود فى الجو



وكثيرا ما تستعمل عبارة التمثيل الكربونى للدلالة على هذه العملية ، الا أن الاستعمال الشائع لكلمة التمثيل للتعبير عن العملية التى تندمج فيها الأغذية فى تركيب جسم النبات ، يجعل من غير المرغوب فيه استعمال هذا الاصطلاح (التمثيل الكربونى) كمرادف للبناء الضوئى .

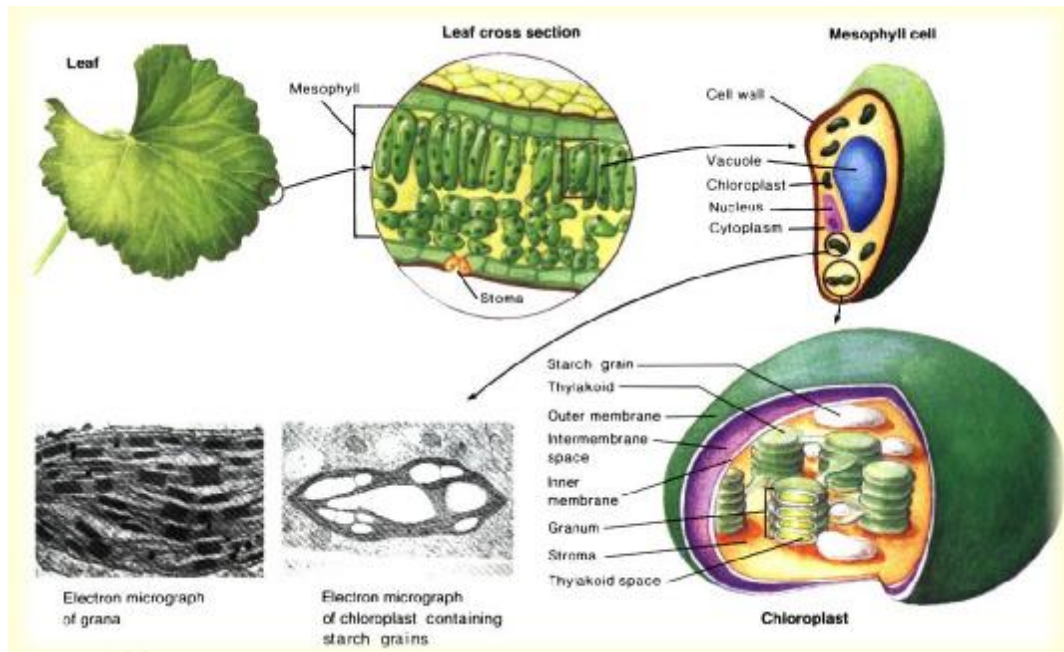
أهميتها :

أن معظم الكائنات الحية تعيش على حساب الثروة المادية والطاقة على الأرض فى كل صورها ومصدرها الوحيد هو الشمس . وأهم مصنع يستطيع تحويل الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس الى طاقة كيميائية هو النبات الأخضر و الذى يقوم بتخزين الطاقة فى صورة مركبات عضوية معقدة يتكون منها تركيبه الخلوي و كذلك يستغل تلك المركبات العضوية فى بناء جسم الحيوانات و الذى يقوم الأخير بأكسديتها و تحويلها الى طاقة حركية وطاقة تستغل فى النشاط الحيوي لهذه الكائنات الحية والى التى تنتهى جميعها بالموت والتحلل الميكروبى الى العناصر الأساسية التى يمتصها النبات مرة أخرى ليعيد بناء المركبات العضوية من المواد البسيطة الممتصة من التربة بالإضافة للمتكونة من عملية البناء الضوئى.



جهاز البناء الضوئي

أن معظم عملية التمثيل الضوئي تتم في الأوراق الخضراء والتي يلائمها تركيبها التشريحي للقيام بهذه العملية بكفاءة تامة . و يحتوي بروتوبلازم خلايا الميزوفيل العمادية والاسفنجية علي اعداد كبيرة من البلاستيدات الخضراء أو الكلوروبلاست (١٠٠ بكل خلية) و تعتبر كل بلاستيدة خضراء (كلوروبلاست) جهازا كاملا يمكنه القيام مستقلًا بعملية البناء الضوئي اذ أنه يحتوي علي كل الانزيمات والمركبات اللازمة للقيام بهذه العملية الحيوية.

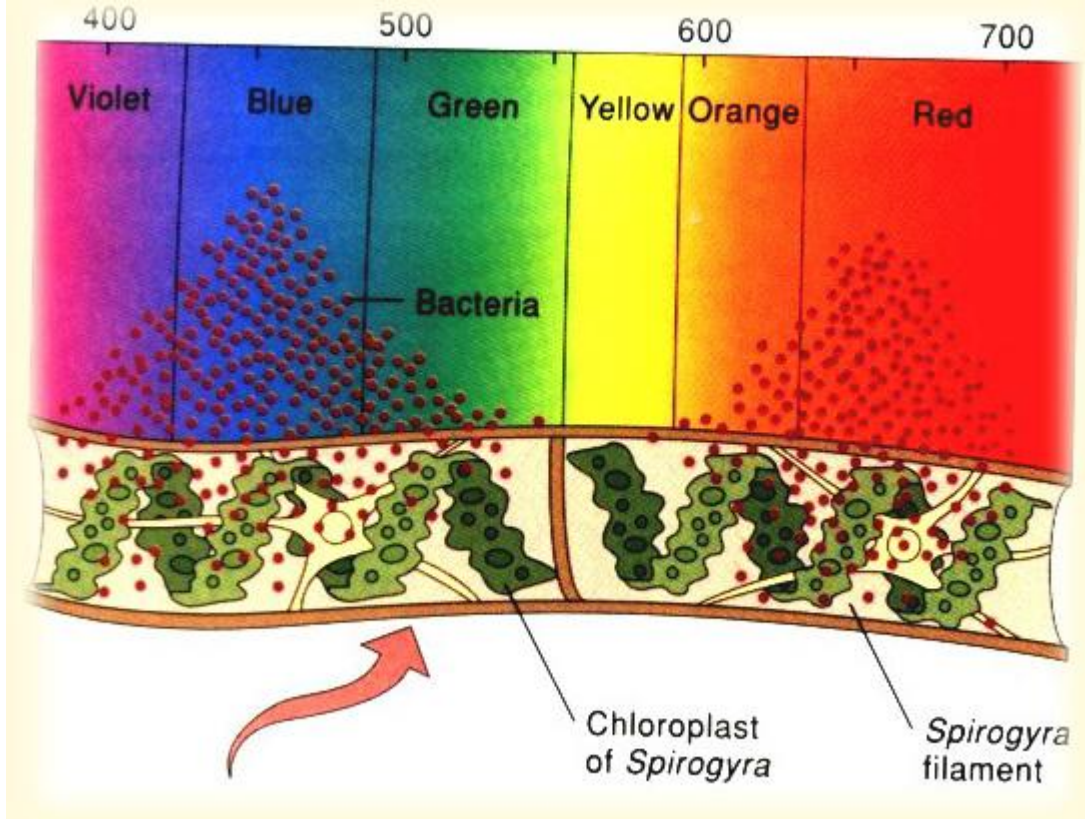


وقبل الخوض في تفاصيل ميكانيكية البناء الضوئي سوف نتناول أهم العوامل المؤثرة في ميكانيكية التمثيل الضوئي وهي الضوء والصبغات الخضراء

طبيعة الضوء

عند تحويل الأيدروجين الي هليوم في جسم الشمس تنطلق أنواع مختلفة من الأشعة ورغم هذه الاختلافات بين أنواع الأشعة إلا أنها اجمالاً تعتبر كجزء من طاقة الاطيفاف المستمرة والتي تختلف فيما بينها في طول موجات تلك الأشعة

ان مجال الضوء المرئي يمتد من طول موجي ٤٠٠ الي ٧٠٠ ملليمكرون تقريباً هذه الموجات تعتبر مسارا لجزيئات متناهية في الصغر هي الفوتونات والتي يمكن تمثيل كل منها بكيس صغير مملوء بطاقة معينة (تتوقف علي نوع الضوء)



يؤدي تصادم تلك الفوتونات بالصبغات النباتية التي فقد طاقتها وتكتسبها الصبغة وتحرك الالكترونات الواقعة في مستويات مختلفة حول أنوية ذرات هذه الصبغات الي مستويات من الطاقة أعلي من المستوي التي كانت واقعة به وتصبح بذلك الصبغة في حالة نشطة وتستمر في هذه الحالة لمدة قصيرة جدا تصل الي جزء من الثانية حيث يسقط بعدها الالكترون الي مجاله السابق الاقل نشاطا (اي اقرب الي النواة) ، والطاقة الناتجة من فقد هذا الالكترون لطاقتها تنفرد عملاً معيناً وهذه الطاقة والتي تسمى بطاقة التنشيط تنطلق في صورة حرارة منعكسة أو بأعطاء هذه الطاقة لمركب آخر أو تستغل في تفاعل كيميائي معين كما يحدث في عمليات الأكسدة و الاختزال.

وصبغات النبات المختلفة القدرة علي القيام بكل هذه الظواهر السابق ذكرها فثناء عملية البناء الضوئي نجد ان جزيئات الكلورفيل تفقد وتعيد كمية غير قليلة من الضوء بينما نجد ان بعض الصبغات الاخرى مثل الكاروتينويدات و المصاحبة للكلورفيل تمتص الطاقة الضوئية وتنقلها للكلورفيل اما التي يتحصل عليها الكلورفيل فيستغلها في اختزال بعض المركبات اثناء عملية البناء الضوئي للكربوهيدرات

صبغات البناء الضوئي

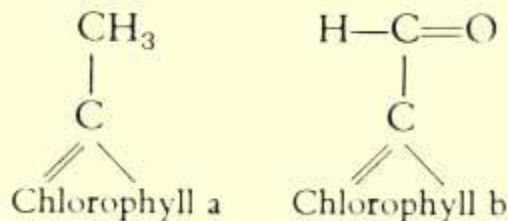
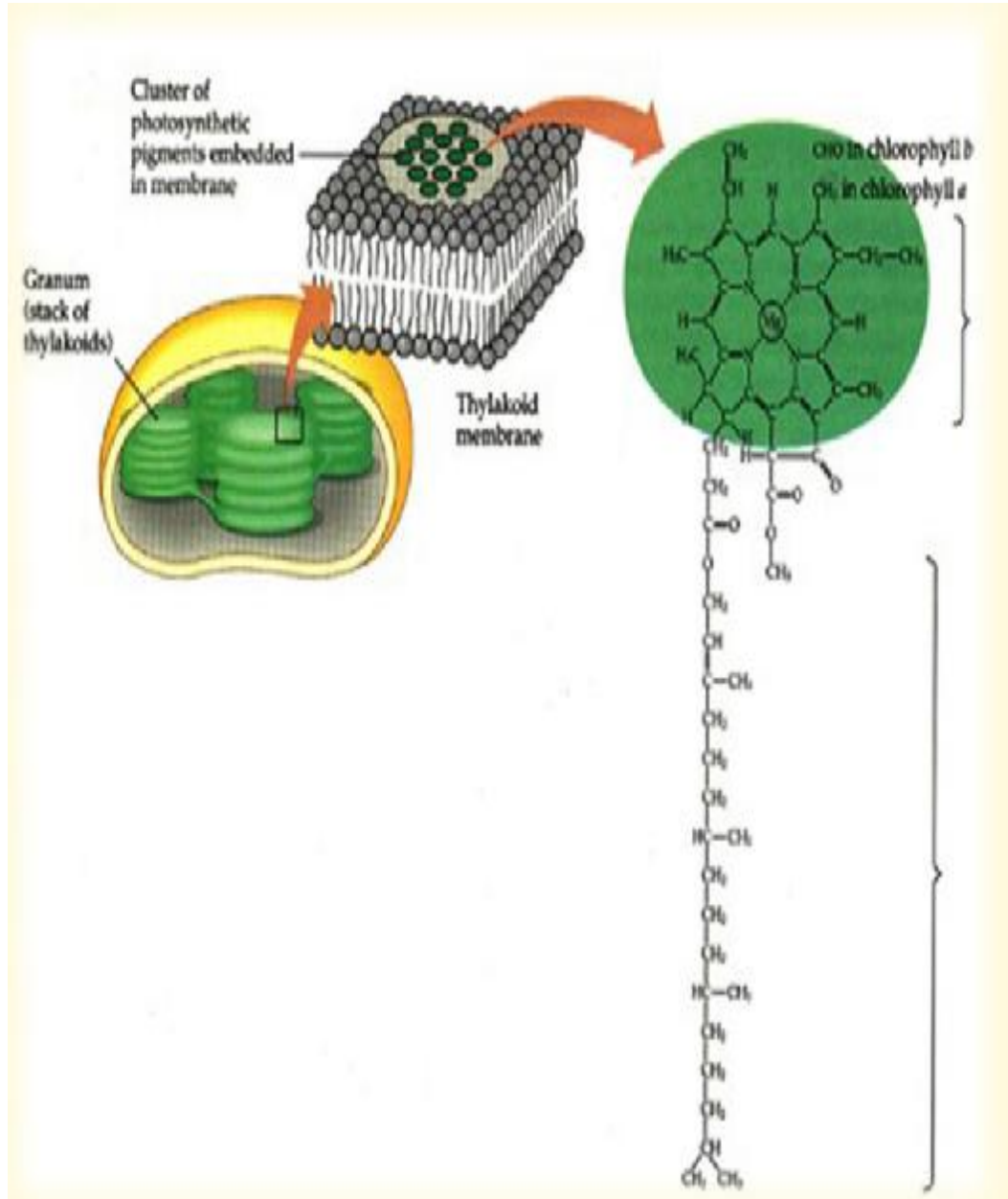
توجد الصبغات في البلاستيدات وتنقسم الى :

(1) صبغة الكلورفيل Chlorophyll pigments هو الصبغة الخضراء في النبات وهو أهم الصبغات لعملية التمثيل الضوئي و حتي اليوم أمكن التعرف علي ثمان انواع من الكلورفيل و هي كلورفيل E , d , c , b , a , أهمهم (a) bacteriochlorophyll (b) Chiorozum chlorophyll , أهمهم علي الاطلاق هي كلوروفيل a , b لتواجدهم في بلاستيدات الخلايا النباتية اما بقية الأنواع فتوجد في الكائنات

الدقيقة ذاتية التغذية مثل الطحالب الخضراء و البكتريا

كلوروفيل a يعطي لون اخضر مصفر كلوروفيل b عادة يكون ذو لون اخضر مزرق . اما عن التركيب الكيميائي للكلوروفيل فهو يتركب من أربع وحدات من البروفيرين ويوجد المغنسيوم في صورة ثنائية غير متآينة يتوسط جزئ الكلوروفيل

ويعتبر الكلوروفيلات عبارة عن استرات (اتحاد حامض بكحول) لأحماض ثنائية تسمى الكلوروفللين chlorophyllins متحدة مع الميثانول وكحول الفيتول



ويختلف كلورفيل أ عن كلورفيل ب في ارتباط ذرة الكربون رقم ٣ في جزئ الكلوروفيل أ بمجموعه ميثيل في حين تكون في كلورفيل ب مجموعته الدهيد

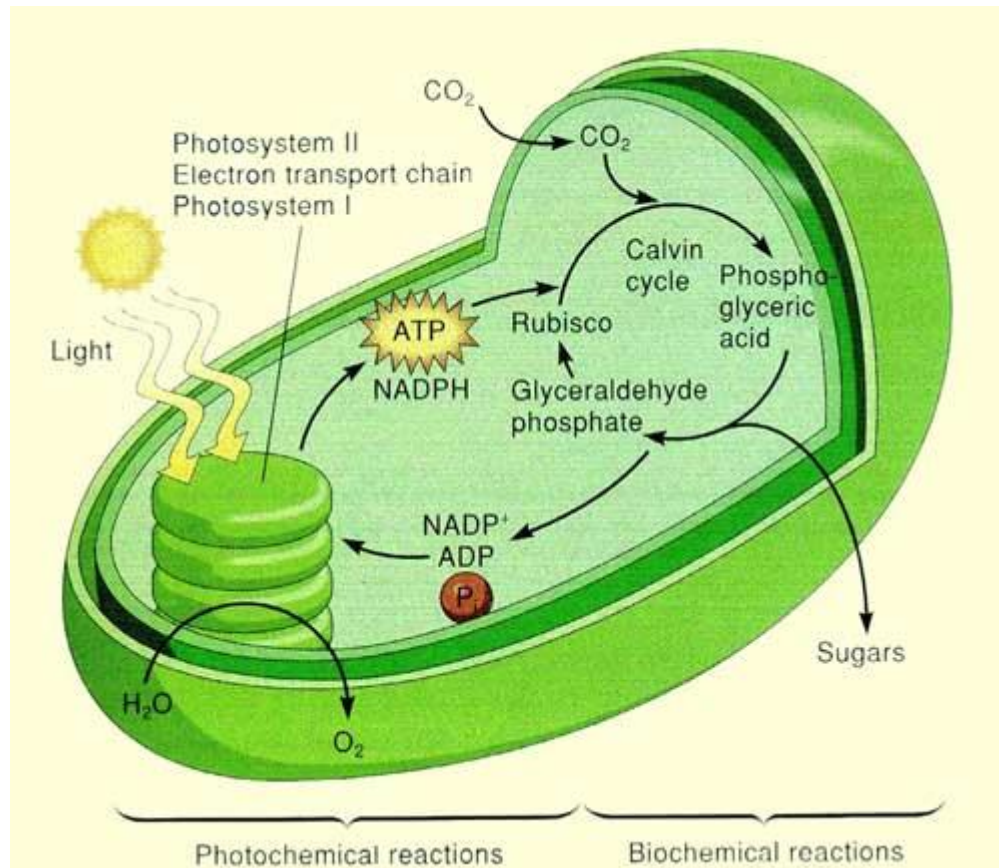
وقد لوحظ ان غالبية امتصاص الكلورفيل للضوء يكون في مجال الطيفين الأزرق و الأحمر اي علي موجات ٤٣٠-٦٥٠ ملليمكرون . الا ان هناك بعض الشواهد علي ان كفاءة عملية البناء الضوئي بالنباتات الخضراء تكون أعلى عند تعويض النباتات للضوء الأزرق (فيما عدا الكلورفيل البكتيري والذي يمتص الاشعة تحت الحمراء و الطيف الأزرق البنفسجي)

2- الكاروتينيدات Carotenoid pigments هي مجموعه من الصبغات التي لها علاقة وثيقة بعملية البناء الضوئي وهي مركبات ليبيدية يتراوح لونها من الأصفر حتي البنفسجي وتتواجد في البلاستيدات الخضراء جنباً الي جنب مع الكلورفيل بنسبة ١:3 وتعتبر جميع الكاروتينيدات هيدروكربونات غير مشبعة و سريعة الأكسدة في وجود الأوكسجين وتنقسم هذه الصبغات الي مجموعتين هما الكاروتين مثل كاروتين a , b والليكوبين والزانتوفيل

ولكن الزانتوفيل فهي اكثر أكسدة من الأولي حيث يقل عنها بذرة هيدروجين ويوجد بها ذرتي أوكسجين مع عدم وجوده بالكاروتينات وله عدة انواع تمتص الكاروتينات الاطيف اساسا الطيف الأزرق (٦٠ - ٨٠ ملليمكرون) من الضوء وقد تمتص هذه الصبغات جزءاً من الطيف الأزرق والبنفسجي وقد تبين أيضاً انها تمتص بعض الموجات الخاصة بالاشعة فوق بنفسجية وتقوم هذه الصبغات بالاحاطة بجزيئات الكلورفيل وكثيراً ما تحميها من الأكسدة الضوئية وكذلك تمتص الطاقة وتنقلها الي كلورفيل

الجهاز التمثيلي

تتم عملية البناء الضوئي داخل البلاستيدات الخضراء التي تتركب من جسيمات محاطة بغشاء سيتوبلازمي مزدوج يحوي بداخله سائل stroma وبها صفائح تعرف بال Granum تسمى كل واحدة من تلك الصفائح باسم Grana تحتوي علي الصبغات و الانزيمات الخاصة بعملية التمثيل.



يوجد بكل بلاستيدة ٦٠ جرابا و يتم تحول الطاقة الضوئية الي طاقة كيميائية في Grana حيث تحتوي علي الصبغات و الانزيمات الخاصة بعملية التمثيل . وينفرد الأوكسجين داخل الجرابا في حين يتم في الاستروما اختزال ثاني اكسيد الكربون وتكون الكربوهيدرات

ميكانيكية عملية البناء الضوئي

يمكن تقسيم البناء الضوئي الي جزئين رئيسيين هما التفاعل الضوئي أو Hill reaction ، و الجزء الثاني و يعرف باسم Dark reaction ويعرف الأول باسم طور التحليل الضوئي photolysis فية يمتص الكلورفيل الطاقة الضوئية التي تشجع انشطار الماء الي أوكسجين وايدروجين ، بتساعد الأوكسجين اما الايدروجين فيتحد مع مستقبل هو NADP

نتيجة امتصاص الكلورفيل للضوء الأزرق والأحمر يفقد الكترونا فتجذب اللاكترونات النشطة السالبة داخل الجرانا بواسطة مستقبلات الكترونية وفي اثناء عملية الانتقال فان طاقة الكترون تنخفض والطاقة المنطلقة تمتص بواسطة ADP لتكوين ATP.

اما التفاعل الثاني والمعروف Dark reaction وهو تفاعل كيميائي يعرف باسم Co2 fixation cycle هذا التفاعل لا يحتاج الي ضوء وليس معني ان اسمه تفاعل الظلام أنه يتم في الظلام بل يعني ان الضوء غير ضروري لاتمامه و يتم فية تثبيت Co2 و تكوين المواد الكربوهيدراتية .

اولا : التفاعل الضوئي او تفاعل هيل Hill reaction :

قام العالم Robert Hill سنة ١٩٣٧ بمحاولة لدراسة تفاعلات عملية البناء الضوئي عن طريق اجراء بحوثه علي بلاستيدات خضراء معزولة بدلاً من اجرائها علي نباتات كاملة وقد وجد أن البلاستيدات الخضراء المعزولة كانت قادرة علي انتاج الأوكسجين أي قادره علي اتمام التفاعل الضوئي وذلك في وجود عوامل مؤكسدة (اي قدرة علي اكسدة المركبات وتصبح هي مختزلة) مثل مركبات السيانيد الحديدية Ferrocyanide ومركبات اكسالات البوتاسيوم الحديدية ferric Potassium oxalate ومركبات الكريون التي تختزل الي الهيدروكونيون ، حيث تتحول ايونات الحديدك الي حديدوز ويتأكسد الماء اي تحل تلك المركبات محل NADP والذي يعتبر مستقبل الأيدروجين في عملية البناء الضوئي عند سقوط الضوء الذي طول الذي طول موجة ٦٨٠ ملليمكرون علي كلورفيل أ والذي يعرف بالنظام الصبغي الاول (PSI) Pigment system فيصطدم فوتونات الضوء مع الكلورفيل فيصبح جزئ الكلورفيل مرتفع الطاقة و يتم ذلك بانتقال الكترون من مدار قريب من النواه الي مدار أبعد و يظل جزئ الكلورفيل في تلك الحالة المرتفعة من الطاقة excited state لفترة وجيزة جدا تبلغ ١٠-٩ ثانية فاذا لم تستخدم الطاقة فأنها تتبد في صورة اشعاع Fluorescence وقد يعقد الالكترتون من جزئ الكلورفيل .

يتأكسد الكلورفيل في (PSI) (يفقد الالكترتون فيستقبله صبغة Ferredoxin وهي الصبغة التي تستقبل الالكترتون وتقوم باختزال NADP و هي عامل مساعد بروتيني . ويتم اختزال المرافق الانزيمي المعروف باسم NADP في وجود أنزيم NADP reductase - Ferredoxin ويتحول NADP الي NAD PH و مصدر الايدروجين هنا هو الماء .

لعدم توفر المرافق الانزيمي الحامل للايدروجين NADP والانزيم الذي يقوم باختزاله فان صبغة Ferredoxin تدفع تيار الالكترونات الي مستقبلات هي بالترتيب سيتوكروم b ثم سيتوكروم f ثم الي الصبغة -cu

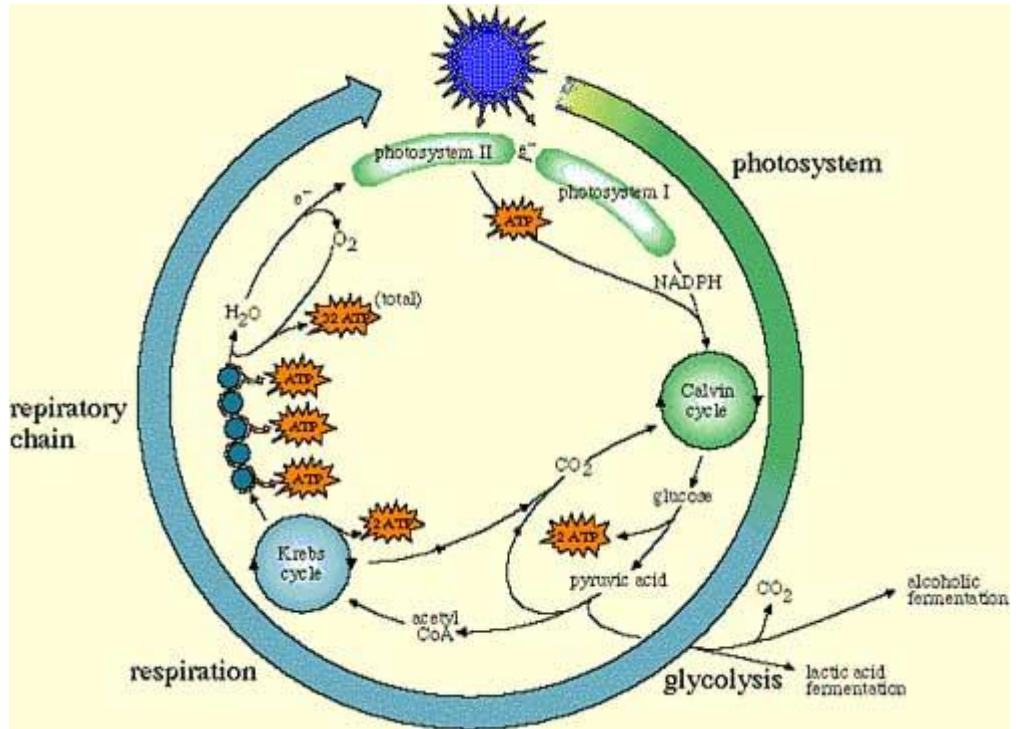
containing

(PC) Plastocyanine Protein ثم مرة أخرى الي كلورفيل أ حتي يحافظ النظام الصبغي الأول (PSI) علي صورته المختزلة المانحة للالكترونات وفي تلك الدورة يفقد الالكترتون طاقته و الذي يمنحها الي المركب ADP ليكون مركب ATP باضافة الفسفور الي ADP في نظام يعرف باسم القسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photo photophosphorylation .

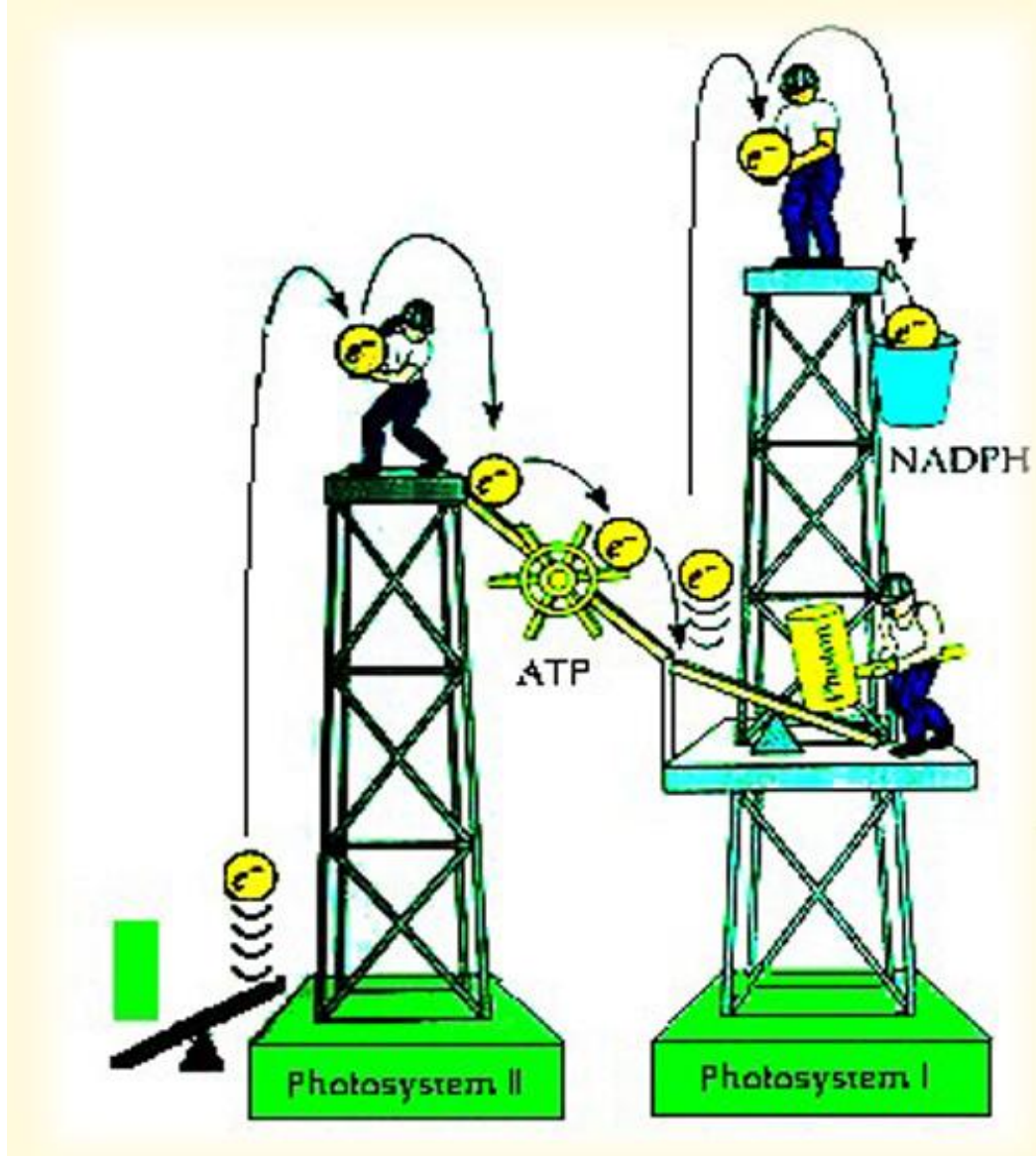
قد تأتي الالكترونات من أكسدة الماء فعندما يسقط الضوء علي الماء فأن جزيئات الماء تتأكسد الي أيونات اكسجين تتصاعد وايدروجين و الكترونات



2يد ٢ أ ٢ + ٤ بروتين 4 + (H) الكترون



يستقبل الإلكترونات صبغة **Plastoquinone** التي تختزل وتقوم بنقل الإلكترون خلال **Cyt b** ثم **Cyt f** ثم الي المركب **(P C) plastocyanine** ثم الي كلورفيل **(PS I)** لتعويض الإلكترون المفقود والذي استخدم في اختزال **NADP** الي **NADP H₂** واثناء ذلك يفقد الإلكترون طاقة ويتكون **ATP** في نظام يعرف باسم الفسفرة الغير دائرية **Non cyclic photophosphorylation** ثم تستعيب صبغة **plastoquinone** عن الإلكترون المفقود بالإلكترون آخر من أكسدة الكلورفيل **(PS II)** نتيجة اكسدتها ضوئية و يعوض كلورفيل ب الإلكترون المفقود من أيونات الأيدروكسيل الناتجة من الماء و عليه ينتج من التفاعل الضوئي مركبان هامين لعملية اختزال ثاني اكسيد الكربون هما المركب الغني بالطاقة **ATP** وكذلك الموافق الانزيمي المختزل **NDP H₂**



النوعين السابقين من الفسفرة تسميان بالفسفرة الضوئية لتمييزها من الانواع الآخر من القسفرة والتي لا تعتمد علي الضوء لاتمامها كالتي تحدث اثناء التنفس ومن الواضح أن عملية القسفرة الضوئية اللادائرية هي أساس عملية البناء الضوئي في النبات الراقي مع امكانية حدوث القسفرة الضوئية الدائرية جنباً الي جنب معاً اما القسفرة الدائرية فقد تحدث في النباتات الاقل رقياً حيث تستغل مركبات اختزالية أخرى غير الماء مثل يد ٢ كب وغيرها . و تقوم تلك النباتات باعطاء الأيدروجين و الألكترونات الي كلورفيل أ مباشرة عن طريق صبغة البلاستوكينون و السيتركرومات وتقوم هذه الكائنات مثل البكتريا بالحصول علي الطاقة عن طريق أكسدة هذه المركبات المختزلة بعملية تسمى البناء الكيميائي Chemosynthesis

ثانيا : تفاعل الظلام او تفاعل بلاكمان Blackman reaction :

يسمى هذا التفاعل الكيماوي يتفاعل دروة كالفن ويتم اثناء هذا التفاعل و الذي يتكون منة عديد من الخطوات الحيوية الانزيمية اختزال CO_2 الي مركبات كربوهيدراتية باستعمال نواتج تفاعل الضوء السابقة الذكر وهي ATP ، NADPH_2

العوامل المؤثرة علي عملية البناء الضوئي

أ -العوامل الخارجية :

(1)الضوء :

عند معدلات مناسبة من الحرارة وثاني اكسيد الكربون نجد أن معدل عملية البناء الضوئي تزداد بازدياد الكثافة الضوئية الي حد اقصى يقل بعدة معدل عملية البناء الضوئي ، وعند ازدياد الطاقة الضوئية الي حد بعيد نجد أن

هناك عامل آخر يبدأ في التداخل في عملية البناء وهو الأكسدة الضوئية **Photo oxidation** بمركبات الخلية الحية مما يؤدي الي استخدام الأوكسجين المتصاعد من عملية البناء الضوئي في أكسدة الكثير من محتويات الخلية وتسمى هذه الظاهرة **Secularization** اما من حيث اطوال الموجات الضوئية فقد بينا أن هناك موجات تزيد عندها كفاءة البلاستيدات الخضراء في امتصاص الضوء مثل الازرق و الاحمر (٤٦٦ - ٦٥٠ ملليمكرون) و لذلك فان كفاءة عملية البناء بالتالي تصل الي اقصاها عند هذه الموجات .

(2) تركيز ثاني اكسيد الكربون :

عند درجات حرارة وكثافة ضوئية ملائمة نجد ان ك^٢ يعتبر العامل المحدد لسرعة عملية التمثيل الضوئي . و يتأثر محتوى الهواء الجوي بثاني اكسيد الكربون بمستوي الرطوبة الجوية فعند ارتفاع رطوبة الجو يزداد تركيز ك^٢ ولذلك عادة ما يلاحظ ازدياد معدل البناء الضوئي في الأيام ذات الضباب عن غيرها اذا كانت العوامل الأخرى غير محددة لهذه العملية . وقد وجد أن عملية البناء الضوئي تستمر في الأسراع كلما ارتفع تركيز ك^٢ بالجو الي أن يصل الي ٠.٥% و لكن لمدد محددة حيث أن استمرار زيادة التركيز الي ١٠-١٥ يوم يؤدي الي ظهور بعض الأضرار علي النباتات

(3) درجة الحرارة :

تختلف درجة الحرارة المثلى باختلاف طبيعة النبات وطبيعة البيئة ومدي تأقلمة معها . ورغم اتساع المدي الحراري الذي يتم عنده عملية البناء الضوئي الا أنه يلاحظ ان انسب درجات حرارية بالنسبة لاغلب النباتات النامية بالاجواء المعتدلة يصل ما بين ١٠ - ٣٥ درجة مئوية ويلاحظ أن معدل سرعة عملية البناء الضوئي يستمر في الارتفاع بارتفاع درجات الحرارة من ١٠ الي ٢٥ درجة مئوية بالنسبة لاغلب النباتات . ويؤدي رفع درجة الحرارة عن المعدل السابق الي انخفاض سرعة عملية البناء و يرجع ذلك اساسا للتأثير الضار للحرارة المرتفعة علي بروتوبلازم الخلايا الحية وخاصة الانزيمات المتواجدة بها كما قد يرجع التأثير الضار الي تراكم نواتج عملية البناء أو قد يرجع التأثير الي قلة كفاءة ذوبان ك^٢ في بخار الماء بغرف الثغر وبالتالي قلة ما يصل منة الي بلاستيدات .

(4) الماء :

وجد ان الكمية اللازمة من الماء لاستمرار عملية البناء الضوئي تقدر بحوالي ١ % فقط من جملة الماء الممتص بواسطة النبات . وقد لوحظ أن معدل او سرعة البناء الضوئي يرتفع اذا ما حدث جفاف بسيط بالأوراق (١٥ % فقد ماء) ولكن هذا المعدل ينخفض تماما اذا ما وجد جفاف شديد بهذه الاوراق (٤٥ % فقد ماء) حيث أن فقد الماء الذي يبدأ بالخلايا الحارسة يؤدي الي الانكماش وبالتالي قفل الثغور فيقل معدل التمثيل تبعاً لذلك و يؤدي الجفاف أيضا الي قلة قابلية الأغشية البلازمية للنفاذية وجفاف الانزيمات النسبية والتي يلزم لها درجة تبلل عالية وقد يؤدي الجفاف الي قلة سرعة تكوين المواد الكربوهيدراتية المتكونة من عملية البناء مما يؤدي الي تراكمها في الاوراق وبالتالي بطء سرعة عملية البناء .

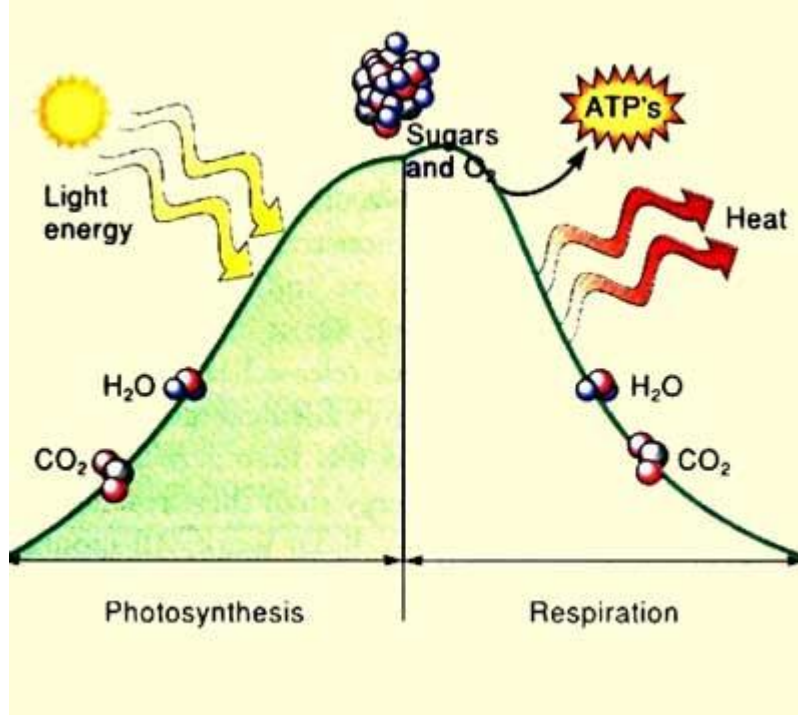
(5) تأثير العناصر الغذائية :

عند نقص بعض العناصر مثل ن ، بو ، مغ يلاحظ قلة معدل عملية البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الانزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام أو لضرورة وجودها لاتمام عملية تفاعل الضوء مثل الكلورين والذي يؤدي نقصة الي عدم امكان نقل الالكترونات من الماء الي كلورفيل (ب) وقد يكون نقص العنصر مؤثراً علي بناء الكلورفيل نفسه كما في حالة نقص الحديد أو النتروجين أو المغنسيوم وغيرها كما ان يدخل كمادة تفاعل أثناء تفاعلات الظلام.

التنفس

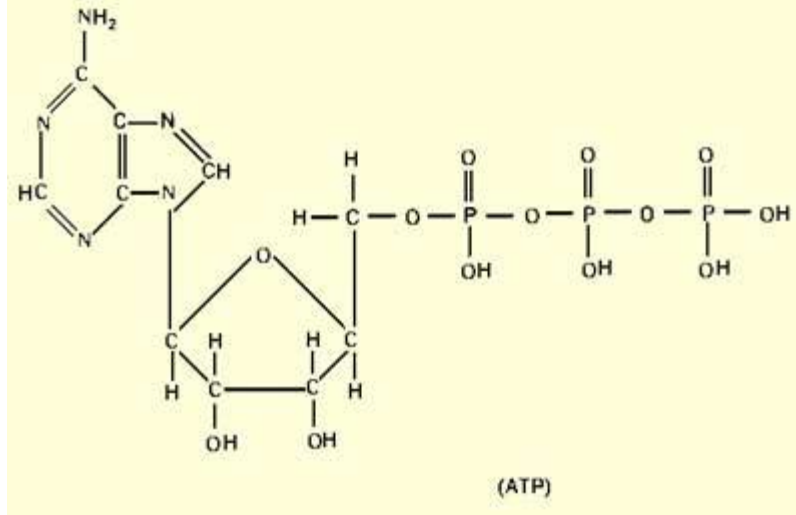
Respiration

تستمد الكائنات الحية الطاقة المخزونة في المركبات العضوية وذلك اثناء اكسبتها وتفتيتها فتنتقل الطاقة المخزنة على حالة طاقة نشطة تستغل في العمليات الحيوية المختلفة وكذلك في تنشيط بعض المركبات الكيميائية لتكوين مركبات جديدة تساهم في زيادة كمية البروتوبلازم وبالتالي نمو الكائن الحي وتعرف عملية تفتيت وأكسدة المركبات العضوية وانطلاق الطاقة المخزنة بها على حالة طاقة حرة بعملية التنفس وعلمية فالتنفس هو عملية أكسدة واختزال تحدث في جميع الخلايا الحية فتسبب انطلاق الطاقة الكامنة في المواد المتفاعلة على حالة طاقة نشطة وبالتالي فهي عكس عملية البناء المعروفة بالتمثيل الضوئي وتعطى نواتج عكسية كما في البيان التالي.



عملية نقل الطاقة داخل النباتات

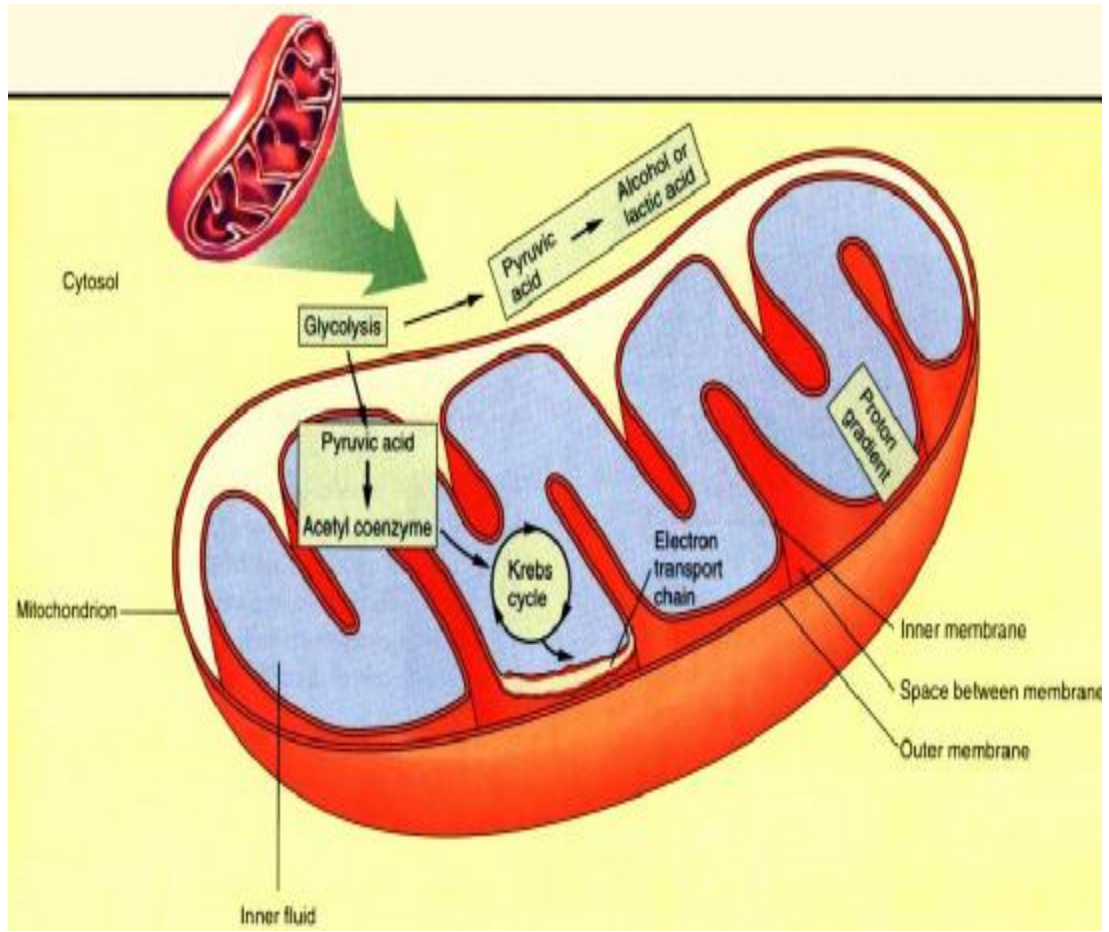
الطريقة العامة لنقل الطاقة في الكائنات الحية تعتمد علي وجود مركبات مفسفرة Phosphorylated Compounds مثل مركبات Adenosine triphosphate (ATP) , Adenosine diphosphate (ADP) . الشق الأساسي في هذه المركبات هو مركب الادينوزين الذي يتكون من مركب Purines المرتبط بسكر الريبوز وثلاث مجموعات من حمض الفوسفوريك كما في حالة ATP ومجموعتين من الحمض في حالة ADP ويتم الارتباط برابطة استر.



وعند تحلل ATP بتأثير الانزيم المناسب ينتزع شق الفوسفات الطرفي وينتج عن ذلك كمية من الطاقة تعادل ١٢,٠٠٠ سعر لكل جزئ وهي نفس الكمية من الطاقة التي تنتج من تحلل ADP لينتج AMP أما شق الفسفور في AMP عند تحلله الي حمض ادينليك ينتج عنه طاقة أقل نسبيا من الطاقة السابقة تقدر ب ٣٠٠٠ سعر لكل جزئ من المفيد ان نسأل أنفسنا عن سبب الفرق الكبير نسبيا في الطاقة الحرة المنفردة من تحلل ATP عن المنفردة من تحلل AMP والسبب يرجع الي أن ذرات الأوكسجين في جزئ البيروفوسفات في ATP و ADP تحمل شحنات سالبة جزئية كما تحمل ذرات الفوسفور شحنات موجبة وبذلك تلزم وجود كمية كبيرة من الطاقة للتغلب على التنافر بين الشحنات الكهربائية المتماثلة على ذرات الأوكسجين وذرات الفوسفور وتنتقل الطاقة عند تحلل تلك المركبات وتعرف الرابطة بين جزيئات البيروفوسفات السابقة الذكر بالروابط الغنية بالطاقة **energy- rich phosphate bond** ويمكن لمركب مثل ADP من تخزين الطاقة عن طريق ربطة مجموعة فوسفات اليه ليكون ATP أثناء عملية التنفس ليقوم هو مرة أخرى الي منحها الي مركب آخر في تفاعل حيوي آخر

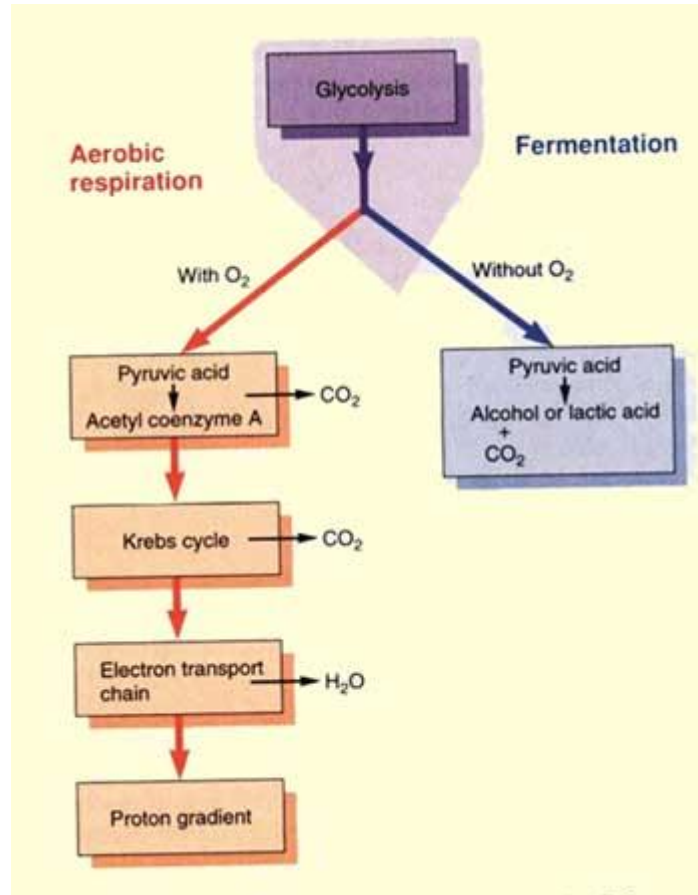
مكان حدوث التنفس

يحدث التنفس في عضويات صغيرة تعرف بالميتاكوندريا هي بمثابة بيت الطاقة حيث تحتوى على انزيمات التنفس وهي أجسام محاطة بوحدين غشائيتين يضمنان بداخلهما الحشوة و أنزيمات دورة كريس ومركبات عديدة من نواتج التفاعلات الأنزيمية والسيكروومات ويلاحظ كثافة الميتوكوندريا في الخلايا النشطة مثل الخلايا الميرستيمية حيث تسود بها الميتوكوندريا . ونظرا لاحتواء الميتوكوندريا علي DNA فان لها القدرة علي الانقسام دون الاعتماد علي النواة.



التحولات التي تحدث اثناء عملية التنفس:

أثبتت الأبحاث تشابة عملية التنفس في جميع الكائنات الحية. ويقسم التنفس الي نوعين من التنفس اللاهوائي في غياب الأوكسجين والتنفس الهوائي.



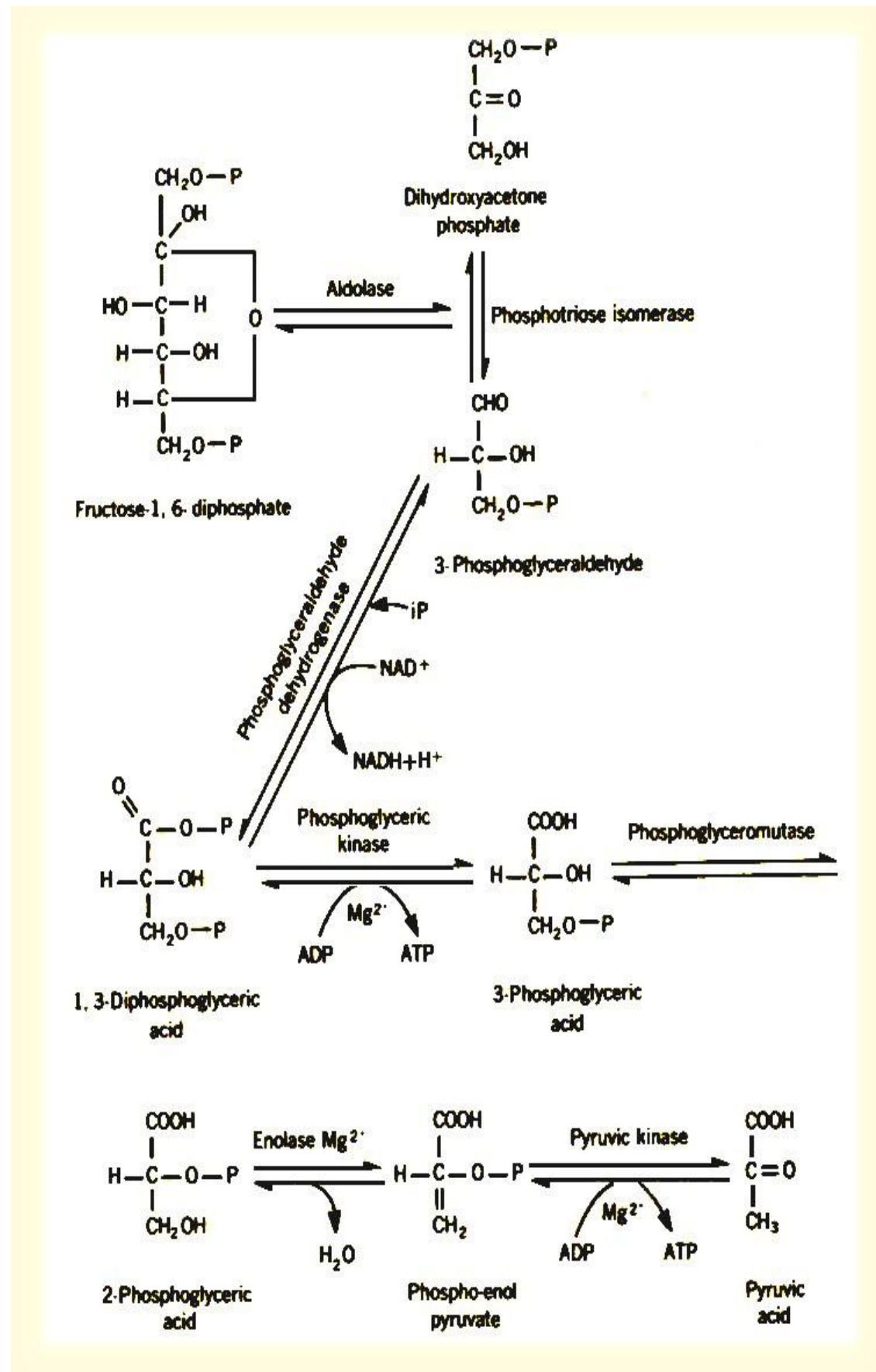
التنفس الهوائي

وتقسم الخطوات التي يمر بها نوعي التنفس الي مرحلتين رئيسيتين هما :-
 (1) الجلكزه Glycolysis وفيها تتحول السكريات السداسية (الهكسوزات) الي حامض البيروفيك Pyruvic acid تتم هذه المرحلة في كلا من التنفس الهوائي واللاهوائي . علي أن هذه المرحلة غير هوائية .
 (2) المرحلة الثانية يتحول حامض البيروفيك الي :
 Ø كحول ايثايل وثاني اكسيد الكربون كما في الخميرة ويطلق علي هذه العملية عملية التخمر وتتم في غياب الأوكسجين
 يتحول حمض البيروفيك الي حمض اللاكتيك كما في Ø عضلات الحيوان
 يتحول حمض البيروفيك الي ثاني اكسيد الكربون والماء وذلك في Ø وجود الأوكسجين وفي جميع الاحوال تنفرد الطاقة

أولاً : الجلكزة Glycolysis

تبدأ تفاعلات تحليل الجليكوجين والنشا بالتحلل الفوسفوري بواسطة انزيم الفوسفويليز الذي يحلل الرابطة الجليكوسيدية 1-4 عند الطرف الغير مختزل بجزئ النشا أو الجليكوجين . ويقوم انزيم الفوسفويليز بتحلل سلسلة الاميلوبكتين المتفرعة بنسبة ٥٥ % لعدم امكان تخطي الرابطة ١-٦ وينتج عن ذلك الدكسترين الحدي . ثم يتحول فوسفات ١ - جلوكوز الي فوسفات ٦ - جلوكوز بواسطة انزيم Phosphoglucomutase في وجود المغنسيوم اما الجلوكوز الغير مفسر فلا بد له من الفسفرة باستخدام ATP عن طريق انزيم Hexokinase ثم يتحول فوسفات ٦ - فركتوز بواسطة انزيم Phosphohexoisomerase ثم يقوم انزيم Phosphofructokinase بفسفرة فوسفات ٦ - فركتوز الي فوسفات ١ ، ٦ فركتوز ، عندئذ يتفكك ثنائي فوسفات الفركتوز الي مركبين كل منهما يتكون هيكله الكربون من ثلاث ذرات كربون هي : فوسفات ثنائي هيدروكسي اسيتون وفوسفات الدهيد الجليسرول بواسطة انزيم Aldolase يقوم انزيم Phosphate triose isomerase بتحويل فوسفات هيدروكس الاسيتون الي ٣ فوسفو الدهيد الجليسرول . ثم يحدث اول تفاعل بة اكسدة حيث يتأكسد فوسفات الدهيد الجليسرول و يختزل NAD وتتحول مجموعة الالدهيد نتيجة للأكسدة الي حمض ويستخدم جزء من الطاقة التي تنطلق في تكوين ATP .

يقوم أنزيم Phosphoglyceromutase بتحول ٣ فوسفوالجليسريك الي ٢ فوسفوالجليسريك في وجود المغنسيوم .
ويتم نزع الماء من المركب السابق في وجود أنزيم enolase فيتكون فوسفواينول البيروفيك . ثم يقوم أنزيم Pyruvic kinase بدور العامل المساعد في تحول الصورة الاينولية لحمض البيروفيك الي الصورة الكيتونية الاكثر ثباتا و يستخدم جزء من الطاقة الناتجة في فسفرة ADP الي ATP .

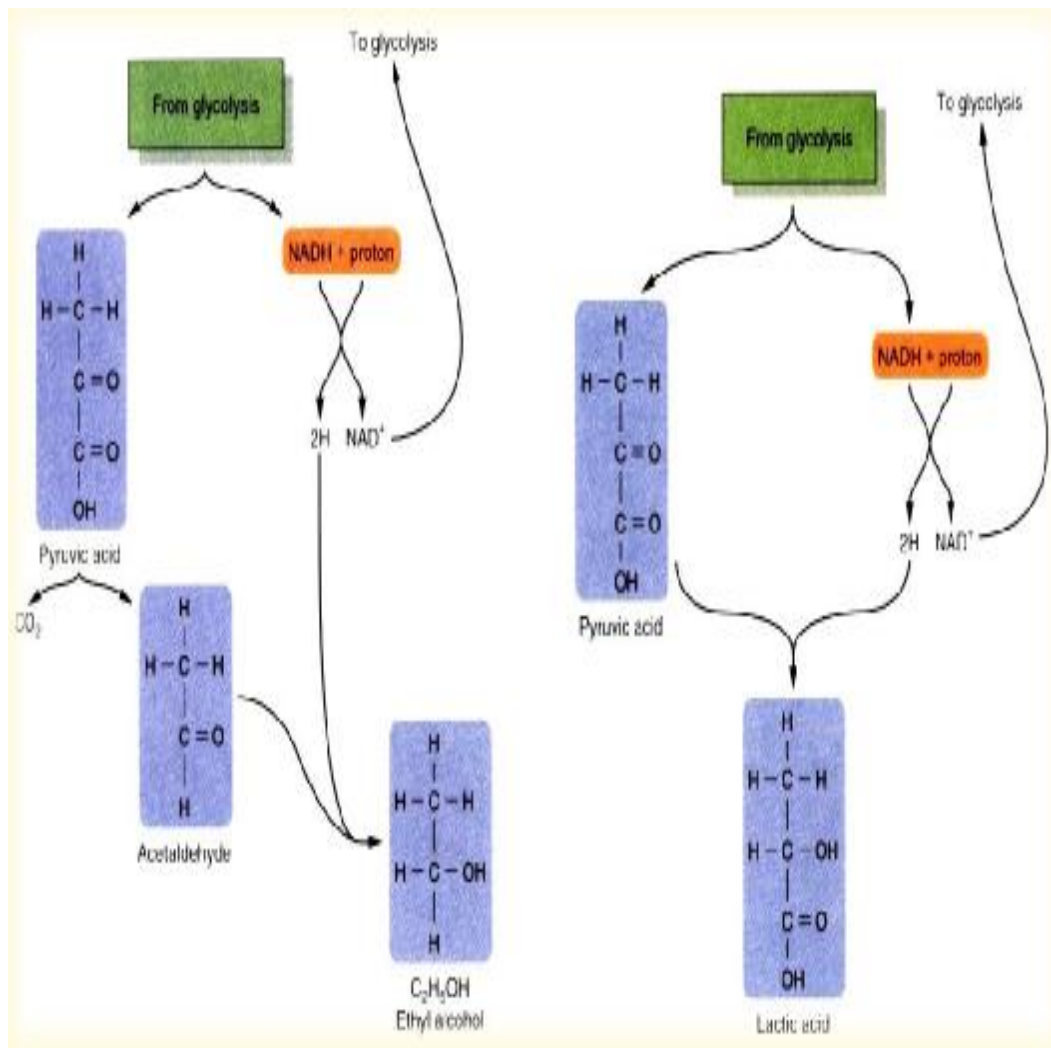


وبذلك تنتهي الجلوكزة وينتج عنها ٤ جزيئات من ATP في حين يستهلك خلالها جزيئان فتكون المحصلة جزيئان فقط من ATP . بعد ذلك يدخل حمض البيروفيك في التخمر الكحولي أو التخمر اللاكتيك ليتم التنفس اللاهوائي أو يدخل حمض البيروفيك في دورة السترات ليتم التنفس الهوائي .

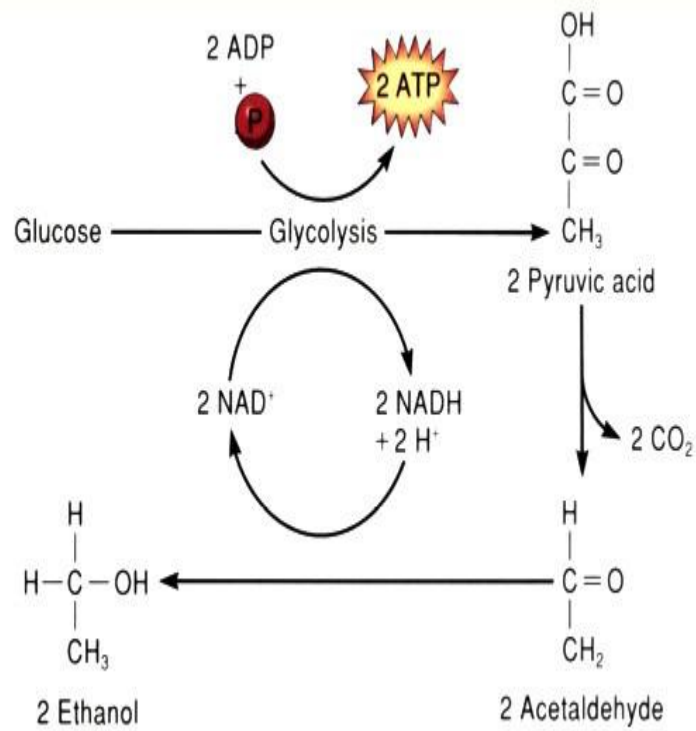
ثانيا : المرحلة الثانية

أ- التخمر Fermentation :

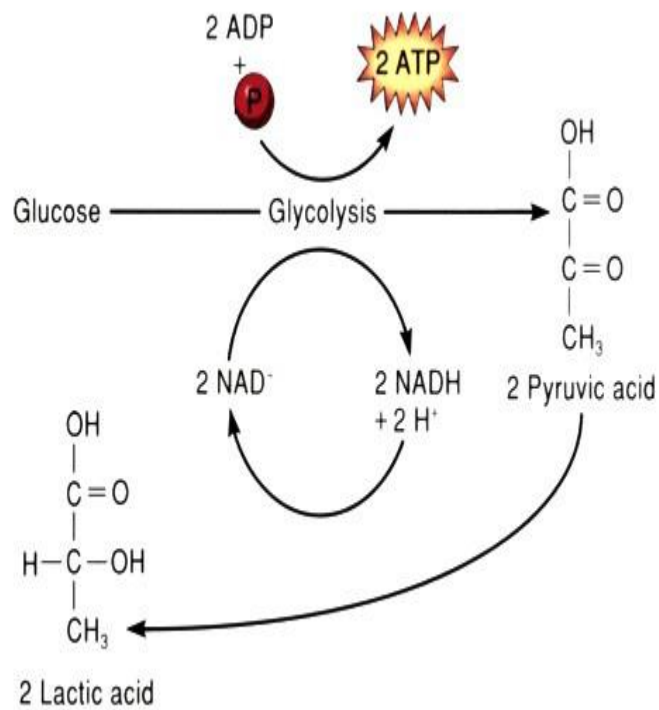
كثير من الكائنات الدقيقة كذلك بعض النباتات الراقية تستطيع تفتيت السكريات في غياب الأوكسجين وتستعمل الطاقة الناتجة في هذه الحالة في نمو تلك الكائنات. أبسط صور التخمر هو التخمر اللاكتيكي Lactic fermentation حيث يتحول حمض البيروفيك الي حمض لاكتيك . ولا يعرف هذا النوع من التخمر في النباتات الراقية ولكنه منتشر في الكائنات الدقيقة وتستطيع كثير من انسجة النباتات الراقية بعملية التخمر الكحولي alcoholic fermentation وفيه يتحول البيروفات الي استيالدهيد و ينفرد CO₂ بتأثير انزيم Carboxylase ثم يختزل الاستيالدهيد الي كحول ايثانول في وجود انزيم Alcohol dehydrogenase



ولا ينتج عن ذلك طاقة اي لا تتكون مركبات ATP و بذلك بعملية التنفس اللاهوائي بداية من تفتيت السكر حتي تكون حمض اللاكتيك و كحول الايثانول لا نتج عنها سوي جزيئان من ATP و هي الناتجان اثناء عملية الجلوكزة و يتم التنفس اللاهوائي في عدم وجود الاكسجين كما سبق الاشارة وعادة في الكائنات الدقيقة التي يطلق عليها anaerobes



(a) Fermentation to produce ethanol



(b) Fermentation to produce lactic acid

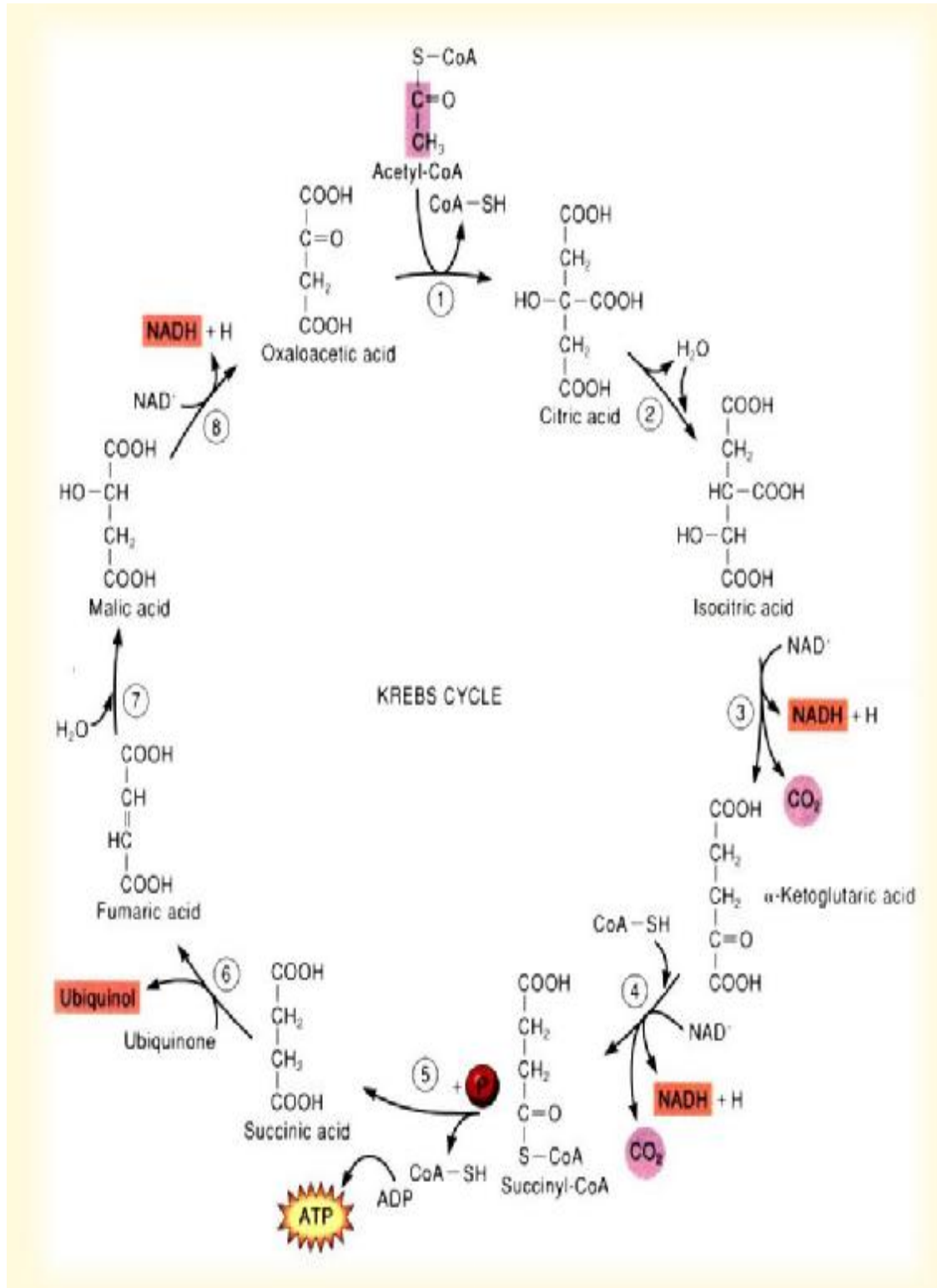
ب- الخطوة الثانية في التنفس الهوائي

يتم ذلك عن طريق سلسلة من التفاعلات تبدأ أولاً بتكوين acetyl coenzyme A وهي عملية معقدة . وتحتاج الي خمس مساعدات ضرورية (TPP) ، thiamine pyrophosphate ، Coenzyme ، NAD ، المغنسيوم ، Lipoic acid وقد اقترح Gunsalus أربع خطوات لتكوين Acetyl Co A ومن التفاعل نجد تكوين Acetyl CoA وثاني اكسيد الكربون أول مجموعة تخرج من حمض البيروفيك وفي اثناء هذا التحول السابق الإشارة اليه يتم نقل الكترونات لـ NAD لتكوين NADH واثناء نقل هذا الالكترونات ينتج عن ذلك ثلاث جزيئات من ATP و يمكن تلخيص التفاعل كالآتي :



دورة كريس Krebs cycle

يعتبر Acetyl CoA حلقة الوصل بين عملية الجلوكزة ودورة كرب (أو دورة السترات أو دورة الاحماض ثلاثية الكربون). أول تفاعل في تلك الدورة هو تكتيف Acetyl COA مع حمض الاوكسالوخليك لتكوين حمض الستريك . لاعادة تكوين حمض الاوكسالوخليك مرة أخرى تتم سلسلة من التفاعلات يتم خلالها اربع خطوات أكسدة وثلاث جزيئات ماء وجزيئين من ثاني أكسيد الكربون وبذلك يكون تفتيت كل ذرات الكربون التي كونت حمض البيروفيك وثمان ذرات ايدروجين كما بالرسم التالي .

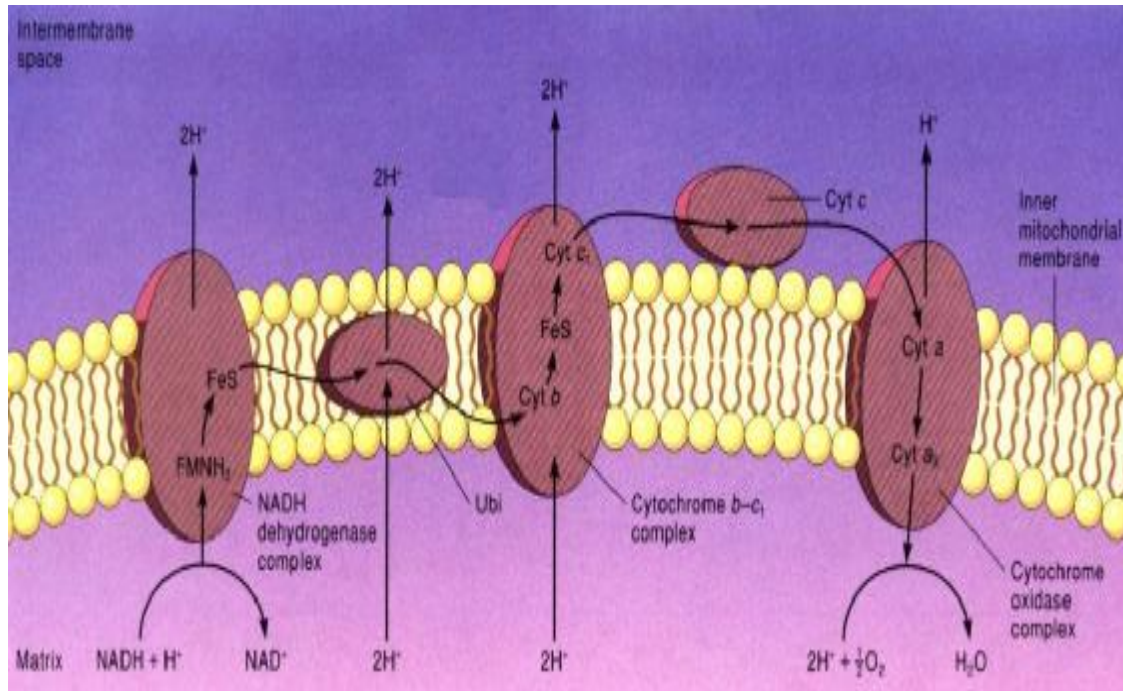


في خلال هذه الدورة يتم تكوين حمض الالفيا كيتوجلوتاريك & Ketoglutaric acid ويعتبر هذا الحمض هو مفتاح عمليات التمثيل داخل النبات. فهو يلعب دوراً هاماً في تمثيل كلا من الكربوهيدرات والدهون وكذلك الأحماض الامينية

نظام نقل الإلكترون :

مما تقدم نجد في دورة الأحماض الثلاثية أنه تم اختزال كلا من المرافقين الانزيمي NAD ، FAD وحملوا بأيونات الايدروجين . لذلك يجب اعادة اكسدتهم وتسمى تلك الاكسدة بالاكسدة النهائية أو الطرفية Terminal oxidation وفيها يتم اتحاد الأيدروجين المحمل علي قرانن الانزيمات مع أوكسجين الهواء الجوي وبذلك ينتج

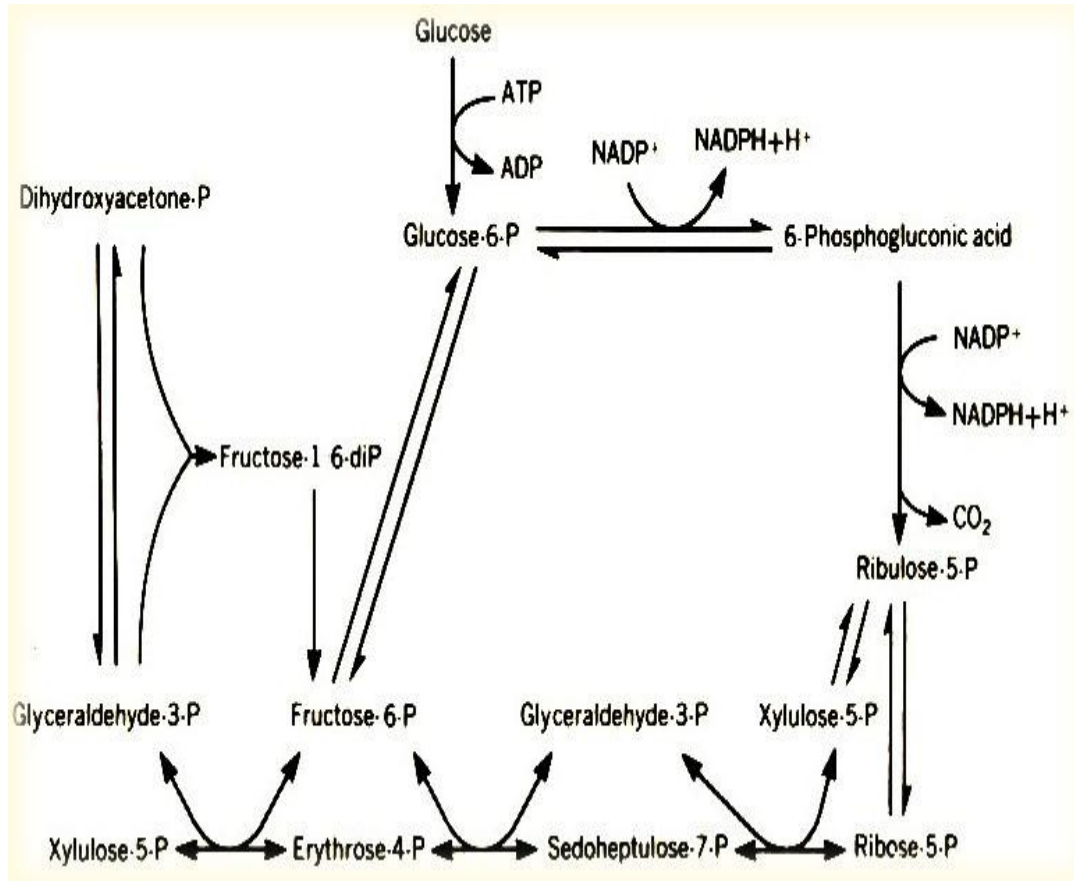
الماء وهو الناتج الثاني من نواتج التنفس وتقوم عدة انزيمات باتمام هذه العملية كما بالرسم



ويعبر أهم تلك الانزيمات (Cytochrome oxidase) **Cytochrome a3** والذي يعتبر الانزيم الطرفي أو النهائي والذي ينقل الإلكترون الى الأوكسجين ليحوّله الى أيون يتحد مع أيونات الأيدروجين ليكون الماء . وقد وجد أن أثناء هذه العملية يتم أكسدة المرافقات الانزيمية المختزلة ويصاحب هذه الأكسدة انفراد طاقة في صورتين احدهما منفردة في صورة حرارة والأخرى مرتبطة في صورة ATP حيث يتم انتاج ٣ جزيئات ATP من كل دورة ونظرا لوجود جزيئان من الجليسرالدهيد ناتجان من الجلوكوز في أول تفاعل فإن هذا يعني أن هناك مجموعات من ATP لكل جزيئ فتكون المحصلة ٣٤ جزيئ ATP فإذا أضفنا ٢ جزيئ ATP ناتجين من عملية الجلوكزة كما سبق الإشارة اليهم فيكون المجموع ٣٦ جزيئ بقي ان نعلم انه عند تحول Succinyl CoA الى Succinic acid ينتج عن هذا التفاعل مركب غني أيضا بالطاقة والمعروف باسم GTP والذي ينقل ما يحمله من طاقة الي مركب ADP ليكون ATP واحدة وبذلك ينتج جزيئان من ATP من هذا التفاعل الأخير فيكون الناتج ٣٨ جزيئ ATP من الأكسدة الكاملة لجزيئ السكر

التأكسد المباشر :

لوحظ أن بعض الأنسجة النباتية يتم بها التنفس رغم استعمال المعيقات أو المثبطات الخاصة بعملية الجلوكزة مثل خلاات الايودين والفلورين وباستعمال المواد المشعة تم التأكد من وجود دورة أخرى لأكسدة الجلوكوز تختلف عن دورة الجلوكزة اطلق عليها دورة فوسفات البنتوز أو دورة الهكسوزات احادية الفسفرة وقد تم توضيحها العالمان Horecher & Rack وفيها يتأكسد سكر الجلوكوز - ٦ - فوسفات مباشرة دون عملية الجلوكزة اللاهوائية بنزع ذرات الأيدروجين ليتحول لحمض الجلوكونيك الذي يتأكسد بدورة وينفرد ثاني أكسيد الكربون لينتج سكر الريبولوز كما بالشكل .



ويلاحظ ان المرافق الانزيمي NADPH يتم أكسدته بواسطة الأكسجين الجوي عن طريق الانزيمات الطرفية المعروفة بالسيتوكروم . a3 وتتم هذه الدورة جنباً الى جنب مع الجلوكزة ولكن بنسب تختلف تبعاً لنوع وعمر النسيج حيث تزداد نسبة حدوث تلك الدورة عند تقدم النسيج في العمر وتعتبر هذه الدورة مصدراً مثالياً لإنتاج الكربوهيدرات الثلاثية والرابعة والخماسية والسادسية والسباعية لاستغلالها في عمليات حيوية أخرى .

العوامل المؤثرة علي معدل التنفس :

1- الأكسجين :

من الواضح ان نقص الأكسجين بالجو المحيط بالنباتات التي تتنفس عادة تنفساً هوائياً يكون له تأثيرات ضارة بهذه النباتات ويختلف مدى الضرر باختلاف نوع النبات أو النسيج وعمره ومدة التعرض لهذه الظروف اللاهوائية ويرجع حدوث هذه الأضرار الى العديد من العوامل ومنها نقص الطاقة المتحصل عليها عن طريق التنفس اللاهوائي وتراكم بعض النواتج الضارة أو السامة بالكانن الحي . وعموماً لا يعتبر الأكسجين عاملاً محدداً للتنفس تحت الظروف الطبيعية حيث ان تركيزه بالجو يعتبر كافياً جداً للتنفس الهوائي ويعتبر ثابتاً الى حد ما . اما الأجزاء النباتية بالتربة أو كائنات التربة فقد تتأثر نتيجة لقلّة الأكسجين اذا كانت التربة سيئة التهوية لتقلها أو لغمرها بالماء .

2- الحرارة :

تعتبر تأثيرات الحرارة علي معدل التنفس راجعه للعديد من العوامل المتداخلة وعموماً يمكن القول ان زيادة الحرارة يزيد من سرعة عملية التنفس بدرجة ملحوظة . ولابد من الأخذ في الاعتبار أن النباتات بل الأعضاء تختلف فيما بينها في استجابتها للحرارة ولكن لوحظ ان أغلب الأنسجة النباتية تزيد سرعة تنفسها عند زيادة درجة الحرارة عن ٣٥ درجة مئوية . ويظل هذا التأثير لمدد معينة فقط حيث ان الاستمرار يعرض النبات لتأثيرات عكسية ضارة وغالباً يرجع لابطاء أو ابطال عمل الانزيمات وبقية المكونات البروتينية بالسيتوبلازم وقد يكون استمرار الحرارة المرتفعة سبباً في تراكم بعض نواتج التفاعل مثل غاز ثاني أكسيد الكربون وقد يزداد تركيزه الي المعدل الضار أو السام بالخلايا الحية نتيجة لسرعة عملية التنفس . وعند درجات الحرارة المنخفضة فأنه من المتوقع ان يزداد تركيز ك ٢١ الناتج من التنفس وهو ما يؤدي الي أبطاء تفاعلات إنتاج ك ٢١

decarboxylation .

3- تركيز ثاني أكسيد الكربون :

زيادة تركيز ك^٢ بالخلايا يقل أو يبطل عمل الانزيمات الخاصة بنزع جزيئات ك^٢ من المركبات الكربوهيدراتية وغيرها decarboxylases وذلك طبقا لقانون نقل الكتلة Moss action كذلك فإن زيادة تركيز ك^٢ يؤدي الي ارتفاع الحموضة بالعصير الخلوي وبسيتوبلازم الخلية مما له ابلغ الاثر علي تراكم ونوع التفاعلات الانزيمية المختلفة وسرعة اتمامها . ولكن نظرا لثبوت تركيز ثاني اكسيد الكربون نسبيا في الهواء فان تأثيره السام يتركز اساسا علي الأجزاء الارضية من النبات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة حيث أنه بالأرض سينة التهوية يزداد تركيزه ويقل الأكسجين مما يبطئ عمل الجذور في الامتصاص النشاط للعناصر الغذائية .

4-العناصر الغذائية :

لوحظ من التفاعلات السابق ذكرها بالنسبة للتنفس اللاهوائي والهوائي أن أغلب الانزيمات المتحكمه في هذه التفاعلات يلزم لها مساعدات انزيمية من بعض العناصر المعدنية مثل Mn ، Mg ، Cl ، Fe وغيرها . فالمغنسيوم يلزم لتفاعلات الفسفرة وتفاعل نزع ك^٢ في حيث البوتاسيوم يعمل كمساعد انزيمي في تفاعل انتاج حمض البيروفيك في حين ان الحديد يقوم بنفس العمل في تفاعل تحول حمض الستريك الي الايزوستريك في التنفس الهوائي بل ويقوم المنجنيز كعامل مساعد للانزيم المتحكم في انتاج حمض الاوكسال سكسينيك

5-الضوء :

يعتبر الضوء من العوامل المؤثرة تأثيرا مباشرا أو غير مباشر علي التنفس فالضوء يزيد من حرارة الانسجة مما يؤدي الي زيادة عملية التنفس كما وان ارتفاع الكثافة الضوئية يشجع عملية البناء الضوئي وبالتالي تزداد تركيزات السكريات الناتجة واللازمة كمادة تفاعل لعملية التنفس .

6-درجة تبلل الانسجة :

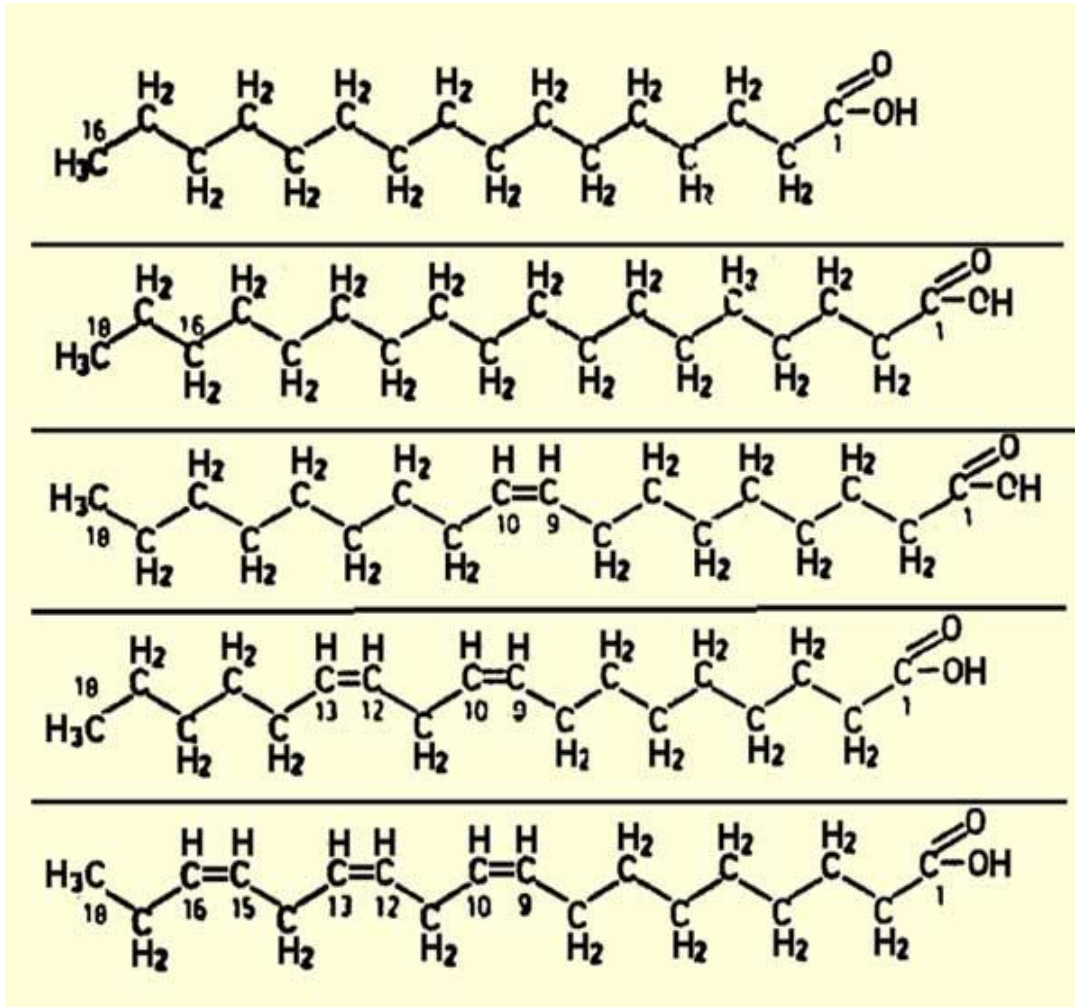
كلما ارتفعت درجة رطوبة الأنسجة كلما ارتفع معدل التنفس عادة يرجع ذلك اساسا لزيادة احتياج الانزيمات الي محتويات مائية مرتفعة وقد لوحظ أنه كلما قل المحتوى المائي يقل معدل التنفس كما في البذور الجافة . كذلك فإن قلة الرطوبة تؤثر علي درجة نفاذية الأغشية البلازمية للغازات وبالتالي فان نقص الأكسجين سيكون عاملا محددا في حين ان زيادة ثاني أكسيد الكربن سيصبح عاملا ضارا أو معيقا لعملية التنفس.

التحول الغذائي للدهن Fat metabolism :

توجد الدهون كأحدى مكونات البروتوبلازم ويتراكم الدهون والزيوت في اعضاء التخزين . وتتميز الدهون كمواذ غذائية بارتفاع محتواها من الطاقة ويرجع ذلك الي انخفاض محتواها من الأوكسجين . وتتشابه الدهون والزيوت من الناحية الكيميائية ولكن تختلف في خواصها الطبيعية فالأولى تكون صلبة في درجات الحرارة العادية وبينما تكون الزيوت سائلة ويعزى ذلك الي ان الدهون تحتوى على نسبة عالية من الأحماض الدهنية المشبعة بينما تحتوى الزيوت على نسبة عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة .

الأحماض الدهنية Fatty Acids :

اهم الأحماض الدهنية التي يتكون منها الدهن في النبات كالآتى- :



وتنقسم الأحماض الدهنية : الى أحماض دهنية مشبعة saturated وفيها تكون جميع ذرات الكربون (بخلاف مجموعة الكربوكسيل الطرفية) مختزلة تماما مثل حمض البالميتيك وحمض الاستيريك . والقسم الثاني هو الأحماض الدهنية الغير مشبعة unsaturated وفيها يوجد بين ذرات الكربون رابطة زوجية واكثر مثل حمض الاوليك وحمض اللينولينيك.

وتنقسم الأحماض الدهنية غير المشبعة الى :

- أ- احماض تحتوى على رابطة زوجية واحدة مثل . oleic acid
- ب -احماض تحتوى على رابطتين مزدوجتين مثل Linoleic acid
- ج- احماض تحتوى على ثلاث روابط زوجية مثل . Linolenic acid

تقسيم الدهون:-

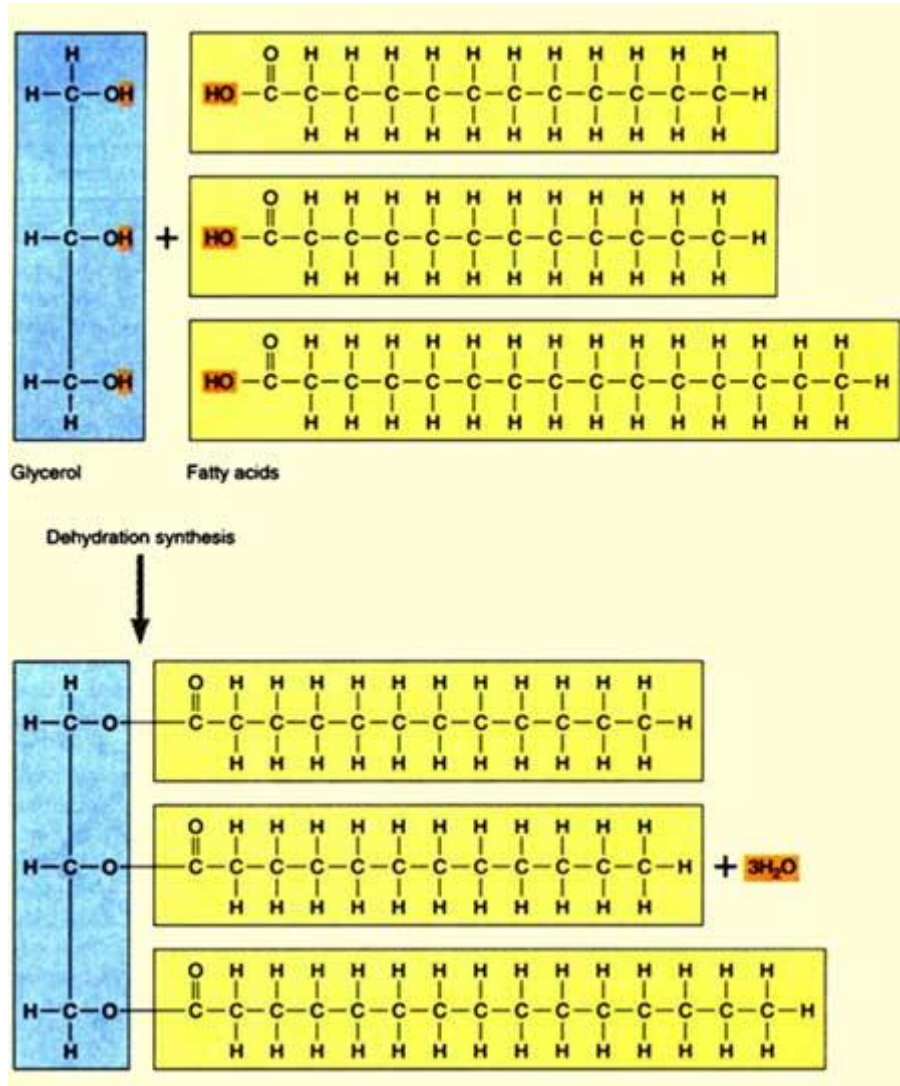
يمكن تقسيم الدهون حسب تركيبها الكيميائى الى:

- أ- الليبيدات البسيطة Simple Lipids وهى استرات الأحماض الدهنية مع كحولات مختلفة وتنقسم الى
 - (1)الدهون والزيوت : fats oils & وهى استرات الأحماض الدهنية مع كحول الجليسرول
 - (2)الشموع : waxes هى استرات الأحماض الدهنية مع كحولات اخرى غير الجليسرول
- ب- الليبيدات المركبة Lipids Compound وهى دهون تربط مع مركبات اخرى مثل :
 - (1)الفوسفوليبيدات phospho-lipids وهى مشتقات من كحول الجليسرول الذى يستبدل احد الأحماض الدهنية فية بـ حمض الفوسفوريك الذى يربط بمركبات ازوتية مثل Lecithin
 - (2)الجليكوليبيدات Glycolipids وهى مركبات تحتوى على الدهون مرتبطة مع الكربوهيدرات . ولم يتأكد من وجودها فى النبات .
 - (3)الكيوتين والسوبرين : التركيب الكيماوى لها غير معروف على وجه الدقة والكيوتين عبارة عن مخلوط

من احماض دهنية حرة ونواتجات تكاثف الأحماض الدهنية مثل الشموع والفارق الكيميائي بين الكيوتين والسوبرين هو الاختلاف في الأحماض الدهنية التي تكون كل منهما .

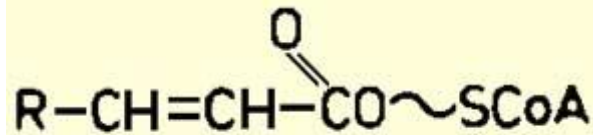
بناء وتكوين الدهن :

يتكون جزى الدهن بتكثيف جزى واحد من كحول الجليسرول الثلاثى الايدروكسيل مع ثلاثة جزيئات من نفس الحمض الدهنى أو احماض دهنية مختلفة . ويشقق الجليسرول والحمض الدهنى من الكربوهيدرات اثناء التنفس ، ويؤيد هذه النظرية انه اثناء نضج البذور الزيتية تكون الزيادة فى المحتوى الزيتي مرتبطة بنقص كمية الكربوهيدرات مما يدل على ان الكربوهيدرات فى البذور تحولت الى دهون

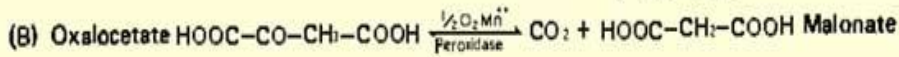
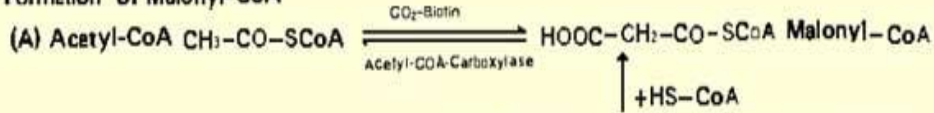


اولا بناء الأحماض الدهنية : Bio synthesis of the fatty acids

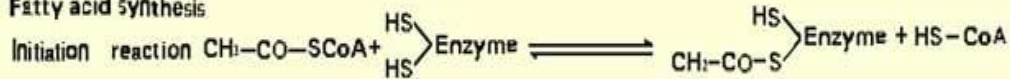
توجد الأحماض الدهنية فقط كآثار فى الأنسجة النباتية السليمة ويبدو ذلك لاستغلال الأحماض الدهنية فى بناء الدهون بنفس السرعة التي تبني بها الأحماض تقريبا . وتبنى الأحماض الدهنية من Acetyl COA الذى يتكون اثناء عملية التنفس وذلك بخطوات عديدة كما بشكل التالى . وينتج من التفاعل الأحماض الدهنية وهى ليست منفردة بل متحدة مع COA لتكون مرافقة الانزيمى A للحمض الدهنى والذى يتحد مع الجليسرول ليكون الدهن .



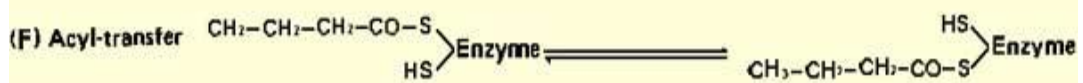
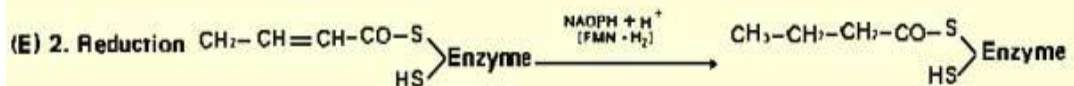
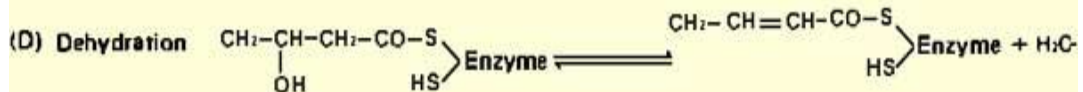
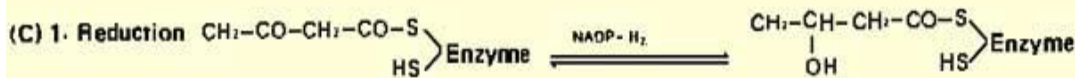
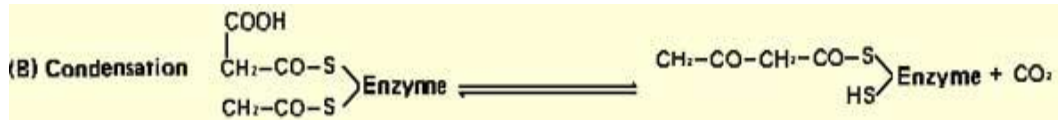
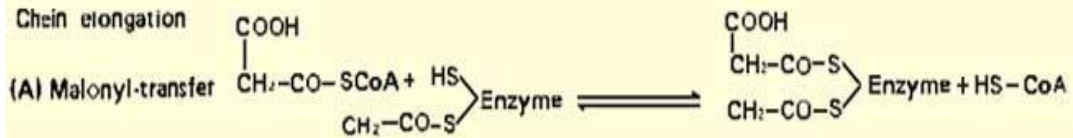
Formation of Malonyl-CoA



Fatty acid synthesis



Chain elongation



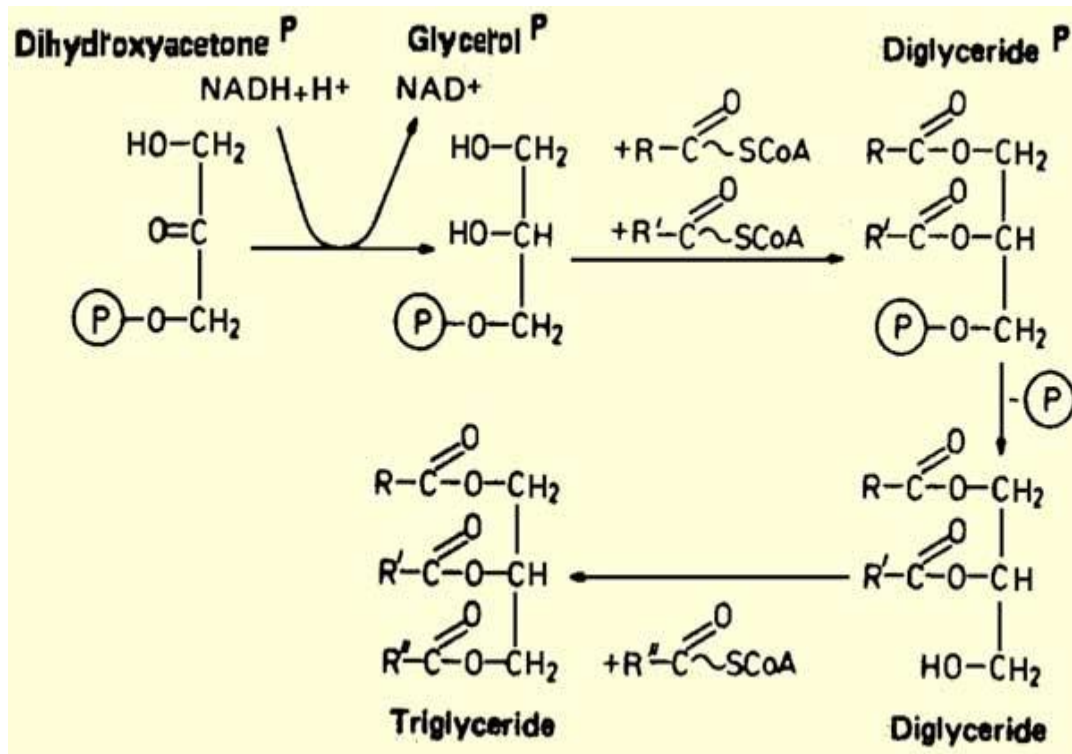
Termination reaction



: Biosynthesis of the fats بناء الدهون

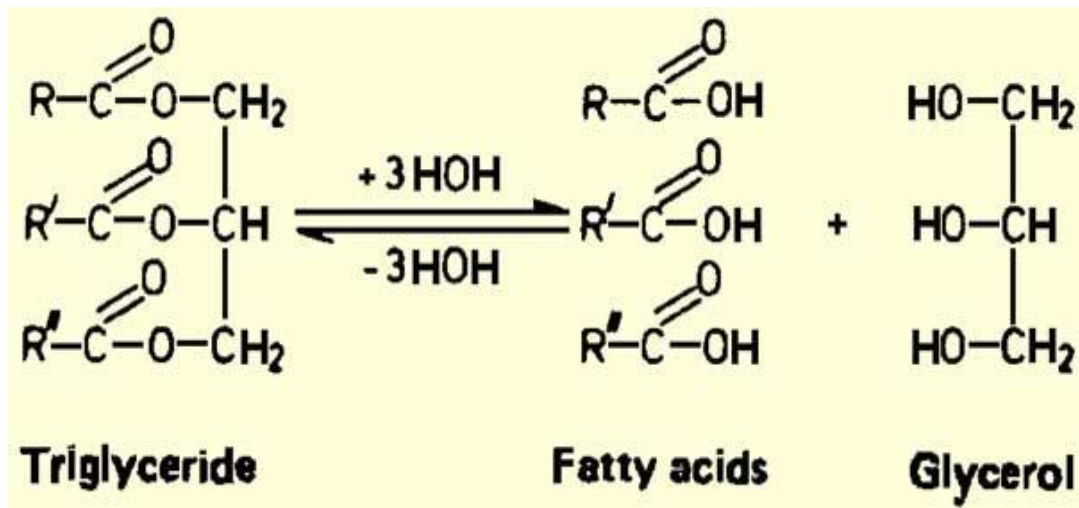
يبدأ بناء الدهون باختزال فوسفات الاسيتون ثنائية الايدروكسيل التي تتكون اثناء التنفس من سكر الفركتوز ثنائي الفوسفات تحت تأثير انزيم Aldolase . ويقوم بهذا التفاعل انزيم dehydrogenase
 glycerophosphate في وجود قرين الانزيم NADH+H⁺ الذي يحول فوسفات الاسيتون ثنائية
 الايدروكسيل الى الفاجليسرو فوسفات مع ٢ جزى من (الحمض الدهنى COA- ليكون مركب وسطى يعرف
 phospho allelic acid ثم يتم نزع الفوسفات بمعاونة انزيم phosphatase ثم يتحد diglyceride مع
 جزى ثالث ليتكون الدهن . ويتم اتحاد الاحماض الدهنية مع الجليسول في وجود انزيم الليبيز ليتكون الاستر

الثلاثى كما بالرسم

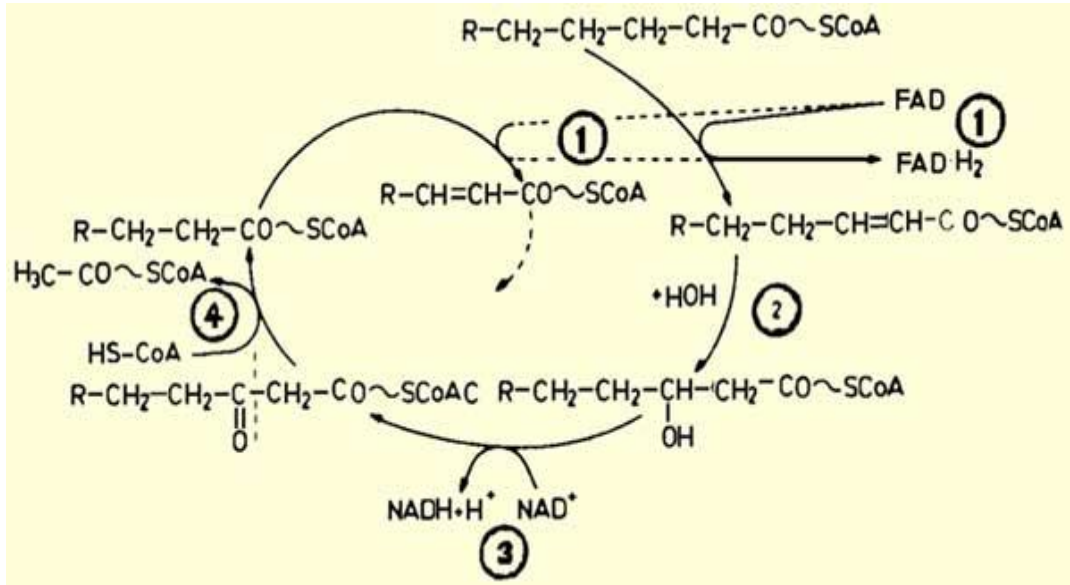


تحلل الدهون أو هدم الدهون : Degradation of the fats

توجد الدهون كمادة مخزنة في النباتات الراقية خاصة في البذور . وتحلل الدهون يتم للحصول على الطاقة في صورة ATP او يستخدم في بناء السكريات عن طريق دورة الجلوكوزيت glyoxylate cycle لبناء الجلوكوز . يبدأ تحلل الدهون بتكسير الجزيئات الى جليسرول واحماض دهنية بمساعدة انزيمات Lipase يدخل الجليسرول في بناء السكريات او يهدم في هذه السترات.



اما الأحماض الدهنية فتهدم . ويتم ذلك باتحاد الحمض الدهنى مع COA ولا يتم ذلك الا بعد تفاعل COA مع ATP وبذلك ينشط . ثم بعدة تفاعلات كما بالرسم يتم نزع مجموعة اسيل من الحمض الدهنى في صورة Acetyl COA (2C atom)



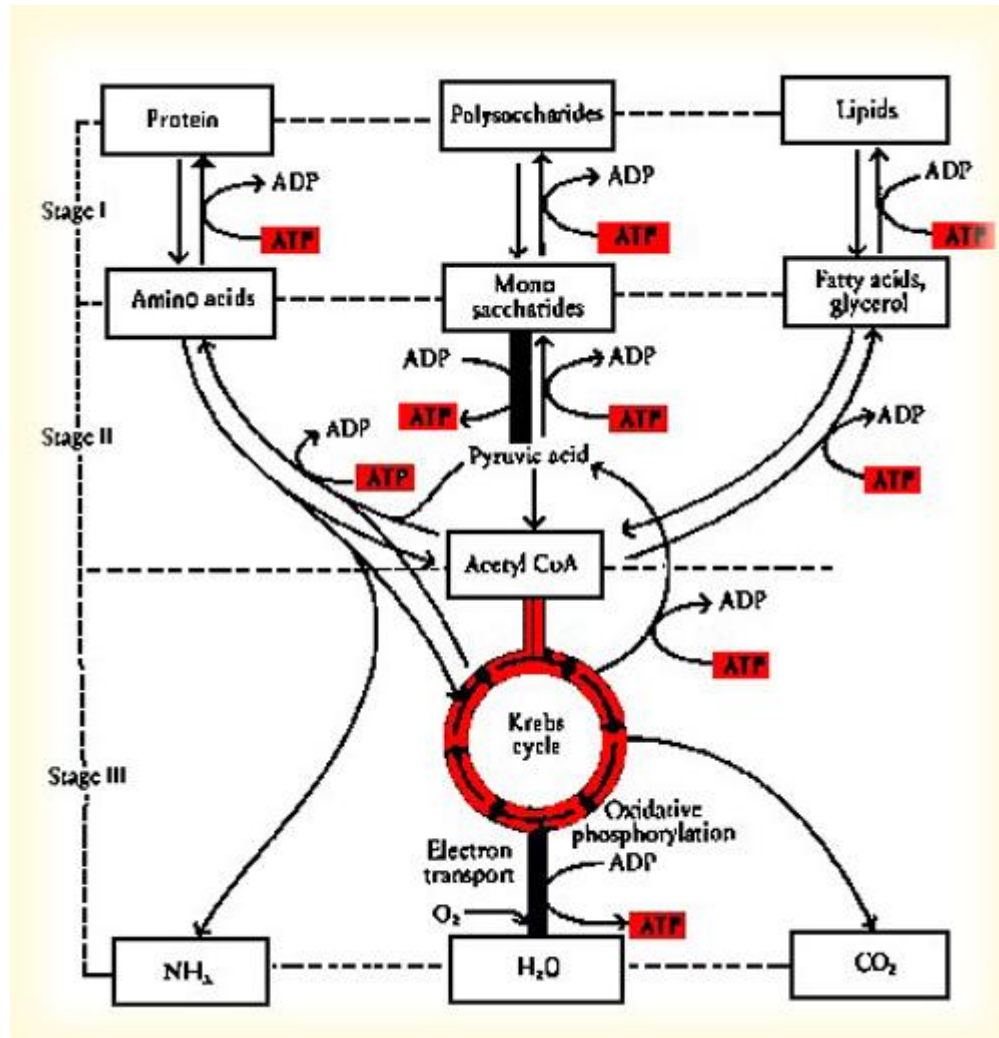
ويتكون حامض دهني اقل في عدد ذرات الكربون ليدخل مرة اخرى الدورة حتى يتم هدمه كاملا الى وحدات Acetyl COA وينتج من اكسدة $FADH_2$ جزيان من ATP وينتج من اكسدة $NADPH_2$ ثلاثة جزيئات من ATP فتكون المحصلة خمسة جزيئات ATP يدخل Acetyl COA في دورة كرب ل يتم هدمه لذلك يقال ان الدهون تحرق على نار الكربوهيدرات.

وينتج من هدم Acetyl COA احدى عشر جزي ATP بالإضافة الى الخمسة السابق ذكرها من هدم الحمض الدهني أو بمعنى أدق تحلله الى حمض دهني اقصر في السلسلة وتكون مجموعة Acetyl COA بالإضافة الى ١٦ جزي ATP ناتجة من تحليل الحمض الدهني بنزع ذرتين كربون منه فقط وتتوالى عمليات الهدم بعد ذلك . فإذا علمنا أن حمض البالميتيك يحتوى على ١٦ ذرة كربون فإنه ينتج عن تحلله ١٢٨ جزي ATP وعلية نجد أن الطاقة الناتجة من هدم الدهون تكون أكبر مقارنتا من الناتجة من هدم الكربوهيدرات

تعرف طريقة الأكسدة السابقة الذكر بال **B oxidation** تميزا لها عن طريقة أخرى للهدم، ففي النباتات الراقية يوجد نظام اضافي لهدم أو تحليل الأحماض الدهنية يعرف **oxidation A** يعمل على هدم الدهون التي يزيد عدد ذرات الكربون في ساسلة احماضها الدهنية عن ١٣ ذرة . فيتم عن طريقها تقصير السلسلة حتى تصبح السلسلة ما دون الرقم السابق ثم يقوم نظام الأكسدة **B oxidation** بأكملها عملية التحلل

يساعد في أكسدة الدهون بنظام **oxidation A** سابق الذكر انزيم **Fatty acid peroxidase** في وجود قرين الانزيم **NAD** وينتج طاقة أقل من النظام **B oxidation** ولا ينتج عنها مجموعات Acetyl COA

كما سبق نجد أن الدهون عند تكسرها وتحللها بانزيم الليبيز الى الأحماض الدهنية والجليسرول فيتحول الجليسرول الى السكريات الثلاثية المفسفرة والتي تدخل في تمثيل الكربوهيدرات . اما الأحماض الدهنية فيمكن أن تتحول الى كربوهيدرات عن طريق دورة تعرف بدورة الجليكوزيت



الهormونات النباتية

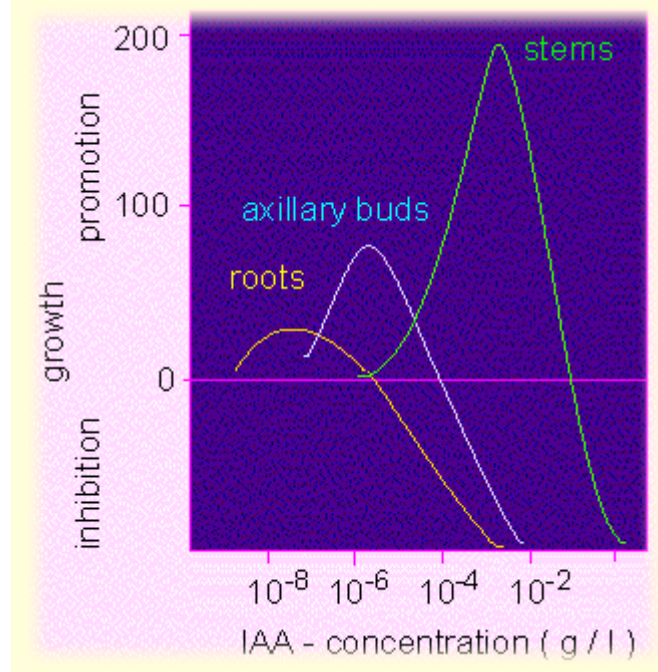
مقدمة

أن التعرف على الهرمونات ومنظمات النمو وطبيعة عملها ودراسة تأثيرها على الأعضاء المختلفة للنبات ثم أهم التطبيقات العملية في هذا المجال من الأمور الهامة لدارس فسيولوجي النبات وسوف بدأ بتعريف الهرمون فالفيتوهرمون مادة عضوية أساسا تنتج في الأنسجة النباتية النشطة وتعمل تركيزاتها القليلة جدا على التحكم والتأثير في عمليات فسيولوجية معينة كما أنها غالبا تنتقل من مكان بنائها إلى مكان تأثيرها , ولا يمكن أن نطلق لفظ فيتوهرمون على المواد اللازمة للنمو مثل السكر أو الأحماض الأمينية فعلى الرغم من انتقالها فنها ليست ذات تأثير فسيولوجي معين ولا يمكنها العمل بالصورة الهرمونية. ويتحكم الفيتوهرمون في نمو وتطور الأعضاء النباتية المختلفة ولا يقتصر تأثيرها على عمليات التمثيل الغذائي بل يتعداه لكثير من العمليات الفسيولوجية المتخصصة. وتبعاً لطبيعة التأثير ينقسم الفيتوهرمون إلى مجموعتين :

أ- مواد منشطة للنمو Growth Regulators

ب- مواد مثبطة للنمو Growth Inhibitors

ولا يمكن أن نضع تعريف محدد لهما وذلك لان التأثير المنشط أو المثبط يعتمد على التركيز المستعمل كما بالشكل



كذلك تختلف استجابة الأعضاء النباتية المختلفة لتأثير هرمون واحد بعينه فبينما ينشط نمو الفرع الخضري من تأثير الفيتوهرمون المعروف بالأوكسين يثبط نفس التركيز نمو الجذور وعلية تختلف الأطوار المختلفة بالنبات لاستجابة الفيتوهرمون فبينما ينشط فيتوهرمون ما الأزهار في نباتات النهار الطويل نجد انه يمنع الأزهار بنباتات النهار القصير وبالرغم من ذلك يستعمل الاصطلاحين (منشطات ومثبطات) على أن لكل منهما حدود يعمل في إطارها ودليل يساعد على تحديدها ودليلنا المستعمل هنا هو نشاط الخلية من حيث الانقسام والاستطالة والإطار الذي يشمل هاتين المجموعتين هو تنشيط نمو النباتات العليا في مدى معين من التركيز وتنشيط النمو للمواد المثبطة في مدى معين من التركيز على شرط أن يكون التأثير ناتج من الفيتوهرمون بمفرده وليس بصحبة غيره من المواد

تعريف منظم النمو plant Regulators

يطلق منظم النمو على المواد المخلفة صناعيا والتي تسبب تأثيرا مشابها لتأثيرات الفيتوهرمونات بأسم منظمات النمو وهي مركبات عضوية غير الغذائية ولها القدرة على التأثير على النمو بتركيزات ضئيلة (مواد

مشجعة – مواد مثبطة) وهذا التأثير يشمل تعديل أو تحويل عملية فسيولوجية في النبات . ويلعب التركيب البنائي دورا هاما في تصنيعها . فإذا تشابه تركيبها الكيميائي مع ذلك الخاص بإحدى مركبات الفيتوهرمون وضعت هذه المادة مباشرة في مجموعة هذا الفيتوهرمون منشطا كان أو مثبطا ويختبر تأثير هذه المادة على استطالة وانقسام الخلية كدليلان للنمو

لقد تأخر اكتشاف الفيتوهرمون كثيرا وذلك لأنها كما سبق الذكر تحدث تأثيراتها في الأعضاء النباتية بتركيزات منخفضة جدا فمثلا للحصول على كمية من الأوكسين تكفي بالكاد لمعرفة طبيعة الحمض استعمل ١٠٠.٠٠٠ قمة نامية من الذرة في استخلاص الأوكسين ولزم لذلك ٨ عمال لمدة ١٠ أيام. كما وجد أن واحد جرام أوكسين يمكن استخراجها من مساحة ٣٠ كم ٢ مزرعة بذور الشوفان وتصل التركيزات التي تحدث بها الفيتوهرمون تأثيرها إلى ١٠ - ٦ - ٧ - ١٠

تعريف التركيز الفسيولوجي Physiological Concentration

يقصد به ذلك التركيز من المادة المنشطة أو المثبطة الذي يحدث تأثير ما على الخلية النباتية وللكشف عن هذا التركيز ومعرفته يجرى ما يعرف بالاختبارات الحيوية Bioassay

وقد يصل تركيز الأوكسين في النبات إلى ١٠ - ١٢٠ ملجم / جم مادة جافة وهي كمية ضئيلة ليست بقيمة فسيولوجية لأنها أقل من التركيز الفسيولوجي الذي يكون أعلى من ذلك بكثير أي أنها لا تعطي أي نتيجة مع أي من الاختبارات الحيوية. لذا فإن الاختبارات الحيوية الحد الفاصل لمعرفة تأثير التركيزات الموجودة بالنبات الاختبار الحيوى هو عبارة عن قياس التأثير الفسيولوجي للهرمون تحت مستويات مختلفة منه وقياس هذا التأثير عن طريق الاستجابة الحيوية مثال تأثير الأوكسين على استطالة قطعة من السويقة الجينية للشوفان وتقاس في صورة انحناء السويقة الجينية لنبات Pea

أولاً: منشطات النمو Growth Regulators

1-الأوكسين

الأوكسين هو أول الفيتوهرمونات اكتشافا وقد اكتشفه Kogel سنة ١٩٣٣ حيث أمكن استخلاصه من القمم النامية لنبات الذرة وقد اكتشف قبل ذلك في بول الإنسان بواسطة Nencki & Sieber وقد أطلق عليه لفظ أوكسين وهو مأخوذ من اللغة اليونانية التي تحتوى على المقطع Auxo والذي يعنى زيادة وقد اثبت Went 1938 تأثير الأوكسين لأول مرة على انحناء غمد الشوفان ، ثم حاول معرفة وزنها الجزيئي عن طريق حساب معامل انتشارها Diffusion Coefficient قام kastermaus & Kogel بفصل الأوكسين من الخميرة ثم استخلصه Thimann من فطر Rhizopus Surinus ووجد أن وزنها الجزيئي يقرب من ١٧٥ وانه نفس

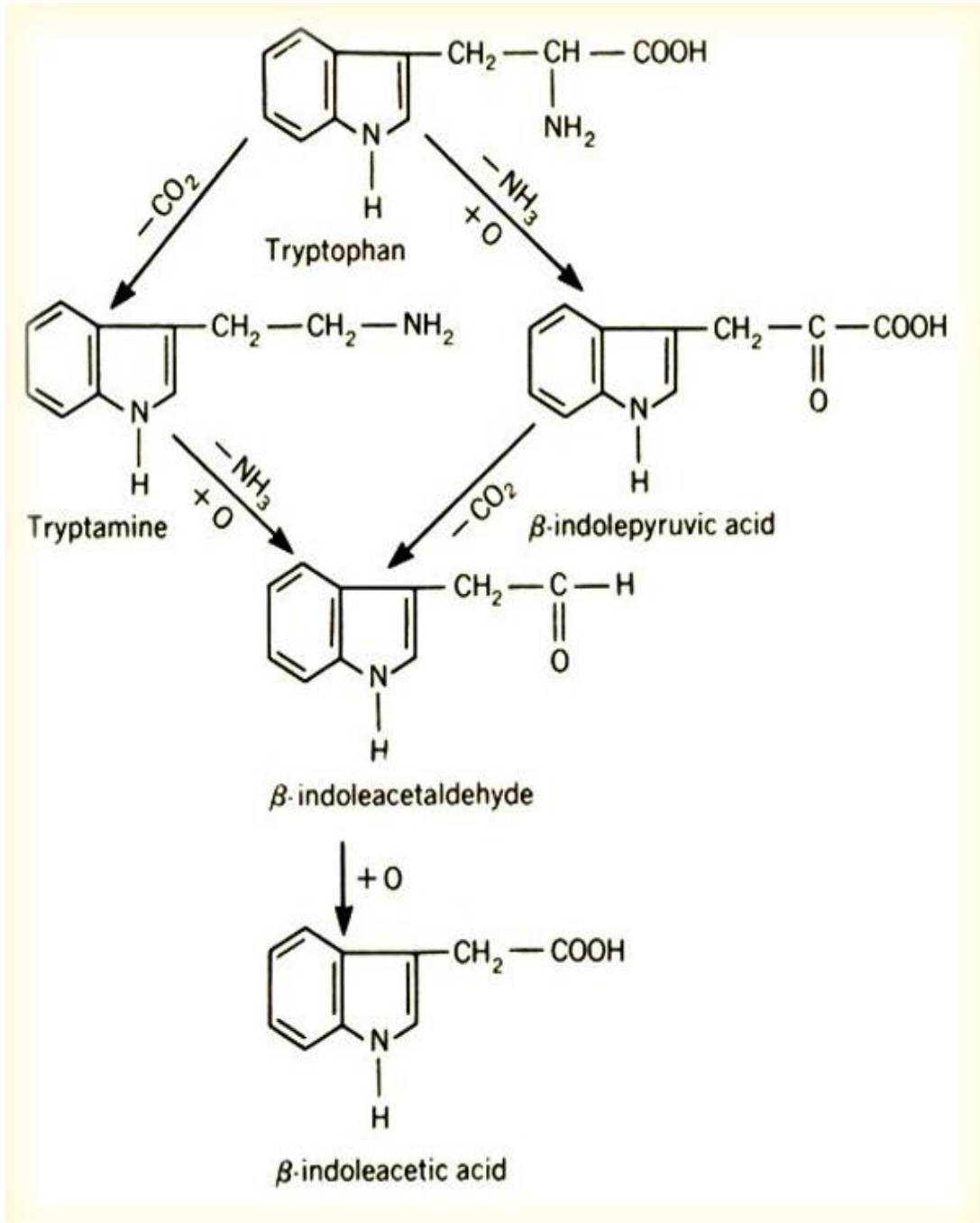
مادة بيتا Indol acetic acid

ثبت فيما بعد أن الأوكسينات توجد في جميع النباتات الوعائية الراقية وينحصر أماكن تكوينها في المناطق المرستيمية والأنسجة النشطة وأجنة البذور وان لها خاصية الانتقال القطبي وتختلف سرعته من ٠.٥ - ١.٥ سم/ ساعة تبعا للنوع والعمر ونوعية النسيج الناقل

وبعد اكتشافه أصبح يطلق لفظ أوكسين على مجموعة من مركبات تتشابه في تأثيرها الفسيولوجي رغم تباينها الكيميائي وعموما فإن لفظ الأوكسين يستعمل للدلالة على المادة العضوية التي تزيد النمو زيادة غير عكسية على طول المحور الطولي إذا أعطيت بتركيزات ضئيلة للنباتات وقد اقترح أن الأوكسين ينتقل قطبيا خلال البلازما بواسطة حامل بروتيني وان هذا الحامل غنى بالحمض الأميني الحلقى البرولين

بناء الأوكسين Auxin Biosynthesis

يعتقد أن بناء الأوكسين داخل الكائنات الراقية النباتية يتم عن طريق الحمض الأميني التربتوفان كما هو موضح بالرسم



هدم الأوكسين

يتم هدم الأوكسين إما عن طريق الأكسدة الضوئية أو الأكسدة الأنزيمية وقد اقترح أن الضوء يؤثر على هدم الأوكسين عن طريق تنشيطه لصبغة الفلافين. وقد ثبت أن مركبي Indol aldehyde & 3-Methylene 2-oxindole من أهم نواتج الهدم الضوئي وهما من المركبات المثبطة لذلك من الممكن أن يعزى تثبيط النمو بالضوء أساساً إلى تكوين هاتين المركبتين في الأنسجة.

أما الهدم الأنزيمي فقد أشار الكثير أن الإنزيمات الهادمة للأوكسين هي إنزيمات يدخل في تركيبها الحديد ويحتمل أن تكون إنزيمات البيروكسيداز وآخرين يقترحون أنه يدخل في تركيبها النحاس وآخرين يعتبرها فينوليز ورابع يعتبرها تيروزينيز والبعض يعتبرها بيروكسيداز مرتبط بالفلافين ونظراً لأن هذا الإنزيم يرتبط نشاطه بالضوء جعلهم يفترضون أن الفلافين ينشط الإنزيم الهادم

ولقد اتفقت كثير من الدراسات على أن معظم النباتات تحتوي على النظام الإنزيمي المعروف IAA oxidase والذي يعمل كوسيط كيميائي لهدم الأوكسين الطبيعي IAA مع انطلاق ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الأوكسجين بكميات مماثلة وقد وجد أن جميع الإنزيمات المقترحة تشترك جميعها في تطلبها لوجود الفينولات كعامل مساعد

مما سبق يتضح أن من منظمات النمو الخاصة بالأوكسينات تكون أقوى تأثيراً من الهترواوكسين فمثلاً أكسين $D_{2,4}$ – المشهور باستعماله كمبيد للحشائش أقوى من IAA_{10-12} مرة وهكذا NAA ويرجع سبب ذلك في الغالب إلى بطء سرعة هدمه بالأنسجة حيث لا يوجد بالأنسجة نشاط إنزيمي مؤثر تأثيراً مباشراً عليها ذلك أنها غريبة على الأنسجة وعلى هذا فهي غريبة على النشاط الإنزيمي إلى حين ومن ثم لا يثبط مفعولها سريعاً وقد يتحول IAA الطبيعي في النبات إلى مشتقات خاملة هرمونياً مثل

تكوين جيلكوسيدات اندول حمض الخليك مثل $IAA\emptyset$ arabinose

تكوين ببتيديات مثل $\emptyset$ Indol acetyl aspartate

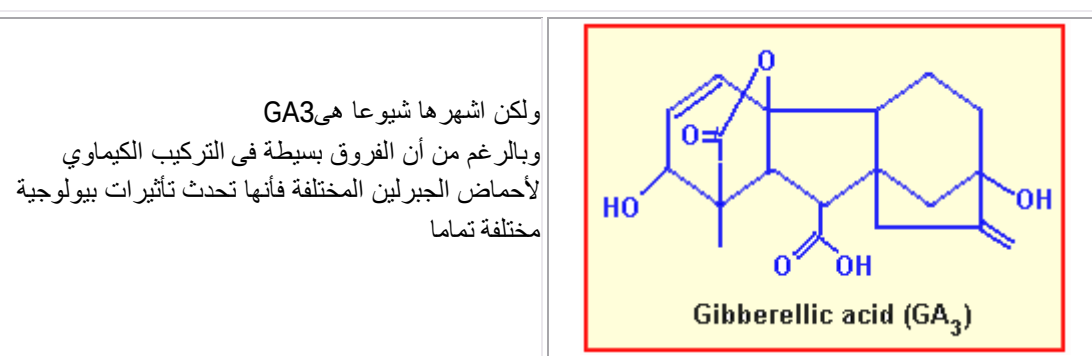
تكوين مركبات $\emptyset$ الارثوفينول مثل Chlorogenic acid

تكوين الاسترات مثل $\emptyset$ Indol ethyl acetate

ارتباطه مع مكونات السيتوبلازم نتيجة امتصاصه على الاسطح البروتين. $\emptyset$

- 2 الجبرلين

اكتشف الجبرلين باليابان حيث عزله Kurasawa سنة ١٩٢٦ من فطر *Gibbeella fujikurai* الذي كان ينمو مع نباتات الأرز ويسبب لها الرقاد نتيجة استتالة النباتات بشكل غير عادي لما ينتجه من إفرازات كانت غير معروفة إلى أن تم عزل الجبرلين وثبت أيضاً وجوده في النباتات الزهرية وقد أعطت لهذا الفيتوهرمون رمز GA والذي أعطى أرقاماً GA_1, GA_2, GA_3 الخ نظراً لاكتشاف عديد من صورة التي تصل إلى أكثر من ٨٠ حمض



وترتكز فاعلية وتأثير الجبرلين في

- حلقة الاكتون

- التنسيق في التركيب البنائي لمجموعة الهيدروكسيل على الحلقة الأولى

هناك مركب آخر يعرف باسم *Helminthosporal* وهو أحد الإفرازات الفطرية وله نفس التأثير الفسيولوجي والحيوي GA_3 أي يحدث نفس التأثير في الاختبارات الحيوية المميزة GA_3 كاستتالة غمد أوراق الأرز واستتالة محور السويقة بالخيار أو زيادة نشاط انزيم ألفا اميايز في حبوب الشعير الخالية من الأجنة ولكن ما يميز *Helminthospora* عن GA_3 هو احداث الاستتالة بسيقان البسلة القزمية وكما ذكر يعتبر GA_3 أكثر الجبرلينات شيوعاً ونشاطاً إلا أنه تتفوق عليه في التأثيرات جبرلينات أخرى في بعض الحالات كما أوضح Brain حيث اعتبر أن نشاط GA_3 100 وبالقياص أعطى الجبرلينات الأخرى معدلاً أو قيم منسوبة لل GA_3 والمثال على ذلك هو اعطاء درجات نسبية للجبرلينات عند اختبارها حيويًا بأختبار نمو سيقان البسلة القزمية Dwarf pea stem growth Bioassay test

نوع الجبرلين	GA_3	GA_1, GA_7	GA_2, GA_5, GA_6	GA_4	GA_8	GA_9
الدرجة النسبية	100	30	10	5	1.0	0.0

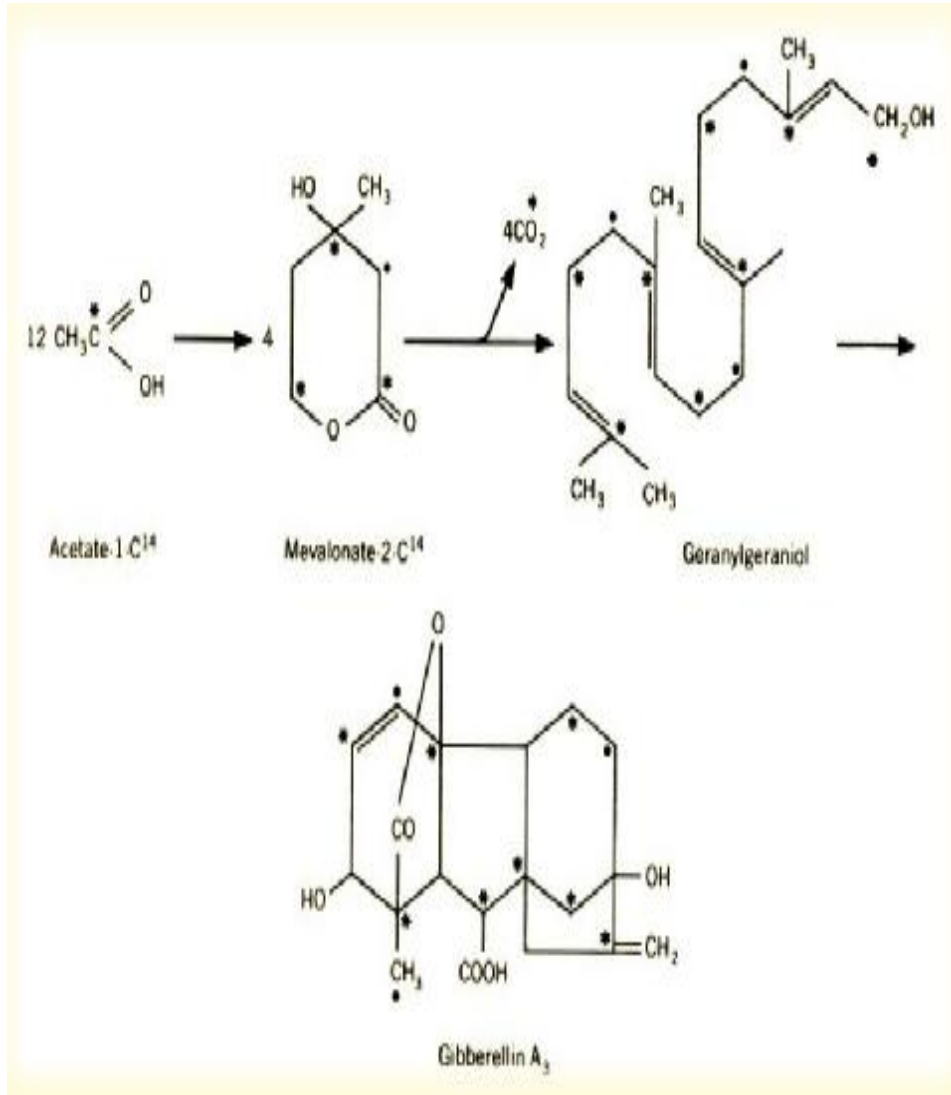
وقد اتفق على أن المادة تعتبر جبرليناً متى احتوت على الهيكل الكربوني العام المعروف بال Gibbene وتتكون الجبرلينات من عشرين ذرة كربون وتختلف في ما بينها في احتوائها على مجموعة كربوكسيل $COOH$ أو احتوائها على مجموعة الرهيد CHO

بناءه وانتقاله

يعتبر الجبرلينات مشتقة من حمض Fluorene - 9- carboxylic acid والمشتق بدوره من - ent kaurene acid ويعتقد البعض أن الجبرلين والأبسسيك كل منهما يتكون من الميفالونيت فتحت ظروف طول نهار معين يتكون الجبرلين أو حمض الابسسيك وبالتالي يؤدي إلى اثر تنشيطي أو سكون

Mevalonate + Acetyl CO A geranylgeraniol GA3

ومن الراجح ان بناء الجبرلين حيويًا يتم بالقمة النامية الطرفية للنبات خاصة تلك الأوراق الحديثة غير كاملة النمو إلى جانب بناءه بالخلايا الخارجية لقمم الجذور الطرفية الخارجية.



وينتقل الجبرلين من مكان بناءه Source إلى مكان تأثيره والاستفادة به Sink وهو يتحرك في جميع الاتجاهات ويرتبط في انتقاله بسرعة انتقال العصارة الناضجة في النبات حتى يصل لمكان تأثيره وعلى ذلك تعتبر أنسجة اللحاء وهي وسيلة انتقاله.

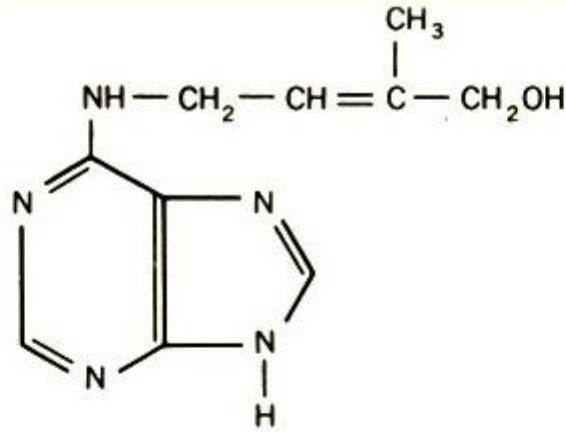
تأثيرات الجبرلين الفسيولوجية



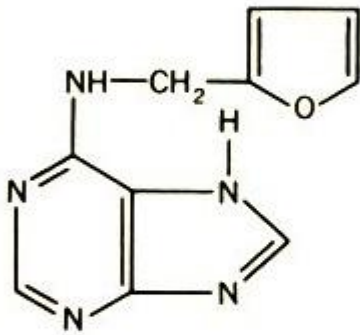
- 1- كسر سكون البذرة الفسيولوجي دون الحاجة للتنضيد لتعوضه الاحتياجات الضوئية مما يزيد من نسبة الإنبات وانتظامه واختصار مدته
- 2- تخفيض مدة الارتباع أو تعويضها تماما
- 3- تنشيط نمو البراعم الساكن ويستفيد من ذلك في كسر سكون براعم درنات البطاطس حديثة النضج.
- 4- تنشيط انقسام واستطالة الخلايا مما يزيد من النمو الخضري خاصا النمو الطولي ولكن لمدة قصيرة يعقبها بطيء النمو ويستفاد منه في الحصول على قفزة سريعة في نمو حاصلات الخضر الورقية والعلف ونباتات الزينة المرباة في أصص
- 5- تزهر نباتات النهار الطويل المعاملة به تحت ظروف النهار القصير أي انه يعوض تأثير النهار الطويل فقط
- 6- تسرع المعاملة به من تقصير فترة الطفولة كما في الخرشوف والموز
- 7- يساعد على تكوين ثمار بكرية كما في الخوخ والمشمش والكمثرى والتفاح
- 8- يضاعف من حجم حبات العنب ويزيد طول حامل الحبات
- 9- يؤخر من اكتمال نمو ونضج الثمار وحدوث الشيخوخة مما يسمح بفترة تسويق طويلة في المشمش والبرقوق والموز

3- السيتوكينين

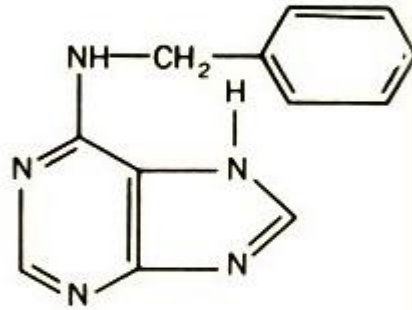
اكتشف في عام 1941 في لبن جوز الهند وفي سنة ١٩٥٢ تمكن Miller من استخلاصه من بطارخ الرنجة وفي 1964 ثم تمكن Jehan وآخرين من اكتشافه في النبات الزهرية . واكتشف تحت اسم الكينتين الا انه ثبت أن السيتوكينين الطبيعي في معظم النباتات هو الزياتين وتركيبه الكيميائي هو



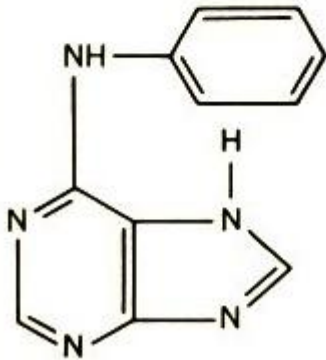
Zeatin



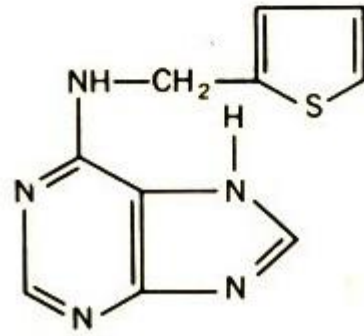
Kinetin (6-furfurylamino purine)



6-Benzylaminopurine



6-Phenylaminopurine



6-(2-Thienylamino) purine

وقد استخلص او فيتوهرمون من الذرة في صورة بلورية ١ ملليجرام / كجم من نباتات الذرة وثبت انه أقوى من الكينيتين في بعض الاختبارات الحيوية، وقد أشار الكثيرين إلى عدم الكينيتين في الأنسجة النباتية بل يوجد الزياتين بدلا منه وثبت أن السيتوكينين يتم بناءه في القمم النامية للجنور ويتم انتقلها خلال الخشب ليؤثر في العمليات الفسيولوجية داخل باقى النبات

وقد أمكن تحضير مادة Benzyl adinin صناعياً باستبدال مجموعة Benzyl محل Furfuryl

وظائف السيتوكينين

1- أهم خصائص ووظائف السيتوكينين هو تأثيره على انقسام الخلايا وهذه الصفة تتخذ أساساً لإثبات وجود السيتوكينين في العديد من الاختبارات الحيوية

2-التأثير على ما يعرف بال Phyto gerontology من ناحيتين

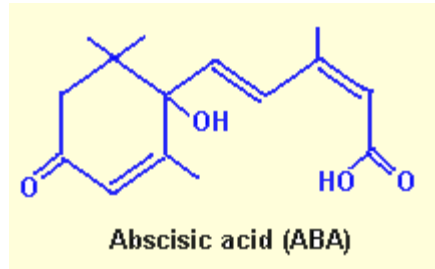
- أ- تأثير دخول النسيج النباتي فى الشيخوخة Ageing
- ب- إيقاف أو تأخير التحلل والموت Senescence
- ت- إيقاف التساقط ومنعه Abcission مثل تساقط الأوراق والأزهار والثمار
- 3-يمنع الأصفرار لتأثيره الموجب على البروتين والأحماض بامادة الكلوروفيل ومنع تحللها ويعتبر ذلك أحد الاختبارات الحيوية الدالة عليه . وقد أمكن استغلال تلك الفكرة فى تخزين بعض المحاصيل الورقية كما فى الخس والبقدونس وقد وجد انه ينقص من معدل تنفس بعض المحاصيل الورقية فيساعد بذلك على تخزينها كما فى الأسبرجيس و السلق
- 4-يجذب كثير من المواد والعناصر إلى مكان وجود الكينيتين أو الزينتين أو البنزيل ادينين ومن هذه المواد الأيونات الغير العضوية وجزيئات عضوية مثل السكر والأحماض الأمينية وأيضاً غالبية عصارة الخشب واللحاء فيتجه تيارها إلى البقعة التي بها السيتوكينين ، ويطلق على ذلك تأثير Phyto gerontology
- 5-يزيد من بناء RNA بينما بظل DNA دون تأثير عند المعاملة بالكينيتين وغيره من السيتوكينينات وقد وجد أن الزيادة كانت مؤقتة لمدة ١٥ دقيقة بعدها يعود مستوى RNA إلى مثيله فى النباتات الغير معاملة.
- 6-يمنع أو يثبط النشاط الإنزيمي الخاص بجميع العمليات الفردية للشيخوخة مثل منعه لنشاط إنزيمي Dehydrogenase الخاص بدورة pentose phosphate كما يساعد على انخفاض نشاط إنزيم الريبونوكليز حيث انه من المعروف أن دخول النسيج النباتي فى الشيخوخة يصحبه زيادة فى نشاط الريبونوكليز
- 7-ومن التطبيقات الهامة للسيتوكينين هو تأثيرها هي السيادة القمية فتؤدى المعاملة به تشجيع تكوين البراعم الجانبية فى الورق ومن تأثيراته إنهاء طور الراحة فى نباتات الفاكهة وقد أمكن إنتاج بعض أنواع الفاكهة بكرياً كما فى المانجو بالمعاملة بالكينيتين مع مخاليط من GA

ثانياً: معوقات النمو Growth Inhibitors

تؤدى معوقات النمو إلى إعاقة أو تثبيط النمو بقليل تأثير المنشطات السابقة الذكر فيظهر تأثيرها على النمو والتطور ، ولم يتمكن أحد فى بادئ الأمر من فصل هذه المواد والوصول إلى حقيقتها وقد أعطيت فى بادئ الأمر عدة أسماء مثل Blastocoline وهى المواد المعيقة لإنبات البذور و الثمار . أو B Inhibitors وهى المواد المعيقة للنمو الموجودة بالأوراق والجذور والدرنات والبراعم وحبوب اللقاح . حتى تم اكتشاف حمض الأبسيسيك

1- حمض الأبسيسيك

تحصل Okuma سنة ١٩٦٣ على مادة معيقة للنمو من لوز نبات القطن وفى عام ١٩٦٤ تمكن Addicott ومجموعة من جامعة كاليفورنيا من دراسة ظاهرة التساقط (الأوراق والثمار) فى نبات القطن أيضاً وأمكن عزل وتعريف تلك المادة الهرمونية المسببة للتساقط عرفت باسم Abscisin II تميزا لها عن مادة Abscisin السابقة عزلها ولم يحدد وقتها تركيبها الكيميائي . وقد أخذت هذه المادة تسميتها من تأثيرها فى إحداث منطقة الانفصال Abscission zone فى الورقة وبتحديد تركيبها البنائي وجد أنها مادة Dormin المشتركة فى سكون البراعم وعلية فمادة Dormin هي مادة Abscisin يبنى حمض الأبسيسيك فى الأنسجة والأوراق البالغة التامة النمو.



تأثيرات حمض الأبسيسيك الفسيولوجية

الشيخوخة والتساقط يسرع من فقد الكلوروفيل ويسرع من دخول العضو فى طور الشيخوخة ويؤدى إلى تساقط الأوراق والثمار
يثبط نمو القمة النامية فى ببادرات النجيليات والسويقة فوق الفلقتين Mesoncotyle للشوفان وبادات الأرز

يحدث حمض الأبسيسيك حالة سكون في بعض متساقطات الأوراق والنباتات الخشبية كما يطيل سكون درنات البطاطس وبراعم الموالح ولكن يمكن القول انه لا يستطيع منفردا تنظيم السكون فهناك مواد أخرى تخرى مثل الفينولات كالنارنجين وغيره يمنع الإنبات إذا عوملت به البذرة بعد فترة التنصيد يمنع الأزهار في نباتات النهار الطويل منعاً كاملاً تؤدي المعاملة إلى زيادة محصول درنات البطاطس وربما يفسر ذلك على أساس تثبيط النمو الخضري

- 2 مثبطات النمو الطبيعية

لقد ظلت الطبيعة الكيميائية لمثبطات النمو الطبيعية لمعوقات النمو لفترة طويلة غير واضحة لكن في منتصف الأربعينات كانت المواد السامة والتي تعمل على تثبيط النمو قد عزلت من جذور الجوايول وكان أحدهما قد عرفت على أنه حمض السيناميك كذلك لاحظ Audus سنة ١٩٤١ أن بعض اللاكتونات مثل الكومارين تسبب تثبيط النمو . وقد أشار Cumakavskij & Kefeli عام ١٩٦٨ أن السبب في تقزم نباتات البسلة يرجع إلى زيادة محتواها من مادة الكيومارين عن نباتات البسلة الطبيعية طويلة الساق وهذا المركب كان في البسلة الطويلة على صورة Quercetin glycosyl coumarate وهو الأقل نشاطاً فسيولوجياً ويعتقد كثير من الباحثين أن منشأ كل من الجبرلين وحمض الأبسيسيك مادة واحدة هي حمض الميفالونيك Mevalonic acid بينما يخلق كل من الأوكسين والفينولات من مصدر واحد هو حمض الشيكميك وقد يكون هذا النظام نفسه هو أحد وسائل تنظيم فعل كل منظم نمو في وقت معين وتحت ظروف معينة ومن أهم التأثيرات البيولوجية لهذه المثبطات هو المساعدة في سكون البراعم والبذور وتساقط الأوراق والأزهار والثمار . والتأثير على قمة التنفس في الثمار ، وتكوين الجذور على العقل ، كما أنها تعمل كمضادات تمنع الإصابة بأنواع معينة من الأمراض الفطرية والفيروسية والبكتيرية ، كما تعمل على توقف نمو الجذور في فصل الشتاء واعاقه تحول النشا إلى سكر ، ومنع اختفاء الهستونات من على جزيئات DNA مما يؤدي إلى منع إنتاج انزيمات خاصة بعمليات حيوية مختلفة

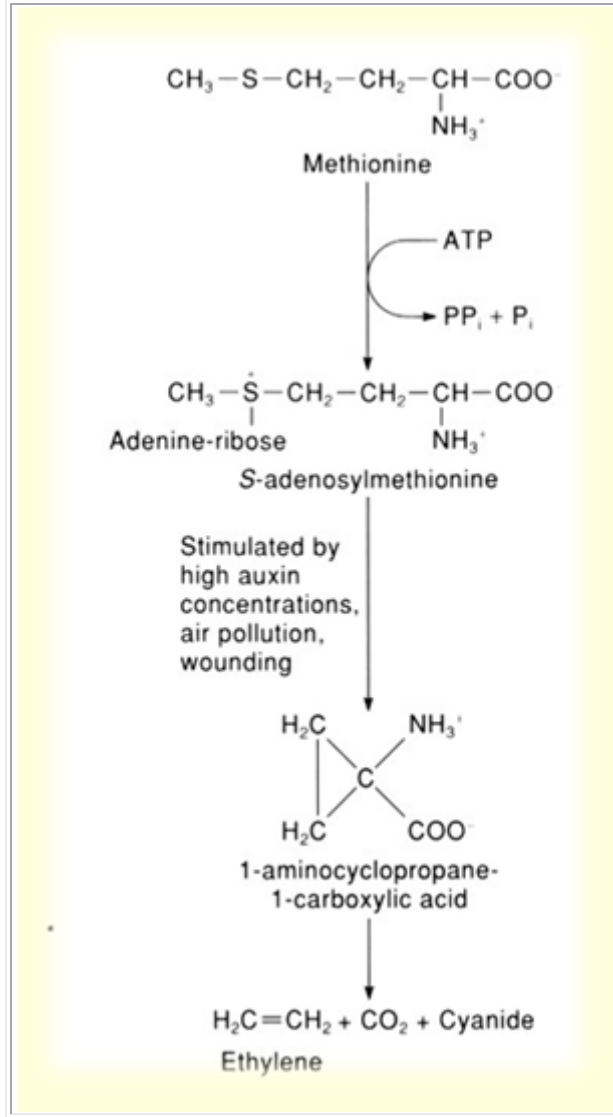
فسر التضاد Antagonism بين المثبطات كالفينولات التي تؤثر على الأوكسين الداخلي على أساس أن هذه المواد تنشط بعض الانزيمات الهادمة للأوكسين مثل اوكسيداز اندول حمض الخليك وفينوليز حمض كلوروجينيك وكذلك المواد الفينولية التي لها هذا التأثير المنشط للانزيمات الهادمة للأوكسين Ferulic acid , coumaric acid , salicylic acid

وقد لوحظ أن الكثير من المستخلصات النباتية لمثبطات النمو الطبيعية تأثيراً مضاعفاً منشطاً للنمو Synergistic effect مساعداً لتأثير الأوكسين في أحداث النمو وذلك على تركيزات مختلفة بينما التركيزات المرتفعة تكون تأثيرها عكسي وهذا التأثير لبعض اللاكتونات مثل الكومارين راجع إلى حدوث تنافس بين الأوكسين الداخلي والكومارين على المراكز الغير نشطة للأنزيم مسببة بذلك قدرة الأوكسين على العمل

- 3 الأثيلين

لما كانت السنوات الماضية قد اكدت من خلال الدراسات المكثفة ان الأثيلين يجب اعتباره هرمونا نباتيا فان هذا يعنى انه استغرق اكثر من ٩٠ عاما ليتحول الشك الى يقين ولعل من الأسباب التي أدت إلى تأخير اكتشافه كونه غازا متطايرا يؤثر فسيولوجيا بتركيزات ضئيلة للغاية ويرجع الفضل في اكتشافه إلى تطوير جهاز الفصل الكروماتوجرافي بالغازات Gas- Liquid chromatography وقد يرجع بداية قصة الأثيلين إلى ملاحظة أن غاز الأنارة Illumination gas يؤثر على نمو النبات ويسبب تساقط الأوراق فقد وجد من قبل ١٩٢٤ عام أن الأثيلين يسبب اصفرار ثمار الموالح كما يسرع من انضاج ثمار التفاح

التخليق الحيوي للأثيلين Ethylene Biosynthesis



وجد ان هناك عدد من المركبات الموجودة اصلا في النبات يمكنها ان تكون مادة بادئة او وسيطة Precursors or Intermediates لعملية انتاج الاثيلين من الميثونين او حمض اللينولينك فقد وجد ان معاملة الانسجة بميثونين ك ١٤ يؤدي الى انتاج الاثيلين يحتوى على ك ١٤ وعند معاملة تحضيرات خلوية لمستخلص من ازهار القرنبيط من انتاج غاز الاثيلين وامكن التعرف على ٣ انزيمات لازمة لتحويل الميثونين الى اثيلين هما

بعض العلاقات الفسيولوجية لغاز الاثيلين

اوضح Burg عام ١٩٦٢ أن الاثيلين يخلق طبيعيا في الانسجة الخضرية والزهرية وكذلك في الثمار والبذور وهو بذلك منظم للنمو في جميع مراحل حياة النبات منذ بدء انبات البذور وحتى مرحلة الشيخوخة ، ومن أهم تأثيراته :

- 1- يؤثر الاثيلين على انبات البذور ونمو البادرات وقد افترض أن الاثيلين يساعد البادرات على تحمل الضغط الواقع عليها من حبيبات التربة اثناء انبات البادرات وذلك بزيادة سمكها وبالتالي زيادة قوتها الميكانيكية والتقليل من ضرر الاحتكاك بحبيبات التربة
- 2- يؤثر الاثيلين على فترات السكون في البذور والدرنات والابصال والبراعم فقد وجد ان للاثيلين تأثيرا على نمو براعم درنات البطاطس وتشير أبحاث كثيرة الى أن الاثيلين يزيد من نمو براعم كثيرة من الكرومات و الابصال والجذور والعقل الخشبية
- 3- يشجع بدء تكوين ونمو الجذور والشعيرات الجذرية ولكن يقلل من استطالتها وكذلك استطالة السيقان مع تشجيعه للزيادة في نموهم الجانبي
- 4- هناك أيضا العديد من الأدلة التي تشير الى ان له دورا منظما في استجابة السيقان والجذور للجاذبية الأرضية (الانتحاء الارضي) والانتحاء الضوئي للسيقان وعلى السيادة القمية
- 5- تشير الأبحاث على أن هناك علاقة قوية بين بدء التساقط الصيفي والزيادة في كمية الاثيلين في الانسجة
- 6- اذا نظرنا الى مرحلة الازهار فنجد ان للاثيلين دور هرموني هام فقد شجع ازهار الأناناس و الكريزانتيم

وتكوين ثمار القطن وقد وجد انه يشجع على بدء تكوين البراعم الزهرية في ابصال الأيرس وزيادة عدد الأزهار المؤنثة في القرعيات وهو ما يعرف Sex expression وقد وجد ان الأثيلين يساعد على انبات حبوب اللقاح ونمو انابيب اللقاح

7- اما عن علاقة الأثيلين بنضج الثمار فقد حددت تلك العلاقة من ملاحظتين اولهما ان النضج الطبيعي للثمار يكون مصحوبا بزيادة كمية الأثيلين المنتجة وثانيهما ان معاملة بعض الثمار بالأثيلين تؤدي الى التبرير في بدء عملية النضج والأسراع منها وقد اثبتت الابحاث الحديثة انه تحت الظروف الطبيعية يتراكم تركيز فسيولوجي داخل الانسجة كاف لبدء نضج الموز والكتالوب وكيزان العسل والطماطم والتفاح والافوكادو والكمثرى وغيرها وفي دراسات عديدة وجد ارتباط قوى بين ارتباط حدوث قمة انتاج الأثيلين وبين وصول معدل التنفس الى القمة وعلى المستوى الخلوى و البيوكيميائى فلقد وجد ان الأثيلين يشجع على زيادة حجم الخلايا فى الاتجاه الأفقى ويؤثر على معدل انقسام الخلايا فهو يمنع النمو الطولى ويزيد من سمك الأجزاء النامية للبساطس وتفسر هذه الاستجابة على ان الأثيلين يعدل من طبيعة وخواص جدر الخلايا واتجاه الألياف السليولوزية و البكتينية فى جدر الخلايا مما يجعلها أكثر مرونة مثل انزيم السليوليز كما فسر تأثير الأثيلين على زيادة معدل التنفس فى الخلية على أساس تنشيطه لتخليق بعض الأنزيمات وحديثا وجد ان لهذا الغاز علاقة مباشرة بجهاز تخليق البروتين حيويًا مؤثرًا على معدل تخليق البروتين ونوعيته عن طريق تحكمه فى تخليق RNA وأنتاج الأنزيمات

العلاقة بين الأثيلين واستجابة الأنسجة النباتية للأوكسينات

اقترح بعض الباحث ان استجابة الأنسجة النباتية لبعض الأوكسينات هى فى الواقع استجابة للأثيلين حيث وجد أن كميته المنتجة من الأنسجة المعاملة بالأوكسين تزيد زيادة كبيرة وأن الكثير من الاستجابات الفسيولوجية واحدة اذا عوملت بالأثيلين او الأوكسين فمثلا وجد أن معاملة نبات القطن بالأوكسين أدت الى زيادة انتاج الأثيلين والى حدوث انحناء فى عنق الأوراق ، كذلك المعاملة بالأوكسين تسبب فى زيادة انتاج الأثيلين واسقاط أوراق الفاصوليا وفى دراسة أخرى اقترح أيضا ان تأثير الأوكسين المنشط لازهار نبات الأناناس يرجع لزيادة انتاج الأثيلين بعد معاملتها بالأوكسين

كما فسر العديد من الملاحظات الفسيولوجية على أساس استجابة النبات للأوكسين هى فى الواقع علاقة غير مباشرة عن طريق زيادة انتاج الأثيلين من هذه الأنسجة وهناك أدلة تشير الى صحة هذه النظرية فى بعض الاستجابات مثل نمو الجذور الثانوية و السيادة القمية . هذا ويجب التنوية الى ان اتجاهها حديثا يشير الى وجود اختلافات عديدة فى بعض الاستجابات الفسيولوجية والكيميائية بين الهرمونين وانه لا يجب تفسير جميع تأثيرات الأوكسين على انها تتم من خلال زيادة انتاج الأثيلين

الاثيلين و تطبيقاته

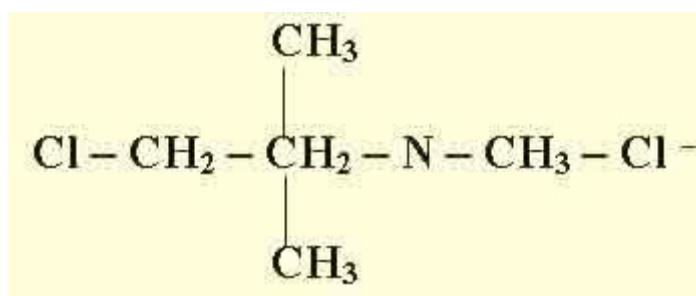
الى عهد قريب اقتصر استعمال الأثيلين من الناحية التطبيقية كمعاملة ما بعد القطف الثمار Post harvest treatment للتحكم فى انضاج وتلوين الثمار مثل الموز والطماطم والكتالوب والموايح وغيرها ولم يحاول أحد استخدام الأثيلين كمعاملة قبل القطف او فى الحقل وذلك لصعوبة معاملة الأشجار و النباتات بالغاز الا ان هذه الصعوبة قد ذلت عن طريق ايجاد بعض المواد الكيميائية التى عند رشها على النبات تحلل لكى تعطى غاز الأثيلين داخل أنسجة النبات نفسة واهم هذه المركبات هى الأثيلون Ethephon والذى عرف أيضا باسم الأثيريل Etherl وتركيبه $\text{chloroethyl phosphonic acid}$ ٢ والذى من خواصه انه فى محلول ثابت فى الوسط الحمضى أسه الأيدروجين ٤ وعند تعرضه الى وسط اقل حموضة (مثل ما هو موجود داخل الخلايا والى يتراوح pH بها بين ٦.٥ الى 6.8 يتحلل الى غاز الأثيلين وأيون الفسفور والكلور.

لذلك أستعمل الأثيريل على الكثير من النباتات البستانية بغرض الأسراع من التزهير وتغيير نسبة الأزهار المؤنثة الى المذكرة و التحكم فى النمو الخضرى لزيادة التفرع الجانبى وتنشيط النمو الخضرى أو تشجيع تكوين الريزومات ولاغراض مقاومة الحشائش وكسر دور الراحة فى بعض البراعم و الأبصال والكومات والتحكم فى تساقط الأوراق وخف الأزهار والثمار وتسهيل جمع بعض المحاصيل مثل القطن و ثمار الفاكهة والتحكم فى انضاج الثمار واخيرا زيادة محصول المطاط فى أشجار المطاط

4- معوقات النمو Growth depressants or Growth retardant

هى معوقات النمو التابعة لمجموعة منظمات النمو وأهمها الكلورميكورات

هو الاستر الكلورى للكلولين وسمى Chlorocholine chloride أو السيكلوسيل CCC ويعرف كيميائيا باسم $\text{chloroethyl trimethyl ammonium choride}$ ٢ ويعرف بتأثيره المانع للنمو الطولى للافرع والسيقان



ويستعمل السيكوسيل في زراعات القمح لتقليل استطالة الساق ومنع الرقاد والعمل على زيادة المحصول وذلك لدوره في التأثير على الجبرلين حيث يعمل كمضاد للجبرلين Antigibberellin

أهم تأثيرات الكلورميكوات

1- تؤدي المعاملة الى قصر طول النبات بقصر السلاميات مما يعطى النبات مظهرا متكثلا هذا التأثير يكون مرغوبا فيه في نباتات الزينة خاصة نباتات الصوب

2- تؤدي المعاملة بالسيكوسيل بتركيز 50 - 100 جزء في المليون الى زيادة محصول الجزر وبنجر المائدة وهذه الزيادة ناتجة من زيادة في طول الجذور العرضية وزيادة الوزن الجاف والوزن الرطب كما أدت المعاملة به الى تكبير تكوين درنات البطاطس

3- تؤدي المعاملة بالسيكوسيل الى الأسراع من الأزهار في بعض النباتات مثل الطماطم وزيادة المحصول خاصة في العروة الصيفية في حين يؤدي الى تثبيط الأزهار في نباتات أخرى مثل الفلفل وتؤدي المعاملة بالسيكوسيل على العنب الى زيادة في المحصول نتيجة زيادة وزن الحبات وزيادة وزن الثمار في العنقود الواحد كما أدت المعاملة به الى زيادة العقد في عديد من النباتات وعزى ذلك الى تثبيط النمو الخضري الذي يكون من شأنه تحول المواد الغذائية بدرجة أكبر الى الأجزاء الثمرية

أمينات الكاربامات Amino carbamate

من أهم تلك المركبات مركب 18 - 16 Amino - وتركيبه

ج - مركبات الفوسفون

د - مركب الألار Alar = B9 = B995

يعتبر الألار أهم هذه المركبات من الناحية التطبيقية لما له من تأثيرات مرغوبة على النباتات البستانية ففي أشجار التفاح وجد أن رشها يؤدي الى تقليل التساقط وبالتالي زيادة المحصول وفي الكمثرى أمكن الحصول على نتائج مشابهة الا ان ظهور التأثيرات المرغوبة تختلف باختلاف الصنف ويتحدد بدرجة كبيرة بميعاد المعاملة والتركيز المستخدم كما أدت المعاملة به الى زيادة درنات البطاطس كما يستخدم على بعض نباتات الزينة لقليل استطالة السيقان ليعطيها الشكل المتكثف المرغوب فيه خاصة لنباتات الأصص

و- المورفاكتينات

منظمات نمو مشتقة من مركب كربوكسيل الفلورين الحمضي ومن أهم تأثيراتها أنها تمنع استطالة السوق وتجعلها قزمية ، كما تمنع السيادة القمية ويصاحب ذلك خروج البراعم الجانبية.

ويعلل الباحث تأثيرات المورفاكتين انه يضاد الجبرلين ويزيد من نشاط IAA oxidase أو انه يمنع انتقال الأوكسين من القمم النامية الى باقى أجزاء النبات ولعل أشهر مثال لاستخداماتها هو مبيدات الحشائش بعد خلطها بال D ٢,٤ -

كيفية عمل الهرمونات النباتية

لمحاولة فهم الطبيعة التنظيمية للهرمونات النباتية، هناك ثلاث اتجاهات بحثية وهى دراسة التركيب الجزيئى للهرمونات بقصد التعرف على المتطلبات والخواص اللازمة لاي جزيء لكى يظهر نشاطا انزيميا ، ثم دراسة خواص جدر الخلايا وتأثرها بالهرمونات وأخيرا دراسة التغيرات البيوكيميائية التى تحدث بعد بدء تأثير الهرمون.

أولا : التركيب الجزيئى وعلاقته بالنشاط الحيوى للهرمونات النباتية

أ- الأوكسينات Auxins

بعد اكتشاف أن الأندول حمض الخليك IAA هو الأوكسين الطبيعى فى النبات اكتشفت عدة مركبات مشابهة من الناحية الكيميائية لها نفس التأثير الحيوى مثل اندول ٣- حمض البيروفيك ، اندول ٣- حمض البروبيونيك واندول ٣- حمض البيوتريك

ثم اكتشف بعض المركبات التي لها نفس تأثير اندول ٣- حمض الخليك الحيوية ولكنها تختلف عنه كميائيا وأهمها مشتقات حمض فينوكسي الخليك مثل ٢,٤-D و ٢,٤,٥-T ولها جميعا قيمتها الفعالة كمبيدات حشائش اختيارية وفي أواخر الثلاثينات أمكن وصف المتطلبات الجزيئية المطلوب توافرها في مركب بعينه لكى يظهر تأثيرا مشابها للأوكسينات وحصرت فى التالى :

ان يكون للمركب تركيب حلقى Ø

يوجد بالحلقة Ø على الأقل رابطة زوجية غير مشبعة

يرتبط بالحلقة سلسلة جانبية تنتهى بمجموعة Ø كربوكسيل أو بها مجموعة يسهل تحويلها الى مجموعة كربوكسيل ضرورة وجود ذرة Ø كربون واحدة على الأقل بين الحلقة ومجموعة الكربوكسيل

يجب ان يكون له ترتيب Ø بنائى محدد بين السلسلة الجانبية والحلقة يسمح له باجراء التفاعل ولقد ثبت ان هذه المتطلبات لم تتوافر لمركبات أخرى لها نفس تأثير الأوكسينات رغم اختلافها من ناحية التركيب الجزئى مثل بعض مشتقات حمض البنزويك و الثيوكربامات مثل ٢ - ٦ ثنائى كلورو حمض البنزويك والكربوكسى ميثيل ترائى كاربامات. وعلى أفترض انه لكى يكون لجزيء ما نشاط أوكسينى يجب أن تتوزع الشجرة الالكتروستاتيكية عليه توزيعا خاصا والتي تؤهله للتوافق استاتيكي مع الجزيء المستقبل بالخلية وبهذا يمكن القول أن الدراسة المكثفة الموجهة لربط العلاقة بين التركيب الجزيئى والنشاط الحيوى للأوكسينات لم تصل بنا حتى الآن لفهم وتفسير عمل الهرمونات على المستوى الخلوى

ب- الجبرلينات Gibberellins

ثبت ان جميع المركبات العضوية التي لها نفس التأثير الحيوى للجبرلينات تحتوى على هيكل كربونى ثابت ومميز ويعرف بالجيبين وقد امكن اكتشاف بعض مركبات لها نشاط مماثل لنشاط الجبرلينات ولكن بدرجة اقل رغم وجود اختلافات فى تركيبها مثل Helminthosporal وقد ثبت أن لهذا المركب القدرة على التحول انزيميا الى الجبرلين فى الأنسجة النباتية . وقد اثبت أن الجبرلين كما فى حالة الأوكسين يرتبط بالجزيء المستقبل ارتباطا طبيعيا وليس بروابط كميائية

ج - السيتوكينينات Cytokinins

اتضح من الدراسات أن التركيب الجزيئى لجميع السيتوكينينات الطبيعية يحتوى على ٦ - أمينوبورين (الأدينين) ولقد وجد أن كثير من مشتقات الأدينين تماثل السيتوكينين الطبيعى فى تأثيره الحيوى والفسيولوجى والمورفولوجى على الأنسجة النباتية ولقد اثبتت التجارب ايضا ان السيتوكينينات ترتبط ارتباطا طبيعيا وليس كميائيا مع الجزيء المستقبل بالخلايا لكى يظهر اثره الحيوى مماثلا فى ذلك للأوكسينات و الجبرلينات

د - حمض الأبسيسيك Absciscic acid

من الدراسات لم تتضح خطوط واضحة لمعرفة المتطلبات التركيبية فى الجزيئات المشابهة كميائيا لحمض الأبسيسيك ولكن حتى الآن وجدت صيغتين لحمض الأبسيسيك أحدهما المضاهى و الآخر المخالف (٢ trans ABA , 2cis ABA) وثبت أن للأول نشاط حيوى أقوى من الثانى مما يعنى أن هناك متطلبات تركيبية معينة لكى يتم لها الارتباط مع الجزيء المستقبل بالخلية لأظهار النشاط الهرمونى

هـ- الأثيلين Ethylene

أدت الأبحاث المحدودة التى درست علاقة التكوين الجزيئى لغاز الأثيلين ($CH_2 = CH_2$) وعلاقة هذا التركيب بنشاطه الحيوى على أن مجموعة ($CH_2 =$) فى نهاية السلسلة الهيدروكربونية والمرتبطة بها رابطة زوجية تعتبر أساسية للنشاط الهرمونى وهناك العديد من المركبات المشابهة للأثيلين تتركب من سلسلة هيدروكربونية بها العديد من الروابط الزوجية غير المشبعة ووجد ان لهذه المركبات نشاطا حيويا يماثل الأثيلين إلا انه بزيادة عدد ذرات الكربون يقل التأثير الحيوى فمثلا يزيد نشاط الأثيلين عدة مرات عن البروبيلين . وما زال الغموض يحيط بالعلاقة الجزيئية بين جزيئى الأثيلين والجزيء المستقبل بالخلية

ثانياً : خواص جدر الخلايا وتأثير الهرمونات على زيادة حجم الخلايا

من المعروف ان تمدد جدر الخلايا كنتيجة لخواصه الطبيعية والتي تحدد قوة ضغط الجدار عليها وهناك نوعين من التمدد الجدار خلوى اولها هو التمدد المطاطى Elastic extension الرجعى وهذا النوع لا يعتبر تمدا أو نموا حقيقيا أما النوع الثانى فهو التمدد البلاستيكي Plastic extension وهو الغير رجعى Irreversible وهو نموا حقيقيا ولما كانت الأوكسينات والجبرلينات والأثيلين تسبب جميعها زيادة فى حجم الخلايا فان ذلك يعنى انها تؤثر بطريقة مباشرة أو غير مباشرة على خواص الجدار وقد ثبت هذا تجريبيا كما أتضح أن لكل هرمون طريقته الخاصة فى التأثير على

استطالة الخلايا

أ - الأوكسينات Auxins

أثبتت التجارب أن الأوكسين تسبب التمدد المطاطي والبلاستيكي لذلك أفترض ان الأثر الأول للأوكسين هو التأثير على طبيعة الجدار الخلوية لكن نظرا لأن هناك تأثيرات مميزة للأوكسين لا يتضمن حجم الخلايا مثل تشجيعه لأنقسام الخلايا وتشجيع نمو الجذور.. الخ ولهذا اجمع الباحثون على أن تأثير الأوكسينات على جدر الخلايا هو فى الواقع تأثير ثانوى نتيجة لتغيرات تمثيلية وقعت مسبقا فى السيتوبلازم تحت تأثير الأوكسين

ب - الجبرلينات Gibberellins

تعتبر الوسيلة التى يؤثر بها الجبرلين على جدر الخلايا مختلفة عن حالة الأوكسين فالجبرلين يزيد من حجم الخلايا دون ان يؤثر على صلابة الجدر الخلوية فهو يؤدى الى زيادة حجم الخلايا ونسبة تدفق الماء الى الخلايا نفسها عن طريق زيادة تركيز المواد الذائبة الرافعة للضغط الاسموزى ويعرض هذا الرأى أن الجبرلين يشجع نشاط انزيم الفا اميليز الذى يحول كل من البروتينات والنشا من الصور غير الذائبة الى صور ذائبة نشطة اسموزيا

ج - الأثيلين Ethylene

الأثيلين يزيد من التمدد الجانبى للخلايا ويرجع هذا الى تغير فى طبيعة جدر الخلايا وخواص الياف السليلوز بها وهنا أيضا وجد أن تأثيره يرجع الى ازدياد معدل نشاط بعض الانزيمات المحللة مثل السيلوليز

د - الكينينات وحمض الأيسيسيك

لم تظهر الأبحاث أى أثر ثابت وواضح لكل من الكينتين وحمض الأيسيسيك على حجم الخلايا وبالتالي فإنه يفترض حاليا انه ليس لهذين الهرمونين اثر مباشر على طبيعة الجدر

مركبات النبات الثانوية Secondary Plant Substances

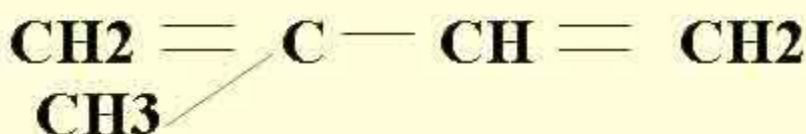
هناك عديد من المركبات التى تنتج فى النبات يطلق عليها اسم لمشتقات الثانوية لعمليات التمثيل الغذائى وتشمل كل من التربينات والفينولات والقلويدات وغيرها . وفى حقيقة المر فان تسميتها بالمشتقات الثانوية بجانبه كثير من الخطأ لأن هذا التعريف غير دقيق، عندما يطرح سؤال هام هو ما أهمية تلك المركبات ؟ أم انها مركبات غير هامة فيكون السؤال ولماذا ينتجها النبات . أن ما دعا الى اطلاق تلك التسمية أن هناك كثير من المركبات التابعة للمجاميع الثلاثة سالفة الذكر غير معروف أهميتها على جة الدقة بل يعتبرها البعض بمثابة مركبات أو نفايات ناتجة من عمليات التحول الغذائى الأساسى Waste products حيث انها تنقل بعد تكوينها الى الفجوات العصارية داخل الخلية أو تخزن بدون فائدة للنبات

الا أن البعض الآخر يرى اهميتها للنبات فهي مصدر للصبغات النباتية والكلوروفيل كما انها مصدر للهرمونات النباتية والفيتامينات وقرائن الانزيمات والقواعد النيتروجينية والزيوت العطرية بالإضافة الى كونها خط الدفاع الثانى للنبات - بعد الخط الاول وهو الشعيرات التى توجد على اسطح الخلايا أو كأمندات لطبقة البشرة وكذلك طبقة الكيوتيكل الشمعية والقلق - حيث تفرز للقيام بحماية النبات من الغزوات الخارجية من الميكروبات والحشرات فهي بمثابة جهاز المناعة للنبات فعندما يهاجم النبات من الخارج بالافات والأمراض تتكون الفينولات والقلويدات التى من شأنها ايقاف عمل تلك الكائنات الغازية او قتلها او قتل الخلايا الحية التى اصيبت ليضحي النبات ببعض من خلاياه لمحاصرة المرض وهو ما يظهر كبقع بنية عند الإصابة المرضية او الحشرية

تمثل كذلك تلك المركبات أهمية كبيرة أيضا للإنسان حيث تستخدم تكنولوجيا فى كثير من الصناعات الهامة مثل الصناعات الدوائية وصباغة الجلود وصناعة الصابون واسترجاع الزيوت العطرية وفى صناعات التجميل وفى الصناعات الغذائية كمكسبات للطعم والرائحة وفى صناعة المطاط ... الخ وعليه يمكن القول بأن المشتقات الثانوية هى مواد تنتج اثناء العمليات التمثيلية الأساسية مثل التمثيل الغذائى للكربوهيدرات والبروتينات والدهون

التربينات Terpenoids

تشمل التربينات عدد كبير من المواد الهامة للنبات أهمها الزيوت الطيارة Oils Essential والكاروتينيدات Carotenoids والمطاط Rubber وبعض الهرمونات النباتية مثل الجبرلين وحمض الابسيسيك ، فالزيوت الطيارة هي التي تسبب الرائحة العطرية لكثير من النباتات والأزهار وتلك الزيوت العطرية يمكن فصلها بالتقطير في تيار من بخار الماء فتطفو على هيئة زيت على سطح الطبقة المائية والزيوت العطرية هي مخلوط من الهيدروجينات المركبة مع الكحولات والألدهيدات والكيونات ويحتوي هيكلها الكربوني على وحدات متكررة من الأيزوبرين. Idoprene



عادة يتم بناء الزيوت العطرية في خلايا افرازية خاصة أو تتكون بواسطة الخلايا الغدية التي توجد على سطح الورقة ، اما عن دور الزيوت العطرية للنبات فيعتقد البعض انها تؤدي الى تثبيط نمو النبات وتثبيط انبات البذور ان وجدت بها ووجودها داخل النبات هو وسيلة للدفاع عنه حيث انها تقاوم بل تثبط من نمو الكائنات الدسقة كالبكتريا والفطريات ان هاجمت النبات

اما الكاروتينيدات فهي لبيدات ملونة Chromo lipids فهي صبغات متعددة الألوان تدرج من الأصفر الى الأحمر والبنفسجي وهي عبارة عن هيدروجينات مركبة غير مشبعة تحتوى على اربعين ذرة كربون والبعض منها يحتوى على مجاميع كحولية أو الدهيدية ، اما الزانثوفيلات فهي مشتق كيتوني من الكاروتين أو هي هيدروكسي كاروتين وتتكون الكاروتينيدات أيضا من تكثيف جزيئات الأيزوبرين مع فقد الهيدروجين نتيجة لهذا التكثيف

اما المطاط فهو من التربينات العليا اى التي تحتوى على عدد كبير من وحدات الأيزوبرين

مشتقات الأيزوبرين

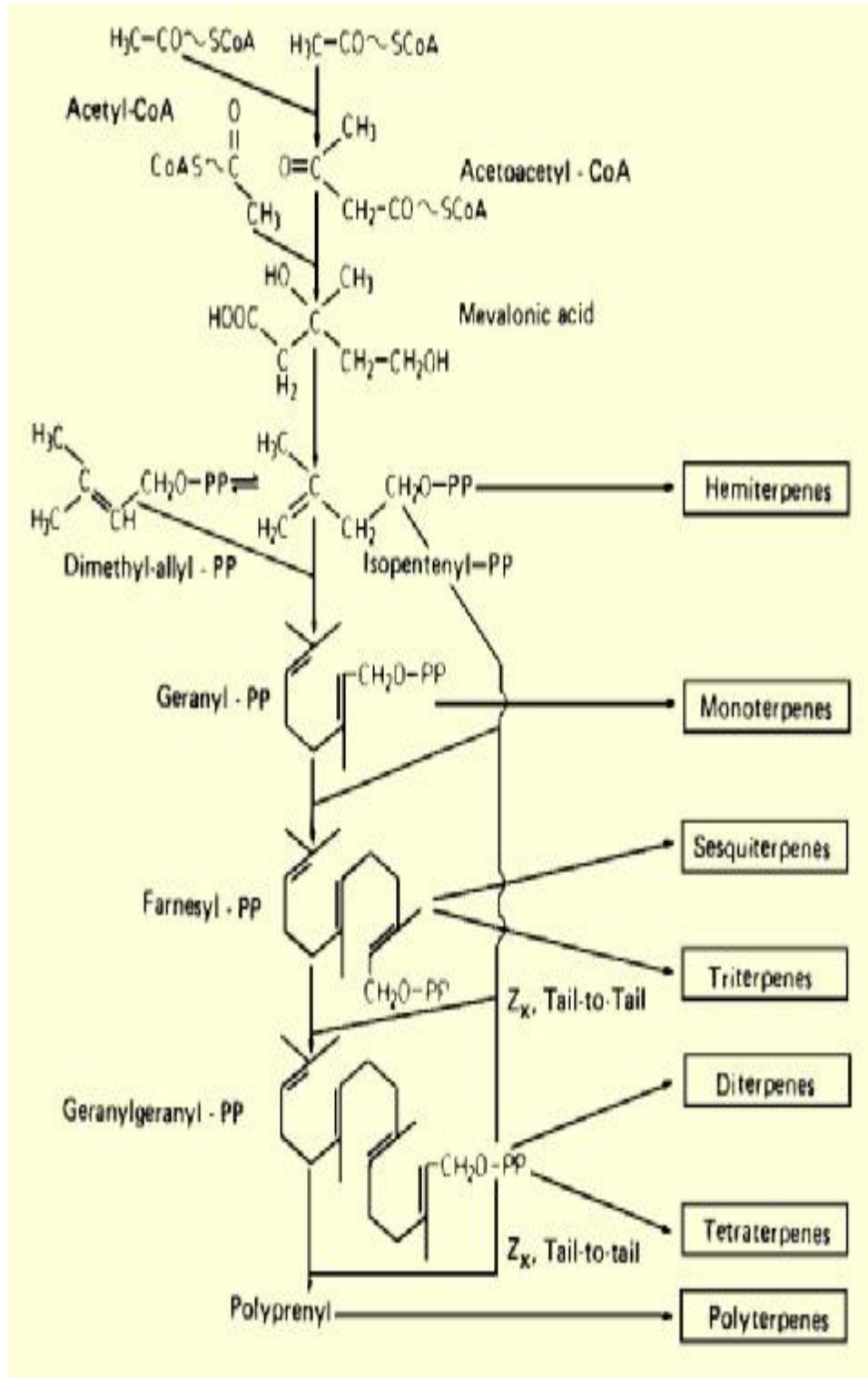
بالبقاء نظرة على التركيب البنائي للتربينات نجد انها تبني من قوالب يحتوى كل منها على خمس ذرات كربون وهي ماتعرف بالأيزوبرين . Isoprene ولا يلعب الأيزوبرين دورا في بناء التربينات الا بعد تنشيطه واتحاده مع البيروفوسفات ليكون (IPP) Isopentenyl Pyrophosphate وتقسم التربينات الى مجموعات تبعا لاحتواءها على وحدات الأيزوبرين كما بالجدول التالي:-

5 - C	5 - C Unite	Examples
1 X 5 - C	Hemiterpenes	"Prenyl" reduce in Quinones and Coumarins
2 X 5 - C	Monoterpenes	<u>Open chain</u> : Citral, Geraniol, linalool <u>Monocyclic</u> : Limonene, Menthol, Thymol, Menthone, Carvone, Cineole, <u>Bicyclic</u> : Camphor, Pinene
3 X 5 - C	Sesquiterpenes	<u>Open chain</u> : Farnesol <u>Cyclic</u> : Cadinene
4 X 5 - C	Diterpenes	<u>Open chain</u> : Phytol <u>Cyclic</u> : Gibberellins, resin acids
6 X 5 - C = 2X15 - C	Triterpenes	<u>Open chain</u> : Squalene <u>Cyclic</u> : Triterpene alcohols and acids, Steroids, Gossypol, Cucurbitacine
8 X 5 - C = 2X20 - C	Tetraterpenes	<u>Carotenoids</u> : Carotenes, Xanthophylls
n x 5 - C	Polyterpenes	Rubber, Gutta-percha, Balata

فيتمكون Hemiterpenes من وحدة ايزوبرين واحدة (C units) بينما تحتوى Monoterpenes على وحدتين (C₂-x5) وهى اما ذات سلسلة مفتوحة أو تكون ذات تركيب حلقى وكذلك كلا من Sesquiterpenes التى تحتوى على ثلاث وحدات ايزوبرين و Diterpenes التى تحتوى على اربعة وحدات .. وهكذا كما هو موضح بالجدول السابق ، اما عديد التربين فيتمكون من وحدات الايزوبرين ذات سلسلة مفتوحة فقط دون تكون حلقات .

بناء التربينات Terpenoids Biosynthesis :

يبدأ بناء التربينات باستخدام وحدات acetyl CoA الناتجة من هدم السكر أثناء التنفس قبل من اتمام حرقها فى فرن الخلية أو دورة السترات المعروفة بدورة كريس يسحب الثيل المحمل على القرين الانزيمى A لتتحد مع وحدة اخرى منه ليعطى مركب acetoacetyl CoA ثم يضاف اليه جزيء ثالث لينتج فى النهاية المركب المعروف باسم حمض الميفالونيك Mevalonic acid وذلك بمساعدة قرين الانزيم NADPH₂ ثم من حمض الميفالونيك والذى يتحول الى الايزوبرين النشط وهو عبارة عن Isopentenyl pyrophosphate والذى يتكون من الحمض السابق بعد نزع مجموعة CO₂ وجزيء ماء وكذلك عملية فسفرة فى وجود ATP



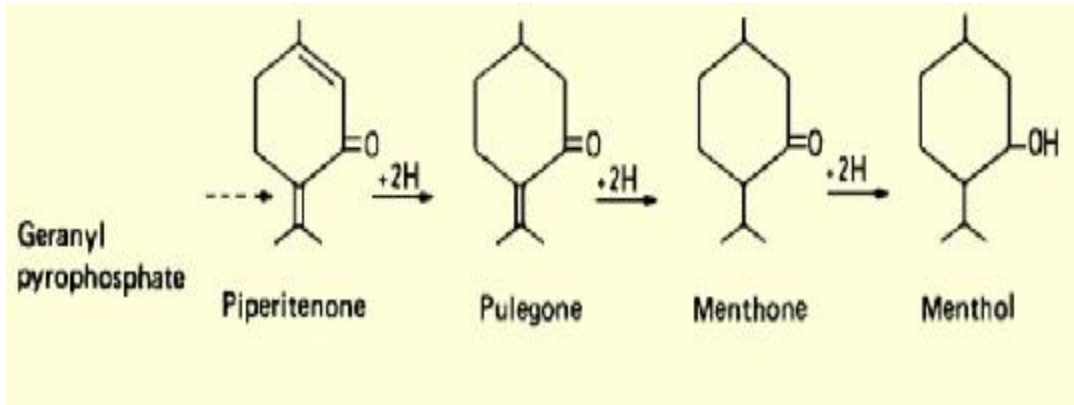
شكل (1) يوضح التكوين الحيوى للتربينات والمركبات الوسطية التى تتكون من خلاله

ثم يتحول جزىء من Isopentenyl pyrophosphate (IPP) الى شبيهة الايزوميرى المعروف باسم Dimethyle Allyl PP والذي يندمج معه ليكون السلسلة المفتوحة للتربين الأحادى-geranyl pyrophosphate (monoterpen) ومنه تتكون التربينات الأخرى الأحادية سواء ذات السلسلة المفتوحة او الحلقية و التى تختلف فيما بينها فى تاكسد او اختزال ذرات الكربون داخل الهيكل الكربونى للتربين. ويمكن الحصول على Farnesyl و Granylgeranyl بأضافة وحدات اخرى من IPP وتتم الأضافة –

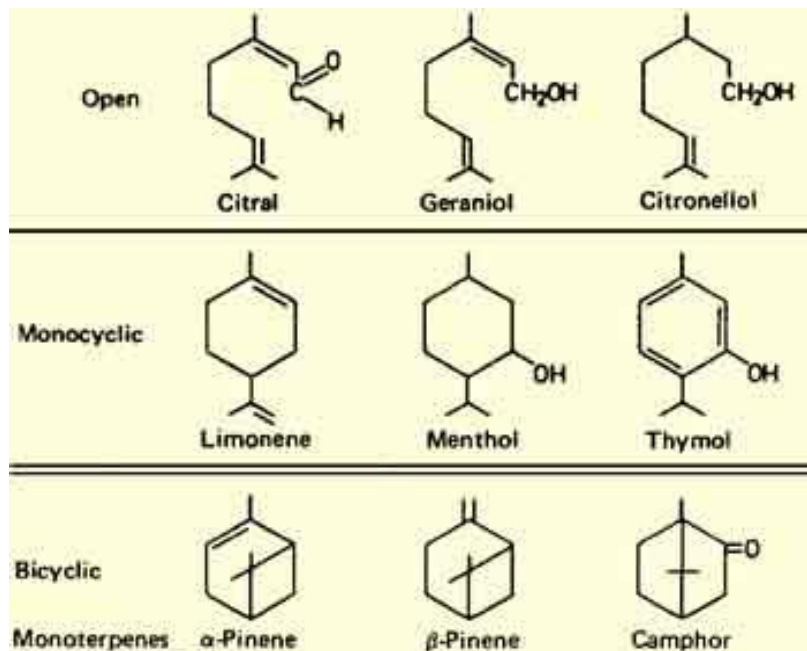
راس الى ذيل – بمعنى اتحاديين مجموعة الذيل في IPP وهي IPP geranyl مع الراس في IPP وهي Ch2 group وبذلك تتكون التربينات الثلاثية و الرباعية وكذلك التربينات العديدة مثل المطاط وغيره

التربينات الأحادية Monoterpenes

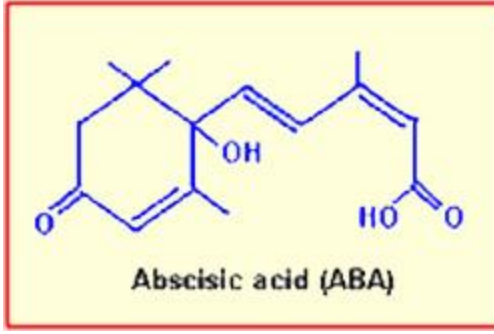
أمكن عن طريق الأبحاث الخاصة بالنظائر المشعة ^{14}C تتبع التفاعلات الخاصة بتكوين Monoterpenes بدانا بال Precursors وهو كما سبق ذكره acetyl CoA ثم تكون حمض الميفالونيك حتى بناء IPP ثم Gneranyl PP ثم تكوين الشكل الحلقى للتربين الأحادي وكذلك تحول التربينات الى اشباهها فعلى سبيل المثال يتحول Gneranyl PP الى مركب Piperitenone في عدة خطوات وسطية غير معروفة ثم يتحول الأخير الى Pulegone ثم Menthone ثم الى menthal وذلك على ثلاث درجات من الهدرجة.



وذلك في الغدد الزيتية الخاصة بالزيوت الطيارة حيث تحتوى على الانزيمات الخاصة بتلك التحولات و الشكل التالي يبين عدد من التربينات الشهيرة نلح فيها المسالك التى يمكن عن طريقها تكوين العديد من التربينات الأحادية



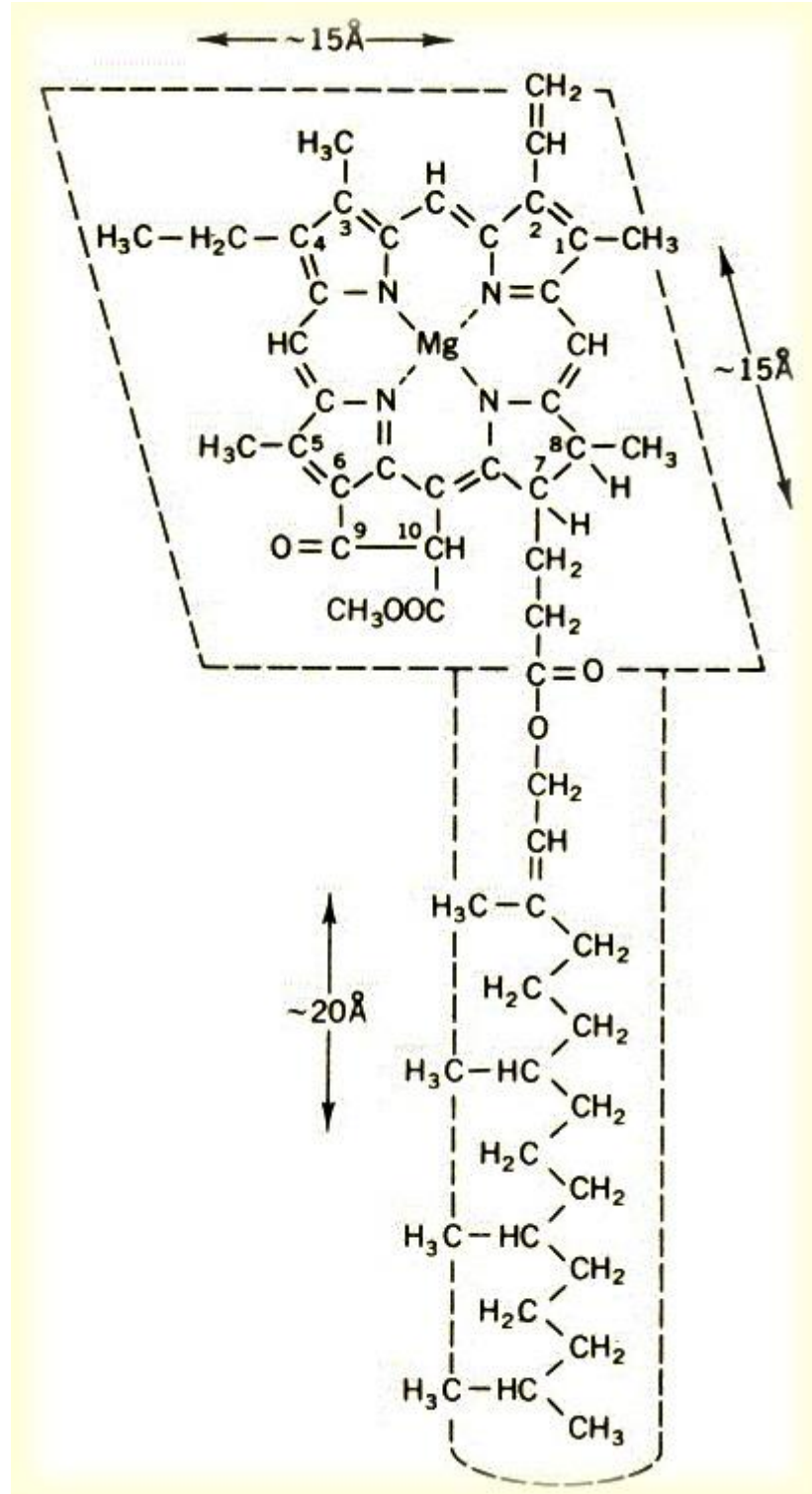
تربينات Sesquiterpenes



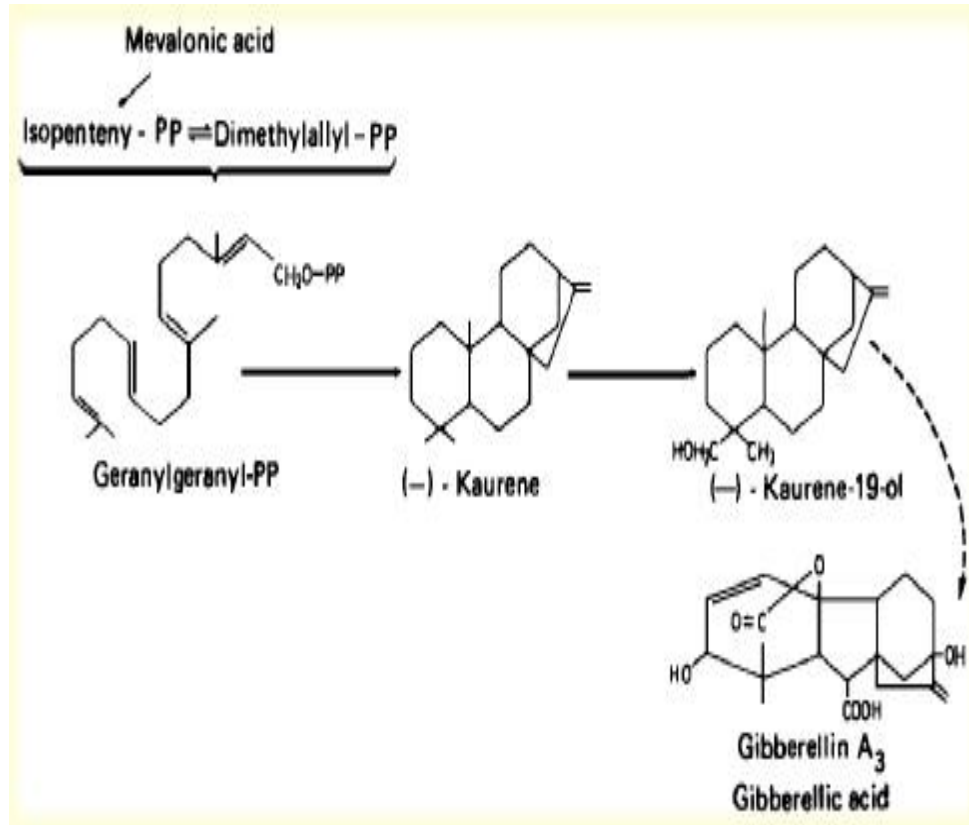
وهى التربينات التى تحتوى على ثلاث وحدات من الأيزوبيين وهى فى الطبيعة نادرة الوجود ومن امثلتها الهامة Earnesol وهو أحد المركبات الهامة التى تدخل فى تركيب عطر أزهار الزنبق والليمون وهو تربين ذو سلسلة مفتوحة اما الصورة الحلقية لمثل هذه التربينات فهو حمض الأبسيسيك والذى يعتقد انه ينتج مباشرة من الميفالونيك كما سبق شرحه او من هدم الكاروتين زانثين-Carotene Zeaxanthin

التربينات الثنائية Diterpenes

وهى التربينات التى يحتوى هيكلها على أربع وحدات من الأيزوبيين وأهم المركبات التابعة لهذا القسم مركبان هامان هما الفيتول و الجبرلين، اما الفيتول فهو تربين رباعى ذو سلسلة مفتوحة يدخل فى تكوين جزيء الكلوروفيل حيث تربط حلقة البيرول مع الفيتول ويتم الاتحاد بين مجموعة الكربوكسيل بحلقة البيرول مع مجموعة الأيدروكسيل بالفيتول ليبتكون الأستر المروف بأسم اكلوروفيل



اما الجبرلين GA3 والذي يتكون من هيكل الجبين يتكون من حمض الميفالونيت أيضا كما سبق شرحه في الباب السابق وكما بالشكل التالي



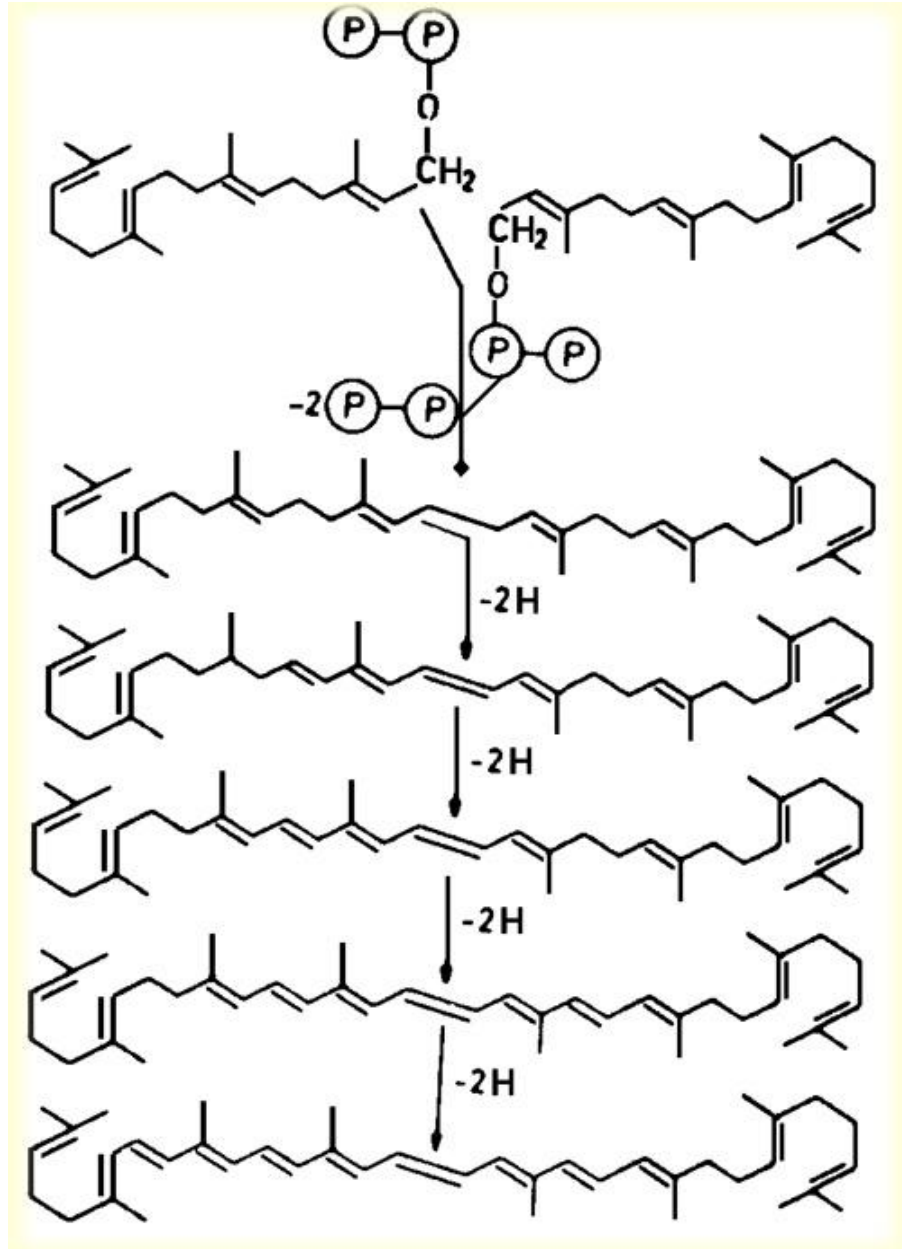
شكل (٤) التمثيل الحيوى للجبرلين

التربينات الثلاثية Triterpenes

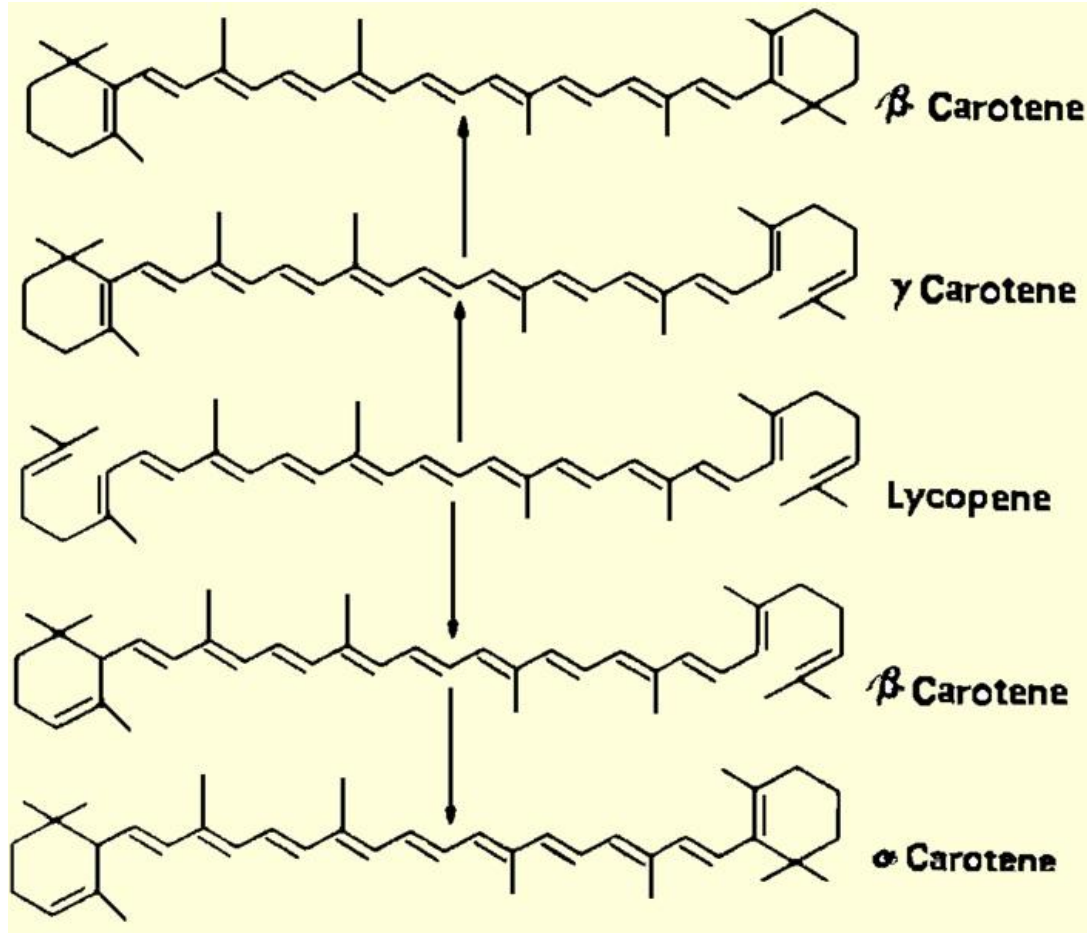
وهي التربينات التي تحتوى على ست وحدات من الأيزوبين ويتم تكوينها عن طريق اتحاد وحدتين من مركب pyrophosphate Farnesyl وتتبع تلك المجموعة مواد هامة خاصة في المملكة الحيوانية حيث يتبعها عدد هام من المواد مثل الكولوسيتروول و الهرمونات الجنسية السيترودية ومجموعة فيتامين د وجلوكسيدات القلب والصابونين.

التربينات الرباعية (Tetraterpenes) carotenoids

تنقسم الكاروتينيدات الى مجموعتين كبيرتين وهما : الكاروتينات والزانثوفيلات اما الكاروتينات فتتكون من ٤٠ ذرة كربون وتنتج من اتحاد ثمان وحدات من الأيزوبرين (زيل - زيل) وتختلف فيما بينها في درجة عدم تشبعها Unsaturation اما الزانثوفيلات في مشتقات من الكاروتينات عن طريق الأكسدة ويتكون الهيكل الكربوني للكاروتينات من اضافة geranyl geranyl pyrophosphat ثم عن طريق عدة تفاعلات نازعة للأيدروجين فيتكون الكاروتين والنيروسبورين والليكوبين وتظل تلك المركبات ذات السلسلة المفتوحة غير ثابتة حتى تتكون الحلقات في نهايتها ثم تتأكسد الكاروتينات ليتكون منها الزانثوفيلات في النهاية



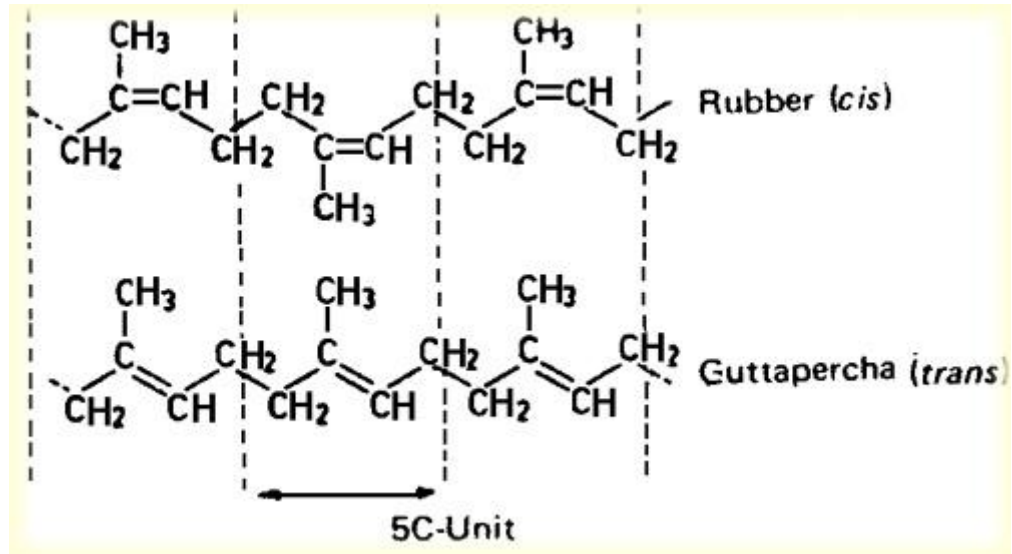
شكل (٥) يوضح بناء الكاروتينات من ٤٠ ذرة كربون ناتج من اتحاد مجموعتين من مجاميع Geranyl PP الذي يتحول بواسطة نزع ذرتي أيدروجين إلى الفيتون ثم الفيتوفلين ثم الكاروتين فالالنيروسيبورين ثم الليكوبين على التوالي.



شكل (٦) شكل يوضح تحول الليكوبين الى باقى أنواع الكاروتينات وتحلق الحلقات الطرفية فى المركب الهيدروكربونى

التربينات العديدة Polyterpens

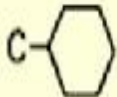
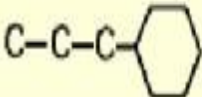
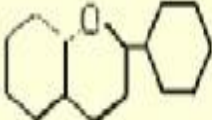
تتكون التربينات العديدة من اتحاد عدد كبير من وحدات الأيزوبرين لتكون ما يعرف بالتربينات العليا High Terpens وأهم مركباتها المعروفة هي Rubber, Guttapercha, Balata جميعها تشبة المطاط فى خواصها ويوجد المطاط فى حوالى ٢٠٠٠ نوع نباتى ولكن كميته تكون محدودة فى معظمها ولكن يوجد بكمية كبيرة عدد من نباتات تلك العائلات ,Asclepiadaceae, Moraceae, Euphorpaceae, Compositaceae وتبنى التربينات العديدة من وحدات الأيزوبرين والتي يتراوح عددها من ٥٠٠ الى ٥٠.٠٠٠ وحدة كما بالشكل التالى



شكل يوضح التركيب الكيميائي لكل من Rubber, Guttapercha.

الفينولات phenols

الفينولات ثاني مجموعة من المشتقات الثانوية للنبات وهي مواد تحمل في تركيبها الأيدروكسيل على حلقة البنزين العطرية والشكل التالي يلخص اهم مجموعات الفينولات وهياكلها الكربونية.

C - Skeleton	Group	examples
	Simple Phenols	Hydroquinone Arbutin
	Phenolcarboxylic acids	p - Hydroxybenzoic acid Protocatechuic acid
	Phenylpropanes	Cinnamic acids Cinnamic alcohols Coumarins Lignin
	Flavon derivatives	Flavanones Flavones Flavonols Anthocyanidins

وفيها نرى ان الفينولات تنقسم الى:

(1) الفينولات البسيطة وهي التي تحتوى على حلقة بنزين مرتبطة بواحد أو أكثر من مجموعات الأيدروكسيل.

(2) الأحماض الكروكسيلية الفينولية Phenol carboxylic acid ويتكون من حلقة بنزين مرتبطة بمجموعة حامضية وهي مجموعة الكربوكسيل cooh وكذلك واحد أو أكثر من مجموعات الأيدروكسيل وقد يحصل أيضا مجموعات أخرى مثل مجموعة الميثيل.

(3) مجموعة الفينيل بروبان phenylpropanes ومشتقاتها ويتكون هيكلها الكربوني من الحلقة بالإضافة الى سلسلة جانبية من ثلاث ذرات كربون . وهذه المجموعة تضمن أهم الفينولات داخل النبات مثل حمض السيناميك ، كحول السيناميك والكيومارين واللجنين.

(4) مشتقات الفلافونات Flaven derivatives وهي مجموعة تضم مشتقات الفلافونات والتي تتميز بالهيكل الكربوني للفلافون والتي تتكون من ثلاث حلقات بنزين B,A اما الحلقة الوسطية فتحتوى على الأكسجين وتشمل الفلافونات والانتوسيانينات.

ومعظم تلك الفينولات السابقة الذكر لا توجد حرة داخل خلايا النبات بل توجد مرتبطة في صورة جلوكسيد او في صورة استر سكرى حيث تودع في الفجوات العصارية للخلايا وتتفرد حين الحاجة اليها.

التمثيل الحيوى للفينولات Biosynthesis phenols

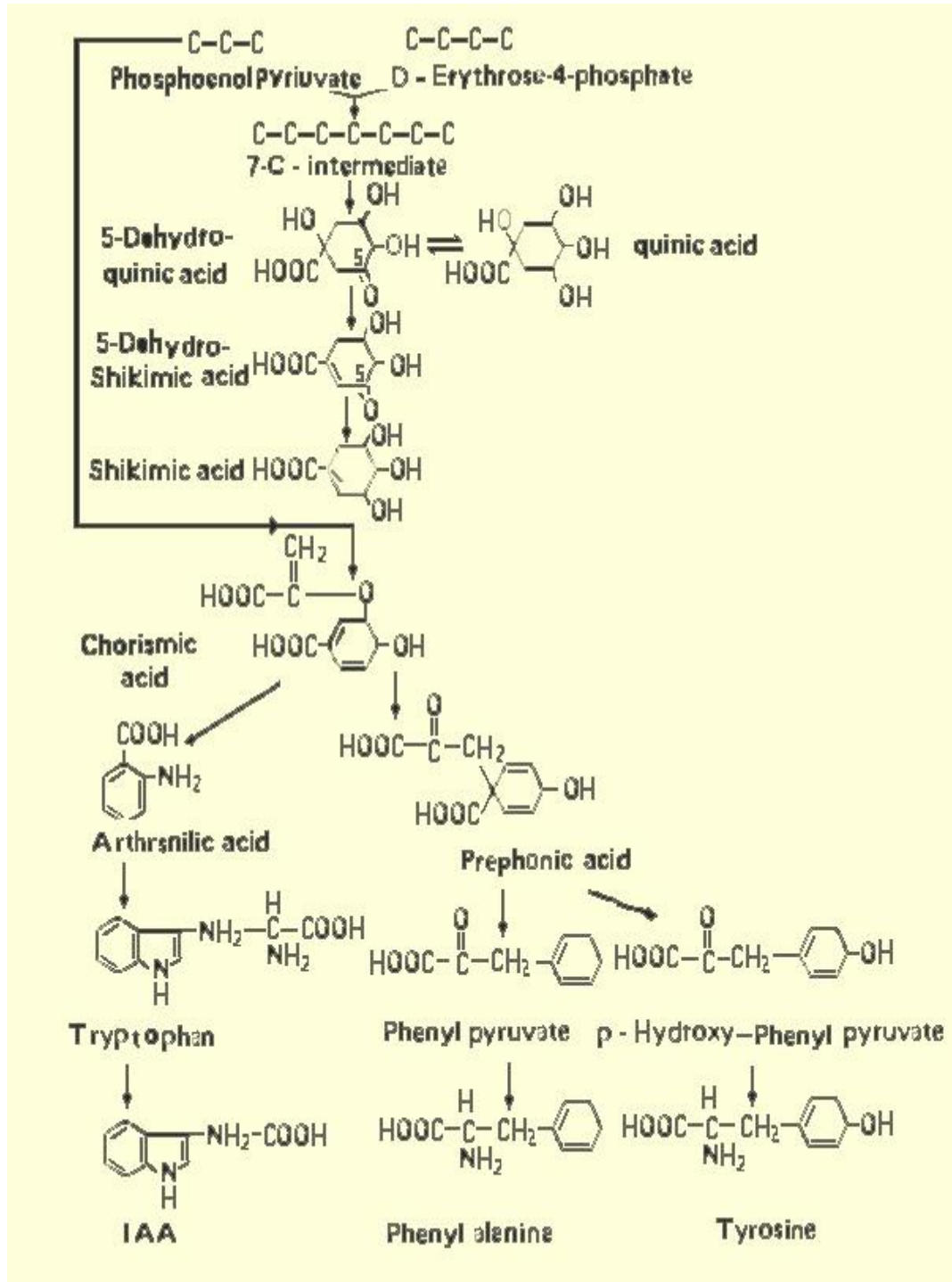
يوجد عدة مسالك لتكوين النظام الحلقى Aromatic system داخل النباتات الراقية . ولكن اهم تلك المسالك هي :

- (1)مسلك حمض الشيكيميك The shikimic acid pathway
(2)مسلك الأستيل مالونيت The Acetate malonate pathway

أولا : مسلك حمض الشيكيميك The shikimic acid pathway

هذا المسلك فى تكوين حمض الشيكيميك وكذلك خطواته الوسطية ذات أهمية كبيرة للنبات ليست لدورها فى انتاج الفينولات فحسب بل فى بناء الأحماض الأمينية الأروميتية مثل الفينيل الانين ، تيروزين والتريتوفان.

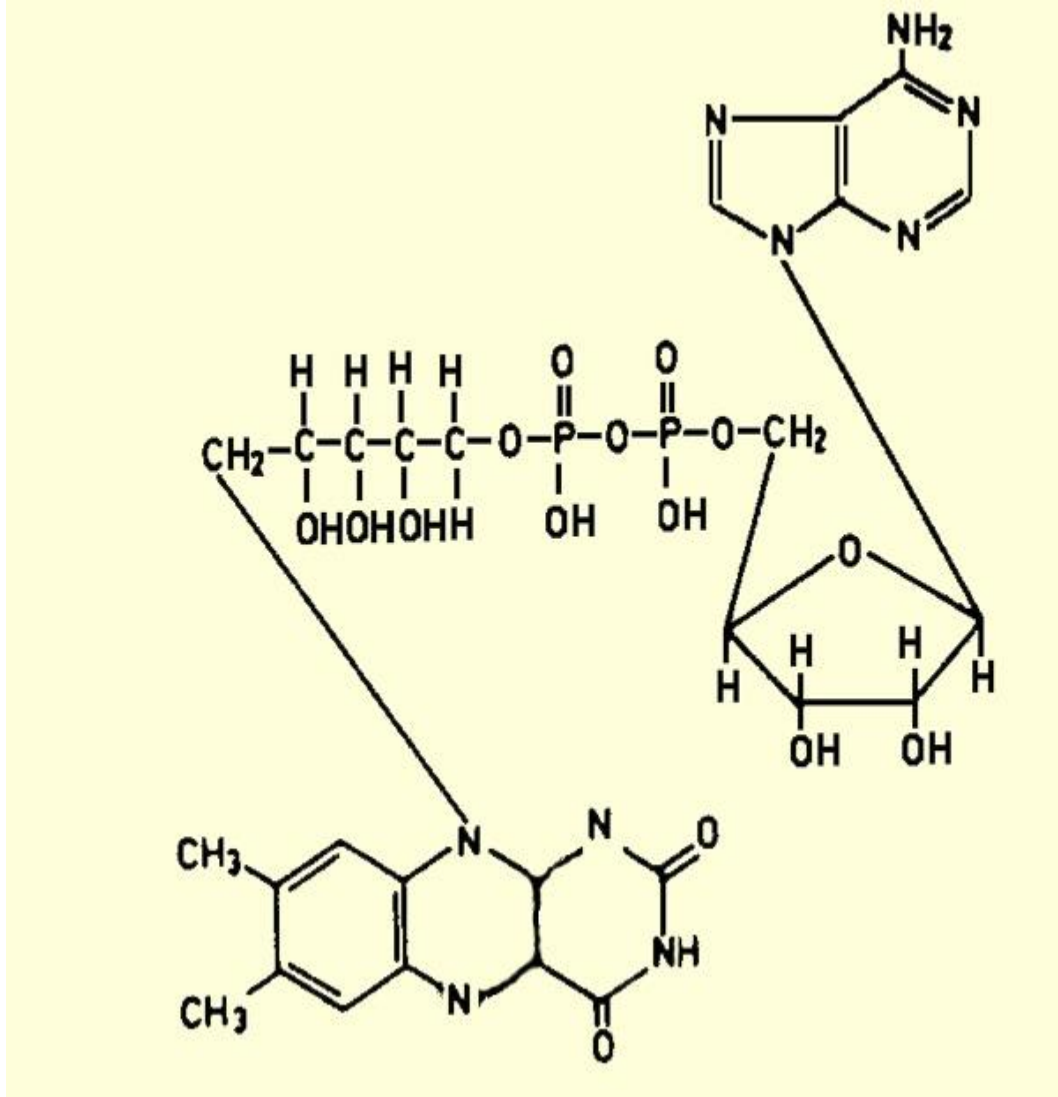
يبدأ بناء حمض الشيكيميك بفوسفات انيول حمض البيروفيك والذى يتكون فى نهاية عملية الجلوكزة glycolysis وكذلك يبدأ بالسكر الرباعى ٤-فـو- ارثيروز والذى يتكون خلال دورة البنتوزات pentose cycle حيث يرتبطان معا لتكوين مركب وسطى ذو سبع ذرات كربون والذى ما يلبث حتى يتحلق إلى مركب ٥ dehydroquinic acid -والذى يتحول جزء منه إلى حمض quinic acid بعد اختزاله . ثم يأخذ التفاعل فى هذا المسلك طريقة حتى يتكون حمض الشيكيميك كما بالشكل التالى



ثم يضاف إلى حمض الشيكيميك السابقة بناءه جزيء آخر من فوسفو اينول حمض البيروفيك في عدة خطوات ليتم تكوين chorismic acid والذي عنده نصل في هذا المسالك الى مفترق طرق حيث ان التفاعلات تأخذ طريقان أحدهما يقود الى تكوين حمض Anthranilic acid ثم التربتوفان والذي يخلق منة الهترواوكسين المعروف IAA كما سبق شرحه . اما الطريق الآخر فيؤدي الى تكوين حمض prephonic acid وعنده يأخذ التفاعل مرة اخرى طريقان اما ان يكون الفينيل بيروفات ثم الحمض الأميني الفينيل الأنين او يتكون هيدروكسي فينيل بيروفات ثم الحمض الأميني التريوزين.

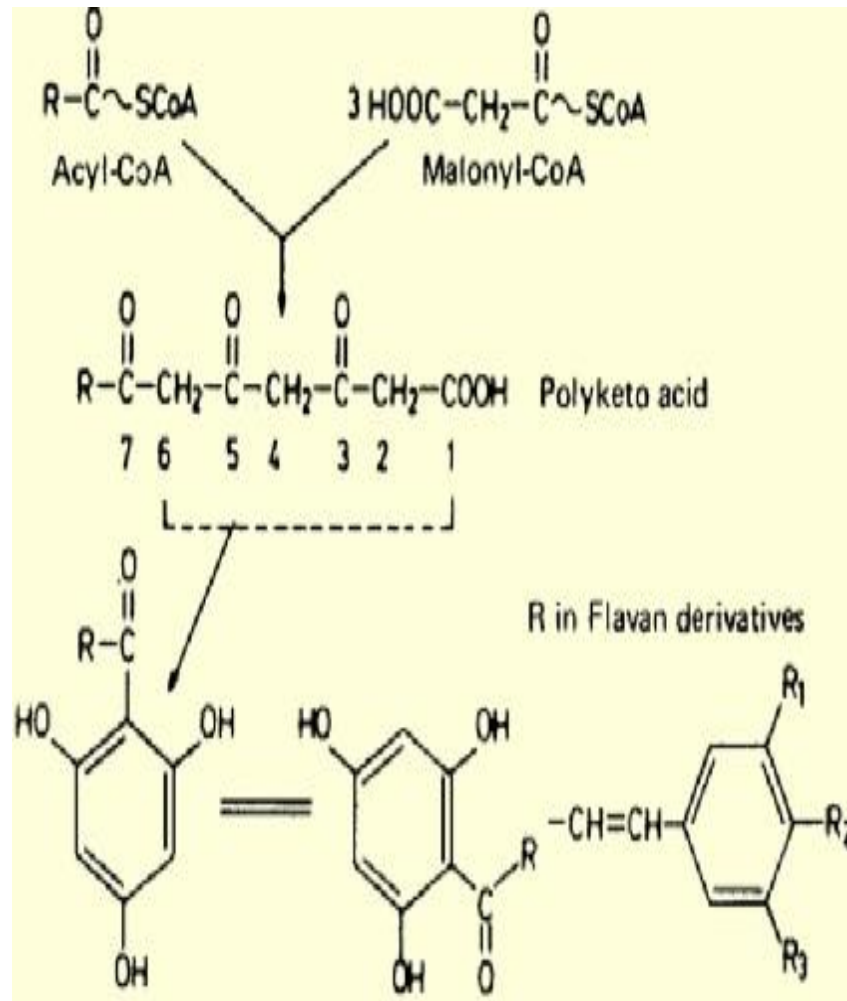
نرى من هذه الخطوات البنائية للفينولات البسيطة انها تخدم في نفس الوقت تكوين المركبات العضوية ذات الأهمية الكبيرة للنبات الآتية:

- (1) الأحماض الأمينية الأروميتية كما سبق ذكرها.
 (2) من الفينيل الأنين يتم بناء حمض السيناميك كما سوف ذكره
 (3) تكوين الأحماض الكربوكسيلية الفينولية مثل حمض الشيكيميك والديهيدروشيكميك والكيونيك ولو انها غير ذات اهمية للنباتات الراقية
 (4) تكوين مركب Benzoquinones والتي تتكون عن طريق تفاعلات معقدة تبدأ hydroxyphenyl pyrovate ومن أهم تلك المركبات صبغة plastoquinone والتي لها دور في عمليات تمثيل الكربوهيدرات.



ثانيا مسلك الأستيل مالونيت The Acetate malonate pathway

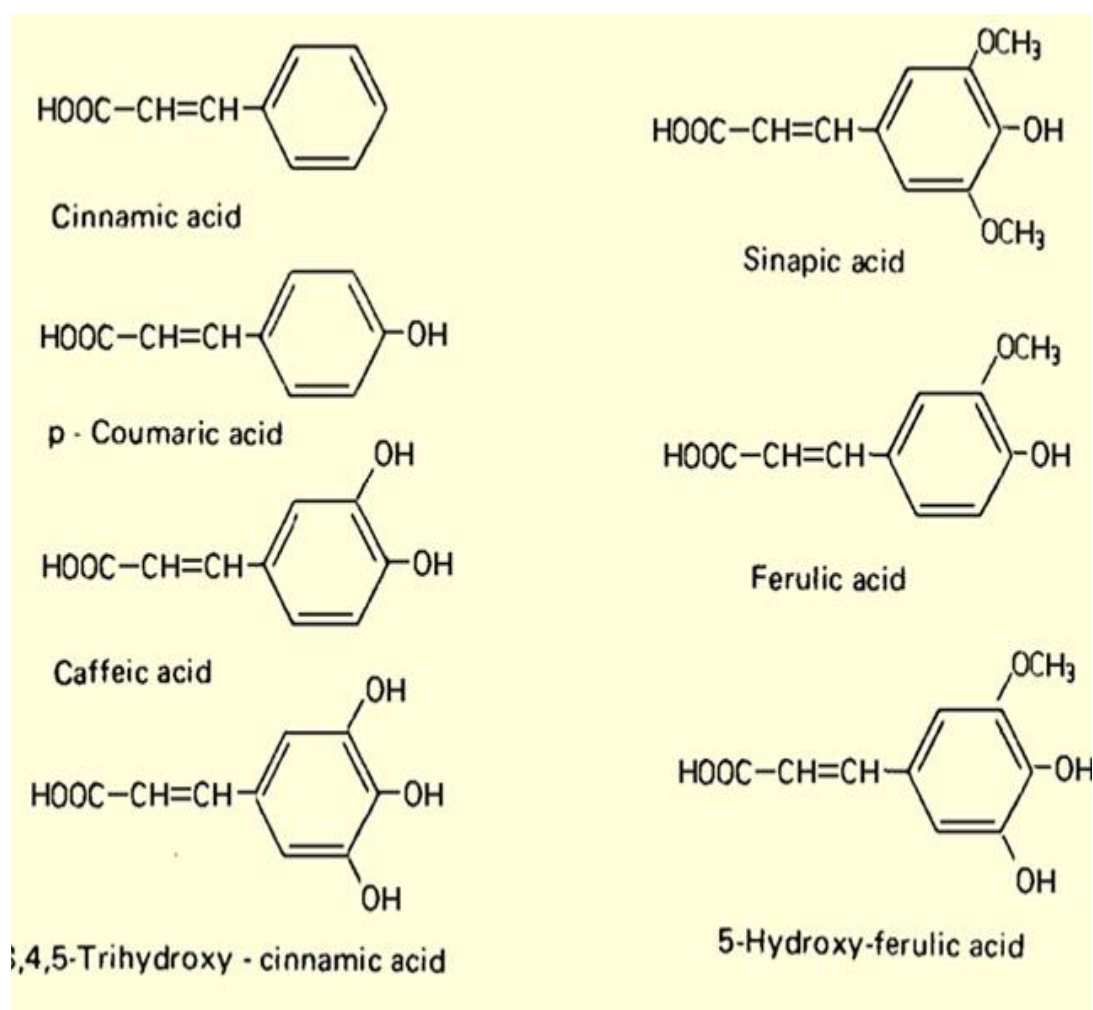
يأتى هذا المسلك لتكوين الفينولات مشابهاً لبناء الأحماض الدهنية حيث يبدأ كل منهما من Acetyl CoA وهناك قرانين للانزيمات أخرى تخدم هذا الغرض وهى Acetyl Co A ، Malonyl Co A . يبدأ هذا المسلك فى تكوين الفينولات التابعة لمجموعة الفلافونات بثلاث وحدات من Malonyl Co A والتي تتحد معاً مع احداث عملية نزع الكربوكسيل decarboxylation بينها وبأحاديهم مع جزيء من Acetyl Co A يتم بناء مركب polyketo acid والذي يتحلق cyclize بطرق مختلفة لينتج عنها فى النهاية فينولات هيدروكسيلية مثل phloroglucinol.



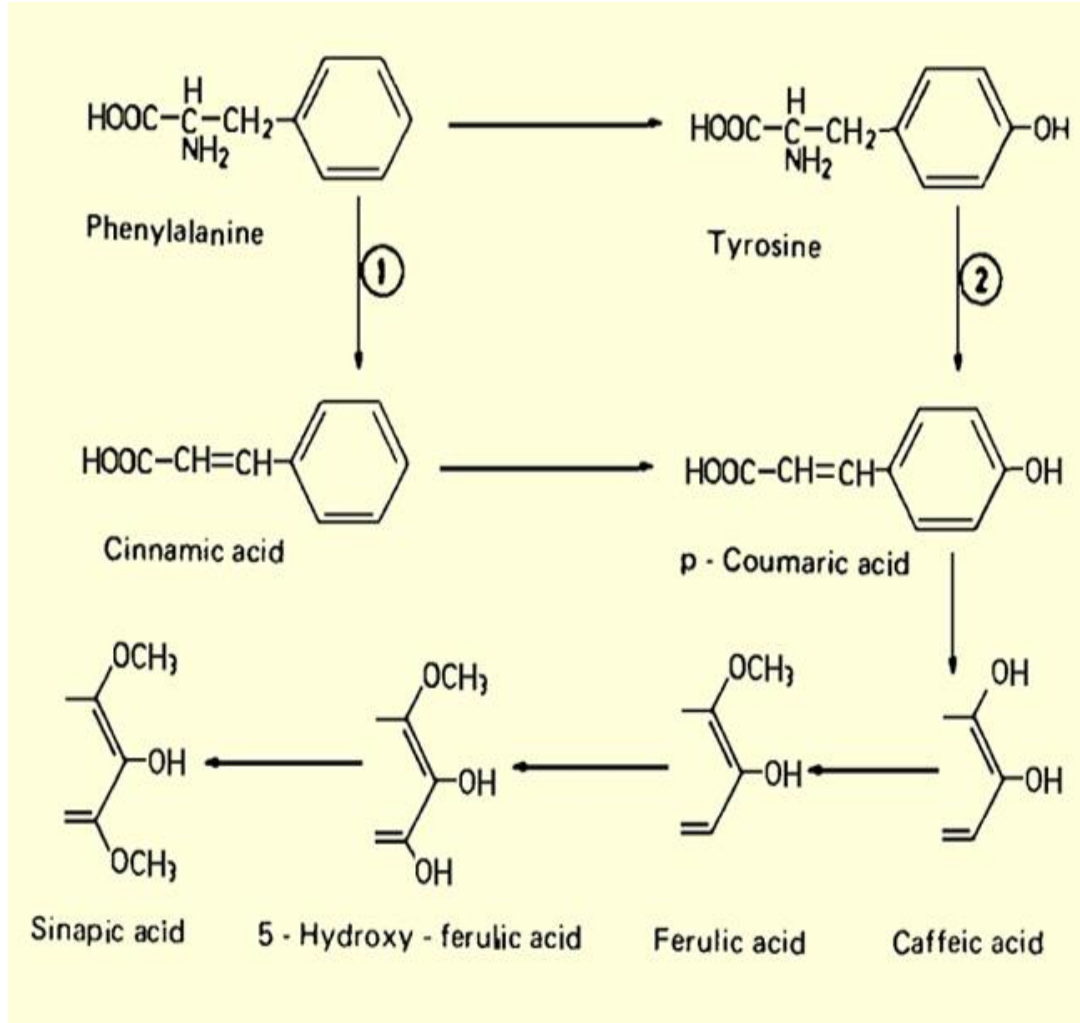
والآن سوف نلقى الضوء على اهم مجموعات الفينولات الهامة داخل النباتات الراقية.

1-مجموعه حمض السيناميك Cinnamic acids

افراد تلك المجموعة هي حمض السيناميك نفسه وعدة افراد أخرى ترى في الشكل التالى ويظهر فيها ايضا التركيب النباتى لها.



اما عن بناء حمض السيناميك نفسه فيتكون من الحمض الاميني الفينيل الانين والتيروزين عن طريق أكسدة ونزع مجموعة الامين Oxidation and deamination فينتج حمض السيناميك والكيوماريك على التوالي أو يضاف مجموعة الأيدروكسيل لحمض السيناميك لتكوين الكيوماريك وب نفس الطريقة يتم بناء باقى افراد عائلة حمض السناميك. وكما سبق الذكر فان تلك الفينولات لاتوجد حرة بل فى صورة جلوكوسيدات أو استرات سكرية باستثناء حمض Caffeic acid والذي يوجد عادة فى صورة حمض Chlorogenic acid .



شكل يوضح بناء حمض الشيكيميك في النبات ١ - بمساعدة انزيم 2- Phenylalanine ammoniumlyase

بمساعدة انزيم Tyrosine ammonium - lyase

2- مجموعة حمض الكيومارين Coumarins

عندما يتأكسد حمض السناميك في الوضع ، للسلسلة الجانبية له وتكوين حلقة اللاكتون مع نزع جزيء من الماء سوف يؤدي ذلك لتكوين الكيومارين .

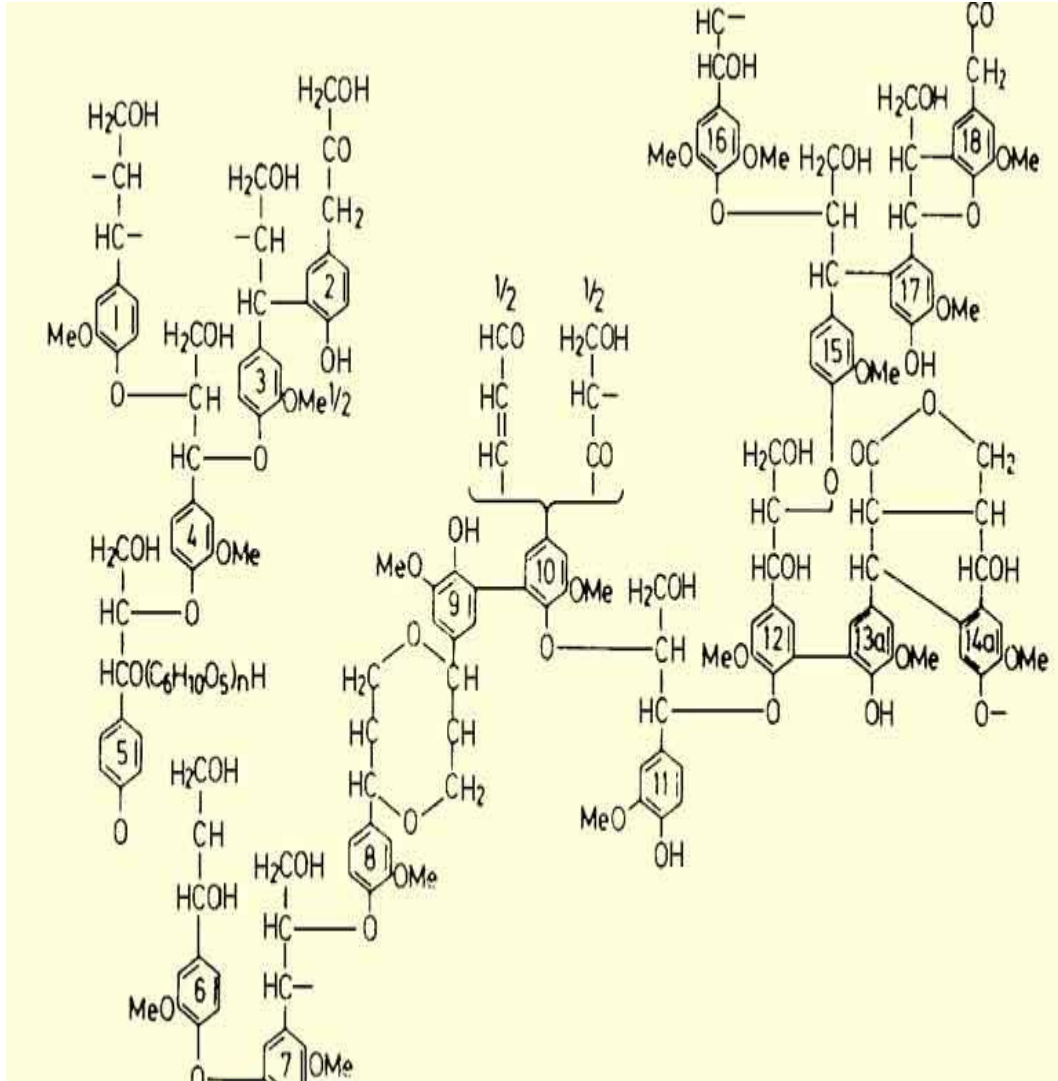


ويعتبر الكيومارين فسيولوجيا أنشط الفينولات فهو المسئول عن تثبيط نمو الكائنات الدقيقة التي قد تهاجم النبات وهو السبب في تثبيط انبات بعض البذور واستطالة الخلايا . والمركبات التابعة لتلك المجموعة تنشط انزيم اوكسيد اندول حمض الخليك والذي يؤدي الى هدم الفيتواكسين ولعل النشاط الفسيولوجي للكيومارين راجع الى خفضه لمستوى الأوكسين الداخلي بالنبات . اما الكيومارين في حد ذاته فأننا نجده له تأثير يعرف بالتأثير المتضاعف Synergistic effect للمعاملة بمنظمات النمو التابعة لمجموعة الأوكسينات حيث وجد

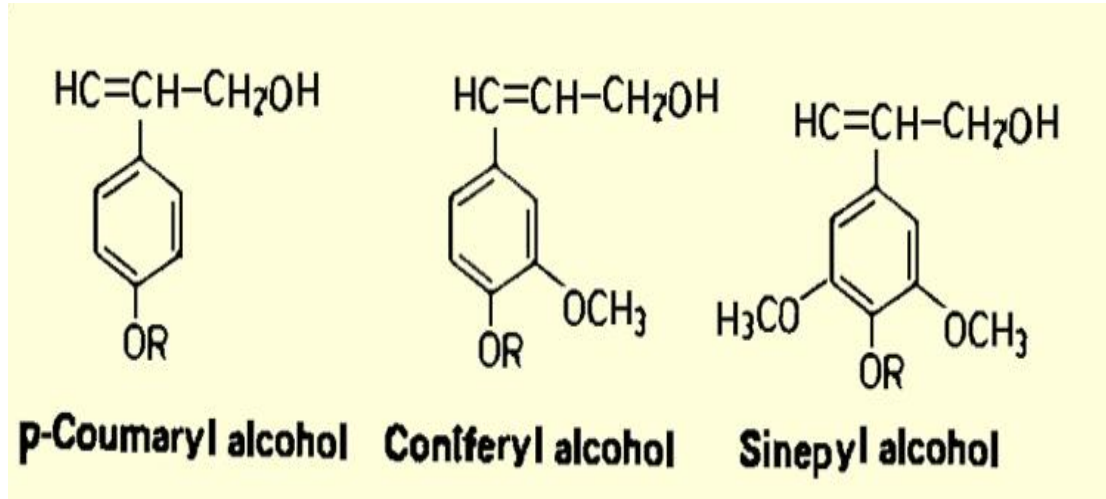
انه يشغل المراكز النشطة في انزيم IAA oxidase فيثبط نشاطه مما يدفع الاكسين للعمل بكفائه اعلى

3- اللجنين Lignin :

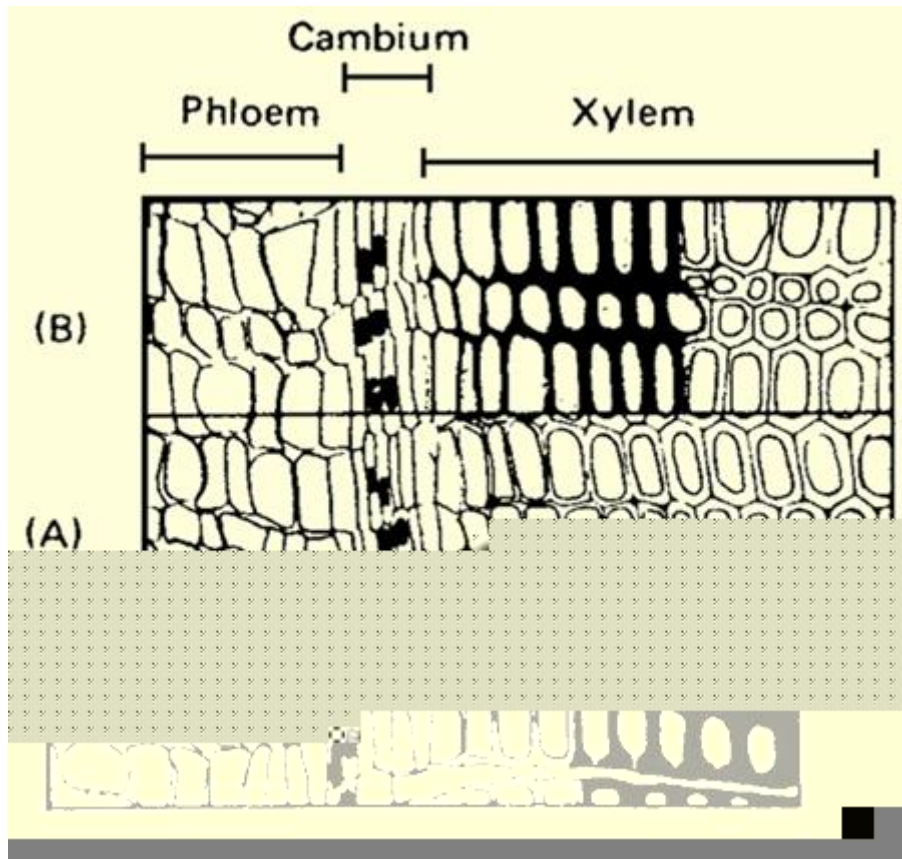
يعتبر اللجنين اهم ثانى مركب عضوى بعد السليولوز وعن طريقة أمكن نقل الحياة النباتية من الماء الى الأرض حيث انه ساعد على صلابة النباتات وتحملها الظروف الجوية على الارض وقد وضع Freudenberg و Nrish سنة ١٩٦٨ تصور لتركييب اللجنين حيث يتكون من بلمرة وحدات Phenylpropane والتي ترتبط في ثلاث اتجاهات كما بالشكل التالى.



ويبدأ بناء اللجنين باستخدام مركبات مجموعة حمض السناميك مثل حمض الكيوماريك Coumaric acid وحمض الكونيفريك Coniferic acid وحمض سينيك Sinepic acid والتي تختزل الى ما يقابلها من الكحولات



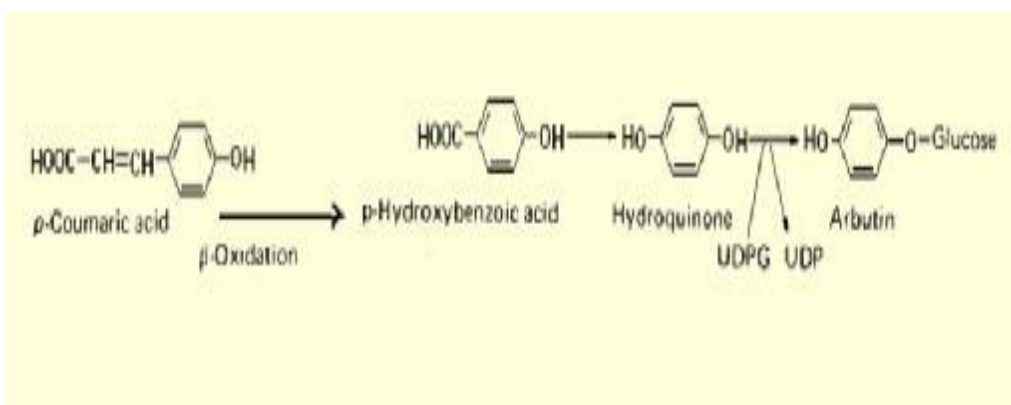
وذلك بمساعدة قرين الانزيم NADPH_2 ثم يتحد الكحولات الفينولية مع السكريات لتكوين الجلوكوسيدات المقابلة أيضا والتي يحدث لها اختزال وبلمرة **dehydropolymerization** وذلك باستخدام عدة انزيمات مثل **phenol oxidase , peroxides** لتكوين اللجنين بين خلايا الخشب ليزداد صلابة.



4-الاحماض الكربوكسيلية الفينولية phenol carboxylic acids :

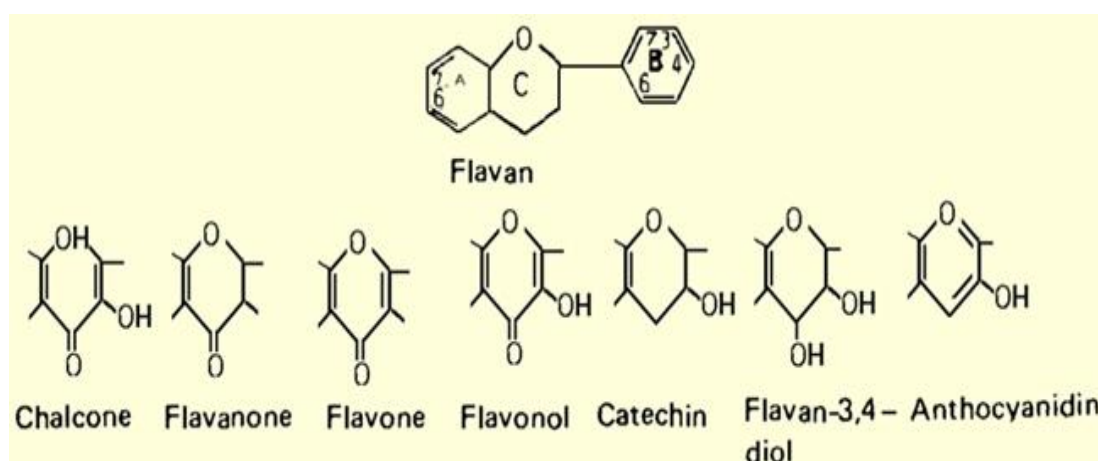
يتبعها مركبات مثل هيدروكسي حمض البنزويك **p-hydroxybenzoic acid** والهيدروكينون **Hydroquinone** وحمض الجاليك **Gallic acid** وعادة تدخل تلك المركبات خاصة حمض الجاليك في تكوين الثانينات وهي المادة السائدة في الثمار قبل النضج والمسببة للمواد القابضة بالثمار.

عادة يتم بناء الاحماض الكربوكسيلية الفينولية من حمض الكيوماريك بأكسدته كما بالشكل التالي



5- مشتقات الفلافين Flavones Derivatives

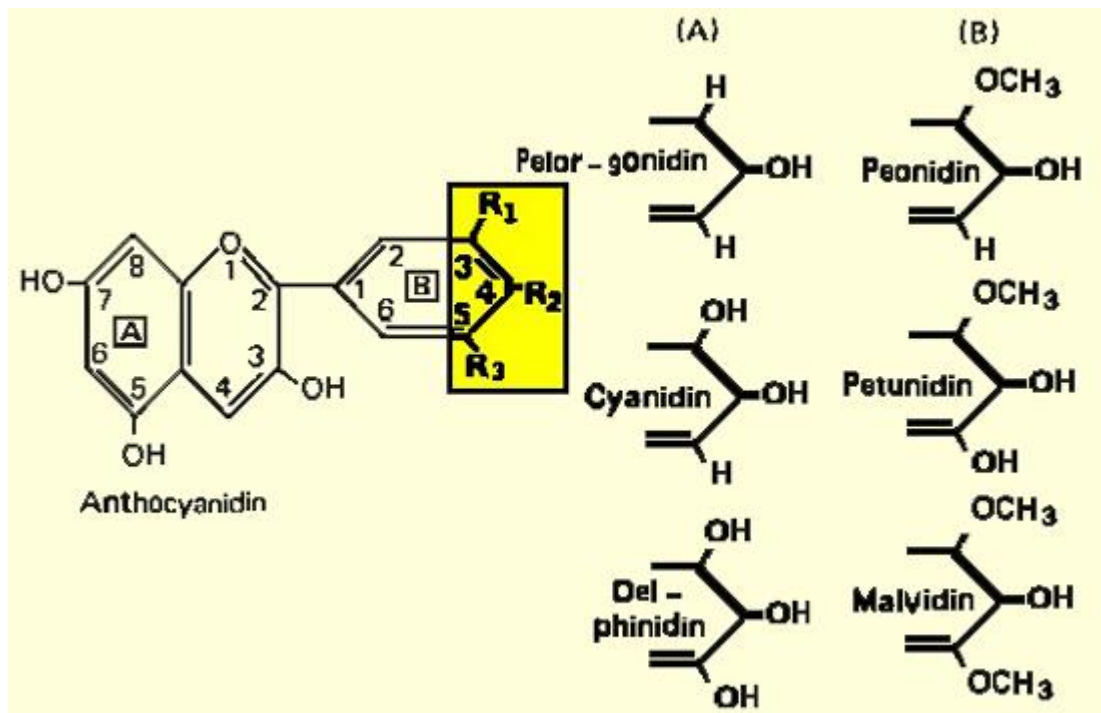
تمثل الفلافونيات مجموعة كبيرة من المركبات الفينولية ولقد اشتق الاسم من اللون الأصفر حيث يطلق على اللون الأصفر بالأتينية Flavus وعادة تقسم مشتقات الفلافونيات الى عدد من المجموعات تبعا لحالة التأكسد من حلقتها المركزية كما يلي:



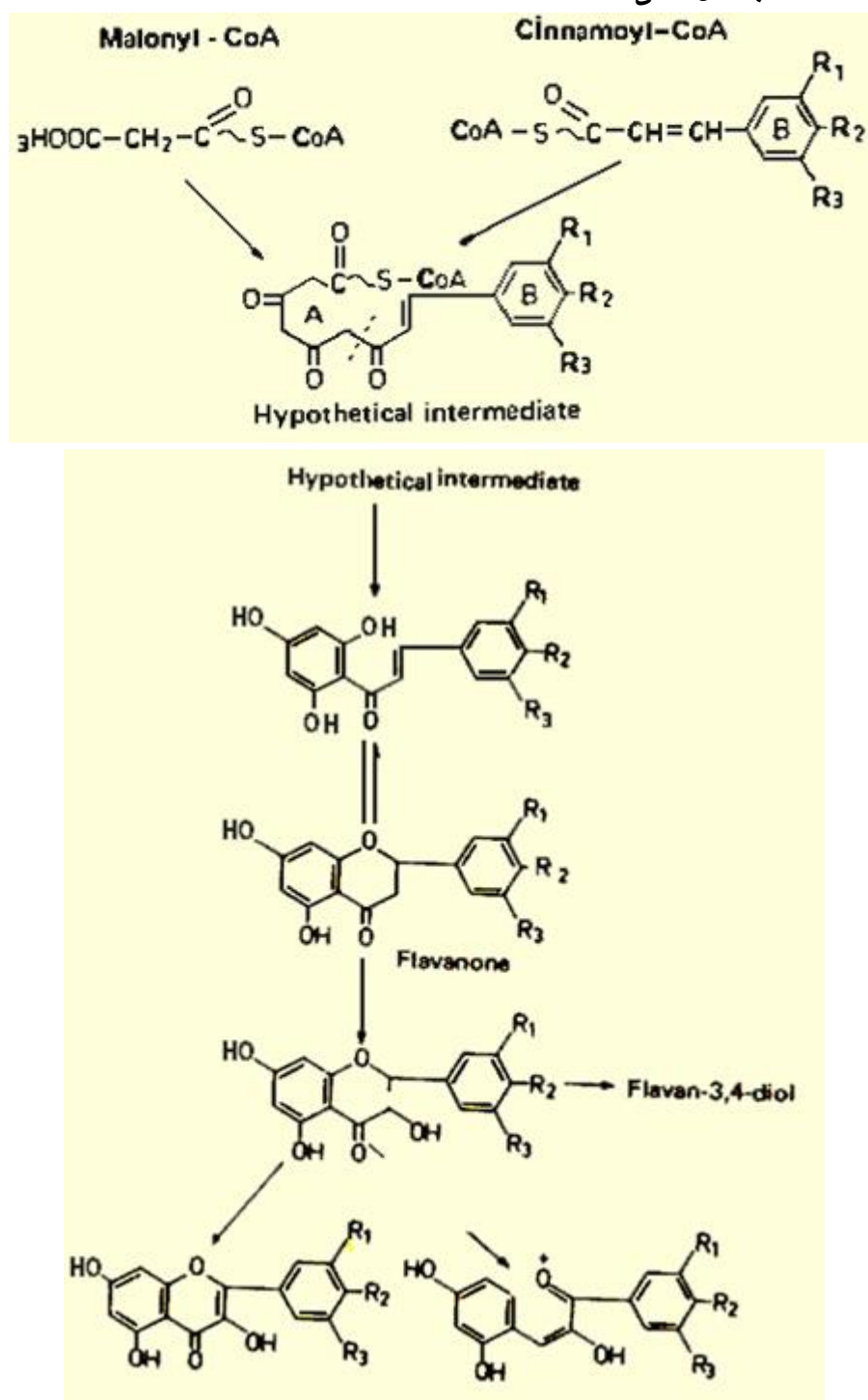
وتوجد الفلافونيات أيضا في النبات في صورة جلوكوسيدات حيث يتصل السكر مع جزيء الأيدروكسيل على الحلقة A في هيكل الفلافون . ويوجد تلك المركبات بكثرة في النباتات خاصة في البذرة أما المركب المعروف Flavan 3,4diols و 3-ols,, فهم منشأ أكبر ثنائي مجموعة من التانينات.

أما الأنثوسيانينات فهي إحدى مشتقات الفلافونيات أيضا ويرجع اليها لون الأزهار الحمراء والزرقاء والتي عادة توجد ذائبة في العصير الخلوي لخلايا البشرة وأيضا توجد في الأجزاء الخضرية للنباتات الورقية كما في نباتات الزينة.

والآن دعنا نلقى مزيدا من الضوء عن الأنثوسيانينات فالأشكال التالية تمثل أهم تلك الأنثوسيانينات ويبدو فيها أن الاختلاف بين الأنثوسيانينات يرجع الى الحلقة B.



ويتم البناء الحيوى للفلافونات اولاً بتكوين الهيكل الكربونى للفلافونات (I5C) وذلك بأتحد ٣ جزيئات من Malonyl CoA مع Cinnamoyl CoA استر حمض السيناميك مع (CoA فيتكون مركب وسطي وهو Hypothetical ثم تغلق السلسلة المفتوحة بة ليتكون Chalcone والذى بدورة يتحول الى Flavone مشتقات المختلفة كما بالشكل التالى



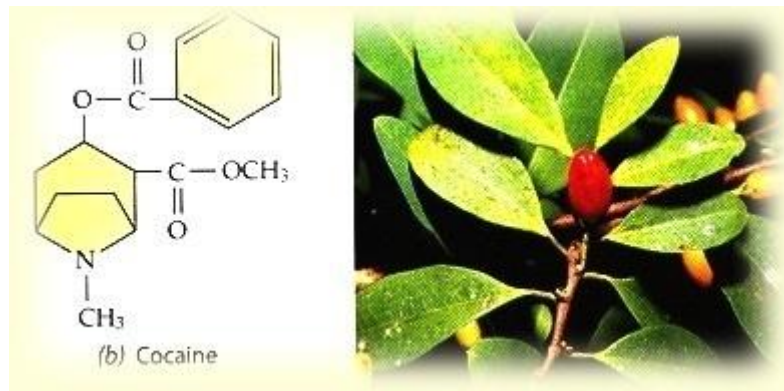
القلويدات Alkaloids

أستعملت القلويدات منذ عدة سنوات فقد عرفت بعض الفوائد الطبية والخواص السامة لها في مجموعة من النباتات عرفت بالنباتات الطبية . ففي القرن التاسع عشر تمكن Sertnner من استخلاص مادة المورفين من الأفيون Opium والتي أستخدمت في التخدير

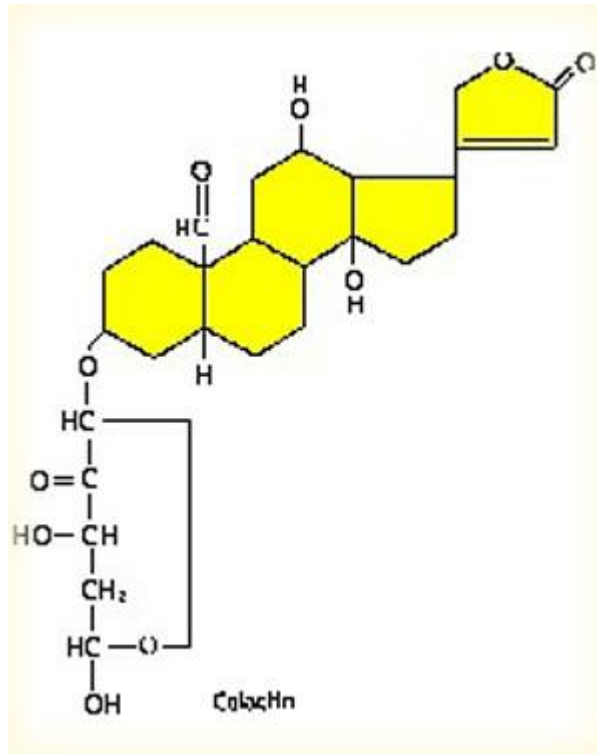
كما عرف الكافين والذي يستخرج من نبات البن والشاي من منات السنين



كما عرفت المواد السامة او المخدرة كمكيفات مثل الكوكايين

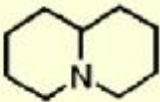
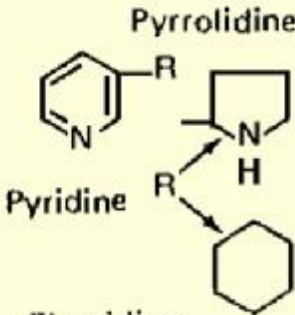
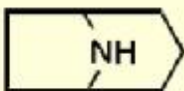
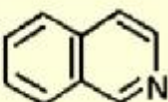
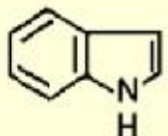
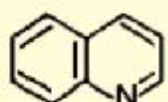
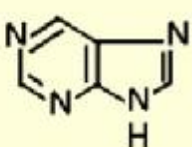


بعد ذلك عرفت بعض المواد المستخلصة من المصادر البنائية اطلق عليها أسم أشباه القلويدات أو القلويدات أو القواعد البنائية واصطلاح قلويد هو السائد وهو يدل على مجموعه من القواعد النيتروجينية المعقدة التركيب وذات حلقة غير متجانسة تحتوى على ذرة نيتروجين ويعرف الى الآن حوالى ٣.٠٠٠ قلويد موجودة فى حوالى ٤٠٠٠ نوع نباتى ,وعادة تكثر القلويدات فى العائلة الوردية Rosaceae والعائلة المركبة Compositeae وتمتاز كل عائلة بوجود مواد قلويدية خاصة تميزها ، وليست كل القلويدات قواعد فهناك استثناء فى بعضها مثل , Colchicine , Cyaninsbeta Nicotinic acid , ويلاحظ أن القلويدات عادة ما توجد فى الأنسجة الصغيرة وفى عصير الخلايا ولكنها تتحول الى الحالة الصلبة فى طور النضج كما فى الحبوب والثمار والجذور ، ويختلف توزيع القلويدات فى الأنسجة النباتية حسب نوع وسن النسيج النباتى.

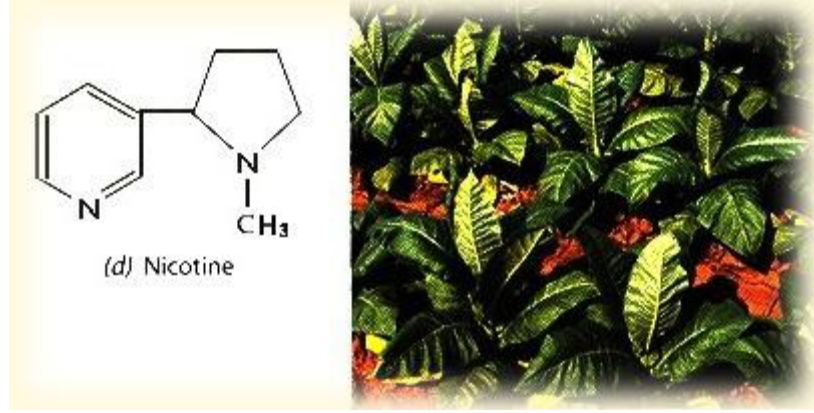


والجدول التالي يبين أهم القلويدات التي توجد في النباتات

اما عن الدور الفسيولوجي للقلويدات فهناك آراء كثيرة بخصوص الوظائف الفسيولوجية لها وكيفية تكوينها فمن المعروف أن القلويدات عبارة عن مركبات عضوية نيتروجينية تتكون من الأحماض الامينية مثل الارنيثين والليسين والفينيل الاتين والتربتوقان، لذا فمن المحتمل ان يكون لها دور فسيولوجي في عمليات البناء الحيوى وقد تعتبر مخزن للنيتروجين الزائد عن احتياج النبات

	Quinolizidine - A -	Lysine
 Pyrrolidine Pyridine Piperidine	Nicotiana - A -	Nicotinic acid Ornithine Lysine
	Tropane - A -	Ornithine
See text	Amaryllidaceae - A - Colchicine	Phenylalanine Tyrosine
See text	Betacyanins Betaxanthines	Tyrosine
	Isoquinoline	Tyrosine
	Indole - A -	Tryptophan
	Quinoline	Tryptophan
	Purine	See text

فالنيكوتين يتكون في الجذور وينقل للأوراق مما يدل على انه لا يمكن ان يكون ضمن الناتجات النهائية لهدم اثناء عمليات التمثيل الازوتى لذا يمكن القول بأن النيكوتين ضمن العوامل الأساسية في عملية التمثيل البنائى للنتروجين فهو يلعب دور فى عمل الأنزيمات حيث يدخل فى تركيبها فى صورة حمض نيكوتينك.



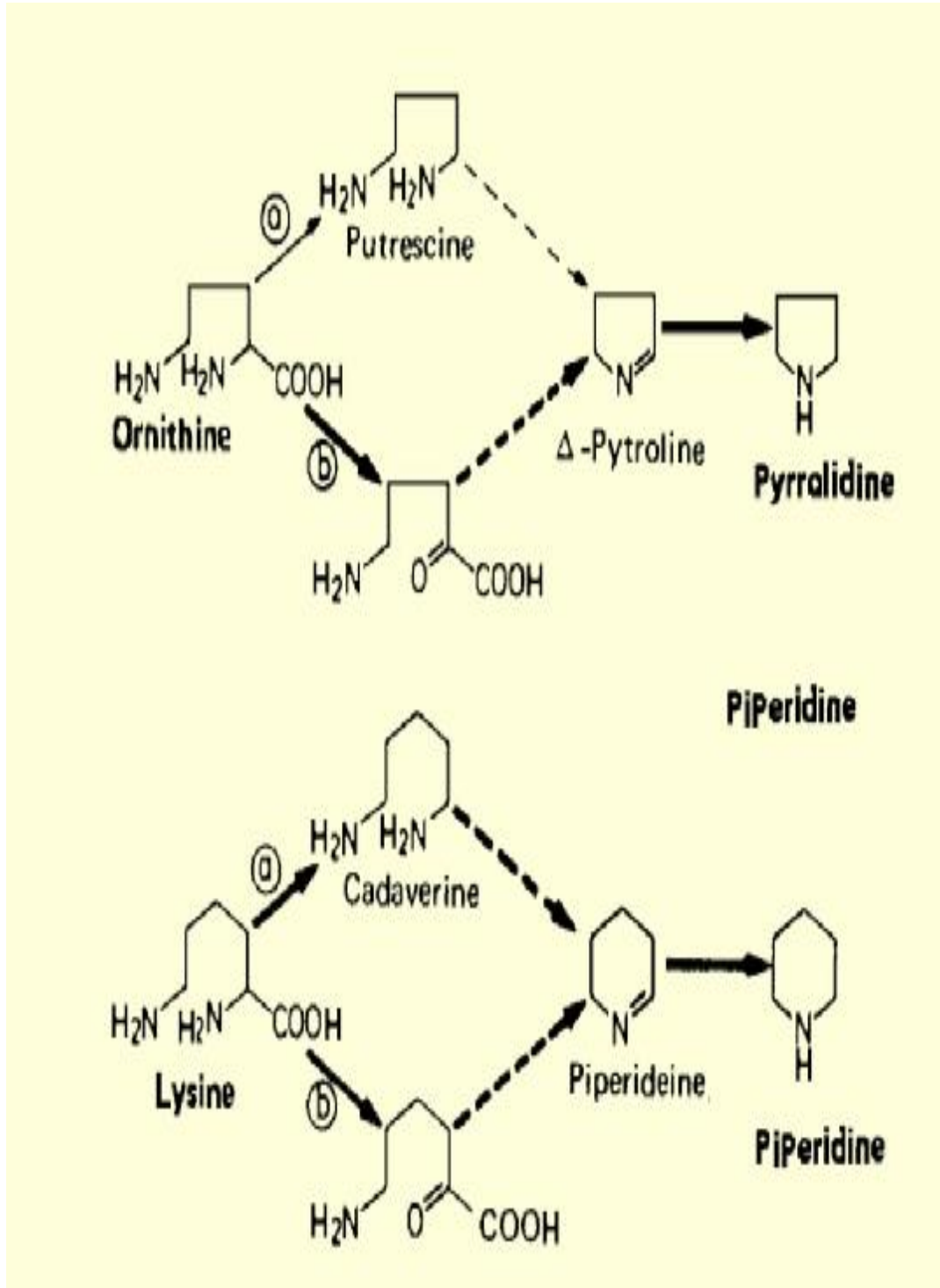
وهناك رأى يقول أن القلويدات تتكون فى النبات لحمايتها من الآفات ومن التلف وأن القلويدات ناتجات هدم او ناتجات نهائية تتكون أثناء عملية التمثيل الأزوتى وتخزن فى صورة غير ضارة بالنبات كما يحدث فى نبات الخشخاش

أما عن البناء الحيوى للقلويدات فتبنى من الأحماض الأمينية والتي سوف ننوه عنها هنا كالتالى:

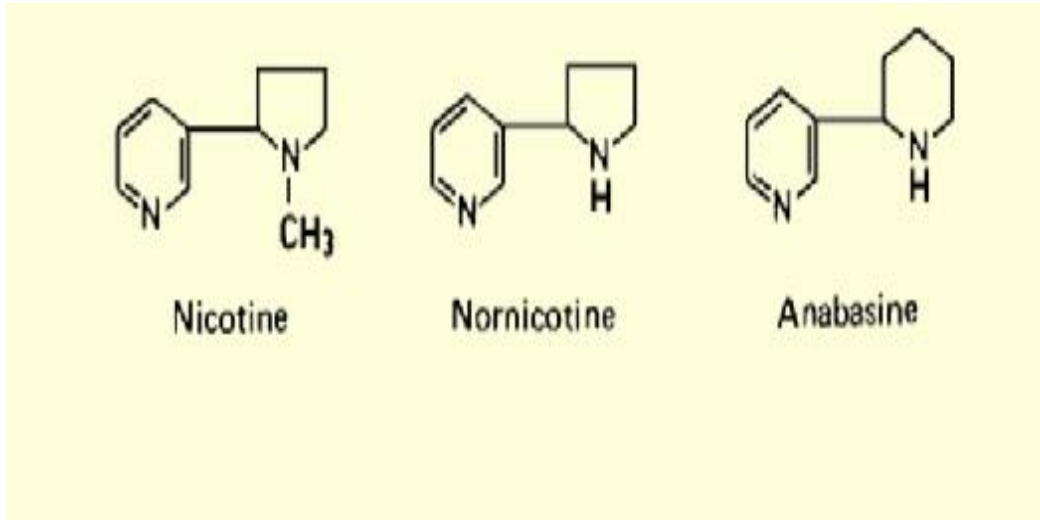
أ – مشتقات الأحماض الألفا امينية (Ornithine and Lysine)

يشتق من الحمض الأمينى Ornithine خمس مركبات قلويدية تتبع نظام البيروليدين Pyrrolidine كما يشتق من الحمض الأمينى Lysine ست مركبات قلويد حلقية تتبع النظام البيريدين Piperidine وهناك مسلكان للحصول عليهما

***المسلك الأول** يتم بحدوث نزع لجزئ ثانى أكسيد الكربون Decarboxylation ليتكون Putrescine من Ornithine ويتكون Cadaverine من Lysine
***أما المسلك الآخر** فيتم عن طريقة نزع مجموعة الأمين بأكسدتها وفى النهاية يتكون الشكل الحلقى الحاوى على ذرة النتروجين كما بالشكل التالى

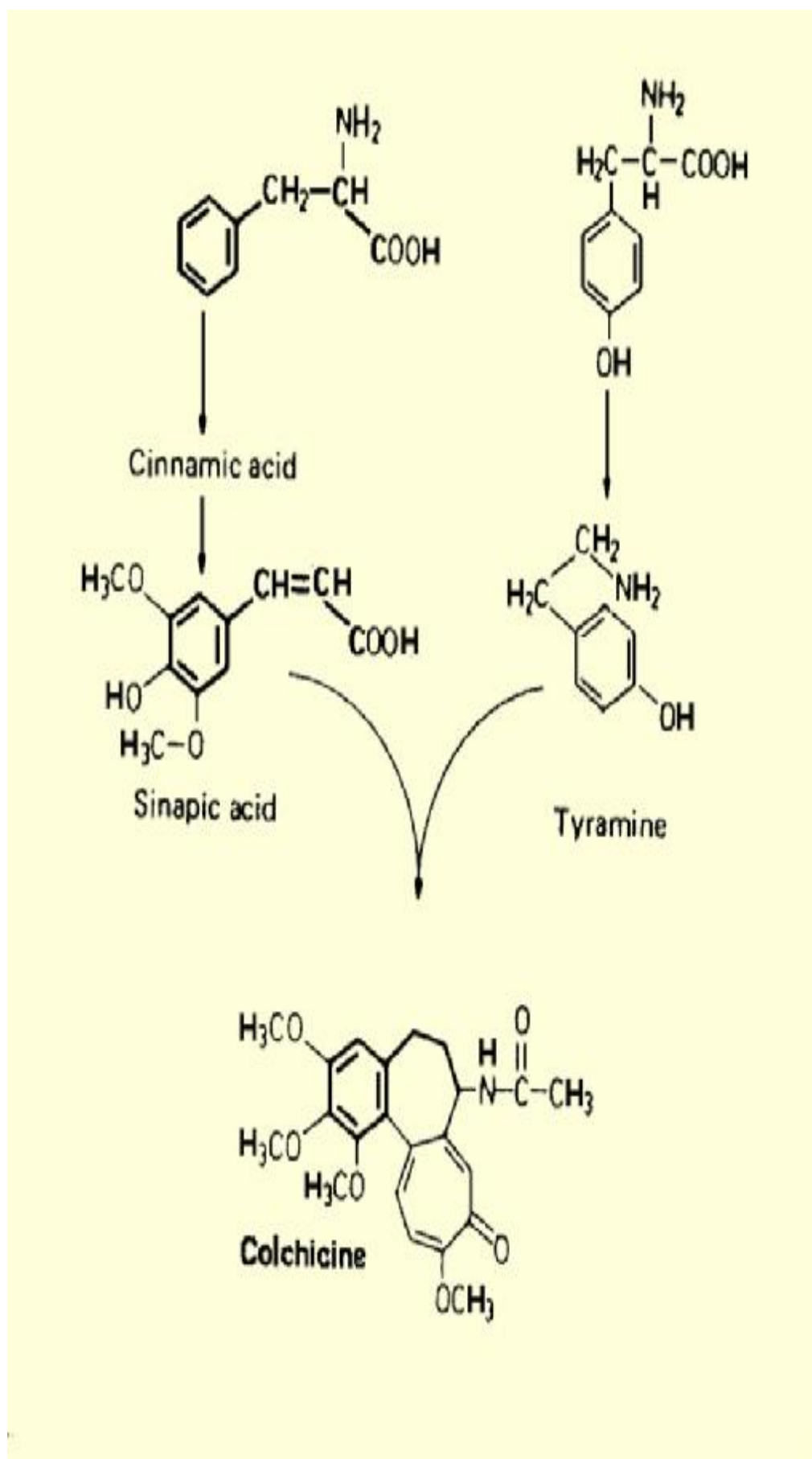


ومن أهم القلويدات التابعة لتلك المجموعة القلويدات البيكوتين **Nicotine** ، والنيرونيكتين **Nornicotine** تلك القلويدات توجد في نبات *Nicotiana tanacetum* والأنابسين **Anabasine** والتي توجد في نبات *Nicotiana glauca*



ب – مشتقات الاحماض الامينية الحلقية (Tyrosine and Phenyl Alanine)

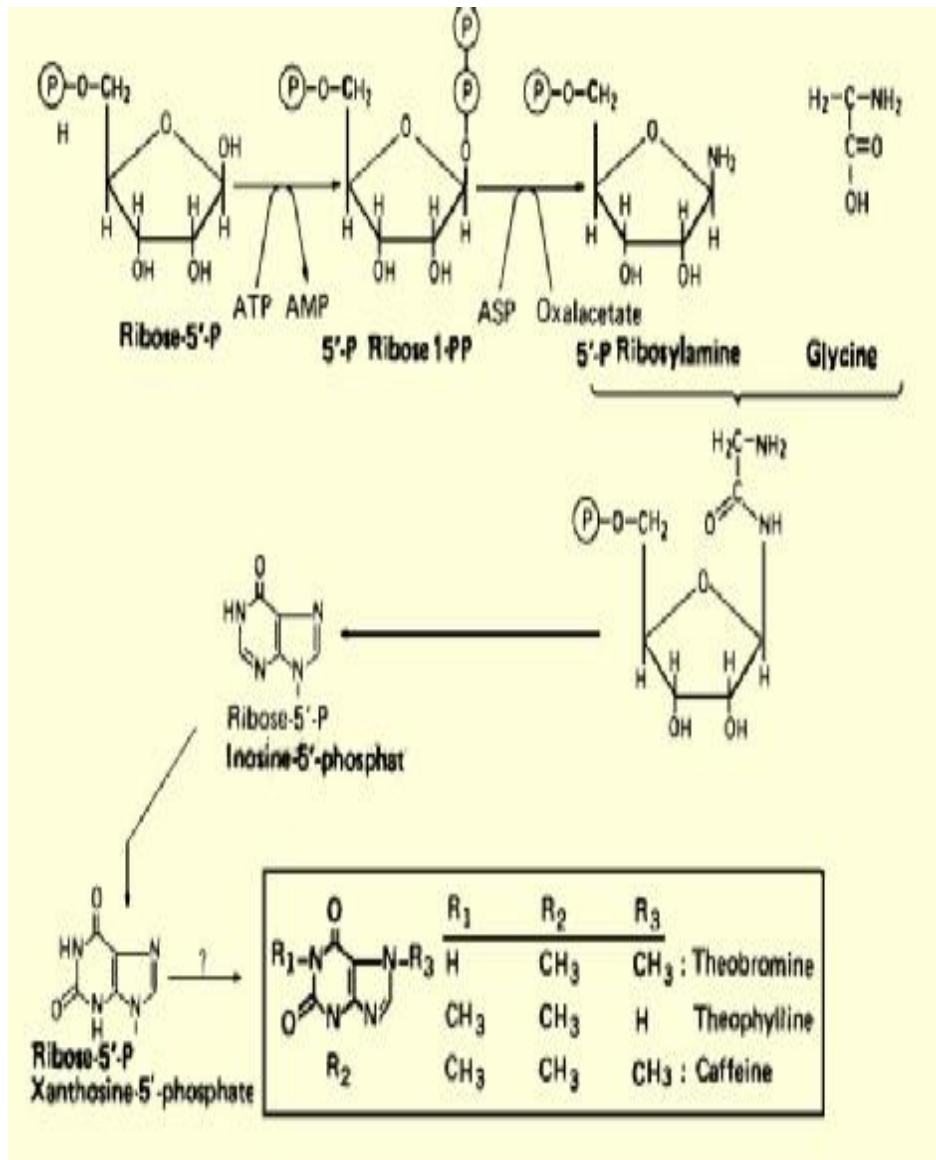
أهم مشتقات للحمض الاميني التيروسين والفينيل الأنين هو القلويد الكولشسين والذي يوجد في نبات *Clochicum antumnale* ويتم البناء الحيوي لهذا القلويد بأن ينزع مجموعة الكربوكسيل من الحمض الاميني التيروسين فتنشج عنه التيرمين Tyramine كما يتحول حمض الفينيل الانين بنزع مجموعة الكربوكسيل الى حمض السينيك Sinapic acid ويتحد المركبان السابقان معا ليتكون الكولشسين



قلويدات البيورين Purine Alkaloids

قاعدة البيورين المعروفة والتي تدخل كأحد القواعد النيتروجينية المكونة للأحماض النووية تتكون من نواتين الأولى الايمدزول Imidazol والثانية البريميدين Primidine

يبدأ البناء الحيوى لقاعدة البيورين أو قلويدات البيورينات بتنشيط ٥- فو الريبوز باستخدام ATP فيتكون بيروفوسفات ٥- فو الريبوز والذي يتحول إلى مركب 5 Ribosyl amine - p - بإضافة مجموعة الأمين بعملية Transamination من مركب الأسبراجين ثم يتحد المركب السابق مع الجليسين بواسطة رابطة ببتيدية مع مجموعة الأمين فيتكون مركب وسطي يتحول إلى مركب ٥ Inosine - phosphate - ثم يتحول الأخير إلى نيكلوتهيدات الأدينين والجوانين والذي يتحول إلى قلويدات مثل Caffeine وهو عبارة عن ثالث ميثايل زانثين ويوجد في البن والشاي والثيوبرومين وهو ثاني ميثايل زانثين والذي يوجد في الشاي والكافا.



شكل () يوضح التمثيل الحيوى لحلقة البيورين وقلويد البيورين

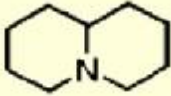
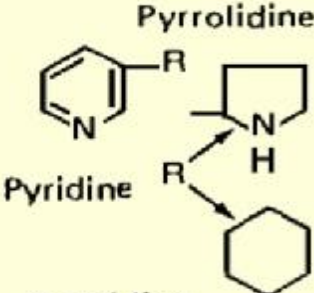
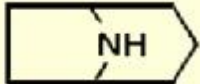
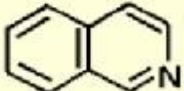
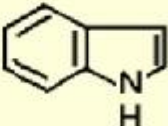
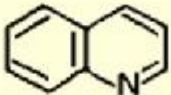
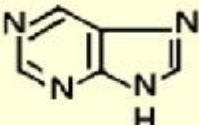
وهناك اعتقاد ان البيورينات تتكون عن طريق تحلل ذاتى لقاعدتي الجوانين والأدينين فتتزع منها مجاميع الأمينو ويتحول الجواندين إلى زانثين ، أما الأدينين فيتحول إلى هيپوزانثين في عملية هدم البيورينات هو أكسدة الزانثين والهيپوزانثين إلى حمض يوريك . ومن مشتقات البيورين الهامة هرمون السيبتوكينين.

البورفيرينات Porphyrins

البورفيرينات مجموعة صغيرة من المشتقات الثانوية للنبات ولقد سبق الإشارة إليها عند الاحدث عن تركيب الكلوروفيل.

وبناء البورفيرينات له علاقة بكلا من دورة السترات وتمثيل الأحماض الأمينية حيث يبدأ البناء الحيوى للبورفيرينات من Succinyl CO A والذي يتكون خلال دورة السترات وكذلك من الحمض الأميني الجليسين

والناتج من تمثيل الأحماض الأمينية.

	Quinolizidine - A -	Lysine
 Pyrrolidine Pyridine Piperidine	Nicotiana - A -	Nicotinic acid Ornithine Lysine
	Tropane - A -	Ornithine
See text	Amaryllidaceae - A - Colchicine	Phenylalanine Tyrosine
See text	Betacyanins Betaxanthines	Tyrosine
	Isoquinoline	Tyrosine
	Indole - A -	Tryptophan
	Quinoline	Tryptophan
	Purine	See text

يتحد كل من Succinyl CO A مع الجليسين لينتج مركب Aminolaevuline acid والذي يتحد جزئياً منه معاً ليتكون مركب Porphobilinogen أو حلقة البيروول والذي يعتبر البنية الأساسية في مركب

البورفيرين . حيث تتجدد اربع جزئيات من جزئ Porphobilinogen فى سلسلة من التفاعلات ليتكون البورفيرين . وان تلك المشتقات هى Uroporphyrinogen III والذي يتحول الى Protoporphyrin والآخر يستقبل ايون المغنسيوم Mg^{++} ليتكون الى الكلوروفيل او يتحد مع ايون الحديد ليكنون السيتوكرومات واكسيد السيتوكروم والبيروكسيدز والكتاليز وجميعها انزيمات هامة فى التحولات الغذائية.