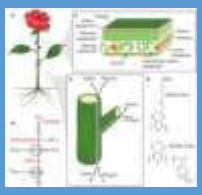
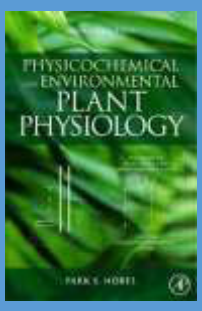
Plant Physiology

Dr. Arshad Naji Alhasnawi

PLANT PHYSIOLOGY



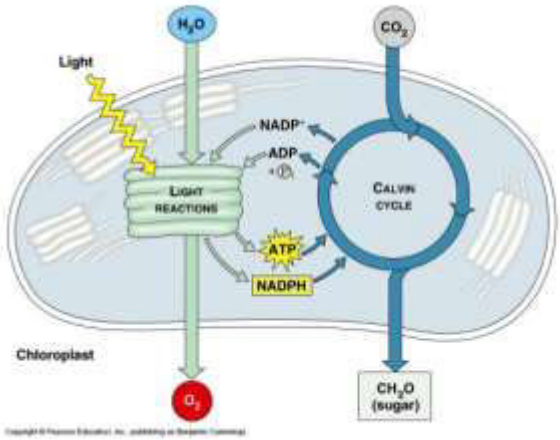


محاضرات فسلجة نبات

الجزء النظري

قسم علوم الحياة / المرحلة الرابعة

كلية التربية للعلوم الصرفة – جامعة المثنى



قائمة المحتويات

- مقدمة عن فسلجة النبات Plant Physiology
- العلاقات المائيةWater Relations
- أهمية الماء للنباتات
- Plant Water Relationship علاقة النبات بالماء
- الانتشار Diffusion
- خصائص الانتشار
- الانتشار في النباتات
- الانتشار الغازات Diffusion of Gases
- العوامل المؤثرة على معدل انتشار الغازات
- ضغط الجذرRoot Pressure
- العوامل المؤثرة في إمتصاص الماء
- السعة الحقلية Field Capacity
- الجهد المائي Water Potential
- الانتشار الغشائي (الخاصية الاسموزية) Osmosis
- الية العملية الاسموزية
- الضغط الاسموزي Osmotic Pressure (O.P)
- العوامل المؤثرة على الضغط الأسموزي للخلية النباتية
- سلوك الخلايا في المحاليل المختلفة
- نقص الضغط الانتشاري Diffusion Pressure Deficit (D.P.D.)
- الانتفاخ والضغط الانتفاخي Turgor and Turgor Pressure
- النفاذية (التنافذ) Permeability
- علاقة النفاذية بتضاد الايونات وتعاونها
- نفاذية المواد العضوية
- قواعد عامة لنفاذية المواد عموما
- هناك عوامل المؤثرة على نفاذية الاغشية الحية
- التشرب Imbibition
- الشروط الضرورية للتشرب
- الضغط التشربي Imbibition Pressure (I.P.)
- العوامل المؤثرة على معدل ومدى التشرب
- الأهمية الأحيائية للتشرب
- امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقاله الى النبات
- أنواع امتصاص الماء
- العوامل المؤثرة في الامتصاص
- ود العصارة إلى الأوراق (صعود الماء والذائبات)
- صعود الماء إلى الأوراق
- ميكانيكية رفع الماء (العوامل أو القوى المؤثرة في صعود العصارة)
- صعود الذائبات
- آلية نقل الغذاء المجهز في النبات
- النتح
- فوائد النتح للنبات:

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

- أنواع النتح
- ميكانيكية فتح وغلق الثغور
- العوامل المؤثرة في سرعة النتح
- التغذية المعدنية في النبات
- احتياجات النبات من المعادن
- دور بعض العناصر في الحياة الفسلجية للنبات
- دور العناصر الكبرى (المغذيات الكبرى)
- العناصر الصغرى (المغذيات الصغرى)
- الأيض او التمثيل الغذائي Metabolism
- التنفس The Respiration
- قياس معدل التنفس: Measurement of Respiration Rate
- معامل التنفس The Respiration Quotient (R.Q)
- كيمياء التنفس: Chemistry of Respiration
- الانشطار السكري (النشوي) والتخمر Glycolysis and Fermentation
- الاكسدة النهائية وانتاج الطاقة Biological oxidation and energy production
- العوامل التي تؤثر في سرعة عملية التنفس
- ميكانيكية التنفس
- الدور الذي تلعبه دورة كربس في عمليات البناء في الخلية
- المركبات المشتقة والناتجة من عملية التنفس والتي تستعمل لأغراض البناء والتمثيل
- البناء الضوئي Photosynthesis
- تركيب الورقة Leaf structure
- مصادر الطاقة الضوئية
- الشمس كجهاز نووي حراري The Sun as a Thermonuclear device
- الطاقة الإشعاعية Radiant Energy
- تركيب الكلوربلاست Chloroplast
- صبغات البناء الضوئي Photosynthetic pigments
- الكيمياء الضوئية للكلوروفيل Photochemistry of chlorophyll
- مراحل عملية التركيب الضوئي Stage of Photosynthesis
- الطاقة الضوئية الممتصة من قبل الجزيئات في الخلية النباتية
- تفاعلات الضوء
- الفسفرة الضوئية Photophosphorylation
- وحدات التركيب الضوئي Units of photosynthesis
- تفاعلات الضوء Light reaction photosystem (Light system)
- دورة الكاربون التي تمثل التركيب الضوئي Carbon cycle that represents photosynthesis
- مكونان النظام الاول PS I
- مكونان النظام الثاني PS II
- استلام الضوء بالنظامين الاول PS I والثاني PS II
- كيفية عمل النظام الاول PS I
- كيفية عمل النظام الثاني PS II
- الفسفرة الضوئية (الفسفرة الضوئية المغلقة و المفتوحة)
- تفاعلات الظلام Dark reaction photosystem (Dark system)

كلية التمريض للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

- دورة كالفن Calvin Cycle
- تثبيت الكاربون(Carbon Fixation)
- الاختزال (Reduction)
- اعادة تصنيع مستقبل ثاني أوكسيد الكاربون (Regeneration of CO_2 acceptor)(RuBP)
- العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي
- مسار تثبيت CO_2 في نباتات C3 (نباتات ثلاثية المسار الكربوني)
- مسار تثبيت CO_2 في نباتات C4 (نباتات رباعية المسار الكربوني)
- مميزات نباتات C4
- اهم الفروق بين نباتات C3 و C4
- مسار تثبيت CO_2 في نباتات CAM (Crassulacean Acid Metabolism)
- مقارنة بين نباتات ال C3 و C4 و CAM
- الهرمونات النباتية The Plant hormones (Phytohormones)
- الأوكسينات Auxins
- اماكن النبات التي يتم فيها تصنيع الاوكسينات
- انتقال الاوكسينات
- الانتحاء الضوئي
- كيفية عمل الاوكسينات
- بعض الفوائد الفسيولوجية للاوكسينات Physiological effects of Auxins
- الجبريلينات Gibberellins
- مكان تخليق الجبرلين في النباتات الراقية
- الصيغة الكيميائية لحامض الجبرليك
- كيفية عمل الجبرلينات
- بعض التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين Physiological effects of Gibberellin
- تأثير الجبرلين على استطالة الخلية
- السايتوكاينينات Cytokinins
- كيفية عمل السيتوكينيات
- التأثيرات الفسيولوجية للسايتوكاينين Physiological effects of Cytokinin
- الهرمونات المثبطة للنمو Growth Inhibitors
- حامض الابسيسيك Abscisic acid (ABA)
- دور حامض الابسيسيك (ABA) في تأقلم النباتات على درجات الحرارة المرتفعة و الجفاف
- التاثيرات الفسلجية لحامض الابسيسيك ABA
- الية عمل الـ ABA
- الإثيلين Ethylene
- البناء الحيوي للاثلين Biosynthesis of Ethylene
- هناك نظريات عديدة في آلية عمل الإثيلين منها
- التأثيرات الأساسية للإثيلين
- وتفسير تأثير الأثلين على نضج الثمار
- معيقات النمو Growth Retardants
- ميكانيكية عمل معيقات النمو (Phosphon-D, Amo-1618, CCC)
- الفينولات Phenols
- الوظائف الفسلجية والتطبيقات الزراعية للفينولات

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

- الوظائف الحيوية للفينولات
- استخدام منظمات النمو في مزارع الأنسجة (الأوكسينات ، السيتوكينينات ، الجبريللين وحامض الأبسيسيك)
- اهمية زراعة الانسجة النباتية
- النقل باللحاء نظرية عامة
- انتقال المواد العضوية
- انتقال المواد الكربوهيدراتية
- انتقال المواد النتروجينية
- انتقال الدهون والزيوت
- ميكانيكية الانتقال خلال اللحاء
- الانتشار Diffusion
- نظرية التدفق "الكتلى" Mass flow
- نظرية الانسياب البروتوبلازمي: Protoplasmic streaming
- نمو وتكوين النبات مفهوم النمو والتكوين والتمايز اماكن النمو وانواع المرستيمات ، حركية النمو
- مراحل نموّ النبات
- التمثيل Assimilation
- الأنسجة المرستيمية أو المرستيمات Meristematic tissues or Meristems
- النمو الابتدائي والنمو الثانوي
- مراحل نمو الخلية النباتية Growth Stages of the Plant Cell
- فترة النمو الكبرى: Grand period of growth
- مرحلة التزهير والإثمار في النبات Reproduction
- العوامل التي تؤثر على التزهير في النباتات
- العوامل التي تساعد على عملية الارتباع
- التطبيقات العملية لعملية الارتباع
- تقسم النباتات من حيث استجابتها لطول فترة الإضاءة اليومية
- أهمية فترة الظلام
- أهمية فترة الإضاءة
- فترة الدفع الضوئى Photo - induction period
- التأقت الضوئي وعلاقته بطول الموجة الضوئية
- الحركة الانتحائية والموضعية
- التنظيم الهرموني لعملية إنبات البذور
- الانبات وكمون البذور
- إنبات البذور Germination of Seeds
- ما هي البذرة
- الإنبات
- العوامل الخارجية الأساسية لإنبات البذور
- الفايتوكروم وحالاته وتاثيره الفسيولوجية
- الكمون Dormancy (انواع الكمون ، العوامل التي تؤدي الى الكمون)
- طرق كسر كمون البذور Methods of breaking seed dormancy

كلية التربية للعلوم الصرفة/ قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى

فسلجة النبات Plant Physiology

هو فرع من فروع علم النبات ، ويهتم بدراسة الفعاليات الحيوية المختلفة وترابطها مع بعضها البعض ، مع دراسة علاقة هذه الفعاليات بالمحيط الخارجي الذي يحيط بالنبات.

يرتبط هذا العلم مع العلوم الأخرى للنبات مثل تصنيف النبات Plant Taxonomy و وراثة النبات Plant Genetics تشريح النبات Plant Anatomy وتكيف النبات للمعيشة في Plant adaptation بيئات مختلفة.

ويدرس هذا العلم التفاعلات الكيميائية الحياتية Biochemical Reactions لمعرفة وظائف اعضاء النبات على المستوى العام والمستوى الجزيئي ، وكيفية مساعدة هذه الوظائف في عمليات النمو Growth وتكوين الازهار Flowers والثمار Fruits والبذور Seeds .

العلاقات المائية Water Relations

الماء

للماء دور مباشر او غير مباشر في جميع التحولات الايضية. للماء خواص فريدة :

1- للماء حرارة نوعية عالية. الامر الذي يمكن الانسجة الحية من امتصاص او فقدان كميات كبيرة من الحرارة دون حدوث تغيير كبير في درجة الحرارة.
2- للماء حرارة تبخر عالية تسبب فقدان مقدار كبير من الطاقة تحت ظروف التبخر مسببة عملية التبريد.
3- الماء اقل كثافة في حالته الصلبة عنه في حالته السائلة ولهذا يطفو الثلج فوق سطح الماء.
4- ترتبط جزيئات الماء مع بعضها البعض تسمى (تماسك) وتلتصق بالسطوح المختلفة تسمى (تلاصق). وهذان يعملان معا على رفع الماء في داخل جسم النبات.
5- جزيئة الماء H_2O هي قطبية ذات جانب موجب الشحنة (جزء الهيدروجين) والاخر سالب الشحنة (الاوكسجين).
6- الماء مذيب عام بسبب قابليته على تكوين عدد كبير من المركبات. وان دور الماء في الاذابة ناتج عن قابليته على تكوين اواصر هيدروجينية.

أهمية الماء للنباتات

يعتبر الماء هام للنبات واي كائن حي على وجع الارض فهو شرط من شرط حياته ويدخل الماء فى كل جزء من اجزاء النبات ، ومن المعروف أنه لا وجود للحياة بدون الماء, و ترجع أهمية الماء بالنسبة للنباتات للأسباب التالية:

1. يدخل الماء في تركيب البروتوبلاست (المادة الحية), ويمثل أحياناً حوالي 95٪ من الوزن الكلي . ومن ثم فإنه عند نقص الماء بالبروتوبلاست يتوقف نشاطه الحيوي , وعندما يزداد النقص يموت البروتوبلاست. ويرجع

ذلك لأن معظم المواد العضوية بالبروتوبلاست بما فيها الكربوهيدرات, البروتينات و الأحماض النووية تكون بحالتها الطبيعية في وجود الماء, وعند إزالة الماء منها تتأثر خصائصها الكيميائية و الطبيعية.

2. ينظم عملية فتح وغلق الثغور.

3. يوجد معظم الماء في الفجوات العصارية بالبروتوبلاست للحفاظ على انتفاخ الخلية و تماسك النبات ككل.

4. يشارك الماء و بطريقة مباشرة في العديد من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في البروتوبلاست , ومن ثم فإنه في التفاعلات الكيميائية يلزم إضافة الماء إلى أو إزالته من المادة العضوية حتى يسير التفاعل بطريقة صحيحة, كما يتضح ذلك عند تحول النشا إلى جلوكوز أو حامض الفيوماريك إلى حامض الماليك أو العكس.

5. يدخل في تركيب الانزيمات ومنظمات النمو النباتية.

6. هناك طبقة أو غلاف رقيق من الماء يحيط بكل خلية من خلايا النبات, وهذه تسمح بوجود فراغات دقيقة بالمواد الصلبة لجدار الخلية. هذا الغلاف الرقيق الذي يصل بين خلية و أخرى ويشكل شبكة تشمل النبات بأكمله من الأهمية بمكان لدخول و حركة المواد الذائبة.

7. الماء هو مصدر ذرات الهيدروجين اللازمة لاختزال ثاني أكسيد الكاربون في عملية التخليق الضوئي , كما أنها أحد نواتج التنفس.

8. الماء هو المذيب الأساسي للكثير من المواد التي تدخل في التفاعلات الكيميائية.

9. للماء وظائف عديدة أخرى , فهي – على سبيل المثال – توفر البيئة الملائمة لحركة المواد الذائبة في الخشب و اللحاء , كما أنها البيئة المناسبة لحركة الكميتات و إتمام عملية الإخصاب , هذا بالإضافة إلى أنها تمثل وسيلة مثلى لانتقال و انتشار الجراثيم , الثمار و البذور. كما أنها توفر التدعيم اللازم للنباتات المائية و النصف مائية التي تعيش بالبحار و البحيرات و الأنهار.

علاقة النبات بالماء Plant Water Relationship

الانتشار Diffusion

حاصل انتقال او حركة جزيئات المادة المذابة بين جزيئات المذيب تعرف بعملية الإنتشار. ويحدث الانتشار من المناطق ذات التركيز العالي الى المناطق ذات التركيز الواطيء .

مثلا:

- فتح قنينة عطر في غرفة مغلقة ستجد جزيئات العطر بدأت تنتشر من القنينة الى جو الغرفة وتتوزع هذه الجزيئات بصورة متجانسة في هواء الغرفة بعد فترة من الزمن.
- وضع بلورة من مادة كيمياوية قابلة للذوبان ولها خاصية التلوين في ماء نلاحظ يبدأ المذيب بالتلوين بصورة تدريجية حتى يتجانس لون المذيب.

خصائص الانتشار

1. معدل الانتشار يزداد بزيادة الحرارة وذلك لزيادة الطاقة الحركية للجزيئات .
2. زيادة تركيز وسط الانتشار يقلل من سرعة الانتشار.
3. معدل الانتشار عكسيا مع مقاومة الاحتكاك.
4. معدل الانتشار يعتمد على المساحة التي تمر عبرها المادة المنتشرة.
5. سرعة الانتشار تتناسب عكسيا مع حجم الذرات او الوزن الذري او الوزن الجزيئي اي الجزيئات الصغيرة تنتشر اسرع من الكبيرة.
6. الانتشار يعتمد على قابلية ذوبان الدقائق المنتشرة.
7. تنتقل الجزيئات او الايونات او الذرات من الجهة ذات التركيز العالي لها الى الجهة الاقل. اي من الجهة ذات اطاقة الحرة العالية الى ذات الطاقة الحرة الواطئة.

الانتشار في النباتات

يتكون الجسم النباتي من مواد وعناصر كيمياوية موجودة في التربة او الهواء وتدخل الجسم النباتي على شكل ايونات موجبة او سالبة او على شكل ذرات او جزيئات. بعضها يدخل عن طريق الاجزاء الخضرية او الجذور فمثلا:

- يدخل CO_2 عن طريق الثغور ويخرج O_2 وبخار الماء عن طريق الثغور.
- الماء، الايونات السالبة والموجبة للمعادن فتنتقل من التربة الى الجذر ثم باقي اجزاء النبات

حركة المواد داخل وخارج الجسم النباتي او من منطقة الى اخرى داخله انما يعزى الى الانتشار.

الانتشار الغازات Diffusion of Gases

سرعة انتشار الغازات ببعضها تكون اكبر من سرعة انتشار سائل في اخر او غاز في سائل او صلب في سائل ..الخ.

تعتبر الغازات اقل مقاومة لانتشار الجزيئات ويرجع ذلك الى المسافة الواسعة بين جزيئات الغاز مقارنة بالمسافة الموجودة بين جزيئات المادة السائلة او الصلبة. لذلك فان عدد مرات اصطدام جزيئات الغاز ببعضها هو اقل من عدد مرات ارتباط جزيئات المادة السائلة او الصلبة.

تتوزع جزيئات الغاز ما بين جزيئات غاز اخرى بسهولة وبسرعة ويزداد سرعة انتشار الغاز في الجو المفرغ من الهواء.

العوامل المؤثرة على معدل انتشار الغازات

1- **درجة الحراة** : تزداد سرعة الانتشار بزيادة درجة الحرارة وذلك لزيادة في الطاقة الحركية للجزيئات.
2- **وسط الانتشار**: انتشار الجزيئات يكون ابطأ كلما زاد تركيز وسط الانتشار.
3- **منحدر (ممال) الضغط الانتشاري**: تزداد سرعة الانتشار للجزيئات كلما زاد الفرق في منحدر الضغط الانتشاري بين منطقتين. حيث ان معدل الانتشار للجزيئات يتناسب طرديا مع فرق التركيز للمادة المنتشرة وعكسيا مع المسافة.
4- **كثافة الغاز**: تنتشر الغازات المختلفة بمعدلات مختلفة حتى ولو كانت تحت نفس العوامل الجوية. وقد اوضح كراهام Grahams للانتشار علاقة معدل الانتشار بالكثافة (معدل الانتشار يتناسب عكسيا مع الجذر التربيعي لكثافة تلك الغازات) كما:

$$\frac{d2}{d1} = \frac{r1}{r2}$$

r = معدل انتشار الغازات ، d= كثافة الغازات

اذا طبقت المعادلة على غاز الهيدروجين H والاوكسجي O تكون المعادلة كالاتي:

$$\frac{d\,O}{d\,H} = \frac{r\,H}{r\,O} \longleftarrow \frac{16}{1} = \frac{4}{1}$$

نلاحظ ان كثافة الاوكسجين 16 مرة اكثر من كثافة الهيدروجين وعليه يكون معدل انتشار الهيدروجين 4 مرات معدل انتشار الاوكسجين.

ضغط الجذرRoot Pressure

هي الميكانيكية المسؤولة عن تحرر الماء الى أوعية الخشب. وهذا ممكن ملاحظته عن طريق تجمع العصير الخلوي الناتج من عملية النضح على الجزء الباقي من النبات المقطوع. في النباتات الصغيرة يشارك الضغط الجذري في إنتقال المواد الذائبة والمواد غير العضوية الى الأعلى وخاصة عندما يكون معدل النتح قليلاً. قد يسبب الضغط الجذري في بعض الأحيان ظاهرة الأدماع (Guttation) في البادرات حيث أن الماء ينضح من خلال النبات ويتحرر على شكل قطرات دمعية عند نهايات الورقة . وهذه الظاهرة هي الدليل على العمليات الحيوية الجذرية الشديدة والضغط الجذري العالي. وهي ظاهرة تُلاحظ في اكثر الأحيان عند الصباح الباكر نتيجة لعرقلة عملية التبخر في الليل. وقد وُجد أن القطرات الدمعية تحتوي على مواد ذائبة, حيث وُجد أن النباتات الصغيرة تنضح البورون بهذه الوسيلة.

كلية التربية للعلوم الصرفة , قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى

العوامل المؤثرة في إمتصاص الماء:

1. **درجة الحرارة** : أن الحرارة المنخفضة تقلل أمتصاص الماء من خلال:
   - أ- جعل الماء اكثر لزوجة.
   - ب- جعل البروتوبلازم أقل نفاذية.
   - ت- عرقلة نمو الجذور.
   - ث- قلة نشاط الأنزيمات.

2 .**تركيز محلول التربة** : كلما كان الجهد المائي ذو فرق بالتدرج يؤدي الى حركة الماء. فالنباتات الملحية Halophytes تتحمل اكثر حيث أن قيمة سالبية الجهد المائي لعصارة خلاياها هي اكثر بكثير من مما هي عليه في نباتات اخرى.

3 .**تهوية التربة** : عند تعرض حقل نبات التبغ لمطرغزير ثم شمس ساطعة يظهر الذبول على نباتات التبغ في وقت قصير يسمى هذا من قبل مزارعي التبغ بالأرتخاء Flopping وتكون حادة تحت ظروف الصرف غير الجيدة. السبب هوعرقلة أمتصاص الماء نتيجة لإحلال الماء محل هواء التربة.وسببها :

- أ- نقص الأوكسيجين.
- ب- التأثير السلبي على نمو وأيض الجذر.
- ت- تجمع CO_2 في التربة.حيث أن زيادة CO_2 تزيد من لزوجة البروتوبلازم وقلة النفاذية.

4 .**توفر الماء المتيسر في التربة** : ليس كل ما موجود من ماء في التربة هو متوفر للنبات.

السعة الحقلية Field Capacity

حسب تعريف Kramer : هي محتويات التربة المائية بعد ريها بالكامل وصرف الماء حتى توقف الحركة الشعرية للماء. تختلف السعة الحقلية بأختلاف الترب.

الجهد المائي Water Potential

هو الفرق بالجهد الكيميائي لوحدة حجم واحدة بين النموذج المائي والماء النقي الحر تحت درجة حرارة واحدة. ويوضح ماموجود من طاقة في الماء وحالتها وهو يعطي صيغة موحدة بين الماء والنبات والتربة.

وهناك عدة عوامل توثر على الجهد المائي :

1. وجود المواد الذائبة في الماء
2. تاثيرات الجاذبية الارضية
3. القوى المرتبطة بالسطوح الصلبة
4. التاثيرات الكهربائية
5. الضغط الهيدروستاتي الخارجي

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

ويمكن توضيح الجهد المائي بالمعادلة التالية :

$$\Psi=Mw-Mw^{\circ}/vw$$

Ψ= الجهد المائي ، Mw = الجهد الكيميائي للماء المراد دراسته ، Mw° = الجهد الكيميائي للماء النقي تحت نفس الدرجة ، vw = الحجم الكتلي الجزيئي للماء في النظام
حيث وحدة الجهد المائي Ψ =Joules/cm^3

اما في النباتات ياخذ بنظر الاعتبار ثلاث مكونات فقط للجهد المائي كما يلي :

$$\Psi= \Psi P+ \Psi S+ \Psi M$$

ΨP = حجم الضغط وهو مساوي للضغط الهيدروستاتي (يكون قيمة موجبة كما في الضغط الانتفاخي المبذول في الخلايا وسالب في الجزء الخشبي للنبات) ، ΨS= الجهد الاوزموزي وهو ناتج من المواد الذائبة (ذا قيمة سالبة اي اقل من الصفر وهو قيمة الجهد المائي للماء النقي) ، ΨM = Matric potential حيث ان الماء يمكن ان يحيط بجزيئات البروتينات والسكريات المتعددة بواسطة اواصر هيدروجينية وبهذه الطريقة يمكن ان يحمل الماء على سطوح الخلاياوالاغشية.

الانتشار الغشائي (الخاصية الاسموزية) Osmosis

هي صافي حركة انتقال جزيئات الماء عبر غشاء نصف نافذ من منطقة ذات كثافة مائية مرتفعة (تركيز مخفف للذوائب) إلى منطقة ذات كثافة مائية منخفضة (تركيز أعلى للذوائب) دون الحاجة لاستهلاك طاقة. الغشاء النصف نافذ يسمح بنفوذ الماء (المذيب) ولا يسمح بنفوذ الذوائب (solute) مما يؤدي إلى تدرج في الضغط عبر الغشاء.

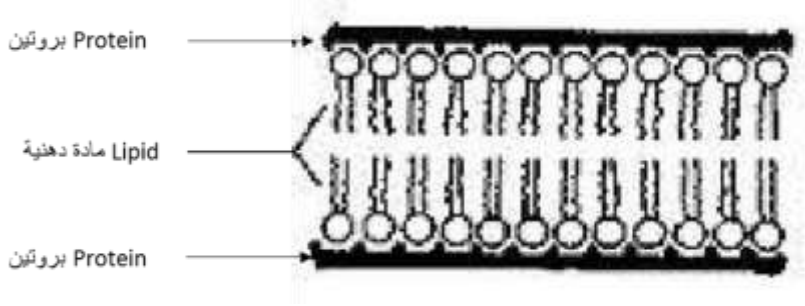
الية العملية الاسموزية

الاغشية النباتية هي انتخابية النفاذية وخاصة الغشاء البلازمي والغشاء الفجوي. حيث لهما الدور في الاسموزية لامتصاص النبات. تعتبر النباتية جهاز اسموزي حيث تفقد او تمتص الماء بالعملية الاسموزية على اساس فرق التركيز للمواد المذابة داخل وخارج الخلية.

هناك ثلاث مكونات رئيسية مشمولة بدخول الماء الى جسم الخلية النباتية وانتقاله من خلية الى اخرى وتشمل:

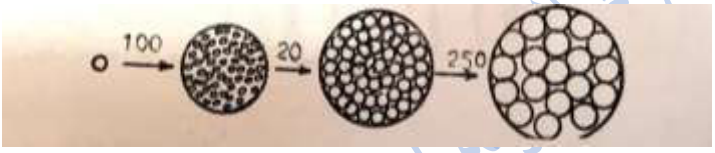
1- الفجوة Vacuole: تحتوي على محلول مائي لمواد لها قابلية على الانتشار مثل الاملاح والمعادن والسكريات والحوامض العضوية ويسمى محلول الفجوة بعصير الخلية وهو له صفات اسموزية. وان اختلاف الضغط الاسموزي يعتمد على تركيز الماء الموجود في الفجوة وعلى تركيز المواد المذابة.
2- السايتوبلازم Cytoplasm: يحاط السايتوبلازم بغشاء انتخابي النفاذية ويسمى الغشاء البلازمي Plasma Membrane. كما ويحيط الفجوة غشاء انتخابي النفاذية يسمى الغشاء الفجوي Vacular Membrane يتكون الغشاء البلازمي والفجوي من البروتين Protein ومادة دهنية Lipid والماء.

يمر الماء عبر هذه الاغشية بصورة حرة . تؤثر بعض العوامل على نفاذية الغشاء مثل درجة الحرارة ، pH ، عمر النسيج ، وجود الايونات.



رسم تخطيطي للغشاء الحيوي

3- جدار الخلية Cell Wall : يحدد الجدار شكل الخلية حيث يغلف بروتوبلاستها. هو تركيب متن ومرن في نفس الوقت ، حيث يساعد على مقاومة المؤثرات الخارجية. حيث يتكون الجدار الابتدائي من مادة السيلوز واشباه السيليلوز وبكتات الكالسيوم، وهو يسمح بمرور الماء والمواد المذابة والغازات بسهولة ويحتفظ بكميات من الماء ما بين اليافه الدقيقة.



رسم تخطيطي يوضح ارتباط الحبال السليلوزية الجزيئية ومساحة المقطع العرضية

الضغط الاسموزي Osmotic Pressure (O.P)

هو اقصى ضغط يمكن الحصول عليه في محلول ما تحت ظروف مثالية للاسموزية. ويتناسب طرديا مع تركيز المحلول. حديثا يستعمل مصطلح الجهد الاسموزي Osmotic Potential بدل من الضغط الاسموزي. حيث كلاهما متساويان في المقدار ولكن مختلفان في الاشارة فالجهد الاسموزي سالب اما الضغط الاسموزي موجب.

العوامل المؤثرة على الضغط الأسموزي للخلية النباتية

من بين العوامل المؤثرة على الضغط الأسموزي للخلايا نذكر:

أولاً- **بيئة النبات** (الوسط الخارجي الذي ينمو فيه النبات) وتشمل بيئة النبات :

1) **عوامل التربة**: تشمل تركيز محلول التربة بتأثر الضغط الأسموزي للخلايا بكمية الذائبات (الأملاح) الموجودة في الوسط أو التربة التي تنمو فيه النبات فمثلاً النباتات الملحية التي تنمو في الأراضي الملحية لها ضغط أسموزي أعلى من الضغط الأسموزي للنباتات الوسطية وأعلى من الضغط الأسموزي للنباتات المائية.

تجدر الإشارة أن إضافة أملاح إلى التربة يؤدي غالباً إلى زيادة الضغط الأسموزي للنباتات النامية في هذه التربة ويعلل ارتفاع قيمته في هذه الحالة إلى ما يلي- :

سؤال/ علل ارتفاع الضغط الأسموزي للخلايا عند إضافة أملاح للتربة.

جواب/ وذلك لامتصاص النبات لمزيد من الأملاح لمحلول التربة وكذلك نقص امتصاص الماء من محلول التربة.

المحتوى المائي للتربة: نقص الماء في التربة يؤدي إلى زيادة محلول التربة الذي يؤدي بدوره إلى امتصاص النبات لقليل من الماء وبالتالي يرتفع الضغط الأسموزي للخلايا ولذلك يلاحظ الضغط الأسموزي للنباتات الجافة يكون أعلى من الضغط الأسموزي للنباتات المائية.

2) **عوامل المناخ**: وتشمل

أ- الضوء : شدة الضوء تزيد من معدل التمثيل الضوئي – الذي تساعد على زيادة الضغط الأسموزي للخلايا.

ب- درجة الحرارة: الحرارة المرتفعة تزيد من معدل التنفس والذي يلعب دور في خفض الضغط الأسموزي للخلايا أي أن النقص في درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة الضغط الأسموزي يكثر في النباتات.

ت- تؤدي زيادة الرطوبة الجوية إلى نقص فقد الماء من النباتات عن طريق النتح الأمر الذي يؤدي إلى ارتفاع المحتوى المائي للورقة وبالتالي إلى نقص قيمة الضغط الأسموزي للخلايا والعكس صحيح.

ثانياً: موضع الخلية النباتية:

بصفة عامة يزداد الضغط الأسموزي للعصير الخلوي كلما بعد النسيج عن مصدر الماء. وهذا هو السبب في أن الضغط الأسموزي للأوراق يكون أعلى من الضغط الأسموزي في السيقان التي تكون بدورها أعلى من الضغوط الأسموزية للجذور وقد يتفاوت الضغط الأسموزي للأنسجة المختلفة التي تكون العضو الواحد.

ثالثاً: عمر النسيج النباتي:

بصفة عامة يكون الضغط الأسموزي للأنسجة الحديثة أعلى من الضغط الأسموزي للأنسجة المسنة غالباً.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك نتائج تتعارض مع ذلك فقد لوحظ أن الضغط الأسموزي للثمار الصغيرة التي لم يكتمل نموها يكون أقل من الضغط الأسموزي للثمار الناضجة ويعتبر ذلك على أساس الزيادة المحسوسة في المحتوى من السكريات التي تتكون في الثمار كلما تقدمت في النضج.

رابعاً: نوع النبات:

لوحظ أن الضغط الأسموزي للأشجار والشجيرات تكون أعلى من الضغط الأسموزي للأعشاب والحوليات وقد لوحظ أن الضغوط الأسموزية للنباتات المتطفلة يكون أعلى من الضغط الأسموزي للنبات العائل.

البلزمة Plasmolysis

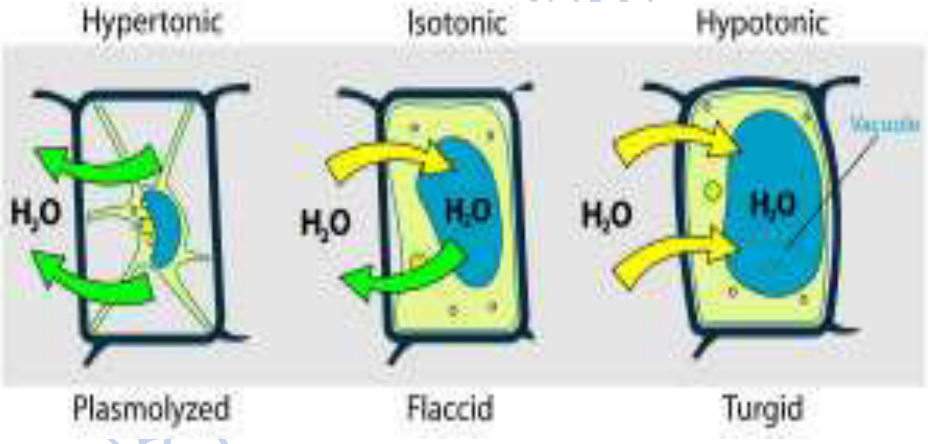
هي خروج الماء من الفجوة الى خارج الخلية و تقلص السايتوبلازم بعيدا عن جدار الخلية ، فاذا ما وضعت الخلية النباتية في محلول ما له جهد مائي اقل من الجهد المائي للعصير الخلوي فسوف ينتشر الماء ويخرج من الخلية الى المحلول الخارجي . و ان معظم الماء الذي يخرج من الخلية يكون عادة من الفجوة فكلما نقصت الفجوة في الحجم كلما تقلص السايتوبلازم و بدأ بالانفصال و الابتعاد عن جدار الخلية.

انواع البلزمة:

1. **البلزمة الموقتة** : تحدث للخلايا التي تمر ببلزمة خفيفة حيث انها تستطيع ان تستعيد حالتها الطبيعية اذا ما وضعت في الماء او في محلول اخر ذو جهد مائي اعلى من الجهد المائي للخلية.
2. **البلزمة الدائمية** : تحدث للخلية التي مرت ببلزمة شديدة ، و ابتعد المحتوى البروتوبلازمي عن الجدار و اتخذ شكلا كرويا داخل الخلية النباتية.

سلوك الخلايا في المحاليل المختلفة

1. **المحاليل عالية التركيز Hypertonic solutions** : هي محاليل ذات ضغط اسموزي اعلى من الضغط الاسموزي للعصير الخلوي وعند وضع الخلية في هذه المحاليل فان الخلية ستنكمش (تتبلزم).
2. **المحاليل قليلة التركيز Hypotonic solutions** : هي محاليل ذات ضغط اسموزي اقل من الضغط الاسموزي للعصير الخلوي وعند وضع الخلية في هذه المحاليل فان الخلية تنتفخ.
3. **المحاليل متساوية (متعادلة) الاسموزية Isotonic solution** : هي محاليل ضغطها الاسموزي يساوي الضغط الاسموزي لعصارة الخلية وفي هذه الحالة عند وضع الخلية في مثل هذا المحلول لا يحدث اي تغير في حجمها وتبقى كما هي بدون اي تغيير.



بلزمة الخلية يحافظ على نفس حجم الخلية انتفاخ الخلية

رسم يوضح سلوك الخلايا النباتية في المحاليل المختلفة

نقص الضغط الانتشاري Diffusion Pressure Deficit (D.P.D.)

نقص الضغط الانتشاري للماء في محلول يساوي مقدار نقض ضغط انتشاري عندما يكون ماء نقيا تحت درجة حرارة وظروف جوية متساوية.

الانتفاخ والضغط الانتفاخي Turgor and Turgor Pressure

هو الضغط الموجه من المحلول الداخلي للخلية المنتفخة على الجدار في حالة الانتفاخ الاعظم بالضغط الانتفاخي (T.P.) Turgor Pressure ويسمى الضغط الموجه من جدار الخلية على محتوياتها والذي يساوي ويعاكس الضغط الانتفاخي بالضغط الجداري (W.P) Wall Pressure

النفاذية (التنافذ) Permeability

تعرف النفاذية بأنها مرور الماء والمواد الذائبة فيه عبر غشاء الخلية المتمايز النفاذيه (الانتقائي). وتعرف ايضا أنها كمية أو عدد الجزيئات التى تنفذ من جانب إلى آخر خلال وحدة سطح الغشاء أو الجدار (١ م^{٢} أو 1 سم^{٢}) فى وحدة الزمن دقيقة أو ثانية أو ساعة تحت ظروف ثابتة من الضغط ودرجة الحرارة.

أن غشاء الخلية ذو نفاذية أنتقائية اي انة يسمح للماء وبعض المواد الذائبة فيه بالمرور خلاله بينما يمنع مرور مواد اخرى وبالاضافة الى ذلك فان غشاء الخلية يسمح لبعض المواد بالدخول الى الخلية ويمنع خروجها ,فمثلا تتجمع بعض العناصر الاساسية لتغذية النبات في الخلية بتركيز اعلى مما هو موجود في وسط نمو النبات واظهرت اغلب التحليلات الفيزياوية والكيمياوية لهذا الغشاء أنه يتكون من مواد دهنية من نوع المواد الدهنيه المفسفرة بشكل مركزي كطبقة ثنائية الجزيئات تحيط بها المواد البروتينية بصورة طبقة أحادية الجزيئات

ارتباط النفاذية مع الاغشية ارتباطا وثيقا وهي صفة للغشاء وليس للمواد المارة من خلاله. فقد تعمل طبقات رقيقة لانواع مختلفة من المواد كاغشية اختيارية النفاذية مثل المطاط وورق السيلوفان والكولوديون والجلاتين والطبقات الرقيقة من مادة سيانيد الحديد النحاسية والغشاء البلازمي والغشاء الفجوي. مثل هذه الاغشية تتحكم في مرور المواد خلالها ، حيث تمر خلالها بعض المواد بصورة حرة واخرى تمر ببطيء بينما لا تنفذ خلالها مواد اخرى ، حيث تعمل الاغشية اختيارية النفاذية كغربال جزيئي. فقد تمر خلال الثقوب الدقيقة الموجودة فيها دقائق شبه غروية Micelles او جزيئات Molecules او ايونات Ions ذات حجوم محددة ولكن لا تمر خلال هذه الاغشية عندما تكون حجومها اكبر من ذلك. وتسمى بعض الاغشية اختيارية النفاذية بسبب ذوبان مواد معينة فيها دون اخرى.

علاقة النفاذية بتضاد الايونات وتعاونها

الاملاح الموجودة في بيئة الخلية لها تاثير على نفاذية المواد المختلفة خلال الغشاء. فقد تنفذ الايونات الموجبة احادية الشحنة بسرعة معينة خلال الغشاء اذا كانت منفردة اما اذا وجد في الوسط ايونات موجبة ثنائية الشحنة فأن الاحادية الشحنة تقل نفاذيتها كثيرا . وهذا يفسر موت بعض النباتات البحرية مثل Laminaria اذا نقل الى كأس فيه محلول ملح واحد سوي التركيز وعدم موت النبات اذا وضع في محلول ملحين مختلفي التكافؤ.

غمر النبات في محلول KCl و NaCl السوي التركيز يزيد من النفاذية وتصبح الخلايا منفذة تماما لل KCl ويموت البروتوبلازم ويتلف الغشاء ويموت النبات.

الالكتروليتات تتأين الى ايونات حاملة لشحنات كهربائية. كلما كانت شحنة الايون الموجبة قوية عرقلت دخول الايون للخلية. وكلما كان تكافؤ الايون اعلى قلت نفاذيته. مثلا Na^{+} وK^{+} تنفذ اسرع من ايونات Mg^{+2} وCa^{+2} وهذه اسرع من Fe^{+3}. كما ان Cl^{-} و NO^{3+} تدخل اسرع من SO_4^{-2}.

المواد المتأينة لاتنفذ بسهولة عبر الاغشية الخلوية كونها مواد قطبية .حيث ان الايونات بتراكيز معينة قد يزيد من نفاذية بعض الايونات الاخرى التي تحمل الشحنة الكهربائية نفسها وتسمى الظاهرة بالمعاونة Synergism مثل اضافة ايونات الكالسيوم بتراكيز قليلة الى ايونات البوتاسيوم حيث تؤدي الى زيادة نفاذية البوتاسيوم.

نفاذية المواد العضوية

- تتوقف نفاذية المواد العضوية على تركيها الكيماوي.
- اذا كانت المجاميع الكيماوية عليها غير قطبية فهي تمر بسرعة لسرعة ذوبانها في الدهن مثال الميثايل والإيثايل.
- اذا كانت المجاميع عليها قطبية يكون مرورها خلال الغشاء بطيء مثال مجموعة الهيدروكسيل ومجموعة الكربوكسيل.

قواعد عامة لنفاذية المواد عموما :

1- كل المركبات سريعة الذوبان في الدهن لها القدرة على المرور خلال الغشاء. كلما وجدت مجاميع قطبية مثل OH والكاربونيل CO والكاربوكسيل COOH والامين NH_2 في المواد زادت القطبية وقلت قابلية ذوبانها في الدهون وانخفض معدل النفاذية (بسبب تكوينها اواصر هيدروجينية مع الماء).
2- كلما زاد عدد مجاميع الهيدروكسيل OH نقصت درجة ذوبانها في الدهن.
3- استبدال ذرات الاوكسجين بذرات الكبريت يزيد الذوبان بالدهون فتزداد النفاذية .
4- الاحماض الامينية نفاذيتها بطيئة.
5- زيادة طول السلسلة الكربونية يزيد مقدرة الجزيء على النفاذية.

العوامل المؤثرة على نفاذية الاغشية الحية:

1. pH الوسط : زيادة او قلة الحامضية (pH) تؤثر على تأين المواد وكذلك هيئة وتركيب بروتوبلازم الغشاء
2. الاشعاعات تقلل من النفاذية وذلك من خلال تغييره الفتحات في الغشاء البلازمي او ربما تغيير النظم الانزيمية التي تعمل على نقل الدقائق خلال الغشاء
3. تأثير المواد المذابة في بيئة النبات
4. ظاهرة التضاد او تأثير الايونات
5. درجة الحرارة : حيث زيادتها تزيد من النفاذية ثم تقل النفاذية بسبب الضرر للاغشية

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

6. النشاط الفسيولوجي للخلايا : حيث الخلايا النشطة تستهلك كميات كبيرة من المواد الغذائية (الذائبات) مقارنة بالخلايا غير النشطة وبذلك يظل هناك منحدرا لتركيز الذائبات من خارج الغشاء الى داخله.

التشرب Imbibition

يعتبر التشرب من العمليات التي يتم بواسطتها اخذ الماء من قبل النبات ويعتبر التشرب نوع خاص من الانتشار ويستمر التشرب ما دام هناك فرق في الضغط الانتشاري بين السوائل في المادة المتشربة والسائل في المحيط الخارجي. والتشرب احد اسباب حركة الماء في الجسم النباتي.

ان زيادة حجم البذور الموضوعة في الماء او التربة الرطبة يعزى الى تشربها بالماء ، حيث تدمص الماء بسرعة من الوسط المحيط بها فتخترق جزيئات الماء المساحات الخلوية الداخلية لجدار الخلية وأجزاء الخلية الأخرى وهذا يعود إلى قوى الأدمصاص حيث تؤدي هذه القوى إلى إنتفاخ البذور. إن هذا النوع من الإمتصاص للماء يجهز البذور بالماء الذي تحتاجه بعملياتها الكيميائية الحيوية والتي بدورها تسبب الإنبات Germination .

يمكن إعتبار التشرب نوعاً خاصاً من الأنتشار، حيث إن حركة الماء هي في اتجاه التدرج الأنتشاري ويمكن بواسطتها دخول الماء إلى النبات. فإذا وضعنا مادة نباتية جافّة في الماء يحدث إنتفاخ ملحوظ يؤدي في بعض الأحيان إلى زيادة كبيرة في الحجم.

مثال : يتكون ضغط هائل عند وضع عُصي خشبية جافّة في شق صغير في صخرة ثم غُمِرت بالماء ، يتكون ضغط كافي لتحطيم الصخرة.

الشروط الضرورية للتشرب:

1- وجود فرق في الجهد المائي بين المادة الشاربة للماء و السائل المتشرب.
2- وجود ألفة بين مكونات المادة الشاربة للماء والماء المتشرب.

ملاحظة: ليس من الضروري للمادة الشاربة للماء أن تتشرب كل أنواع السوائل . فمثلاً المادة النباتية الجافّة المغمورة في الإيثر لا تنتفخ بقدر كبير، إلاّ أن المطاط شارب جيد للإيثر و ينتفخ بمقدار كبير.

الضغط التشربي Imbibition Pressure (I.P.)

يعتبر الضغط التشربي مناظر للضغط الاسموزي حيث يمثل اعلى ضغط كامن يمكن ان ينشأ في المادة المتشربة عند وضعها في ماء نقي كما ويمكن اعتبار الضغط الحقيقي الذي ينشأ عن تشرب الماء وهو ضغط انتفاخي . ويمكن ان يضع بالمعادلة التالية:

DPD=IP-TP

وهذا هو مشابه للانظمة الاسموزية حيث ان نقص الضغط الانتشاري مساوي للضغط الاسموزي مطروحا منه قيمة الضغط الانتفاخي. ولكن عند عدم حدوث ضغط انتفاخي في المادة المتشربة لذا لمعادلة السابقة يمكن ان تبسط الى:

DPD=IP

العوامل المؤثرة على معدل ومدى التشرب

يتاثر مدى ومعدل التشرب بصورة اساسية بما يلي :

1. درجة الحرارة: حيث ان درجة الحرارة لا تؤثر على كمية الماء المتشرب ، ولكن تؤثر غلى معدل عملية التشرب. كلما زادت درجة الحرارة تسبب زيادة في معدل التشرب.
2. الضغط الاسموزي للمادة المتشربة: حيث تتاثر كمية الماء المتشرب ومعدل التشرب بالضغط الاسموزي للمادة المتشربة. اضافة مادة مذابة الى الماء النقي سوف يخفض الضغط الانتشاري للماء. مما يؤثر في انتاج تدرج في الضغط الانتشاري بين محلول الماء والمادة المتشربة اقل مما هو الحال في تدرج الضغط الانتشاري بين الماء النقي والمادة المتشربة نفسها. فالنقص في تدرج الضغط الانتشاري يولد نقص في معدل تشرب الماء وكميته الممتصة.

الأهمية الأحيائية للتشرب

1- يعتبر التشرب من العمليات التي تتيح للنبات امتصاص الماء؛ فالماء الذي تمتصه البذور مصدره الرئيس التشرب.
2- حصول الخلايا المرستيمية والخلايا النامية ذات الفجوات الصغيرة على الماء يكون يتضمن قدراً أساسياً من التشرب.
3- كذلك فإن القدرة التشربية لحبيبات التربة الدقيقة وللمواد العضوية التي توجد بها تزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء حول الجذور مما يتيح لها مزيداً من الامتصاص.

امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقاله الى النبات

تتلخص حركة الماء للنبات فيما يلي:-

أولاً- امتصاص النبات للماء

ثانياً- صعود العصارة (انتقال الماء والذائبات من الجذور إلى أعلى الشجرة)

ثالثاً- فقد الماء (النتح)

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

أولاً: امتصاص الماء:

من المعروف أن أجهزة امتصاص الماء تختلف في النباتات باختلاف طبيعة حياتها فمن النباتات الراقية ما يعيش مغمور تحت سطح الماء وفيها يتم امتصاص خلال جميع الأعضاء بما فيها السيقان والأوراق ومنها ما يعيش كافياً وفيها يتم امتصاص الماء عن طريق الأجزاء المغمورة فقط سوى كانت جذوراً أو أوراق.

وهناك قسم آخر من النباتات وهو الأكثر شيوعاً التي تنمو في التربة حث تمتص الماء أساساً عن طريق الجذور ويتأثر امتصاص بعاملين أساسيين هما:

أ- الأسموزية ب- التشرب (وقد سبق الإشارة إليها)

أنواع امتصاص الماء

يمكن تقسيم عمليات امتصاص الماء في النباتات الأرضية إلى ثلاث أنواع هي:-

أ- الامتصاص السطحي عن طريق الأوراق.

ب- الامتصاص المباشر للماء بواسطة الجذور.

ج- الامتصاص غير المباشر [السلبي] وهو يتم خلال الجذور ولكن تحت تأثير الأعضاء الهوائية للنبات.

أ – الامتصاص السطحي عن طريق الأوراق

وفيه يتم امتصاص الرطوبة من الجو عن طريق الأوراق وذلك في البيئة التي تتميز بمميزات هي:-

1- كثرة الندى 2- ارتفاع الرطوبة 3- قلة الأمطار

س/ ما هي العوامل أو الظروف التي يتم عن طريقها امتصاص الأوراق للماء ؟

ج/ يتم الامتصاص عن طريق بشرة الأوراق لا عن طريق الثغور ثم ينتقل الماء بعد ذلك إلى باقي خلايا الورقة وتتوقف كمية الماء التي تمتصها الأوراق على ما يلي:

(1) قابلية خلايا البشرة لامتصاص الماء ، (2) درجة إنفاذ طبقة الأدمة للماء و(3) عمر الأوراق هل هي حديثة أم مسنة

ب- الامتصاص المباشر للماء عن طريق المجموع الجذري

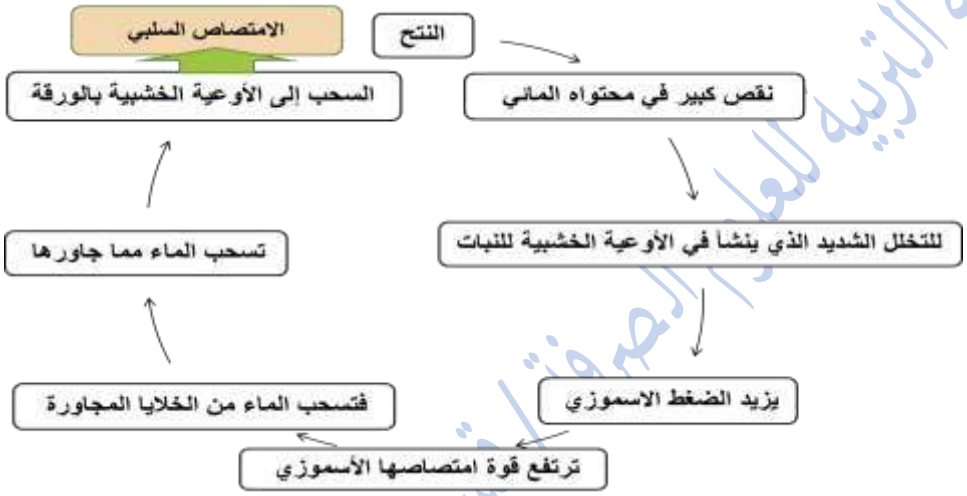
يحدث هذا الامتصاص عن طريق الشعيرات الجذرية بصفه أساسية والخاصية الأسموزية هي العامل الرئيس التي ينتقل عن طريقها الماء من الشعيرات الجذرية إلى الخلايا الأخرى حيث يمر الماء خلال أغشية الخلايا [شبه منفذه] من التربة ذات المحلول المخفف إلى الشعيرات الجذرية [عصيرها الخلوي أكثر تركيزاً] ثم يمر الماء إلى الطبقات الخارجية للشعيرات إلى الطبقات الداخلية طبقاً لمعدل الضغط الأسموزي إلى أن يصل الماء إلى الأوعية الخشبية .

ج- الامتصاص غير المباشر للماء [الامتصاص السلبي]

الجزء الأكبر من الماء الذي تمتصه النباتات يدخل الجذر نتيجة قوة غير أسموزية تسمى السحب النشط (نظرية التماسك والتلاصق) وهي قوة شد إلى أعلى يسببها النتح منتجة للتخلل الشديد الذي ينشأ في الأوعية الخشبية للنبات تحت تأثير النتح وليس نتيجة للامتصاص المباشر للجذر، وذلك لأن النتح من الأوراق يؤدي إلى نقص

كبير في محتواه المائي وهذا يزيد من ضغطها الأسموزي ومن ثم ترتفع قوة امتصاصها الأسموزي فتسحب الماء من الخلايا المجاورة لها وهذه بدورها ترتفع قوة امتصاصها الأسموزية ثم تسحب الماء مما جاورها وهكذا حتى يصل السحب إلى الأوعية الخشبية بالورقة.

وعلى ذلك يتعرض الماء في هذه الورقة إلى شد إلى أعلى ولما كان الماء يكون عموداً أو خيطاً في الأوعية الخشبية من الجذر إلى الورقة فإن قوة الشد هذه تنتقل إلى أسفل خلال عمود الماء وحيث أن قوة التماسك بين جزيئات الماء كبيرة فإن أي فقد لأي كمية من الماء من طرف عمود الماء في الأوعية الخشبية للورقة يتبعه سحب بقية عمود الماء إلى أعلى كوحدة متصلة. ويسمى هذا النوع من الامتصاص غير مباشر أو السلبي



مخطط الامتصاص السلبي قوة غير أسموزية تسمى السحب النشط (نظرية التماسك والتلاصق)

العوامل المؤثرة في الامتصاص

يتأثر امتصاص الماء بعدة عوامل هي

- **العوامل البيئية (عوامل خارجية)** وهي تشمل

1- **درجة الحرارة**: سرعة امتصاص الماء من التربة تزداد بارتفاع درجة حرارتها وتنخفض بانخفاضها والسبب هو:

أ- زيادة الطاقة الحركية لجزيئات الماء مع ارتفاع الحرارة

ب- زيادة نفاذية الأغشية البلازمية في منطقة الامتصاص مع ارتفاع درجة الحرارة

2- **المحتوى المائي للتربة:** تزيد سرعة امتصاص النبات للماء بزيادة نسبيه فيها بشرط أن لا يغمرها والعكس بالعكس

3- درجة تهوية التربة:- فالتهوية الكافية للتربة ضرورية لامتصاص الماء عن طريق الجذور حيث أن النبات لن يستطيع امتصاص الماء تحت الظروف اللاهوائية.

4- **نسبة الأملاح الذائبة في ماء التربة:** عند زيادة تركيز محلول التربة يقل امتصاص الماء ويقف الامتصاص تماماً عندما يكون الضغط الأسموزي لمحلول التربة يساوي قوة امتصاص خلايا الجذر للماء وتعتبر التربة في هذه الحالة جافة من الناحية الفسيولوجية رغم تشبعها بالماء.

- **عوامل داخلية في النبات**

حينما تكون البيئة ملائمة فإن امتصاص النبات للماء يتحكم فيه عدة عوامل من النبات نفسه أهمها:

1- معدل النتح: أي أن زيادة النتح تزيد في عملية الامتصاص.

2- كفاءة المجموع الجذري: حيث تنخفض امتصاص الماء إذا كان المجموع الجذري ضعيف.

ثانياً: صعود العصارة إلى الأوراق (صعود الماء والذائبات)

1- صعود الماء إلى الأوراق:

اختلفت الآراء في ما مضى حول الأنسجة التي ينتقل فيها الماء من الجذر إلى الأوراق.

- رأي يقول: أنه ينتقل عن طريق الخلايا الحية بواسطة الأسموزية والتشرب.
- ورأي يقول: أنه ينتقل عن طريق الأوعية الخشبية وقصيباتها بصفة أساسية.

ومن الأدلة على انتقال الماء خلال نسيج الخشب ما يلي:

أ- عند غمر الطرف السفلي لساق نبات به أوراق حديث القطع في محلول مائي للأيوسين ذو اللون الأحمر يلاحظ بعد فترة وجود اللون الأحمر داخل عروق الأوراق وبعمل قطاع في الساق يلاحظ اللون الأحمر مقصور على الأوعية الخشبية.

ب- عند إزالة الأنسجة المحيطة بالخشب (القشرة واللحاء) وهو ما يعرف بتحليق الساق في منطقة ضيقة من الساق طالت الأوراق التي تحملها هذه الساق في حالة امتلاء طبيعية طالما أن الماء متوفر للجذر وهذا يدل على أن الخشب وحده كافي لسد حاجة الأوراق من الماء

2- ميكانيكية رفع الماء (العوامل أو القوى المؤثرة في صعود العصارة)

هناك نباتات قد يبلغ ارتفاعها أكثر من 100 متر فكيف تصعد العصارة من الجذر إلى الساق خلال الخشب حتى تصل إلى الورقة توجد أربعة فروض أو نظريات لتفسير ذلك:

1- الضغط الجذري

وهي (قوة ضغط الماء الناتج عن الدخول) عند قطع ساق نباتي نلاحظ أن الماء يتدفق من السطح المقطوع إلى الخارج والجذر هو المسئول عن هذا الضغط الذي يدفع بالماء إلى الخرج وقد قدر الضغط الجذري في الأوعية الخشبية لبعض النباتات فوجد أنها تتراوح بين 1 إلى 2 ضغط جوي ويمكن للضغط الجذري أن يرفع الماء إلى ارتفاع أقصاه عشرين متر وهذه الفرضية أو النظرية لا يمكن اعتبارها أن الضغط الجذري الآلية الأساسية التي ينتقل الماء بواسطتها إلى أعلى النبات.

2- الخاصية الشعرية

وهي خاصية انتقال السوائل خلال الأنابيب الشعرية الدقيقة وتساعد هذه الخاصية على رفع العصارة في الأوعية الخشبية إلى علو بسيط نظراً لأتساع أوعية الخشب نسبياً. وذلك لا توضح الخاصية الشعرية انتقال الماء في النباتات التي تزيد عن عشرين متر.

كلية التربية للعلوم الصرفة/ قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى

3- خاصية التشرب

تمتاز جدر الأوعية الخشبية بخاصية التشرب وبالتالي يرتفع الماء في جدر الأوعية الخشبية بخاصية التشرب نظراً لطبيعتها الغروية. والتشرب عملية فيزيائية تتم ببطء ولا تصلح لتفسير انتقال الماء خلال الخشب.

4- نظرية التماسك والتلاصق:

وهي (لتخلل الناتج عن النتح) إن هذه النظرية توضح كيفية ارتفاع الماء في الأشجار المرتفعة والتي تزيد عن 100 متر وهي تنص على:-

[نظراً لقوة التماسك بين جزيئات الماء فإن أعمدة العصارة التي تملاء تجاويف أوعية الخشب تسحب إلى قمة النبات بقوة شد عظيمة ناتجة عن النتح هنا بالإضافة إلى أن قوة التلاصق بين جزيئات الماء وجدر الأوعية الخشبية تعمل على غط عمود الماء مغلقاً]

ولتفسير العصارة على ضوء هذه النظرية أرجع إلى الامتصاص غير المباشر. ويمكن القول أن تماسك الجزيئات مع بعضها وتلاصق هذه الجزيئات مع جدران الأوعية إلى أن فقدان أي كمية من طرف العمود يؤدي إلى سحب بقية العمود المتصل بماء التربة.

3- صعود الذائبات

تحتوي العصارة على نوعين من الذئبات:-

أ- ذائبات غير عضوية (الأملاح المعدنية) وهي مع الماء تشكل العصارة غير المجهزة.

ب- ذائبات عضوية: وهي تشكل مع الماء العصارة المجهزة.

ويمكن توضيح ذلك على النحو التالي:-

أ- انتقال الذائبات غير العضوية:

عملية نقل الأملاح المعدنية خلال غشاء الشعيرة الجذرية طاقة وهي تحدث بغض النظر عن تركيز الأملاح في التربة وتدخل الأملاح المعدنية على شكل أيونات وهي تنتقل من أسفل النبات إلى أعلاه باتجاه قمي كما تنتقل في اتجاهات شعاعية بين أنسجة النبات وهي تنتقل عن طريق الأوعية الخشبية.

ب- انتقال الذائبات العضوية (العصارة المجهزة)

وهي تظم الأحماض الأمينية والكربوهيدرات والأحماض العضوية وغيرها وهي تنتقل خلال الأنابيب الغربالية المنتشرة اللحاء في اتجاهات مختلفة في اتجاه قمي من الأوراق البالغة إلى الأعضاء الأرضية خاصة أثناء تخزين المواد الغذائية في اتجاه قمي وقاعدي على حدٍ سواء من الأوراق البالغة إلى الثمار النامية أي إن كان وضع هذه الأعضاء من الثمرة.

كلية التربية للعلوم الصرفة/قسم علوم الحياة/جامعة المثنى

آلية نقل الغذاء المجهز في النبات:

هناك نظريتان:

أ- عن طريق الانتشار الغشائي والخاصية الأسموزية على أساس فيزيائي.

ب- عن طريق النقل النشط والحركة السيتوبلازمية تحتاج إلى طاقة.

ثالثاً: فقد الماء من النبات

يفقد الماء من النبات إما على هيئة بخار وهذا ما يسمى بالنتح أو في صورة سائلة ويعزى فقد الماء في صورة سائلة إلى ظاهرة الإدماع والإدماء والمقصود بالإدماع هو خروج الماء وما به من عصارة في صورة سائلة بعيداً عن الثغور ويحدث هذا الفقد باستمرار من خلال الثغور المائية أما الإدماء فهو خروج الماء عن جرح النبات.

النتح: هو عملية فقد الماء من النبات على هيئة بخار

فوائد النتح للنبات:

1- يعمل النتح كجهاز تكيف للنبات حيث أنه يبرد الأنسجة في الأوراق وذلك يمنع الأضرار الناتجة من درجات الحرارة العالية.

2- يعمل النتح على تقليل النمو مما يعطي الفرصة لنمو أعضاء التكاثر وهي الأزهار والثمار وبالتالي نضج النبات مبكراً .

3- زيادة النتح تعمل على زيادة امتصاص الماء من التربة والمواد اللازمة للنمو.

4- النتح يعمل على رفع العصارة إلى أعلا بالإضافة إلى بعض المواد العضوية التي قد يتم تكونها في الجذور.

يحدث معظم النتح من الأوراق ويمكن اعتبار أن النتح يحدث على مرحلتين:

أ – تبخير الماء من خلايا نسيج الورقة وتجمع ذلك البخار في المسافات البينية التي توجد بين الخلايا.

ب – نفاذ البخار من هذه المسافات إلى الوسط الخارجي.

س/ من أين ينفذ أو يخرج هذا البخار ؟

ج/ يخرج من خلال الثغور أو العديسات أو الأدمة.

أنواع النتح:هناك ثلاثة أنواع من النتح وهي:

1. **النتح الثغري**: ينفذ معظم البخار عن طريق الثغور وهو ما يسمى بالنتح الثغري وغالباً حين يذكر النتح فإن المقصود به هو النتح الثغري.
2. **النتح الكيوتيني** (الأدمي): هناك كمية من بخار الماء تنفذ من خلال جدر خلايا البشرة المغطاة بالكيوتين وهذا النوع من النتح يسمى بالنتح الكيوتيني أو الأدمي. وتعتمد كمية البخار المفقودة من النتح الكيوتيني على سمك الأدمة وطبيعتها فمثلاً يكون النتح عالياً نسبياً في الأوراق حديثة التكوين.
3. **النتح العديسي**: تفقد النباتات الخشبية جزء من مائها عن طريق العديسات المنتشرة في سيقانها والتي تمثل فتحات تقفل حسب الحاجة.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

- **الثغور**:-

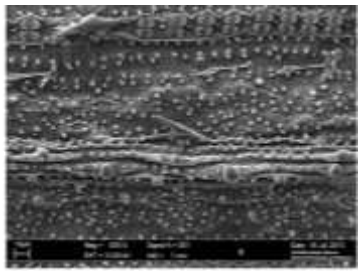
هي فتحات في الأوراق غالباً يتم خلالها الاتصال بين الوسط الخارجي والنبات حيث يتم من خلالها تبادل الغازات مثل CO_2 و O_2 وبخار الماء.

- **توزيع الثغور**:-

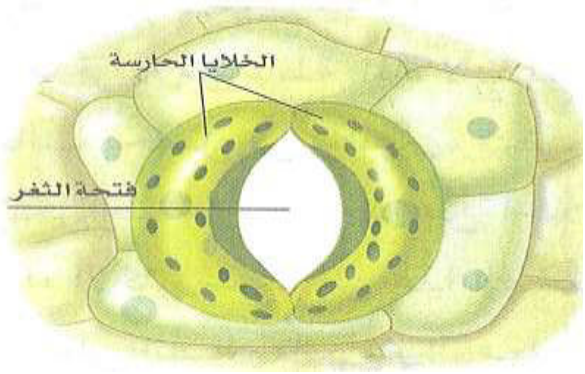
توجد الثغور على جميع الأجزاء الهوائية للنبات خاصة الأوراق (لا توجد في الجذور أو الأجزاء المغمورة بالماء) ويختلف عددها حسب نوع النبات ووضع الورقة واتجاهها بالنسبة للضوء في الأوراق التي يتعرض سطحها العلوي للضوء، توجد الثغور بوفرة على السطح السفلي بينما الأوراق التي يتعرض سطحيها للشمس يتساوى عدد الثغور على السطحين.

- **تركيب الثغر**:-

يتركب الثغر من: (1) خليتان حارستان وهي تختلف عن خلايا البشرة بأنها تحتوي على بلاستيدات خضراء وأن جدرها ذات تغليظ غير منتظم. (2) فتحة الثغر. (3) غرفة تحت ثغرية.



الثغور لورقة نبات الرز تحت المجهر الالكتروني



رسم يوضح تركيب الثغر

ميكانيكية فتح وغلق الثغور

يتأثر فتح وغلق الثغور بالضوء حيث :

1- في الضوء (يفتح الثغر)

أ – تبني الخلايا الحارسة المواد السكرية أثناء قيامها بالبناء الضوئي.

ب – يؤدي زيادة تركيز السكر إلى زيادة قوة الامتصاص الأسموزية بها وهذا يؤدي إلى انتشار الماء أسموزياً من الخلايا المجاورة إلى الخلايا الحارسة المنتفخة بالماء.

جـ- يؤدي انتفاخ أو امتلاء الخلايا الحارسة بالماء إلى الضغط على الجدر الرقيقة البعيدة عن فتحة الثغر فتتمدد إلى الخارج وبذلك ينفتح الثغر.

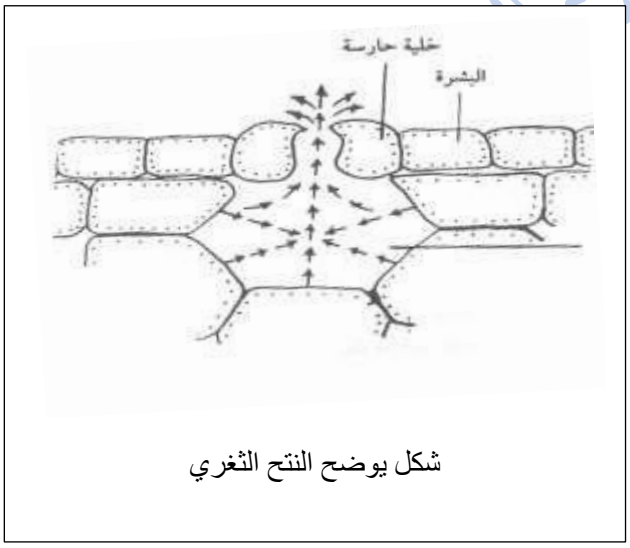
2- في الظلام (يغلق الثغر)

أ – في الظلام يتناقص تركيز المواد السكرية في الخلايا الحارسة نتيجة تحول جزء منها إلى نشاء واستهلاك الجزء الآخر في التنفس.

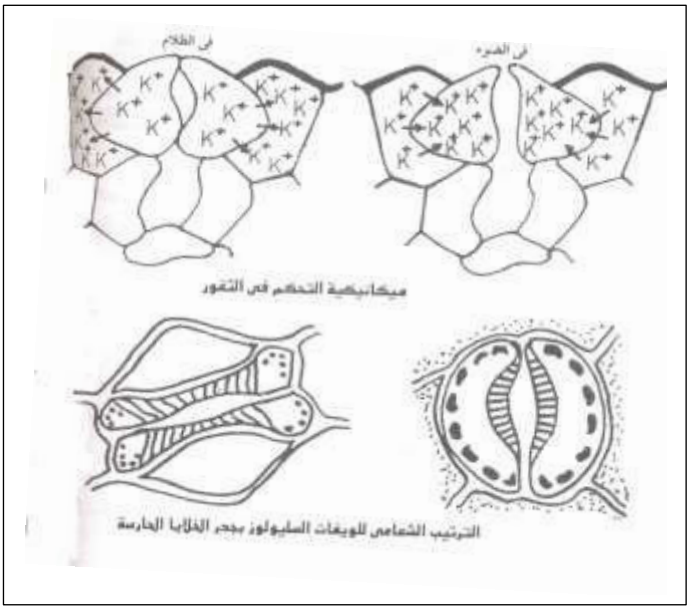
ب- يؤدي تعرض تركيز السكر إلى تناقص قوة الامتصاص الأسموزية وهذا يؤدي إلى انتشار الماء اسموزياً من الخلايا الحارسة إلى الخلايا المجاورة فتنكمش.

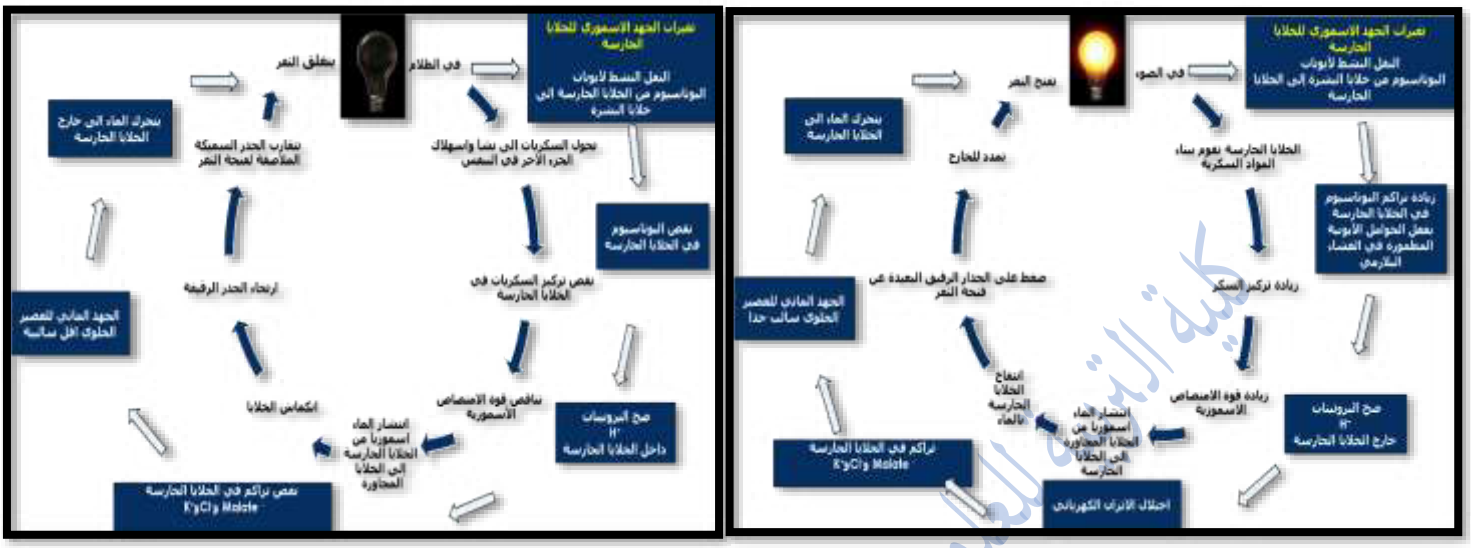
جـ - يؤدي انكماش الخلايا إلى ارتخاء الجدر الرقيقة ومن ثم تتقارب الجدر السميكة الملاصقة لفتحة الثغر وبذلك ينغلق الثغر تماماً.

تستجيب الثغور لتغيرات الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة حيث تسبب هذه التغيرات تحرك الماء إلى داخل الخلايا الحارسة أو إلى خارجها. يستحث الضوء النقل النشط "لأيونات البوتاسيوم (K^+) من خلايا البشرة إلى الخلايا الحارسة بفعل الحوامل الأيونية المطمورة في الغشاء البلازمي للخلايا الحارسة. ويصحب تراكم كاتيونات البوتاسيوم (K^+) داخل الخلايا الحارسة ضخ للبروتونات (H^+) إلى خارج الخلايا الحارسة، بينما تتراكم أنيوناتالكلوريد (Cl^-) أو أنيوناتالمالات ($Malate^-$) بداخل الخلايا الحارسة كاستجابة لاختلاف الاتزان الكهربي الناجم عن تراكم كاتيوناتالبوتاسيوم (K^+) بذلك يصير الجهد المائي للعصير الخلوي للخلايا الحارسة سالبا جداً نتيجة لتراكم أيونات (K^+) و(Cl^-) و($Malate^-$) وينشأ عن ذلك منحدر للجهد المائي يسبب تحرك الماء من خلايا البشرة إلى الخلايا الحارسة فتمتلئ. وتتميز الخلايا الحارسة بزيادة سمك جدرها المواجهة لفتحة الثغر مقارنة بالجدر البعيدة عن فتحة الثغر وبالترتيب الشعاعيللويفاتالسليولوزية الدقيقة المكونة لجدرها. لذا فإن الضغط الناشئ عن امتلاء الخلايا الحارسة (ضغط الامتلاء) يسبب توترها وتمدد جدرها السميكة والرقيقة بدرجات متفاوتة وكذلك ينتج شداً في لويفاتالسليولوزالشعاعية التي تسبب تباعد الخلايا الحارسة وبالتالي فتح الثغر. هذا ويحدث عكس لاتجاه كل هذه العمليات المذكورة أثناء فترة الظلام (الليل) فترتخي الخلايا الحارسة وتتقارب وتعمل على غلق الثغر.



شكل يوضح النتح الثغري





العوامل المؤثرة في سرعة النتح : يمكن تقسيم هذه العوامل إلى:-

أولاً: <u>العوامل الخارجية</u>:- العوامل البيئية

أ –**درجة الحرارة**: تزداد سرعة النتح بارتفاع الحرارة حيث يعمل الماء المنتح على تلطيف الجو المحيط بالنبات والعكس صحيح.

ب –**الرياح**: تعمل الرياح على زيادة سرعة النتح لأنها تحمل الماء المنتح بعيداً وبالتالي تواصل الأوراق النتح.

جـ- **الضوء**: يزداد النتح بزيادة شدة الضوء.

د –**الرطوبة الجوية**: تزداد سرعة النتح كلما قلة الرطوبة.

هـ- **المحتوى المائي للتربة**: في ظروف معينة قد تكون سرعة النتح غير مرتبطة بكمية الماء في التربة أما في حالة إذا ما قلت نسبة الماء في التربة إلى معدل يؤدي إلى ذبول النبات أصبح المحتوى المائي للتربة عاملاً محدداً بسرعة النتح ففي حالة عدم توفر الماء الكافي للنبات فإن النتح سوف يقل.

ثانياً: <u>العوامل الداخلية</u>: وهي عوامل تختص بالنبات وأهمها:

أ –**مساحة الورقة**: تكون سرعة النتح عادة اكبر في النباتات ذات الأوراق العريضة.

ب –**شكل الورقة**: فالأوراق الإبرية يقل عن الأوراق العادية.

ج - **سمك طبقة الكيوتين على سطح الورقة**: إذا زادت كمية الكيوتين على الورقة قل النتح.

د- **المحتوى المائي للورقة**: كلما زادت نسبة الماء في الورقة زادت سرعة النتح والعكس قد يكون صحيحاً.

هـ - **الثغور**: تعتبر الثغور أهم العوامل الداخلية كلما زاد عدد الثغور وزاد اتساعها زادت عملية النتح.

كلية التربية للعلوم الصرفة/ قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى

تجدر الإشارة إلى أن معدل النتح يقل من الثغور الموجودة في تجاويف عميقة (الثغور الغائرة) وكذلك الثغور الغائرة بشعيرات يقل فيها معدل النتح، أخيراً يجب أن نذكر أن معدل النتح في النباتات الوسطية أكبر منه في النباتات ذو فلقتين يعيش في بيئة وسطية يساوي 10 آلاف ثغر لكل سم2 بينما يبلغ حوالي ألف ثغر في النبات الصحراوي في نفس المساحة.

التغذية المعدنية في النبات

تركيب النبات:-

س/ مما يتكون النسيج النباتي ؟

ج/ يتكون النسيج النباتي من ماء وجوامد.

تجفيف النسيج النباتي:-

عند تجفيف النسيج النباتي عند 100م درجة مئوية لمدة ثمان وأربعون ساعة يتبقى جزء بعد التجفيف يسمى بالمادة الجافة.

مما تتركب المادة الجافة ؟ تتركب من:-

أ- مركبات عضوية وهي تمثل 90% من المادة الجافة تقريباً وهي تشتمل على سكريات ونشويات ودهون وبروتين...الخ

ب – مركبات غير عضوية.

حرق المادة الجافة

عند حرق المادة الجافة تحلل المواد العضوية وتنطلق على هيئة غازات ويتبقى جزء يسمى بالرماد أي أن الجزء المتخلف من عملية الحرق يسمى الرماد. حيث يتركب الرماد المتخلف بعد اكتمال الحرق أساساً من العناصر الغير عضوية الممتصة من التربة وتوجد هذه العناصر غالباً في صورة أكاسيد أو كبريتات أو كلوريدات وهذه الصور ليست الصور التي كانت عليها العناصر في التربة أو في النبات حيث أنها تحولت إلى هذه الصور نتيجة عملية الحرق.

س/ هل التركيب الكيميائي للرماد متشابه في النباتات المختلفة ؟

ج/ لا حيث يختلف التركيب الكيميائي للرماد باختلاف:

أ – نوع النبات.

ب – طبيعة العضو أو النسيج الذي تم تحليله وعمره.

ج - البيئة التي يعيش فيها النبات.

فقد يختلف تركيب الرماد لمجموعتين من النبات نفسه اختلافا كبيراً باختلاف التربة التي نمى بها كل مجموعة. والتحليل الكامل للرماد لا يعطينا معلومات دقيقة غالباً عن احتياجات النبات من العناصر الغذائية.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

احتياجات النبات من المعادن

يمكن تقسيم العناصر (المعادن) التي يحتاجها النبات إلى قسمين:

أ – عناصر لازمة للنبات وغيابها يؤثر تأثيراً واضحاً في نموه ويحتاجها النبات بنسبة عالية (فيما عدا الحديد) ويطلق عليها **مجموعة العناصر الكبرى** وهذه العناصر هي: الأوكسجين – الهيدروجين – الكالسيوم – الكبريت – الكاربون – المغنيسيوم – الحديد – الفسفور – النيتروجين – البوتاسيوم، ويمكن الاستدلال عليها بعبارة (أه كم حب فن) وزيادة هذه العناصر للنبات لا تعطي فائدة في الوقت نفسه قد تضر بالنبات.

ب – عناصر يحتاجها النبات بنسبة ضئيلة ولكنه لا يستغني عنها حتى يكون نموه طبيعياً وتسمى **بالعناصر الصغرى** وهذه العناصر هي: **البورون – المنجنيز – النحاس – الزنك – المولبيديوم**، وتجدر الإشارة إلى أن هناك أدله تشير إلى أن بعض النباتات تحتاج **السليكون والألمونيوم والكلور** لتغذيتها. أما عنصر **الحديد** فهو يشغل مركزاً وسطياً بين هذين القسمين فهو يحتاجه النبات بكميات أقل من العناصر الكبرى وبكميات أكبر من العناصر الصغرى.

س/ كيف يمكن تحديد أنواع العناصر التي يحتاجها النبات في نموه ؟

ج/ يمكن معرفة ذلك بزراعة النباتات في محاليل حيث توجد طريقتان أساسيتان لهذا الغرض.

1- طريقة المزرعة المائية:-

وفيها يتم زراعة بادرات النبات في محلول التغذية مباشرة حيث يتم تثبيت البادرة بحيث تتدلى الجذور في محلول المزرعة ويمرر بها تيار من الهواء لضمان حصول الجذور على حاجته من الأوكسجين ويستبدل المحلول من حين لآخر للمحافظة على تركيبه الأساسي.

مميزاتها: تمتاز هذه الطريقة بأنها تتيح الفرصة للحصول على الجذور سليمة لتحليلها.

عيوبها: أن الجذور في هذه المزرعة لا تكون في حالة مماثلة لطبيعتها في التربة.

2- طريقة المزرعة الرملية:-

وفيها تزرع البادرات في رمل نقي مغسول ثم تروى بمحلول يحتوي على العناصر المعدنية وقد يصب المحلول تدريجياً على سطح الرمل أو يدفع من أسفل الأصيص بمضخة.

مميزاتها: أن الجذور في هذه المزارع تكون في حالة مماثلة لطبيعتها في التربة.

عيوبها: صعوبة الحصول على الجذور كاملة لالتصاقها بحبيبات التربة التصاقاً وثيقاً.

الزراعة الرملية

الزراعة المائية

دور بعض العناصر في الحياة الفسلجية للنبات

أولاً:- دور العناصر الكبرى (المغذيات الكبرى)

ت	العنصر	فوائد العنصر للنبات	أعراض نقصه
1	الكاربون C	يدخل في تركيب المواد العضوية بتفاعله مع الهيدروجين والأوكسجين ويكون المركبات العضوية (دهون – كربوهيدرات .....)	عدم تكون المواد الغذائية في النبات أي عدم نمو النبات.
2	النتروجين N	- يعتبر المكون الأساسي للبروتين. - ضروري في عملية التنفس - يدخل في تركيب الليبيدات والأحماض النووية والإنزيمات والكلورفيل ومن ثم فهو أساسي في بناء الخلية والمساعدة في النمو الخضري .	- الشحوب الفسيولوجي (ظهور الاصفرار على الورق) -ظهر أولاً على الأوراق المسنة لانتقال المركبات النتروجينية إلى أطراف النبات. - بطء نمو النبات وقلة تفرعه. - نمو الأوراق صغيرة نسبياً ورفيعة.
3	الفسفور P	- يدخل في تركيب الأحماض النووية و البروتينات النووية - يلعب دور هام في انقسام الخلايا النباتية - يدخل في تركيب مركب ATP كما يدخل في عمليات بناء البروتين.	- يحد من النمو النباتي و يؤخر موعد النضج. - تساقط الأوراق. - وجود لون أخضر داكن للأوراق.
4	البوتاسيوم K	- تكوين البروتينات والمواد الكربوهيدراتية - تخليق السكريات والنشويات. - دور في انقسام الخلية - اختزال النتروجين وتخليق البروتينات. - رفع الضغط الأسموزي للخلية.	- يظهر النبات ضعيفاً -مجموعة الجذري صغير نسبياً -لون الأوراق أخضر مزرق -وقد تصفر كما تلتوي حواف الأوراق.
5	المغنيسيوم Mg	- يدخل في تركيب جزيء الكلورفيل. - ينشط العديد من التفاعلات الكيميائية. - مهم جداً للنبات لكي يمتص عنصر الفسفور.	- يسبب اصفرار الأوراق. - ظهور بقع خضراء قاتمة على الأوراق. - موت حواف الأوراق. - تساقط الأوراق.
6	الكالسيوم Ca	- يدخل في تركيب ماده البكتين المكونة للصفيحة الوسطى لجدر الخلايا - يدخل في تنشيط بعض الإنزيمات. - يساعد في انقسام الخلايا.	- تظهر الأعراض في قمم السيقان والجذور حيث تموت المناطق المرستيمية (التي لها القدرة على النمو) وتظهر حواف الأوراق شاحبة اللون.
7	الكبريت S	- يدخل في تركيب بعض الأحماض الأمينية التي تتكون منها البروتينات. - يدخل في تركيب الفيتامينات والهرمونات. - يدخل في عملية بناء الكلورفيل وليس في تركيبه.	- أعراضه مشابه لأعراض نقص النتروجين لما له من أهمية في بناء البروتين والكلورفيل وتظهر هذه الأعراض على الأجزاء الحديثة (أعراض نقص النتروجين تظهر في الأجزاء المسنة)

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

ثانياً : العناصر الصغرى (المغذيات الصغرى)

ت	العنصر	فوائد العنصر للنبات	أعراض نقصه
1	الحديد Fe	عامل مساعد في عملية التنفس ، يشجع تكوين الكلوروفيل ، يدخل في تركيب الانزيمات ، يدخل في بناء بروتين البلاستيدات	يظهر النقص على الأوراق الحديثة على شكل اصفرار ، تقزم النبات ، تبقى العروق خضراء أو تميل إلى الاحمرار في حالات النقص الشديد
2	المنغنيز Mn	منشط لعملي التركيب الضوئي ، ينشط عملية تكوين الكربوهيدرات ، هام لإنزيمات التي تدخل في التنفس و تشكيل البروتين	اصفرار الاوراق مع بقاء العروق خضراء لمدة طويلة ، شحوب و موت للأوراق القديمة – بقع بلون بني غامق أو احمر
3	الزنك Zn	ينشط هرمونات النمو ، يساهم في تشكيل اليخضور ، ينشط إنزيمات الأكسدة	يظهر على النموات الحديثة باصفرار بين العروق ، تقزم الاوراق ، موت أطراف الأغصان
4	النحاس Cu	- يدخل في تركيب إنزيمات الأكسدة والاختزال. - ضروري في عمليات تكوين جزيء الكلورفيل وليس في تركيبه.	موت أطراف النبات ، اصفرار الأوراق.
5	البورون B	- يعمل على حفظ الكالسيوم في صورة ذائبة وبذلك يمنع أعراض نقصه. - على أهمية في تنظيم امتصاص الكالسيوم والبوتاسيم.	ازدياد سماكة الاوراق و ميلها للالتفاف و التجعد، سرعة كسر الاوراق ، وقف نمو النبات.
6	المولبيديوم Mo	هام في اصطناع حامض الاسكوربيك ، هام لتثبيت النتروجين الجوي	تشكل بقع صفراء بين العروق ، تلون الأوراق بالأصفر و البني ، تورم الأوراق و تجعدها

الأيض او التمثيل الغذائي Metabolism

تفاعلات كيميائية تحدث في جسم الكائن الحي وهذه العملية ضرورية للتغذية والنمو وإنتاج الطاقة الايض يشمل عملتين:

(1) **البناء** : وهي تفاعلات يتم فيها تحويل الجزيئات الصغيرة الى كبيرة وهذه العملية تحتاج الى طاقة.

(2) **الهدم**: وهي تفاعلات يتم فيها تحطيم الجزيئات الكبيرة الى صغيرة وينتج عن هذه العملية طاقة

مخطط يوضح انواع اتفاعلات التي تحث في جسم الكائن الحي

The Respiration التنفس

جميع الخلايا نباتية كانت أم حيوانية ، تتنفس بصورة مستمرة للتزود بالطاقة اللازمة لبناء جسمها وإدامتها.
إن عملية التنفس بأخذ O_2 وتحرر CO_2 بحجوم متساوية على وجه التقريب. إلّا أن هناك كائنات أخرى دقيقة (بكتيرية) تتنفس لاهوائياً دون أن يدخل O_2 في عملية الأكسدة التي تتضمنها عملية التنفس.
يُعرَّف التنفس الهوائي بأنه "سيل من تفاعلات تأكسدية - إختزالية والتي فيها تتأكسد مادة التفاعل إلى CO_2 بينما يختزل الأوكسجين O_2 ليدخل في تركيب السكريات والنشأ والحوامض الشحمية والعضوية والبروتينات.
ويمكن تلخيص عملية التنفس الهوائي بالمعادلة العامة الآتية:-

$$C_6H_{12}O_6(\text{Glucose}) + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energy}$$

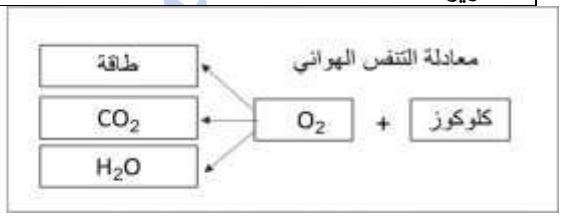
إن الخلايا التنفسية تكون قادرة أيضاً على استغلال الطاقة الناتجة وتحويلها من طاقة حرارية إلى طاقة كيميائية داخل الخلية نفسها والتي تستخدم فيما بعد لأغراض النمو والبناء والإدامة. فالمعادلة السابقة لا تمثل حقيقة عملية التنفس التي تجري داخل الخلايا الحية، حيث إن عملية التنفس تشتمل على مجموعة متعددة من التفاعلات الكيميائية المعقدة، وإن كل تفاعل يساعده أنزيم أو يدخل فيه عامل مساعد يختلف عن الآخر. إن تجزئة الجزيئات الكبيرة للمواد الكيميائية العضوية بخطوات متعاقبة تعطي الخلية الفرصة في إقتناص الطاقة المتحررة أثناء أكسدة الجزيئة الكبيرة إلى مجموعة من المركبات الوسطية التي تعتبر أساسية في بناء الخلية.
بعض هذه المركبات الوسطية تتحول إلى:

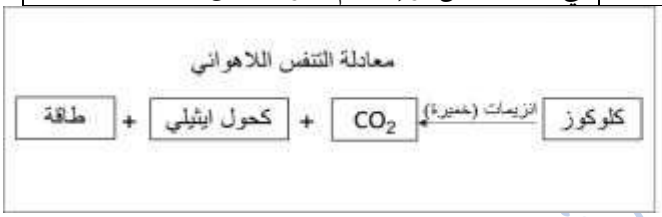
1. الحوامض الأمينية التي تدخل بدورها في تركيب البروتينات.
2. والبعض الآخر تحولها الخلية إلى النيوكليوتيدات Nucleotides التي تدخل بدورها في تركيب DNA و RNA.
3. والقسم الآخر من هذه المركبات تتحول إلى الحوامض الدهنية التي تدخل بدورها في تركيب الدهون Lipids.
4. كما إن هذه المركبات الوسطية تعتبر المصادر الكاربونية لعديد من الصبغات كالبورفرين Porphyrin ،السايتوكرومات Cytochromes, والستيرولات Sterols وإلى العديد من المركبات العطرية Aromatics.

عند تكوّن هذه المركبات المعقدة من المركبات الوسطية فأنّ أكسدة المواد العضوية أثناء عملية التنفس إلى CO_2 والماء لا يكون كاملاً خاصة عند مراحل النمو المبكر للخلية. إنّ الطاقة المتحررة أثناء عمليات الأكسدة الكيميائية تسترجع الخلية بعضاً منها وتحولها إلى طاقة كيميائية على شكل ATP التي تستخدم ثانية لبناء المركبات الأساسية التي تحتاجها الخلية أثناء النمو. وفي الحقيقة، فإنّ أغلب المواد السكرية التي تختفي في الخلية أثناء التنفس عند النباتات التي تنمو بمعدلات سريعة ، تتحول إلى مثل هذه المركبات الأساسية للبناء ولا تظهر أبداً كـ CO_2 و H_2O.
ومن الامثلة على عملية الهدم التنفس وتتم في الكائنات الحية نوعان من التنفس

- التنفس الهوائي وهو انتاج الطاقة من السكر بوجود الاوكسجين
- التنفس اللاهوائي (التخمر) وهو الحصول على الطاقة بعدم وجود الاوكسجين

التنفس الهوائي Aerobic respiration	التنفس اللاهوائي Anaerobic respiration
مكان الحدوث يبدأ في السايتوبلازم ثم المايتوكندريا	مكان الحدوث يبدأ في السايتوبلازم خارج المايتوكندريا
كمية الطاقة الناتجة 36 ATP	كمية الطاقة الناتجة 2 ATP
المواد الداخلة هي سكر + اوكسجين	المواد الداخلة هي سكر بوجود انزيمات الخميرة
المواد الناتجة هي طاقة + ثاني اوكسيد الكاربون + ماء	المواد الناتجة هي ثاني اوكسيد الكاربون + كحول ايثيلي + طاقة
هو عملية تقوم فيها الخلايا بتحليل السكر وإطلاق الطاقة	يحدث في الخلايا عندما لا تستطيع الخلية القيام بعملية التنفس الخلوي
تحرير الطاقة عن طريق الأكسدة (وجود الأوكسجين)	تحرير الطاقة عن طريق الاختزال (غياب الأوكسجين)
في غالبية النبات حيث تحتاج خلاياها للاوكسجين لتحرير الطاقة	في بعض الكائنات الحية مثل البكتريا والخميرة وذلك في حالة نقص أو إنعدام الأوكسجين





قياس معدل التنفس: Measurement of Respiration Rate

يمكن قياس معدل التنفس بطريقة التبادل الغازي وهي نفس الطريقة المستخدمة لقياس معدل التركيب الضوئي. في التنفس تؤخذ كمية O_2 المستهلكة كقياس لذلك أو كمية CO_2 الناتج من العملية في وحدة زمنية معينة.

يقاس معدل التنفس باستخدام جهاز يسمى ليكور LICOR يستعمل في حقل النبات او جهاز فاربورغ (Warburg) الذي شاع استعماله بين الباحثين الفسيولوجيين في حقل النبات أو الحيوان. وهناك طرق أخرى لقياس معدل التنفس وأساس كل أو جميع الطرق المستخدمة هو إستقبال CO_2 الناتج مع محلول قاعدي كهيدروكسيد البوتاسيوم أوهيدروكسيد الصوديوم أوهيدروكسيد الباريوم ...الخ. إن حساسية بعض الأجهزة تصل إلى 10^{-5} مايكروليتر(µ l). وتستخدم طرق كيميائية مختلفة لقياس معدل تنفس النباتات كأن يستخدم معدل إختفاء النشأ أو السكريات البسيطة من قبل النسيج النباتي في الورقة أو الساق كأساس للدلالة على حجم.

التنفس الهوائي في النباتات الوعائية معقدة البناء حيث يصل الاوكسجين الى خلاياها بطرق مختلفة منها :

(1) **ثغور الاوراق**: عندما تفتح يدخل الهواء الى الغرف الهوائية وينتشر في المسافات البينية التي تتخل اعضاء النبات.

(2) **ممرات اللحاء**: يحمل بعض الاوكسجين اليها مع الماء ، فيصل الى انسجة الساق والجذور.

(3) **الجذور**: يدخل الاوكسجين مذابا في ماء التربة الذي تمتصه الشعيرات الجذرية او تتشرب به جدر الخلايا.

(4) **ثغور الساق الخضراء وعديسات الساق الخشبية او اي تشققات في القلف** توفر مدخلا للهواء.

معامل التنفس The Respiration Quotient (R.Q)

هو النسبة بين كمية CO_2 الناتج إلى كمية O_2 المستهلك. إذا كانت مادة التنفس في الخلايا النباتية هي النشأ أو سكر القصب(Sucrose) فإنّ كمية غاز CO_2 الناتج من العملية تساوي كمية غاز O_2 المستهلك عند تأكسد هذه المواد كلياً إلى CO_2 و H_2O فانّ RQ تساوي وحدة واحدة في هذه الحالة.

مثال: أكسدة حامض الأوليك Oleic acid الذي هو أحد الحوامض الشحمية فأن معامل التنفس فيه يكون مساوياً إلى 0.71 كما يأتي:

$$C_{18}H_{34}O_2 + 25.5\ O_2 \rightarrow 18\ CO_2 + 17\ H_2O$$

$$\text{R. Q} = \frac{18}{25.5} = 0.71$$

وبتعيين معامل التنفس لعدد مختلف من البذور أو لأعضاء نباتية مختلفة نستطيع معرفة نوع المادة الكيميائية المستخدمة في عملية التنفس. فمثلاً إذا كان معامل التنفس لأحد النباتات أو في أحد أنسجته مساوياً إلى أكثر من وحدة واحدة فأنه يشير إلى أن ذلك النبات يستعمل مواد عضوية شبه مؤكسدة كمادة للتنفس لأن عند أكسدة هذه المواد العضوية كلية إلى CO_2 و H_2O أثناء عملية التنفس فأنها تحتاج إلى كمية قليلة من O_2 لانجاز الأكسدة الكلية، حيث إن المادة العضوية نفسها تحتوي في تركيبها على كمية لابأس بها من ذرات الأوكسجين كحامض السكسنيك (Succinic acid) مثلاً أو حامض ألفاكيتو بيوترك ($\propto -Ketobutyric\ acid$) وفي بعض الأحيان يصعب تعيين نوع المادة المؤكسدة بمجرد معرفة معامل التنفس لها حيث أنّ النبات أو أنسجته قد يستخدم أكثر من مادة واحدة أثناء تنفسه كأستعماله مثلاً مواد سكرية وحوامض شحمية في آن واحد. فالمواد السكرية لا تُعتبر من المواد العضوية شبه المؤكسدة كالبروتينات بل إنها اكثر أختزالاً منها بينما الحوامض الشحمية تعتبر أكثر أختزالاً من المواد السكرية حيث انها من المواد الهايدروكاربونية التي تحتاج إلى كمية كبيرة نسبياً من O_2 عند تأكسدها كلياً إلى CO_2 و H_2O.

كيمياء التنفس Chemistry of Respiration

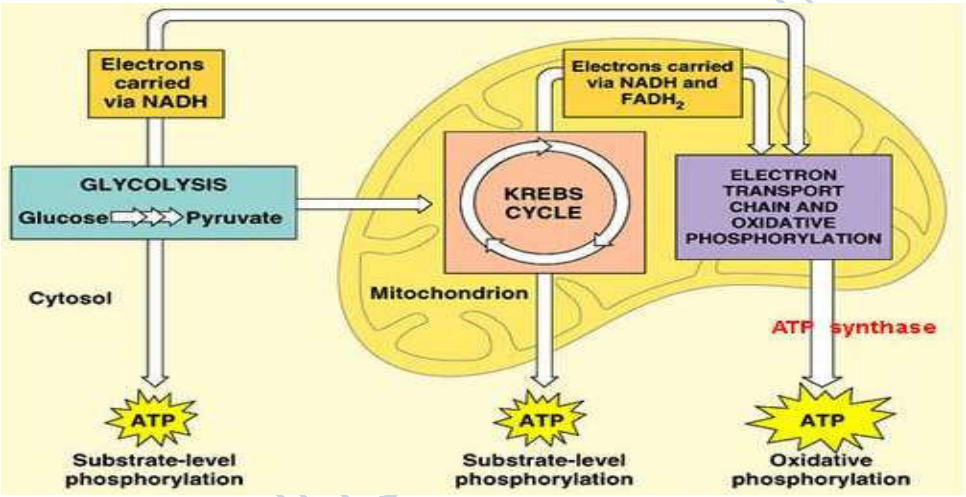
إنّ الأكسدة الكاملة لأية مادة تنفسية تتم على مراحل في تجزئة تلك المادة. فالقسم الأول من هذه التجزئة تتضمن سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي لا تتطلب وجود O_2 أو مساهمته. أما القسم الأخير فانه لا يتم الّا بوجود O_2.إنّ استغلال النشأ أو السكريات في التنفس يمكن أن تقسم إلى ثلاثة أقسام مهمة هي:

القسم الأول: يشتمل على سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تتجزأ فيها السكريات إلى حامض البايروفيك(Pyruvic acid) ثلاثي الكاربون. هذه التفاعلات تحدث داخل السايتوبلازم بعيداً عن الجسيمات السايتوبلازمية كالبلاستيدات الخضراء(Chloroplasts) والمايتوكوندريا(Mitochondria) و الشبكة الاندوبلازمية (Endoplasmic reticulum) والنواة (Nucleus) إلّا أنّ الأدلة الحديثة تشير إلى احتمال حدوثها في الغشاء البلازمي (Plasmolemma) لخلايا الخميرة Yeast والكريات الحمر .R.B.C وتسمى هذه التفاعلات الكيميائية التي تحدث في السائل السايتوبلازمي للخلية باسم الكلايكولس(Glycolysis) والتي تحدث دون الحاجة إلى O_2.

القسم الثاني: يبدأ من حامض البايروفيك وتجزئته إلى CO_2 و H_2O. وبالنسبة لـ O_2 فأنه لا يشترك بصورة مباشرة في هذا القسم من التفاعلات إلّا أن تواجده يعتبر ضرورياً لأكسدة المركبات المختزلة التي تنتج من تفاعلات القسم الثاني من عملية التنفس.

وبالنظر لضرورة وجود O_2 فان هذا القسم من عملية التنفس يعتبر هوائياً (Aerobic Process) ويحدث داخل جسيمات المايتوكوندريا Mitochondria. ان عدداً من الحوامض العضوية المهمة في حياة الخلية تشترك في هذا القسم من التنفس وتعتبر مشاركتها أساسية في هذا الغرض.

القسم الثالث: هي سلسلة من التفاعلات التأكسدية –الأختزالية أثناء انتقال الهيدروجين واتحاده في الأخير مع الأوكسجين مكوناً الماء ومن هذا القسم من التنفس (والذي يحدث داخل المايتوكوندريا أيضاً) تحرر كميات كبيرة من الطاقة الحرارية التي تحولها الخلية إلى طاقة كيميائية قابلة للأستخدام ثانية.



تخطيط مبسط يوضح العلاقة المتداخلة بين الكلايكولس ودورة كربس ونظام نقل الألكترونات خلال السايتوكرومات

ATP: Adenosine Triphosphate المركب الخازن للطاقة.

NADH: Nicotinamide Adenine Dinucleotide يمثل المركب المختزل.

$FADH_2$: Flavin Adenine Dinucleotide يمثل المركب المختزل.

الانشطار السكري (النشوي) والتخمر Glycolysis and Fermentation

ان الطريقة التي تتجزأ بها جزيئة النشأ الى حامض البايروفيك Pyruvic acid تعرف بعملية الانشطار النشوي حيث سميت بهذه التسمية بعد اكتشاف سلسلة من التفاعلات الكيميائية في النسيج العضلي التي تحول جزيئة النشأ الحيواني(Glycogen) عند نقص الأوكسجين أو غيابه إلى حامض اللاكتيك (Lactic acid). ومن المعروف ان هناك كائنات دقيقة كالخمائر مثلاً تحول المواد السكرية إلى الكحول والماء وتعرف الطريقة بطريقة التخمر (Fermentation) حيث تقوم الخميرة أولاً بتحويل المواد السكرية إلى حامض البايروفريك ومن ثم إلى الكحول والماء لاهوائياً.

إنّ هذه التفاعلات تحدث بصورة عامة في كل من الخلايا الحيوانية والنباتية على السواء وأن العالم بخنر(Buchner) كان من العلماء الأوائل (1897) الذين ساهموا في الكشف عن حقيقة هذه العملية عندما

أضاف كميات مركزة من سكر القصب إلى مستخلص الخميرة للحفاظ عليه من التعفن والتلف إلّا أنه وجد وبصورة غير متوقعة تخمر السكر. إنّ هذه الظاهرة كانت البداية التي كشفت عن امكانية حدوث تفاعلات كيميائية حيوية خارج الخلايا الحية. إنّ مستخلص بخنر كان في الحقيقة يحتوي على الأنزيمات الأساسية لإنجاز كافة التفاعلات الكيميائية المؤدية إلى التخمر.

جميع التفاعلات الكيميائية التي تتضمنها عملية الكلايكولس أو التخمر تحدث لاهوائياً Anaerobically وان اصطلاح التنفس اللاهوائي Anaerobic respiration قد إستُعمل لوصف مثل هذه التفاعلات الكيميائية.

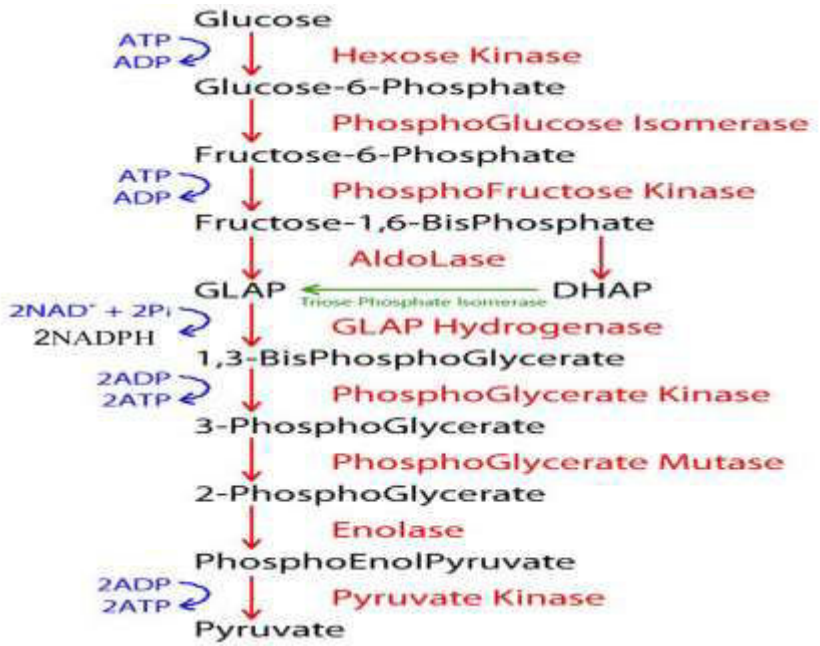
في بعض الأحيان يمكن للأنسجة الحيوانية أوالنباتية التي أعتادت التنفس تنفساً هوائياً أن تتنفس لا هوائياً عند تعذر نفاذ O_2 إلى داخل النسيج أو عند قلة نسبة O_2. أن بطؤ نفاذ O_2 إلى داخل الخلايا يكون شائعاً عند المراحل الأولى من انبات بعض أنواع البذور كبذور البزاليا والذرة الصفراء وأنواع أخرى من البذور التي تمتلك أغلفة صلدة قوية تمنع التبادل الغازي.

كما يحدث التنفس اللاهوائي في جذور النباتات النامية في تربة مشبعة بالماء حيث يقل محتوى O_2 فيها وبالتالي معدل انتشاره مؤدياً إلى تثبيط التنفس الهوائي. في مثل هذه الحالات فإنّ حامض الـ Pyruvic المتكون لا يتأكسد بل تنفصل منه جزيئة CO_2 أولاً ثم يتحول إلى استلديهايد(Acetaldehyde) والذي يختزل مباشرة الى الكحول الأثيلي(Ethanol) وفي بعض الحالات يمكن أن يتحول حامض البايروفيك الى حامض اللاكتيك (Lactic acid) بطريقة اختزالية إلّا أن هذه الطريقة أقل شيوعاً بالمقارنة مع تكون الكحول الأثيلي إلّا أنها قد تحدث في بعض النباتات الراقية وعند بعض أنواع الطحالب الخضراء.

إنّ التفاعلات التي تتضمنها تجزئة جزيئة سكر العنب المفسفر (Glucose-6-phoshpate) إلى حامض البايروفيك أثناء عملية الـ Glycolysis تحدث بصورة عامة في سايتوبلازم الخلايا حتى وان كانت هذه الخلايا معرضة إلى O_2. لذا فإنّ عملية الـ(Glycolysis) يمكن أن توصف بأنها عملية لاهوائية بصورة ذاتية (Potentially Anaerobic). يلاحظ في هذه التفاعلات الكيميائية استهلاك جزيئتين من ATP مقابل تكوّن أربعة جزيئات من ATP بالإضافة إلى جزيئتين من NADPH.

وتجدر الإشارة إلى أن حامض البايروفيك يمكن أيضاً أن يتحول إلى حامض الالانين (Alanin) أحد الحوامض الأمينية الذي يدخل في تركيب البروتينات ، وتزداد نسبة تحول حامض البايروفيك إلى الحوامض الأمينية في المراحل المبكرة لنمو الكائن الحي نظراً لحاجة الخلايا الماسة إلى مواد بنائية كالبروتينات. وهذا أساسي ومهم في النباتات التي تنمو نمواً سريعاً.

نستنتج من هذا بأن المركبات الوسطية الأخرى لا تتحول كلية إلى حامض البايروفيك في كل الأحوال بل أنّ قسماً منها تستخدم في بعض الأحيان لأغراض بنائية وطاقة عند النمو المبكر للنبات.



مخطط التفاعلات الكيميائية الأنزيمية التي تحدث في سايتوبلازم الخلية أثناء عملية الـ glycolysis التي تتجزأ فيها جزيئة سكر العنب glucose الى حامض البايروفيك. إنّ الحامض الأخير قد يتحول الى حامض اللاكتيك Lactic acid أو الى الكحول الأثيلي أثناء **التنفس اللاهوائي**.

يتضح من المخطط السابق اشتراك الأنزيمات التالية:

Phosphorylase, Phosphoglucomutase, Hexokinase, Fructokinase, Phsphofructokinase, Aldolase, Isomerase, Phosphoglyceraldehyde dehydrogenase, Phosphoglycerokinese, Phodphoglyceromutase, Enolase, Pyruvic kinase, Lactic acid dehychogense, Alcohol dehydrogenase.

ويشترك فيها العناصر التالية: المغنسيوم Mg^{++} ، البوتاسيوم K^{+} ، الزنك Zn^{++}

وتشترك مركبات حاملة الطاقة وهي: ATPAdenosine Tri phosphate و ADPAdenosine Di phosphate

وكذلك المواد المؤكسدة والمختزلة التالية:

1. NAD (Oxidized from) Nicotinamide Adenine Dinucleotide
2. NADP (Oxidized from) Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate
3. NADH (Reduced from) Nicotinamaide Aden. Dinucl.
4. NADPH (Reduced from) Nicotinamaide Aden. Dinucl.

الاكسدة النهائية وانتاج الطاقة Biological oxidation and energy production

يحصل الكائن الحي على الطاقة اللازمة للنمو وإتمام كافة العمليات الحيوية وذلك عن طريق أكسدة المواد الغذائية وتحرير الطاقة الكامنة في تلك المواد الغذائية وحبسها في مركبات ATP . وهو من المركبات الغنية بالطاقة وكذلك تخزن تلك الطاقة في المرافق الإنزيمي $NADPH_2$.

وتتم عملية الأكسدة في وجود O_2 وتنطلق الطاقة كما ذكرنا بالإضافة الى CO_2 والماء . ولا تتحرر الطاقة المخزنة في المادة الغذائية دفعة واحدة بل تتحرر في خطوات متسلسلة من التفاعلات التي تتحكم بها الإنزيمات. والمواد الغذائية التي تستخدم في تحرير الطاقة هى المواد الكاربوهيدراتية والدهون والبروتينات ، وعملية تحريرالطاقة خلال عملية التنفس تحدث في الظلام أو الضوء على حد سواء .

في حالة استخدام الكربوهيدرات (النشا) في التنفس كمادة بادئة لإنتاج جزيئات $ATP , NADPH_2$ فإنه يلزم تحليل النشا إلى جزيئات أصغر بفعل الإنزيمات المتخصصة حيث يتم تحويلها إلى سكريات أحادية.

نشا ←A-amylase دكسترين ←β- amylase مالتوز ←Maltase كلوكوز

وفي حالة استخدام الدهون فيلزم تحللها الى أحماض دهنيه وجلسرين أنزيميا. وتتأكسد الأحماض الدهنية ويتكون منها acetyl-CoA والذى يدخل مباشرة فى دورة كربس.

Lipids ⟶ fatty acids + glycrole

العوامل التي تؤثر في سرعة عملية التنفس

1. **درجة الحرارة:** كل التفاعلات البيولوجية الكيماوية التي تتم بواسطة الإنزيمات ومنها التنفس فإن معدل التنفس يزداد بزيادة درجة الحرارة في المدى الحراري. حيث تنشط عملية التنفس وتزداد بارتفاع درجة الحرارة (10 ٥م) بين درجتي (0-35) ٥م وهذه الزيادة تتراوح قيمتها بين 2-5.2 مرة .
أي أن المعامل الحراري Temperature Coefficient (Q10) وهو الزيادة في سرعة التنفس نتيجة لزيادة درجة الحرارة عشر درجات مئوية. ويشترط أن يحدث هذا بعيدا عن التأثير السيئ على البروتوبلازم والإنزيمات.
2. **الضوء:** لوحظ في بعض الاحيان انه يوثرعلى التنفس في الانسجة الخضراء حيث تزداد عملية التنفس عند تعرض هذه الانسجة الى ضوء. حيث يؤثر الضوء على زيادة السكريات البسيطة وزيادة الكلايكول Glycolic acid في البلاستيدات الخضراء. وان التاكسد السريع لهذا المركب يودي الى تحرير CO_2 وامتصاص الاوكسجين.
3. **تركيز الاوكسجين الخارجي** : عموماً لا يتأثر معدل التنفس كثيرا بتغيير نسبة الأوكسجين في الجو من 20الى 5 % أما إذا نقص تركيزالأوكسجين عن 5 % فإن معدل التنفس يرتفع لحدوث التنفس الهوائي واللاهوائي معا لإمداد النبات بالطاقة.
4. **تركيز CO_2 في الجو** : تنخفض سرعة التنفس إذا زاد تركيز CO_2 في الجو المحيط للنسيج النباتي ، وقد استغلت هذه الظاهرة اقتصاديا في حفظ ثمار الفاكهة وكذلك الخضروات. فقد تبين أن حفظ ثمار التفاح في جو يحتوي على:
(N_2 92%, O_2 3%, CO_2 5%) عند درجات حرارة (4-5) ٥م . يؤدي ذلك الى انخفاض سرعة التنفس وغيره من التحولات . وأمكن حفظ هذه الثمار لمدة 8 شهور بحالة جيدة.
5. **المادة المستهلكة في التنفس** : زيادة تركيز السكريات الأحادية الذائبة يؤدي الى زيادة في سرعة التنفس وقد لوحظ أنه عند حفظ الأنسجة النشوية كالبطاطس في الثلاجة يؤدي ذلك ارتفاع نسبة السكريات الذائبة بها وبالتالي يؤدي ذلك الى زيادة معدل النمو بمجرد خروجها من الثلاجة الى جو الغرفة.

6. **المحتوى المائي للخلية:** يؤدي النقص في المحتوي المائى لبعض الأنسجة النباتية إلى زيادة معدل التنفس . وعندما تقترب الأنسجة من حالة الذبول يتحلل ما بها من نشا إلى سكريات ذائبة مما يؤدي إلى ارتفاع في سرعة التنفس.
7. **الاملاح** : يزداد معدل التنفس إذا تعرض النسيج النباتي لأيونات الأملاح والزيادة في هذه الحالة تسمي بالتنفس الملحي.
8. **الجروح والتاثيرات الميكانيكية والمرض:** الجروح التي تحصل للنبات تسبب زيادة سرعة التنفس ولكن سبب الزيادة لم يعرف لحد الان.

ميكانيكية التنفس

تقسم عملية التنفس إلى مرحلتين هما:

1. **الانحلال الكليكولي Glycolysis**

وتشمل التفاعلات التي تحلل جزيء الكلوكوز حتى يتكون حامض البيرفيك. وتتم هذه العملية في غياب أو وجود الأوكسجين وتفاعلات هذه الدورة لا تحتاج الأوكسجين .

2. **دورة كربس Krebs Cycle**

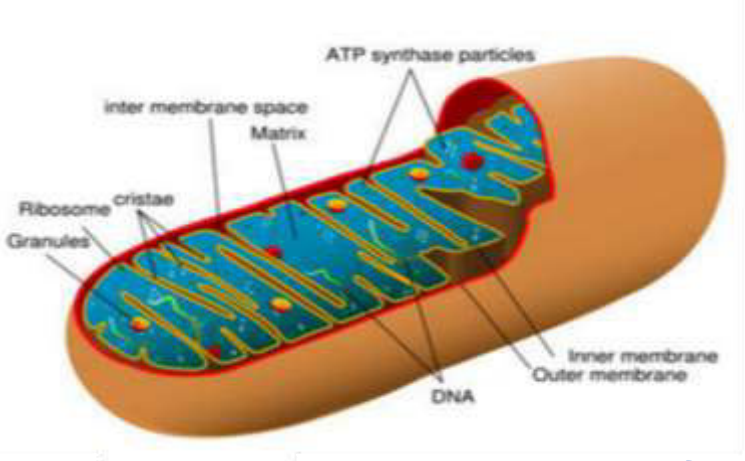
تسمى بدورة كربس نسبة إلى العالم الكيميائي الأنكليزي .Krebs H.A الذي افترض عام (1937) ، كمحاولة منه لتفسير كيفية تجزئة جزيئة حامض البايروفيك في خلايا النسيج المأخوذ من صدر الحمام
ونتيجة للتجارب التي أجراها في هذا المجال تحقق افتراضه واكتشف الدورة التفاعلية التي سمّاها بدورة حامض الستريك (Citric Acid Cycle) لأن هذا الحامض كان من المركبات الوسطية المهمة في هذه الدورة.
سميت هذه الدورة أيضاً بدورة حامض ثلاثي الكاربوكسيل(Tricarboxylic Acid Cycle) لأنّ بعض حوامض هذه الدورة تحتوي على ثلاثة مجموعات من الكاربوكسيل(-COOH) في تراكيبها الكيميائية كحامض الستريك Citric acid وحامض اوكزالوسكسنيك Oxalosuccinic acid.

- يتم فيها أكسدة حامض البيروفيك الناتج من التفاعل السابق من خلال دورة الانحلال الكليكولي . وتتم أكسدته هوائيا إلى ثاني أكسيد الكاربون والماء ، وتتم هذه العملية تحت الظروف الهوائية فقط.
- تبدأ هذه الدورة بتجزئة حامض البايروفيك Pyruvic acid وتأكسده داخل المايتوكندريا عن طريقة سلسلة من التفاعلات الكيميائية الأنزيمية التي تحدث على سطح الغشاء الداخلي (Inner membrane) لجسيمة المايتوكندريا.

وظيفة الميتوكوندريا

استخلاص الطاقة المخزنة فى المواد الغذائية من خلال دورة كربس Krebs cycle اى هى محولات الطاقة فى الخلية اللازمة لمختلف النشاطات الكيموحيوية والفسيولوجية فى خلايا الكائن الحى ذات التنفس الهوائى

Muthanna University, Dr. Arshad Class: https://classroom.google.com/c/MTI1MzIyOTcxNjJa



شكل مقطع طولي لجسيمة المايتوكندريا

تنتج عن دورة كربس أربعة جزيئات من $NADH+H_2$:

الأولى/ تتكون عند تأكسد حامض البايروفيك إلى أسيتايلكو أي Acetyl Co A.

Pyruvic acid → Acetyl Co A

الثانية/ تتكون عند تحول حامض الستريك إلى حامض ألفا-كيتوكلوتاريك α- ketoglutaricacid .

Citric acid → α – Ketoglutaric acid.

الثالثة/ تتكون عند تأكسد حامض الماليك إلى حامض ألفاكيتوكلوتاريك إلى حامض سكسينيكCo A.

α – Ketoglutaric acid → Succinic acid Co A.

الرابعة/ تتكون عند تأكسد حامض الماليك إلى حامض الأوكزاليك.

Malic acid → Oxalic acid.

تتضمن هذه الدورة تحرر ثلاثة جزيئات من CO_2 وجزيئة واحدة من $FADH_2$ Flavin adenine dinucleotide

الدور الذي تلعبه دورة كربس في عمليات البناء في الخلية

1. تساهم دورة كربس في إنتاج الطاقة اللازمة لعمليات البناء المختلفة
2. المساهمة في بناء الأحماض الأمينية فمثلا يتكون حامض الجلوتاميك من الفاكيتوجلوتاريك ، والاسباراتيك من الأوكسالوخليك .
3. يدخل acetyl CO-A في التحولات الغذائية للدهون .
4. حامض الفيوماريك يدخل في التحولات الغذائية للنتروجين .
5. Succinyl - COA يدخل في التحولات الغذائية للدهون كما يدخل في بناء مركبات البورفيرينوالتي يتكون منها الكلوروفيلات – الستيوكروم – بعض الإنزيمات الأخرى.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى

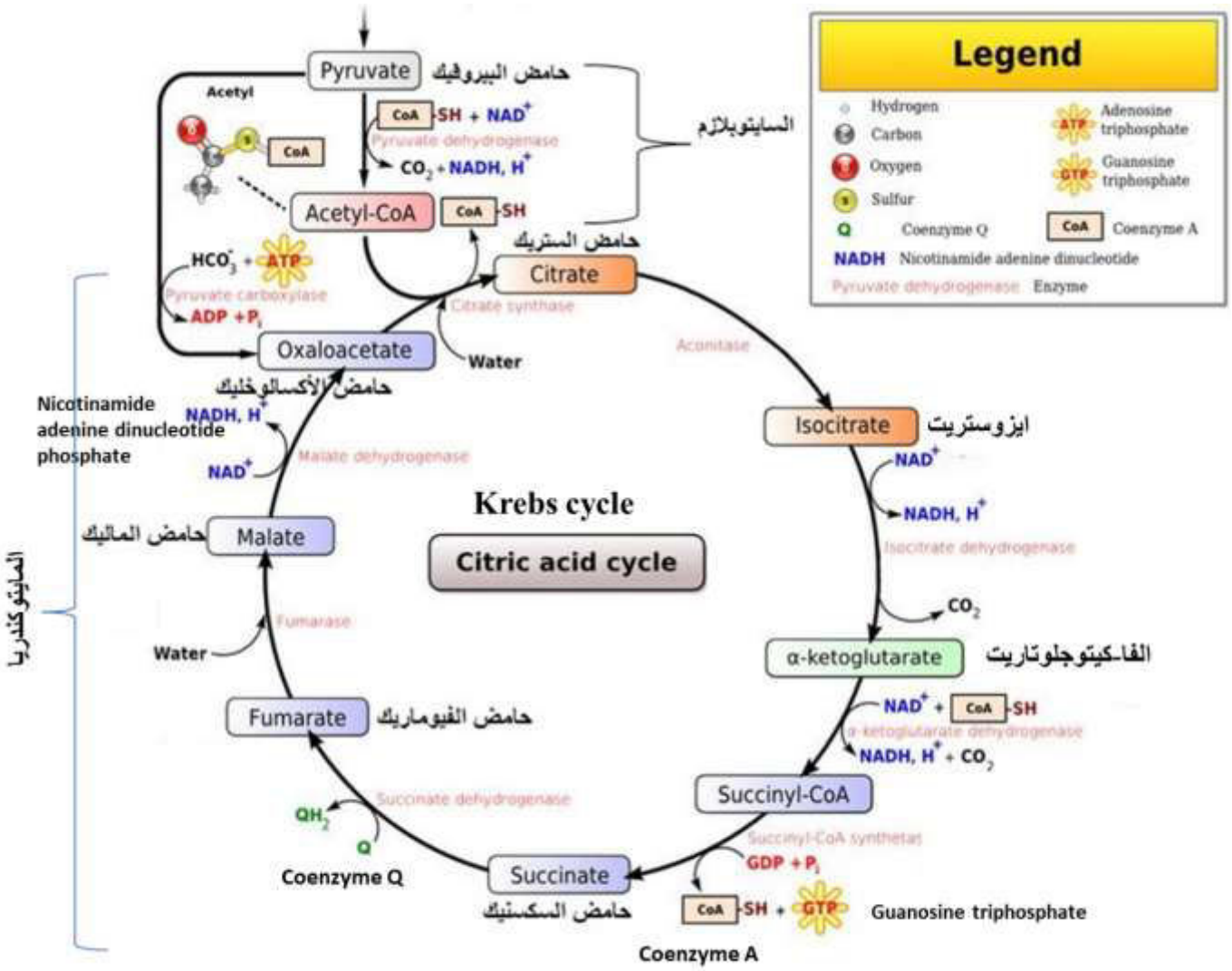
المركبات المشتقة والناتجة من عملية التنفس والتي تستعمل لأغراض البناء والتمثيل

عملية التنفس تعتبر ضرورية للخلية لأنها تجهز الخلية بمركبات وسطية مختلفة يمكن أن تستغلها الخلية لتكوين مركبات أخرى جديدة تحتاجها الخلية لنمو وبناء نفسها.

كثيراً من هذه المركبات الجديدة تكون كبيرة كجزيئات الشحوم والبروتين والحوامض النووية.

ولبناء هذه المركبات المعقدة تحتاج الخلية إلى استغلال الطاقة الكامنة في الأواصر الكيميائية للمركب ATP

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة/ جامعة المثنى



التفاعلات الكيميائية الأنزيمية التي تغتنمها دورة كربس والتي تجري على أسطح الأغشية الداخلية لجسيمة المايتوكوندريا Mitochondria

البناء الضوئي Photosynthesis

يقصد بعملية البناء الضوئي اختزال CO_2 إلى مستوى الكربوهيدرات بواسطة الكلوروبلاست في وجود الماء الضوئي حيث يقوم الضوء بتوفير الطاقة اللازمة لعملية تحويل CO_2 إلى كربوهيدرات تبعاً للمعادلة:

$$6CO_2+12H_2O \xrightarrow[\text{Chloroplast}]{\text{light}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2+6H_2O + 675\ \text{k.Cal.}$$

ولقد أسهم العديد من العلماء التوصل إلى حقيقة التفاعلات التى تتم خلال عملية البناء الضوئي وكان افضلهم العالم Blackman حيث توصل بالأدلة إلى أن عملية البناء الضوئي ليست تفاعل كيموضوئي فقط Photo Chemical Reaction بل تشمل تفاعل كيموحيوى أيضاً Biochemical reaction. ومن المعروف أن التفاعلات الكيموضوئية سريعة الغاية وتلزمها الطاقة الضوئية على العكس من التفاعلات الكيموحيوية والتى تسير بمعدل بطئ.

وفى عام (1937) أقام العالم Hill الدليل على أن الكلوروبلاست المعزولة والمعرضة للضوء والماء ومستقبل مناسب للهيدروجين تمكنت من انبعاث غاز O_2 وذلك فى غياب CO_2 وهذا دليل على حدوث تفاعلات كيموضوئية وكذلك مصدر O_2 هو الماء وليس CO_2 .

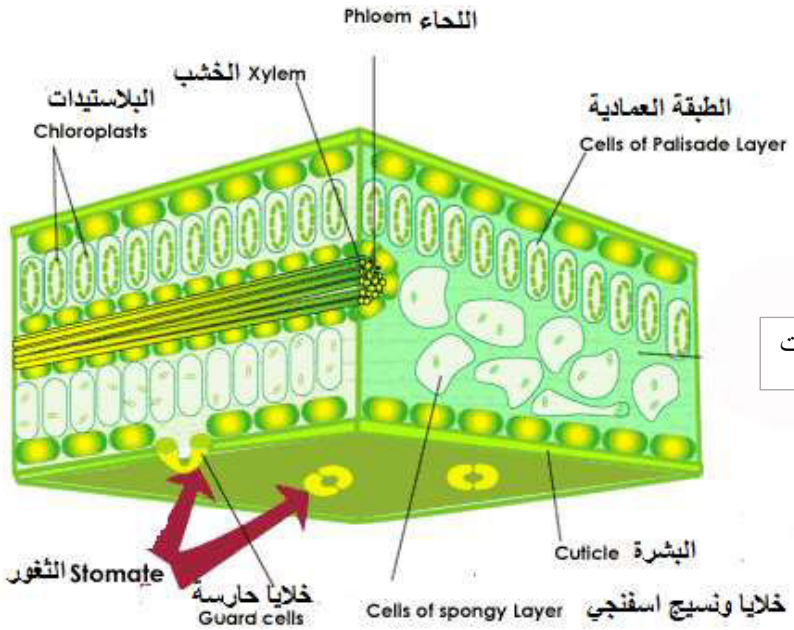
تحتوى النباتات الخضراء على صبغات البناء الضوئي التى تتأثر بالأشعة الضوئية. ونتيجة لاستجابة هذه الصبغات للضوء يتمكن النبات من القيام بعملية البناء الضوئي.

ويجب معرفة أن الضوء هو المهم فى عملية البناء الضوئي. ويمكن تصور أن الشعاع الضوئي يشبه تياراً من الجسيمات المتناهية فى الصغر ويسمى كل جسيم فوتون Photon وعند اصطدام هذه الجسيمات بالكلوروفيل تنتقل طاقتها الضوئية إلى الكترونات الكلوروفيل وبذلك تدفع جزيئات الكلوروفيل إلى إحداث التفاعل الكيمائي الضوئي. والطاقة التى يحتويها الفوتون تسمى كوانتم Quantum.

تركيب الورقة Leaf structure

يتكيف تركيب الورقه فى النبات مع الوظائف الرئيسية التي تقوم بها ، ولا يقتصر هذا التكيف على الشكل الخارجي للحصول على الطاقة، مثل الانتحاء الضوئي، والاتصال بالساق، ونصلها المسطح، بل يشمل تركيبها الداخلي أيضا. لاحظ أن الخلايا الإسفنجية متباعدة عن بعضها مما يسمح بتشكيل فراغات هوائية تتصل بالثغور، وهذا يساعد على تبادل الغازات مع الهواء الخارجي.

ويتخلل النسيج المتوسط عرق وسطي رئيسي كبير وشبكه من العروق الدقيقة وتختص بوظيفة النقل وتحتوي البشرة السفلى في الورقة على الثغور، وكل ثغر مكون من خليتين حارستين محاطة به تعملان على تنظيم عملية فتح وغلق الثغر، كما تحتوي الخليتان على البلاستيدا ت الخضراء وأن كثرة عدد الثغور فى الورقة تعمل على انتشار الغازات بمقادير كبيرة فتحقق التبادل الغازي بين الورقة والهواء الخارجي.



رسم مقطع عرضي لورقة النبات

مصادر الطاقة الضوئية

الشمس كجهاز نووي حراري The Sun as a Thermonuclear device

معادلة اينشتاين $E=Mc$

E: الطاقة مقاسة بالاركات (Ergs) ، M: كتلة المادة المحولة مقاساً بالغرامات ، c: سرعة الضوء والتي تقدر بـ 3×10^{10} سم/ثانية أو 168000 ميل/ثانية.

ولو أن وحدة الايرك هي وحدة صغيرة إذ تحتاج إلى 40 مليون ايرك لتكوين وانتاج سعرة (Caloric) واحدة.

نستنتج من المعادلة السابقة بأنّ كميات كبيرة من الطاقة يمكن أن تتحرر نتيجة تحويل كميات صغيرة من الكتلة إلى الطاقة حيث قدرت بأن 120 مليون طن من الكتلة ستتلاشى في كل دقيقة داخل الأعماق السحيقة للشمس وتتحول إلى كميات هائلة من الطاقة تشع في الفضاء الخارجي.

ان عملية التركيب الضوئي تحول 200 بليون طن كاربون من CO_2 الجوي إلى السكريات والكاربوهدرات بصورة عامة. وان هذا المقدار يزيد بمائة مرة على كل المواد أو الكتل الوزنية التي ينتجها الإنسان على سطح الكرة الأرضية سنوياً. ولو أن عملية التركيب الضوئي تعتبر من أهم العمليات الكيميائية كفاءة مع سطح الكرة الأرضية.

الطاقة الإشعاعية Radiant Energy

تستعمل غالباً وحدة المليمايكرون (mμ) كوحدة أساسية للتعبير عن الأطوال الموجية. كما تستعمل وحدة الانكستروم (A^0) أيضاً لهذا الغرض (انكستروم A^0 = $\frac{1}{10}$ من المليمايكرون). ان الطيف المرئي يشتمل على الموجات الضوئية التي تتراوح أطوالها بين 400-700 مليمايكرون والتي تستطيع العين المجردة من رؤيتها.

400 مليمايكرون تمثل نهاية المنطقة الزرقاء البنفسجية للطيف.

700 مليمايكرون تشير إلى نهاية المنطقة الحمراء من الطيف.

وانّ الألوان الأخرى للطيف تنتظم بينهما في الترتيب التالي:

البنفسجي ، الأزرق ، الأخضر، الأصفر، البرتقالي ثمّ الأحمر.

إنّ النباتات تستجيب وتتحسس للأشعة الضوئية التي تراها عين الإنسان. ولو أنّ بعض الكائنات البكتريا تستطيع استخدام الأشعة تحت الحمراء والتي لا ترى بالعين المجردة.

في بداية القرن العشرين أوضح العالم الفيزيائي الألماني Max Plank بأنّ طاقة الإشعاع تكون مخزونة في جسيمات ضوئية تعرف Quanta، وإنّ كمية الطاقة هذه تتناسب تناسباً طردياً مع التردد. فكلما كانت قيمة التردد عالية كلما كانت كمية الطاقة التي تحتويها الموجة الضوئية كبيرة

كلما كان طول الموجة كبيراً كلما كانت قيمة التردد صغيرة وطاقة أقل في الكوانتم (quantum). لأن الموجات الضوئية القصيرة تحتوي على طاقة أكبر في الكوانتم بالمقارنة مع الطاقة التي تحتويها الموجات الضوئية الطويلة.

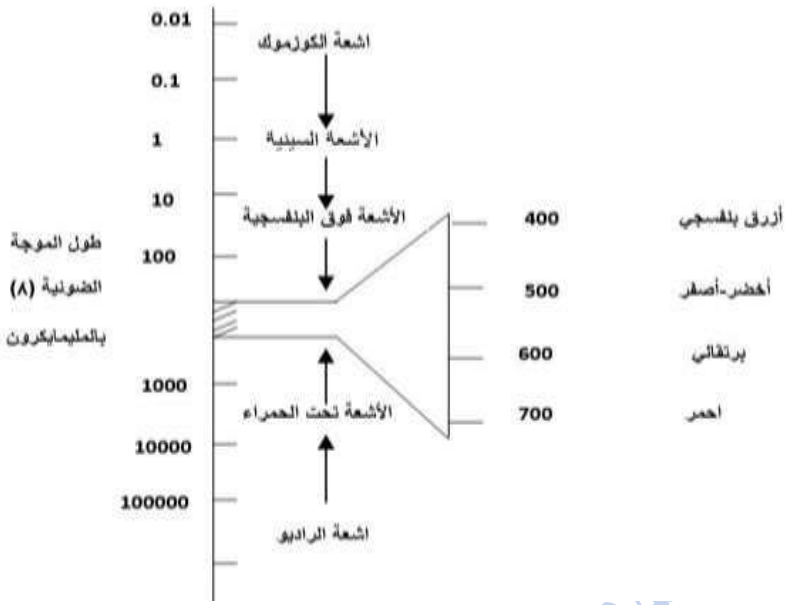
إنّ الأشعة الصادرة من الطاقة الشمسية تجري عليها بعض التغيرات قبل وصولها إلى سطح الكرة الأرضية. فأثناء اختراق هذه الأشعة منطقة الأوزون (O_3) في الفضاء الخارجي تمتص منها بعض الأشعة وهي الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet ذات الطاقة العالية.

ان امتصاص هذه الأشعة القوية جنّبت الإنسانية والكائنات الحية الأخرى من التغير والتشويه أو حتى الدمار الشامل نتيجة للتأثير المميت الذي تحدثه هذه الأشعة عند سقوطها أو امتصاصها من قبل الخلايا الحية.

أما الأشعة تحت الحمراء والمعروفة بأشعة الحرارة فإنّ جزءاً كبيراً منها يمتص من قبل بخار الماء الجوي و CO_2 المتواجدة في الفضاء الخارجي، ان امتصاص هذه الأشعة الحرارية قد ساعدت على بقاء درجة حرارة الكرة الأرضية في حدود معينة تستطيع عندها الكائنات الحية من العيش والبقاء.

إنّ غالبية الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض هي الأشعة المرئية Visible lightوبعضاً من الأشعة تحت الحمراء infrared والأشعة فوق البنفسجية.

ان الأشعة التي تخترق الفضاء ثم تصل في النهاية سطح الأرض تكون المصدر الرئيسي للطاقة لكل الكائنات الحية فوق كوكبنا الأرض. فالنباتات الخضراء هي الكائنات الفعّالة في امتصاص هذه الطاقة وخزنها كيميائياً عن طريق عملية التركيب الضوئي Photosynthesis.



صورة تخطيطية للطيف الشمسي وبضمنه الضوء المرئي

تركيب الكلوربلاست Chloroplast

بفحص الكلوروبلاست بالمجهر الإلكتروني يتضح تواجد الغشاء الخارجي المزدوج والذي يحوى بداخله نوعين من الصفائح. الأول منها تسمى صفائح الجرانا وتحتوى على صبغات البناء الضوئي والثاني منها تسمى صفائح الاستروما وتحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام.

ويمكن الإشارة إلى أن البلاستيدة أو جزء منها يكون قادراً على القيام بعملية البناء الضوئي ويمكن أيضاً الإشارة إلى أن أصغر جزء من البلاستيدة يستطيع القيام بعملية البناء الضوئي هذا الجزء لابد من احتوائهاعلى 400 جزيء كلوروفيل على الأقل ويسمى هذا الجزءquantasome كوانتاسوم أو الوحدة الضوء تمثيلية.

الكلوروبلاست (الموجود في الجزء الاخضر من النبات)

↓

تحتوي على الكلوروفيل (جزيئات الصبغة)

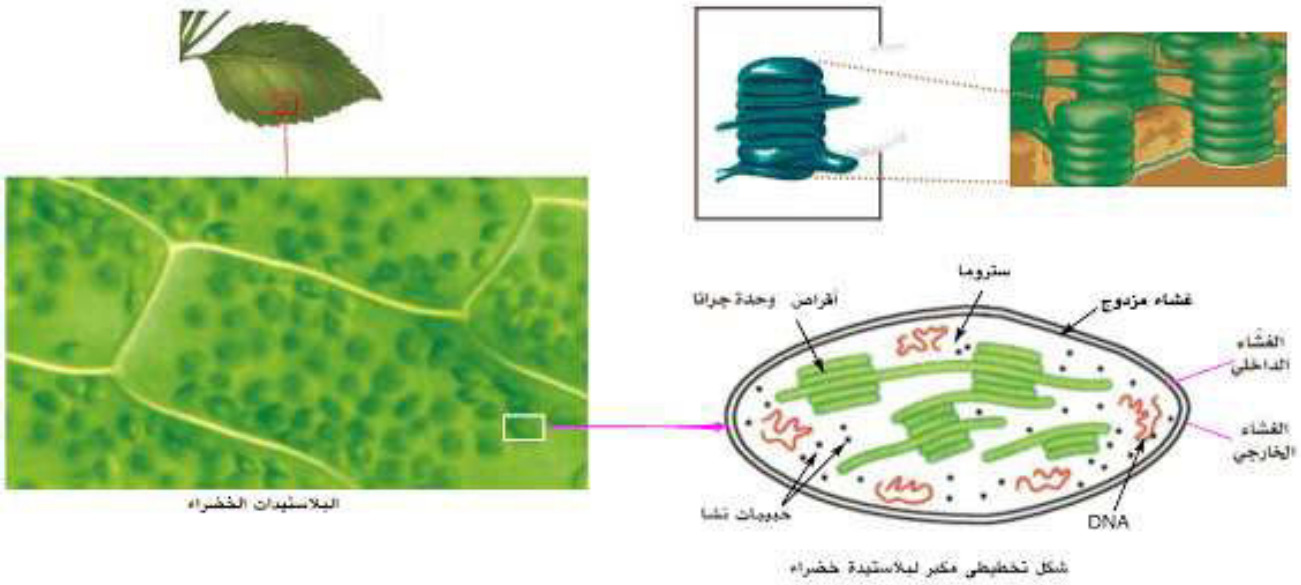
↓ تمتص الطاقة الضوية

ATP + NADPH

↓

اختزال CO_2 الى CHO (كاربوهيدرات : النشأ والسكروز)

كلية الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى



شكل تخطيطي مكبر لبلاستيدة خضراء

صبغات البناء الضوئى Photosynthetic pigments

تحاط البلاستيدة الخضراء بغشائين خارجي لتنظيم انتقال المواد من البلاستيدة واليها وداخلي يشكل نظاما من صفائح غشائية مرتبة على شكل أكياس مسطحه تدعي الثايلاكويدات، تترتب على هيئة أقراص لتشكل الجرانا Grana وتنظيم هذه الاقراص بطريقة تسمح بامتصاص الحد الاقصى من الطاقة الشمسية (الضوئية) وتحتوى أغشيتها على أصباغ مختلفة لها علاقة بعملية البناء الضّوئي خاصة الكلوروفيل ، إما الجزء غير الغشائي في البلاستيدات يتكون من سائل يحيط بالجرانا يسمى الحشوة (Stroma) التي تحوي معظم الانزيمات اللازمه لعملية البناء الضوئي.

يعتبر الكلوروفيل أهم أنواع الصبغات النباتية فى عملية البناء الضوئى فهو يمتص الطاقة الضوئية ويحولها إلى طاقة كيماوية صالحة لأن تدفع الخلية لبناء المواد الكربوهيدراتية. ويوجد الكلوروفيل فى البلاستيدات الخضراء مرتبطاً بالبروتين ولا يذوب الكلوروفيل فى الماء ولكنه يذوب فى المذيبات العضوية مثل الاستيون ، الأثير ، الميثانول. ولقد وجدت أنواع عديدة من الكلوروفيل أهمها فى النباتات الراقية كلوروفيللات (أ) وكلوروفيل (ب) ونسبة الأول إلى الثانى غالباً 1:3 ولونهما أخضر .

كما توجد صبغات أخرى يميل لونها إلى الأصفر تسمى الكاروتين والزانثوفيل وهذه الصبغات لها دور مساعد فى عملية البناء الضوئى حيث تقوم بامتصاص والتقاط الطاقة الضوئية ثم تنقلها إلى صبغات الكلوروفيل .

كما تقوم أيضاً بدور رئيسى فى حماية الكلوروفيلات من عمليات الأكسدة الضوئية وخاصة فى الضوءالساطع .

ويتم تخليق جزئ الكلوروفيل من خلال عدة خطوات تبدأ باتحاد أحد المركبين الفا-كيتوجلوتاريك - αketoglutaric acid أو سكسينيل كوأ succinyl co A مع الحامض الأمينى جليسين glycein لتكوين المركب ALA حامض الفا أمينو لفيولينيك. وتنتهى التفاعلات بتكوين مركب رباعى البيرول. ويتوسط حلقات

البيرول ذرة المغنسيوم Mg. كما يحتوى الكلوروفيل على مجاميع جانبية على حلقات البيرول. كما يحتوى على حامض الفيتول. ويتواجد الكلوروفيل مرتبطاً بالبروتين فى صفائح الجرانا داخل البلاستيدة الخضراء.

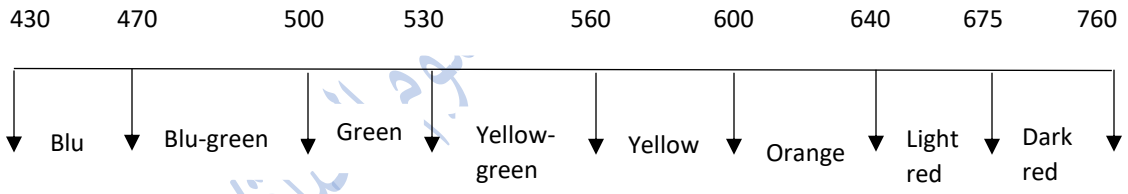
الرمز الجزيئى لكلوروفيل أ	$C_{55}\ H_{72}O_5N_4Mg$
الرمز الجزيئى لكلوروفيل ب	$C_{55}\ H_{70}O_6N_4Mg$
الرمز الجزيئى للكاروتين	$C_{40}\ H_{56}$
الرمز الجزيئى للزانثوفيل	$C_{40}\ H_{56}O_2$

الكيمياء الضوئية للكلوروفيل Photochemistry of chlorophyll

يتأثر الكلوروفيل ويثار إذا ما تعرض للضوء الأبيض حيث يشغل الضوء الأبيض منطقة صغيرة جداً يتراوح أطوالها الموجية من 430-760mμ وهذه المنطقة من الأطوال الموجية تشمل الضوء الأزرق (430-470 mμ) ، الأزرق المخضر (470-500mμ) ، الأخضر (500-530 mμ) ، الأصفر المخضر (530-560 mμ) ، الأصفر(560-600mμ) ، البرتقالى (600-640 mμ) ، الأحمر الفاتح (640-675mμ) ، الأحمرالقاتم (675-760mμ).

بينما الأطوال الموجية الأكبر من ذلك أو الأصغر أشعة كهرومغناطيسية لايستفيد منها النبات.

عند امتصاص الكلوروفيل للأشعة الزرقاء ذات الطول الموجى 430mμ وكذلك الأشعة الحمراء ذات الطول الموجى 760mμ فإن جزئيات الكلوروفيل يحدث لها إثارة نتيجة لامتصاص هذه الطاقة الضوئية .



منطقة الامتصاص المؤثرة على الكلوروفيل وهي منطقة الضوء الأبيض

مراحل عملية التركيب الضوئي Stage of Photosynthesis

إنّ اصطلاح التركيب الضوئي غالباً ما يستعمل للإشارة إلى بناء الكاربوهيدرات بواسطة النباتات من مواد لاعضوية inorganic بسيطة (الماء و CO_2) بمساعدة الطاقة الضوئية التي تمتصها البلاستيدات الخضراء. وبمعناه الواسع يشير أيضاً إلى بناء البروتين والشحوم كنتيجة لتكوين المواد الكاربوهيدراتية.

إنّ نتائج البحوث الحديثة التي استعملت فيها نظائر الأوكسجين في تركيب جزيئة الماء أثبتت بصورة قاطعة بأنّ مصدر الأوكسجين الخارج من عملية التركيب الضوئي هو الماء فقط وليس من CO_2. واستناداً إلى ذلك فإنّ المعادلة الكيميائية المعدلة التي تمثل العملية هي كما يأتي:

$$CO_2+12H_2O \xrightarrow[\text{الكلوروفيل}]{\text{الطاقة الضوئية}} \underset{\text{سكر كلوكوز}}{C_5H_{12}O_6} + 6O_2 + 6\,H_2O$$

وقد برهنت التجارب الحديثة بأنّ حامض الكليسرين الفوسفاتي phosphoglyceric acid هو أول النواتج الكيميائية لعملية التركيب الضوئي التي تتم على مرحلتين:

1. المرحلة الضوئية.
2. مرحلة الظلام.

الطاقة الضوئية الممتصة من قبل الجزيئات في الخلية النباتية Light energy absorbed by a molecule in plant cell

ان الطاقة الضوئية الممتصة من قبل الجزيئات في الخلية النباتية يحدث لها بعض التغيرات منها:

1. الطاقة تتحول الى حرارة
2. يحدث تغيير حركة الجزيئات الكيميائية مثل انشطار الماء يؤدي الى انتقال الطاقة الى جزيئات اخرى خلال انتقال الالكترون
3. التركيب الضوئي هو المسؤول عن نقل الطاقة من الكلوروفيل الى جزيئات اخرى

تفاعلات الضوء

المخطط التالي يمثل تفاعلات الضوء (مخطط تفاعل Z (Z-Schen) وهو يوضح انتقال الالكترون والفسفرة الضوئية وتكوين ال ATP اي يمثل تفاعلات الضوء في عملية التركيب الضوئي .

Eovit: هي طاقة الكوانتم او الفوتون Energy of Quantum photon

المخطط يوضح نقل الطاقة بعملية التركيب الضوئي . وبشكل عام يوجد طريقين لنقل الالكترون ويسمى النظام الاول والثاني.

ان الطاقة تحملها الفوتونات الضوئية تسمى كوانتم Quantum تتحول الى طاقة كيمياوية ATP عن طريق مرورها:

اولا خلال جزيئات صبغة الكلوروفيل الفعالة Activate pigment تاخذ الاشعة تكون اكثر امتصاصا نتيجة امتصاص هذه الاشعة .

عند مرور هذه الاشعة خلال جزيئة الكلوروفيل فان كمية الطاقة Quantum الممتصة من قبل الكلوروفيل والصبغات الاخرى هي التي تتحول الحالة مستقرة (غير نشطة) الى حالة غير مستقرة (الحالة النشطة) وبعدها تنتقل الى جزيئة الماء ونتيجة هذا يحصل انشطار لجزيئة الماء وبعدها تتحول هذه الطاقة ومن ثم تقوم الالكترونات الناقلة فقد هذه الطاقة المكتسبة في مراحل متعاقبة خلال الحوامل الالكترونية مثل السايتوكروم

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

CYT والبلاستيوسيانين PC وبهذه المراحل المتعاقبة تكون الطاقة المفقودة كافية لتكوين جزيئة ATP ويتم هذا من خلال سلسلة متعاقبة من التفاعلات الضوئية المفسفرة وتسمى قوة ضوئية مختزلة كما في Photophosphorylation $NADPH_2$

الفسفرة الضوئية Photophosphorylation

هي عملية تكوين ال ATP من الطاقة الضوئية المرئية حيث تتكون من نوعين من التفاعلات :

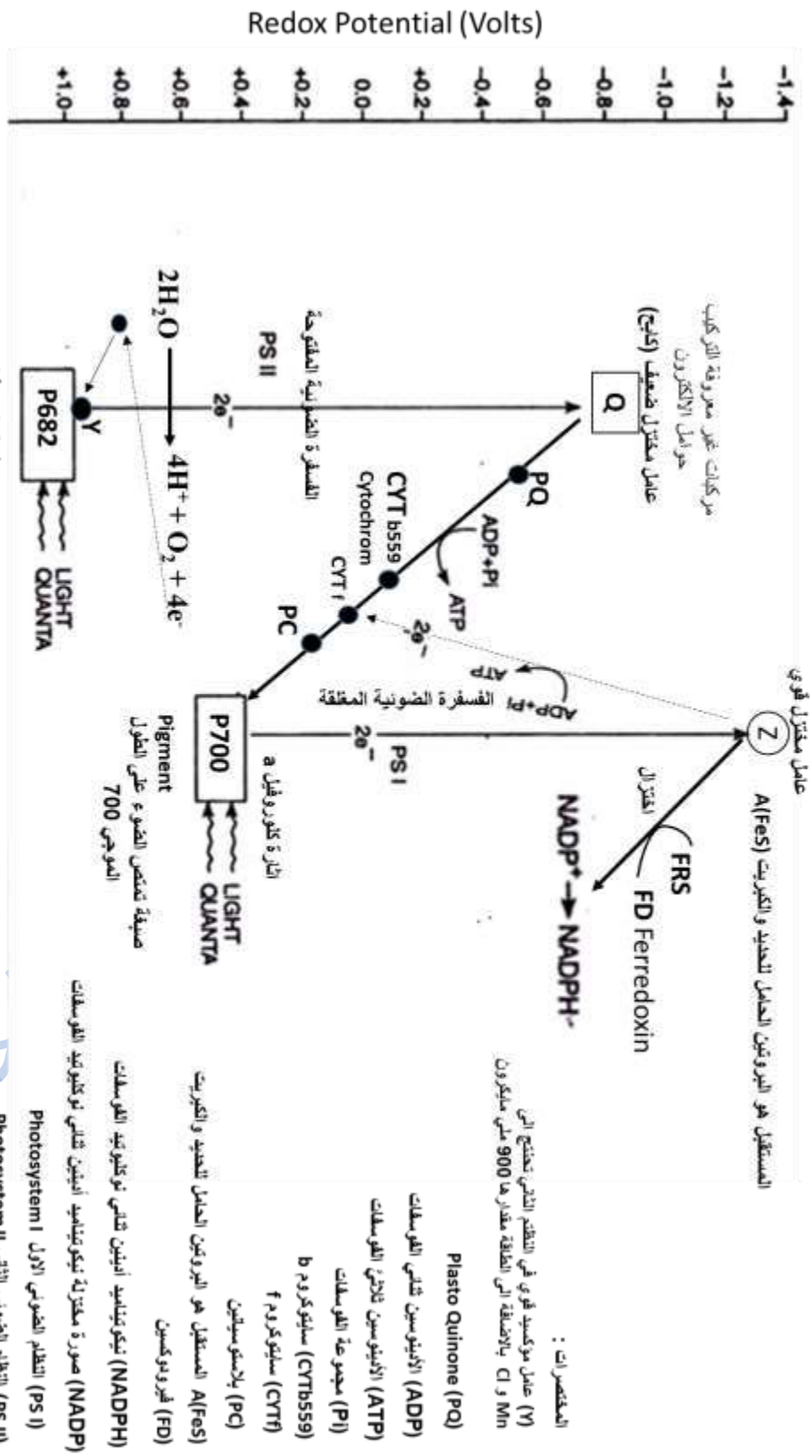
1. التفاعلات الضوئية الكيميائية Photochemical reaction

وهي التفاعلات التي تعتمد على الضوء وهي تتم بسرعة فائقة ب الف بالمليون بالثانية . ولذلك من الصعب قياس هذا النوع من التفاعلات ولا تزال الدراسات تخمينية.

2. تفاعلات الظلام والتفاعلات الكيمياوية الانزيمية Enzymatic reaction

وهي التفاعلات التي لا تعتمد على الضوء ولكن يمكن ان تحدث بالضوء والظلام مقارنة بتفاعلات الضوء. تقدر سرعتها ب واحد بالالف بالثانية لذا فان المعلومات المتوفرة عليها اكثر من تفاعلات الضوء.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى



مخطط يوضح نقل الالكترون المحفز ضوئيا (مخطط-Z) في البناء الضوئي بين الفسفرة الضوئية المغلقة

جامعة المثنى

وحدات التركيب الضوئي Units of photosynthesis

الدراسات والصور المكبرة اوضحت ان جزيئات الكلوروفيل هي احد الوحدات الاساسية في عمليات التركيب الضوئي. وهذه الوحدات تعمل بشكل مجاميع مترابطة تحوي مجموعة على 250-400 جزيئة كلوروفيل A وهذه المجموعة من الجزيئات التي يتم انتقالها الى مركز التفاعلات الكيمياوية عن طريق الالكترون e^- او حوامل الالكترونات.

العالمان Arnoles و Emerson لاحظ ان في عملية التركيب الضوئي تحتاج الى 2500 جزيئة من كلوروفيل لاحظ ان في عملية التركيب الضوئي تحتاج الى 2500 جزيئة من كلوروفيل A لتحرير O_2 لكل Quantum متحررة لعملية التركيب الضوئي. وكذلك تحتاج الى 8 Quantum او فوتون لتثبيت جزيئة واحدة من CO_2 اي ان هذه العملية تحتاج الى حوالي 300 جزيئة كلوروفيل A لكل Quantum واحد

2500 chlorophyll A (لتحرر) Molecular/O_2

8 Quantum / CO_2 fixed تثبيت

300 chlorophyll A Molecular/ Quantum

توضيح تفاعلات الضوء والظلام

1. **تفاعلات الضوء Light reaction photosystem (Light system)**

اي ان تفاعلات الضوء تشمل PS I, PS II ،

1. Photosystem I النظام الضوئي الاول
   Ch. A pigment called (P700)

2. Photosystem II النظام الضوئي الثاني
   Ch. A pigment called (P682)

كلا النظامين الاول والثاني يحتاج الى جزيئة واحدة لكل من :

CYTf, CYTb559, CYTb6, Plastoyanium (PC)

فهذين النظامين يوجدين في الاماكن التالية

1. النظامين PS I, PS II يوجدان في اجراء من الغشاء الخلوي للبلاستيدات
   PS I يوجد في الحشوة وفي نهاية الكرانا
   PS II يوجد في الكرانا وحاجز البلاستيدات

2. النظام الثاني PS II لا يستطيع العمل بدون وجود النظام الاول PS I. لكن الاول PS I يمكن العمل بدون الثاني PS II

3. يمكن ان نجد النظام الاول PS I والثاني PS II معا او نجد النظام الاول PS I لوحده
4. الالكترونات e^- تجري باتجاه من النظام الثاني PS II الى النظام الاول PS I وتكون ATP

الطاقة الضوئية التي تحولها النباتات من ضوئية الى كيمياوية مخزونة تتراوح اطوالها بين 400-1000 µm

دورة الكاربون التي تمثل التركيب الضوئي Carbon cycle that represents photosynthesis

في كل سنة في الكرة الارضية بشكل عام يتحدحوالي 150 بليون طن من الكاربون في عملية التركيب الضوئي.
25 بليون طن من الهيدروجين لكي يعطي 400 بليون طن من O_2.

90% من هذه العمليات تحدث على الاسطح المائية و 10% تحدث على اليابسة .

وهذه الدورة تسمى دورة الكاربون والتي لا نهاية لها .

ذرات الكاربون والهيدروجين والاوكسجين تاتي من اما من المحيط الخارجي Atmosphere والمحيط المائي Hydrosphere وتسمى اثنتيهم Biosphere وهذين العمليتين تتبع مواد عضوية تتحلل الى مواد غير عضوية ويطلق عليها هذه الدورة بدورة الكاربون.

اهمية التركيب الضوئي تكمن تحويل المركبات ذات الطاقة الواطئة التي هي اهمية التركيب الضوئي تكمن تحويل المركبات ذات الطاقة الواطئة التي هي CO_2 و H_2O الى مركبات ذات طاقة عالية التي هي الكاربوهيدرات ودهون (شحوم) وغيرها تتحلل هذه المواد بعملية التنفس على صورة طاقة حرارية او تخزن على شكل طاقة كيمياوية في المركبات الحاملة للطاقة ATP

150 بليون طن C + 25 بليون طن H_2 ⟵ 400 بليون طن O_2

Hydrosphere + Atmosphere ⟵ Biosphere

مكونان النظام الاول PS I

1. 200 كلوروفيل A مرتبطة بروابط بروتينية
2. تقريبا 50 صبغة كاروتين
3. ذات الصبغة P700
4. جزيئة واحدة مرتبطة بجزيئتين من النحاس والتي ينتج اكسدة واختزال (PC1-2Cu)
5. CYT b6 سايتوكروم b6 عمله في الفسفرة الضوئية الدائرية.
6. وجود 10 اواصر (Ferredoxins) FD والوزن الجزيئي 12000 الذي يقوم باختزال NADP ويحتوي على Fe و S التي تقوم بالاكسدة والاختزال

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

مكونان النظام الثاني PS II

1. 200 كلوروفيل A مرتبطة بروابط بروتينية
2. 50 صبغة كاروتين
3. ذات الصبغة P682
4. جزيئة واحدة من Q المستقبل الاولي للالكترون (الكابح)
5. اربع جزيئات من ناقل الالكترون PQ
6. توجد 6 منغنيز 6Mn
7. CYT-b559

استلام الضوء بالنظامين الاول PS I والثاني PS II

عند استلام الضوء بالنظام الاول PS I

1. انتاج او تكوين عامل مختزل قوي A(FeS) او (Z او X)
2. عامل مؤكسد ضعيف P700
3. تتكون اشكال مؤكسدة لنواتج الالكترون PC و CYTf

عند استلام الضوء بالنظام الثاني PS II

1. تستلم الموجة القصيرة اقل من 700
2. يتكون عامل مؤكسد قوي (Y)
3. يتكون عامل مختزل ضعيف (Q)
4. يتكون اشكال مختزلة لنواتج الالكترون PC و CYTf

كيفية عمل النظامين الاول PS I والثاني PS II

كيفية عمل النظام الاول PS I

1. يبدأ العامل المختزل القوي A(FeS) او (Z او X) يكون $NADPH_2$
2. العامل المؤكسد الضعيف P700 يستقبل الالكترون
3. بكتريا التركيب الضوئي توجد في هذا النظام فقط
4. اذا فصلنا النظام الاول PS I والثاني PS II فانها يبقيان مرتبطان مع PC و CYTf

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

كيفية عمل النظام الثاني PS II

1. ينشط بواسطة العامل Y يؤدى الى تكوين O_2 من ال H_2O او ال OH
2. الالكترون e^- يجري من العامل المختزل باتجاه تدرج جهد الالكترون الى الاسفل الى الصبغة P700 من خلال سلسلة نقل الالكترون
3. الحوامل التي ترتبط بالنظام الثاني هو السايتوكروم CYT b559 والبلاستوكوانين PQ

في تفاعلات الضوء تحدث حالتين

1. اختزال مركب ال $NADP^+$

a. Activaton of PS I ⟶ A(FeS) (Z)
b. Z than reduces (يختزل) FRS ⟶ FD

FRS ⟶ FD

c. FD NADP (بتاكسد انزيما) ⟶ NADPH

خلاصة الحالة الاولى

$$P700 \xrightarrow[\text{Against}]{\text{Against}} Z \xrightarrow{e^-} FRS \longrightarrow FD \xrightarrow{e^-} NADP^+ \longrightarrow NADP + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH_2$$

يستخدم في تثبيت CO_2 في تفاعلات الظلام

2. انتاج ال O_2

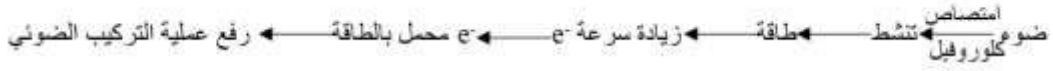
a. PS II نشط ⟶ (ينتج) Y العامل المؤكسد القوي
b. Y ⟶ ياخذ ال e^- من الماء ⟶ (يكون) O_2
c. Need (Mn^{+2} and Cl^-)

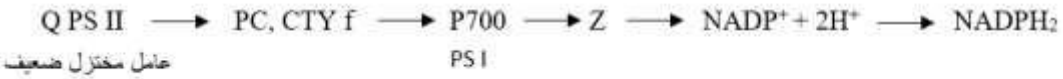
خلاصة الحالة الثانية

$$2H_2O \longrightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$$

الفسفرة الضوئية

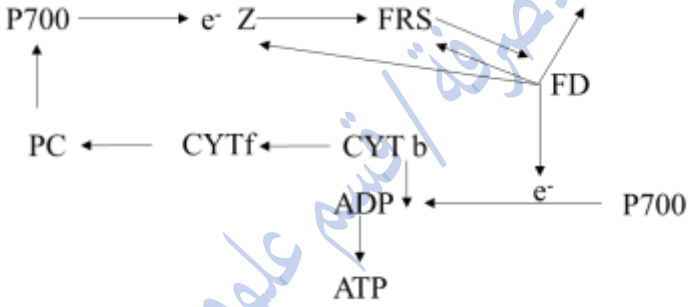
الضوء يمتص من قبل جزيئات الكلوروفيل حيث تنشط هذه الجزيئة وتعطي طاقة تحصل بها زيادة في سرعة الالكترونات هذه الالكترونات تكون محملة بالطاقة العالية وهذه هي الدافع لعملية التركيب الضوئي





الفسفرة الضوئية على نوعين :

اولا: الفسفرة الضوئية المغلقة

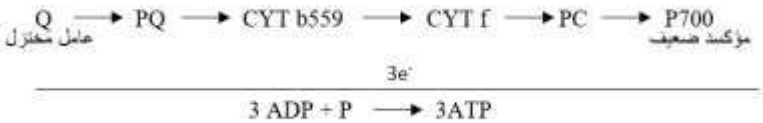


بمعنى اخر ان مستوى الطاقة الالكترونية تنقل من P700 الى Z او FRS او FD وعند العودة لم يتم التاكد من اي من المركبات ينتقل منها الالكترون الى السايتوكروم CYT b ، CYT f

حيث تعود خلال هذه الدورة يتحرر ال ATP علما بان PS II لا يشترك في هذه الدورة كما لا يتحرر او ينتج ال O_2 . تبدأ هذه الدورة عندما تغلق الثغور

ثانيا : الفسفرة الضوئية المفتوحة

يبين المخطط مسار الالكترون في الفسفرة المفتوحة



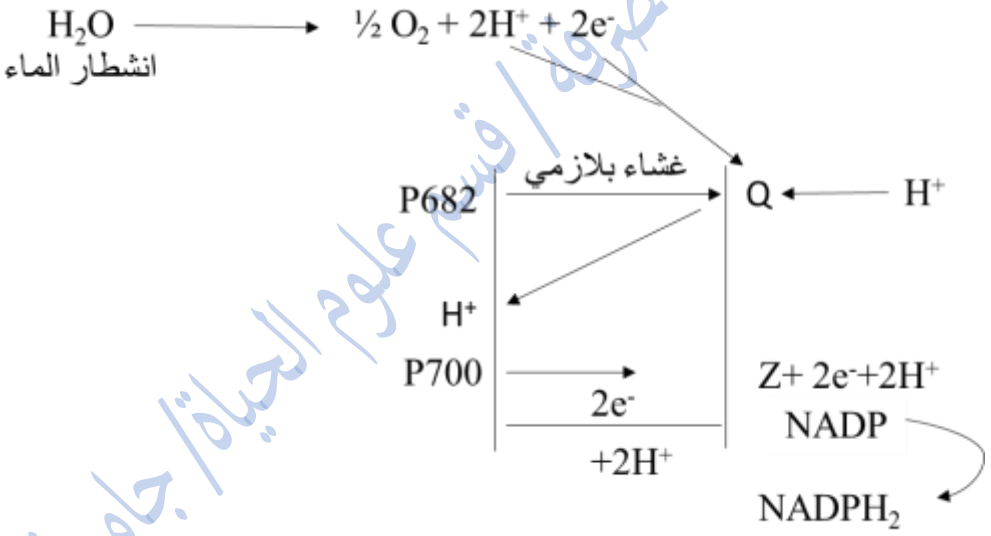
ياخذ الالكترون من النظام الثاني الى ان يصل الى جزيئة الكلوروفيل بالنظام الاول وبهذه الدورة يتحرر ATP حيث في كل دورة 3ATP

والالكترون تستمر الى NADP ولا ترجعوانما تختزل الى NADPH اي ان عملية الفسفرة الضوئية تعود بالاساس على سير الالكترونات التي تنطلق من جزيئة الماء بعد حصول انشطارها الى مستقبل الالكترون General EQ

$$H_2O + NADP + ADP + Pi \qquad ½\ O_2 + NADPH + H^+ + ATP$$

اي ان هذه الفسفرة سوف يكون 3ATP و 2NADPH وهي اللازمة لتثبيت جزيئة CO_2 وتحويله الى سكريات . اما الطاقة الناتجة من الفسفرة الدائرية المغلقة فهي تستخدم لسد الحاجة والنقص في الطاقة المتكونة من المفتوحة. او تستخدم في العمليات الحيوية الاخرى في النبات او الخلية.

المخطط التالي يوضح انشطار جزيئة الماء واختزال NADP الى $NADPH_2$ وتحرير الطاقة اللازمة لتثبيت CO_2 في عملية التركيب الضوئي وتكوين السكريات.

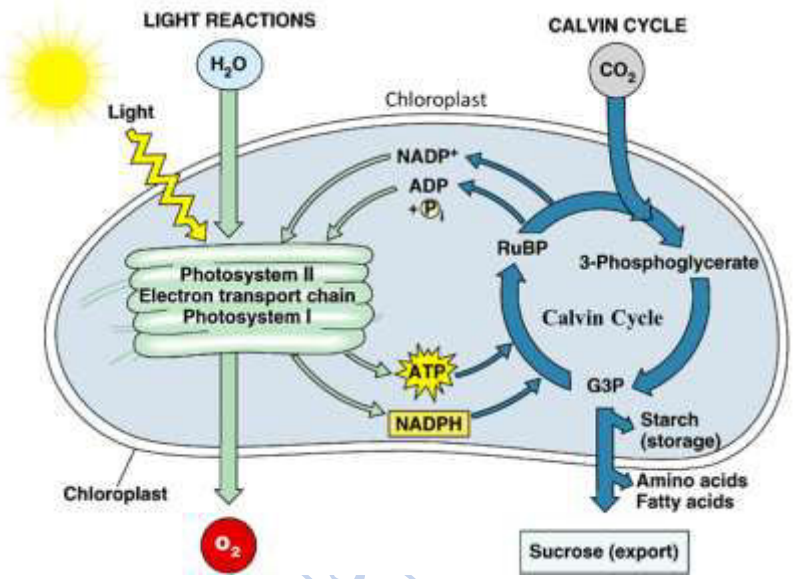


2. تفاعلات الظلام Dark reaction photosystem (Dark system)

بما أن هذا التفاعل كيماوي فإنه لا يتأثر بوجود الضوء من عدمه ولذلك فهو يتم فى الضوء أو الظلام على حد سواء ويتوقف نشاط هذا التفاعل على الطاقة المنتجة بواسطة تفاعل الضوء ونظاميه PS I & PS II وفى هذا التفاعل يتم اختزال CO_2 لمستوى الكاربوهيدرات بواسطة $NADPH_2$ فى وجود ATP الناتجة من تفاعلات الضوء. عند اختزال CO_2 من خلال دورة كالفن يتكون المركب (PGA) حامض الفسفوكلسريك والذى يعتبر أول المركبات الثابتة أو الناتجة خلال تفاعل الظلام. وهذا المركب يتكون من 3 ذرات كاربون ولذلك تسمى النباتات التى تتم بها هذه الدورة بالنباتات ثلاثية الكربون (C3 Plants) .

خلال تفاعلات الظلام يتم بناء السكر من ثاني اوكسيد الكاربون حيث نلاحظ :

1. جزيئات ال ATP الناتجة من تفاعل الضوء توفر الطاقة اللازمة لبناء السكر.
2. NADPH الناتجة من تفاعل الضوء تمثل القوة الاختزالية اللازمة لاختزال CO_2
3. يحدث تفاعل الظلام من خلال سلسلة من التفاعلات الانزيمية التي تتم في منطقة الحشوة (الستروما) داخل البلاستيدات الخضراء ويطلق على هذه التفاعلات اسم دورة كالفن Calvin Cycle



مخطط يوضح علاقة النظام الضوئي الاول والثاني بدورة كالفن

دورة كالفن Calvin Cycle

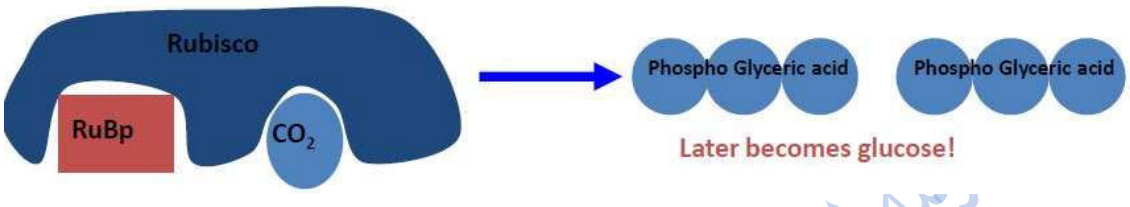
دورة كالفن أو دورة تثبيت ثاني أكسيد الكاربون تسمى هذه التفاعلات حلقة كالفن (Calvin Cycle) ؛ وذلك نسبة إلى مكتشفها، وتحدث هذه التفاعلات في ستروما البلاستيدة حيث توجد الإنزيمات اللازمة لها، ودون الحاجة للضوء ، ويتم فيها استخدام نواتج التفاعلات الضوئية ATP و NADPH

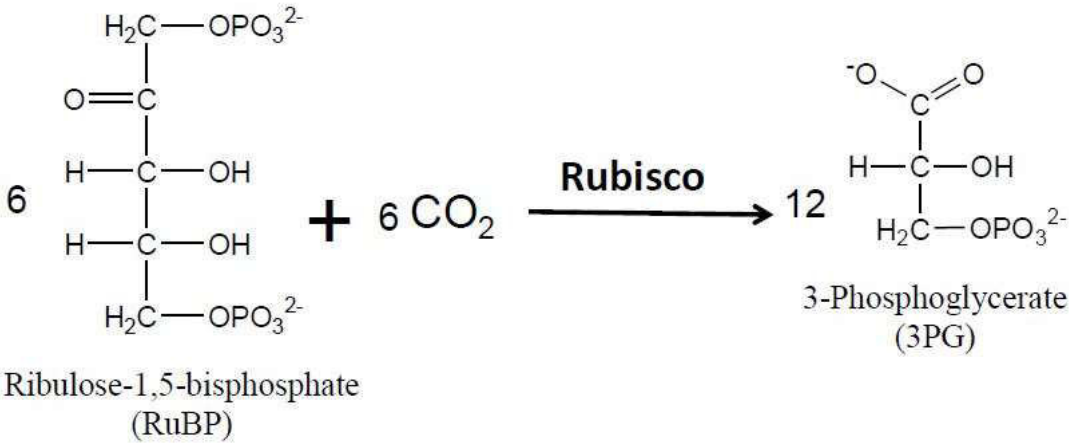
يدخل الكاربون في حلقة كالفن على شكل CO_2 ويغادرها على شكل سكر.

ويستهلك ATP كمصدر للطاقة، و NADPH كعامل اختزال قوي ، حيث يضيف الكترونات ذات طاقة عالية وأيونات الهيدروجين H^+ لصنع جزيئات السكر، وتتم العملية على ثلاث مراحل هي:

المرحلة الأولى : تثبيت الكاربون(Carbon Fixation)

1. ان 6 جزيئات من CO_2 تدخل للستروما
2. انزيم ال روبيسكو(Rubisco) يرتبط جزيئات CO_2 بعدد 6 جزيئات ريبيولوز 5.1 داي فوسفات (6 ribulose-1,5-bisphoshate)
3. تنتج 12 جزيء من الفوسفوكلسيريك اسد (3-phosphoglycerate) 12





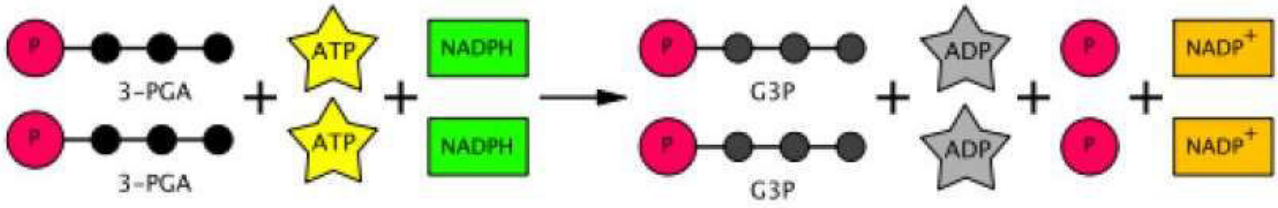
انزيم Ribulose Bisphosphate Carboxylase (RuBPCarboxylase) يحفز CO_2 وينتج 12 جزيء فوسفوكلسرات (3- phosphoglycerate) 12

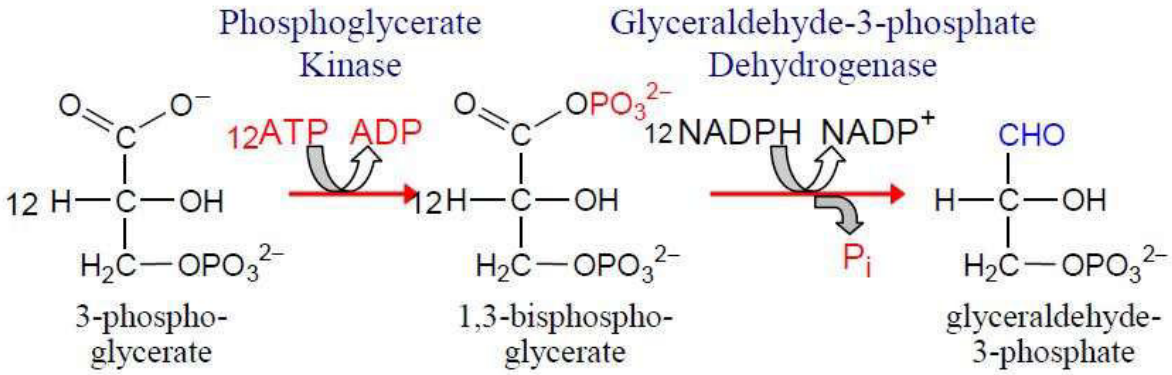
$$6 \text{ ribulose-1,5-bisphosphate} + 6CO_2 \rightarrow 12 \text{ 3-phosphoglycerate}$$

المرحلة الثانية : الاختزال (Reduction)

1. عدد 12 جزيء من الفوسفوكلسريك 3-PGA يختزل الى 12 جزيء كلسرالدهيد 3 فوسفات G3P
2. يحصل استهلاك 12 جزيء من ال ATP
3. تتم اكسدة 12 جزيء من NADPH الى $NADP^+$
4. انزيم الفوسفوكلسرات كينيز (Phosphoglycerate Kinase) يحفز فسفرة 3-PGA بواسطة ATP وينتج 3.1 داي فوسفوكلسيريك

5. انزيم الكسرالدهيد 3 فوسفات ديهيدروجنيز (Glyceraldehyde-3-phosphate Dehydrogenase) يحفز اختزال 3.1 داي فوسفوكلسيريك اسد بواسطة NADPH





بناء على ما سبق فان المرحلة الثانية (اختزال GA 3P) وتشمل :

1. الخطوة الاولى فسفرة 3-phosphglycerate (3-PGA) الى 1,3-phosphglycerate (1,3-PGA) يحفز انزيم فوسفوكلسيرات كينيز وفي هذه الخطوة يستهلك 12 جزيء من ال ATP
2. الخطوة الثانية هي اختزال 1,3-phosphglycerate (1,3-PGA) الى Glyceraldehyde-3-phosphate (G3P) ويتاكسد 12 جزيء من NADPH وتتم بملامسة انزيم كلسرالدهيد -3-فوسفات ديهيدروجينيز (Glyceraldehyed-3-phosphat Dehydrogenase).

المرحلة الثالثة : اعادة تصنيع مستقبل ثاني أوكسيد الكاربون (RuBP)(Regeneration of CO_2 acceptor)

يستخدم جزيء واحد فقط منGlyceraldehyde-3-phosphate (G3P) كناتج نهائي لحلقة كالفن كنقطة البداية لمسارات عمليات الأيض لإنتاج مركبات عضوية تشمل الكلوكوز والكاربوهيدرات الأخرى .

أما جزيئات G3P الخمسة الأخرى فتستخدم في أعادة بناء مركب ريبولوز ثنائي الفوسفات في سلسلة معقدة من التفاعلات يستهلك خلالها ثلاثة جزيئات ATP نواتج حلقة كالفن والمركبات التي يتم استخدامها وبهذا فإنه كل حلقة من حلقات كالفن في التفاعلات اللاضوئية تنتج ½ جزيء كلوكوز وبذلك فهي تستخدم 9 جزيئات من ATP و تستهلك 6 جزيئات من NADPH و 3 جزئيات من CO_2 و جزيء واحد من G3P كليسر الدهايد أحادي الفوسفات.

Dr. Arshad Alhasnawi

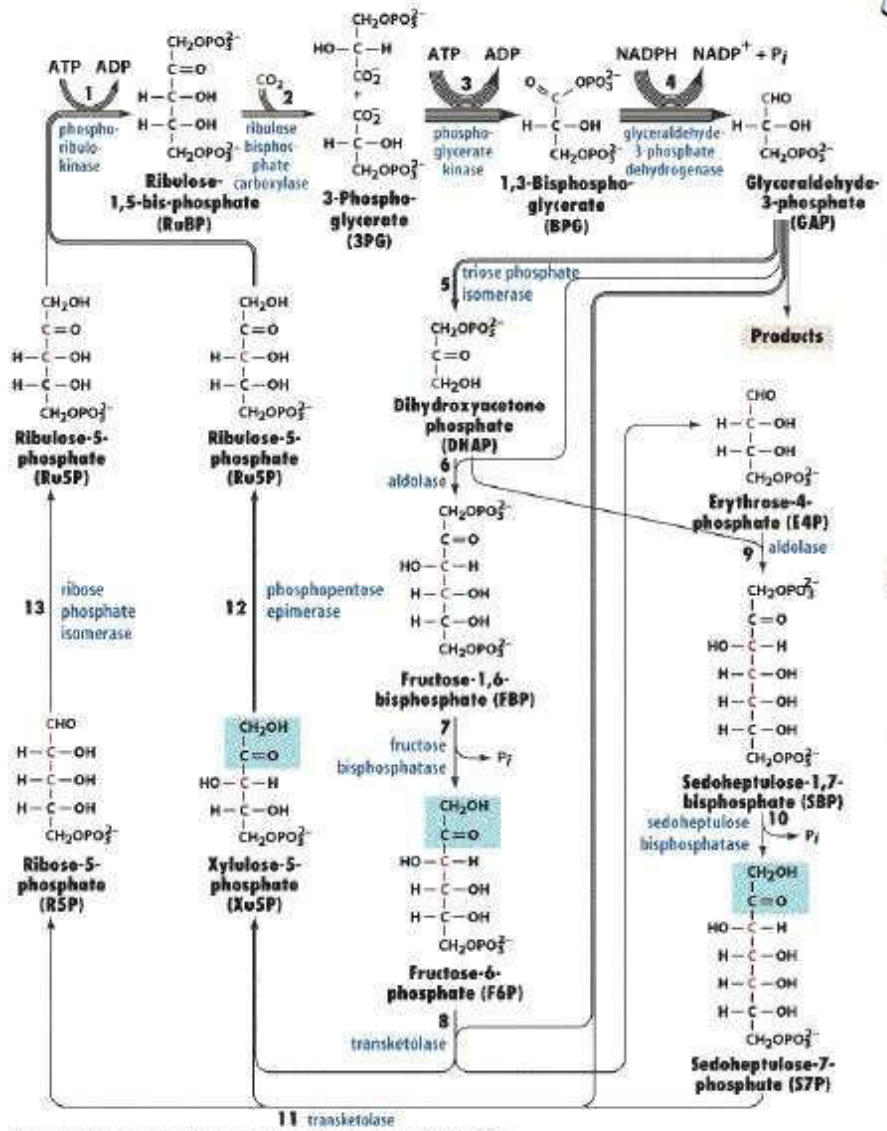
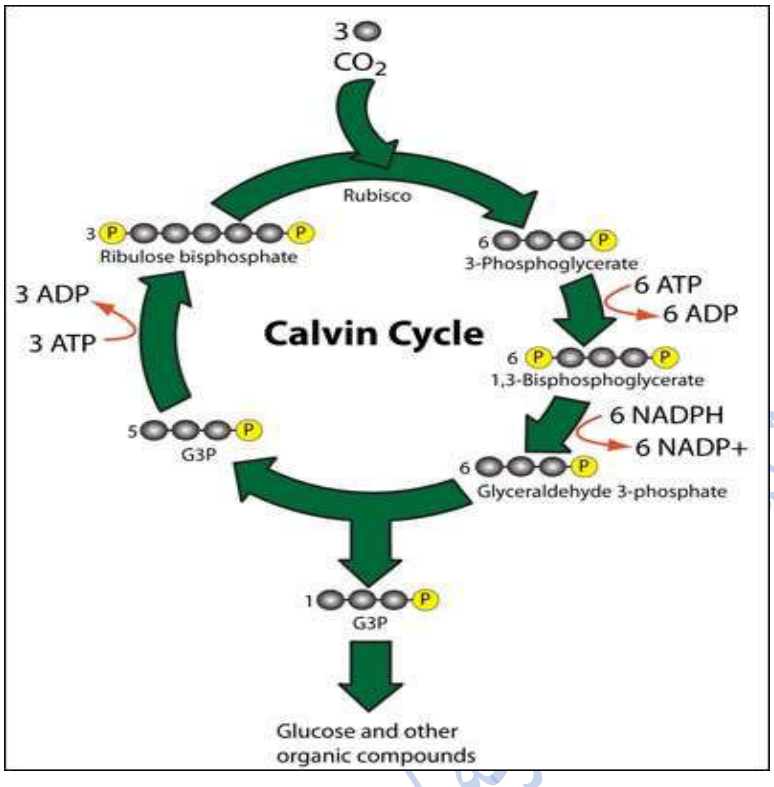


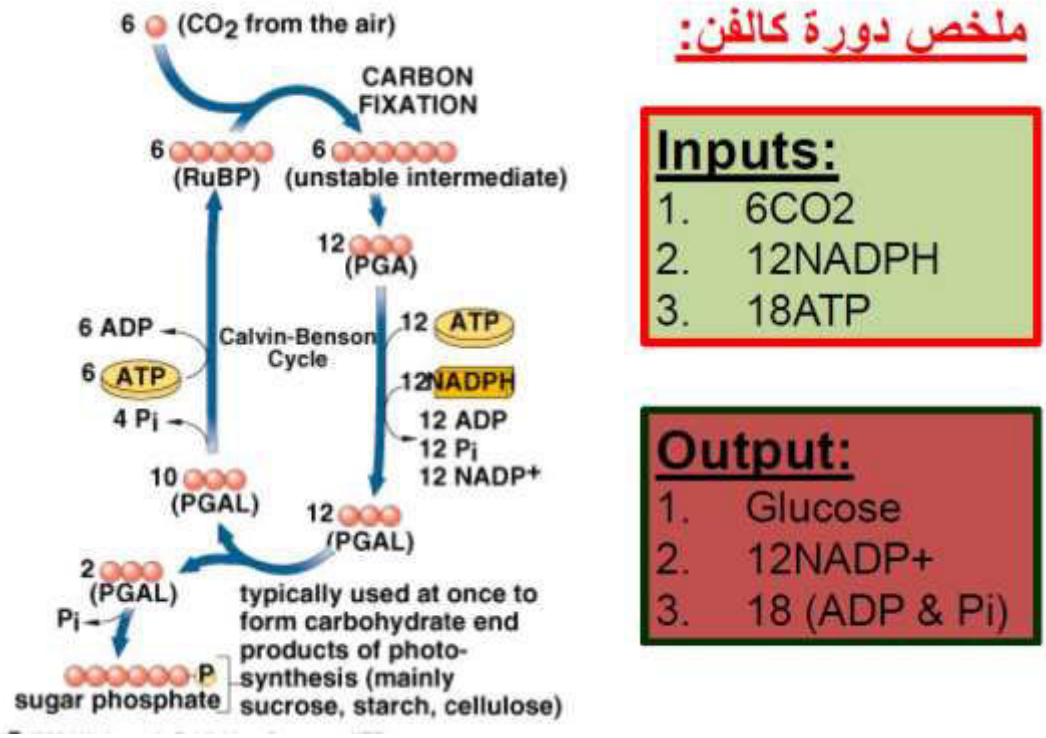
Figure 18-24 Fundamentals of Biochemistry, 2/e
© 2006 John Wiley & Sons

- إنزيم Trios phosphate Isomerase يحول 6 جزيئات G3P إلى 6 جزيئات DHAP
- إنزيم Aldolase يحفز إرتباط 2 جزيئ G3P مع 2 جزيئ DHAP و ينتج 2 جزيئ F1,6 diP و مجموعتين فوسفات
- إنزيم Frucctose 1,6 bisphosphatase ينتج F6P و مجموعة فوسفات
- جزيئ F6P يتحول إلى جزيئ G6P
- إنزيم transketolase بحفز إرتباط F6P مع G3P و ينتج Erythereose 4P و xyloulose 5P
- يتحد E4P مع DHAP بحفز إنزيم Aldolase و ينتج Pseudoheptulose 1,7 bisphosphateالذي يتحول إلى pseudoheptulose 7 P بواسطة حفز إنزيم Pseudoheptulose 1,7 bisphosphatase
- يتحد pseudoheptulose 7 P مع G3P فيتكون Ribose 5P و xyloulose 5 P
- Ribose 5 P يتحول إلىRibulose 5 P بواسطة إنزيم الأيزوميريز
- Xylulose 5 P يتحول إلى Ribulose 5P بواسطة إنزيم إيبيميريز

Muthanna University, Dr. Arshad Class: https://classroom.google.com/c/MTI1MzIyOTcxNja



رسم يوضح دورة كالفن Calvin Cycl



مخطط لملخص دورة كالفن

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

اولا: العوامل الخارجية

1- **شدة الضوء** : لشدة الإضاءة في البيئة الخارجية للنبات ومدة تعرضه للضوء تأثير على عملية البناء الضوئي ومعدل حدوثها فعندما تكون شدة الإضاءة منخفضة فإن سرعة عملية البناء الضوئي تتناسب طردياً معها حيث يزداد معدل البناء الضوئي مع ارتفاع شدة الضوء .و لكن إذا زادت شدة الإضاءة بدرجة كبيرة ، واستمر تعرض النبات للضوء العادي مدة طويلة ، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض نشاط البناء الضوئي.

2- **تركيز CO_2 في الجو**: تؤثر كل من عملية انتشار غاز CO_2 وتركيزه في معدل عملية البناء الضوئي ، فقد لوحظ ان انتشار الغاز الى داخل انسجة الورقة من خلال الثغور يتاثر بسعة الثغر فهو يتناسب طرديا مع نصف قطر الثغر . كما وجد ان زيادة التركيز تؤدي الى زيادة التمثيل الضوئي ولكن الى حد معين بعدها ينخفض المعدل بزيادة التركيز .

3- **تركيز الاوكسجين** :يعتقد ان الاوكسجين يؤثر في البناء الضوئي من خلال تنافس الاوكسجين مع غاز CO_2 على الهيدروجين عند وجود تراكيز عالية من الاوكسجين ففي هذه الحالة يمنح المركب الاختزالي $NADPH_2$ الهيدروجين الى الاوكسجين بدل CO_2 وبالتالي تنخفض عملية البناء الضوئي ، كذلك يمكن ان يحدث التاثير من عملية التنفس بصورة كبيرة بسبب التركيز العالي للاوكسجين يؤدي الى حرمان عملية البناء الضوئي منها وبالتالي الى خفض معدلها.

4- **توفر الماء** : لوحظ ان للماء تاثير على عملية البناء الضوئي فعند حصول الجفاف الشديد تغلق الثغور وينخفض دخول غاز CO_2 وبالتالي ينخفض البناء الضوئي ، كما ان الجفاف الشديد يؤدي الى سحب الماء من البروتوبلازم وهذا بدوره يؤثر سلبيا في نشاط الانزيمات في الخلية ومنها انزيمات البناء الضوئي .

5- **درجات الحرارة** : تؤثر درجات الحرارة بصورة واضحة في عملية البناء الضوئي فدرجات الانجماد تؤدي الى تجمد الماء في داخل المسافات البينية ومنع دخول غاز CO_2 وبالتالي خفض معدل البناء الضوئي اما درجات الحرارة العالية فتؤثر سلبيا على نشاط انزيمات تفاعلات الظلام مسببا خفض البناء الضوئي .

6- **تأثير المواد الغذائية**: نقص بعض العناصر يؤدي لقلة معدل عملية البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الأنزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام أو لضرورة وجودها لإتمام عملية تفاعل الضوء وقد يكون نقص عنصر ما مؤثرا علي بناء الكلوروفيل نفسه كما في حالة نقص الحديد أو النتروجين أو المغنيسيوم وغيرها كما انه يدخل كمادة تفاعل أثناء تفاعلات الظلام .

ثانيا العوامل الداخلية:

1- **الأنزيمات**: تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الأنزيمات الخاصة بها وكفاءتها وحدوث أي خلل بها يؤدي إلى التأثير على معدل العملية

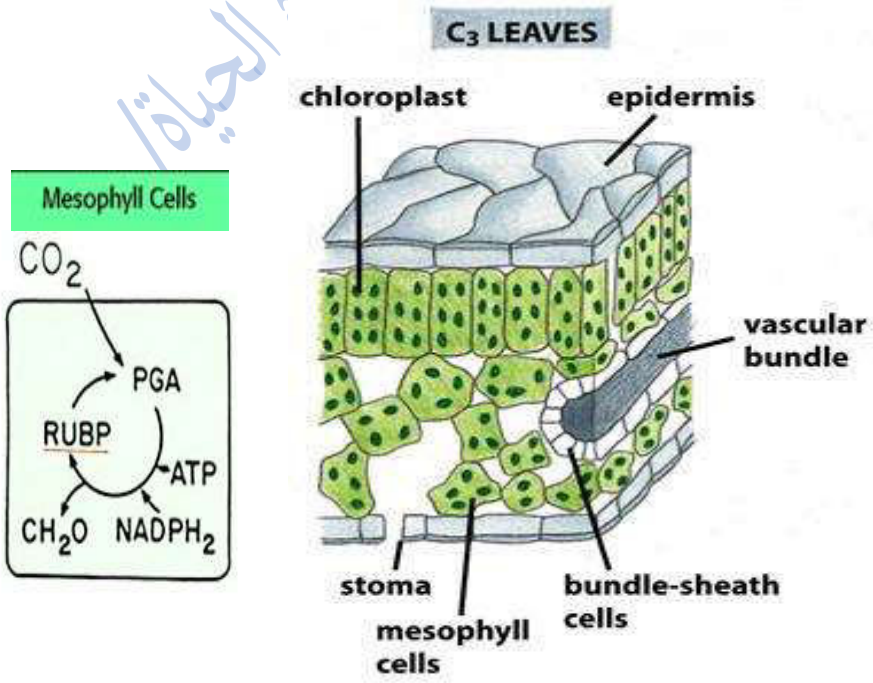
2- **تركيب الورقة الداخلي**: تتوقف كفاءة العملية على التركيب الداخلي للورقة والذي يختلف في ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين .

3- **تراكم المنتجات** :إن تراكم المنتجات الكاربوهايدريتية الناتجة من عملية البناء الضوئي في الأوراق يؤدي إلى بطء العملية حيث تتوقف كفاءة العملية على التركيب الداخلي للورقة والذي يختلف في ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين.

مسار تثبيت CO_2 في نباتات C3 (نباتات ثلاثية المسار الكربوني)

مجموعة نباتات ثلاثية الكاربون (C3) سميت بهذا الاسم لان اول مركب يتكون بعد تثبيت غاز CO_2هو مركب ثلاثي الكاربون حامض الفوسفوكليسريك Phosphoglyceric acid (PGA) و يتم ذلك في دورة كلفن (كما هي موضحة في المحاضرة السابقة) . وتتصف نباتات هذه المجموعة بانفتاح المسام نهاراً وأن انزيم Ribulose bisphosphate carboxylase (RUBISCO) هو المسؤول عن تثبيت CO_2 والتركيب الضوئي الذي يحدث في اوراق النباتات . كما أن أغلب النباتات السائدة في العالم تتبع هذه المجموعة والتي تنتشر عادة في المناطق المعتدلة الحرارة اوالمناطق الرطبة والباردة (كالشعير والقمح .... الخ).

يتوسط انزيم (RUBISCO) تفاعل ارتباط غاز الـ CO_2 مع سكر خماسي الكاربون (RuBP) Ribulose Bisphosphate لتشكيل جزيئتين من حامض الفوسفوكليسريك Phosphoglyceric acid (PGA). ونظرا لكون PGA هو اول مركب ثابت ناجم عند تثبيت CO_2 والذي يتالف من ثلاث ذرات كاربون فالنباتات التي تتبع هذا المسار من تثبيت CO_2 تسمى نباتات C3. وفي مراحل لاحقة يرجع ال PGA الى سكر Triose-P باستعمال الطاقة التمثيلية $NADPH_2$ و ATP الناجمة عن التفاعلات الكيميائية الضوئية. وبعد ذلك، يتحول جزء من Triose-P إلى منتجات نهائية للتمثيل الضوئي كالسكروز أوالنشأ بصورة رئيسية، مع إمكانية تصنيع مركبات أخرى كالدهون والأحماض الدهنية والعضوية ومواد كربوهيدراتية.



مسار تثبيت CO_2 في نباتات C4 (نباتات رباعية المسار الكربوني)

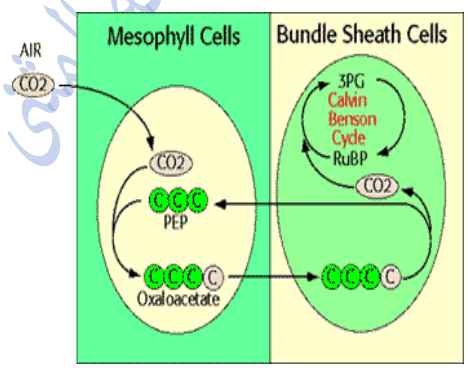
ساد الاعتقاد سابقاً أن الطريقة الوحيدة لتثبيت CO_2 هي طريقة كالفن. وفي مطلع العام 1966 اكتشف Hatch and Slackمسار آخر لتثبيت CO_2 في بعض من الأنواع النباتية كما في نباتات (قصب السكر والذرة . والعديد من الأعشاب الاستوائية وشبه الاستوائية)

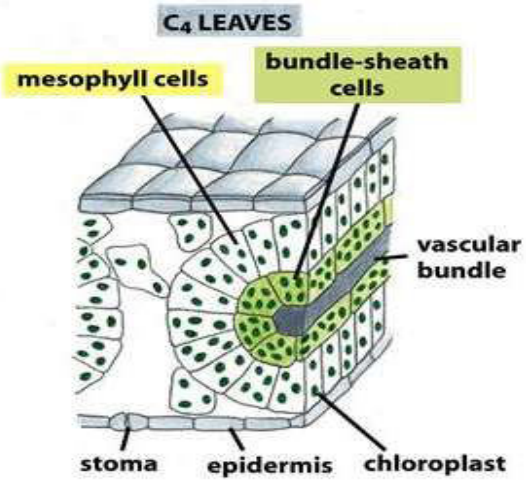
سميت النباتات بإسم C4 نظراً لأن أول مركب يندمج فيه غاز CO_2 يتكون من أربعة ذرات من الكربون. وتتصف نباتات هذه المجموعة بانفتاح المسام نهارا وبقدرة عالية على استعمال الماء. وتنتشر نباتات هذه المجموعة في المناطق الحارة والجافة . ويتلخص هذا المسار بما يلي:

في خلايا النسيج الوسطي Mesophyll ، يتوسط الأنزيم Phosphoenolpyruvate Carboxylase (PEPC) تفاعل ارتباط CO_2 بالمستقبل المسمى Phosphoenolpyruvate ليعطي مركب Oxaloacetate (OAA) الذي يتألف من أربعة ذرات من الكربون، وبناءً على ذلك جاءت تسمية النباتات التي تتبع هذا المسار في تثبيت غاز ثاني أوكسيد الكربون في أثناء عملية البناء الضوئي بنباتات رباعية الكربون C4 .

تيحول Oxaloacetate بسرعة إلى مركب Malate او Aspartate او إلى كليهما معاء تنتقل هذه المركبات بعد ذلك إلى خلايا غلاف الحزمة Bundle Sheath Cells المتواجدة حول الحزمة الوعائية Vascular Bundleلتتحول إلى مركب Pyruvate (PYR). وفي أثناء ذلك تتحرر جزيئة من CO_2 بحيث ترتبط مرة أخرى مع RuBP لتشكيل 3-PGA في دورة كالفن (مسار تثبيت CO_2 في نباتات C3) ويحدث ذلك في خلايا غلاف الحزمة .Bundle Sheath Cells .

وقد اشار Ghannoum واخرون سنة 2001 الى وجود ثلاث مسارت فرعية في النباتات العشبية رباعية المسار الكربوني هي NADP-ME و NAD-ME و فوسفوفينول بيروفات كربوكسيلينازPKC ، حيث تتواجد نباتات NADP-MEفي المناطق الجافة (أعشاب قصيرة) أما في المناطق الرطبة فتتواجد النباتات العشبية الأطول ذات المسار NAD-ME





مميزات نباتات C4

1. تكون أسرع في التمثيل الضوئي من نباتات C3 تحت ظروف شدة ضوئية عالية وحرارة مرتفعة لأن ثنائي أكسيد الكربون يتم إيصاله إلى أنزيم روبيسكو Rubisco ولا يسمح له بالتقاط الأوكسجين والقيام بالتنفس الضوئي.
2. تكون هذه النباتات أكثر كفاءة في استخدام الماء لأن أنزيم PEP Carboxylase يأخذ ثنائي أكسيد الكاربون بشكل أسرع ولا توجد ضرورة لبقاء الثغور مفتوحة (بالتالي فقد ماء أقل عن طريق النتح) بالنسبة لنفس الكمية من ثنائي أكسيد الكربون المستخدمة في التمثيل الضوئي.
3. تضم نباتات C4 عدة آلاف من الأنواع النباتية، نذكر منها الذرة الصفراء، العديد من النباتات الحولية المزروع في الصيف، قصب السكر والذرة البيضاء.
4. يكون توزع نباتات C4 عالمياً خاضعاً لعاملي الحرارة والهطول المطري، كما يكون ثنائي أكسيد الكربون الجوي عاملاً هاماً للنجاح البيئي لأنواع نباتات C4 ، ويعتقد أن توزع نباتات C4 في جنوب إفريقيا يكون نتيجة التفاعل بين الحرارة والهطول المطري حيث تفضل نباتات C4 ظروف الحرارة والرطوبة، في حين تسود نباتات C3 في المناخات الباردة.
5. اما تحت ظروف الحرارة المرتفعة أو الجفاف أو الملوحة أو كمية منخفضة من ثنائي أكسيد الكربون الجوي يكون ثنائي أكسيد الكاربون محدوداً في خلايا النبات. عندئذ، يستخدم الأوكسجين من قبل النبات وهذا ما يسمى بالتنفس الضوئي، الذي يمثل هدراً لطاقة النبات وهذا ما يحدث في نباتات C3 حيث أن الأنزيم المثبت لثنائي أكسيد الكربون الجوي له تلاؤم أيضاً مع الأوكسجين، عند نباتات C4 يتثبت ثنائي أكسيد الكربون الجوي بواسطة أنزيم ليس له تلاؤم مع الأوكسجين وبذلك يعيق عملية التنفس الضوئي.

اهم الفروق بين نباتات C3 و C4		
ت	نباتات C3	نباتات C4
1	اغلب نباتاتها تنمو في المناطق المعتدلة	اغلب نباتاتها تنمو في المناطق الاستوائية
2	المركب الناتج بعد تفاعل هو PGA	المركب الناتج بعد التفاعل هو OAA
3	الانزيم المثبت لغاز CO_2 هو Ribulose diphosphate carboxylase	الانزيم المثبت لغاز CO_2 هو Phosphoenolpyruvate carboxylase
4	لها عملية واحدة لتثبيت CO_2	لها عمليتان
5	عملية التنفس الضوئي عالية	عملية التنفس واطئة
6	تتثبط عملية التثبيط بوفرة الاوكسجين	لا تتثبط
7	انتاجية قليلة	انتاجية عالية
8	لا تستطيع انجاز عملية تثبيت غاز CO_2 بكفاءة في درجات الحرارة العالية	تستطيع ذلك
9	لا تستطيع انجاز عملية تثبيت غاز CO_2 بكفاءة في ظروف قلة الماء	تستطيع ذلك
10	لا تستطيع انجاز عملية تثبيت غاز CO_2 بكفاءة عالية في شدة الاضاءة العالية	تستطيع ذلك

مسار تثبيت CO_2 في نباتات CAM (Crassulacean Acid Metabolism)

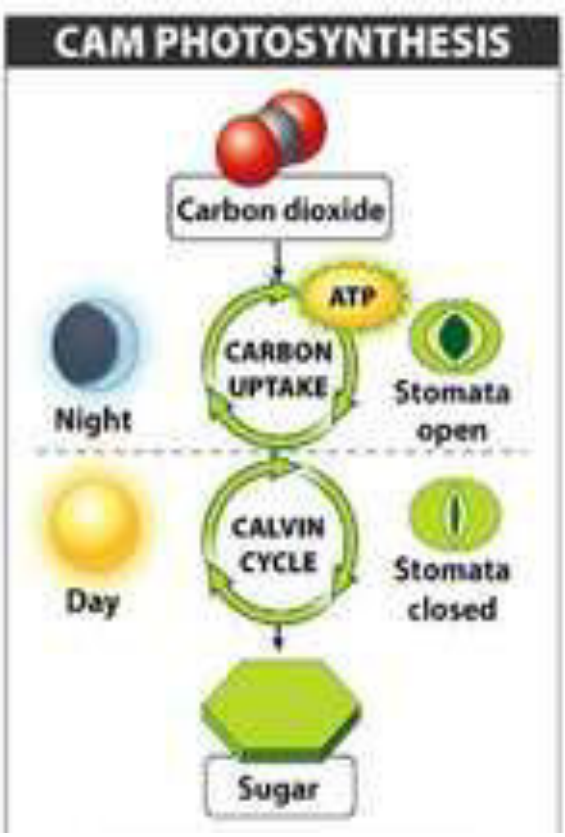
مجموعة نباتات CAM والمقصود بالمختصر هو Crassulacean Acid Metabolism سميت النباتات بهذا الاسم نظراً لاكتشافها لأول مرة في العائلة *Crassulaceaea*

يحدث هذا النوع في بعض النباتات العصارية التي لا تفتح ثغورها في النهار لتجنب فقدان الماء بفعل الحرارة العالية لذالك فان غازCO_2 ينفذ الى داخل انسجة الورقة ليلا عندما تكون الثغور مفتوحة .

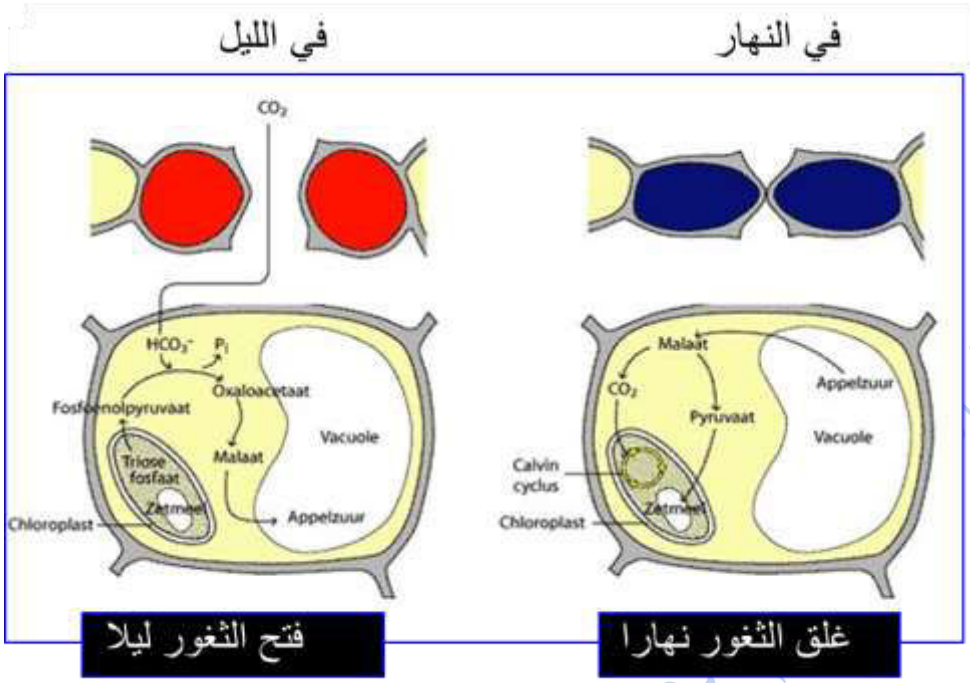
يتم تخزين CO_2 على هيئة حامض قبل أن يستعمل في عملية البناء الضوئي. يتبع لهذا المسار بعض الأنواع النباتية المنتشرة رئيسياً في المناطق الجافة والتي تتبع عادة إلى مجموع C4 وتختلف عنها في أن فصل المسارين C3 عن C4 يكون زمنياً وليس مكانياء

يتم تثبيت CO_2 بواسطة انزيم PEP في الظلام حيث تكون الثغور مفتوحة ، وتتراكم المالات Malate في فجوات الخلايا الورقية Leaf Cell Vacuoles وفي أثناء الإضاءة تنغلق الفوهات السمية ويتم الحفاظ على كمية من الماء المتاح ، ويتحرر CO_2 داخلياً مع المالات، ويتم إعادة تثبيته مجدداً من خلال دورة كالفن وبوساطة انزيم (RUBISCO) .

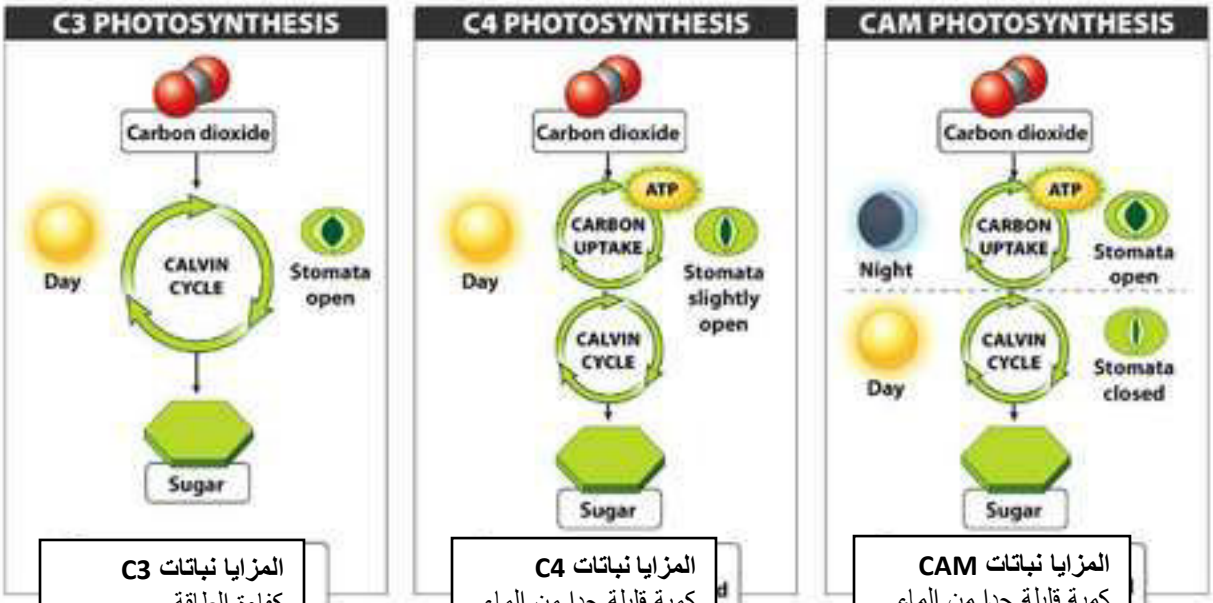
تتصف النباتات التي تتبع المسار CAM بامتلاكها لهذه الطريقة الفيزيولوجية والكيميائية المميزة بحيث تطفي عليها صفة خفض الفقد من الماء والهروب من الجفاف. ومن هذه النباتات الأناناس، اللآغاف وأجاص بريكلي ونباتات عصارية مختلفة كالصباريات ، وغيرها.



مخطط يوضح عملية التركيب الضوئي في نباتات ال CAM اثناء اليوم



رسم يوضح تثبيت CO_2 في نباتات CAM



المزايا نباتات C3
كفاءة الطاقة
العيوب
يفقد الماء بالتبخر في البيئات الحارة

المزايا نباتات C4
كمية قليلة جدا من الماء
تفقد في البيئات الحارة
العيوب
يتطلب طاقة عالية

المزايا نباتات CAM
كمية قليلة جدا من الماء
تفقد في البيئات الحارة
العيوب
يتطلب طاقة عالية
نمو بطيء

مقارنة بين مخطط نباتات C3 و مخطط نباتات C4 و مخطط نباتات CAM اضافة الى المزايا وعيوب كل منهم

مقارنة بين نباتات ال C3 و C4 و CAM

المواصفات	C3	C4	CAM
المنتج الأولي	3- Phosphoglyceric Acid	Oxaloacetic acid (Converted to malic or aspartic acid)	Oxaloacetic acid (Converted to malic acid)
البنية التشريحية للورقة	خلايا غلاف الحزمة غير موجود	خلايا غلاف الحزمة موجودة	خلايا غلاف الحزمة غير موجود
الطاقة	من مزاياه كفاءة الطاقة	من عيوبه يتطلب طاقة عالية	من عيوبه يتطلب طاقة عالية
الصبغات الخضراء (الكلوروبلاست)	نوع واحد	نوعان	نوع واحد
فقد الماء	يفقد الماء بالتبخر في البيئات الحارة	كمية قليلة جدا من الماء تفقد في البيئات الحارة	كمية قليلة جدا من الماء تفقد في البيئات الحارة
الفوهات السمية (المسام)	تفتح خلال النهار	تفتح خلال النهار	تفتح خلال ليلاً وتغلق نهاراء
نسبة النتح	350 - 1000	150 - 300	50 to 100
	مرتفع	~ 25% of C3	~ 5% of C3
درجة الحرارة المثلى ^oC	15 to 25	25 - 35	25 - 35
موقع التركيب الضوئي	كامل الورقة	خلايا غلاف الحزمة	كامل الورقة
القدرة على التذبذب بين C3 **و** C4	لا	لا	نعم
التنفس الضوئي	(30 to 50 %) مرتفع	منخفض ،فقط في خلايا غلاف الحزمة	مرتفع (لكن داخلياء) وخاصة في فترة بعد الظهر ، دون أن تؤثر في الانتاجية
نقطة تعويض CO_2	~ 0.005%	< 0.001 %	(ليلاء) **%** 0.5000 **>**
معدل التركيب الضوئي umoles m^{-2}	6 إلى 40	16 - 14	6 -1.5
CO_2 : ATP : NADPH	1 : 3 : 2	1 : 5 : 2	1 : 7 : 2
متوسط الانتاجية ton ha^{-1}	~40	60 to 80	>40
التأقلم المناخي	معتدل إلى مداري	مداري	المدارية الجافة والمتوسطية
المحاصيل	رز، قمح، شعير ، خضروات، بقوليات	الذرة الصفراء، والذرة العلفية وقصب السكر...	الأناناس، الصباريات، الآغاف..
* المصدر : التميز النظيري للكربون وعملية الاصطناع الضوئي ، د. فوزكرد علي ، هيئة الطاقة الذرية؛ قسم الزارعة ، دمشق، سورية			

The Plant hormones (Phytohormones) الهرمونات النباتية

تعتبر الهرمونات النباتية هي منظمات نمو مهمة جدا للنبات لذا يجب اولا معرفة ماذا تعني كلمة نموحيث يشمل مصطلح النمو Growth ظاهرتين أساسيتين هما:

1. الزيادة في عدد الخلايا.
2. الزيادة في حجم الخلايا وزيادة محتواها وتمايزها.

ولحدوث النمو يجب توفر عدة عوامل منها الماء ، الأوكسجين ، العناصر المعدنية ، درجة الحرارة ، الغذاء كمصدر للطاقة ، وكذلك هناك بعض المركبات التي سميت منظمات النمو وهي مركبات أساسية لكي تتم عملية النمو.

لوحظ أن معظم الاستجابات الفسيولوجية فى النباتات ترجع إلى مركبات ذات نشاط أوكسينى ومن هذه الاستجابات: استطالة خلايا الجذور والأوراق و السيقان ، تكشف الخلايا والأعضاء فى تكوين الأزهار ونمو الجنين ، تساقط الأوراق والأزهار ، الإنتحاءات ، تكوين الثمار اللابذرية ، السيادة القمية .

ولقد استعمل مصطلح منظمات النمو Growth Regulators ليدل على المركبات العضوية التي تتواجد بكميات ضئيلة جدا والتي تشجع أو تثبط النمو والتمايز في النباتات وهي لا تشمل العناصر الغذائية فالمنظمات هي هرمونات تُنتج في جزء من الكائن الحي وتُحدث استجابة أو تأثير في مناطق أخرى من الكائن الحي.

وقد يؤثر منظم النمو بطرق مختلفة على نباتات مختلفة أو على أعضاء مختلفة في نفس النبات ، إلا أن هذا التأثير ليس مطلقاً فقد يعمل الهرمون على نفس الخلايا التي أنتجته أو قد ينتقل إلى جزء آخر، وهناك هرمونات أخرى لا تؤثر إلا على المنطقة التي أفرزت منها (كالإثيلين).

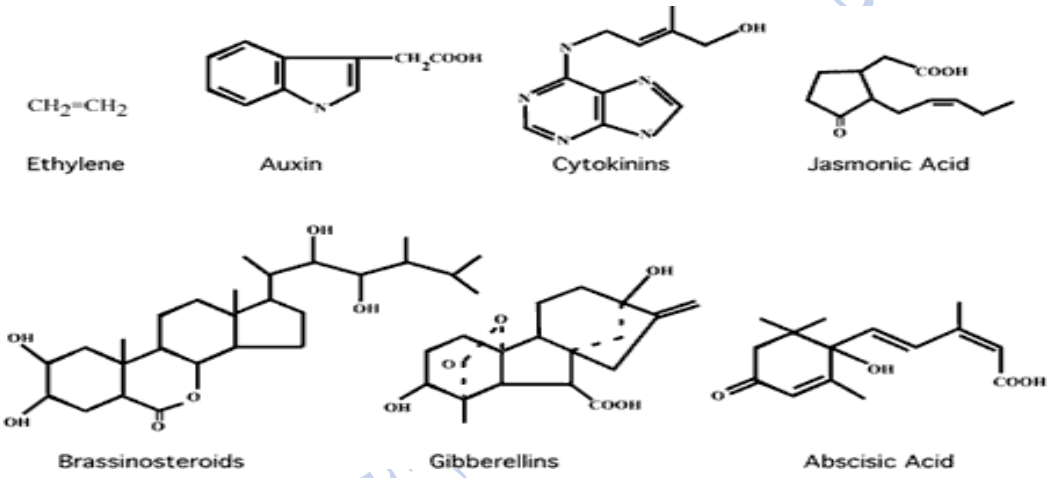
ولوحظ ان الهرمونات الحيوانية تفرز من تركيبات عديدة خاصة تسمى الغدد إلا أن مثل هذه الغدد لا توجد في النباتات حيث أن معظم النباتات تقوم بتصنيع الهرمونات المنظمة في مناطق البراعم أي قمم النمو وخاصة في البراعم النهائية في سيقان النبات وأفرعها.

وتقسيم هذه المواد إلى عدة مجموعات حسب تأثيرها الفسلجي وهي تضم الاوكسينات والسيتوكينينات والجبريلينات وغاز الإثيلين وتعتبر الاوكسينات والسيتوكينينات من أكثر منظمات النمو تحكماً في النمو والتكشف في مزارع الأنسجة من خلال التلاعب بكميات التراكيز المستخدمة في تجارب زراعة الانسجة لانتاج الكالس ، نمو خضري والنمو الجذري للاجزاء النباتية المستخدمة في مجال زلراعة الانسجة أما الجيريلينات وحامض الأسبسيك لا يشجع استعمالهما في زراعة الأنسجة.

وبالرغم من ذلك فإن العديد من المركبات المصنعة معملياً والتي تعيق فعل الجبريلينات وتسمي مضادات الجبريلينات .

أما غازي الاستيلين والبروبلين فلهما تأثير يحاكي الإيثلين لكن يجب إضافتهما بتركيزات كبيرة لإحداث نفس التأثير الفسيولوجي . ورغم إمكانية استعمال الإثيلين كمنظم نمو ولكن من الصعوبة التحكم في إضافته وتركيزه يحد من استعماله في زراعة الأنسجة ، لكن تضاف بعض المركبات التي تنتج عنها الإيثلين كذلك هناك بعض المركبات التي يمتصها النبات ثم يحدث لها تحلل داخلي وينتج منها غاز الإيثلين. ونظراً لكثرة عدد هذه المواد أمكن وضع بعض التعريفات العلمية والتى تحدد نشاط تلك المواد ومن هذه التعريفات:

1. **الهرمونات النباتية Phytohormones (Plant hormones)**: هى مواد تنتجها النباتات بصورة طبيعية والتى بكميات ضئيلة جدا تشجع Promote أو تثبط Inhibit أو تحورModify العمليات الفسيولوجية النباتية وهى تتحرك خلال النبات من أماكن تخليقها إلى أماكن عملها حيث ان جميع الهرمونات النباتية هي منظمات نمو.
2. **منظمات النمو Growth regulators او مواد النمو Growth substances** هي مواد تؤثر على النمو هى مركبات عضوية غير المغذيات تستخدم بكمياتها ضئيلة جدا تشجع Promote أو تثبط Inhibit أو تحورModify العلميات الفسيولوجية فى النبات وقد تكون طبيعية تسمى ايضا هرمونات اما اذا كانت صناعية تسمى فقط منظمات نمو.
3. **هرمونات النمو Growth hormones** هي الهرمونات التي تنظم النمو.
4. **.منظمات التزهير Flowering regulator** هي المنظمات التي تؤثر على الازهار.
5. **هرمونات التزهير Flowering hormones** هي الهرمونات التي تشجع منشئات الأزهار وانمائها.



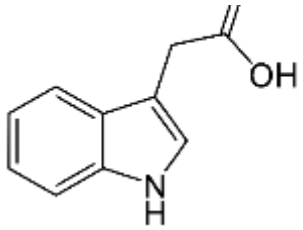
الأوكسينات Auxins

الأوكسينات هى أول نوع من الهرمونات تم اكتشافه بواسطة العالمان Kogel و هاجان سميث Haagen-Smith سنة 1933حيث أمكن استخلاصه من القمم النامية لنبات الذرة وقد اكتشف ايضا في بول الإنسان . وكلمة اوكسين Auxin يونانية معناها ينمو To grow ثم أطلق هذا اللفظ على هرمون النمو الذى ينتج فى قمة الغمد. ولقد ثبت أن الأوكسينات توجد فى جميع النباتات الراقية وهى منشطات النمو. وقد أثبت Went 1938 تأثير الاوكسين لأول مرة على انحناء غمد ورقة الشوفان، ثم قام Kastermaus & Kogel بفصل الاوكسين من الخميرة ثم استخلصه Thimann من فطر *Rhizopus surinus* ووجد أن وزنها الجزيئي يقرب من 175 وأنه 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 وأن لها خاصية الانتقال القطبي.

ويطلق لفظ أوكسين على مجموعة من المركبات تتشابه كثيرا فى تأثيرها الفسيولوجي رغم ثباتها فتركيبها الكيميائى ومن بين هذه المواد الأحماض التالية ومشتقاتها :

1. Indol acids ومن امثلتها (الاندولات) IAA, IBA, IPYA
2. Naaphthalene acids ومن امثلتها (النفثالين) Naphthoxy acetic acid NAA
3. Chlorophenoxy acids ومن امثلتها 2,4-D , -2,4,5 T
4. Benzoic acid (البنزويك)



Indole-3-acetic acid (IAA)

اماكن النبات التي يتم فيها تصنيع الاوكسينات

الاوكسينات هي منظمات نمو وبدونها لا يتم النمو ولا الاستطالة وتصنيع الاوكسين يتم في منطقة القمم النامية في الجذور والساق والمناطق الميرستيمة وفي الأوراق الصغيرة للبراعم النهائية حيث أن التربتوفونات المُصنعة في الأوراق المُسنة ترسل إلى هذه المناطق وبوجود الضوء يتم تصنيع أو تحويل التربتوفان إلىIAA وهناك بعض الحالات النادرة حيث يتم تصنيع الأوكسين في الساق بعيداً عن البراعم وهذا حال بعض الأشجار الخشبية ولكن هذه الحالات لوحظت في الأشجار المسنة حيث أن نفس الأشجار عندما تكون صغيرة فإن صناعة الأوكسين تتم في البراعم كغيرها من الأشجار.

انتقال الاوكسينات

تنتقل الاوكسينات في النبات بصورة قطبية حيث يلاحظ ينتقل الاوكسين في النبات من مناطق التصنيع حتى الجذور حيث يتم تخزينه أو تخزين ما لم يتم استهلاكه أو تحطمه في الطريق. ينتقل الاوكسين بشكل أساسي في اللحاء ولكن من الظاهر أن معظم الأنسجة يتم من خلالها نقل الاوكسين شرط أن تكون هذه الأنسجة حية وليست ميتة.

لوحظ أن خفض pH تعمل على زيادة نشاط الاوكسين وبالتالي تنشيط النمو والاستطالة إذاً بالنسبة لمضخة الأيونات فإن تأثير الـ pH ليس مباشراً على هذه العملية وإنما تأثيره على الاوكسين الذي يقوم بدوره بزيادة أو نقص فعالية مضخة الأيونات.

الانتحاء الضوئي

عند وضع نبات بجوار نافذة تنحنى أجزاء النبات نحو الضوء. عند تعرض ساق نبات للضوء من جانب واحد تتركز الأوكسينات في الجانب البعيد عن الضوء بدرجة أعلى من الجانب المظلم. تعمل الأوكسينات على استطالة خلايا الساق في الجانب المظلم أكبر من المضئ (استجابة موجبة).

ولأن هذه الهرمونات تقل في الجهة المضاءة وتزداد في الجهة المقابلة, وهي تحرض على النمو, لذلك يقل نمو الناحية المضاءة ويزداد نمو الجهة المقابلة فيتجه النبات نحو الضوء.

كيفية عمل الاوكسينات

1. تأثيره على النباتات وخصوصاً استطالة الخلايا وبالتالي النمو أو الانتحاء نحو مصدر غذائي
2. للهرمون دور في التأثير على تراكم وزيادة امتصاص الأملاح
3. يؤثر الهرمون على لدونة الجدار الخلوي من خلال إزالته بكتات الكالسيوم التي تدخل في تركيب الجدار الخلوي والتي تعتبر أساساً لصلابته.
4. تأثير الاوكسين على مضخة الأيونات حيث يقوم بتنشيطها مما يعمل على دخول الأملاح وتراكمها داخل الخلية عاملا على خفض الجهد المائي لهذة الخلايا.
5. تدفق الماء داخلها مما يعمل على تمددها واستطالتها وبالتالي زيادة حجمها وامكانية انتحائها ايضا.

بعض الفوائد الفسيولوجية للاوكسينات Physiological effects of Auxins

1- **الاوكسينات تحرض معدل انقسام الخلايا النباتية** مع زيادة محتواها من الحامض النووي DNA والبروتين , وزيادة تدفق السوائل إلى داخل الخلية مما يؤدي لانقسامها السريع وبالتالي نمو النبات.

2- **كفاءة عملية التركيب الضوئي**: وجد أن الأوكسينات وخاصة IAA, NAA تؤدى إلى تنشيط كفاءة عملية التركيب الضوئى علاوة على تنشيط الأنزيمات وتخليق الصبغات المختصة بتفاعل الضوء .

3- **السيادة القمية**: لوحظ أن البرعم الطرف يؤثر على نمو البراعم الجانبية حيث لوحظ أنه عند غياب البرعم الطرف فإن البراعم الجانبية تنشط فى النمو وذلك لأن البرعم ينتج ويحتوى على تركيزات مرتفعة من الأوكسين وعند انتقال هذه التركيزات المرتفعة فإنها تثبط نمو البراعم الجانبية مما يؤدى إلى حدوث سيادة قمية للبرعم الطرف .

4- **تكوين الثمار**: عندما تبدأ البذرة بالنضوج بعد عملية الإخصاب وتكوين الجنين يفرز الأوكسين من أنسجة المبيض محدثا انقسامات واستطالات في الخلايا ومكونا أنسجة الثمرة التي تحيط البذرة ويتم تكوين الثمار عن طريق رش الأزهار بالأوكسين لإنتاج الثمار في بعض النبات.

5- **إنتاج ثمار بدون بذور**: يستعمل الأوكسين تجاريا الآن لتوفير ثمار دون بذور حيث ترش الأزهار بأوكسينات معينة ، وبهذه الطريقة تنتج ثمار دون بذور مثل العنب.

6- **السكون**: إن البذور وبراعم بعض النباتات تدخل في طور كمون أي انه عند زراعة هذه البذور فإنها لا تنبت مباشرة ولكن تنبت بعد فترة قد تبلغ الأشهر سبب سكون البذور والبراعم يعود إلى وجود مركبات الأوكسين أو مركبات أخرى بتراكيز عالية مما يمنع نمو البذور. لكن إذا خزنت هذه البذور لفترة من الوقت فإن هذه المركبات يقل تركيزها.

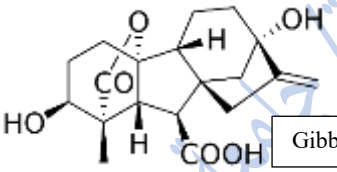
7- **سقوط الأوراق**: فما دام الأوكسين يصنع في الأوراق الغضة ، فإن الأوراق تبقى مثبتة على أغصانها، وعندما يتوقف الاوكسين عنها نتيجة هرمها تتكون طبقة الانفصال.
8- **تكوين الجذور والإنبات**: إذا غمس عقل النباتات في كمية ضئيلة من الأوكسين ينشط تكوين الجذور ونموها وهذه العملية تستعمل تجاريا في المشاتل الزراعية.

الجبريلينات Gibberellins

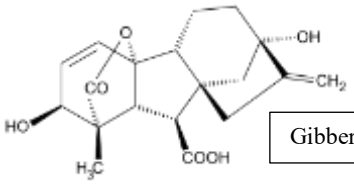
تعتبر الجبريلينات من المواد المنشطة للنمو ويوجد أكثر من 60 نوعا من الجبريلينات وتختلف الأنواع فيما بينها من حيث عدد ذرات الكربون وكذلك وجود أو عدم وجود مجاميع (OH) وتعتبر المادة جبريلينا إذااحتوت على الهيكل الكربوني جيبان Gibbane أو كورين kaurene وتم اكتشاف الجبريلين (GA) بواسطة العلماء اليابانيون حيث وجدوا أن الفطر *Gibberella fujikuroi* وهوالطور اللاجنسى للفطر *Fusarium moniliforme* يسبب مرض Foolish seeding لبادرات الأرز ووجدوا أن سبب هذا المرض هو إفراز مادة الجبريلين توجد الجبريلينات بكميات متباينة في جميع أجزاء النبات ، غير أن أعلى التركيزات تتواجد بالبذور غير المكتملة النمو. تم اكتشاف العديد من صور الجبريلينات و التعرف عليها كيميائياً غير أنها تختلف قليلاً في تركيبها و كذلك في نشاطاتها الحيوية, و لقد انصبت معظم الدراسات على حامض الجبريليك "GA3" و الذي ينتج أيضاً من نفس الفطر. و تنشط الجبريلينات من انقسام الخلية و كذلك استطالتها, كما تؤثر على الأوراق مثل تأثيرها على السيقان. وتنتقل الجبرلينات إلى كافة أجزاء النبات ولكن انتقالها ليس قطبياً كما هو الحال في الاوكسينات حيث أنها تنقل غالباً مع عصارة النبات.

مكان تخليق الجبرلين في النباتات الراقية في :

1. الاوراق الصغيرة والحديثة للبرعم الطرفي
2. الجذور التي تعتبر مواقع تخليق الجبرلين
3. البذور اثناء تكوينها



Gibberellin A1 (GA1)



Gibberellic acid (GA3)

الصيغة الكيميائية لحامض الجبرليك

إن الاختلاف بين حامض الجبرليك والمركبات الأخرى يكمن في وجود مجموعة الكاربوكسيل COOH ومجموعة الميثلين CH_3 أو الهيدروكسيل OH وتحتوي معظم الجبرلينات على 19-20 ذرة كربون، وتصنع في الأوراق الصغيرة النامية Leaf Primorda في القمة بدلاً من الأنسجة الميرستمية نفسها، وتتكون أيضاً في الجذور والأجنة والثمار والبذور وتنتقل بحرية إلى جميع أجزاء النبات.

كيفية عمل الجبرلينات

1. تنظيم النمو حيث يقوم بدوره بتنشيط النمو والاستطالة للخلايا.
2. الجبرلين له دور كبير في تشجيع إنتاج عدد كبير من الأنزيمات المهمة للنبات والتي تدخل في معظم العمليات الأيضية كما أنه يعمل على تثبيط نشاط أنزيمات أخرى.
3. دوره في إنتاج α amylase الذي يقوم بتنظيم تصنيع RNA.
4. الجبرلين يشجع تصنيع أو إنتاج DNA في بعض النباتات
5. يقوم الجبرلين بتحطيم النشأ بواسطة تشجيعه لإنتاج أنزيم α amylase المحلل للنشا وتحطيم النشأ يزيد من نسبة السكر داخل الخلية وهذا ما يعمل على خفض جهدها المائي و تدفق الماء داخلها.
6. دور الجبرلين في تنشيط بعض الأنزيمات المحللة لجدار الخلية النباتية الصلب مما يسمح باستطالتها نتيجة لتدفق الماء إليها وزيادة نشاطها الأيضي المرتبط كليا بزيادة الماء فيها.

بعض التأثيرات الفسيولوجية للجبريلين Physiological effects of Gibberellin

1. **الأزهار والأثمار** : لوحظ أن GA يعوض النباتات ذات النهار الطويل والشتوية والتى تحتاج احتياجات ضوئية معينة والتعرض لدرجة حرارة منخفضة كى تظهرالازهار والثمار.
2. **تنشيط استطالة ونمو النباتات** : يؤدى GA إلى زيادة استطالة الساق من خلال تنشيطه لاستطالة منطقة الخلايا تحت القمية.
3. **انقسام الخلية** : GA له تأثير أقل على نشاط الإنقسام غير المباشر في القمة المرستيمية في الساق ولكنه يكون أكثر فعالية ونشاط في الإجراءات التمهيدية لإنقسام الخلية وذلك بتشجيع الزيادة في بناء وتضاعف الـ DNA وبالتالي تقصير دورة انقسام الخلية من بدء الإنقسام حتى تصبح كاملة النمو
4. **الثمار اللابذرية** : فى بعض الحالات التى لا تستجيب للمعاملة بالأوكسينات للحصول على ثمار لا بذرية وخاصة الثمار التفاحية والحجرية فإن الجبريلين يعطى نتائج إيجابية جداً فى هذا الشأن.
5. **كسر طور السكون :** يؤدى GA إلى كسر طور السكون فى البذور وخاصة التى يرجع سبب سكونها إلى الاحتياج لدرجات الحرارة المنخفضة وبالتالي يمكن للجبريلين تعويض عملية التنضيد. وكذلك التغلب على السكون الذى يرجع إلى الحساسية الضوئية مثل بذور الرمان والخس وكذلك كسر سكون براعم البطاطس والتى يتركز وجود بهاABA
6. تتشابه الفعاليات الفسيولوجية للجبرلينات مع تلك التي في الاوكسينات في بعض الحالات وتختلف عنها في حالات أخرى فكل من الجبرلين والأوكسين يحفز استطالة الخلايا ونمو الثمار عذرياً وتحفيز الخلايا الكامبيومية على الإنقسام وبناء (RNA) والبروتين. ويعمل الجبرلين بصورة مضادة للأوكسين حيث أنه يثبط عملية تكوين الجذور على العقل بينما الأوكسين يحفز هذه العملية. وللجبرلينات تأثيرات وظيفية خاصة بها مثل تحفيز استطالة الساق للنبات الكامل وكسر سكون (كمون) البراعم والبذور .

تأثير الجبرلين على استطالة الخلية

يشجع الجبرلين استطالة الخلية في المنطقة بين العقد (السلاميات) في كلاً من النباتات العادية والقزمية ويكون ذلك للأسباب التالية:

1. زيادة الإسموزية في الفجوة الخلوية وبالتالي انتقال الماء إليها وهذا يسبب ضعف الجدار وبالتالي يؤدي إلى الإستطالة
2. تشجيع الإنزيمات المحللة للبروتين واستطالة الحامض الأميني التربتوفان المكون الأولي في مسار تخليق الأوكسين يقوم بعملية الإستطالة (وذلك بأحد الميكانيكيات الخاصة بهرمون الأوكسين)
3. هضم النشأ في الإندوسبيرم بواسطة الإنزيمات المستحثة بواسطة الجبرلين في الجنين وبالتالي زيادة تركيز السكريات التي تؤدي إلى ارتفاع الضغط الإسموزي وبالتالي زيادة الإستطالة في الخلية النباتية

السايتوكاينينات Cytokinins

السيتوكينينات هي هرمونات منشطة للانقسام الخلوى واحداث Cytokinases والمشتقة اسمها منه لذا فهى تعتبر هرمون الشباب فى النبات حيث تؤخر حدوث الشيخوخة وتمنع التساقط سواء للأوراق أو الثمار ويؤدى لبناء البروتين والكلورفيل ولذا يستعمل فى منع الإصفرار كأحد الاختبارات الحيوية الدالة عليه.

اول هرمون استخلص من النباتات الراقية منها كان من كيزان الذرة Zea mais وسمى لذلك Zeatin استخلصه Letham وآخرين عام 1964 فى صورة بلورية (1مجم من 70 كجم ذرة).

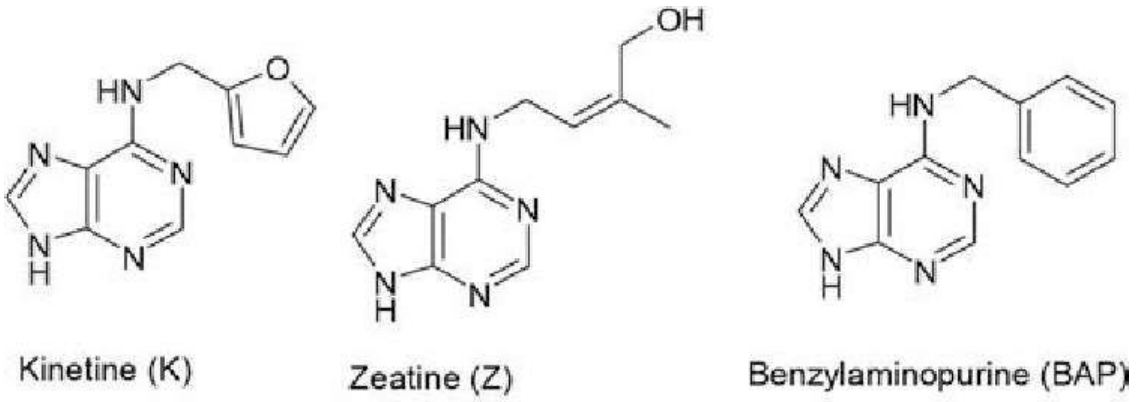
ثم ثبت وجود السيتيوكينين فى كثير من النباتات الراقية بعد ذلك مثل التفاح والعنب والبرقوق والليمون المالح والطماطم وغيرها الكثير. ومن السيتوكينات الصناعية مادة البنزيل ادنين BA.

المعاملة بالسايتوكاينينات للاحتفاظ بالكلورفيل فى مساحة الأوراق المعاملة ويمكن عند تخزين بعض المحاصيل الورقية مثل الخس والبقدونس معاملتها بالسيتوكينين بتركيزات من 1-10 جزء فى المليون للمحافظة على خضارها و تكون نسيج الكالوس على العقل ببعض الأنواع واخراج الجذور على عقل بعض الأنواع والحد من تأثير ظاهرة السيادة القمية لمعظم النباتات .

ويطبق فى تشجيع البراعم الجانبية فى الورد فتزيد كمية الأزهار وانهاء طور الراحة فى اشجار الفاكهة المتساقطة الأوراق فى حالة عدم كفاية برودة الشتاء لكسر سكون البراعم ، ويعامل الخوخ بتركيز 100-200 جزء فى المليون فى الشتاء من السيتوكينين لكسر سكون البراعم و زيادة عقد الثمار فى التفاح والتين و انتاج ثمار بكرية العقد دون بذور فى بعض أنواع الفاكهة مثل المانجو خاصة بعد خلط المعاملة بكلا من الجبرلين والاوكسين. وتستخدم السيتوكينيات في عملية زراعة الأنسجة نظراً لتأثيرها على النمو وخاصة انقسام الخلايا.

كيفية عمل السيتوكينيات

1. يمكن أن تساهم في عمل الأحماض النووية، حيث لوحظ أنها تحدث تغيرات في الأحماض النووية،
2. تستخدم في إنتاج البروتينات
3. حدوث تغيرات مفاجئة في عمليات التمثيل الحيوي أو في محتوى الخلايا من الهرمونات الأخرى مما يؤدي إلى زيادة محتوياتها (الخلايا) من الاوكسين أو الجبرلين أو الإثيلين، ولكنها توجد غالباً في المناطق **الميرستيمية** حيث يعتقد انها مناطق تصنيعها اوتخليقها.



التأثيرات الفسيولوجية للسايتوكاينين Physiological effects of Cytokinin

1. تأثير السايتوكاينين على النمو (الجذور- الساق – الأوراق)
2. تحفيز اتساع الخلايا(Cell enlargement)
3. تحفيز إنقسام الخلايا (Cell division)
4. تعمل على تضاعف الحامض النووي (Replication of DNA) وهذا ما يعمل على تشجيع الانقسام.
5. تأثيره على شيخوخة الورقة Delay of leaf senescence
6. إيقاف تساقط الأوراق والأزهار والثمار.
7. تشجيع نشاط الأنزيمات
8. السايتوكاينين يحفز نقل المغذيات Mobilization of nutrients
9. إنهاء السيادة القمية Release of apical dominance الحد من تأثير ظاهرة السيادة القمية لمعظم النباتات ويطبق فى تشجيع البراعم الجانبية فى الورد فتزيد كمية الأزهار
10. كسر السكون في إنبات البذور والبراعم Breaking of seeds and buds dormancy
11. تأثير السايتوكانين في نشوء الكلولا بلاست Chloroplast يمنع الأصفرار لتأثيره الموجب على البروتين والاحتفاظ بمادة الكلوروفيل ومنع تحللها
12. تأثير السايتوكاينين على تطور المرحلة التكاثرية ونوعية الأزهار.
13. تأثير السايتوكاينين في تكوين الإنزيمات Cytokinins induced Enzyme Formation
14. تأثير السايتوكاينين على تطور المرحلة التكاثرية ونوعية الأزهار.

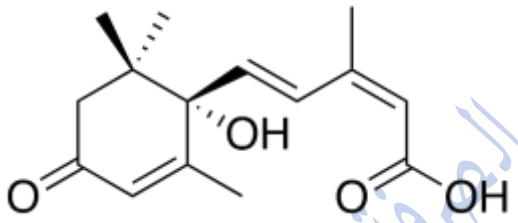
كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

الهرمونات المثبطة للنمو Growth Inhibitors

حامض الابسيسيك Abscisic acid (ABA)

استخلص هذا الهرمون لأول مرة في سنة 1965 من قبل مجموعة من العلماء من ثمار نبات القطن واطلق عليه ابيسيسين II ثم وجد بعد ذلك بأنه موجود في أنواع متعددة من الأنسجة وفي نباتات كثيرة وهو يعتبر هورمون نباتي مثبط للنمو وذلك بتأثيره على الأنسجة الميرستيمية حيث يُدخل البراعم الخضرية التي تكون في طور النمو والنشاط إلى طور السكون اوالسُبات أي يحولها إلى براعم شتوية ساكنة.

تركيز الحامض الابسيسيك يرتفع تدريجياً بانخفاض درجة الحرارة عند قدوم فصل الخريف والشتاء وخصوصاً في منطقة أعناق الأوراق حيث يحدث الانفصال وسقوط الأوراق وبالتالي فإن ارتفاع نسبة حامض الابسيسيك في منطقة الانفصال يعني بداية تساقط الأوراق ويبدأ تركيز هذا الحامض بالانخفاض مع قدوم فصل الربيع وبداية خروج البراعم وتكوين الأوراق الجديدة ويصاحب انخفاض حامض الابسيسيك ارتفاع للأوكسين والجبرلين وكذلك السيتوكينين.



حامض الابسيسيك Abscisic acid (ABA)

ينتقل ABA في كل من عصارة الخشب وعصارة اللحاء وفي الانسجة الحية ايضا خارج الحزم الوعائية ويتم بناء حامض الابسيسك في الأوراق الناضجة ومنها ينتقل إلى قمة الساق خلال سويق الورقة وانسجة الساق ، ويعتقد بأنه ينتقل خلال نسيج اللحاء ويمكن أن ينتقل خلال نسيج الخشب أيضاً. وربما ينشأ حامض الابسيسك من حامض الميفالونيك (Mevalonic Acid) أو أنه يتكون نتيجة الأكسدة الضوئية لبعض أنواع الزانثوفيل مثل فايلوزانثن (Violazanthin).

وبالنسبة لآلية عمل حامض الابسيسيك أنه يؤثر على الأحماض النوية DNA، RNA وبالتالي على نظام تصنيع البروتينات والأنزيمات. الـ ABA والجبريلين يتكونان من نفس المركب ولكن بفعالية فسلجية مختلفة لكل منهما . وان بناءهما يحدث في البلاستيدات الخضراء

دور حامض الابسيسيك (ABA) في تأقلم النباتات على درجات الحرارة المرتفعة و الجفاف

عند نقص الماء في الأوراق حيث يرتفع في هذه الحالة تركيزه في الخلايا الحارسة مما يعمل على حركة أيونات البوتاسيوم K^+ إلى الخارج نحو الخلايا المجاورة تاركاً الأملاح أقل تركيزاً وبذلك يعمل على رفع الجهد المائي وبالتالي خروج الماء للخارج وهذا يعمل على إغلاق الثغوروبالتالي تقليل مستوى النتح عند النباتات وعلى هذا فإن حامض الابسيسيك يعتبر عاملاً مهماً في تأقلم النباتات على درجات الحرارة المرتفعة واستمرارية الجفاف . اما الدوره التأقلمي في سقوط الأوراق وللدخول في السبات للبراعم أي خفض النشاط في ظروف الشتاء والبرودة الشديدة.

التاثيرات الفسلجية لحامض الابسيسيك ABA

1. **فتح وغلق الثغور** : يشترك في عمل الثغور ويغلقها عند الاجهاد المائي .
2. **تحفيز التساقط والشيخوخة :** يسبب وتساقط سويقات الاوراق المفصولة انصالها . وان تأثيره يقل على الاوراق الكاملة وذلك لتداخله مع السايتوكنينات والاوكسينات اللذان يمنعان التساقط.
3. **التاثير على النمو:** يثبط النمو للفروع وتكون السلاميات قصيرة والاوراق صغيرة بسبب قلة انقسام وتوسع الخلايا.
4. **سكون البذور:** كثير من البذور لا تنبت مباشرة بعد نضجها حتى لو توفرت لها ظروف انبات (سكون البذور) وهو مشابه لسكون البراعم واسبابها اما عدم نفاذية اغلفة البذرة او عدم النضج التام للاجنة او الاحتياج لفترة معينة بعد النضج ووجد بشكل عام ان لتركيز ABA علاقة بسكون البذور
5. **التأثير على الازهار**: لوحظ ان رش النباتات ذوات النهار القصير بالـ ABA تحت ظروف النهار الطويل لا يسبب ازهارها بعكس بعض نباتات النهار القصير التي قد تستجيب لهذه العملية .

الية عمل الـ ABA

1. التغير في الاغشية ونضوح ودفع ايون K (عملية تنظيم فتح وغلق الثغور).
2. تثبيط بناء الـ RNA والبروتين ويعادل التاثيرات العديدة للجبريلين والتاثيرات الاخرى للاوكسينات والسايتوكنينات.

ملاحظة : ان ABA يعادل تاثير الجبريلين في استحثاث انزيمات الهيدروليز Hydrolase في طبقة الاليرون في الشعير اي ان الـ ABA يسلك كمثبط منافس للجبريلين . الـ ABA يعمل بصورة خاصة على تثبيط بناء الـ RNA المعتمد على DNA .

الإثيلين Ethylene (C_2H_4 ($H_2C=CH_2$)

يعتبر الأثلين هورمون مثبط للنمو وهو غاز في درجات الحرارة الأعتيادية وهو ينتج في الأنسجة النباتية بكميات دقيقة جداً قد تبلغ 0.1 ppm ولكن هذه الكميات الدقيقة لها تأثيرعلى العمليات الحيوية النباتية للإثيلين دوراً أساسياً بجانب الاوكسينات حيث يشترك معها في معظم التأثيرات التي تحدث على العمليات الحيوية.
اكتشاف الإثيلين عند ملاحظة ان الثمار الناضجة تفرز مواد متطايرة تساعد على نضج ثمار اخرى قريبة منها وان هذه المواد المتطايرة ثبت انها الإثيلين.
للإثيلين دور في تثبيط تطاول السيقان وتشجيع النمو الجانبي ويعمل أيضاً على تسريع البلوغ والشيخوخة في الأوراق والسيقان والأزهار، ولقد لوحظ أن معاملة النبات بالاوكسينات يشجع إنتاج الإثيلين بمقدار 2-10 مرات وتشير الدراسات أن الإثيلين يشجع إنتاج mRNA الذي يتحكم في إنتاج بعض الأنزيمات الخاصة.

البناء الحيوي للاثلين Biosynthesis of Ethylene

1. الضوء وفلافين احادي النيوكليوتايد (FMN) يحفزان بناء الاثلين
2. البيروكسيد (H_2O_2) وانزيم البيروكسيديز ربما يكونان ضرورين لبناء الأثلين
3. ويعتقد بأنّ الحامض الأميني الحاوي للكبريت (S) الميثيونين (Methionine) يمكن أن يتحول داخل الأنسجة النباتية للاثلين

هناك نظريات عديدة في آلية عمل الإثيلين منها

1. يغير في إنتاج البروتينات عن طريق تأثيره على mRNA .
2. يتصل بالأغشية ويزيد من نفاذيتها.
3. حدث تغيرات كمية ونوعية على الأنزيمات.

التأثيرات الأساسية للإثيلين

1. يحفز الإنبات لبذور بعض النباتات.
2. يحفز النمو الجانبي.
3. تثبيط استطالة الخلايا.
4. يحفز نمو الثمار ونضجها.
5. يزيد من شيخوخة الأوراق.
6. يعمل على فقدان الجذور لاتجاه الجاذبية الأرضية.
7. يساعد على الخروج من طور السبات كما في براعم البطاطا.
8. يحفز إنتاج الجذور العرضية.

وتفسير تأثير الأثلين على نضج الثمار

1. تحفيزه تكوين بعض البروتينات الأنزيمية الضرورية للإسراع في عملية تفتيح الثمار.
2. يعتقد أنّ الأثلين يسبب زيادة في نفاذية أغشية الأنسجة بصورة مباشرة أو غير مباشرة وذلك بتحفيزه لتكوين حامض الابسيسك Abscisic Acid
ويحتمل أنّ الأثلين يعمل بكلتا الآليتين

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

معيقات النمو Growth Retardants

يجب التمييز بين الهرمونات المثبطات النمو Growth Inhibitors والهرمونات المعيقات النمو Growth Retardants . حيث ان المعيقات تعرقل النمو وتؤخره بسبب تقليل استطالة الساق بسبب تثبيطها لفعالية المرستيمات تحت الطرفية Sub Apical Meristems وبالتالي تقلل استطالة الساق ومن هذه المركبات السايكوسيل CCC والفوسفون phosphon D و Amo 1618 ويطلق عليها معيقات النمو لانها تعاكس العمليات الفسيولوجية للجبريلين وتقلل من تكوين الجبريلينات الداخلية في النبات ومن الانواع الاخرى الالار Alar.

ميكانيكية عمل معيقات النمو (Phosphon-D, Amo-1618, CCC)

1. تعيق استطالة الساق وذلك بمنعها انقسام الخلايا في المرستيمات تحت القمية Sub apical meristems دون التاثير على المرستيمات الطرفية
2. تثبط استطالة الخلايا وانقسامها في منطقة الخلايا تحت القمية.
3. تثبط نمو النبات.

الفينولات Phenols

الاجزاء النباتية تحوي على مركبات فينولية واهم مراكز تكوينها وانتاجها هي البلاستيدات الخضراء والاغشية الخلوية. وتعتبر من منتجات الايض الثانوية وذات وظائف حيوية في النباتات.

الوظائف الفسلجية والتطبيقات الزراعية للفينولات

اولا: التاثير على الانبات : بذور النباتات الصحراوية والبرية تحوي مركبات فينولية وتتركز في اجنة البذور واغلقتها او قصرتها وينتج عنها منع الانبات ولا تنبت الا بعد ازالة الكمون الناتج عن وجود هذه المواد وذلك باذابتها عن طريق الامطار او الخزن الطويل .

ثانيا: النمو الخضري : حيث ان معظم الفينولات تتميز بنشاط فسيولوجي مثبط للنمو الخضري للنبات نتيجة منع استطالة الخلايا الجديدة للانقسام الخلوي مما يؤدي الى قصر السلاميات وضعف النمو الخضري لان هذه المواد الفينولية تنشط انزيم IAA-oxidase كما انها تدخل في تكوين اللجنينات التي تترسب على جدران الانسجة فتعطيها الصلابة , وهي لا تدخل في تكوين جدران الخلايا ولكنها منتج ثانوي او بادئات لتخليق اللكنين .

الوظائف الحيوية للفينولات

1. اشتراك في اجسام الكلوروبلاست في انتقال الالكترونات اثناء عملية التمثيل الضوئي وتفاعلاتها .
2. تنشيط النمو بواسطة الفينولات المتعددة Polyphenols و الثنائية Diphenols بينما الفينولات الاحادية Monophenols تعمل على تثبيط النمو .
3. زيادة صلابة الانسجة الداعمة للنباتات نتيجة تكوين مركبات اللكنين Lignin .
4. صفة المقاومة للبكتريا والفطريات المهاجمة للنباتات والمسببة للامراض الحيوية.
5. وزيادة التلقيح والاخصاب من خلال جذب الحشرات الى النباتات المزهرة وذلك لالوان البتلات التي تتكون من الفينولات العديدة وخاصة الانثوسيانين Anthocyanin

كلية التربية للعلوم الصرفة/قسم علوم الحياة/جامعة المثنى

استخدام منظمات النمو في مزارع الأنسجة Growth regulators in tissue culture media

يقصد بزراعة الأنسجة النباتية : زراعة أي جزء نباتي سواء في صورة خلايا منفصلة ومستقلة أو نسيج كامل أو عضو نباتي على بيئة مغذية في أوعية زجاجية أو بلاستيكية تحت ظروف معقمة. وتعتبر مكونات البيئة المغذية من أهم العوامل التي تتحكم في نمو النسيج النباتي المنزرع. فالمتطلبات الأساسية من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النسيج النباتي المنزرع مشابهة لاحتياجات النبات الكامل.

وحيث إن الأنواع والأجزاء النباتية المختلفة تختلف في احتياجاتها من المواد الغذائية فقد ظهرت العديد من البيئات المغذية التي تلائم نمو الأنسجة المختلفة - فهناك بيئات الزراعة: المتك - والأجنة والمبيض القمم النامية وأجزاء من الأوراق والسوق والخلايا المنفصلة ... إلخ وعموما ، فإن جميع هذه البيئات تتكون أساسا من:

1. عناصر كبرى.
2. عناصر صغرى
3. فيتامينات Vitamins ثيامين- B_1 حمض النيكوتينك البيرودكسين B_6]
4. احماض أمينية Amino acids كليسين - كلوتامين - أسباراجين ... إلخ)
5. سكريات غالبا السكروز Sucrose كمصدر للكربون والطاقة.
6. منظمات النمو Growth regulators
7. الماء (مقطر مرتين).
8. الأجار ليعطى للبيئة قوامها (Medium matrix).

منظمات النمو Growth regulators

معظم مزارع الأنسجة يجري إمدادها بمنظمات النمو المناسبة . وهذه تشتمل على أربعة مجاميع شائعة الاستعمال في هذا المجال ، وهي:

١- الأوكسين ٢- السيتوكينين ٣- الجبريللين 4- حامض الأبسيسيك

الأوكسينات Auxins : من أهم الأوكسينات الشائعة الاستعمال في مزارع الأنسجة النباتية:

1. اندول 3 حامض الخليك Indole 3 acetic acid (IAA)
2. اندول 3 حامض البيوتريك Indole 3 butyric acid (IBA)
3. داي كلوروفينوكسي حامض الخليك 2,4 Dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D)
4. نفثالين حامض الخليك Naphthalene acetic acid (NAA)

يضاف IAA إلى البيئة المغذية بتركيز مرتفع يتراوح بين 1-3 ملغم/لتر وذلك لأنه بالرغم من أنه يتكون طبيعيا غير أنه يتحلل بواسطة الضوء ويتأكسد بالإنزيمات أما نفتالين حمض الخليك NAA فهو مركب لا يتأثر بالأكسدة بالإنزيمات فلذلك يضاف إلى البيئة بتركيز منخفض يتراوح بين (0.1-2) ملغم/لترأما 2,4-D فهو مركب أكثر ثباتا لهذا يستخدم

بتركيز ضئيل في البيئة. أهم تأثيرات الأوكسين على النسيج المنزرع تنشيط تكوين الكالس ونمو الخلايا وحث تكوين الجذور وكذا تحول الخلية إلى الحالة الجنينية ثم تطور الخلية الجنينية إلى جنين ناضج.

السيتوكينينات Cytokinins : من أهم السيتوكينينات المستخدمة في مزارع الأنسجة:

1- بنزايل امينو بيورين (BAP) Benzylamino purine او البنزيل ادنين (BA) ، 2- الزياتين Zeatin ، 3- الكينتين Kinetin

ويعتبر الزياتين هو صورة السيتوكينين التي تنتج طبيعيا بواسطة النبات ، أما الصور الأخرى من السيتوكينين فهي مخلقة صناعيا.

ينشط السيتوكينين انقسام وتكون النموات الخضرية ، ويعمل على تنشيط تكوين الجذور وتنشيط تمثيل البروتينات والإنزيمات. ووجود الأوكسين IAA بجانب السيتوكينين في مزارع الأنسجة ضرورى لزيادة انقسام الخلايا. ولقد وجد في مزارع الأنسجة النباتية أن نسبة الأوكسين إلى السيتوكينين في البيئة المغذية لها تأثير كبير على النمو ، فمثلا عندما تزداد نسبة الأوكسين إلى السيتوكينين فإن هذا يؤدي إلى تنشيط تكوين الأجنة ، وتكون الجذور ، وتكون الكالس وعلى العكس عندما تقل نسبة الأوكسين إلى السيتوكينين فإن هذا ينشط تكون النموات الخضرية والأفرع.

الجبريللين وحامض الأبسيسيك:

يعتبر الجيريللين وحامض الأبسيسيك من منظمات النمو التي تستخدم أحيانا في تحضير البيئة المغذية - وعموما فإن الأنسجة النباتية المنزرعة تنمو في بيئة خالية من هذين المركبين غير أن إضافتهما إلى البيئة المغذية تؤدي إلى تنشيط النمو .

ومن أهم تأثيرات الجبريللين أنها تشجع نمو الكالس وتزيد استطالة النباتات المتقزمة. أما تأثير حمض الأبسيسيك فهو يؤدي إلى زيادة في تكوين الأفرع.

مما سبق يتضح أن الدور الأساسي والأولى الذي تقوم به منظمات النمو وخصوصا الأوكسينات والسيتوكينيات في زراعة الأنسجة هو تنشيط **تكوين الكالس Callus initiation والكالس**: كتلة من الخلايا البرانكيمية العشوائية الترتيب غير المتكشفة ناتجة من الانقسام الخلوي للخلايا المكونة للجزء النباتى المنزرع على بيئة مغذية وغالبا يتكون الكالس في المنطقة التي يقطع منها النسيج النباتى.

ونسيج الكالس لا يقوم بعملية البناء الضوئي وتكوين المواد الكربوهيدراتية لذلك يجب إمداد مزارع الأنسجة بالإضافة إلى العناصر المعدنية الضرورية essential minerals بمصدر للكربون المثبت والطاقة وغالبا يضاف السكروز sucrose . ويعتبر الكالس مادة نباتية ذات أهمية كبيرة في إكثار النباتات الدقيق والسريع. كما أنه يمثل حقل خصب للباحثين في دراسة المراحل التطورية المختلفة للنباتات.

اهمية زراعة الانسجة النباتية

1. انتاج نباتات خالية من الأمراض

2- اكثار النباتات والحصول على أجزاء خضريه وشتلات في وقت أسرع من الزراعة بالبذرة خاصة في أشجار الفاكهة. 3- امكانية الحصول على نباتات من أمهات ذات صفات وراثية واقتصادية عالية.

4- يمكن التهجين بين الأنواع النباتية المختلفة التي يصعب تهجينها في الظروف العادية.

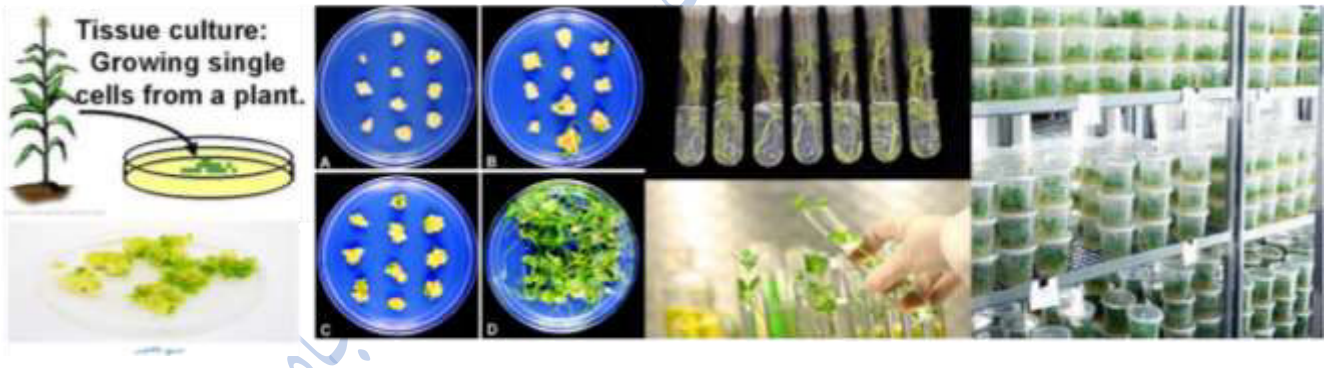
5- بعض النباتات لها صفات مردودية عالية من حيث كمية الإنتاج والمذاق ومقاومة للفيروسات والأمراض لا نعتمد على البذور لما لها من احتمالية حمل صفات متنحية لا تنتج نبات مشابه للنبات الأم , بطريقة الاستنساخ يمكننا تجنب هذه المشكلة وإنتاج آلاف النباتات المشابهة للنبات الأم من حيث الصفات الكمية والنوعية.

6- انتاج المواد الطبية والعطرية النادرة في المعمل.

7- استخدام الهندسة الوراثية بصورة أكثر سهولة لإدخال صفات جديدة للنبات.

8- التغلب على مشكلة عدم التوافق الذاتي بين أنواع وأصناف أشجار الفاكهة.

9- انتاج المواد الطبية والعطرية النادرة في المختبر.



صورة توضح زراعة الانسجة النباتية

النقل باللحاء نظرية عامة

انتقال المواد العضوية Transport of organic compounds

تنتقل المركبات العضوية الذائبة الناتجة من عملية البناء الضوئي من أماكن تكوينها في الأوراق إلى خلايا وأنسجة وأعضاء النبات الأخرى حيث توزع عليها كل على حسب حاجته منها أما الفائض فيوجه إلى أماكن التخزين حيث يخزن فيها على صورة مركبات عضوية معقدة التركيب مثل النشا والبروتينات والدهون الحين الحاجة إليها فيعاد تحويلها إلى مكوناتها البسيطة ثم تنتقل إلى حيث الحاجة إليها الاستخدامها هناك أي أن عملية انتقال المواد الذائبة في النسيج الوعائي عملية يحتمها تباعد وتعدد الأنسجة واختلاف الوظائف الفسيولوجية التي تقوم بها.

ويتم انتقال المركبات العضوية خلال نسيج اللحاء phloem إلى جميع أجزاء النبات ولكى يتم انتقال المواد المعقدة التركيب كالنشا والبروتين من مكان لآخر داخل النبات يتحتم أولا أن تتجزأ و تتحلل إلى مركبات بسيطة ذائبة ويتم ذلك بمساعدة الانزيمات الموجودة في الخلايا النباتية .

انتقال المواد الكربوهيدراتية

تنتقل المواد الكربوهيدراتية من خلايا التمثيل بالأوراق إلى اللحاء على هيئة سكروز ثم يستمر انتقالها على هذه الصورة خلال لحاء الورقة فالعنق ثم الساق. ويعتقد أن السكروز هو المادة الكاربوهيدراتية الأساسية القابلة للانتقال بين خلايا أنسجة النبات ويتحرك السكروز إلى أسفل وإلى أعلى خلال اللحاء (نسبة من السكريات تنتقل إلى الخشب في اتجاه عرضى) وأثناء فترة تكوين الأزهار والثمار تنتقل الكربوهيدرات على هيئة سكروز خلال اللحاء من الجذور والساق والأوراق إلى الأزهار والثمار لإمدادها بما تحتاج إليه .

انتقال المواد النتروجينية

تنتقل المواد النتروجينية العضوية على صورة أحماض أمينية وأميدات فمثلا عند تكوين الأزهار (في نبات القطن) سرعان ما تتحلل المواد النتروجينية المخزنة وتسحب من الأجزاء الخضرية والجذر وتنتقل إلى الأزهار.

انتقال الدهون والزيوت

الدهون والزيوت لا تنتقل أبدا على هذه الصورة بل لا بد أن تتحول إلى سكريات في مكان وجودها أو تخزينها ثم تنتقل على هذه الصورة إلى أجزاء النبات المختلفة حيث تستخدم في النمو وفي بناء أنسجة جديدة وجزء منها يستخدم في التنفس والإنتاج الطاقة اللازمة للعمليات الحيوية المختلفة - قد يتحول جزء منها مرة أخرى إلى دهن أو زيت كمادة تخزينية مؤقتة.

ميكانيكية الانتقال خلال اللحاء

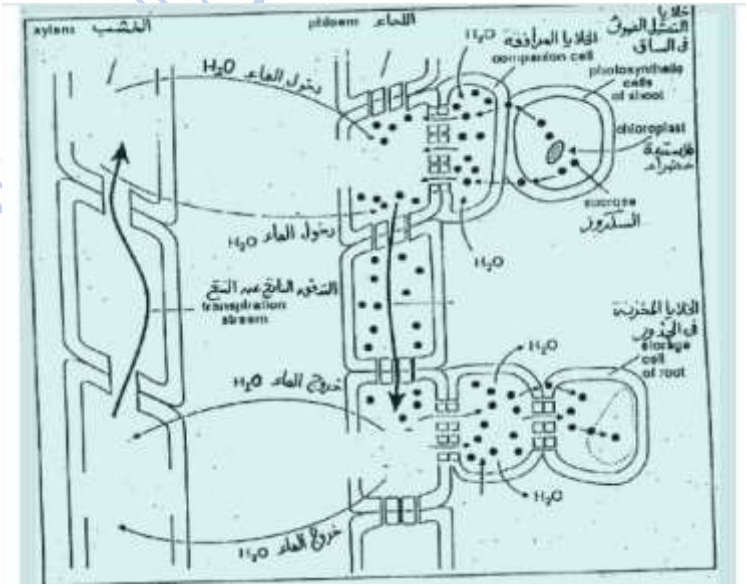
هناك ثلاث نظريات وضعت لتفسير ميكانيكية انتقال الذائبات العضوية خلال اللحاء.

1. الانتشارDiffusion : اعتقد بعض العلماء أن الانتقال خلال اللحاء يتم بالانتشار. إلا أنه اتضح أن السرعة التي تنتقل بها المواد الذائبة العضوية خلال اللحاء تفوق كثيرا ما يسمح به الانتشار العادي ، وعلى ذلك فالانتشار لا يكفي أن يكون تفسيرا للسرعة التي يتم بها الانتقال خلال اللحاء.

2. نظرية التدفق (الكتلي) Mass flow : تفترض حركة الذائبات العضوية يتم تحت تأثير ضغط كتلتها نظرا لتجمعها بكمية كبيرة فتتدفق تحت تأثير هذا الضغط الذي يحدث نتيجة للاختلاف الكبير في الضغط الأزموزي بين خلايا النسيج الذي تنتقل منه (تتكون فيه) وبين خلايا النسيج الذي ستنتقل إليه فيندفع تيار من الماء من النسيج الأول إلى الثاني حاملا معه الذائبات العضوية التي يستمر انتقالها تحت تأثير ضغط التدفق الكتلي لها (كما في شكل التالي).

ويمكن تلخيص الخطوات التي يتم بها الانتقال على حسب هذه النظرية كما يلي:

يؤدي بناء المواد السكرية في النسيج الوسطى للأوراق (الميزوفيل) إلى ارتفاع الضغط الأسموزى في خلاياه ونتج عن ذلك امتصاص هذه الخلايا للماء وزيادة امتلائها. يندفع من هذه الخلايا محلول ذائب فيه السكريات وغيرها من المواد الذائبة إلى الأنابيب الغربالية خلال خيوط البلاوموذزما ويستمر اندفاع المحلول داخل الأنابيب الغربالية بالضغط الناشئ في خلايا النسيج الوسطى حتى يصل إلى بروتوبلازم الخلايا المستقبلة حيث يستهلك السكر وغيره من المواد الغذائية في عملية التنفس أو في عملية البناء والنمو والادخار وبذلك يبقى ضغط الامتلاء في هذه الخلايا منخفضا. وقد أخذ على هذه النظرية أنها تفسر الانتقال في اتجاه واحد خلال اللحاء بالرغم من أن حركة المواد الذائبة في اللحاء قد تسير في الاتجاهين المتضادين في وقت واحد إلى أعلى وإلى أسفل.



شكل يوضح نظرية التدفق الكتلي Mass flow لانتقال المواد العضوية داخل اللحاء في النبات

3. نظرية الانسياب البروتوبلازمي Protoplasmic streaming : من المعروف أن البروتوبلازم دائما في حركة دائرية مستمرة ليسهل انتقال وتوزيع المواد الذائبة فيه. والبروتوبلازم يتحرك أيضا حركة دائرية داخل الأنابيب الغربالية وفي هذه الحركة تنقل المواد الذائبة المحمولة بالبروتوبلازم من أحد طرفي الأنبوبة الغربالية إلى الطرف الأخر . ثم تمر وتنتقل من أنبوبة غربالية إلى التي تليها بالانتشار خلال خيوط البلازمودزما المخترقة للصفائح الغربالية.

وتفسر هذه النظرية إمكانية حدوث الانتقال في اتجاهين متضادين في نفس الوقت خلال نفس الأنبوبة الغربالية إلا أن سرعة انتقال الذائيات العضوية خلال اللحاء لا يمكن تفسيرها بالحركة الانسيابية للسيتوبلازم لبطء معدل هذه الحركة الانسيابية. ويبدو أن ميكانيكية انتقال الذائبات العضوية هي ميكانيكية معقدة تشتمل على الميكانيكيات الثلاث السابقة وربما ميكانيكيات أخرى لم تعرف بعد.

تختلف حركة المركبات العضوية الذائية على حسب حالة النسيج النباتي الذي ستنتقل إليه هذه المركبات - وهذه الحاجة يحددها درجة النشاط الفسيولوجي للنسيج وقد لوحظ أن انتقال الذائبات العضوية يتم في الخلايا الغربالية الحية فقط والتي يمكنها نقل كميات كبيرة نسبيا خلالها في أي من الاتجاهين . وقد يحدث أن يتم النقل في كلا الاتجاهين في نفس الوقت وفي نفس نسيج اللحاء. ويتم الانتقال بمعدلات سرعة مختلفة باختلاف الأنواع النباتية وعمر النبات ودرجة نشاطه الفسيولوجي والوقت من اليوم.

نمو وتكوين النبات مفهوم النمو والتكوين والتمايز اماكن النمو وانواع المرستيمات ، حركية النمو

النمو Growth

يعد النمو عملية معقدة جدا والى حد هذا اليوم لايوجد تعريف كامل لها على الرغم ان عدد من العلماء قد عرفها باشكال مختلفة لم يخلو أي منها من نقاط ضعف ومنها مايلي :-

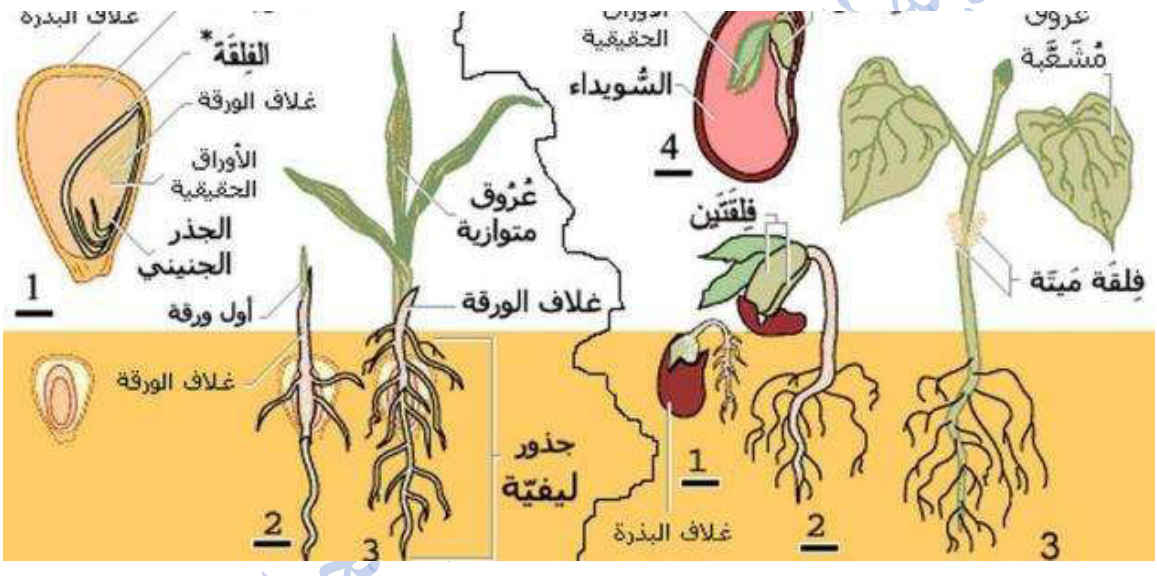
1- النمو:هو مضاعفة عدد الخلايا(لا ينطبق هذا الكلام على الكائنات وحيدة الخلية)
2- النمو:هو مضاعفة كمية البروتوبلازم هذا التعريف نظريا مقبول لكن عمليا يصعب تطبيقه).
3- النمو:هو الزيادة الدائمية في الحجم (ممكن ان تتشرب الخشبة او الاسفنجة بالماء ويزداد حجمها وهذا ليس نمو).
4- النمو:هو الزيادة في الوزن الجاف (لكن يلاحظ بأن نموالبذور الى بادرات يكون مصحوب بقلة الوزن الجاف للبذور في البداية والى حد اعتماد البادرة عاى نفسها بالتغذية من خلال عملية التركيب الضوئي .

مراحل نموّ النبات : تمرّ غالبية النباتات الخضراء بأربع مراحل خلال نموّها، وهي:

1. **الإنبات:** لتنمو البذرة بالشكل الصحيح، يجب توفر الظروف:(درجة الحرارة ، الرطوبة ، التهوية الجيدة). وعند وضع البذرة في التربة، فإنّها تمرّ بالمراحل التالية: امتصاص البذرة للماء، ثم انتفاخها حتى يتضاعف حجمها. ظهور الجذر والساق، ويسمّى الجزء الذي يتكون منه الجذر بسويقة جنينية سفلى، أمّا الجزء الذي تتكوّن منه الساق فيسمّى بسويقة جنينية عليا. امتصاص الأملاح المعدنيّة والماء من التربة، للحصول على غذائها. خروج الساق

من التربة، وظهور البادرة، ثمّ تشكّل الأوراق، وهنا تكتمل النبتة وتصبح قادرة على القيام بعملية التركيب الضوئيّ، وصنع غذائها بنفسها.

2. **حركة الماء:** تحدث حركة الماء داخل النباتات بالخطوات التالية: امتصاص الماء والأملاح المعدنية بواسطة الجذور من التربة، وذلك من خلال ما يسمّى بالخاصية الإسموزية. وصوله إلى الأوراق، وفيها يتمّ استخدامه مع الأملاح لإنتاج الغذاء. انتقاله إلى باقي أجزاء النبتة، وذلك بواسطة نسيج اللحاء.
3. **التركيب الضوئي:** تحدث هذه العمليّة داخل أجسام صغيرة في النباتات الخضراء، والتي تسمّى البلاستيدات الخضراء.
4. **التنفّس:** تحدث هذه العملية خلال الليل والنهار، والتي ينتج عنها: إنتاج الطاقة، وثاني أكسيد الكربون، والماء.
5. **تغذية النباتات** : هي التي تعتمد على المصادر الخارجية للحصول على غذائها، وذلك حتى تنمو وتتكاثر.



شكل يوضح مظاهر النمو عند النبات

التمثيل Assimilation

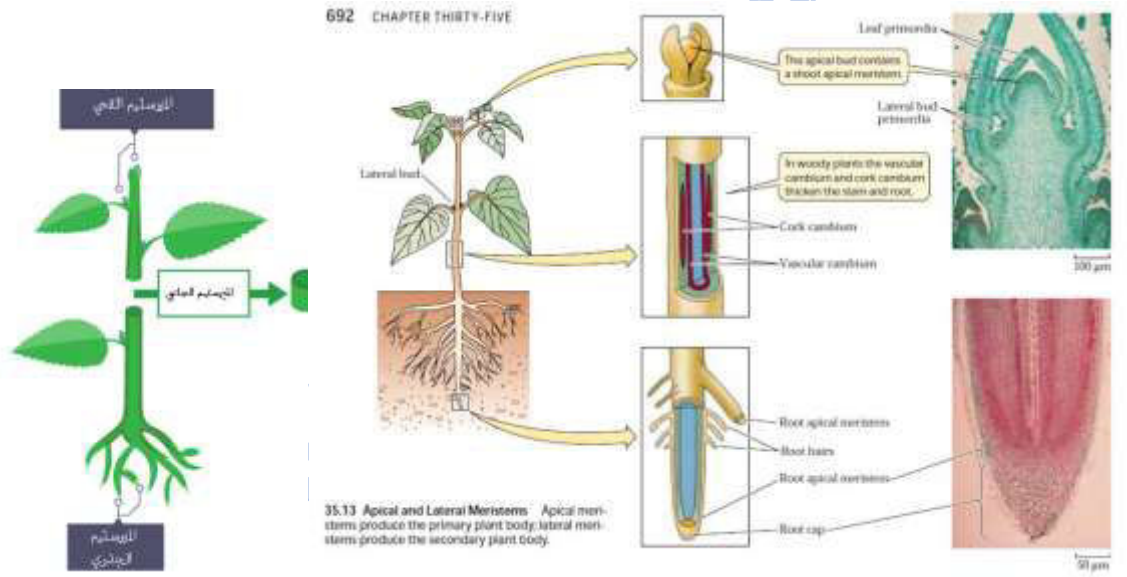
وهي العملية التي من شأنها استخدام الأغذية في بناء بروتوبلازم وجدر الخلايا الجديدة. ونتيجة لعملية التمثيل فإنه من الثابت أن الوزن الجاف لمناطق النمو يزداد زيادة ثابتة أثناء النمو حتى ولو كان مصحوبا بنقص الوزن الجاف الكلى للنبات بسبب تفوق معدل التنفس على معدل البناء الضوئي في بعض الحالات الخاصة (مثل نقص الوزن الجاف رغم حدوث نمو البادرة الموضوعة في الظلام وكذلك إنبات البذور في الضوء فإن وزن البادرات الجاف يتناقص في الفترة التي تسبق بدء البناء الضوئى).

الأنسجة المرستيمية أو المرستيمات Meristematic tissues or Meristems

تختص أنسجة محددة بوظيفة النمو في النبات وتعرف باسم المرستيمات وهي أنسجة تتكون منها باستمرار تحت الظروف الملائمة خلايا جديدة بصفة مستمرة نتيجة للانقسام المتتالي الذي يحدث في كل أو بعض خلاياه.

ونتيجة لما يلى عملية الانقسام من زيادة في الحجم (لاستطالة الخلايا) ثم تميز لهذه الخلايا التي تنشأ من المرستيم ، تتكون أنسجة متعددة ومختلفة كنموذج معين يميز كل نوع نباتى عن الأخر. وأهم أنواع المرستيمات التي توجد في معظم النباتات الوعائية هي :

1- مرستيم قمة الجذر Apical - root meristem
2- مرستيم قمة الساق Apical - stem meristem
3- المرستيم الجانبي Lateral meristem وهو المسمى بالكامبيوم Cambium
4- المرستيم بين العقدى Intercalary meristem الذي يوجد في سوق وأوراق بعض النباتات وخصوصا من ذوات الفلقة الواحدة. و يتوقف نشاط المرستيم على الظروف البيئية الملائمة والعوامل الداخلية في النبات.



النمو الابتدائي والنمو الثانوي

ويعرف الى نمو الناتج عن المرستيمات الطرفية لقمة الجذر والساق بالنمو الابتدائي Primary Growth وهو المسئول عن تكوين وبناء الأنسجة الابتدائية في النبات وينتج عنه أيضا تكوين الأفرع والأعضاء الجانبية الأخرى مثل الشعيرات الجذرية والأوراق والأزهار. وفضلا عن ذلك فهو المسئول عن الزيادة الطولية في مدور النبات سواء كان ذلك عند قمة الساق أو الجذر. وفي كثير من الأنواع يتكون النبات الكامل من الأنسجة الابتدائية فقط كما في حالة السرخسيات وكثير من نباتات الفلقة الواحدة.

Muthanna University, Dr. Arshad Class: https://classroom.google.com/c/MTI1MzIyOTcxNjJa

أما النمو الناتج عن انقسام ونشاط المرستيم الجانبي الذي يشمل الكمبيوم الحزمي Vascular cambium أو الكمبيوم الفليني Cork cambium فيسمى بالنمو الثانوي Secondary growth وهو المسئول عن الزيادة في قطر الساق أو الجذر، وفي هذه الحالة تنقسم خلايا الكمبيوم الحزمي أو الفليني في مستويات موازية المحور الرأسي للنبات.

مراحل نمو الخلية النباتية Growth Stages of the Plant Cell

يتم نمو أي خلية على ثلاث مراحل تعرف بمراحل النمو هى:

1- المرحلة الجنينية أو المرستيمية Embryonic or Merstematic Stage :تتميز هذه المرحلة بازدياد كمية المادة البروتوبلازمية تدريجيا في الخلية وبذلك يزداد وزنه اويتبع ذلك انقسامها إلى خليتين يفصلهما جدار. تبقى بعض الخلايا الى ناتجة عن الانقسام جنينية فتنقسم بدورها ويزداد بذلك عددها أما باقي الخلايا الناتجة فتتحول إلى خلايا بالغة كما سيأتي في المرحلة الثانية. اي النمو يقتصر على الزيادة في عدد الخلايا وفي وزنها، أما الزيادة في الحجم فإنها ضئيلة جدا وذلك لأن حجم الخليتين الناتجتين يساوي حجم الخلية الأصلية تقريبا.

2- مرحلة الاستطالة أو النمو في الحجم Enlargement stage : في هذه المرحلة ينمو جدار الخلية بمعدل أسرع من معدل نمو البروتوبلازم ولذلك تظهر فجوات صغيرة وعديدة في البروتوبلازم الذي يعجز عن الاحتفاظ بشكله المرستيمي ككتلة صماء . ولا تلبث هذه الفجوات العديدة أن تتجمع تدريجيا مكونة فجوة واحدة كبيرة تحتوي على العصير الخلوي ويصبح البروتوبلازم طبقة رقيقة جدا ملاصقة لجدار الخلية من الداخل وعندئذ تمتص الخلية الماء وتنتفخ ويزيد حجمها أضعاف حجم الخلية المرستيمية الأصلية، وبذلك يتم نمو الخلية في الحجم.

ويفسر ازدياد حجم الخلية أثناء هذه المرحلة، بالرغم من توقف ازدياد كمية المواد البروتوبلازمية التي كانت من خصائص المرحلة الجنينية، إلى تكوين المواد السليلوزية التي تؤدي إلى نمو الجدار فيتناقص بذلك الضغط الجدارى على محتويات الخلية، وهناك رأي آخر يشير إلى أن جدر الخلايا تزداد مرونتها أثناء هذه المرحلة وهذا أيضا يساعد على خفض الضغط الجدارى. ويترتب على خفض الضغط الجدارى ازدياد قوة الامتصاص الأسموزية للخلية وبذلك تصبح الخلية قادرة على امتصاص مزيد من الماء الذي يؤدي إلى تكوين الفجوات العصارية.

تستمر الخلايا في امتصاص الماء إلى أن تبلغ حالة تمام الامتلاء، عندئذ تنتهي هذه المرحلة من نمو الخلية .مما تقدم يتضح أن النمو في الحجم الذي يحدث أثناء هذه المرحلة سببه المباشر امتصاص الماء نتيجة لازدياد قوة الامتصاص الأسموزية.

3- مرحلة التميز أو التكشف Differentiation Stage : إن مرحلة تميز الخلايا التي تلي أو تصاحب مرحلة الاستطالة تشتمل على أنواع متعددة ومختلفة من التخصصات الفسيولوجية والتشريحية. وقد يرجع تميز الخلايا وتخصصها إلى شكلها وحجمها أو لطبيعة ومدى نمو الجدر الخلوية الثانوية، أو بالنسبة لمحتوياتها البروتوبلازمية. وفي جميع هذه الحالات تكون النتيجة النهائية هي تكوين خلايا من نوع معين من أجل وظيفة فسيولوجية معينة. **فالتميز** ، هو تحول الخلايا المرستيمية النموذجية إلى نوع من الخلايا ذات درجة عالية من التخصص لتقوم بوظائف معينة. ونستنتج مما سبق أنه في مرحلة التميز ينحصر النمو في بعض التغيرات الداخلية لمكونات الخلية وفي زيادة وزنها لما

يتراكم فيها من مواد مختلفة، وتأخذ الخلية شكلها وحجمها النهائيين استعدادا للقيام بوظيفتها الفسيولوجية المخصصة لها.

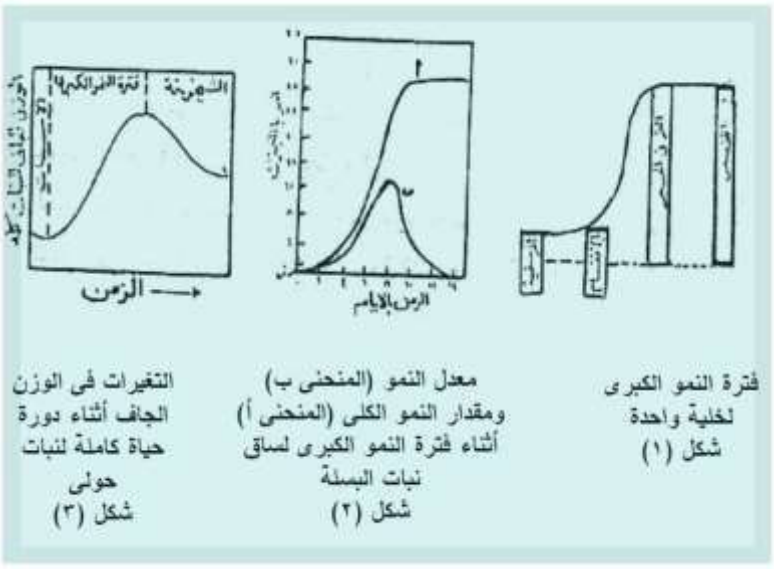
فترة النمو الكبرى Grand period of growth :

لقد ثبت أن معدل النمو لأي عضو من أعضاء النبات، ليس منتظما أثناء نموه، إذ يبدأ معدل النمو بطيئا ثم تتزايد سرعته حتى يصل معدل النمو إلى حد أقصى يتناقص بعده هذا المعدل إلى أن يتلاشى ويقف النمو تماما.

وقد أطلق العالم ساكس Sachs على الفترة التي تحدث خلالها هذه التغيرات في معدل نمو النبات أو أي عضو من أعضائه **بـ فترة النمو الكبرى** Grand period of growth ويعزي هذا التغير في معدل النمو إلى الطريقة الخاصة التي تتبعها الخلية النباتية عند نموها.

ففي **المرحلة المرستيمية** لا يحدث نمو يذكر في حجم الخلية، أي أن معدل نمو الخلية، وبالتالي نمو أي نسيج أو عضو يبدأ ضئيلا. وفي **مرحلة الاستطالة**، يزداد حجم الخلية لامتصاصها الماء ويصل حجمها الأصلي، أي أن معدل النمو في هذه المرحلة يصل إلى حده الأقصي. أما في **مرحلة التميز**، فيزيد حجم الخلية قليلا بما يتراكم فيها من مواد، أي أن معدل النمو في هذه المرحلة يأخذ في التضاؤل إلى أن يتلاشى عندما يتم تميز الخلية. والشكل التالي عبارة عن رسم تخطيطي يبين كيفية مرور كل خلية نباتية في فترة نمو كبرى.

ولما كانت كل خلية على حدة لا بد أن تمر عند نموها في هذه المراحل الثلاث، أي أنها تمر في فترة نمو كبرى، تحتم أن يمر كل نسيج نباتي ، وكل عضو نباتي ، وبالتالي كل نبات كامل عند نموه، في فترة نمو كبرى بعدها يثبت النبات على حجمه بتمام نموه الخضري.



الفترة الضوئية والتزهير والارتباع

مرحلة التزهير والإثمار في النبات Reproduction

يمكن اعتبار مرحلة تكوين الأزهار والثمار في النبات مرحلة مستقلة من مراحل نموها ففي بعض أنواع النباتات يمكن تحديد هذه الفترة تماما، حيث إن النبات يبدأ فورا في التزهير ثم الإثمار عقب انتهائه من مرحلة النمو الخضري ، وبعد ذلك تنتهي دورة حياة النبات ويموت ، ويحدث ذلك في كثير من الحوليات كنبات زهرة الشمس وكذلك في بعض النباتات المستديمة ، كما أن كثيرا من نباتات أبصال الزينة مثال التيوليب والهياسنث Hyacinth والكروكس Crocus تنمو خضريا أولا ويعقب ذلك تكوين أعضاء التكاثر الجنسي (الأزهار) وأيضا أعضاء التكاثر الخضري (الأبصال والدرنات)، وعلى العكس من ذلك تنمو بعض النباتات نموا خضريا لفترة محدودة تبدأ بعدها في التزهير ويستمر كل من بعض النباتات نموا خضريا لفترة محدودة تبدأ بعدها في التزهير ويستمر كل من النمو الخضري والزهري معا كما هو الحال في بعض الحوليات كالبسلة والفول وذلك بعض النباتات المستديمة ، يلاحظ في هذه النباتات أن مرحلة التزهير غير منفصلة عن مرحلة النمو الخضري ، كثيرا ما يشاهد في بعض الأشجار وجود فترة محددة يعطى النبات أثناءها أزهاره فقط أولا ، ثم تنتهي هذه الفترة ويبدأ النبات في النمو الخضري ومثال ذلك أشجار المشمش والخوخ البالغة .

العوامل التي تؤثر على التزهير في النباتات:

وجد أنه لا بد أن تتوفر عوامل محددة قبل أن يبدأ النبات في التحول من دور النمو الخضري إلى دور التزهير ، وإلا مكث النبات عقيمة أي لا يعطى أزهار .كان العالم Klebs أول من أشار ونتيجة لأبحاثه العديدة إلى أن دورة حياة النبات وكذلك العمليات المختلفة التي تجرى بداخله تتأثر بظروف البيئة التي ينمو فيها ، وأنه بتغيير عوامل البيئة لا بد وأن يتأثر نمو النبات وأن تأثير هذه العوامل على التزهير بوجه خاص لا يكون تأثيرا مباشراً بل يكون عن طريق إحداث تغييرات داخلية في حالة النبات.

ومن أهم عوامل البيئة التي تؤثر على التزهير في النباتات ما يأتي :

1. **قوة الإضاءة:** وجد أن النبات إذا نما في بيئة تتوافر فيها جميع الظروف المناسبة للنمو وكانت الإضاءة غير كافية فإن النبات يتأخر في التزهير أو قد لا يزهر بتاتاً ، وقد عزى ذلك إلى أن النبات يحتاج إلى إضاءة كافية تمكنه من القيام بعملية التمثيل الضوئي لإنتاج المواد الكربوإهيدراتية التي هي أساس تكوين المواد العضوية المختلفة التي يدخرها النبات بداخله وذلك لاستعمالها في النواحي المختلفة وخاصة خلال فترة التزهير .وطول فترة الإضاءة اليومية التي يتعرض لها النبات تلعب دورا كبيرا في تحديد موعد إزهاره.
2. **نسبة المواد الكاربوإهيدراتية إلى العناصر الغذائية في النبات** : وجد أن العناصر الغذائية تلعب دورا كبيرا في دفع بعض النباتات إلى التزهير، كما تؤثر على عدد البراعم والأزهار المتكونة ومعدل تتابع تكوينها على النبات. زيادة التسميد الأزوتي يشجع النباتات على النمو الخضري على حساب التزهير. إلا أن الكميات المطلقة لمواد معينة ليست هي التي تحدد موعد التزهير ، ولكن تحدده العلاقة النسبية بين تلك المواد ، إذ لوحظ أن زيادة كمية المواد الكربوإيدراتية عن الأزوت والعناصر الغذائية الأخرى تؤدى إلى التزهير ثم الإثمار ، في حين أن العكس يؤدى إلى استمرار النمو الخضري وتأخير أو منع التزهير .

وأن العلاقة بين كمية كل من المواد الكربوإيدراتية والمواد الأزوتية (C/N ratio) داخل النبات قد تتحكم في تحديد موعد التزهير في النباتات أو عدم التزهير بالمرة. وقد أشارت عديد من الأبحاث إلى أن زيادة تركيز السكريات الكلية في المجموع الخضري للنبات و انتقال بعضها من الأوراق (source) إلى البراعم الزهرية (sink) يلعب دورا هاما في دفع التزهير في عديد من النباتات بل وقد اعتبر البعض السكريات من ضمن منبهات التزهير في النبات .

ومن المعروف أن عنصر البوتاسيوم له دور مشجع على هجرة السكروز من الأوراق إلى أعضاء التكاثر مما يؤثر على تزهير وإثمار هذه النباتات ، هذا وقد أوضحت عديد من الدراسات ارتباط الحالة الغذائية للنبات ارتباطا شديدا مع مستوى بعض الهرمونات النباتية المؤثرة في دفع التزهير مثل التداخل الواضح بين مستوى التغذية بالنتروجين ومستوى السيتوكاينين ودفع التزهير، كذلك دفع بدء تكون سنابل القمح مع زيادة الإمداد بالفوسفور كان مرتبطة بزيادة مستوى السيتوكينينات .

3. **الماء:** يلعب الماء دورا في تحديد موعد التزهير وبالتالى الإثمار في النباتات ، فقد وجد أن الجو الجاف يلائم التزهير والإثمار ، بينما ارتفاع درجة الرطوبة في الجو يؤخر عملية التزهير أو قد يعوقها تماما. إن التربة التي تحتوي على كمية مناسبة من الرطوبة تفوق التربة الجافة من ناحية تزهير وإثمار النباتات النامية فيها .

كما أن نقص الماء يؤثر على نمو المجموع الجذرى للنبات مما يؤثر على التزهير والإثمار حيث يعتبر المجموع الجذرى للنبات مصدرا هاما البعض منظمات النمو المؤثرة على التزهير مثل السيتوكينينات .

4. **الارتباع Vernalization** :اطلق تعريف الارتباع على الطريقة التي استحدثها العالم Lysenko والتي يمكن بواسطتها تقصير فترة النمو الخضري ودفع النباتات للتزهير المبكر ، وأساس هذه الطريقة هي تعريض البذور، عند بدء إنباتها مباشرة لعوامل خارجية محددة تعمل على إسراع عمليات فسيولوجية معينة تؤدي إلى الانتقال إلى مرحلة الإزهار في فترة قصيرة نسبيا. وأول دراسات أجريت على الارتباع تلك الدراسة التي أمكن أثناءها زراعة محاصيل شتوية في فصل الربيع ، وكان العامل الأساسي الذي أدى إلى تلك النتيجة هو خفض درجة الحرارة أثناء الإنبات لفترة كافية . لإحداث الارتباع في القمح الشتوى استنبتت الحبوب ببطء وذلك بإضافة كمية محدودة من الماء تصل لحوالي 50% من الكمية اللازمة للإنبات المعتاد وقد حفظت الحبوب على درجة حرارة تتراوح بين (0-5 م°) لعدة أسابيع لوحظ أن تلك الدرجة من الرطوبة بينما تسمح باستمرار العمليات الحيوية التي تجري أثناء فترة النشاط إلا أنها تؤخر كثيرة عملية النمو ، ولا تخفى فوائد تأخير نمو البذور المعاملة وذلك حتى يمكن نقلها ثم زراعتها بدون إحداث أضرار بها . حيث إن استطالة كل من الجذير والريشة يعرضهما للتلف أثناء النقل والزراعة.

تشير نظرية مراحل النمو في النباتات التي يؤيدها Lysenko وغيره من العلماء إلى أنه لكي يتم النبات دورة حياته كاملة لا بد أن يمر في طورين متتاليين ويختلف هذان الطوران عن بعضهما كل الاختلاف من حيث الظروف الملائمة لكل منها ، ويطلق على الطور الأول **الطور الحراري Thermo stage** وعلى **الطور الضوئى Photo stage** ولا ينتقل النبات من الطور الأول إلى الطور الثاني إلا بعد أن يستكمل الطور الأول استكمالا تاما .

يمر النبات خلال الطور الأول (الطور الحرارى) دون أن يتأثر شكله الظاهرى بينما تحدث تغيرات داخلية لا يمكن ملاحظتها . ينشط الطور الحراري في النباتات الشتوية (أى النباتات التي تحتاج إلى درجة حرارة منخفضة نسبيا لنموها) كلما انخفضت درجة الحرارة التي يتعرض لها النبات عن درجة كبرى معينة .

فإذا زادت درجة الحرارة عن تلك الدرجة فإن الطور الحراري لا يبدأ وبذلك يمكث النبات عقيمة ، أي لا يكون أزهارة ، وقد أمكن بدراسة العوامل التي تساعد على بدء ثم إسراع الانتهاء من الطور الحراري في النباتات أن أمكن التوصل إلى معاملة البذور معاملة خاصة تجعلها تنتهى من هذا الطور قبل إنباتها ، وبذلك تنتقل مثل هذه البذور إلى طورها الثاني عند إنباتها مباشرة وقد أطلق على تلك المعاملة التي من شأنها تقليل فترة النمو الخضري للنبات وبالتالي تعجل انتقاله للطور الضوئى **بعملية الارتباع** Vernalization ومعناها اللفظى التهيؤ للربيع أو الاستحالة إلى ظروف ربيعية، وعملية الارتباع في القمح والشعير تحتاج إلى درجات حرارة منخفضة، وقد وجد أن بعض الأنواع تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة فمثلا نبات الذرة يحتاج لدرجة حرارة تتراوح بين 20-30م° أثناء عملية الارتباع.

العوامل التي تساعد على عملية الارتباع :

1. ***درجة الحرارة وطول فترة التعرض لها*** . في بذور النباتات الشتوية كالقمح مثلا يتحتم أن تكون درجة الحرارة منخفضة لكى ينتهى النبات سريعا من هذا الطور أما في بذور النباتات الصيفية كالقطن والذرة فيلزم لها درجات حرارة مرتفعة ، وعموما وجد لكل محصول درجة حرارة مثلى يستكمل النبات عندها هذا الطور في أسرع فترة، وتطول المدة كلما بعدت درجة الحرارة عن الدرجة المثلى ، فمثلا وجد أنه عندما عرضت حبوب القمح لدرجة تتراوح من (0-2 م°) اكتمل هذا الطور في 40 يوما . بينما تطلب الانتهاء من هذا الطور مدة 120 يوما عندما تعرضت البذور لدرجة حرارة 17 م° .
2. ***نسبة الرطوبة في البذور*** . وجد أنه يجب أن تحتوي البذور ، التي ستعامل ، على رطوبة تتراوح نسبتها بين (30-50)% من وزنها الجاف حتى يتسني لأجنتها أن تبدأ نشاطها وتسرع في تفاعلاتها الحيوية وتعتبر البذور في هذه الحالة نباتات نامية ولو أنها لا تختلف ظاهريا عن البذور الكامنة.
3. ***تركيز الأوكسجين في الجو المحيط بالبذور*** . إن وجود تركيز كاف من الأكسجين حول البذور أثناء المعاملة عامل أساسي لنجاح عملية الارتباع ، كما وجد أن زيادة تركيز الأكسجين يسرع إتمام العملية.
4. ***العضو النباتي المعامل*** . وجد أن معاملة الارتباع للبادرات أو بعض الأجزاء الخضرية للنبات المحتوية على مناطق مرستيمية تكون أقوى في التأثير عن معاملة البذور مثال معاملة الأجزاء الخضرية لنبات الخرشوف.

التطبيقات العملية لعملية الارتباع :

a. يمكن بعملية الارتباع اختصار فترة النمو الخضري وبذلك يسرع النبات في الانتقال لطور الإزهار والإثمار . فمثلاً معاملة حبوب اصناف من القمح أمكن تقصير فترة النمو الخضري للنبات والإسراع بانتقاله لطور التزهير والإثمار قبل أن يحل موسم الجفاف.
b. بالرغم من أن فترة الصيف في المناطق الشمالية لأوروبا وآسيا تكون قصيرة ، إلا أنه قد أمكن زراعة بعض المحاصيل كالقطن والذرة (بعد معاملة بذورها) في بعض المناطق التي كان يستحال زراعتها من قبل نظرا لقصر الفترة التي تكون أثناءها درجة الحرارة مرتفعة لدرجة تلائم حاجة مثل هذه المحاصيل.
c. أن بادرات البذور المعاملة تكون أسرع نموا وأكثر انتظاما في نموها و بالتالي تنضج جميعها في موعد متقارب ، وهذا الأمر له فائدة كبيرة عند الحصاد ، كما دلت التجارب على زيادة محصول النباتات المعاملة .

d. يمكن معاملة بذور المحاصيل لاستخدامها في عملية الترقيع ، وفي هذا ضمان لعدم تأخر نضج نباتات الترقيع عن نباتات الحقل كله.
e. يمكن بواسطة الارتباع لبعض الأجزاء الخضرية لنبات الخرشوف دفعها للإزهار المبكر وبالتالي التبكير في تكوين الرؤوس مما يشجع من تصديرها وقت الندرة وبالتالي زيادة أسعارها .

5. ***التأقت الضوئي Photoperiodism :*** النبات لكي يتم دورة حياته يمر خلال طورين : الطور الأول وهو **الطور الحراري** الذي يحتاج لسرعة استكماله إلى درجة حرارة منخفضة في النباتات الشتوية، بينما الطور الثاني الذي يليه مباشرة والذي ينتهي بالتزهير ثم الإثمار يعرف **بالطور الضوئي** ويتأثر هذا الطور لدرجة كبيرة بطول الفترة الضوئية Photoperiodالتي يتعرض لها النبات وتعرف استجابة النبات للطول النسبي للنهار والليل بالتأقت الضوئي Photoperiodism

تقسم النباتات من حيث استجابتها لطول فترة الإضاءة اليومية إلى الأقسام الأتية:

1. ***نباتات النهار القصير Short - day plants*** ، *ويطلق عليها أيضا* ***نباتات الليل الطويل Long - night plants*** ، وتزهر هذه النباتات عند تعريضها لفترة إضاءة يومية تقل عن فترة حرجة معينة ، فإذا زادت الفترة الضوئية عنها يستمر النبات في النمو الخضري، مثل هذه النباتات بعض أنواع القطن والفول وفول الصويا والشوفان والأرز والأراولا والداليا .
2. ***نباتات النهار الطويل Long - day plants*** *وتعرف أيضا* ***نباتات الليل القصير Short - night plants*** ، تزهر هذه النباتات عند تعريضها لفترة إضاءة يومية تزيد عن فترة حرجة معينة ، إذا قلت الفترة الضوئية عنها تستمر النباتات في النمو الخضري ، ومن أمثلة هذه النباتات الخس والسبانخ والبرسيم وبعض أنواع الحبوب . يلاحظ أن كثيرا من أنواع هذه المجموعة يعطى أزهاره حتى في الإضاءة المستمرة.
3. ***نباتات محايدة ضوئيا Day - neutral plants*** *أو* ***عديمة التأثير بطول فترة الإضاءة اليومية Indeterminate*** تزهر هذه النباتات في حدود كبيرة من طول فترة الإضاءة اليومية، ومن أمثلتها زهرة الشمس والطماطم ، يلاحظ أن التزهير في بعض أنواع الطماطم يتحكم فيه عدد السلاميات التي تكونت وليس طول فترة الإضاءة اليومية.

أهمية فترة الظلام:

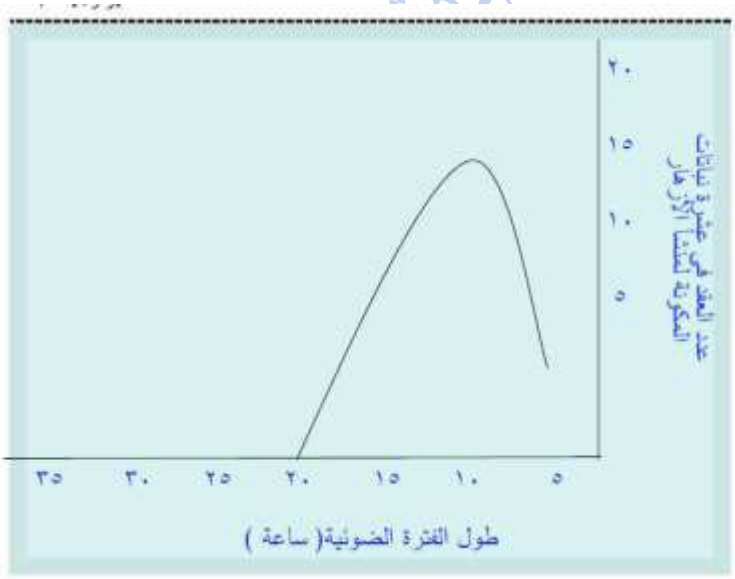
قد أكدت التجارب أن مجموعة نباتات النهار القصير يمكن تسميتها أيضا بنباتات الليل الطويل وذلك لأن تعبر تعبيرا صحيحا عن استجابة النبات للتأقت الضوئي ، حيث إنه وجد أن هذه النباتات لا تزهر إلا إذا تعرضت لفترة مستمرة من الظلام تزيد عن فترة حرجة معينه . ففي حالة نبات الشبيط وجد أنه لا يعطى أزهارة إلا إذا تعرض لفترة مستمرة من الظلام تزيد عن 8.5 ساعة . وقد وجد أن هذا النبات يمكن وقف تزهيره . بالرغم من تعريضه للفترة الضوئية المناسبة . وذلك عندما يتخلل فترة الظلام فترة قصيرة جدا من الضوء قد لا تتجاوز بضع ثوان . أي بقطع استمرار فترة الظلام. واتضح من الناحية الأخرى أنه إذا تخلل فترة الإضاءة فترات قصيرة من الظلام فلن يكون لها غير تأثير ضئيل جدا على الإزهار. من ذلك يتبين أن نبات الشبيط الذي يزهر تحت ظروف فترة ظلام مستمرة لا

تقل عن 8.5 ساعة، يستمر في النمو الخضري إذا قسمت فترة الظلام هذه إلى فترتين وذلك بأن يتخللها فترة قصيرة من الضوء ولما كان اليوم عبارة عن 24 ساعة لذلك فإذا كانت فترة الظلام مدتها 8.5 ساعة إذن لا بد وأن يتبعها فترة إضاءة مدتها 15.5 ساعة ، من ذلك يتضح لماذا يقول مثلا : إن هذا النبات يحتاج إلى فترة إضاءة يومية تقل عن 15.5 ساعة حتى يعطي أزهاره . من ناحية أخرى نلاحظ أن نباتات النهار الطويل ، بعكس نباتات النهار القصير يحدث لها تشجيع عند قطع استمرارية فترة الظلام بفترة من الضوء.

أهمية فترة الإضاءة

بالرغم من أن طول فترة الإضاءة ليس له أثر على بدء التزهير . وذلك عند تثبيت فترة الظلام عند الفترة المناسبة . إلا أنها تؤثر على عدد البراعم الزهرية المتكونة من ذلك يتضح أن نباتات النهار القصير بينما تحدد طول فترة الظلام بدء البراعم الزهرية ، يحدد طول فترة الإضاءة عدد البراعم الزهرية التي تنشأ .

حيث يبدو أن الاستجابة المثالية لفول الصويا صنف بايلوكس Biloxi تحدث عند دورة ضوئية تتكون من 16 ساعة ظلام ، 11 ساعة إضاءة ، وأن زيادة أو نقص فترة الإضاءة عن 11 ساعة تسبب تكوين عدد أصغر من البراعم الزهرية . من ذلك يتبين أن فترة الإضاءة تؤثر على عدد البراعم الزهرية (الشكل التالي).



منحني يبين العلاقة بين طول فترة الاضاءة وتكوين منشأ الازهار في فول الصويا

فترة الدفع الضوئي Photo - induction period

ليس من الضروري تعريض النبات للفترة الضوئية الملائمة خلال مرحلة النمو الخضري جميعها بل يكفي أن يعرض خلال المدة الأولى من نموه فقط (وتختلف هذه المدة في النباتات المختلفة وقد تتراوح في بعضها من 10-20 يوما) لكي يحصل النبات على التأثير الضوئي المطلوب ، وإذا نقل النبات المعامل بعد ذلك إلى ظروف ضوئية عكسية فإنه يستمر في نموه متأثر بالتي عرض خلالها لطول الفترة الضوئية المناسبة وتعرف المدة اللازمة التعريض النبات أثناءها لفترة الإضاءة اليومية المناسبة بفترة الدفع الضوئي Photo-induction period .

ويطلق على دورة الليل والنهار (في كل 24 ساعة) المناسبة لدفع تزهير نبات ما اسم دورة دافعة Inductive cycle ، في حين يطلق اسم دورة غير دافعةNon- inductive cycle على تلك الدورة التي تشتمل على دورة من الليل والنهار غير مناسبة لتزهير نبات ما . وقد وجد أن تعريض بعض النباتات الدورة دافعة واحدة خلال حياتها تكون كافية لدفع هذه النباتات للتزهير ، أي أن فترة الدفع الضوئي المثل هذه النباتات تكون عبارة عن يوم واحد.

موضع وانتقال تأثير التأقت الضوئي في النبات:

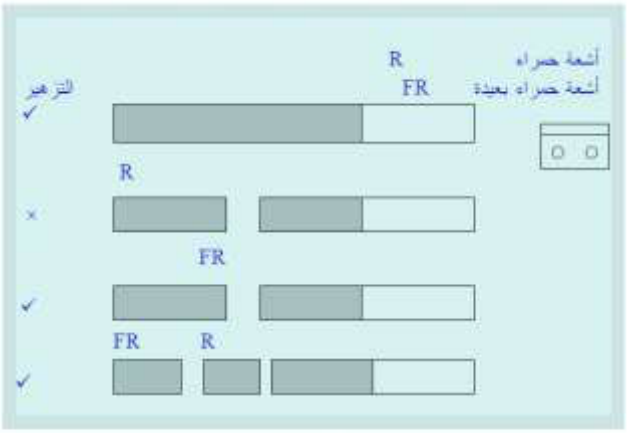
أن بدء التزهيري سببه تغيرات تحدث في الأوراق وينقل تأثيرها إلى الأطراف النامية حيث يؤدي إلى حدوث تغييرات فيها كذلك ، وتؤدي التغييرات الأخيرة إلى تكوين براعم زهرية بدلا من البراعم الخضرية. كما وجد أنه في هذه الحالة يجب أن تصل الأوراق إلى حالة من النضج يمكنها من التعرف على المتغيرات البيئية المحيطة بها خاصة التأقت الضوئي وكذلك المرستيمات في مناطق النمو يجب أن تكون قادرة على تلقي هذا التأثير من الأوراق وهو ما يطلق عليه . Ripeness to respond . وقد يوجد مركب كيماوي له طبيعة هرمونية واقترح العالم Chailakhyan اسم فلوريجين Florigen لهرمون التزهير.

التأقت الضوئي وعلاقته بطول الموجة الضوئية:

تعريض نبات الشبيط أثناء فترة الظلام للإضاءة الفترة قصيرة يؤدي إلى عدم تزهير النبات وبدراسة فعالية الأطوال المختلفة الموجات الضوء في وقف التزهير ، اتضح أن الموجة التي تتراوح بين 620-660 ملليميكرون (أي الحمراء البرتقالية) هي الأكثر فعالية. لذلك اعتبر الضوء الأحمر هو الأشعة الفعالة في تفاعل وقف التزهير في نباتات النهار القصير.

وعند استعمال الأشعة الحمراء البعيدةFar red ، لوحظ أنها عديمة الأثر في قطع استمرار فترة الظلام. إذا تعرض النبات - أثناء فترة الظلام لوميض من الأشعة الحمراء ثم تبعه وميض من الأشعة الحمراء البعيدة فإن هذه الأشعة الأخيرة تزيل أثر الأشعة الأولى وبذلك لا يتأثر إزهار النبات ، أي أن النبات يعطى أزهاره ، أما إذا اتبعت الأشعة الحمراء البعيدة بأشعة حمراء ، فإن هذه المعاملة توقف التزهير. من ذلك يتضح أن الأشعة المستعملة في نهاية التتابع هي التي تحدد إذا كان النبات سوف يزهر أم لا .

Muthanna University, Dr. Arshad Class: https://classroom.google.com/c/MTI1MzIyOTcxNjJa



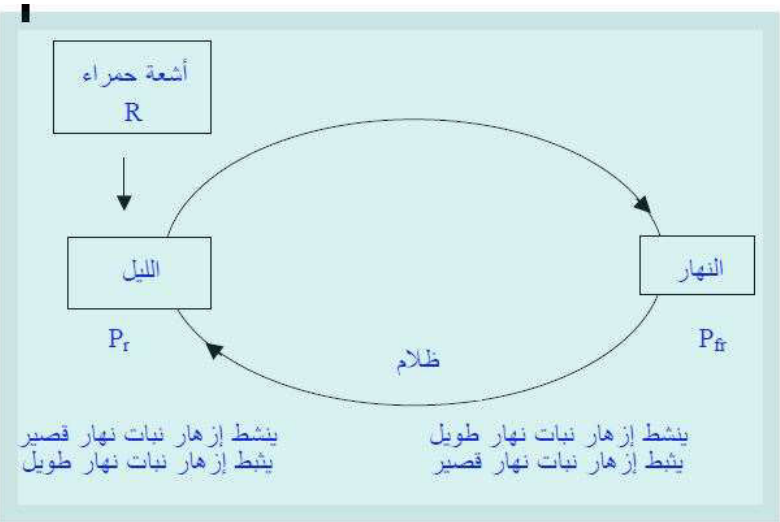
رسم توضيحي يبين أثر الطول النسبي لفترتي الإضاءة والإظلام على تزهير
نباتات النهار القصير وكذا أثر قطع فترة الظلام بأشعة حمراء أو حمراء بعيدة

يسود اتفاق عام بأن هناك صبغة واحدة مسئولة عن هذا التفاعل وأنها توجد في صورتين، الصورة الأولى تمتص الأشعة الحمراء (P_r) ، والصورة الثانية تمتص الأشعة الحمراء البعيدة (P_{fr}) وتتحول أي من الصورتين إلى الأخرى بتفاعل كيميائي ضوئي. ووجد أيضا أن الصورة التي تمتص الأشعة الحمراء البعيدة تتحول ببطء في الظلام إلى الصورة التي تمتص الأشعة الحمراء، ويتأثر هذا التحول بالحرارة ، وقد أمكن عزل الصبغة المذكورة وأطلق عليها اسم فايتوكروم. Phytochrome

لخص العالم Borthwick ومعاونوه سنة 1956 الآثار المتبادلة لكل من الأشعة الحمراء والأشعة الحمراء البعيدة على النبات. فيبدو أنه أثناء النهار (أي في الضوء الأبيض تتراكم صورة الصيغة التي تمتص الأشعة الحمراء البعيدة (شكل التالي).

هذه الصورة تثبط التزهير في نباتات النهار القصير في حين تشجعه في نباتات النهار الطويل. وعندما تحل فترة الظلام تتحول هذه الصورة إلى الى صورة الثانية التي تمتص الأشعة الحمراء، هذه الصورة تشجع التزهير في نباتات النهار القصير في حين توقفه في نباتات النهار الطويل.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى



رسم تخطيطي يبين التحول العكسي لصورتي صبغة الفايتوكروم

فإذا ما حدث قطع لفترة الظلام بواسطة الضوء الأحمر فإن هذه المعاملة تعيد تحول صورة امتصاص الأشعة الحمراء المتراكمة إلى صورة امتصاص الأشعة الحمراء البعيدة ، وبذلك يقف الإزهار في نباتات النهار القصير . وإذا تلا قطع فترة الظلام بالضوء الأحمر فترة قطع أخرى بالأشعة الحمراء البعيدة زال أثر الضوء الأحمر.

الحركة الانتحائية والموضعية

التنظيم الهرموني لعملية إنبات البذور

ما هو دور الهرمونات النباتية الموجودة بالبذرة Phytohormones في تنظيم أو تنشيط كل مرحلة من تلك المراحل؟ (الهرمونات) من خلال بحث على إنبات حيوية الشعير barley أحد نباتات النباتية القسم 4 الفصيلة النجيلية، قدم لنا Van Overbeck عام 1968 الإجابة عن الرابع هذا السؤال على النحو التالي :

1- يخترق الماء الممتص أغلفة الحبة مارة بطبقاتها المختلفة حتى يصل إلى خلايا الجنين فتنشط ويستعيد الجنين نشاطه الحيوي ونموه النشط ويبدأ بناء الحمض النووي المرسال (m RNA) . وينطلق الجبريللين من الجنين إلى خلايا طبقة الأليرون aleuron layer التي تحيط بخلايا الأندر سبرم، ليقوم بتنشيط أو المساعدة على بناء مختلف الإنزيمات المحللة والتي تقوم بتحليل المواد الغذائية المخزنة بخلايا الأندوسبرم إلى مواد أبسط كي يسهل انتقالها اللجنين للاستفادة منها في نشاطه الحيوي، مثل أنزيمات ألفا وبيتا أميليز α and *B* Amylase التي تقوم بتحليل النشا إلى سكريات ذائبة وأنزيمات النيوكليدز nucleases التي تقوم بتحليل الأحماض النووية وأنزيمات البروتينيز Proteinasesالتي تحلل البروتينات إلى أحماض أمينية.

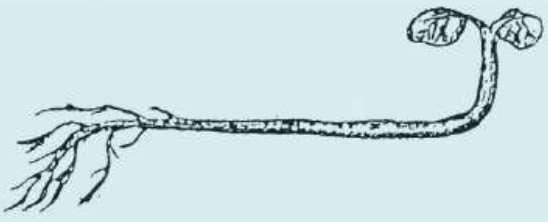
2- كنتيجة لنشاط أنزيمات nucleases يتحرر السيتوكاينين Cytokinins الموجود ضمن جزيء الأحماض النووية (t RNA) كما تعمل إنزيمات Proteinases على تحليل المواد البروتينية وتحرير الأحماض الأمينية المختلفة والتي تحفز

التربتوفان Trytophan الذي تتكون منه الأكسينات (أساسا أندول حمض الخليك IAA) وعليه تقوم السيتوكينينات بتشجيع إنقسام خلايا الجنين بينما تشجع الأكسينات استطالتها وزيادة حجمها . نتيجة لذلك ينمو الجنين ويزداد في الحجم مما يؤدي إلى تمزيق غلاف الحبة ويظهر أول ما يظهر من غلاف الحبة غمد الجذير ثم غمد الريشة .

وكنتيجة لبقاء البادرة في وضع ساكن تحت تأثير الجاذبية الأرضية يهاجر IAA من الجانب العلوى إلى الجانب السفلى لكلا العضوين (الجذير وغمد الريشة) وبالتالي يصبح هناك تركيز مرتفع في الجانب السفلى للبادرة عنه في الجانب العلوي منها وبالتالي يؤدي إلى احراف العضو النباتي (الجذير أو غمد الريشة) عن النمو أفقيا (بسبب التوزيع غير المنتظم للأكسينات في جوانب العضو النباتي بتأثير الجاذبية الأرضية) وحيث إن التركيز المرتفع نسبيا من الأكسينات يسبب استطالة خلايا الجانب السفلى لغمد الريشة (الساق) وبذلك ينمو غمد الريشة متجها لأعلى أي في اتجاه مضاد للجاذبية الأرضية (الساق ذات جاذبية أرضية سالبة Negative geotropism) ولذلك سمي بالانتحاء الأرضي السالب .

أما في حالة الجذير فيحدث العكس حيث إن تركيز الأكسينات المرتفع نسبيا في الجانب السفلى يثبط استطالة خلايا ذلك الجانب ولذلك يكون معدل استطالة خلايا الجانب العلوي أكبر من معدل استطالة خلايا الجانب السفلى وبذلك و نمو الجذير في اتجاه الجاذبية الأرضية (الجذور ذات جاذبية أرضية موجبة Positive geotropisin) ولذلك سمى بالانتحاء الأرضي الموجب. أنظر الشكل التالى.

وباختراق غمد الريشة للتربة متجها لأعلى ليظهر فوق سطحها ثم تمزيق الغمد وظهور الريشة وتكوين الأوراق ليبدأ جهاز البناء الضوئي في التكشف ليقوم بوظيفته ويكون ذلك إيذانا بانتهاء مرحلة البادرة. لتبدأ مرحلة النمو الخضري.



شكل يوضح الانتحاء الأرضى الموجب فى الجذر والسالب فى الساق

الانبات وكمون البذور

إنبات البذورGermination of Seeds

إن نمو النبات يبدأ بمرحلة إنبات البذرة Seed germination والتي ينتج عنها البادرة Seedling stage ، وتنمو المبادرة خضريا لتمر بمرحلة النمو الخضري Vegetative growth وبنهاية الى نمو الخضري، تبدأ مراحل النمو التكاثرى Reproductive growth بمرحلة التزهير Flowering ثم يتبعها مرحلة عقد الثمار وتكوين البذور Fruiting & Seed formationوبتكوين البذور تنتهي دورة حياة النبات.

ما هي البذرة ؟

بأنها البويضة الناضجة بعد إتمام عملية التلقيح والتي تحتوي عند فصلها عن نبات الأم على الجنين وقد وصل إلى مرحلة معينة من الى نمو والتكشف بالإضافة إلى النسيج المخزن (أندوسبرم أو فلقات)، تغلفهما القصرة وقد تكامل بناؤها.

الإنبات

معاودة الجنين الموجود بالبذرة للنمو النشط المصحوب عادة بتمزق القصرة وظهور البادرة الصغيرة، وبمعنى آخر: هو معاودة الجنين للنشاط الأيضي Metabolic activity، ويشمل التميؤ (التشرب بالماء) واستخدام الغذاء المخزن ثم التكشف التدريجي للأجهزة البنائية والتي تجعل البادرة الصغيرة قادرة على التحول إلى نبات ذاتي التغذية. أي أن الإنبات هو سلسلة من العمليات المتتالية تحدث عند تشرب البذرة الساكنة بالماء فيزيد النشاط الأيضي، فإذا ما توافرت الشروط اللازمة للإنبات من وجود ماء ودرجة حرارة وأوكسجين (وفي بعض الأحيان اشتراطات ضوئية خاصة تشمل وجود أو غياب الضوء) فإن جنين البذرة يبدأ في الإنبات بشرط حيوية البذرة، أي قدرة الجنين بداخلها على الإنبات.

وفي بعض الأحوال قد لا تنبت بعض البذور بالرغم من توافر جميع العوامل الخارجية المناسبة لإنباتها، بل تبقى هذه البذور في حالة كمون، ويعزى ذلك إلى عوامل أخرى داخلية تحدد إنبات البذور.

إلا أن هناك بعض أنواع من البذور لا تكون في حالة كمون ولا يكفي لإنباتها أن تتوافر الشروط المناسبة للإنبات من ماء ودرجة حرارة وأوكسجين وضوء.

فبذور بعض النباتات المتطفلة كبذور الهالوك Orobanche والعدار Striga لا يمكنها أن تنبت إلا إذا وجد بجوارها العائل، بل وأكثر من ذلك، فإن بعضها لا ينبت إلا بعد أن تنبت بذور العائل وتبلغ النباتات درجة خاصة من النمو عندها تبدأ بذور هذه النباتات المتطفلة في الإنبات، ذلك لأن العائل أثناء نموه يفرز في التربة بواسطة مجموعه الجذري بعض المواد التي تنبه بذور النباتات المتطفلة فتنبت وتصيب العائل وتتطفل على جذوره كما في حالة الهالوك والعدار.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى

العوامل الخارجية الأساسية لإنبات البذور

1. الماء Water :

يعتبر تشرب البذور للماء شرطا أساسيا لدفعها للإنبات. ذلك أن البذور الجافة (المحتوية على نسبة من الرطوبة تتراوح من 6-12%) لا تستطيع الإنبات إطلاقا بينما تصل نسبة الرطوبة إلى حوالي 90% في البادرات الناتجة من إنبات الى بذور بعد إمدادها بالماء. ذلك أن العمليات الفسيولوجية في الخلايا تتم في وسط مائي ولا يمكن أن يحدث إنبات ما لم تكن البذرة قادرة على امتصاص الماء من البيئة المحيطة بها، وبامتصاص الماء تبدأ سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تؤدي إلى نشاط الجنين وتكوين البادرات.

والماء شرط ضروري لعمل الإنزيمات المسئولة عن تحويل المواد المخزنة في البذور إلى مواد أبسط تركيبا يمكن أنتقالها والاستفادة منها ، أيضا انتشار أو انتقال المواد الغذائية من النسيج المخزن إلى أنسجة الجنين النامي يتم بواسطة الماء.

وتختلف كمية الماء الممتص أثناء الإنبات في الأصناف المختلفة، وعلى العموم يلاحظ أن بذور البقوليات تمتص كمية كبيرة من الماء أثناء الإنبات بينما تمتص الحبوب وكذلك البذور المحتوية على كميات كبيرة من الدهون كمية قليلة نسبيا من الماء.

2. الأكسجين Oxygen :

تسير عملية التنفس في البذور النابتة بمعدل سريع وخصوصا في المراحل الأولى، ذلك لأن البذور تحتاج لكمية كبيرة من الطاقة الناتجة من التنفس لإتمام عملية الإنبات لذلك تحتاج أغلب البذور إلى نسبة خاصة من الأوكسجين لنجاح إنباتها، فإذا انخفضت هذه النسبة أو إنعدم الأوكسجين فإن البذور لاتنبت بالرغم من توافر عوامل الإنبات الأخرى. فوجود الأكسجين الكافي هو شرط لإنبات بذور أغلب المحاصيل، ولا يستثنى من هذه القاعدة إلا نبات الأرز وبعض قليل من النباتات الأخرى، حيث يمكن للأرز أن ينبت تحت ظروف الغمر بالماء حيث تركيزات الأكسجين غاية في الضالة، والسبب في ذلك أن بادراته مزودة بجهاز ذو كفاءة عالية للقيام بإنتاج الطاقة عن طريق عملية التحلل الكلوكوزى Glycolysis والتي لا تحتاج لوجود الأوكسجين.

3. درجة الحرارة Temperature :

لكل نوع من البذور درجة حرارة صغرى Minimum إذا انخفضت عنها فإنها لا تنبت، كما أن لها درجة حرارة قصوى Maximumإذا تعدتها فإن البذور لا تثبت لموت البروتوبلازم فوق هذه الدرجة نتيجة تلف البروتينات Denaturing of proteinsوبين هاتين الدرجتين توجد درجة الحرارة المثلى Optimum والتي عندها يكون الإنبات والنمو على أحسن وأفضل صورة.

وتختلف درجة الحرارة المثلى لكل نوع من البذور اختلافا كبيرا ذلك أن الحرارة المثلى للإنبات سوف يمتد تأثيرها إلى المراحل التالية للنمو والتطور. درجة الحرارة المثلى بأنها أعلى درجة من الحرارة عندها يحدث الإنبات بدون الإضرار بالبادرات مع مرور الوقت. وقد لوحظ أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة تشرب البذور ولكنها لا تؤثر على كمية الماء الممتصة.

هذا، وقد ثبت أن فشل إنبات كثير من البذور يرجع إلى أن لها احتياجات خاصة من درجة الحرارة. فقد وجد أن استعمال تغيرات يومية في درجة الحرارة أدى إلى إنبات كثير من بذور نباتات الزينة والخضر وأكثر التغيرات الحرارية استعمالا هى من (15-30 م°) او من (20-30 م°) و عادة تعرض البذور للدرجة الحرارية المنخفضة لمدة حوالى 16 ساعة ثم تعرض بعد ذلك للدرجة المرتفعة لمدة 8 ساعات كل يوم ولمدة تختلف باختلاف البذور. ويمكن إجراء ذلك باستعمال فرن كهربائي له منظم حراري.

وفي حالات معينة فإنه بالرغم بدء عملية الإنبات بنجاح فإن مراحل النمو والتطور التالية يحدث لها نوع من التثبيط ويتوقف نموها ما لم تتعرض لدرجات الحرارة المنخفضة و هو ما يطلق عليه التقزم الفسيولوجى.

4 -الضوء Light :

يختلف تأثير الضوء على الإنبات اختلافا كبيرا فقد يبدو أن معظم الأصناف لايتأثر إنباتها بالضوء. ولكن دلت التجارب والأبحاث على أن هناك عددا من البذور حساسا للضوء. وتنقسم البذور من حيث تأثير الضوء على إنباتها إلى الأقسام الآتية:

a) **بذور لا تتأثر بالضوءLight indifferent :** هذه البذور يمكنها الإنبات في الضوء أو الظلام على السواء مثل القطن والفول.
b) **بذور حساسة ضوئيا Light sensitive seeds :** ومثل هذه البذور إما يشجع الضوء إنباتها مثل التبغ أو يكون لازما لإنباتها مثل بذور نبات شجرة عيد الميلاد.
c) **بذور حساسة للظلام Dark sensitive seeds :** هذه البذور يؤخر أو يمنع الضوء إنباتها مثل نبات Amaranthusوالحبة السوداء Nigella sativa وبعض أنواع جنس البصل Allium و الفلوكس. وقد تكون كمية الضوء اللازمة لإنبات البذور الحساسة ضوئيا قليلة جدا، فمثلا وجد أن تعريض بذور التبغ للضوء المنتشر لمدة ساعة يكفي لدفعها للإنبات.

وعند بحث تأثير الضوء على الإنبات يجب أن نأخذ في الاعتبار عدة عوامل أخرى منها عمر البذور، درجة الحرارة والتغير فيها أثناء النضج، كمية كل من الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، صلابة غلاف البذرة. وفي حالة البذور الحساسة ضوئيا تزداد نسبة إنباتها في الظلام بارتفاع درجة الحرارة في حدود درجة حرارة الإنبات، بينما البذور الحساسة للظلام يشجع انخفاض درجة الحرارة إنباتها في الضوء.

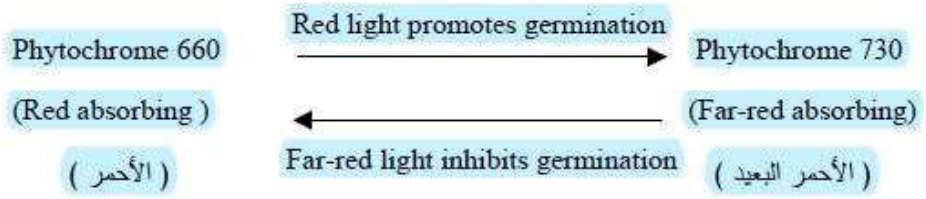
وفي بعض الحالات يمكن استبدال تأثير الضوء في حالة البذور التي تتأثر به معاملاتها ما بمعاملات خاصة . فمثلا بعض البذور الحساسة ضوئيا يمكنها الإنبات في الظلام إذا عوملت بأنواع خاصة من الإنزيمات المحللة أو الأحماض الضعيفة أو المحاليل الغذائية وخاصة تلك التي تحتوي على الأزوت.

وقد عزي الفرق بين مجموعة البذور الحساسة ضوئيا والمجموعة الحساسة للظلام (أي التي يثبط الضوء إنباتها أو يمنعه) إلى اختلافهما في الطريقة التي يتفاعل أو يستجيب بها **نظام الفايتوكروم** داخل كل مجموعة مع الضوء الساقط عليه والذي يتضمن إما الضوء الأحمر (R) أو الأحمر البعيد.(FR)

Muthanna University, Dr. Arshad Class: https://classroom.google.com/c/MTI1MzIyOTcxNjJa

الفايتوكروم وحالاته وتاثيره الفسيولوجية

الفايتوكروم هي صبغة تنتشر انتشارا واسعا في مختلف النباتات وتشارك في الميكانيكيات الخاصة بالحساسية الضوئية في البذور. حينما تتعرض بذور المنتفخة بالماء إلى الضوء الأحمر (R) فإن صبغة الفايتوكروم داخلها تتحول من صورة فايتوكروم 660 (الخاصة بالضوء الأحمر المثبط للإنبات) إلى فايتوكروم 730 (الخاصة بالضوء الأحمر البعيد المنشط للإنبات) كما يلى :



بينما يؤدي تعريض البذور للضوء الأحمر البعيد إلى تحول صبغة الفايتوكروم إلى الصورة الأخرى (الأحمر) والتي تثبط الإنبات. أي أن تنشيط الإنبات أو تثبيطه بالضوء الأحمر أو الأحمر البعيد يمكن إعكاسه. فقد وجد في بذور أحد أنواع الخس Grand Rapids Lettuce أن تنشيط إنبات البذور بالضوء الأحمر يمكن إعكاس به إذا اتبع مباشرة بالضوء الأحمر البعيد، كما أنه لو عوملت البذور مرة أخرى بالضوء الأحمر فإن ذلك يؤدي إلى زيادة الإنبات، وبمعنى أخر إن هذا النظام يمكن إعكاسه عدة مرات بين تنشيط أو تثبيط للإنبات على أساس أن المعاملة الأخيرة هي التي تحدد نوع الاستجابة.

ومن ناحية أخرى فقد أظهرت نتائج الأبحاث أن السيتوكاينين يشترك في ميكانيكية استجابات الفايتوكروم في البذور للضوء الساقط عليه وله القدرة على التغلب على التأثير المثبط للضوء الأحمر البعيد على إنبات بذور الخس. كما أن حامض الابسيسك له تأثير مثبط على الإنبات سواء في الضوء أو في الظلام أما الجبريللينات فلم يثبت أن لها تأثيرا إيجابيا للتغلب على التأثير المثبط للظلام لكن المعاملة بها تؤدي إلى الإسراع بالإنبات في الضوء. هذا، وقد اقترحت عدة تفسيرات للدور الذي يقوم به الضوء في الإنبات منها أنه يعمل كمنبه Stimulant للإنبات أي أنه يدفع تفاعلا ما أو سلسلة من التفاعلات داخل البذور. أو أن الضوء يعمل كعامل مساعد للإنزيمات في بعض البذور الحساسة ضوئيا. هذه الإنزيمات التي تقوم بتحليل المواد المخزنة إلى مواد أبسط منها تركيبا يستفيد منها الجنين.

الكمون Dormancy :

تفشل أنواع كثيرة من البذور - وإن بدت كاملة النضج - في الإنبات حتى ولو هيئت لها كل الظروف الخارجية المساعدة على الإنبات. وفشل هذه البذور هنا في الإنبات وتعطل مقدرة أجنتها على النمو رغم توفر جميع الظروف البيئية المناسبة، يكون راجعا لعوامل داخل البذور نفسها. ويطلق عادة على ظاهرة تعطل إنبات البذور أو نمو الأعضاء النباتية الأخرى - نتيجة أسباب داخلية اسم **الكمون** Dormancy ، كما يطلق عليها أحيانا **فترة الراحة** Rest period ، ويستخدم مصطلح الكمون Dormancy للدلالة على تعطل إنبات البذور أو نمو الأعضاء النباتية بسبب عوامل داخلية. أما **السكون** Quiescence فيستخدم للدلالة على فشل عضو نباتي في النمو نتيجة لعوامل بيئية.

ويعرف في البذور نوعان من الكمون هما :

(أ) الكمون الأولي (Primary) Dormancy : يكون موجودا فعلا في البذور عند حصادها وبالتالي تفشل هذه البذور في الإنبات عقب حصادها مباشرة وتحتاج لفترة من الزمن قبل أن ينجح إنباتها. ويحدث الكمون بسبب عامل أو أكثر من العوامل الأتية :

1. **عدم نفاذية الماء خلال غلاف البذرة** Impermeability of seed coats to water : بذورا كثيرة من العائلة البقولية والعائلة الخبازية تكون أغلفتها مقاومة لنفاذ الماء خلالها إلى الداخل حيث يوجد الجنين ولذلك فلا يمكن الإنبات إلا إذا أمكن للماء النفاذ خلال أغلفتها والوصول إلى الجنين.
2. **عدم نفاذية الأوكسجين خلال غلاف البذرة** Impermeability of seed coats to oxygen: قد يتسبب كمون البذور لتعذر نفاذية الأكسجين خلال أغلفة البذور كما هو الحال في بذور كثير من نباتات العائلة المركبة وبعض النباتات النجيلية.
3. **المقاومة الميكانيكية لغلاف البذرة** Mechanical resistance of seed coats : يغطى بعض بذور الحشائش كالخردل و عرف الديك وكيس الراعي غلاف صلب بحيث إن القوة الناتجة من انتفاخ البذور في أولى خطوات الإنبات لا تكون كافية لتمزيق هذا الغلاف. ويجب التفرقة بين هذا النوع من الكمون والنوع المسبب عن عدم نفاذية الماء أو الأكسجين حيث إن غلاف البذرة في الحالة الراهنة يكون منفذا لكل من الماء والأكسجين، ويلاحظ أنه إذا ما نزع غلاف مثل هذه البذور نجد أن الجنين ينمو ولا يظهر في هذه الحالة أي كمون.
4. **نقص تكوين الجنين** Immaturity of the embryo : يكون الجنين في بعض أنواع البذور غير تام التكوين عند الحصاد ويرجع ذلك إلى أن سرعة نمو الجنين أقل من سرعة نمو الأنسجة المحيطة به. ولذلك فمثل هذه البذور تحتاج إلى فترة من الزمن ليتم خلالها نمو واستكمال الجنين. ولقد وجد أن الظروف المناسبة لاستكمال نمو الجنين هي نفسها المناسبة للإنبات.
5. **الأجنة الكامنة** Dormant embryos : لا يمكن لأجنة البذور التي تظهر هذا النوع من الكمون أن تنبت حتى ولو توافرت لها جميع الظروف المناسبة ونزعت أغلفتها، ولقد وجد أنه في مثل هذه البذور يجب أن تمر فترة معينة يحدث خلالها تغيرات معينة في أجنة هذه البذور قبل أن ينجح إنبأتها وتسمى هذه الفترة ما بعد النضج - After ripening Period .
6. **مثبطات الإنبات** Germination Inhibitors : يعزى كمون بعض البذور أحيانا إلى وجود مركبات بداخلها تمنع الإنبات، تعرف بالمثبطات Inhibitors ، وهذه الأخيرة توجد إما في الجنين كما في زهرة ال شمس، أو في الأندوسيرم كما في بذور الايريس Iris ، أو في القصرة كما في بذور الكرنب والخس أو في الأغلفة خارج البذرة كما في النبات الصحراوي Parthenium argentatim وعادة لا تنبت مثل هذه البذور إلا إذا تخلصت من هذه المواد المثبطة بطريقة ما. وجود هذه المواد المثبطة في البذور هو ضمان عدم إنباتها إلا عند توافر الظروف الملائمة للإنبات. فمثلا في النبات الصحراوي تسقط البذور محاطة بالأغلفة فوق سطح الأرض في انتظار سقوط الأمطار التي يلزم أن تكون غزيرة لتكفي لإزالة كمية كبيرة من المواد المثبطة القابلة الا ذوبان في الماء، وبذلك تسمح للبذور بالإنبات، وفي نفس الوقت تضمن الاحتياجات المائية للنباتات الناتجة منها. هذا وقد ثبت أيضا وجود المواد المثبطة للإنبات في كثير من الثمار اللحمية فمثلا وجدت في عصير الطماطم والحمضيات وفي لبثمار التفاح والكمثرى هذه المثبطات التي يبدو أن تكون وظيفتها في هذه الحالة هى منع إنبات البذور بداخل الثمار لضمان تمام تكوين هذه البذور قبل أن تبدأ في الإنبات.

طرق كسر كمون البذور Methods of breaking seed dormancy :

1. *الخدش Scarification* : عندما يكون الكمون ناتجا عن سبب متعلق بأغلفة البذرة (مثل عدم نفاذيتها للماء أو للاكسجين أو مقاومتها الميكانيكية) فإنه يمكن كسره بالخدش ويقصد به أية معاملة سواء كانت آلية أو خلافها تؤدي إلى تمزق أو إضعاف أغلفة البذرة بدرجة تسمح بالإنبات.
2. *الأحماض المعدنية أو المواد الكيماوية* : استعملت الأحماض المعدنية مثل حامض الكبريتيك بتركيز مناسب يتوقف على نوع الغلاف البذري، وكذلك مذيبات الدهون كالايثير والأسيتون والزيلين، في كسر كمون البذور الناتج عن قوة صلابة الأغلفة البذرية أو عدم نفاذيتها للماء أو الأكسجين.
3. *درجات الحرارة المنخفضة Low temperature*: تستعمل هذه الطريقة لكسر كمون الأجنة Dormant embryosواختزال فترة ما بعد النضج After - ripening period فقد لوحظ أن درجات الحرارة المنخفضة (5 -10م°،) مع الرطوبة تختزل فترة ما بعد النضج في انواع كثيرة من البذور.
4. *درجات الحرارة المتعاقبة Alternating temperatures*: تعريض بعض البذور بالتعاقب لدرجات حرارة منخفضة ودرجات عالية نسبيا يؤدي إلى زيادة نسبة إنباتها على أن لا يزيد الفرق بين الحدين الحراريين بأكثر من 10 – 20م°.
5. *زيادة الضغط Increasing pressure* : ان إنبات بذور البرسيم الحلو والبرسيم الحجازى بعد تعريضهما الضغط هيدروليكى قدره 2000 ضغط جوى على درجة 18م° ولفترات تتراوح بين 5-20 دقيقة.

(ب) الكمون الثانوي Secondary Dormancy : هناك أنواع من البذور يمكنها الإنبات عقب حصادها مباشرة ولكنها تفقد قدرتها على الإنبات إذا ما حفظت لفترة معينة بعد الحصاد، ويرجع ذلك لكمونها الذي يعرف في هذه الحالة بالكمون الثانوي، ويحدث الكمون الثانوى إذا ما صار أحد العوامل الأساسية للإنبات غير ملائم، فقد وجد مثلا أن حفظ البذور في جو يحتوي على نسبة مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون يدفعها إلى الكمون وتظل كذلك حتى بعد وضعها في الظروف المناسبة. كذلك قد تمر البذور الحساسة للضوء بطور كمون إذا ما حفظت في الظلام كما أن البذور التي تثبت في الظلام قد تكمن لمدة إذا ما عرضت للضوء.

كذلك يحدث الكمون الثانوي في بعض البذور نتيجة لتعرضها لدرجات منخفضة وفي البعض الآخر لدرجات مرتفعة من الحرارة. وغالبا يعزي الكمون الثانوي إلى التغير في طبيعة غلاف البذرة حيث قد وجد في بعض الأحيان أن الجنين كان قادرا على النمو بعد نزع الغلاف، كذلك قد يحدث الكمون في بعض البذور نتيجة التغيرات فسيولوجية تحدث في الجنين نفسه.

كلية التربية للعلوم الصرفة / قسم علوم الحياة / جامعة المثنى