فسلجة نبات

المصادر- :

١. مقدمة(فسلجة النبات)، 1985 ، تأليف يعقوب ليفيت ، ترجمة د .عاصم محمود حسين.
٢. الفسلجة النباتية ، 1987 ، الجزء الأول ، تأليف د .عبد الهادي جواد الريّس و د .عبد العظيم كاظم.
٣. فسلجة النبات ، 1987 ، الجزء الثاني ، تأليف د .عبد العظيم كاظم و د .عبد الهادي جواد الريّس.
٤. البناء الضوئي ، 1983 ، تأليف د .عبد المطلب سيد محمد.
٥. فسلجة النباتات الزهرية ، 1984 ، تأليف ه . أ . ستريت و ه . أوبي ، ترجمة هيبت فائم المدرس و فائزة عزيز محمود العلي.
٦. فسلجة النبات العملي ، 1980 ، تأليف د .حسين علي السعدي و السيد عبد الله حمد الموسوي

تعريف علم الفسلجه :- هو العلم الذي يبحث علم فسلجة النبات عن كيفية تأدية النباتات لوظائفها الحيوية المختلفة المتعلقة بنمو وتطور النباتات، ويشمل فهم عمليات النمو Growth والتكاثر.Reproduction والأيض (التمثيل الضوئي Photosynthesis أو التنفس Respiration..... الخ).كما يتعلق علم الفسلجة النباتية بباقي العلوم في تفسير تأثيرات البيئة والوراثة على وظائف وتركيب الخلايا والأنسجة والأعضاء النباتية.

يهتم علم الفسلجة بما يأتي :-

١. يهتم بدراسة الوظائف والفعاليات التي تحدث في النبات .
٢. العمليات الحيوية التي تحدث في النبات .
٣. كيف يعمل النبات ؟
٤. يدرس طريقة حياة النبات والتي تتضمن مختلف المظاهر من حيث (العمليات الايضية Metabolism ، العلاقات المائية Water relation ، التغذية المعدنية Mineral nutrition ، التطور Development ، الحركة Movement ، التنظيم Organization ، النمو Growth ، عمليات النقل Transport process)
٥. يهتم بالعمليات الفسيولوجية والكيموحيوية Biochemical Processes وهذه العمليات تحصل في تراكيب معينة :-
   - التبادل الغازي :- يحصل في الثغور Stomata الموجودة في خلايا بشرة الورقة .
   - توصيل الماء :- يتم عن طريق نسيج اللحاء .
   - التمثيل الضوئي :- يحصل في البلاستيدات الخضراء (Chloroplast) .
   - انتقال الايونات :- يحصل عبر الأغشية البلازمية Plasma membrane .
   - التنفس :- يحصل في الـ Mitochondria .

ماذا يعني علم الفسلجة ؟ What is Plant Physiology ؟

علم يختص بدراسة وظائف وفعاليات التي تحدث داخل خلايا النبات ، وهو يدرس طريقة حياة النبات والتي تتضمن مختلف الظواهر التي يعين النبات على العيش والبقاء والتكاثر ..... والتي تضمن :- عمليات الايض (Metabolism) ، العلاقات المائية (Water relation) ، التغذية المعدنية (Mineral nutrition) ، النمو والتطور (Development) ، الحركة (Movement) ، الاستجابة للمحيط (Irritability) ، التنظيم (Organization)، عمليات النمو (Growth) ، النقل (Transport).

لماذا ندرس علم فسلجة النبات ؟

- إن الغذاء الذي نتناوله هو من صنع النبات بطريقة مباشرة أو غير مباشرة وهو عبارة عن مسار دخول الطاقة إلى النظام البيئي وتحويلها إلى مادة غذائية .
- الأهمية الاقتصادية لمنتجات النبات كالألياف والمواد الطبية والأخشاب
- وبتقدم علم فسيولوجيا المحاصيل سادت دراسة فسيولوجيا المبيدات ،ولقد تركزت على مبيدات الحشائش ،ثم امتدت الى دراسة منظمات النمو ،ثم دراسة الزيادة فى المادة الجافة المتكونة والتى هى دليل على كفاءة عملية التمثيل الضوئى أو صافى عملية التمثيل الضوئى . ...

ومن العلوم الآخرى التى ساهمت فى تقدم علم فسيولوجيا المحاصيل (علوم الكيمياء الحيوية ،والكيمياء العضوية والكيمياء التحليلية وعلوم الوراثة وتربية النبات غيرها من العلوم التى ادى التقدم فيها الى تفسير كثير من الظواهر الفسيولوجية والتى كان لها اثر كبير فى تقدم علم فسيولوجيا المحاصيل) .

نبذة تاريخية

لقد حاول الأنسان منذ القدم معرفة تركيب أجزاء النبات والوظائف التي تقوم بها تلك الأجزاء.ففي مجال النبات يعد روبرت هوك (١٦٦٥) اول من وصف الخلية بأنها "وحدة بناء الكائن الحي" ثم توالت اكتشافات العلماء الآخرين لأجزاء الخلية الأخرى كالنواة والكلوروبلاستوالمايتوكوندريا واجسام كولجي...الخ.

في مجال أمتصاص وأنتقال المواد الأولية في الخشب Edward Strasburger ١٨٩١، Dixon and Joly ١٨٩٤، Askenasy ١٨٩٥.

في مجال سريان المواد الغذائية المصنعة Hartig ١٨٣٧ حيث انه اول من وصف الأنسجة اللحائية تشريحياً وفسيولوجياً وعلاقة هذه الأنسجة بسريان العصارة اللحائية حيث أجرى تجربة التحليق ولاحظ عرقلة نزول العصارة إلى أسفل الحلقة. شخّص Wilhelm ١٨٨٠ الخلايا المرافقة ودوره الفسيولوجي في النقل اللحائي.

ويُعد Devries ١٨٨٥ أول من وضع فرضية السريان البروتوبلازمي (streaming) وأيدها باحثون منهم Curtis وعارضها آخرون. ثم أظهر Munch ١٩٣٠ نظرية النقل الكتلي Mass Flow في النقل اللحائي وأيدها الكثير من العلماء لاسيما Crafts و Zimmermanكذلك وضع Thaine ١٩٦٧ فرضية الTranscellular strands المتعلقة بالنقل اللحائي وغير ذلك من الفرضيات الأخرى.

في مجال تغذية النبات المعدنية فيُعد الأغريقي أرسطو Aristole أول من صّرح بأن النباتات تحصل على غذاءها من التربة إلّا إن هذه الفكرة قد أُبطلت بالتجربة التي أجراها Van Helmont (١٥٧٥-١٦٤٤) حينما زرع نبات الصفصاف Willow plants (وزن النبات في البداية ٥.٢كغم)في إناء حاوي على تربة جافة موزونة (١٠٠كغم) وسقى النبات بالماء كلما إحتاج اليه .وبعد مرور خمس سنوات لاحظ إن وزن النبات أصبح ٨٤كغم ولكن عند تجفيف التربة وجدها ناقصة قليلا جدا لهذا إستنتج بصورة خاطئة للمعلومات الحديثة بأن النبات ينمو في الماء فقط.إلاّ أن Wood Ward ١٦٩٩ لاحظ بأن نمو نبات البطاطا في الماء الطيني كان أكثر من نمو نبات البطاطا في ماء المطر وبذلك فقد خالف رأي Van HELMONT.

ذكر De sassure ١٨٠٤ بأن النبات يعتمد جزئياً على معادن التربة في التغذية. كذلك درس Boussingault ١٨٣٤ كيفية إستعمال المعادن في تغذية النبات من الناحية الكمية.

Liebig ١٨٤٠ طوّر وسطاً غذائياً حاوياً على الكبريتات والفوسفات فقط لتغذية النبات.إلاّ أن النباتات المزروعة في ذلك الوسط لم تنمو بصورة جيدة لإفتقارها للمركبات النيتروجينية. ثم توصل بعد ذلك Sachs، Julius، Knop ١٨٦٥ إلى طريقة زراعة النباتات في المحاليل الغذائية لمعرفة دور كل عنصر مغذي و كميته غير أن المركبات المستعملة كانت غير نقية إضافة إلى عدم وجود الأجهزة الجيدة لذلك كانت نتائجهم غير دقيقة. ثم طوّر Arnon و Haogland ١٩٥٠ وغيرهما محاليل مغذية لنمو النباتات ودراسة تأثير نقص إحدى العناصر الغذائية. كما درس Kramer و Epstein ١٩٧٢ وغيرهم ميكانيكية إمتصاص المغذيات.

وفي مجال العمليات الحيوية Metabolism الجارية في النبات فقد دُرست هي الأخرى. ففي مجال الأنزيمات والتخمر والتنفس فقد ذكر Buchner ١٨٩٧ بأنه المستخلص الخالي من الخلايا Cell Free Extract الناتج من سحق وعصر الخلايا (كخلايا الخميرة). Sumner ١٨٧٦ أول من عزل أنزيم اليورييزUrease وأثبت بأن الأنزيم يتكون من البروتين.

التنفس اللاّهوائي فقد إشتغل عليه عدة علماء Embden، Myerhof،Parnas. بيد أن دور الأوكسجين في التنفس الهوائي ظل مبهماً حتى مجيء العالم Krebs ١٩٤٧ حيث إكتشف التفاعلات المسماة بإسمه.

التركيب الضوئي فيُعد Stephen Hales ١٧٢٧ أول من أقترح بأن الضوء قد يلعب دوراً في تغذية ونمو النبات ثم صرّح بعد ذلك بريستليPriestly (١٧٣٣-١٨٠٤) بأن النباتات الخضراء تحرر غازاً يساعد على إدامة الحياة (اي الأوكسجين) .ثم وضع العالم De saussure ١٨٠٤ أول معادلة عامة للتركيب الضوئي .

عام ١٨٨٨ صرّح Engelmann بأن الكلوروفيل هي الصبغة الرئيسية للتركيب الضوئي وبعد ذلك ألمح Blackman ١٩٠٥ إلى وجود تفاعلات الضوء و الظلام كما أوضح Van Niel ١٩٣٠ دور الماء كقوة مختزلة إلاّ أن Hill ١٩٣٧ وEmerson ١٩٦٠ قد أوضحا الكثير من تفاعلات الضوء كما درس Calvin ومساعدوه ١٩٥٦ تفاعلات الظلام في التركيب الضوئي .

الميكانيكية الوراثية وسيطرتها على تكوين البروتينات فيُعدWatson و Crick ١٩٥٣ أول من وصفاتصميماً دقيقاً للـDNA ودوره في عمليات الفرضية المركزية Central Dogma المتعلقة بتكوين الRNA و البروتينات (الأنزيمات).

الهورمونات النباتية : فقد أشار شارلس دارون Darwin ١٨٩٠ إلى حركة النباتات إستجابة إلى محفزات الضوء والجاذبية . وإكتشف باحثون آخرون دور الأثيلين وحامض الأبسيسيكABA ومثبطات النمو. وفي مجال تأثيرات البيئة على نمو وتطور النبات ففي عام ١٩٢٠وضع Garner و Allard فرضية التآقُت وتأثير التآقُت الضوئي photoperiodesmعلى تكوين الدرنات والأبصال . وأوضح Borthwick و Handrick دور صبغة الفايتوكروم في تسلّم الضوء في التآقُت الضوئي.

مجال تأثير الحرارة المنخفضة في عملية الإرتباعVernilization وتداخلها مع التآقت الضوئي في التأثير على إزهار بعض النباتات فقد درسها الباحث Purvis والباحث Caglachjan. عام ١٩٥٦ درس Levitt تأثير البيئة القاسية على بعض الظواهر من الناحية الفسيولوجية.

الخلية

هي وحدة البناء والوظيفة لكل الكائنات الحية أو هي اصغر تركيب منظم موجود في الطبيعة قابل للنمو والتكاثر وهي الوحدة الأساسية لبناء الجسم النباتي .

- أول من لاحظ الخلية النباتية هو العالم الانكليزي روبرت هوك عام ١٦٦٥ عند فحصه قطعة من الفلين تتكون من وحدات صغيرة أطلق عليها cell وهي مشتقة من كلمة يونانية cella وتعني غرف الخزن store room أو chamber .
- في عام ١٦٧٦ لاحظ صانع العدسات الهولندي ليفنهوك جسيمات خضراء اللون داخل الخلية النباتية عرفت بعدئذ بالبلاستيدات الخضراء (Chloroplast) . بعدئذ اكتشف العالم الانكليزي روبرت براون النواة في خلايا بشرة نبات الأوركيد .
- العالم الألماني شيلايدن اظهر وجود النوية داخل النواة . وقد أطلق Purkinge عام ١٨٣٩ اصطلاح البروتوبلازم على المادة الحية للخلية .
- اكتشف العالم الايطالي Golge جهاز كولجي Golgi Apparatus وتم اكتشاف أجزاء الخلية الأخرى

تختلف الخلايا في أشكالها ووظائفها وإحجامها

- فبعضها يبلغ ٣٠ – ١٠٠ مايكرون في الطول وبعضها يبلغ عدة أمتار (كما في خلايا الألياف الطويلة) .
- البكتريا فيها خلية واحدة والكائنات الأخرى مثل الإنسان تصل الخلايا فيه إلى ١٠٠ مليار خلية وهذه الخلية يمكن إن تأخذ مغذيات Nutrients وتحولها إلى طاقة

تصنف الخلايا إلى :-

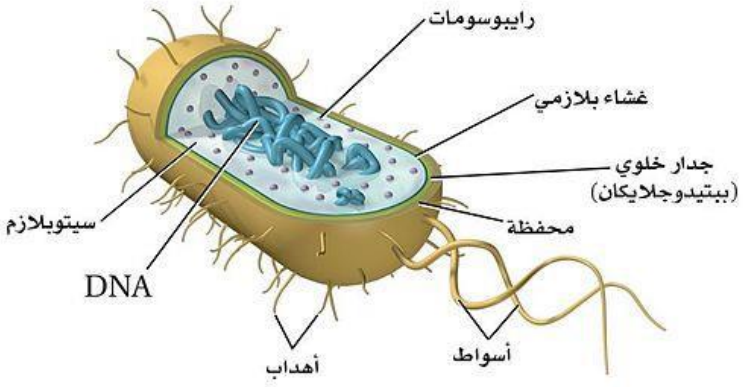
١- خلايا حقيقية النواة Eukaryotic cells .

٢- الخلايا بدائية النواة Prokaryotic cells.

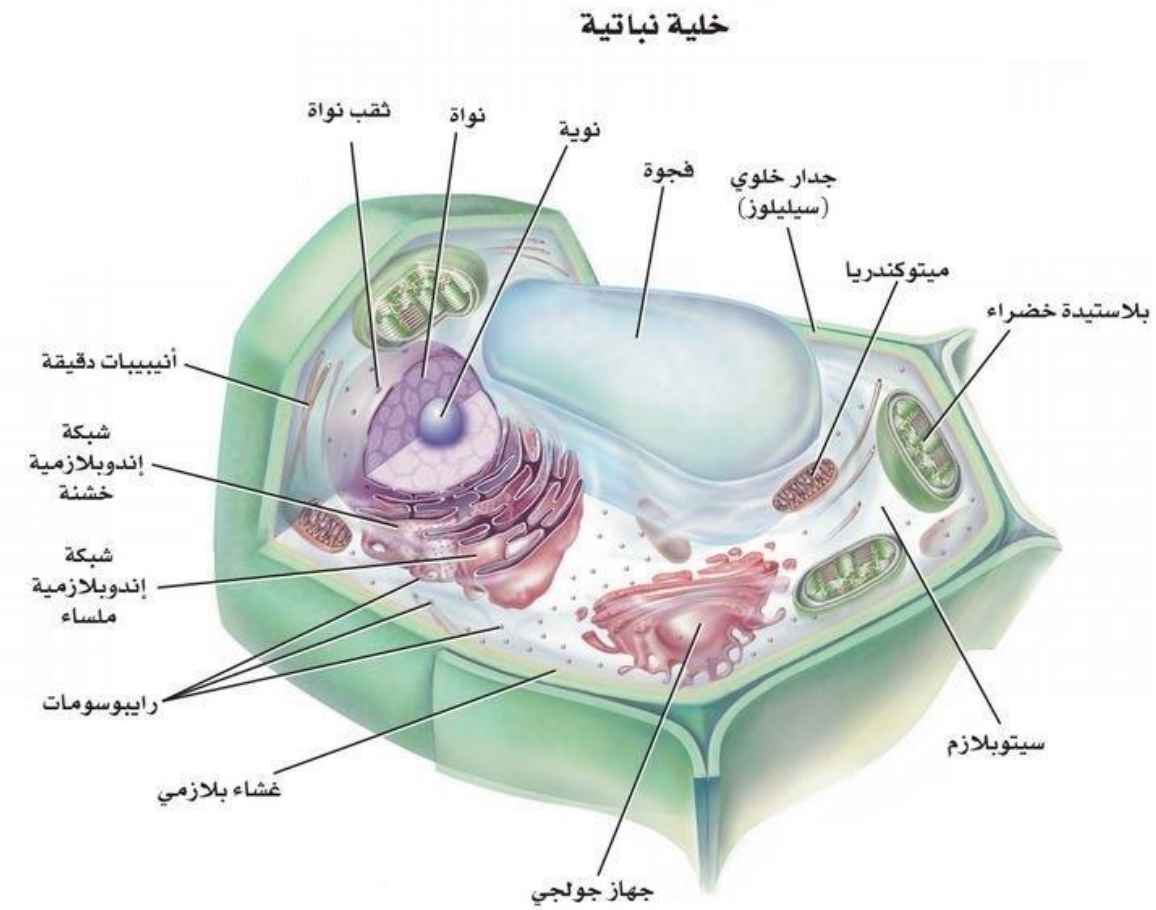
تمتاز باحتوائها على أجزاء محاطة بأغشية تقوم بوظائف وفي طليعتها النواة Nucleus حيث إن وجود DNAهو الذي أعطاها هذه الصفة Eukaryotic على الرغم من إن Eukaryotic تستعمل نفس الشفرة الوراثية Genetic code والعمليات الايضية للـ Prokaryotic .

إن الجزء الذي يحيط الخلايا حقيقية النواة يسمى غشاء البلازما Plasma Membrane هذا الغشاء ينفع في أبعاد الخلية عن المحيط الخارجي لكي لا تتأثر وهو على الأغلب يتكون من طبقة مزدوجة من البروتينات واللبيدات وجزيئات تشبه الدهن ويظهر الغشاء مبرقش بمختلف الجزيئات التي تعمل كقنوات للحركة أو كمضخة لحركة الجزيئات إلى داخل وخارج الخلية .

خلية بدائية النواة



تتنوع النباتات في الحجم والشكل ويتراوح مدى حجم النبات من اقل من ١ سم إلى أكثر من ١٠٠ متر وكذلك شكل النبات يختلف ولكن جميع النباتات متشابهه من ناحية إنها تقوم بنفس الوظائف وكذلك من ناحية تفاصيل الخلايا . إن جميع النباتات تقوم بتجميع أشعة الشمس إذا يتم اخذ الطاقة الشمسية وذلك من خلال تحويلها إلى طاقة كيميائية يستفاد منها النبات في عملية التمثيل الضوئي .



<u>تختلف الخلية النباتية عن الخلية الحيوانية بما يأتي :-</u>

١. تحوي الخلية النباتية على جدار خلوي بعكس الخلية الحيوانية على الرغم من إن بعض الخلايا النباتية لا تحتوي على جدار سليلوزي مثل الكميتات .
٢. تملك الخلية النباتية الكلوروبلاست وهي تقوم بعملية البناء الضوئي .
٣. تملك الخلية النباتية فجوة واحدة أو أكثر تكون كبيرة بينما الخلية الحيوانية تمتلك فجوات صغيرة إن لم تكن معدومة .
٤. تمتاز الخلية النباتية بقدرتها على التجدد وتكوين نبات جديد إذا ما توفرت الظروف الملائمة من المغذيات والهرمونات النباتية .
٥. الخلية النباتية بصورة عامة تمتلك على الأكثر الشكل المستطيل بسبب الجدار الخلوي يكون أكثر صلابة بينما الخلية الحيوانية تمتلك شكل غير منتظم بسبب عدم احتوائها على جدار خلوي

مكونات الخلية Cell Component :-

الخلية النباتية الاولية تتركب من جدار خلوى يحيط بمساحة داخلية تحتوى على البروتوبلازم والذى يحتوى على السيتوبلازم والنواة وهما يكونان ما يعرف بالبروتوبلاست .

يحيط السيتوبلازم غشاء يعرف بالغشاء البلازمى كما تحاط النواة بغشاء معقد يعرف بالغشاء النووى ويوجد داخل السيتوبلازم العضيات السيتوبلازمية والتى تتضمن الميتوكوندريا والبلاستيدات والريبوزومات والانبيبات الدقيقة والجسيمات الدقيقة .

وعلى الرغم من وجود مواد ذائبة كثيرة فى البروتوبلازم الا ان البروتوبلازم ذو طبيعة غروية ويتميز بخصائص المواد الغروية وترجع الطبيعة الغروية للبروتوبلازم الى وجود البروتينات .والبروتينات المنتثرة فى البروتوبلازم تساعد على وجود الظروف الضرورية والملائمة للادمصاص والحركة الكيميائية ومن ثم التفاعلات اللازمة للحياة ،وعلى ذلك يعتبر النظام الغروى اساسى لمظاهر المادة الحية .

كما توجد فى السيتوبلازم الفجوات وهى عبارة عن مساحة محاطة بغشاء مملوءة بسائل مائى يعرف بالعصير الخلوى وتوجد الفجوات مبعثرة فى السيتوبلازم فى الخلايا النباتية حديثة السن بينما فى الخلايا النباتية كبيرة الحجم البالغة فأن الفجوة تتميز بكبر حجمها ووجودها فى مركز الخلية. ويحتوى العصير الخلوى على مواد كيماوية ذائبة والتى تتضمن السكريات والأملاح والصبغات ونفايات نواتج عملية التمثيل الغذائي (الايض).

الخلية النباتية وصفها ، تركيبها ، انقسامها ، وظيفتها

مكونات الخلية Cell Component :- يمكن تقسيم مكونات الخلية إلى ما يأتي :-

اولاً - جدار الخلية Cell Wall (مكونات الخلية الغير حية) وهو الغلاف الصلب الذي يحيط بروتوبلاست الخلية النباتية يتراوح سمكه بين (١ – ٣ مايكرون) ويعتقد انه غير حي ولكن وجود البروتينات في جدار الخلية يمكن إن تغير هذه الفكرة بعد اكتشاف الحامضين الأمنيين (Hydroxy prolin – prolin) . وظيفة جدار الخلية هي :-

- مساندة الخلية النباتية ميكانيكيا بعطائها الصلابة والمتانة (إسناد النمو الطولي للخلية)
- واسطة لتبادل الايونات بين الخلية ومحيطها الخارجي أي يقوم بدور القناة للتبادل الأيوني .
- حماية محتويات الخلية من الظروف الخارجية دون إن يمنع عملية انتشار الماء والايونات الأخرى .

ويتركب الجدار الخلوي من :

١. الصفيحة الوسطى *Middle lamella* تمثل المادة البينية التى تلحم معا الجدارين الابتدائيين المتجاورين ولهذا فإن إذابتها بالمواد الكيميائية يؤدى إلى تفكك خلايا الأنسجة. تتركب الصفيحة الوسطى بصفة أساسية من بكتات الكالسيوم والماغنسيوم وتظهر فى حالة غير متبلورة بالميكروسكوب الإلكترونى.

٢. الجدار الابتدائى *Primary wall* عبارة عن طبقة واحدة تتركب أساسا من السليلوز وتختلط به مقادير متفاوتة من أنصاف السليلوز والمواد البكتينية. الكثير من أنواع الخلايا يكون لها جدار ابتدائى فقط. نظرا لأن الجدار الابتدائى يتكون قبل أن تصل الخلية لتمام نضجها بأن له القدرة على الزيادة فى الرقعة السطحية لكى يتواءم مع نمو الخلية، ولذا يوصف بأنه مرن. المرونة التى يتميز بها الجدار الابتدائى ترجع إلى احتوائه على كمية كبيرة من السليلوز غير المتبلور وإلى المسام الشعرية الدقيقة التى تكون ممتلئة بالمركبات البكتينية المحبة

للماء. تنتشر بالجدار الابتدائى مناطق رقيقة تسمى بالرقعات النقرية الابتدائية Primary pit fields يمتد خلالها تجمعات من روابط بلازمية Plasmodesata

٣. الجدار الثانوى *Secondary wall* يلى الجدار الابتدائى فى ترتيب الظهور حيث يقوم البروتوبلاست بترسيبه على السطح الداخلى، للجدار الابتدائى فى بعض أنواع الخلايا، عندما تصل الخلية لحجمها الكامل ويتحدد شكلها.

الخلايا التى يتكون لها جدار ثانوى تكون وظيفتها أساسا التقوية والتدعيم ومن ثم فإنها تكون عادة خالية من البروتوبلاست. ورغم هذا فإن بعض الخلايا مثل بارنكيما الخشب تكون الخلايا حية رغم احتوائها على جدار ثانوى.

لا يترسب جدار ثانوى على مناطق الرقعات النقرية الابتدائية، ومن سمى يحتوى الجدار الثانوى على تجاويف صغيرة تسمى النقر P its تتنوع فى شكلها وحجمها وتركيبها وعمقها.

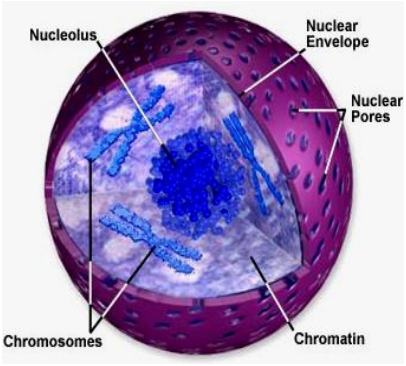
تتركب النقرة من: ١- غشاء النقرة Pit membrane. ٢- تجويف النقرة Pit cavity . ٣- فوهة النقرة Pit aperture

أنواع النقر: أ- النقر البسيطة Simple pits:. ب- النقر المضفوفة Bordered pits

ثانياً - البروتوبلاست (مكونات الخلية الحية) :- وهي كل شيء داخل الجدار الخلوي ويمثل الجزء الحي في الخلية ويتكون من الأجزاء الآتية :-

أ-المكونات البروتوبلازمية Protoplasmic components :-

- **السايتوبلازم Cytoplasm**:- وهو عبارة عن مادة هيلامية (جيلاتينية) يدعم ويحمي العضيات الخلوية ويحيطه الغشاء الخلوي .
- **الأغشية الخلوية Cellular membranes** :- توجد هذه الأغشية في الخلايا النباتية والحيوانية . في النبات توجد هذه الأغشية داخل جدار الخلية وظيفته دعم وإسناد والسيطرة على حركة المواد من والى الخلية وهو حاجز بين الخلية ومحيطها الخارجي .
- **الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum** :- وهي شبكة من الأنابيب والأغشية ناقلة للمواد خلال الخلايا (من والى الخلية) .
- **النواة Nucleous :-** تكون كبيرة وبيضوية وهي تسيطر على كل الفعاليات الخلوية وتكون محاطة بغشاء اختياري النفاذية . تتركب النواه من:



أ. غلاف النواة Nuclear membrane

ب. الشبكة الكروماتنية Chromatin reticulum

جـ. النوية Nucleolus

د. العصير النووى Nucleoplasm

- **الرايبوسومات Ribosomes :-** وهي جسيمات صغيرة ٢٠٠-٣٠٠ انكستروم حرة أو ملتصقة بالشبكة الاندوبلازمية وهي مركز إنتاج البروتينات .
- **المايتوكندريا Mitochondria** :- وهى اجسام تبرز منها العديد من (الطيات) ، وتسمى تلك الزوائد البارزة للغشاء الداخلى مجتمعة بالكريستا. تتكون المتوكوندريا من الفسفوليبيدات والحمضين النوويين DNA, RNA وإنزيمات دورة كربس . وتختص بإنتاج الطاقة المستخدمة فى الخلية ، فيها تختزن الطاقة بصورة روابط فوسفاتية غنية بالطاقة أهمها مركب الادينين ثلاثى الفوسفات ATP .

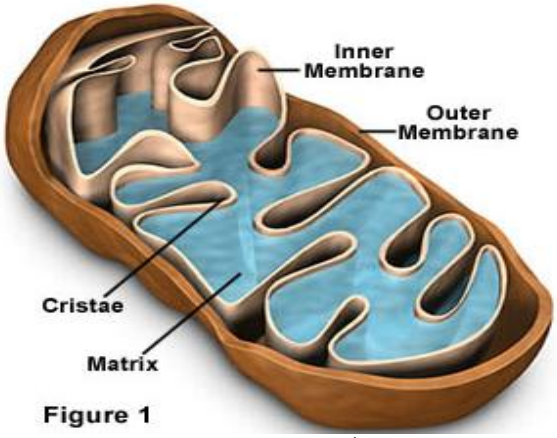
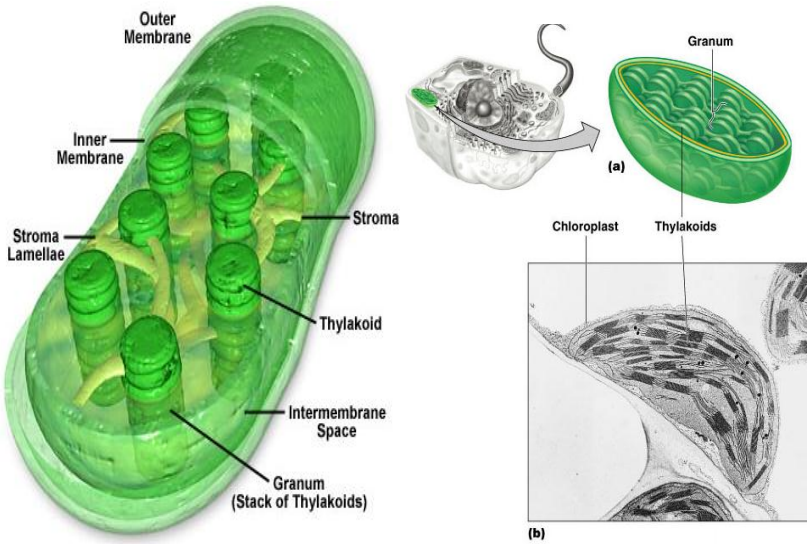


Figure 1

- **البلاستيدات: Plastids** هى عبارة عن أغشية من العضيات مستديرة أو بيضاوية الشكل وتتعدد البلاستيدات الى بلاستيدات اولية ، وبلاستيدات عديمة اللون ، والبلاستيدات النشوية ، والبلاستيدات الخضراء ،البلاستيدات الملونة

- والبلاستيدات الأولية تنمو وتتحول الي بلاستيدات عديمة اللون ليس قيها كلورفيل والكاروتينات .
- البلاستيدات النشوية وهى تلعب دوراً هاماً فى تمثيل النشا، كما هو الحال فى خلايا البطاطس والذرة
- والبلاستيدات الملونة التى تحتوى على الصبغات الكاروتينية فقط . مسئولة عن تلون اوراق الاشجار اثناء الخريف والازهار والثمار ، مثل تحول البلاستيدات الخضراء فى ثمرة الطماطم إلى اللون الأحمر.
- والبلاستيدات الخضراء هى اهم البلاستيدات تعمل على تجميع الطاقة الضوئية وتحولها الى طاقة كيماوية أثناء عملية التمثيل الضوئي . وتوجد أغشية أخرى مفلطحة تسمى الجرانا .

لقد أوضح الميكرسكوب الإلكترونى أن جسم البلاستيدة يتكون من حشوة Matrix بروتينية التركيب، شفافة عديمة اللون، يحيط بها غشاء مزدوج خال من الثقوب. يوجد مطموا فى الحشوة حبيبات إسطوانية الشكل تسمى البذيرات Grana يبلغ ارتفاع البذيرة حوالى ٧.. ميكرون وقطرها حوالى ٥.. ميكرون. تتركب البذيرة Granum من عدة صفائح(١٠- ٢٠) قرصية الشكل – رقيقة- كل منها عبارة عن غشاء مزدوج متراصة فوق بعضها البعض وتسمى بصفائح البذيرات Grana Lamellae. ترتبط البذيرات معا بواسطة صفائح غشائية تسمى الصفائح بين البذيرات Intergrana lamellae، لها نفس تركيب صفائح البذيرات. توجد الكلورفيلات والكارتينات على صفائح البذيرات.



- **(صور ورسم تخطيطي يوضح تركيب البلاستيدات الخضراء)**

- **الخيوط السايتوبلازمية Plasmodesmata .**
- **الأجسام الكروية Spherosomes**
- **أجسام كولجي Golgi apparatus .**
- **الأنابيب الدقيقة Microtubules .**
- **الأجسام الدقيقة Micro bodies or Poroxisomes & glyoxysomes**
- **الفجوات Vacuoles :-** وهي تشبه أكياس حاوية على سوائل تستعمل لخزن الغذاء والماء حيث إن النبات يحتاج إلى مخزن كبير لخزن المواد الغذائية .

ب-المكونات غير البروتوبلازمية

تمثل هذه المكونات نواتج عمليات التحويل الغذائى، ولهذا قد تظهر أو تختفى كليا أو جزئيا على فترات مختلفة زائدة عن حياة الخلية، أحيانا تمثل هذه المكونات مواد مختزنة من حاجة الخلية. توجد هذه المكونات فى الفجوات العصارية أو السيتوبلازمية أو الجدار الخلوى، وهى أما ذائبة أو صلبة أو فى حالة غروية، وهى إما عضوية أو غير عضوية. هذه المكونات يتألف منها الجزء غير الحى فى الخلية وتتنوع فوائدها وأهميتها الاقتصادية. ولهذا سوف يكتفى بأهم المكونات الشائعة فى النباتات الزهرية.

١. الفجوات والعصير الخلوى

الفجوة **Vacuoles** عبارة عن تجويف داخل سيتوبلازم الخلية يحتوى على سائل مائى يعرف بالعصير الخلوى. تعتبر الفجوة العصارية من مميزات الخلية النباتية، وتختلف حجمها وشكلها من خلية إلى أخرى. تتميز الخلية بأن فجواتها كثيرة ودقيقة جدا خلايا الكامبيوم ذات فجوات عصارية كبيرة. أما فى الخلية البارنكيمية، فعادة توجد فجوة واحدة كبيرة فى وسط الخلية أو بضعة فجوات كبيرة.

٢. الكربوهيدرات Carbohydrates تمثل الكربوهيدرات مكونا أساسيا لجميع خلايا أنسجة النباتات الزهرية.تشمل الكربوهيدرات مواد متنوعة مثل السليلوز والنشا، والسكريات والمواد المخاطية و أصناف السليلوز وغيرها.

١)السيليلوز Cellulose
٢)النشا Starch

يعتبر النشا أهم مدخرات الطاقة فى خلايا النبات ويتكون فى البلاستيدات النشوية. خلال عملية التمثيل الضوئى يتكون النشا فى البلاستيدات الخضراء فى صورة حبيبات ميكروسكوبية بيضاء اللون تعرف حبيبات النشا Starch grains .

تتركب حبيبة النشا بصفة رئيسية من نوعين من المواد الكربوهيدرات نوعين فى جسمها، يسمى أحدهما الأميلوز Amylose والأخر الاميلوبكتين Amylopectin ، قد تكون الحبيبة كروية الشكل أو بيضاوى أو كلوية أو كمثرية أو مضلعة. تتميز الحبيبة بعلامات مورفولوجية وهى السرة Hilum والطبقات Striations.

أنواع حبيبات النشا

الحبيبات البسيطة Simple grains.
الحبيبات نصف المركبة Semi-compound grains
الحبيبات المركبة compound grains

٣) البروتينات proteins
٤) الزيوت والدهون النباتية Vagetable Oils and Fats
٥) الراتنجات Resins.
٦) البلورات Crystals .

تتركب معظم البللورت من مواد غير عضوية، وأكثرها شيوعا أملاح الكالسيوم خصوصا أكسالات الكالسيوم. بللورات السيلكا يكثر وجودها فى جدر خلايا نباتات العائلة النجيلية فى السيقان والأوراق.

أ)بللورات أكسالات الكالسيوم: من أشكالها:

البللورات الإبرية Aciular crystalls (Raphides)
البللورات المنشورية Prismatic crystals
البللورات النجمية Rosette crytals''Druses''

ب) بللورات كربونات الكالسيوم : تعرف هذه البللورات باسم الحويصلات الحجرية Cystolith وأحيانا تسمى البللورة المعلقة. الحويصلات الحجرية عبارة عن تراكيب بللوررى يوجد فى بعض خلايا الطبقة الخارجية لبشرة المتضاعفة لعدد قليل من العائلات النباتية مثل العائلة التوتية.

أعداد بعض الأجزاء في الخلية الواحدة :- كل خلية تحتوي على نواة واحدة والكلوروبلاست ٥٠ – ١٠٠ المايتوكوندريا ٥٠٠ – ٧٠٠ الأجسام الكروية ٣٠٠

الوظيفه:

الخلية هى الوحدة الاساسية للحياه وفى النباتات والحيوانات وحيدة الخلية تعتبر الخلية كائن حى كامل ، وفى الكائنات الراقية عديدة الخلايا تجميع عدد من الخلايا المختلفة وترتيبها يحدد شكل وحجم الكائن المكونة له هذه الخلايا . فعلى سبيل المثال فأن الخلايا المكونة للانسجة الموصلة فى النبات معدة للقيام بهذه الوظيفة المعدة تركيبياً لوظيفة النقل السريع للماء والمغذيات .

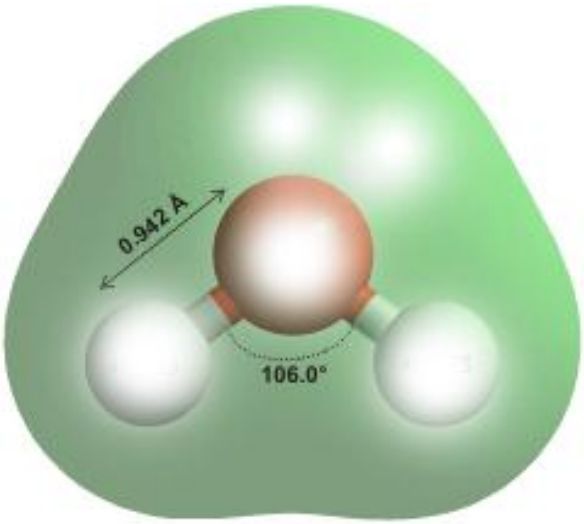
لذلك فأن فهم العلاقة البنائية والوظيفية للخلية يساعد من غير شك على فهم العلاقات الفسيولوجية للنبات والتى تعتمد فى الاساس على النواتج التخصصية والوظيفية للخلايا التى تتشابه الى حد كبير فى تركيبها وفى كيمياء تفاعلاتها .

العلاقات المائية للنبات Plant - Water Relations
الماء التركيب، الخواص والتفاعلات

Water: Structure, Properties, and Interactions

الماء هو تلك المادة التي يطلق عليها اسم سائل الحياة **Fluid of life** حيث أنه يكون أكثر من ٩٠% من التركيب الكيميائي للعديد من الكائنات ويشارك في جميع عمليات التمثيل الضوئي ويعتبر الماء ذو خواص فريدة من نوعها وذلك يرجع إلى التوزيع الفراغي لجزيئاته والرابطة الهيدروجينية: Molecules Hydrogen bonds & configuration

الماء جزيئ قطبي (Polar) وكما هو الحال في الجزئيات القطبية الأخرى فلذلك له سطح مشحون، ومن الواضح أن الماء مادة ذات قطبين حيث يعتبر الهيدروجين قطب موجب أما القطب الآخر (O_2) فهو سالب الشحنة نتيجة لخاصية الأكسجين في جذب الإلكترونات electrophilic، اما الزاوية بين ذرتي الهيدروجين المرتبطتين في ذرة الاكسجين فهي 104.5 الى109 درجة.



ونتيجة لهذا التوزيع الغير متناسق فإن جزيئات الماء ترتبط ببعضها البعض وهو مانسمية **بخاصية التماسك او الترابط** وتبلل المركبات الأخرى (أي أنها ذات **خاصية التصاقية** بالمواد الأخرى) ولهذه الخاصية أهمية خاصة في حركة الماء خلال التربة وكذلك انتقال الماء في النباتات.
انجذاب ذرة الهيدروجين الموجبة لجزئ ماء مع ذرة أكسجين ذات شحنة سالبة في جزئ آخر من الماء ينتج عنه رابطة هيدروجينية **Hydrogen bonds** قوية نسبياً وعلى هذا الأساس ليس هناك حدود معينة لتجمع جزئيات الماء التي ترتبط معاً بواسطة الروابط الهيدروجينية.

المحاليل Solutions

عندما نحرك قطعة سكر في كوب من الماء فإنه ينتج محلول رائق من السكروز في الماء ويمكننا تميز مكوني هذا النظام وهما في هذه الحالة المذاب (Solute) السكروز والمذيب (Solvent) الماء، أي أن المذاب يذوب في المذيب وفي هذه الحالة وفي حالات أخرى فإن جزئيات المذاب تختفي تماماً والمحلول الناتج يكون خليط متجانس من جزئيات المذاب والمذيب.

إن انتشار او انتقال الماء والغاز والمواد بين النبات والجو المحيط به وبين خلايا وأعضاء النبات نفسه له تأثير جوهري على جميع العمليات الكميوحيوية التي تحدث في النبات، وتعتبر الازموزية والتشرب

ضاهرتان من ظواهر الانتشار وهاتان العمليتان وغيرهما من العمليات الحيوية المسؤولة عن حركة المياة داخل النبات وخروجة ومايترتب على ذلك من عمليات حيوية مرتبط ارتباط كلي بقوانين التحول في الطاقة والتي تخضع بدورها لقوانين الديناميكا الحرارية.

يجب العلم اولا ان انتقال أي مادة يعتمد على اربع خواص وهي:

١- تركيز المادة في منطقة الانتقال (حول طرفي الغشاء البلازمي مثلا)

٢- حجم جزيئات المادة

٣- درجات الحرارة في وسط الانتشار

٤- شحنة الجزيئات (مشحونة قطبية او غير مشحونة غير قطبية)

اولا:- الإنتشار Diffusion

الانتشار هو عبارة عن صافي حركة جزئيات مركب من منطقة يكون تركيزها فيه مرتفع إلى منطقة يكون تركيزها فيها أقل، وهذا الانتقال يأتي نتيجة للحركة العشوائية للجزئيات أو للأيونات أو للذرات، هذه الحركة ناتجةعن الطاقة الوضعية الانتقالية في الجزئيات = (الطاقة الكينيتية)، ولكن ما هي الطاقة الانتقالية أو الكينيتية؟

الطاقة الانتقالية أو الكينيتية Translational Energy or Kinetic Energy

هي عبارة عن القوة المسؤولة عن تحريك الجزئيات سواء كانت الجزئيات لسائل أم لغاز.

في درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق(-٢٧٣.١٨م) تكون جزئيات أي مادة ما في حركة مستمرة نظراً لاحتوائها على كمية معينة من الطاقة الذاتية، هذه الحركة المستمرة هي حركة عشوائية حيث تتحرك الجزئيات في جميع الاتجاهات وفي حالات عديدة تتصادم مع بعضها البعض.

الجهد الكيميائي Chemical Potetial

كمية الطاقة الحرة لكل واحد جرام وزن جزيئي للمادة وهذا يعني أننا نسبنا الطاقة الحرة إلى كمية معلومة من المادة.

بناء على مفهوم الجهد الكيميائي يمكننا إذاً إعادة تعريف الانتشار:

عبارة عن محصلة حركة أي مادة من وسط يحتوي على جهد كيميائي مرتفع إلى وسط يحتوي على جهد كيميائي أقل وهذه الحركة تعتمد على العشوائية والطاقة الكينيتية للجزئيات أو الذرات أو الأيونات.

استقلالية الجهد لكل مادة : إن انتشار أي مادة ما يعتبر مستقلاً عن المادة الأخرى التي قد توجد في نفس الوسط وذلك حسب تركيز أو جهد كل مادة على حدة.

لو ملئنا بالون بغاز النيتروجين فقط فإن النتيجة هي زيادة الجهد الكيميائي لغاز النيتروجين داخل البالونة عنه خارجها وذلك لزيادة تركيزه في وسط ضيق فإذا فرضنا أن غاز CO_2 يستطيع النفاذ خلال مسام البالونة وحدة فلو وضعت البالونة في الهواء الطلق فسنلاحظ أن CO_2 سوف ينتشر وينفذ عن طريق مسامات البالونة للداخل ذلك لأن جهده الكيميائي خارج البالونة أكبر بكثير من جهده داخل البالونة والذي يعتبر صفراً نظراً لعدم وجوده.

مثال:

عند فتح زجاجة عطر فإننا نلاحظ تبخر جزئيات العطر ويمكننا شم الرائحة في عدة أماكن بعيدة نسبياً عن مكان فتح الزجاجة، هذا يدل على أن جزئيات العطر تحركت وانتشرت في الهواء واختلطت بشكل متجانس مع مكونات الهواء من أكسجين ونيتروجين وثاني أكسيد الكربون... الخ، هذا الانتشار ناتج عن الطاقة الكامنة في جزئيات العطر.

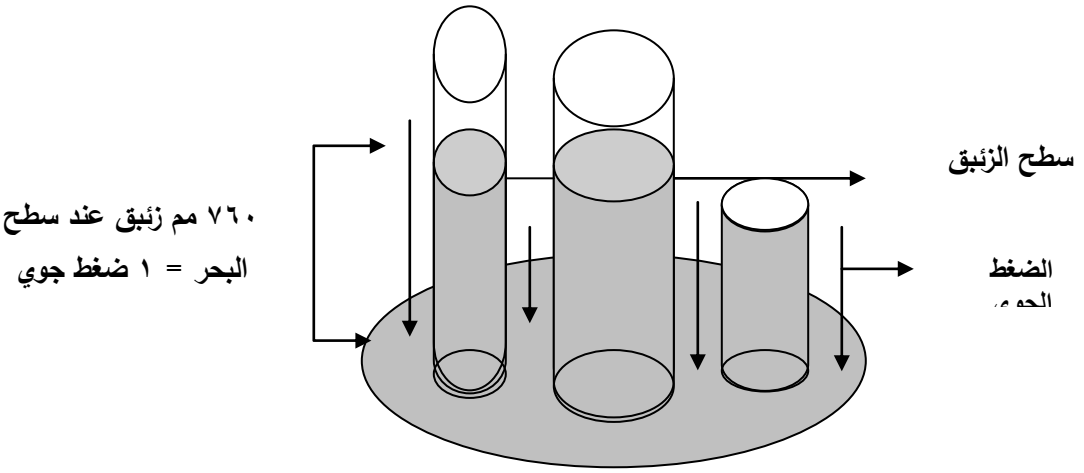
إن انتشار جزئيات العطر في الجو يمكن أن تحدث بشكل أسرع لو لم يكن هناك غازات محيطة بزجاجة العطر وهي الغازات الجوية الكثيرة، فضغط هذه الغازات أعاق سرعة انتشار جزئيات العطر ولو قمنا بقياس سرعة انتشار غاز معين في زجاجة مليئة بالغازات وقارناها مع زجاجة مفرغة من الغازات لوجدنا دون أدنى شك أن انتشار الغاز في الزجاجة المفرغة كان أسرع بكثير وهذا ناتج كما ذكرنا من ضغط الغازات الجوية ولكن ما هو الضغط الغازي وكيف يقاس؟.

الضغط الغازي أو الانتشاري: Gas pressure or Diffusion pressure

الضغط له تأثير جوهري على كل الكائنات الحية وكذلك على البيئة المحيطة وخصوصا من خلال تأثيرة على العمليات الحيوية والغير حيوية وخصوصا عمليات الانتشار للمواد المختلفة من غازات وسوائل وجزيئات وهذا مايدعونا الى التعرف على ما هيه الضغط الجوي وكيفية قياسة وكذلك تأثيرة على العمليات المختلفة.

يعرف الضغط على انه القوة التي تمارس على مساحة محددة بفعل ثقل او وزن الهواء فوق هذة المساحة المحددة.

ويقاس الضغط الجوي أو ضغط الغازات الموجودة في الجو بإستخدام جهازالباروميتر Barometer، وتعتمد فكرته على أنه لو ملئت أنبوبة بمعدن الزئبق ثم غمس طرفها المفتوح في حوض زجاجي مسطح يحتوي على الزئبق أيضاً فإنه يلاحظ انخفاض مستوى الزئبق في الأنبوبة عند مستوى البحر وكان يصل إلى ٧٦٠ مم وبعبارة أخرى فإن وزن الغاز (الهواء) فوق سطح الزئبق في الحوض يكفي لدفع الزئبق في الأنبوبة إلى ارتفاع ٧٦٠ مم وبالتالي فإن متوسط ضغط الهواء عند سطح البحر يعرف بالضغط الجوي القياسي Standard atmospheric pressure ويقدر بحوالي ٧٦٠ مم من الزئبق أو بواحد ضغط جوي.



متوسط ارتفاع الزئبق في الباروميتر = ٧٦٠ مم عند مستوى سطح البحر ويلاحظ أن ارتفاع العمود لا يتوقف على قطر الأنبوبة، والأنبوبة التي تقع على اليمين قصيرة لدرجة لا تسمح بانخفاض سطح الزئبق

مثال:-

يمكن الاستدلال على وجود الضغط عن طريق نفخ بالونة بالهواء وهذا ما يتبعه زيادة في تركيز جزئيات مكونات الهواء وبالتالي الضغط على جدار البالونة مما يزيد إلى انتفاخها.

العوامل التي تؤثر على معدل انتشار الغازات:

a- **درجة الحرارة** $T°$

يزيد معدل انتشار الغازات في الجو بزيادة درجات الحرارة، حيث أن زيادة درجة الحرارة تزيد الطاقة الكينيثية "الجهد الكيميائي" لجزئيات الغاز وبالتالي فإن ذلك يعمل على زيادة سرعة حركة الجزئيات أي انتشارها.

b- **كثافة الغازات المنتشرة**

معدل انتشار الغازات تحت ظروف ثابتة يختلف إلى حد كبير من غاز إلى آخر وذلك تبعاً لنوع وكثافة الغاز، وقد لخص قانون جرهام للانتشار هذه البديهيات حيث ينص على أن معدل انتشار الغازات يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكثافة تلك الغازات.

c- **قابلية الذوبان في وسط الانتشار**

كلما زادت قابلية المادة للذوبان في وسط الانتشار زاد معدل سرعة انتشارها في الوسط ولكن إذا كان وسط الانتشار ذو تركيز مرتفع فسوف تزداد درجة مقاومته للمواد المنتشرة كذلك يتناسب معدل انتشار المواد مع اتساع مساحة وسط الانتشار ومن الجدير بالذكر أن قابلية ذوبان الغازات في السوائل تقل كلما ارتفعت درجة الحرارة عكس قابليتها للذوبان في الجو، ففي الحقيقة أن عملية غليان السوائل هي من الطرق الشائعة الاستخدام للتخلص من الغازات الذائبة.

d- **الضغط:**

فيما عدا الغازات شديدة الذوبان فإن باقي الغازات يزداد ذوبانها وانتشارها في السوائل كلما زاد الضغط، هذه الخاصية وقانون هنري Henry's Law الذي ينص على أن كتلة الغاز قليل الذوبان والتي تذوب في كتلة معينة من السائل عند درجة حرارة معينة تتناسب طردياً مع الضغط الجزيئي لهذا الغاز.

مثال: تعتبر صناعة المشروبات الغازية تطبيق مباشر لقانون هنري حيث يتم إذابه Co_2 في المشروب تحت ضغط ٥ جو ثم وضعه في إناء مغلق وعند نزع الغطاء يصبح الضغط الجوي فوق سطح المحلول ١ جو وبالتالي يخرج الغاز على صورة فقاعات من المحلول الذي يعتبر محلول فوق مشبع بالغاز، ويطلق على عملية خروج الفقاعات من المحلول اصطلاح الفوران Effervescence.

والغازات شديدة الذوبان في الماء لا ينطبق عليها قانون هنري وسبب قابليتها العالية للذوبان ترجع إلى أنها تتفاعل مع الماء ومثال على ذلك غاز الأمونيا (NH_3) وثاني أكسيد الكبريت (So_2).

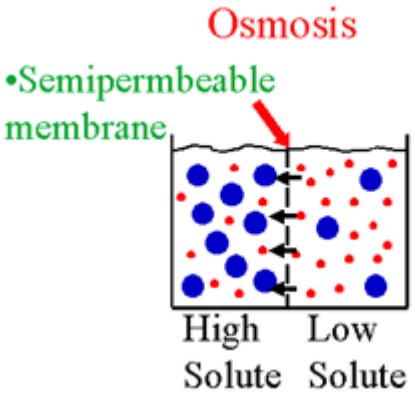
e- **تدرج الجهد الكيميائي:**

بصفة عامة كلما زاد انحدار الجهد الكيميائي زاد معدل الانتشار ويتحكم في شدة الانحدار تركيزات المادة القابلة للانتشار بين منطقة ما وأخرى والمسافة الموصلة بين المنطقتين الذي يحدث عبرها الانتشار.

في الحقيقة أن أي عامل يزيد أو ينقص تدرج الجهد الكيميائي مثل (التركيز، الضغط، الحرارة) سوف يؤثر على معدل الانتشار.

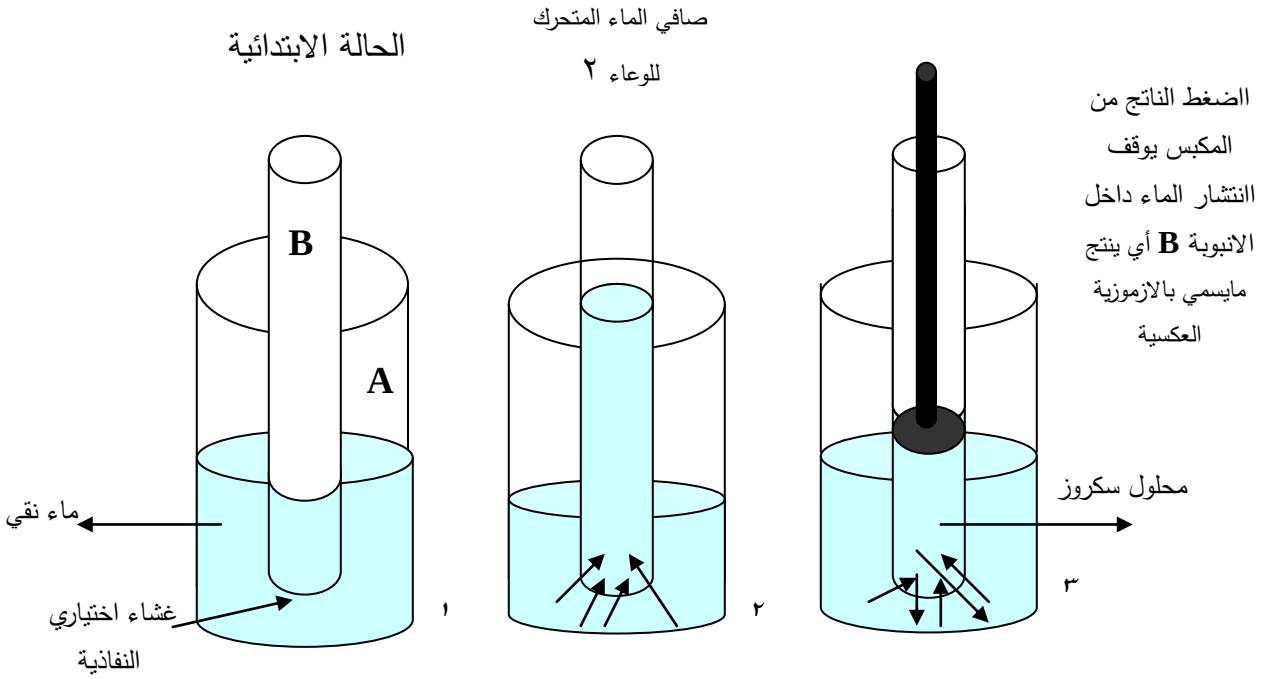
ثانيا:- الأزموزية Osmosis

تعتبر الأزموزية نوعاً من الانتشار **<u>وهي تحرك الماء</u>** **<u>(Solvant)</u>** خلال الغشاء الاختياري النفاذية (**Selectively permeable**الذي يمنع مرور المحاليل والجزيئات الضخمة ويسمح بمرور متحكم بة للماء وللجزيئات الدقيقة الذائبة)،



الجهد الأزموزي: Osmotic potenlial

يتم قياس الجهد الأزموزي بواسطة جهاز غاية في البساطة يعرف باسم الأزموميتر Osmometre فإذا وضعنا وعاءً كبيراً يحتوي على ماء نقي (A) وفي داخله وعاء ذو غشاء نفاذي(B) يسمح بمرور الماء ويحتوي بداخله محلولاً سكري (محلول سكروز) نلاحظ الاتي:



طرقة قياس الضغط الازموزي

بما أن غشاء الوعاء B منفذاً للماء فإن الماء لة حرية الانتقال بين الانائين وبالتالي نلاحظ ان الماء يندفع بقوة متجها من الاناء A الى الاناء B وذلك عبر الغشاء النفاذ وبسبب اختلاف الجهد بين الماء في الانائين حيث يكون جهد الماء المخلوط (المحلول) في الاناء B أقل من جهدة في الاناء A الذي يحتوي على الماء النقي، لاحتوائه على طاقة انتقالية ذاتية اكبر.

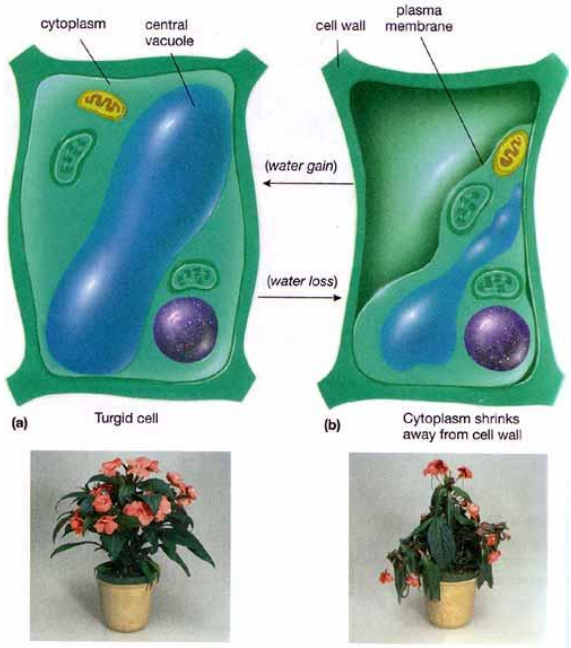
نلاحظ ايضا أنه في البداية يكون معدل تحرك الماء إلى الوعاء B مرتفع وينخفض تدريجيا حيث ان زيادة الماء في الوعاء B سيعمل على ارتفاع جهد المحلولفي الاناءB.

إذا وضعنا مكبسا من الوعاء B ودفعنا هذا المكبس حتى توقف تدفق الماء إلى الوعاء B عن طريق الضغط بقوة، القوة اللازمة لوقف تدفق المياه إلى الإناء B تساوي أقصى ما يمكن من ضغط لوقف دخول الماء المحصور داخله المحلول السكري.

الضغط اللازم للمحلول لكي ينشأ زيادة في جهده الكيميائي عن جهد الماء النقي حتى يتوقف تحرك الماء إلى B تماماً يسمى بالضغط الأزموزي Osmotic pressure وعلى هذا فإن:

** **الضغط الازموزي للمحلول** Osmotic pressure هو الضغط اللازم عمله لوقف انتشار الماء النقي الى المحلول تحت ظروف الأزموزية المثالية وبالتالي فإن الضغط الأزموزي ما هو إلا جهد حقيقي أي قوة حقيقية تمثل بجهد او طاقة.

وترجع أهمية الجهد الأزموزي إلى كونه يميز المحلول بطرق مختلفة فهو يدل على الضغط الأقصى (الضغط الأزموزي) الذي ينشأ للوصول إلى حالة الاتزان مع الماء النقي في النظام الأزموزي المثالي وله علاقة طردية تناسبية مع كمية المذاب في المحلول ومع النقص في الجهد الكيميائي للمحلول (الطاقة الحرة الكلية).



ضغط الامتلاء (ψp) Turgor pressure

الجدار الخلوي ذو الصلابة والتركيب الغير مطاطي نسبياً يغلف الخلية النباتية وغشائها البلازمي Plasmalemma الاختياري النفاذية، هذه الصفات الفريدة للخلية النباتية تجعلها تعيش دائماً تحت مدى واسع من التركيزات الأزموزية بعكس الخلية الحيوانية التي يمكنها أن تعيش فقط في محاليل ذات تركيزات أزموزية متشابهة تماماً.

عند وضع الخلية النباتية في ماء نقي فإنها تنتفخ ولكنها لا تنفجر وبسبب سالبية الجهد الأزموزي لمحلول الفجوة (العصير الخلوي) فإن الماء يتحرك إلى الخلية ويسبب دفع الغشاء البلازمي ناحية الجدار الخلوي.

الكمية الحقيقية للضغط الذي ينشأ يسمى بضغط الامتلاء **Turgor pressure** فالجدار الخلوي يصبح متصلباً ويظهر ضغطاً مساوياً ولكنه عكسي وهو ما نسميه بضغط الجدار **wall pressure** ونتيجة لهذا التبادل الفعلي بين هذه القوى فإن الخلية النباتية تحت هذه الظروف يقال عنها أنها منتفخة. وبالتالي فان عملية

الامتلاء تظهر عندما تكون عملية الري والامتصاص جيدة وتظهر الاوراق يانعة ومنتفخة وأول علامات نقص الماء سهلة الملاحظة في النبات وهو نقص امتلاء خلايا الورقة والذي يعطي للأوراق مظهر الذبول.

I-A-3 **الجهد المائي** Water potential (ψw)

الجهد الكيميائي هو الطاقة الحرة لكل مول (وزن جزيئي) لأي مادة في النظام الكيميائي وبالتالي فإن الجهد الكيميائي للمادة تحت ظروف ثابتة من الضغط والحرارة يعتمد على عدد مولات المادة الموجودة، وفي تناولنا لعلاقة النبات بالماء فنحن عادة ما نعبر عن الجهد الكيميائي للماء بالجهد المائي (ψw).

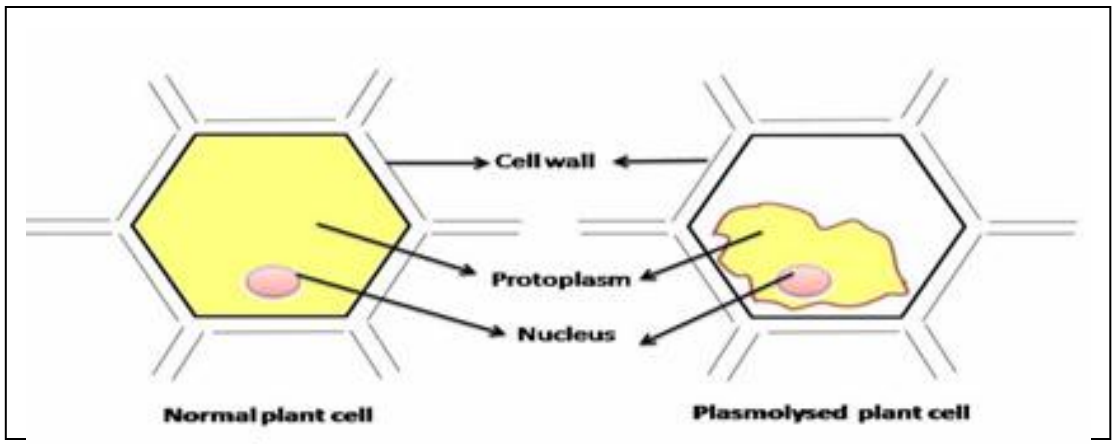
كلما كان الجهد المائي قليل كلما كان ارتباط الماء بالوسط كبير وكذلك فكلما جف الوسط (التربة) كلما زاد الارتباط بينه وبين الماء أي أن جهده المائي ينخفض وهذا يعتبر ذو اهمية مطلقة في عملية الانبات البذري والتي سنتطرق لها لاحقا.

البلزمة Plasmolysis

من الناحية الحيوية فإن البلزمة تعني التغيرات التي تحدث للخلية النباتية الحية عندما توضع في وسط ذو تركيز مختلف عن تركيز العصارة الخلوية وخصوصاً لو كان الوسط الخارجي ذو تركيز ملحي او سكري مرتفع.

ومثال على ذلك لو وضعت خلية نباتية في وسط يحتوي على تركيز مرتفع من السكروز فإن التغيرات التي تحدث هي انجذاب الغشاء البلازمي بعيداً عن الجدار الخلوي وابتعادهماعن بعضها البعض، وهذا الابتعاد ناتج عن عدة أسباب هي:-

- إن الماء داخل الخلية له طاقة حرة أعلىمن الطاقة الحرة للماء الخارجي وبالتالي ميولاً الى الانسياب للخارج.
- إن الأغشية الفجوية غير مُنفذة للسكروز ولكنها تستطيع نفاذ الماء.
- إن الجدار الخلوي cell wall يسمح بنفاذ السكروز والماء بحرية.



منظر يوضح خلية طبيعية وخلية مبلزمة

وعلى هذا الأساس فإن الماء ينتقل من الفجوة العصارية إلى المحلول الخارجي أي إلى السيتوبلازم ثم للخارج أي من منطقة ذات جهد مائي أقل سالبية (عالي) إلى منطقة جهدها المائي أكثر سالبية (منخفض)، هذا التحرك يسبب انكماش الفجوة وبالتالي جذب الغشاء الخلوي بعيداً عن الجدار الخلوي وذلك لان ان الجدار

الخلوي صلب ولاينجذب بسهولة وهنا يكون ضغط الامتلاء يساوي الصفر **Turgor pressure = 0** تنتج حالة مختلفة لو أن الخلية وضعت في محلول أقل تركيزاً من تركيز العصير الخلوي وهنا سوف تمتلئ الخلية ولكن عادة كمية دخول الماء تكون قليلة وبهذا فالتغيرات في شكل الخلية تكون بسيطة.

الأزموزية بين الخلايا Osmosis between cells

دعنا نتخيل خليتين ملتصقتين ومحميتين من أي بخار، والعصير الخلوي للخلية (A) ذي جهد ذموزي (-١٤ بار) وضغط إمتلاء يساوي (٤ بار)، أما الخلية B فهي ذات جهد مائي (-١٦ بار) والحالة النهائية لكل خلية يمكن التعبير عنها:

$$-\psi w = -\psi s + \psi p$$

ψw = الجهد المائي.
ψs = الجهد الأزموزي.
ψp = ضغط الامتلاء.
حدد في أي اتجاه يسير الماء ولماذا؟

التشرب Imbibition

يعتبر التشرب إحدى طرق انتشار الماء في النبات وكما هو الحال في الأزموزية يمكن اعتباره نوعاً خاصاً من الانتشار، إلا أنه في حالة التشرب تدخل المادة الادمصاصية Adsorbant والتي تكون عادة مادة صلبة أو غروية أو جافة، والادمصاص هو ما يسبق الامتصاص أو الانتشار وهو الانجذاب الذي يحدث بين الشحنات السالبة للمواد المحبة جداً للماء وهي ما نسميها (colloides) مثل (المواد العضوية والمعدنية) وقطب الماء الموجب.

عملية الانجذاب هذه تسمى Electrostatistics فعند وضع المادة الجافة للنبات في الماء نلاحظ حدوث انتفاخ ملحوظ وبالتالي زيادة في الحجم ويمكن أن ينشأ ضغط هائل لو حُبست المادة الادمصاصية داخل حيز صغير ثم يسمح لها بتشرب الماء، وعلى سبيل المثال "خابور" الخشب الجاف الذي يوضع في حُفرة صغيرة الحجم بين الصخور في الجبال ثم يسقى بالماء فينتج ذلك ضغط هائل يؤدي إلى تكسير الصخور وهذه الطريقة كانت تستخدم لتقطيع الصخور والأحجار في الماضي.

العوامل اللازمة للتشرب Condition necessary for imbibition

هناك حالتان لازمتان لكي يحدث التشرب

ا- تدرج الجهد المائي لابد أن يقع بين سطح المادة الادمصاصية والسائل المُتشرب وهنا تتم عملية التصاق سطحي المادة الادمصاصية والمُتشربة (سائلة أو غازية) وهذا نتيجة ارتفاع واختلاف في تركيز المواد.

ب- لابد أن يوجد قابلية امتزاجية بين مكونات المادة الادمصاصية والمادة المدمصة او المُتشربة.

تظهر مواد النبات الجافة سالبية جداً للجهود المائية، على سبيل المثال بعض البذور الجافة قد أظهرت جهداً مائياً=-٩٠٠ بار (bars) وبالتالي عند وضع هذه البذور في ماء نقي يحدث انحدار شديد في تدرج الجهد المائي وتمتص نتيجة البذرة كميات كبيرة من الماء حتى يتساوى جهد الماء الخارجي مع جهد الماء داخل البذرة نظرياً وعند هذه النقطة ينشأ الاتزان ويتوقف التشرب وتحرك الماء من وإلى المادة الادمصاصية يكون متساوياً في الكمية.

جهد الحشوة Matric potential

هو نظير الجهد الأزموزي من حيث أنه الضغط الأقصى التي تظهره المادة الادمصاصية الصلبة او الغروية الجافة عندما تغمس في الماء النقي. وهو بالتالي الضغط الفعلي الذي يتولد عندما تتشرب هذه المادة الادمصاصية الماء، حيث كان سابقا يسمى بضغط التشرب ولذلك فهو نظير الجهد الازموزي ولكن تم تبديل المصطلح ليصبح ضغط او جهد الحشوة:

المعادلة السابقة كانت:

$$- \psi w = - \psi s + \psi p$$

ψw = الجهد المائي.
ψs = الجهد الازموزي
ψp = ضغط الامتلاء.

ويمكن تبديل الجهد الازموزي بجهد الحشوة وهو ψm فتصبح المعادلة:

$$- \psi w = - \psi m + \psi p$$

ولا ينشأ ضغط الامتلاء ψpعندما تكون المادة الادمصاصية حرة او غير حية أي انه لايوجد قوى اخرى وبالتالي فالمعادلة السابقة في هذه الحالة يمكن تبسيطها:

$$-\psi w = -\psi m$$

<u>العوامل المؤثرة على معدل ومدى التشرب</u>:- أهم العوامل التي تؤثر على التشرب هي:

a- **الحرارة**

يتأثر معدل ومدى التشرب بالحرارة ودرجة الحرارة لا تؤثر على كمية الماء التي تأخذها المادة الادمصاصية ولكن لها تأثير محدد على معدل التشرب فزيادة درجة الحرارة تسبب زيادة في معدل التشرب.

b-**الجهد الأزموزي**

تتأثر كمية الماء المتشرب ومعدل التشرب بالجهد الأزموزي للمادة المتشربة وإضافة المذاب للماء النقي يسبب سالبية أكثر للجهد المائي، هذه الإضافة لها تأثير مغير للتدرج للجهد المائي بين ماء المحلول والمادة الادمصاصية، تدرج الجهد المائي يصبح أقل انحداراً عما إذا غمست المادة في ماء نقي وبالمثل فإن النقص في تدرج الجهد المائي سوف يسبب نقص في المعدل الذي فيه يتشرب الماء، وبالتالي الكمية المأخوذة من الماء.

مثال: بعض البيانات التي حصل عليها Schull عام ١٩١٦ تخص تأثير الجهد الأزموزي في التشرب بواسطة بذور الخروع البري "الشبيط" الجافة هوائياً.

التركيز بالمولار	الماء المُتشرب خلال ٤٨ ساعة (% بالنسبة للوزن الجاف)	الضغط الأزموزي ضغط جوي
H_2O	%٥١.٥٨	٠.٠
0.1M Nacl	%٤٦.٣٣	-٣.٨

0.2M Nacl	%٤٥.٥٢	-٧.٦
4.0M Nacl	%١١.٧٦	-١٣٠
Sat.M Nacl	%٦.٣٥	-٣٧٥.٠
Sat.Licl	% ٠.٢٩-	-٩٦٥.٠

م/٣:-

II- العلاقات المائية للنباتPlant - Water Relations

امتصاص وانتقال الماء Absorption and Translocation of Water

خلال دورة حياة النبات، تُمتص كميات كبيرة من الماء بشكل مستمر من التربة وتنتقل خلال النبات إلا أن هذه الكمية الهائلة من الماء تُفقد من النبات خلال عملية النتح وتبقى كمية محدودة يستخدمها النبات في العمليات الفسيولوجية والحيوية التي يقوم بها.

المنطقة الأساسية (إن لم تكن الوحيدة) التي يمتص منها النبات الماء هي التربة وهناك عوامل عديدة تؤثر على عملية الامتصاص، ومن اهم عوامل التربة المؤثرة على امتصاص الماء :

A.الحرارة Temperature

الحرارة وخصوصاً حرارة التربة لها تأثير عميق على معدل امتصاص الماء فعند انخفاض درجة حرارة التربة فإن النبات يمتص كمية قليلة من الماء والسبب في هذا هو أن الماء في درجات الحرارة المنخفضة يصبح أكثر لزوجة وبالتالي فإن السيتوبلازم يصبح أقل نفاذية للماء.

B.الجهد الأزموزي للتربة Osmatic potential of soil solution ψs

من المعروف أن امتصاص الماء يتم عن طريق تدرج الجهد المائي الذي يظهر بين محلول التربة والعصير الخلوي لخلايا الجذر، ويمكننا تفهم لماذا الجهد الأزموزي (تركيز الملح) لمحلول التربة يلعب دوراً مهماً في امتصاص الماء حيث أن الجهد الأزموزي مرتبط تماماً بالجهد المائي، ولو كان الجهد المائي لمحلول التربة أكثر سالبية (أقل) عن العصير الخلوي فإن الماء سيتحرك من داخل النبات إلى الخارج.

وهنا نلاحظ أن النباتات التي تعيش في المناطق الملحية hallophyte plants تتحمل بشكل أكبر التركيز المرتفع للأملاح في محلول التربة وهنا أيضاً يمكننا أن نلاحظ أن الجهد الأزموزي للعصير الخلوي لهذه النباتات هو أكثر سالبية (أقل بكثير) من النباتات الأخرى.

c.التهوية Aeration

إن زيادة الماء وتراكمه حول جذور النبات يعمل على خفض مستوى التهوية حيث أنه يحل محل الغازات الموجودة، ولو تعرض النبات إلى شمس ساطعة فإنه سيفقد ماء كثراً نتيجة النتح.

d.تراكم Co_2 في التربة Concentration of Co_2

يظهران تراكم ثاني أكسيد الكربون له تأثير أكثر تثبطاً على امتصاص الماء من نقص الأكسجين، حيث ان زيادة Co_2 تسبب زيادة في لزوجة السيتوبلازم وبالتالي نقص في نفاذية الجذر.

e.جاهزية الماء A viability of water

ليس كل الماء الموجود في التربة في متناول النبات حيث أن امتصاص النبات للماء المحيط به وبالتالي فإنه سيجد صعوبة أكثر في الحصول على الماء والذي يرجع إلى نقص تدرج الانتشار، وفيما يتعلق بجاهزية ماء التربة يجب شرح بعض الاصطلاحات:-

١- السعة الحقلية Field capacity.

٢- نسبة الذبول الدائم Permanent wilting percentage (PMP).
٣- الإجهاد الكلي لرطوبة التربة Total soil moisture stress (TSMS).

١- السعة الحقلية:-

هي محتوى التربة للماء عقب توقف صرف الماء الزائد منها مباشرة والذي يحدث عقب تشبعها بالماء.
"أي بعد صرف الماء الزائد الذي يخضع لقوى الجاذبية الأرضية تاركاً ا لماء الذي يرتبط بالقوى الفيزيائية بحبيبات التربة".
وبمعنى بسيط هو كمية الماء التي تستطيع التربة ان تستوعبه.

٢-نسبة الذبول الدائم:-

هي النسبة المئوية لماء التربة المتبقي عندما تظهر النباتات النامية أولى علامات الذبول، والذبول الدائم هو عدم قدرة النبات أو الأوراق لاستعادة امتلائها عندما توضع في جو مشبع بالماء.

٣-الإجهاد الكلي لرطوبة التربة:-

هو مجموع الجهد الأزموزي لمحلول التربة والإجهاد الرطوبي لرطوبة التربة.
الإجهاد الرطوبي هو تلك القوى التي تمسك بالماء أو بماء التربة وهي قوى الجذب gravitational، والادمصاصية Adsorptive، والهيدروستاتيكية hydrostatic (قوى اتزان الماء).

وقد أثبتت البحوث أن السعة الحقلية ونسبة الذبول الدائم يختلفان باختلاف أنواع التربة.

مثال: التربة الطينية ذات سعة حقلية عالية ونسبة ذبول عالية بمقارنتها مع التربة الرملية. فهذا النوع من التربة يستطيع امتصاص كميات كبيرة من الماء (سعة كبيرة) ولكن جزيئات الماء ترتبط بحبيبات التربة بقوة مما يمنع النبات من الحصول بسهولة على هذا الماء رغم تواجدة.
إن السعة الحقلية هي ثابت من ثوابت رطوبة التربة وتختلف باختلاف التربة فقط بينما نسبة الذبول الدائم ترتبط بطبيعة التربة ولكن العامل المحدد لها هي أزموزية النباتات حيث أن الأخيرة هي التي تحدد نسبة الذبول الدائمة للتربة ويمكن الإشارة إلى أن النباتات التي نعيش في الرطوبة الوسطية لها جهداً أزموزيا يساوي –20 بار بينما النباتات التي تتحمل الملوحة "Hallophytes" لها جهد أزموزي يزيد عن –200 بار.
وهذا الفرق الكبير ما هو إلا دليل على الاختلاف الكبير بين قدرات مختلف النباتات لامتصاص الماء من التربة.

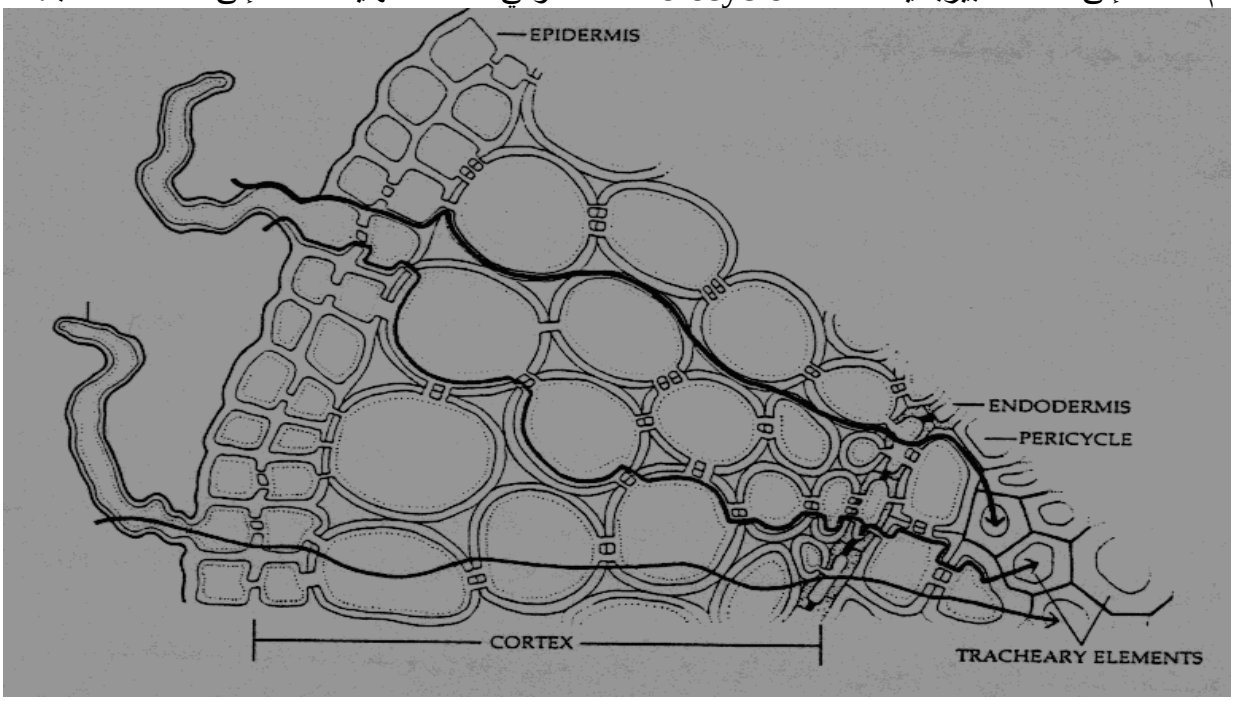
امتصاص الماء بواسطة النبات Absorption of water by the plants

تحت الظروف الطبيعية فإن الماء المُمتص بواسطة النباتات يتم عن طريق جذورهم وأكثر مناطق الجذر امتصاصاً للماء هي منطقة الشعيرات الجذرية Absorbing hairs وينتشر الماء خلال الشعيرات الجذرية ومن ثم خلال خلايا البشرة حتى يصل إلى الأوعية "Vessels".
منطقة الشعيرات الجذرية هي المنطقة الأساسية التي يحدث خلالها امتصاص الماء وهذا يعني أنها المنطقة الأكثر نفاذية، أما المجموع النامي فإن الامتصاص يتم عادة من خلال القمم النامية التي يحدث فيها النمو، وذلك

لان الجذور كبيرة السن مسبرنة أو بالأحرى تغطى بطبقة من مادة **Subrin** وهذا ما يعيق انتقال الماء خلالها ولكن هناك أحياناً وفي بعض الظروف يتم امتصاص الماء عبر الجذور المسبرنة وقد تم ملاحظة ثلاث فتحات في الجذور المسبرنة يتم من خلال دخول الماء، الكسور حول الأفرع الجذرية، الجروح ونادراً وجود عديسات **Lenticels**.

مسار تحرك الماء خلال الجذور Path of water movement through root

كما سبق وذكرنا فإن الماء يُمتص بواسطة الشعيرات الماصة الجذرية وخلال البشرة "Epidermis" القريبة منهم ثم يتحرك من هذه الخلايا إلى أنسجة القشرة (Cortex) متجهاً إلى البشرة الداخلية Endoctermis ثم إلى البيربسيكل Perecycle وفي النهاية إلى الخشب.



تتم عملية سريان الماء وتحركه من التربة وداخل أنسجة وخلايا النبات بناءً على ثلاث طرق:-

١-بواسطة المكون الغير حي: Apoplast

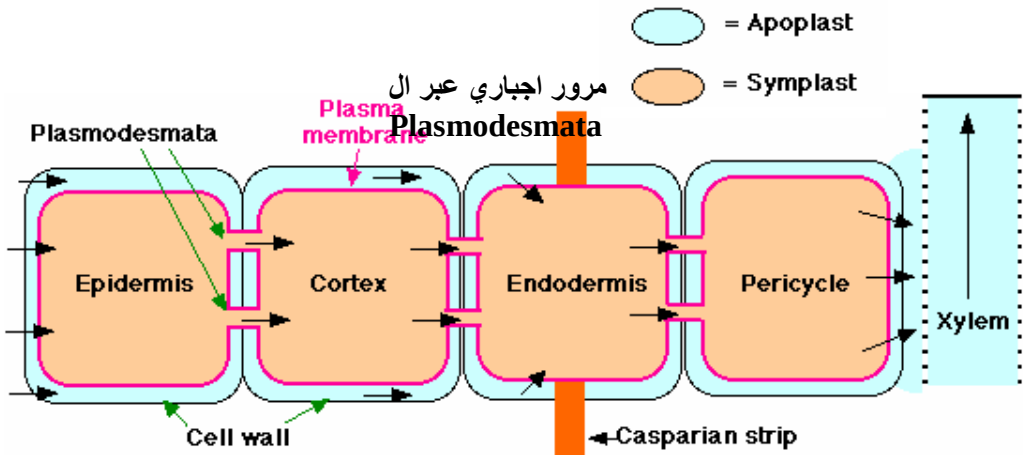
والـ Apoplast هو عبارة عن مجموع الاجزاء والخلايا والأنسجة الغير حية وخاصة الجدران الخلوية cell wall والفتحات البية Meatus وهذا يعني أن انتقال الماء بهذه الطريقة لا يعتمد على الأزموزية نظراً لأن هذه الأخيرة تتطلب وجود مكونات الخلية الحية وخاصة الغشاء الاختياري النفاذية، وعلى هذا الأساس فإن انتقال الماء بهذه الطريقة يتم بواسطة الانتقال أو الانتشار الحر أو السلبي الذي لا يستوجب وجود طاقة أيضية أو بشكل أساسي بواسطة القوة أو الفعل الشعري Capillary action وهو عبارة عن توتر أو جهد سطحي يعمل على ربط وشد الماء داخل مسافات صغيرة جداً.

ولكن بهذه الطريقة فإن مرور الماء يعاق بسبب وجود شريط كسبار Casparian strip وهو عبارة عن شريط من مادة Suberein أو Lignin يغطي على شكل حلقة خلايا البشرة الداخلية Endodermis وهاتان المادتان غير نفاذتان وبالتالي فإن الماء مضطر للمرور عبر الغشاء البلازمي والبرتوبلازم لخلايا البشرة الداخلية متجهاً نحو الأوعية الخشبية وهذا ما نسميه بطريقة Symplast.

٢- بواسطة المكون الحي: Symplast

ال Symplast هو مجموع الاجزاء الخلوية الحية والتي تتصل ببعضها البعض بواسطة روابط Plasmodesmata عبر السيتوبلازم مرورا الجدار الخلوي وبناءً على هذه الطريقة فإن الماء والمحاليل تتحرك بناءً على الأزموزية (للماء) والانتشار الحر والامتصاص السلبي للذائبات الذي لا يحتاج لوجود طاقة أيضية وكذلك الانتشار النشط الذي يحتاج لوجود طاقة أيضية، خصوصا عند الاحتياج لاملاح او لمواد يكون تدرج تركيزها عكسيا.

وفي هذه الحالة فإن الماء ينتقل من التربة ويتحرك خلال النبات عن طريق تزايد سالبية تدرج الجهد الأزموزي والتي تتولد وتزداد بواسطة التركيز النسبي للمُذاب.



وهنا يمكننا التساول عن كيفية زيادة محتوى الخلايا من الملح خصوصاً بين خلايا الجذر والساق والورقة أي من الخارج نحو الداخل وبالتالي انخفاض الجهد المائي (ψ)، ويمكننا أن نُعزي ذلك إلى فعل الطاقة الأيضية مما يجعلنا نعطي هذه العملية اسم الانتشار النشط "وسيتم التحدث عنه فيما بعد".

حيث ' Endodermis مسار الماء من الخارج للداخل أي من البشرة فخلايا القشرة حتى ال Endodermis ' تصل لشريط كسبار المغطي لخلايا ال

٣- عبر الفجوات Transallalar

وهو الانتقال من خلية إلى أخرى مروراً بالجدار الخلوي ثم السنيوبلازم فالفجوة ثم الستوبلازم وينتقل الى الخلية الاخرى أي عن طريق ال Apoplast و ال Symplast في آن واحد.

بعد أن درسنا قوانين الطاقة وتحولها وعلاقتها بالعمليات الحيوية وبعد أن تفهمنا خصوصيات الماء كمادة أساسية والخصوصيات والأسس التي تحدد تحرك الماء والسوائل والغازات من مكان إلى آخر، سنقوم الآن بدراسة النظريات المقترحة التي تفسر دخول الماء والمحاليل داخل النبات وتحركها عبره، اعتمادا على التدرج في الجهد المائي وايضا عمليات الانتقال للاملاح عكس نظريات التدرج.

نظريات ميكانيكية انتقال الماء عبر النبات

a- **الضغط الجذري** Root Pressure

في الليل عندما يكون النتح معدوماً أو شبه معدوم أو في الظروف المشابهة لذلك، يقل الماء في أوعية الخشب خصوصاً في الساق نظراً لوضعه العمودي على الأرض وبالتالي تبدأ الأملاح بالتسرب على جدران القنوات الخشبية، هذا التسرب يولد جهداً مائياً منخفضاً ويزيد من ترسب هذه الأملاح النشاط الأيضي للجذر الذي يتم بكمية الطاقة المتوفرة أو الباقية والتي تدفع بكميات من الأملاح الذائبة إلى أوعية الخشب.

الانخفاض الشديد للجهد المائي في أوعية الخشب يقابله ثبات في ارتفاع للجهد المائي في الجذر حيث تتراكم المياه حول الجذر وداخل أوعيته مما يدفع بالمياه للصعود داخل أوعية الخشب بقوة نسبية تعادل الاختلاف في الجهدين بين الجذر والساق.

ولقد لُوحظ أن الضغط الجذري يتأثر بالعوامل التي تؤثر على عملية التنفس في النبات ولقد تم إثبات وجود تقلب يومي ذاتي "an autonomic diurnal flactuation" في عملية الارتشاح الناشئ عن الضغط الجذري وهذا التقلب هو نتيجة تغير في ترسيب أو تراكم الملح في الأوعية الخشبية وبالتال تغير في درجات الجهد الأزموزي.

ولقد تم قياس الضغط الجذري وكذلك تقلباته عن طريق وضع جذور نباتات مقطوعة المجموع الخضري في تربة مروية جيداً حيث يلاحظ ارتفاع نسبة الماء داخل الأنبوبة المدرجة الموصلة في طرف الساق المطوع.

ويعتقد البعض أن الضغط الجذري يمكن أن يُفسر لوحدة عمليات انتقال الماء وخصوصاً صعود الماء عبر الساق ونحو الأوراق وذلك أن قوة الضغط الجذري قد تبلغ ١ بار أو أكثر وهذا ما يساوي ١٠ أمتار لكل ١ بار ولكن هذا لا يكفي لبعض النباتات بالإضافة إلى أن مجموعة النباتات الصنوبرية Gymnosperms عاريات الجذور لا تمتلك الضغط الجذري ولم يثبت وجوده عندها وهذا مع العلم أن مثل هذه النباتات هي عملاقة في الطول.

أما النقطة الثانية التي تنفي كون الضغط الجذري هو السبب الوحيد أو حتى الأساسي في عملية الانتقال هو أن معدل الارتشاح يكون عادة أبطأ من معدلات النتح والذي يدخل في نظريات أخرى.

ولكن في حالة كون ظروف النتح ضعيفة جداً فربما يكون الضغط الجذري هو السبب الرئيسي في عملية انتقال الماء.

b- **نظرية Dixon او الشد المتماسك:** Dixon or Cohesion-Tension theory

تعتمد نظرية الشد المتماسك أو عمود الماء على الخواص أو الصفات المميزة للماء وأهمها التماسكية Cohesive واللاصقة Adhesive وكذلك على الخواص التشريحية لنسيج الخشب وخواص الماء هذه تعني أن جزئيات الماء تتماسك مع بعضها البعض وفي نفس الوقت تتماسك وتتلاصق مع جدار الأنبوبة أو الإناء التي يوضع به الماء وبالتالي لو وضع الماء في أنبوبة شعرية وأغلق طرفيها فإن عمود الماء داخل الأنبوبة لا ينقطع وسنرى ذلك.

فلو ملئنا أنبوبة زجاجية طويلة مفتوحة الطرفين بالماء ثم ثُبت على طرفها العلوي اسفنجة مبللة بالماء "أو جير صلب" وغُمس طرفها السفلي في كأس به ماء، نلاحظ هنا أن هناك اتصال مستمر في كل من الاسفنجة والأنبوبة الزجاجية والكأس دون أي انقطاع لاتصال الماء في هذا النظام.

إن أي فقد الماء عن طريق تبخر ماء الاسفنجة يسحب محله ماءً في الأنبوبة الزجاجية والتي بدورها تسحب من الكأس. وبالتالي معدل صعود الماء في الأنبوبة الزجاجية يتناسب طردياً مع معدل البخر من الاسفنجة.

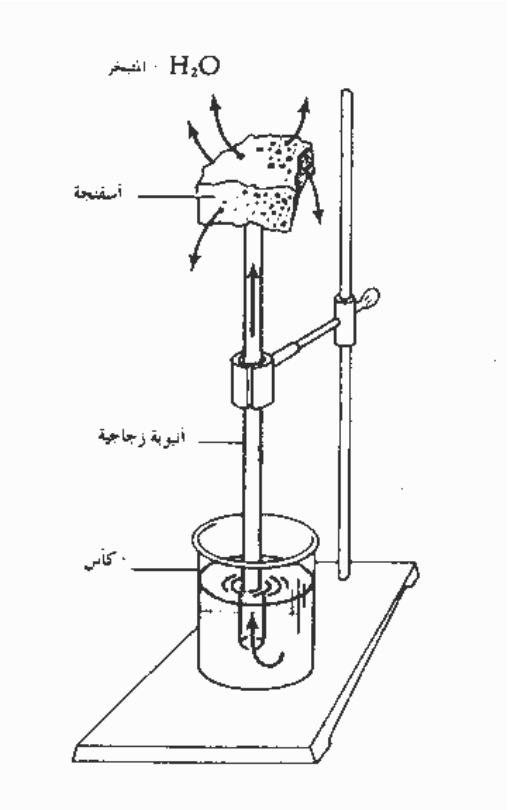
والسؤال هنا:-

كيف يكون ممكناً دفع الماء إلى الأنبوبة الزجاجية دون أن يحدث انقطاع لعمود الماء؟.

كيف يندفع عمود الماء إلى أعلى على جدار الأنبوبة الزجاجية بالرغم من أن عمود الماء هذا يقع تحت تأثير شد الجاذبية والاحتكاك بجدران الأنبوبة؟

إن صفات الماء التماسكية واللاصقة يمكن أن تفسر استمرارية وجود عمود الماء داخل الأنبوبة دون انقطاع ولكن تحرك الماء هذا يعتمد على ماذا؟

وفي المثال الفيزيائي المبين ادناه للنبات الذي ينمو تحت ظروف التربة الطبيعية يمكن أن نشبه ماء الكأس بماء التربة و الأنبوبة الزجاجية بالنسيج الوعائي الناقل للماء أي الخشب والسطح المبخر للإسفنجة بالسطح المبخر للنسيج الوسطي للورقة



الماء المتبخر من سطح الاسفنجة يحل محلة ماء من الانبوبة الزجاجية والتي بدورها تسحب الماء من الكاس لتعادل ما فقدته من ماء

فلو افترضنا عدم انقطاع عمود الماء الواصل بين ماء التربة والجذر وأعمدة الماء في الساق حتى الأوراق وهذا اعتماداً على خاصية الماء **التلاصقية والتماسكية** وهذه حقيقة أكيدة،

لإدراكنا كيفية انتقال الماء من التربة إلى الأجزاء العالية في النبات وذلك عكس الجاذبية الأرضية وعكس قوى الاحتكاك بجدر الأوعية الخشبية، وهذا لأن الماء لا يصعد إلى أعلى إلا إذا كان يخضع لقوى شد وجذب من أعلى وقوى دفع من أسفل، وفي مثلنا السابق لا توجد قوى دفع من أسفل إذاً فإن صعود الماء يعتمد أساساً على قوى الجذب والشد من أعلى.

ولكن كيف يتم تكوين قوى الشد والجذب العلوية؟

عندما يتم تبخر الماء من خلايا النسيج الأوسط للورقة (خلايا اسفنجية) فإن ذلك يسبب نقص في الجهود المائية (أي تصبح أكثر سالبية) للنسيج الأوسط للورقة الملاصق تماماً بالهواء المحيط وهذا النقص مقارنة مع خلايا نفس النسيج الملاصقة من الداخل.

هذا النقص يعمل على انتقال الماء من الخلية الداخلية إلى الخلية الخارجية ليعوض الماء المتبخر وليعادل الجهد المائي، والخلايا الداخلية تسحب في هذه الحالة ماءً من الخلايا الأكثر عمقاً منها وهكذا دواليك، هذه الحالة من **الشد** تستمر خلال العمود المائي الغير مقطوع من الأوراق إلى المجموع الجذري والجهد المائي في الخلايا الحية للمجموع الجذري على طول الجذر الخلوية يصبح أكثر سالبية بالنسبة إلى الجهد المائي للتربة وبالتالي يتم تنشيط وتشجيع الامتصاص.

ومن الصعب إثبات نظرية الشد باستعمال الأوعية الخشبية ولكن كل الملاحظات والاثباتات تدل على أن محتوى الخشب في النباتات الناتحة في حالة شد وإجهاد وهو ما يثبت هذه النظرية.

عندما يقع الماء في عناصر الخشب تحد الشد، وبسبب خواص الماء اللاصقة فإن ذلك يسبب انكماشاً في أقطار خلايا الخشب وبالرغم من أن هذا النقص لا يمكن قياسه في الخلايا الفردية إلا أن التأثير الكلي لهذا الشد يمكن تدوينه بواسطة جهاز يطلق عليه اسم الدندرجراف Dendergraph أو جهاز الرسم البياني للأشجار وهو يعطي تسجيلاً مستمراً للتغيرات في قطر الجذع خلال فترات من الزمن، وكما هو متوقع يوجد نقص في قطر خلال فترات النتح العالي وزيادة في فترات نقص النتح.

يمكننا الآن التساؤل هل تستطيع قوة الشد Tensile strength للماء تدعيم عمود الماء الذي يلزم للوصول إلى القمم العالية أم أن هناك قوى أخرى؟؟

.

إن الإجابة على هذا السؤال هي نعم، فإن قياسات قوى الشد للماء تزيد عن 300 بار ولصعود الماء إلى قمة شجرة طولها 400 قدم (120 متر) يحتاج اختلاف في الضغط بين القمة والقاعدة تساوي حوالي 13 بارز وهكذا نلاحظ أن قوى الشد كافية لتحريك ورفع الماء إلى أعلى حتى بوجود قوة الاحتكاك بجدران الأوعية.

إن هذه النظرية لارتفاع وصعود الماء في النبات تعتبر أكثر النظريات قبولاً ولكن هذا لا يعني أن الضغط الجذري غير قادر على تحريك الماء أو أنه لا يدخل في عملية تحريك ونقل الماء ولكنه وحده غير قادر على إيصال الماء إلى القمم العالي بالإضافة أنه لا يوجد في بعض الأشجار كالصنوبريات ولكنها تنشط عندما تقل عملية النتح عن النباتات.

وأخيراً يجب الإشارة إلى أن الظواهر الفسيولوجية مثل فقد الماء أو تراكم الذائب وتحركه وامتصاص العناصر والتي تسبب بطريقة مباشرة أو غير مباشرة زيادة في سالبية الجهود المائية وزيادة في تدرجها من مكان إلى آخر سوف يؤثر بشكل أكيد على تحرك الماء وانتقاله من مكان إلى آخر.

فقدان الماء Loss of water

٩٠-٩٨% من الماء المُمتص بواسطة الجذور تفقده النباتات بعدة طرق أهمها النتح Transpiration ويبقى 10-1% تستخدمه النباتات في عملياتها الأيضية المختلفة، ويتم فقدان الماء بعدة طرق منها بالإضافة للنتح، ظاهرة الأوماع Guttation والأفراز Secretion والأدماء bleeding.

بالنسبة للأفراز فما هو إلا عملية فقد الماء على صورة محاليل من الغدد glands ومن الغدد الرحيقية Nectaires، أما الأدماء فهو فقد الماء عن طريق الجروح التي قد تصاب بها النباتات، وكمية الماء المفقودة بهاتين الطريقتين تعتبر بسيطة جداً ولا قيمة لها، أما ظاهرتي الإدماع والنتح فهما الأهم وخصوصاً الأخيرة منها.

١- الأدماع: **Guattation**

تحت ظروف التربة الدافئة والرطبة تظهر على طول حواف أو قمم الأوراق نقاط مائية وفقد الماء بهذه الطريقة يسمى الأدماع.

العوامل التي تحفز الأدماع هي:-

- الامتصاص العالي للماء.
- الضغط الجذري المرتفع.
- انخفاض أو انعدام النتح لظرف ما.

وبمعنى آخر أنه تحت هذه الظروف الثلاثة فإن امتصاص الماء يفوق عملية النتح التي تعتبر العملية الأساسية والرئيسية لفقدان الماء، ويتم فقدان الماء بواسطة الأدماع عن طريق تراكيب متخصصة تسمى الثغور المائية Hydrothodes توجد أعلى قمم الورقة.

ومن المواد التي وجدت في سائل الأدماع نجد معظم الأملاح المعدنية (P, K, Na, Ca, Mg...) وكذلك كثير من السكريات مثل glucose، Fractose، Sucorose ... الخ. وكثيراً من الأحماض مثل glatomic acid، aspartic acid ... الخ، ومواد كثيرة أخرى مثل الدهون والبروتينات ويتراوح PH هذا السائل من ٥-٦.٧ في غالبية النباتات.

٢-النتح: **Transpiration**

تعتبر ظاهرة النتح الطريقة الأساسية التي يتم من خلالها فقدان معظم الماء الذي يمتصه النبات وعملية الفقد هذه تتم بصورة أساسية على شكل بخار، ويتم فقد الماء بهذه الطريقة عن طريق الفتحات أو الثغور التي تغطي سطح الأوراق النباتية وهذه الفتحات تسمى Stoma.

بالإضافة للنتح الثغري فإن النبات يفقد الماء مباشرة عن طريق التبخر عن سطح الأوراق والسيقان ولكن فقد الماء بهذه الطرق يعتبر شيئاً لا يذكر حيث أن الكمية تكون قليلة جداً وذلك بسبب وجود طبقة الأدمة التي تغطي الأوراق وهي مادة شمعية cutine والتي تعتبر غير منفذة للماء ولكن في بعض النباتات وعندما تكون هذه الطبقة رقيقة فإنه يمكن عن طريقها فقد كميات قليلة جداً من الماء.

أما بالنسبة للسيقان وخصوصاً تلك التي تحتوي على طبقات فلينية (Cork) وكما نعلم أن هذه الطبقات الفلينية تحتوي على فتحات صغيرة تسمى العديسات Lenticels عن طريقها يتم خروج الماء أيضاً وإن كانت كمية قليلة جداً، وفقد الماء عن طريق الأدمة الورقية يسمى cutlicular transpiration أما فقده عن طريق العدسات فيسمى Lenticular transpiration.

الكميات الفعلية التي يفقدها النبات خلال عملية النتح تعتبر كبيرة جداً فبعض النباتات العشبية يمكنها أن تفقد أو تستبدل كل الماء الموجود بها خلال يوم واحد وقد تم قياس ما تفقده شجرة واحدة طولها حوالي ١٥ متر في الخلاء فوجد أنه يقارب ٢٦٣ لتر خلال ساعة واحدة.

اللوبيا	*Phaseolus vulgaris*	٥٨ لتر/ خلال موسم النمو
البطاطس	*Solanium tubersum*	١١٤ لتر/ خلال موسم النمو
القمح	*Triticum sativum*	١١٤ لتر/ خلال موسم النمو
الطماطم	*Lycopersicum esculentum*	١٥٥ لتر/ خلال موسم النمو

الميكانيكيات الثغرية في الفتح والقفل

Stomatal Mechanisms of opining and closing

يحمل سطح البشرة للأوراق النباتية عامة عداً كبيراً جداً من الثغور تسمى Stoma (المفرد = Stomata) وهذه الثغور ميكروسكوبية الحجم ولهم تركيب خاص يناسب وظيفتهم، وعند فتح هذه الثغور كاملة فإن عرضها يقاس بحوالي 3-12 µ وطولها 10-12µ ويختلف عدد هذه الثغور من نبات إلى آخر ومن بيئة إلى أخرى وحتى من جهة إلى أخرى في نفس الورقة (انظر الجدول) وهناك عدد هائل من الثغور في مساحة الورقة ككل وبالرغم من هذا العدد الهائل إلا أن مجموع الثغور لا يمثل أكثر من 2% فقط من سطح الورقة وذلك في

حالة انفتاحها والاختلافات من نبات إلى آخر واضحة ففي نباتات أحاديات الفلقة نجد أن الفتحات تتوزع بشكل منتظم على سطحي الورقة في حين في ثنائيات الفلقة نجدها بعدد أكبر على السطح السفلي للورقة وهذه الاختلافات تناسب تماماً الوسط البيئي وكيفية التعرض للشمس أو للحرارة.

Plant Number of Stomata/mm^2		
	Upper Surface	Lower Surface
Monocot		
Wheat	50	40
Barley	70	85
Onion	175	175
Dicot		
Sunflower	120	175
Alfalfa	169	188
Geranium	29	179

كما أسلفنا فللفتحات تركيب خاص مميز يناسبها تماماً كثغور لإخراج الماء أي لعملية النتح فالفتحة أو الثغر هو عبارة عن تركيبة معينة من خليتين تسمى بالخلايا الحارسة Guard cells تتوسطهما فتحة Ostiole وتحاط الخلايا الحارسة بخلايا مساعدة من خلايا البشرة من جميع الجهات والخليتان الحارستان يشابهان في الشكل الكلية عند نباتات ثنائيات الفلقة ويشبهان الدامبلز عند نباتات احاديات الفلقة ولهما جدر خلوية سميكة جداً والفتحة المتوسطة Ostiole تستجيب مباشرة للتغيرات في الزيادة أو النقص في الجهد الأزموزي للخلايا الحارسة وهذا يسبب تغيراً في الجهد المائي ينتج عنه تحرك الماء من أو إلى الخلايا الحارسة.

فلو تحرك الماء إلى الخلايا الحارسة فإن تلك الخلايا تنبسط وعند امتلائها فإن الثغر يفتح ولو تحرك الماء منها للخارج فإن الخلايا تصبح مرتخية وهنا فإن الثغر يغلق.

ولكي يتأثر هذا التحرك للماء فلابد أن يحدث تبادل بين الخلايا الحارسة وكل من خلايا النسيج الوسطي Mesophyle وخلايا البشرة Epidermis cells المحيطة وتولد جهد أزموزي أكثر سالبية في الخلايا الحارسة يدفع الماء باتجاههم خارجاً من الخلايا المساعدة المحيطة بهم ومن ثم يتدفق الماء للخارج إلى الفتحة.

ولكي تتم عملية الفتح والغلق فإن تركيب الخلايا الحارسة يناسب هذة الميكانيكية المتقدمة حيث نلاحظ أيضاً أن الجدار الخلوي مغلظ بالألياف السيلولوزية وبالتالي اكثرسمكا خصوصاً في الخلايا الحارسة وبالذات في طرف الجدارالمواجة للثغر، في حين أن الطرف الخارجي البعيد عن الثغر لكل خلية حارسة يكون اقل سمكا ولايحتوي على مثل هذه الألياف السيلولوزية وهذا ما يساعد الخلية الحارسة على أداء وظيفتها عند امتلائها بالماء حيث أن الجدار الخارجي يندفع ويتقوس للخارج جاذباً معه الجدار المقابل السميك المقابل للثغر وكذلك بالنسبة للخلية الثانية وبالتالي فإن الثغر يفتح.

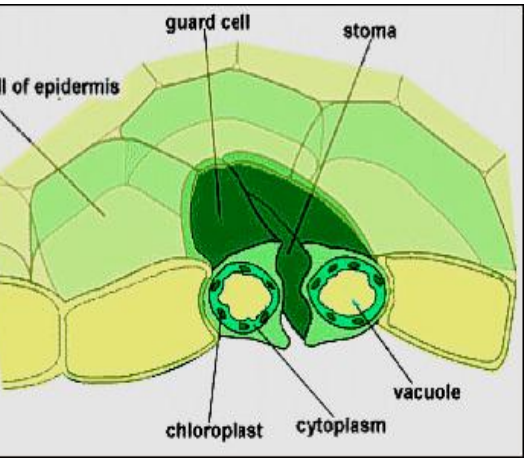
وتتم ميكانيكية الفتح والغلق على النحو التالي:

نظرية العالم سكارث Scarth أو The starch-sugar hypothesis

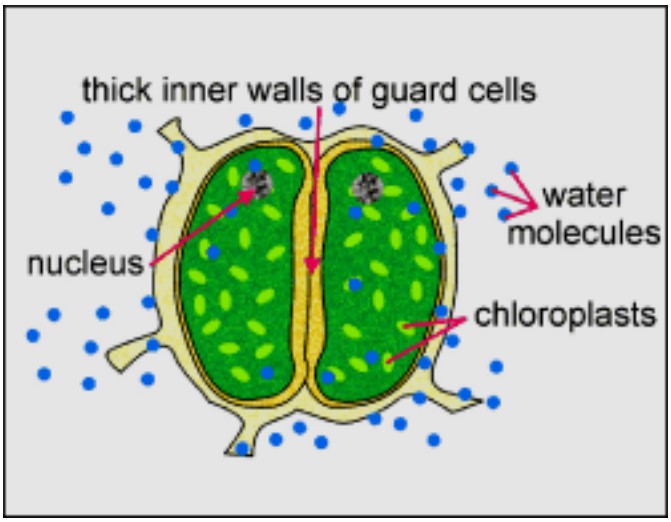
وقد تم اعتمادهذه النظرية بعد ان لاحظ العديد من العلماء ان نسبة النشا تكون مرتفعة في الخلايا الحارسة في الظلام وتكون منخفضة في وجود الضوء في النهار. كما ان ذلك يقترن مع ارتفاع للpH عندما تكون الثغور مفتوحة حيث يصل الى 6-7 بينما تنخفض هذه النسبة عند غلق الثغور الى 4-5 من هذه الملاحظات تم الاستنتاج ان فتح الثغور في الضوء ناتج من ارتفاع في ال pH الذي ينشط انزيمات تحويل النشا الى سكر خافضا جهد الخلايا الحارسة.

ارتفاع ال **pH** في الضوء ناتج عن خفض نسبة ثاني اكسيد الكربون الذي يستعمل او يمتص في عملية التمثيل الضوئي خلال النهار اوخلال وجود الضوء مما يؤدي الى نقص في تكوين الاحماض. اما في الليل فيحدث العكس حيث يتم اطلاق كميات كبيرة من ثاني اكسيد الكربون بسبب توقف امتصاصة في عملية التمثيل الضوئي المتوقفة وكذلك بسبب اطلاقة من خلال عملية التنفس الخلوي وهذا الرتفاع يؤدي الى خفض ال **pH** أي زيادة الحموضة وهذا ما يعمل على تحول السكر الى نشاء عن طريق تنشيط انزيمات مثل **Phosphorylase**.

التفصيل كالتالي (أنظر الشكل)



الثغور (stoma) التي توجد بشكل اساسي على السطح السفلي للورقة وللسيقان الغضة تكون مفتوحه بشكل بسيط.
كل ثغر محاط بخليتين حارستين تحتويان على كمية كبيرة من الكلوروبلاست. الجدار الداخلي المواجة للفتحة لكل خلية يكون اكبر سمكا من طرفة البعيد عن الفتحة.
اذا الثغر لة تركيبا مناسبا حيث انة يستطيع التحطم في عماية النتح، فعندما يكون مغلقا لايوجد نتح وعندما يفتح يتم النتح.

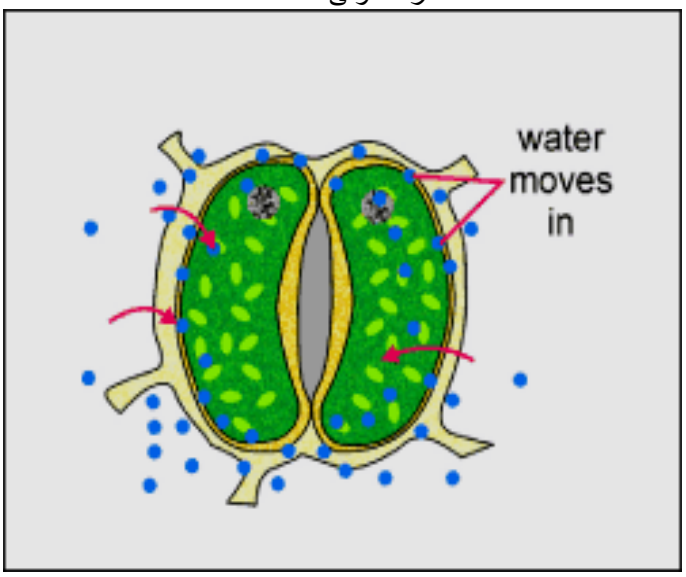


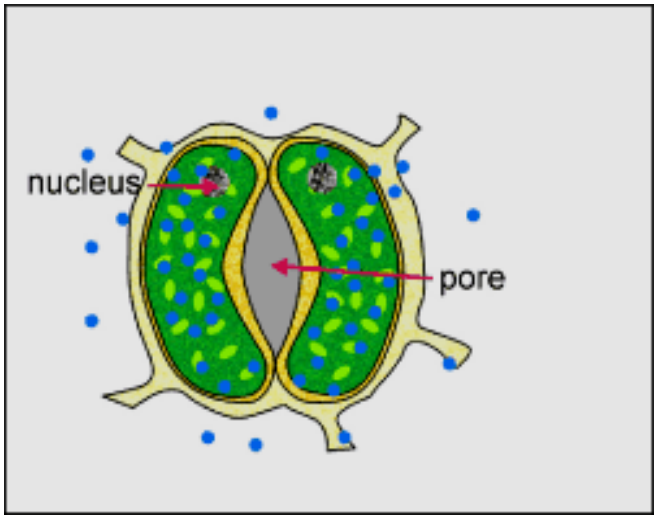
السؤال ألان هو كيف يتم الفتح؟

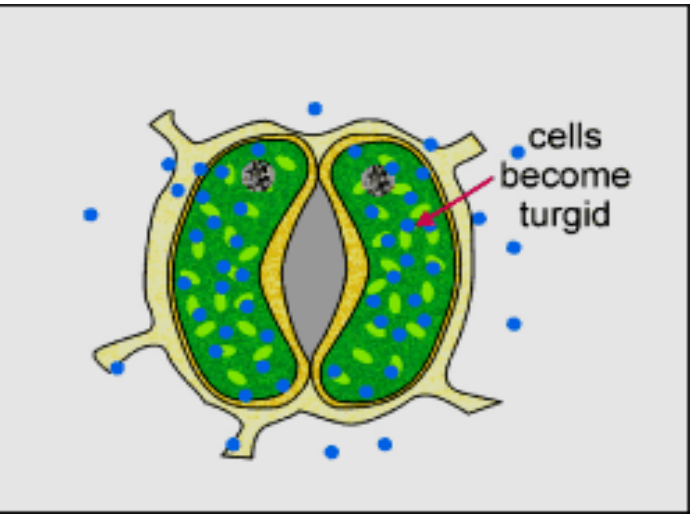
عمليتي الفتح والغلق يتم التحكم بهما بواسطة التغير في الضغط الأزموزي داخل الخلايا الحارسة:

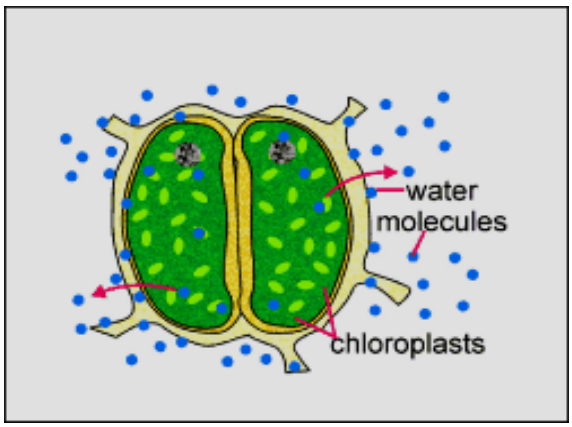
لنلاحظ ماذا يحدث:

خلال النهار: يقوم النبات بعملية التمثيل الضوئي في البلاستيدات الخضراء للخلايا الحارسة، حيث يتم **تكوين السكر** خلال النهار، وهذا السكر المتكون يعمل على خفض الضغط في الخلايا الحارسة ونسبة ثاني اكسيد الكربون تنخفض نتيجة لامتصاصه واستخدامه في عملية التمثيل الضوئي وهذا الانخفاض يعمل على انخفاض pH أي يصبح حموضة الخلايا الحارسة او ارتفاع ال وسط الخلايا الحارثة اكثر قاعدية.
هذا الوسط القاعدي يشجع **تحول النشاء الى سكر** عن طريق تنشيط انزيم ال Phosphprylase ، هذا الانزيم حساس جدا لعملية التغير في ال pH .
إذا زيادة السكر من عملية التمثيل الضوئي مباشرة رغم قلة كميتها وكذلك تحول النشاء اللى سكر عن طريق يعمل على نقص في تركيز **pH** وزيادة ال CO_2 خفض الماء داخل الخلية، وهذا النقص في تركيز الماء يعمل مما على **انخفاض في الجهد المائي للخلايا الحارسة**









خلال الليل:

التمثيل الضوئي ينتهي **وتكوين السكر يتوقف** وبالتالي سحب ثاني اكسيد الكربون يتوقف ويستمر التنفس الخلوي وبالتالي نسبة ثاني اكسيد الكربون تزداد في محيط الخلايا الحارسة.

أي ان الوسط يصبح اكثر pHهذة الزيادة تسبب انخفاض ال حموضة وهذا مايسبب **تحول السكر الى نشاء** في الخلايا الحارسة وبما ان النشاء لايذوب في الماء فسيسبب هذا ارتفاع الجهد المائي للخلايا الحارسة مقارنة مع جهد الخلايا المساعدة او خلايا البشرة المحيطة وهذا الارتفاع يدفع بالماء خارج الخلايا الحارسة فينخفض الضغط على الجدار الخلوي فيعود الى مكانة فيغلق الثغر.

ويجب الإشارة هنا إلى أن العوامل البيئية وبعض المركبات لها تأثير مباشر على عملية انفتاح وإغلاق الثغور على الرغم من بساطة هذه النظرية إلا أنها تعتبر غير كافية لتفسير فتح وغلق معظم الثغور وذلك نظراً للآتي:-

1- الخلايا الحارسة في البصل لا تحتوي على نشاء مطلقاً والثغور تفتح وتغلق أيضاً.
2- إن التغير في تركيز Co2 غير كافي لاحداث التغيرات المذكورة في درجة الحموضة للخلايا الحارسة ولا يتناسب مع التغير الفعلي في درجة الحموضة من **5 الى7** أي وحدتين والذي أمكن قياسه في أثناء انتفاخ الخلايا الحارسة. (Sutcliffe, 1979)
3- إن التحول الداخلي للنشاء إلى سكر يعتبر بطئ جداً مقارنة مع سرعة استجابة الثغور وعملية الفتح.
4- لا توجد في هذه النظرية أي دلالة على تأثير الضوء الأزرق في فتح الثغور والذي ثبت انه يلعب دورا رئيسيا في عملية الفتح والغلق.

النظريات الحديثة لتفسير فتح وغلق الثغور في خلايا النبات

ولتفسير وفهم هذه العملية سنتطرق إلى جزأين وهما:

١- ما هي العوامل التي تؤثر على عملية الفتح والغلق

٢- كيف تتم حركة الثغور للفتح والغلق

أولا/ هناك العديد من العوامل التي تقود أو تؤثر على عملية الفتح والغلق:

a- نظام داخلي المنشأ أي ما يمكن تعريفة بالساعة البيولوجية

الثغور عادة تفتح خلال النهار وتغلق خلال الليل (بعض النباتات العصارية التي تعيش في المناطق الحارة والجافة لها نظام عكسي وذلك حتى تقتصد في فقد الماء وتحافظ علية). رغم ذلك فإن الثغور تبقى تفتح وتغلق على مدار أل 24 ساعة حتى لو عرضت إلى ضوء مستمر.

مرحلة الفتح والغلق ممكن أن تتحول أو تتغير في أي وقت من اليوم وذلك بالتحكم في نهاية المرحلة المظلمة.

b- التوازن المائي: التوازن المائي للنباتات أو مستوى احتوائها من الماء يلعب دورا في عملية فتح وغلق الثغور. النباتات الذابلة تغلق ثغورها ويعتقد أن منظم النمو أو هرمون حمض الأبسسيك يلعب دورا وسيطا في هذه الظروف حيث يؤدي إلى الإغلاق حتى في ظروف الفتح العادية. حيث لوحظ أن نقص الماء الشديد في جذور النبات يمكن أن يرسل عبر أوعية الخشب تأثيره إلى الثغور في الأوراق عبر إشارة من خلال حمض الأبسسيك.

c- ثاني أكسيد الكربون CO_2/ مستوى منخفض من ثاني أكسيد الكربون يسبب فتح الثغور. إذا كانت نسبة ثاني أكسيد الكربون منخفضة في الهواء حول الثغور في الظلام ممكن أن يتسبب ذلك في فتح الثغور على غير العادة. والعكس ارتفاع ثاني أكسيد الكربون يسبب غلق الثغور.

d- الضوء/ يسبب الضوء فتح الثغور. الحد الأدنى من الضوء لفتح الثغور عند معظم النباتات يتراوح بين 1/30 إلى 1/1000 من مجمل الضوء وهو الحد الكافي لبدء عمل تمثيل ضوئي كامل. الموجات الزرقاء ذات الأطوال الموجية بين 430-460 nm تعتبر أكثر فعالية بعشر مرات من موجات الضوء الأحمر ذات الأطوال الموجية 630-680 nm.

ثانيا/ كيف تتم حركات الفتح والغلق؟

الموجات الضوئية الزرقاء تمتص بواسطة صبغة الزياكثانسين zeaxanthin وهي عبارة عن (a carotenoid pigment) هذا يؤدي الى تنشيط مضخة البروتونات في اغشية الخلايا الحارسة مما يعمل على ضخ البروتونات (ايون او بروتون الهيدروجين)* خارج سيتوبلازم الخلايا الحارسة مولدا حركة نشطة للبروتونات (protone motive force) أي تدرج كهروكيميائي عبر الغشاء مما يحدث تغيرات كبيرة في ال pH (حيث تتغير من 5-4 الى 7-6) منتجا توترا عبر الاغشية تصل احيانا الى 120 فولت هذا مايؤدي ال فتح القنوات البروتينية التي تسمح بالتدفق السلبي لايونات البوتاسيوم الموجبة الى داخل الخلايا الحارسة لكي يعادل خروج البروتونات. يتم ايضا دخول ايونات الكلوريد السالبة عن طريق تزاوجها (coupled) مع بعض البروتونات العائدة عبر القنوات (Cl/H symport) (حتى يتم معادلة واتزان الشحنات الكهربائية) (*انظر مضخة الايونات*). هذا التراكم الايوني يعمل على خفض الجهد داخل الخلايا الحارسة مؤديا الى انتفاخ الخلايا الحارسة وبالتالي فتح الثغور.

*عملية تكسير النشا إلحمض الفسفواينول بيروفيك ((phosphoenol pyruvate (PEP) تتنشط بواسطة الضوء الأزرق. ال (PEP) المتكون يتحد مع ثاني أكسيد الكربون مكونا الاكزالو استيك أسد (oxaloacetic acid) الذي يتحول بدورة إلى حمض الماليك (malic acid). ايونات الهيدروجين المتكونة من حمض الماليك هي الايونات التي يتم ضخها للخارج عبر الغشاء البلازمي في مضخة الايونات التي تم ذكرها سابقا.

وبالتالي يظهر هنا ان امتصاص ايونات البوتاسيوم داخل الخلايا الحارسة ناتج عن تكون بروتونات الهيدروجين من حمض الماليك في الخلايا الحارسة. هذا يسبب زيادة في المواد التي تسبب انخفاض الجهد الازموزي في الخلايا الحارسة والناتج عن تكسر النشا داخلها.

هذا التراكم الايوني وانخفاض الجهد داخل الخلايا الحارسة يزداد مع تقدم النهارعن طريق تكوين السكر الناتج من بدء نشاط عملية التمثيل الضوئي وكذلك ايضا فإن الضوء الازرق يعمل على تحلل النشا إلى سكر.

يعتقد بعض العلماء حمض الأبسسيك (ABA) في بعض النباتات يعمل على تغير ضغط الامتلاء دون أن يحدث تغير في الجهد المائي داخل وخارج الخلايا الحارسة وهذا التغير غالبا يؤدي إلى غلق الثغور حيث أن هذا الحمض يلعب دورا في الغلق.

أيضا هناك العديد من المعلومات التي تشير إلى زيادة ايونات الكالسيوم في سيتوبلازم الخلايا المساعدة في حالات الغلق وهذا ربما بتأثير فتح وغلق القنوات الأيونية في الغشاء الحيوي (زيادة نفاذية بعض الايونات عبر الغشاء مثل ايونات الكالسيوم).

- هناك بعض الاستثناءات الأخرى بالنسبة للضوء فعلى سبيل المثال:

- نباتات مثل البطاطس، البصل، الكرنب تغلق بعد ٣ ساعات من غروب الشمس ويمكن أن تغلق في النهار إن عرضت للذبول في حين أن نبات ذيل الحصان *Equisetum asvense* تظل مفتوحة حتى لو تعرضت للذبول.

- ثغور بعض النجيليات تفتح ساعة أو اثنين خلال النهار وبعضها لا يفتح إطلاقاً.

الحرارة أيضاً تلعب دوراً مهماً في عملية فتح وغلق الثغور ويرتبط هذا العامل مع عوامل أخرى مثل الضوء فبدرجة حرارة أقل من (0) حتى في الضوء فإن بعض النباتات تبقي ثغورها مغلقة وعند رفع درجة الحرارة فإن الثغور تفتح وهذا حال نبات، القطن و الكاميلياء. ولكن في درجة حرارة عالية(30˚ فما فوق) فإن فتح الثغور يقل وهذا ناتج عن أن درجات الحرارة العالية تؤثر على تركيز Co_2 حيث يرتفع تركيزه في المسافات البينية وهذا ناتج عن زيادة معدل التنفس.

<u>ويعتقد ان التغيرات في الفتح والغلق والمخالفة للتنظيم البيولوجي الطبيعي للنباتات تنتج بفعل تأثير هرمونات الفتح والغلق اي السيتوكيين وحمض الابسيسيك بالترتيب حيث ان الثغور</u> تبدو تحت تأثير آلية تشمل الفعل المتعارض لهذين الهرمونين ويتم تشجيع الثغور على الانفتاح وذلك على تراكيز من السيتوكيين، تتراوح بين μ 0.01-0.05 molor بينما يؤدي حمض الابسبسبك إلى إغلاق الثغور على نفس التراكيز، وهذان الأنزيمان يعملان على تنظيم فتح وغلق الثغور بناء على تأثيرهم على التدفق الأيوني.

<u>العوامل التي تؤثر على عملية النتح</u>

A- العوامل البيئية

١- **الضوء**/ له تأثير مباشر على عملية فتح وغلق الثغور وبالتالي على معدل النتح.

٢- **الرطوبة (رطوبة الهواء):** Air humidity

ترتبط الرطوبة بدرجة الحرارة، وتزداد قدرة الهواء على حمل بخار الماء كلما ارتفعت درجة حرارته ويطلق على أكبر كمية يستطيع حملها اسم ضغط أو كمية التشبع Saturation pressure وتسمى النسبة بين كمية البخار التي يحملها الهواء على درجة حرارة معينة وبين الكمية اللازمة لإشباعه في نفس الدرجة بالرطوبة النسبية Relative humidity ويعبر عنها بالنسبة المئوية ويسمى الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء فعلاً وبين الكمية اللازمة لتشبعه بنقص التشبع Saturation deficit.

يكون الهواء داخل المسافات البينية في خلايا الورقة في حالة تشبع كامل ببخار الماء، بينما يكون الهواء الجوي الخارجي على درجة أقل من التشبع وبنتيجة لذلك يخرج بخار الماء من المسافات البينية للخلايا إلى الهواء ويزداد معدل خروجه بازدياد الفرق في درجة التشبع للهواء وللمسافات البينية بين خلايا الورقة أو بمعنى آخر يزداد النتح بازدياد نقص التشبع في الهواء الخارجي.

ويجب الإشارة هنا أن التشبع ببخار الماء يعني انخفاض سالبية الجهد المائي أي ارتفاع الجهد المائي ونقص التشبع ببخار الماء يعني ارتفاع السالبية للجهد المائي أي انخفاض الجهد المائي.

٣- درجة الحرارة: Air temperature

كما ذكرنا سابقاً بالنسبة للرطوبة فهناك ارتباط بين العاملين حيث أن زيادة درجة الحرارة تزيد الفرق بين كمية البخار التي يحملها الهواء والكمية اللازمة لتشبعه، أي بعبارة أخرى يزداد نقص تشبع الهواء، ومع ازدياد نقص تشبع الهواء المحيط بالأوراق يزداد خروج الماء من الثغور ويرتفع معدل النتح.

٤- حركة الرياح: Air movement

تكون طبقة الهواء المحيط أو القريب من سطوح الأوراق النباتية مشبعة ببخار الماء وبازدياد النتح يزداد سمك طبقة الهواء المشبع وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح وهنا يأتي دور الرياح حيث أن تحركها يعمل على إزالة الطبقة المشبعة بالماء من حول الأوراق وتحل محلها طبقة أقل تشبعاً مما يعمل على اختلاف الجهد المائي بين الداخل والخارج وبالتالي يزداد النتح.

وبالتالي كلما زادت سرعة الرياح ازدادت عملية النتح حتى تصل سرعة الرياح إلى ٨كم/ساعة وهنا تصبح الزيادة في النتح تدريجية إلى أن تصل سرعة الرياح إلى ٣٤كم/ساعة وهذا ما يؤدي إلى تقليل النتح بسبب التبريد وبالتالي إغلاق الثغور.

تعمل حركة الرياح أيضاً إلى تحريك أوراق الأشجار ويساعد ذلك على تجديد الهواء الموجود في الغرف الهوائية في الجهاز الثغري ليحل محله هواء أكثر جفافاً.

٥- الضغط الجوي: Atmospheric pressure

تؤدي زيادة الضغط إلى زيادة كثافة الهواء وبالتالي انخفاض نسبة تبخر الماء من المسافات البينية إلى الجو وبالتالي انخفاض معدل النتح.

٦- رطوبة التربة: Soil Moisture

نقص رطوبة التربة يعني نقص معدل الامتصاص وبالتالي نقص الماء بالنسبة للنبات إلى منطقياً نقص معدل النتح، وبالتالي كل العوامل التي تؤدي إلى نقص امتصاص النبات للماء (تهوية، ارتباط حبيبات الماء بالتربة، زيادة تركيز الأملاح) تعمل على نقص معدل النتح.

٧- غاز Co_2

يؤدي ازدياد استهلاك Co_2 إلى فتح الثغور وزيادة النتح وزيادة تراكمه يؤدي إلى إغلاق الثغور وبالتالي نقص النتح.

B - عوامل النبات: Plant factors

١- مساحة سطح الورقة: Leaf surface area

يزداد النتح بازدياد مساحة الورقة، ولكن يجب ملاحظة أن **معدل النتح** أي وزن الماء المفقود على مساحة السطح الناتح يزداد كلما قلت مساحة السطح الناتح وذلك بشكل اساسي عندما تكون كمية الماء الممتصة ثابتة، ايضا معدل النتح في الأوراق الحديثة قليلة المساحة أكبر من معدل النتح في الأوراق البالغة كبيرة المساحة.

تؤدي إزالة نصف الأوراق من شجرة إلى زيادة معدل النتح في الأوراق المتبقية بنسبة تتراوح ما بين 20-90% عما كان عليه قبل إزالة الأوراق، وذلك لأن كمية الماء المفقودة كلياً تنخفض، إلا أن معدل النتح يزداد، ويرجع السبب في ذلك الى ان التوازن القائم اساسا بين المجموع الجذري والخضري يختل فتبقى كمية الماء الممتصة كبيرة وتقل مساحة السطح الناتح فيزداد معدل النتح.

وعلى هذا الاساس ينصح برفع جميع الاوراق او جميع السطح الناتح عند نقل النبات من منطقة الى اخرى وذلك حتى يتوقف النتح وتحتفظ النبتة او الشجرة بالماء الموجود في داخلها مدة كافية بحيث تستطيع ان تثبت نفسها في المكان الجديد وتعاود نشاطها الامتصاصي.

٢- تركيب الورقة: Leaf structure

كلما زادت طبقة الأدمة (المكونة من مادة الكيوتين الغير نفاذة) كلما قلت عملية النتح ومن جانب آخر كلما زادت مساحة النسيج المتوسط Measphyle كلما زادت عملية النتح وهنا نلاحظ عادة ان العلاقة بين مساحة النسيج المتوسط وسمك طبقة الكيوتين تتناسب وذلك حسب النبات تماماً وحسب الظروف البيئية و الفسيولوجية، أيضا فإن وضع الورقة في اتجاه الشمس عمودياً أو أفقياً يؤثر على معدل النتح.

٣- نسبة المجموع الجذري/ للمجموع الخضري Root-Shoot Ratio

إن كفاءة سطح الامتصاص (سطح الجذر) والسطح الناتج (سطح الورقة) هما المتحكمان في معدل النتح.

فلو أن امتصاص الماء يكون أقل من النتح فإن النبات سوف يعاني من نقص الماء داخله وبالتالي سوف يتأقلم بتقليل النتح.

:م/٤ **تغذية النبات:** Plant Nutrition

مقدمة:

إن مقدرة الخلايا الحية على استعمال المواد من المحيط الذي تعيش فيه في تركيب خلاياها وكمصدر للطاقة لمكوناتها الخلوية هي ظاهرة مميزة للحياة. إن تجهيز وامتصاص المركبات الكيميائية التي يحتاجها الكائن الحي لنموه وفعالياته الحيوية يمكن إن تعرف بالتغذية (Nutrition) والمركبات الكيميائية التي يحتاجها الكائن الحي تسمى بالمادة الغذائية (Nutrient) وان العمليات التي بواسطتها تتحول المواد المغذية إلى أجزاء خلوية أو تستعمل كمصدر للطاقة هي عمليات حيوية (Metabolic process). وان العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم تشمل مختلف التفاعلات التي تحصل في الخلية الحية من اجل استمرارية النمو والحياة. لهذا فان التغذية والعمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ذات علاقة قوية بعضها ببعضها الآخر.

إن العناصر الغذائية الضرورية التي يحتاجها النبات الأخضرمقتصرة على العناصر ذات الطبيعة اللاعضوية (Inorganic matter) ففي هذه الحالة يختلف النبات الأخضر أساسا عن الإنسان والحيوان والكائنات الحية الدقيقة التي تحتاج بالإضافة إلى العناصر غير العضوية مركبات عضوية كمادة غذائية.

يعرف العنصر الضروري بأنه العنصر الذي تتوفر فيه الشروط التالية:

١- تحتاجه جميع النباتات في دورة حياتها الاعتيادية.
٢- وظيفته لا يمكن إن تعوض بمركب كيمائي آخر.
٣- يدخل مباشرة في تغذية الكائن الحي.

واعتمادا على هذا التعريف الذي وصفه (Arnon& Stout 1939) فالعناصر الكيمائية التالية تعرف الآن بالعناصر الضرورية للنبات:

العنصر	الرمز	العنصر	الرمز	العنصر	الرمز	العنصر	الرمز
الكربون	C	الوتاسيوم	K	النحاس	Cu	الصوديوم	(Na)
الهيدروجين	H	الكاليسيوم	Ca	الخارصين	Zn	السيليكون	(Si)
الأوكسيجين	O	المغنيسيوم	Mg	الموليبدنم	Mo	الكوبلت	(C0)
النيتروجين	N	الحديد	Fe	البورون	B		
الفسفور	P	المنغنيز	Mn	الكلور	Cl		
		الكبريت	S				

إن العناصر التي وضعت بين الأقواس والتي هي الصوديوم والسيلكون والكوبلت لم تثبت لحد الآن كعناصر ضرورية وأساسية لكل النباتات ففي حالة الصوديوم Na هناك قسم قليل من الفصائل النباتية مثل فصيلة رجل الأوزChenopodiaceous والفصائل التي تأقلمت للظروف المالحة تمتص هذا العنصر بكميات كبيرة نسبيا، الصوديوم ذو تاثير ايجابي على النبات وفي بعض الحالات يكون ضروريا للنبات.

السيلكون يعتبر عنصرا ضروريا الرز. والكوبلت لبعض النباتات مثل النجيليات. ان عنصر الكلور هو العنصر الذي ثبت حديثا كونه عنصرا ضروريا لنمو كل النباتات الراقية عام ١٩٦٩ م، حيث يلعب دورا كبيرا وضروريا في عملية التركيب الضوئي.

تقسيم العناصر الغذائية :-

إن العناصر الغذائية للنبات يمكن ان تقسم الى قسمين هما العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients والصغرى Micronutrients .

العناصر الغذائية الكبرى هي العناصر التي وجدت بالنبات ويحتاجها بكميات اكبر نسبيا من العناصر الصغرى. إن ما موجود في أجزاء النبات من العنصر الغذائي الكبير كالنتروجين مثلا هو أكثر ألف مرة أو أكثر مما هو موجود من عنصر الزنك في أجزاء النبات.

تبعا لهذا التصنيف واعتمادا على محتوى المادة النباتية للعنصر الغذائي، فالعناصر التالية يمكن أن تعرف بالعناصر الكبرى وهي:

Ca , K , S , P , N , O , H , C , Mg , (Na , Si).

والعناصر الغذائية الصغرى وهي:

Cl , B , Mo , Zn , Cu , Mn , Fe , (Co) .

هذا التقسيم لعناصر النبات الغذائية إلى عناصر كبرى وصغرى يكون أحيانا اعتباطيا وفي كثير من الحالات تكون الفروقات في محتوى النبات من العناصر الكبرى والصغرى اقل مما هو عليه في المثال الذي ذكر سابقا.

من الناحية الفسيولوجية يكون من الصعب جداً تبرير تصنيف العناصر الغذائية للنبات إلى عناصر صغرى وكبرى اعتمادا على تركيز العنصر في أجزاء النبات ولهذا فان تصنيف العناصر الغذائية طبقا لنشاطها الفسيولوجي والكيموحيوي يكون أكثر ملائمة وتقسم العناصر الغذائية في النبات حسب نشاطها الفسيولوجي إلى أربع مجموعات كما هو موضح في الجدول التالي:-

جدول (٢) تصنيف العناصر الغذائية في النبات طبقا لنشاطها الفسيولوجي.

العنصر الغذائي	الامتصاص	الوظائف الكيموحيوية
المجموعة الأولى **C , H , O , N , S**	**على شكل CO_2 , H_2O , HCO_3 , SO_4^{-2}, N_2 , NH_4^+, O_2 , NO_3^- , SO_2**	**مركبات رئيسية للمادة العضوية ، عناصر أساسية لعمل انزيمات التمثيل بواسطة تفاعلات الأكسدة والاختزال .**
المجموعة الثانية **P , B , Si**	**على شكل فوسفات وحامض بوريك وبورات وسليكات في محلول التربة**	**عملية الاسترة مع مجاميع الكحول في النبات ، أسترات الفوسفات تدخل في تفاعل مثل الطاقة .**
المجموعة الثالثة **K, Na, Mg, Ca, Mn , Cl**	**على شكل ايونات في محلول التربة**	**تثبيت الجهد الازموزي ، تنشيط الإنزيمات، تعمل كروابط للتفاعلات ، موازنة الايونات القابلة وغير القابلة للانتشار .**

المجموعة الرابعة **Fe , Cu , Zn , Mo**	**على شكل ايونات أو مواد مغلفة (chelated)في محلول التربة**	**تتداخل مع المواد المكملة (prosthetic)، يمكن انتقال الاليكترونات بتغيير التكافؤ.**

وظائف العناصر الغذائية المعدنية Function of Mineral Nutrient:

النتروجين Nitrogen (N):

يعد النتروجين عنصرا ضروريا للنبات فهو يدخل في بناء النبات والفعاليات ويتواجد في الأحماض النووية، البروتين ، الكلوروفيل ،NAD , NADP.

الفسفور Phosphorus (P):

أهم مكونات الأحماض النووية ، الليبيدات phospholipids مثالها Lecithins والتي هي احدى مكونات الاغشية السايتوبلازمية ويدخل في ADP و ATPوالتي هي عبارة عن مركبات حاملة للطاقة ومهمة في العمليات الحيوية .

المغنيسيوم Magnesium (Mg^{++}):

مكون ضروري لجزيئة الكلوروفيل ويتحد مع بروتينات نباتية عديدة.

وان ايون الـMg يكون منشط لعدد من الإنزيمات خصوصا تلك التي تعمل على المواد المفسفرة ومنها الـ-ATP ases.

الكالسيوم Calcium (Ca^{++}):

بصورة بكتات الكالسيوم. يكون مكون رئيسي للجدران الخلوية النباتية ومكون ضروري للأغشية الحيوية والحفاظ على سلامتها وخواصها. ويعتبر الكالسيوم منشأ لأنزيم الاميليز Amylaseوبدرجة أقل لأنزيمات ATP-ases ومن المعتقد انه ينظم pH العصير الخلوي.

البوتاسيوم Potassium(K^{+}):

لم يكن مكونا لأي جزيئة عضوية وهو منشط لأنزيم الـ Pyruvate Kinase ومنشطا للأنزيمات المساعدة في عملية بناء الكاربوهيدرات.

الكبريت Sulphur (S):

يتواجد كمرافق إنزيمي Coenzymes كما في الـcoenzyme , thiamin, biotin، ويتواجد في الأحماض الامينية مثل الـ Methionine,Cystine , Cysteine والتي تتواجد في البروتين.

وان الروابط الكبريتية— $S - S$— تلعب دورا مهما في تحديد تركيب البروتين ومجموعة (-SH)تكون الجزء الوسطي النشط للأنزيمات.

الحديد Iron (Fe):

يكون الحديد في المجاميع التكميليةProsthetic لبروتينات معينةخصوصا الـCytochrome والتي لها وظيفة في نقل الاليكترونات وبعض الأنزيمات مثل الـPeroxides و dehydrogenate . وللحديد وظيفة متخصصة في تمثيل الكلوروفيل حيث أن مركب Iron-porphyrin يتكون كمركب وسطي لكن لايدخل في جزيئة الكلوروفيل نفسها . ويعتبر الحديد مهم في تركيب الـFerredoxin الذي يعتبر حامل اليكتروني في عملية الفسفرة وتمثيل النتروجين .

النحاس (Copper(Cu:

يعد إحدى مكونات الـMetallo-enzymes العديدة مثل ascorbic acid oxidase , tyrosinase , cytochrome oxidase ويعمل كمستقبل اليكتروني وسطي في أكسدة المواد.

المنغنيز (Manganese (Mn:

منشط لمعظم الأنزيمات الناقلة للفوسفات.

الزنك (Zinc(Zn:

يعتبر الزنك منشطا لأنزيم Carbonic anhydrase والذي يساعد في التفاعل التالي: $H_2O + CO_2 \rightleftharpoons H^+ + HCO^-_3$

ولوقت قريب جدا عُرفت أوشُخّصت بعض الأنزيمات التي تحتوي على الزنك مثل مجموعة إنزيمات dehydrogease ومجموعة إنزيمات الـpiptidse.

الموليبدنم(Molybdenum (Mo:

مهم في تثبيت النيتروجين و تمثيل النترات.منشط لبعض الأنزيمات مثل الـnitrate reductase وال nitrogenase المهم في العقد البكترية يحتوي أيضاً على الموليبدنم.

البورون(Boron (B:

يعمل كمنظم للعمليات الحيوية. مهم جدا في انتقال السكريات عبر الأغشية الخلوية بتكوين معقد من بورات السكر Borate sugar complex. مهم في عملية الإنبات (خاصة الـgrass)بسبب تأثيره على تخليق حامض الجبرلينGiberellic acid. له دور في نمو حبوب اللقاح.

الكلور و الصوديوم (Chloride(Cl) & Sodium(Na:

إن دور هذين العنصرين في العمليات الحيوية للنبات غير مؤكدة .ولكن يعتقد بأن الكلور يعمل كناقل اليكتروني في عملية الفسفرة الضوئية photophosphorylation.

أما الصوديوم (Na) فهو معروف كمنشط في نقل أنزيمات الـATP-ases في الحيوانات ويعتقد نفس الشيء في النبات. ويمكن للصوديوم أن يحل محل البوتاسيوم في عملية تنظيم أزموزية الخلايا الحارسة لبعض النباتات وكذلك في الـ halophytes (النباتات التي تتحمل الملوحة).

دليل نقص العناصر الغذائية في النبات:

Key to Nutrient Deficiency Symptoms in Plants:

١- <u>تغيرات لونية في الأوراق السفلى:</u>

N النتروجين: لون النبات اخضر فاتح والأوراق السفلى صفراء.

P الفسفور: لون النبات اخضر غامق مع صغر حجم النبات والأوراق.

K البوتاسيوم: بقع فهوائية اللون على الأوراق وتحّرُق الحواف الخارجية للأوراق السفلى.

Mg المغنسيوم: ظهور بقع أوشرائط صفراء على الأوراق السفلى بين العروق ثم تصبح هذه الأوراق ذات اللون أحمر بنفسجي من الحافة إلى آخر الورقة.

Zn الزنك: اصفرار واضح بين العروق ويصبح لون الأوراق برونزي، وظاهرة الأوراق الصغيرة (little leaf) حيث تكون متجمعة متوردة (Rosette). وتشمل الأوراق الحديثة أيضاً.

٢- <u>تغيرات لونية في الأوراق العليا:</u>

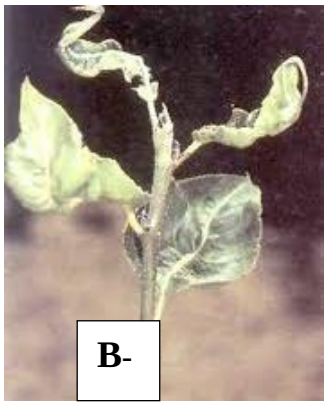
أ. موت البرعم الطرفي:

Ca الكالسيوم: تأخر ظهور الأوراق الأولية مع موت البراعم الطرفية.

B البورون: اصفرار الأوراق القريبة من القمة النامية مع تلون البراعم النامية باللون الأبيض أو القهوائي الفاتح مع موت الأنسجة.

ب. بقاء البرعم الطرفي حي:

S الكبريت: تلوّن الأوراق بما فيها العروق باللون الأخضر الفاتح إلى الأصفر حيث تظهر على الأوراق الحديثة أولاً.



Fe الحديد: تكون المناطق بين عروق الأوراق ذات لون أصفر إلى أبيض.

Mn المنغنيز: تكون الاوراق باللون الرمادي المصفرأوالرمادي المحمر مع بقاء العروق خضراء.

Cu النحاس: تكون الأوراق الحديثة باللون الأصفر الفاتح المنتظم مع احتمال ذبول الأوراق مع تكوّن شكل مدبب في نهاية الأوراق (تلتف) مكونة شكلاً يشبه الخطاف مع تبرقش.

Cl الكلور: ذبول الأوراق العليا مع تبرقُش وإصفرار.

Moالموليبدنم: ذبول الأوراق الحديثة مع موتها على طول الحواف.

وبجب تذكر دائماً النقاط التالية قبل الحكم على أعراض نقص العناصر:

١. هنالك عدة محاصيل نباتية تبدأ بفقدان الحاصل قبل ظهور أعراض النقص وتدعى هذه الفقرة (بالنقص المخفي) Hidden Hunger. حيث أن النقص المخفي ممكن أن يقلل الإنتاجية والنوعية بدون ملاحظة أي أعراض نقص على النبات. وهنالك حقول كثيرة تعاني من هذه المشكلة.

٢. إن أعراض النقص ليست دائماً واضحة المعالم فالتداخل مع عناصر أخرى أو أمراض أو حشرات ممكن أن تمنع التشخيص الدقيق لأعراض النقص وحتى كمية الرطوبة في التربة قد تتداخل مع هذه الأعراض.

م/٥ : التنفس Respiration

ينتج عن عملية البناء الضوئي السكريات (مركبات عضوية) بها طاقة كيميائية مخزونة على هيئة روابط كيميائية الشكل رقم .(1) هذه المركبات العضوية تستغلها خلايا النبات والحيوان، إذ تقوم بتكسيرها وخزن الطاقة الناتجة على هيئة روابط فوسفاتية ذات طاقة عالية في والذي يرمز له اختصار بالرمز triphosphate Adenosine مركب ثلاثي فوسفات الأدينوزينالشكل رقم (2) وهذه هي ما يعرف بالتنفس الخلوي (ATP) .يعد التنفس الخلوي الذي يحدث معظم تفاعلاته في الميتوكوندريا جزء من النشاطات

الكيميائية للخلايا والذي يعرف بالأيض الهدمي حيث يوفر *الطاقة المطلوبة لعمليات الأيض البنائي و *مواد خام (المركبات الوسطية الناتجة من سلسلة التفاعلات) كمركبات بادئة لعمليات البناء.

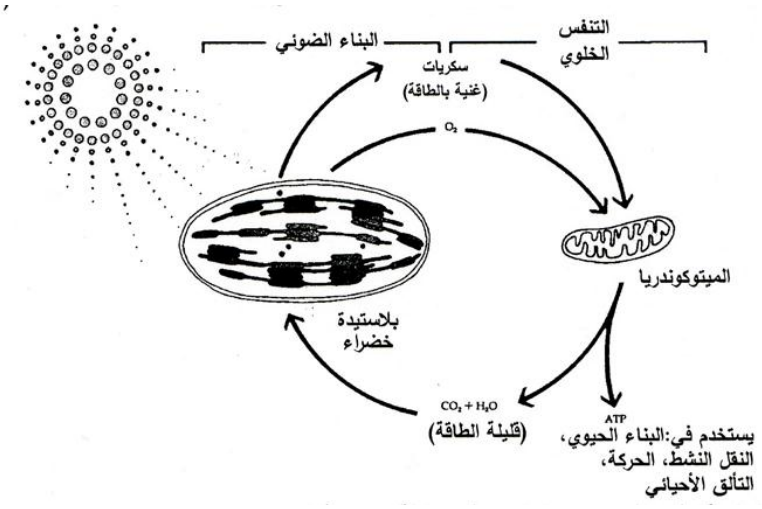
بعض هذه المركبات الوسطية تتحول إلى:

١. الحوامض الأمينية التي تدخل بدورها في تركيب البروتينات.

٢. والبعض الآخر تحولها الخلية إلى النيوكليوتيداتNucleotides التي تدخل بدورها في تركيب الحوامض النووية (DNA and RNA).

٣. والقسم الآخر من هذه المركبات تتحول إلى الحوامض الدهنية التي تدخل بدورها في تركيب الدهون Lipids.

٤. كما إن هذه المركبات الوسطية تعتبر المصادر الكاربونية لعديد من الصبغات كالبورفرين(Porphyrin)،السايتوكرومات(Cytochromes)، والستيرولات(Sterols) وإلى العديد من المركبات العطرية (Aromatics).



الشكل رقم .(1) رسم تخطيطي لتدفق الطاقة الشمسية في العالم الأحيائي.

والتنفس عملية أكسدة للمواد الغذائية واخت ا زل للأكسجين لتكوين الماء فمثلا سكر الجلوكوز عندما يدخل في التنفس يكون إجمالي التفاعل لأكسدته عند ما يكون الأكسجين هو المستقبل النهائي على النحو التالي:

$$C6H12O6 + 6O2 \rightarrow 6CO2 + 6\ H2O + Energy$$

وهذا التفاعل منتج للطاقة بما يعادل 686 - سعرة/جزيء .

من المواد الغذائية المستهلكة في التنفس النشا والسكروز و الجلوكوز وغيرها من السكاكر والمواد الدهنية والأحماض العضوية ، و قد تستعمل البروتينات كمواد أولية للتنفس تحت ظروف معينة.

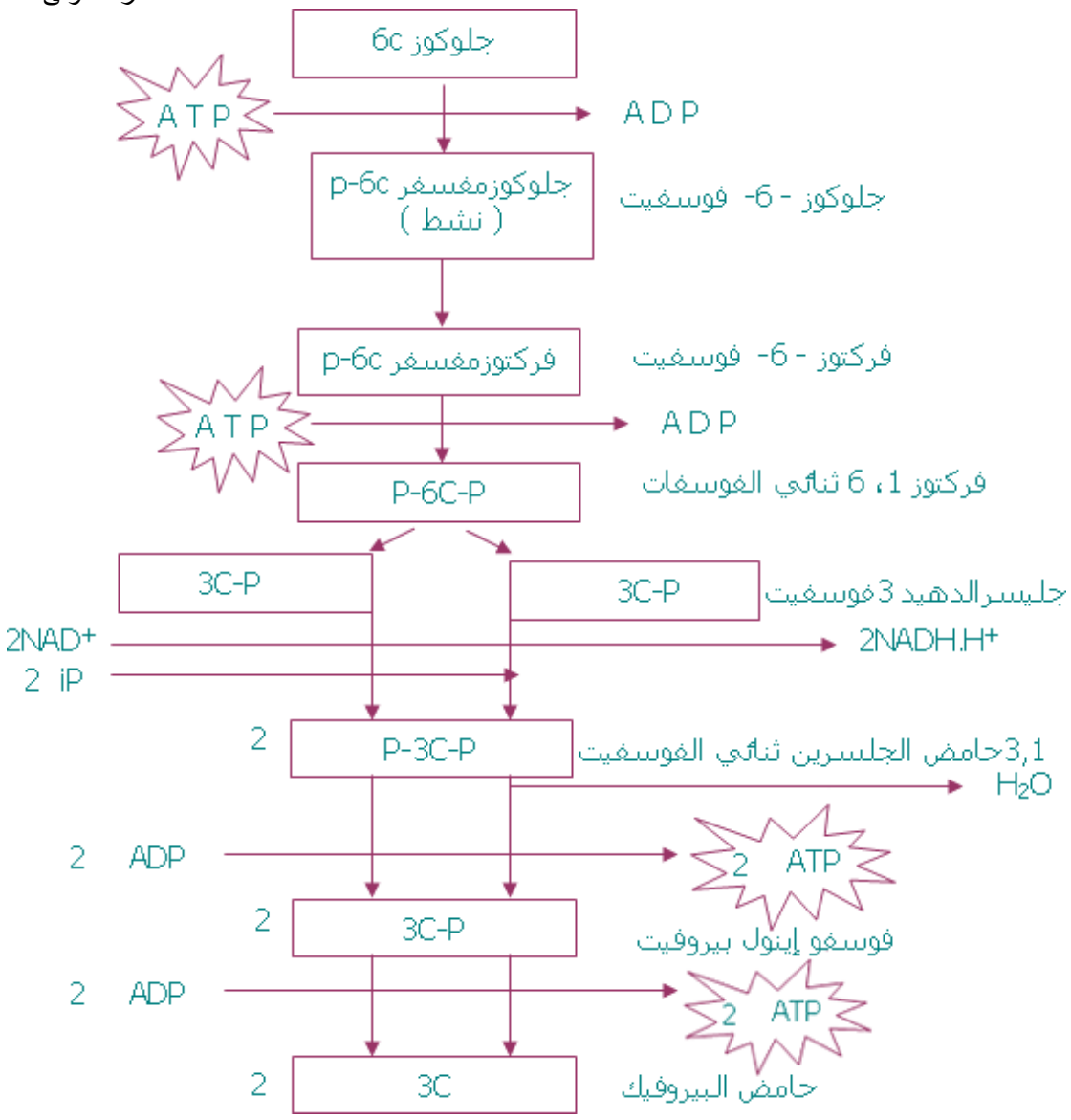
تعد الخلايا الحية ديناميكية، تكسر المواد وتعيد بناء المواد باستمرار حسب الحاجة ولا تتوقف عن القيام بذلك إلا عند ما يكون معدل الهدم أعلى من معدل البناء وتصل الخلية إلى طور الشيخوخة .على العموم فالتنفس الخلوي جزء من آليات الشغل الكيميائي الحيوي .وللتبسيط وسهولة معالجة الموضوع اعتاد العلماء على تمييز نوعين من التنفس الخلوي :فهو إما أن يكون هوائيا وإما لا هوائيا حسب وجود الأكسجين ونوع الكائن الحي.

التنفس الخلوي الهوائي Aerobic Respiration

هذا النوع من التنفس هو السائد في النباتات الخضراء والحيوانات الراقية ويشتمل على مجموعة من التفاعلات المتتالية يمكن تقسيمها للتبسيط إلى ثلاث مراحل رئيسية هي التحلل السكري ودورة كربس وسلسلة نقل الإلكترونات.

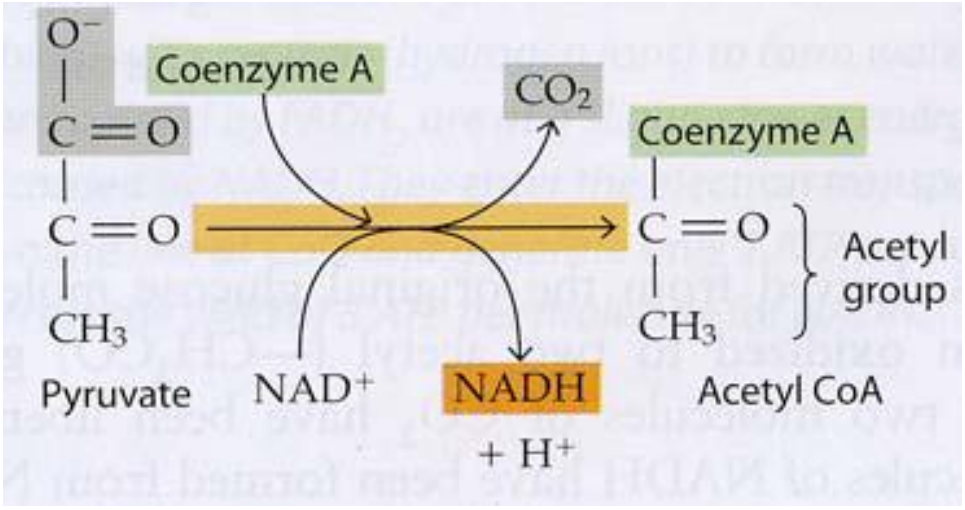
التحلل السكري Glycolysis

وهو مجموعة من التفاعلات المتتابعة في تسع خطوات يتم بموجبها شطر جزيء الجلوكوز ذي الست ذارت من الكربون إلى جزيئين من مركب ذي ثلاث ذارت من الكربون وهو حمض البيروفيك .هذه التفاعلات تتم في سيتوبلازم الخلية إذ أن الإنزيمات اللازمة لإتمام هذه التفاعلات موجودة في السيتوبلازم وهذه المرحلة من التنفس موجودة في جميع الكائنات الحية . إن هذه المرحلة من التنفس الخلوي تتم في عدة خطوات كما هي موضحة في الشكل ادناه إن ناتج تفكك الجلوكوز هو :جزيئتان من حامض البيروفيك واربع جزيئات من ATP وجزيئتان من (NADH + H+) ، بينما استخدمت الخلية جزيئين من ATP لتهيئة جزيء الكلوكوز. وخلاصة تفاعل التحلل السكري هي:



في خطوة تمهيدية اثناء دخول البيروفيت إلى الميتوكوندريا وقبل بدء دورة كربس يحدث تفاعل لحمض البيروفيك يتم فيه نزع جزيء ثاني أكسيد الكربون واتحاد الجزء المتبقي وهو (Acetyl CoA) المجموعة الأسيتيلية مؤقتا مع مساعد إنزيمي، ليتكون أستيل المساعد الإنزيمي أ كما في المعادلة التالية والشكل ادناه:

Pyruvate + NAD+ + CoA-SH→ acetyl-S-CoA + NADH + H+ + CO2



.

كربس دورة Krebs's Cycle

هذه الدورة تعرف باسم آخر وهو دورة الحمض ثلاثي الكربوكسيلTricarboxylic acid cycle أو بالاختصار(TCA) لأن بعض الأحماض الموجودة في الدورة تحوي ثلاث مجموعات كربوكسيلية .تبدأ الدورة بمادة التفاعل الأساسية وهي أستيل المساعد الإنزيمي أ حيث يتحد مع الحمض العضوي رباعي ذرات الكربون أكسالوأستيك ليتكون الحمض العضوي سداسي ذرات الكربون السيتريك ويتحرر المساعد الإنزيمي أ ليتحد مع مجموعة أسيتيلية أخرى .تنتج عن هذه الدورة أربعة جزيئات من $NADH+H^2$.**الأولى** تتكون عند تأكسد حامض البايروفيك إلى أسيتايلكو أي Acetyl Co A. **الثانية** تتكون عند تحول حامض الستريك إلى حامض ألفاكيتوكلوتاريكα- ketoglutaricacid . **الثالثة** تتكون عند تأكسد حامض الماليك إلى حامض ألفاكيتوكلوتاريك إلى حامض سكسينيكCo A. **الرابعة** تتكون عند تأكسد حامض الماليك إلى حامض الأوكزاليك.

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

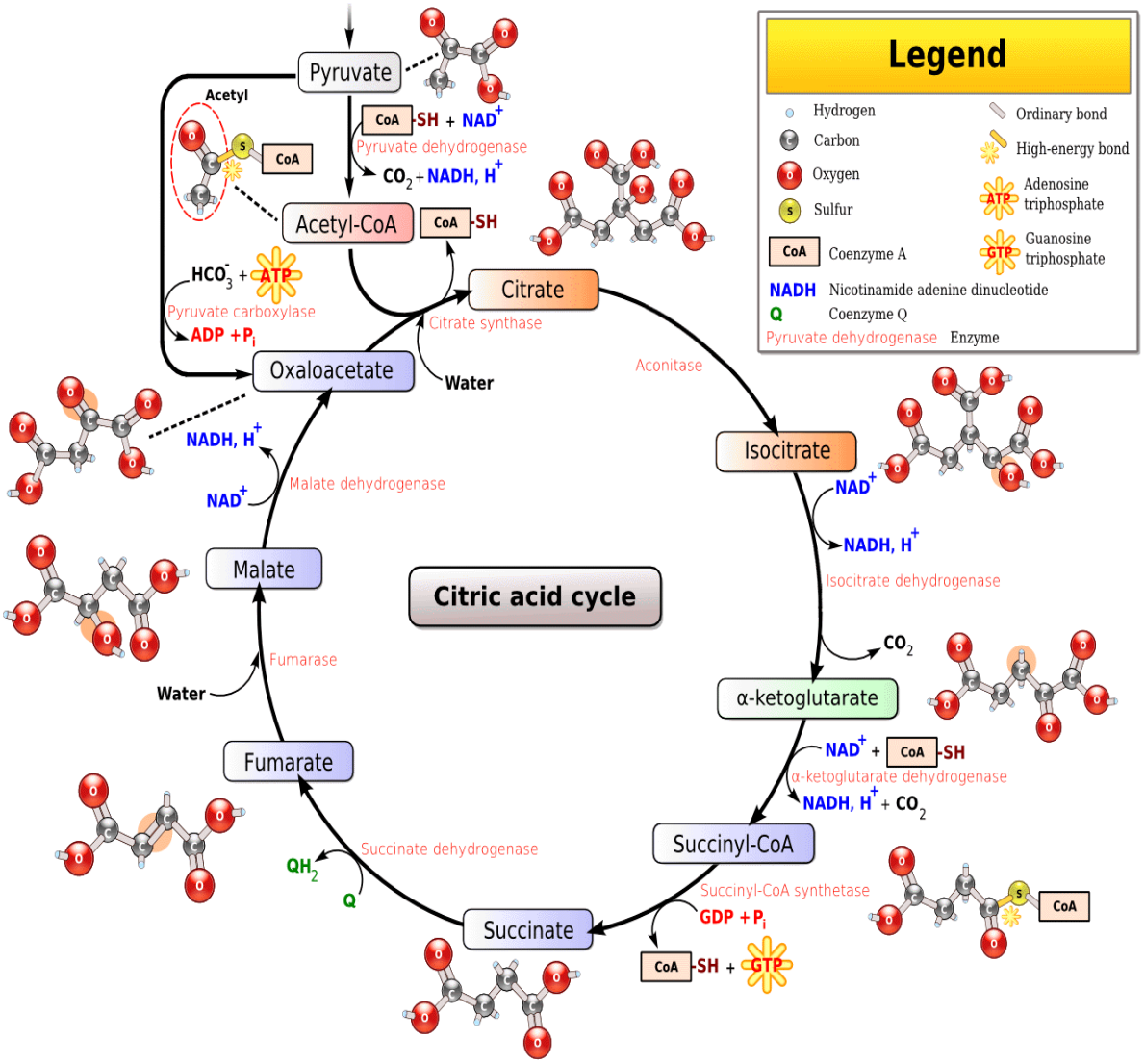
تحرر CO_2**الأولى** عن طريق تحول:

Pyruvic acid → Acetyl Co A

الثانية isocitric acid → α –Ketoglutaric acid

الثالثة α –Ketoglutaric acid → Succinic acid

ويوضح الشكل ادناه خطوات دورة كريبس بالتفصيل:



سلسلة نقل الإلكترونات Electron Transport Chain

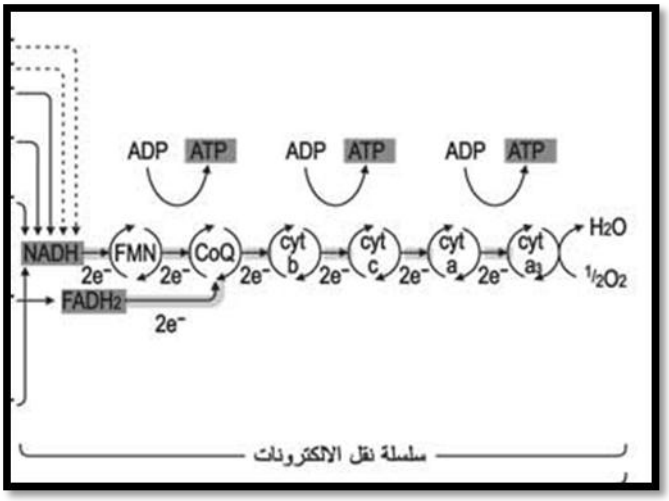
تتألف سلسلة نقل الإلكترونات من مجموعة من المركبات الناقلة للإلكترونات حيث تكون هذه النواقل مراكز(ويوجد منها عدة آلاف) في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا .تترتب هذه النواقل في المركز الواحد بطريقة معينة بحيث تنتقل الإلكترونات خطوة تلو الأخرى من مركب ذي جهد تأكسدي اختزالي منخفض أي من الصعب اختزاله حسب قوانين الديناميكا الحرارية إلى مركب آخر ذي جهد تأكسدي اختزالي أعلى من سابقه حتى ينتهي المطاف بالإلكترونات إلى الأكسجين الذي يتصف بجهد تأكسدي ختزالي عال بالنسبة لهذه المركبات المكونة لسلسلة نقل الإلكترون، وهنا يتحد الأكسجين مع أيونات الهيدروجين لتكوين الماء .ويعتقد أن الترتيب متتابع بحيث يكون نقل الإلكترون في اتجاه واحد وحسب فرق الجهد .وكل مركب لا يتقبل الإلكترونات إلا من المركب الذي يسبقه فقط.

ينتقل الإلكترون من NADH وهو المستقبل الأول للإلكترون الى المرافق الإنزيمي (FMN)

بعد ذلك إلى المرافق الإنزيمي كيو ثم يتدرج في نظام السيتوكروم حتى يصل إلى الأكسجين في الترتيب العام التالي دون ذكر للنواقل الوسطية:

NADH → FMN → CoQ → Cyytb → Cytc → Cyta → Cyta3 → O2

وقد اقترحت عدة نماذج" موديلات "لتوضيح المسار الذي تجري فيه هذه الإلكترونات والترتيب الذي تتخذه هذه المركبات كما في الشكل التالي.



يوضح الجدول رقم (1) ملخصا لكمية الطاقة المخزنة في مركب (ATP)ومصدرها عند تكسير جزيء الكلوكوز.

المصدر	الطاقة الناتجة	الطاقة الناتجة على شكل ATP	مجموع ATP الكلي (الصافي)
من التحلل السكري	2 ATP 2 NADH	2 ATP ٤ATP	٦ATP
من البيروفات إلى أستيل المساعد الإنزيمي أ	2 × (1 NADH)	2 × (3 ATP)	6 ATP
دورة كريبس	2 × ATP ٢ × 3 NADH	2 × ATP 2 × (9	2 ATP 18 ATP

	2 1 FADH2 ×	ATP) 2 × (2 ATP)	4 ATP
المجموع			٣٦ ATP

م/٦و٧ : البناء الضوئي: Photosynthesis

مقدمة:

تختلف النباتات الخضراء عن معظم الكائنات الأخرى كونها ذاتية التغذية (autotrophic) أي انها تكون قادرة على تكوين غذائها بنفسها عن طريق تحويل CO_2 اللاعضوي إلى مواد عضوية سكرية بواسطة الطاقة داخل جهاز غاية في التنسيق والترتيب يُعرف البلاستيدة الخضراء (chloroplast) بعكس الكائنات الحيوانية التي تعتمد في غذائها على المصادر الخارجية للمواد الغذائية العضوية ولذا تسمى (Heterotrophic).

وتعرف عملية البناء الضوئي بانها مجمل العمليات الحيوية التي تستطيع من خلالها النباتات الخضراء والتي تحتوي على صبغة الكلوروفيل من تصنيع موادها العضوية من مواد لاعضوية وتترافق هذه العملية عادة مع تحرير الأكسجين .

كما تعرف ايضا بانها عملية تحويل الطاقة الشمسية الفيزيائية إلى طاقة كيميائية مخزونة في تركيب المواد العضوية الداخلة في بناء الخلية.

ويمكن التعبير عن عملية البناء الضوئي بالمعادلة العامة:

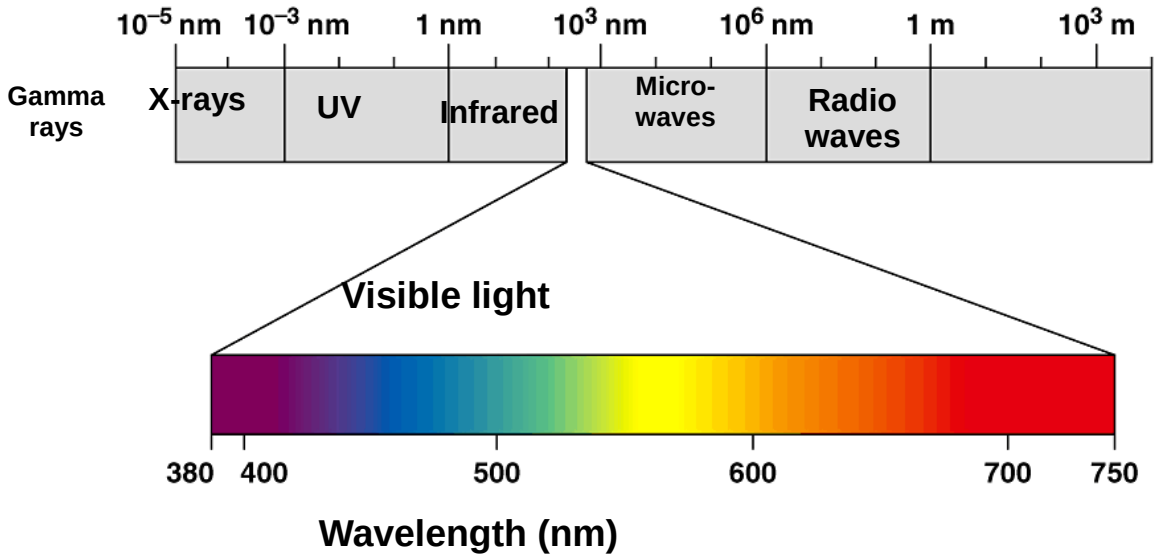
$$light + 6\ H^2O + 6\ CO2 \longrightarrow C6H12O6 + 6\ O2$$

بإستثناء القوة التي ولدت من التفاعلات الداخلية لنواة الذرة، والتي استخدمها الإنسان حديثاً كمصدر للطاقة، فإنّ الشمس كانت ولا تزال المصدر الوحيد للطاقة تقريباً لجميع أنواع وأشكال الحياة. وبما أن الإنسان يعتمد في غذائه على النباتات الخضراء وبعض من الكائنات الحيوانية الأخرى، فانه بصورة غير مباشرة يعتمد في بقائه على الطاقة الشمسية.

ان عملية التركيب الضوئي تحول ٢٠٠ 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 إلا أنّ النباتات الخضراء تعتبر غير كفوءة في استخدام الطاقة الشمسية التي تسقط عليها. ان مقدار الطاقة التي تنتجها عملية التركيب الضوئي التي تقوم بها النباتات فوق سطح الكرة الأرضية تقدر بحوالي ٣٣ سعرة/سم^3 من سطح الأرض سنوياً. هذا يعني بان عملية التركيب الضوئي تحول فقط $\frac{1}{2000}$ من الطاقة

المتاحة لها فعلاً. ولكن هذا الرقم هو حسابي (نظري) وليس واقعي والسبب هو أنّ كميات كبيرة من الأشعة الشمسية تسقط على مساحات واسعة من سطح الكرة الأرضية التي تخلو من النباتات كالمناطق الصحراوية والجبال الخالية من النباتات والأعشاب.

إنّ النباتات تستجيب وتتحسس للأشعة الضوئية المرئية (التي تراها عين الإنسان) . وان الطيف المرئي يشتمل على الموجات الضوئية التي تتراوح أطوالها بين ٤٠٠-٧٠٠ مليمايكرون والتي تستطيع العين المجردة من رؤيتها.



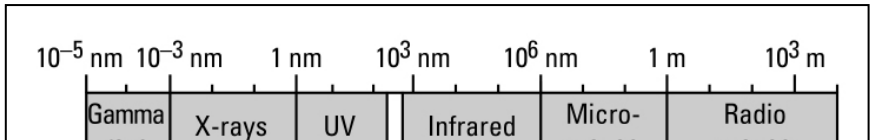
***مراجعة تركيب البلاستيدة الخضراء (للاطلاع

صبغات البناء الضوئي

تمثل هذه الصبغات مركبات عضوية تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلي طاقة كيميائية للنبات كي يتمكن من إكمال الجزء الآخر من العملية وهي تكوين المواد الكربوهيدراتية.

تقسم الأصباغ إلى ثلاث مجموعات رئيسية :-

- ١-الصبغات اليخضورية : Chlorophylls (وهي الصبغات الرئيسية)
- اليخضور (أ) الذي تعتبر أهم صبغات البناء الضوئي على الإطلاق ويوجد عند جميع النباتات التي تقوم بهذه العملية.
- اليخضور (ب) الذي يوجد مترافقاً مع اليخضور (أ) ومساعداً له،إنما كميته أقل من كمية اليخضور (أ) .



٢- الصبغات الشبيه بالكاروتين ;Carotenoids(صبغات مساعدة)

- تقسم إلى مجموعتين رئيستين :ـ
- - الكاروتينات :وهي صبغات لا يدخل الأكسجين في تركيبها الكيميائي .
- - الزانثوفيلات : يدخل الأكسجين في تركيبها

٣- الفيكوبيلينات phycobilines (صبغات مساعدة)

- تقسم إلى ثلاثة أنماط من الصبغات وهي :-
- الفيكوارثيرين ذو اللون الأحمر
- الفيكوسيانين ذو اللون الأزرق
- اللوفيكوسيانين ذو اللون الأزرق

مراحل عملية التركيب الضوئيStage of Photosynthesis

تتضمن عملية البناء الضوئي سلسلة من التفاعلات الكيميائية ، يتم فيها امتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية تختزن في المركبات العضوية . تشمل عملية البناء الضوئي مرحلتين متميزتين تبعاً لحاجتهما للضوء ولكنهما مرتبطتان ببعضهما:

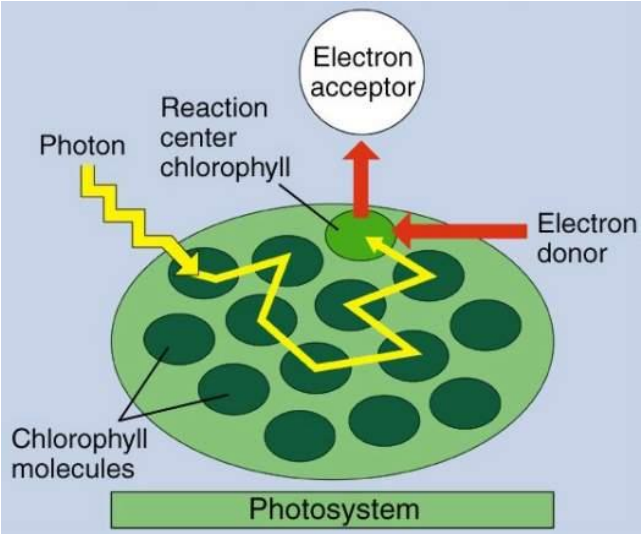
١. المرحلة الضوئية.

٢. مرحلة الظلام.

التفاعلات الضوئية تمثل هذه التفاعلات مجموعات تفاعلات أكسدة و اختزال ويتم خلالها تحويل الطاقة الضوئية الممتصة إلى طاقة كيميائية ولذا فهي تتأثر بالضوء بشكل مباشر.يوجد نظامان لإمتصاص الطاقة الضوئية في البلاستيدات الخضراء -يتكون كل نظام من (٢٠٠ – ٣٠٠) جزيء كلوروفيل وعوامل ناقلة للإلكترونات . - النظام الضوئي الأول يمتص موجات الضوء بطول (٧٠٠) نانومتر . - النظام الضوئي الثاني يمتص موجات الضوء بطول (٦٨٠) نانومتر.

يعمل هذان النظامان عملاً متكاملاً لامتصاص الطاقة الضوئية ، إذ تمتص جزيئات الكلوروفيل وبعض الأصباغ المساعدة في كل نظام الطاقة الضوئية وتركزها وتنقلها إلى جزيء كلوروفيل خاص في كلا النظامين

يسمى مركز التفاعل reaction center والذي يعد الجزيء الوحيد في كل نظام ضوئي القادر على إطلاق إلكترونات مهيجة (غنية بالطاقة) بسبب امتصاصها الطاقة الضوئية



***تتكون مركبات طاقة من خلال عملية الفسفرة الضوئية وتتم هذه العملية بأحدي الطريقتين**

ـ فسفرة ضوئية حلقية (دائرية) :تنتج خلالها مركبات طاقة علي صورة ATP

ـ فسفرة ضوئية لاحلقية (لا دائرية) :تنتج خلالها مركبات طاقة علي صورتي ATP and NADPH+H.

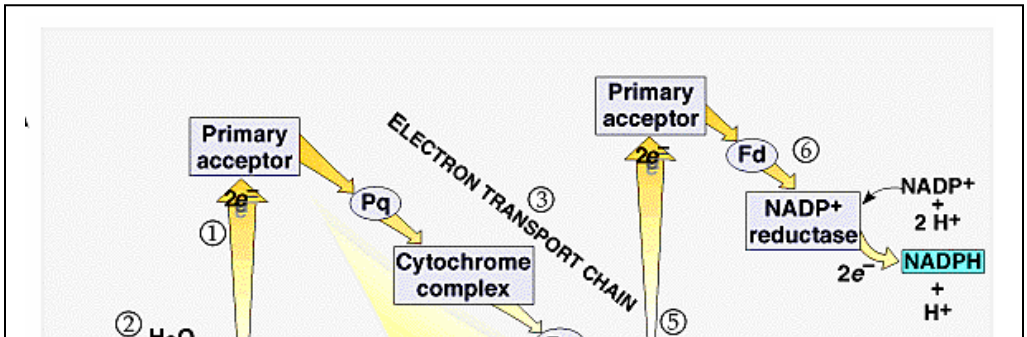
أ -التفاعلات الضوئية اللاحلقية -:

تمتص جزيئات الكلوروفيل في النظام الضوئي الأول موجات الضوء بطول (٧٠٠) نانومتر وتنقلها إلى مركز التفاعل مؤدية إلى إطلاق إلكترونات مهيجة (غنية بالطاقة) ويحدث فقد للإلكترونات .

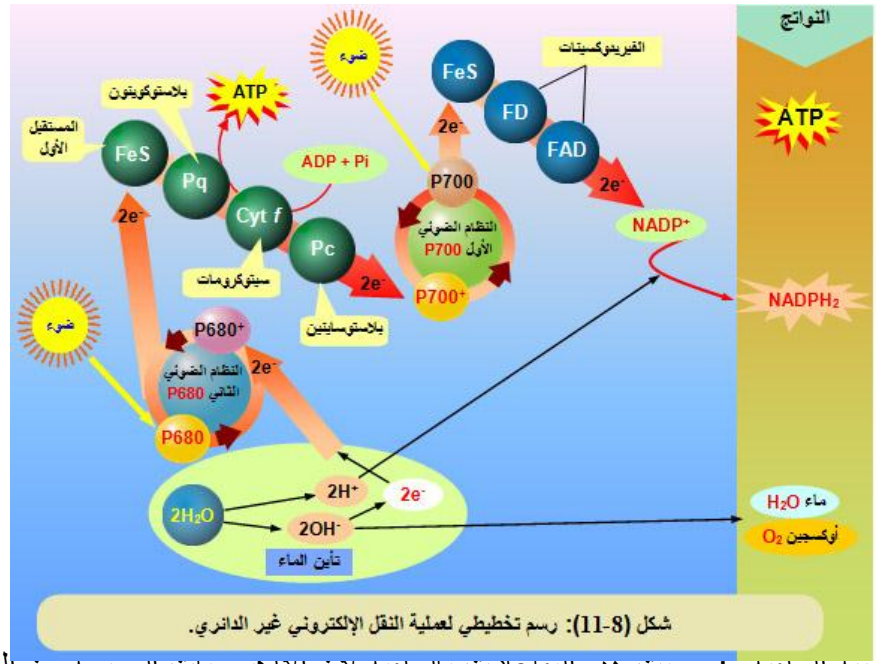
٢- تمتص جزيئات الكلوروفيل في النظام الضوئي الثاني موجات الضوء بطول (٦٨٠) نانومتر، وتنقلها إلى مركز التفاعل مؤدية إلى إطلاق إلكترونات مهيجة ويحدث تحلل للماء وان الالكترونات المهيجة والبروتونات الناتجة من تحلل الماء يستقبلها مركب ناقل للهيدروجين NADP+ فيتحول إلى شكل مختزل هو. NADPH

3- الإلكترونات المهيجة والتي يفقدها النظام الضوئي الثاني تنتقل بوساطة سلسلة نقل الإلكترون إلى النظام الضوئي الأول لتعويض الإلكترونات المفقودة. وأثناء إنتقال الإلكترونات بين النظام الثاني والأول في سلسلة نقل الإلكترون يتم بناء جزيئات ATP أدينوسين ثلاثى الفوسفات.

نواتج التفاعلات الضوئية اللاحلقية -1 : إطلاق غاز الأكسجين -2 . تكوين مركب ATP ، NADPH بكميات متساوية.

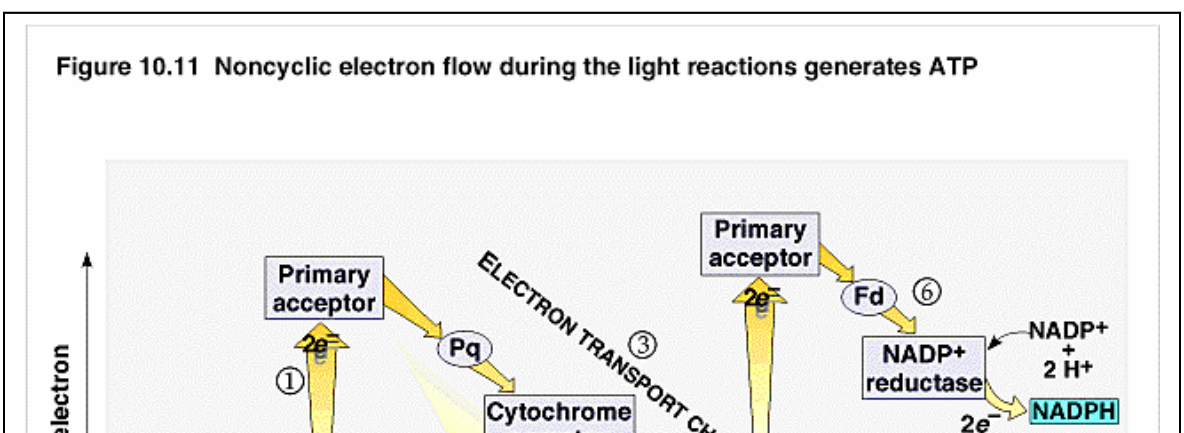


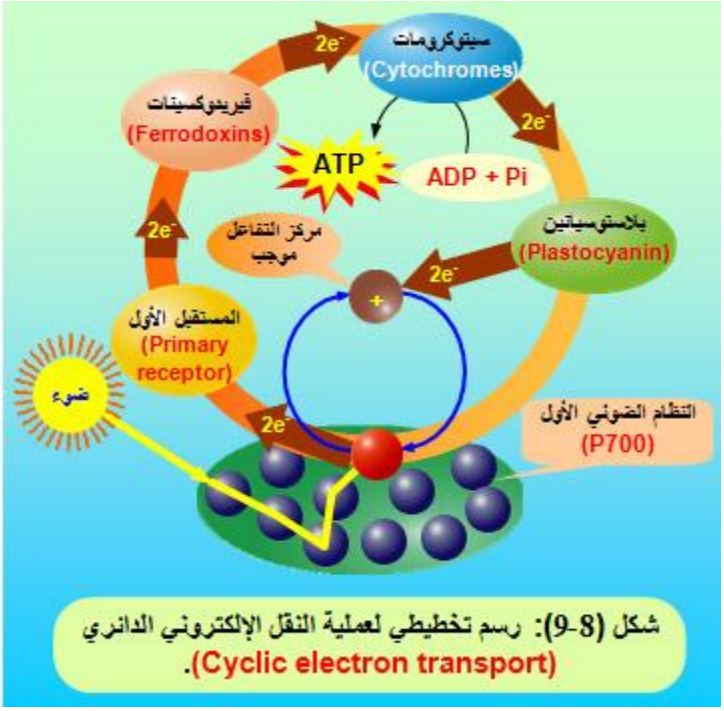
Noncyclic Electron Flow



شكل (8-11): رسم تخطيطي لعملية النقل الإلكتروني غير الدائري.

ب -التفاعلات الضوئيه الحلقيه -: سميت هذه التفاعلات بالحلقيه لان الإلكترونات المهيجه من النظام الضوئي الأول بفعل الطاقة الضوئية تعود مرة أخرى إلى مركز التفاعل الذي انطلقت منه مروراً بسلسلة نقل الإلكترون . - ينتج من هذه التفاعلات ATP فقط.





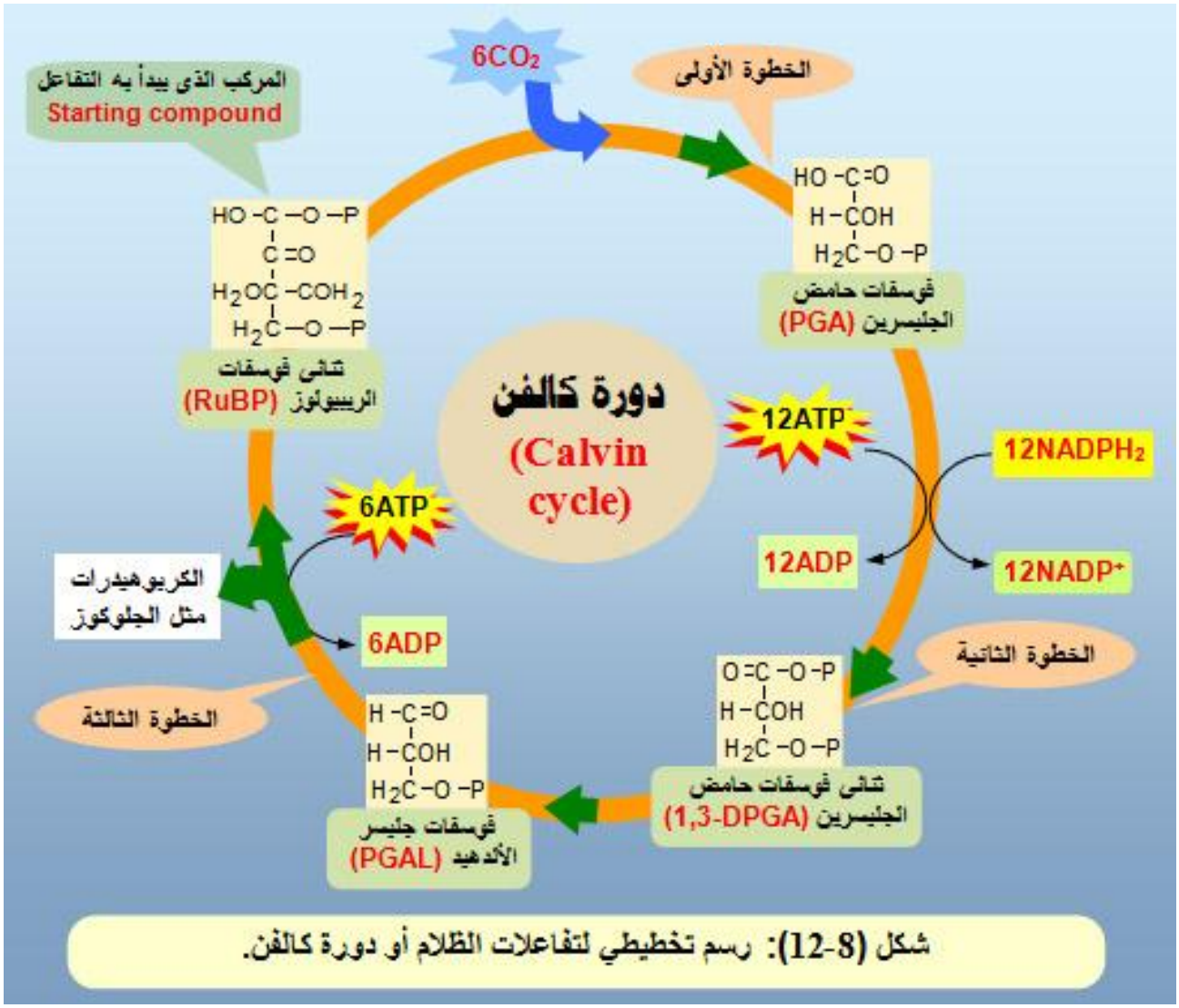
شكل (8-9): رسم تخطيطي لعملية النقل الإلكتروني الدائري (Cyclic electron transport).

٢- تفاعلات الضلام (دورة كالفن)

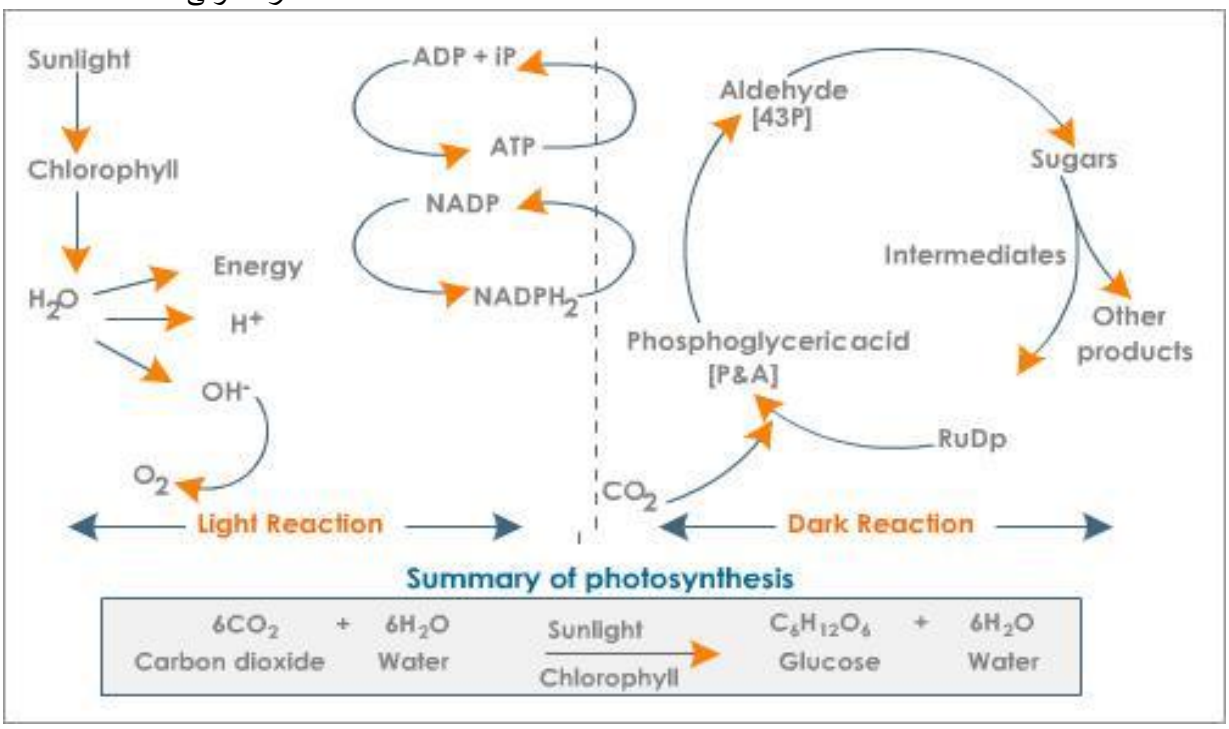
تحدث هذه التفاعلات في منطقة (الستروما) بوجود الأنزيمات والمواد اللازمة. يتطلب حدوث هذه التفاعلات وجود ATP ، NADPH الناتجين من التفاعلات الضوئية وتشتمل سلسلة من التفاعلات تسمى "دورة كالفن " تبدأ بتثبيت ست جزيئات CO2 واحداً تلو الآخر، وذلك من خلال ربط كل جزيء بمركب خماسي الكربون يدعى ريبولوز ثنائي الفوسفات Ribulose bisphosphate (RuBP) بوساطة انزيم يسمى Ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) وينتج ست جزئيات من حمض غليسرين أحادي الفوسفات(3-PGA)

3-Phosphoglycerate فيتكون ما مجموعه اثنا عشر جزيئة من (3-PGA)يحصل كل جزيء من حمض غليسرين أحادي الفوسفات من الجزيئات ١٢ المنتجة في المرحلة الأولى على مجموعة فوسفات من جزيء ATP ، فيتكون حمض غليسرين ثنائي الفوسفات biphosphoglycerate -١.٣ ، ويعمل مركب NADPHعلى اختزال حمض غليسرين ثنائي الفوسفات إلى غليسر الدهايد أحادي الفوسفات Phosphoglyceraldehyde (PGAL)، حيث تتكون١٢جزيئة من (PGAL) بعد ذلك تبدأ عملية إعادة تصنيع مستقبل ثاني أكسيد الكربون (RuBP) **اذ** يستخدم جزيء واحد فقط من (PGAL) كنـاتج نهائي لحلقة كالفن وكنقطة البداية لمسارات عمليات الأيض لإنتاج مركبات عضوية تشمل الغلوكوز والكربوهيدرات الأخرى ، أما جزيئات(PGAL) الأخرى فتستخدم في أعادة بناء مركب ريبولوز ثنائي الفوسفات في سلسلة معقدة من التفاعلات يستهلك خلالها 6 جزيئات ATP وبهذا فإنه كل حلقة من حلقات كالفن في التفاعلات اللاضوئية تنتج ½ جزيء غلوكوز وبذلك فهي تستخدم ١٨ جزيئة من ATP و تستهلك

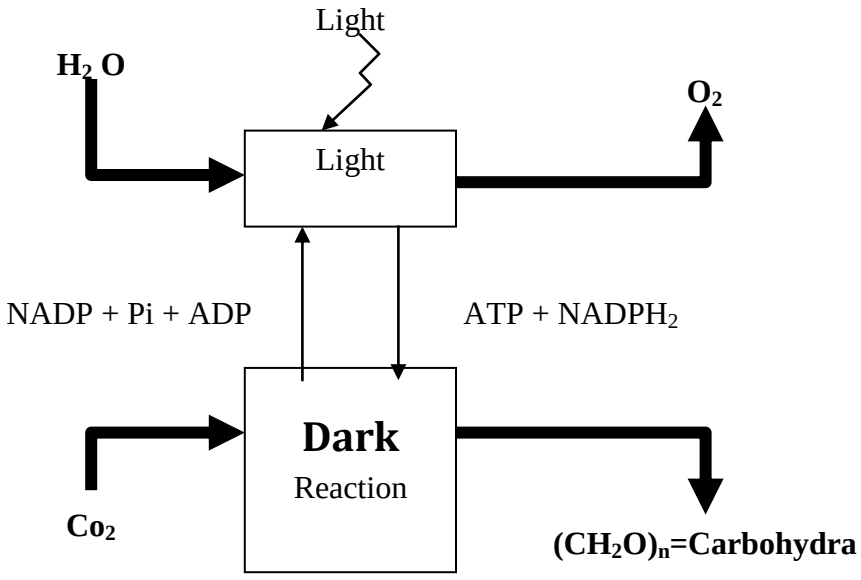
١٢ جزيئة من NADPH و ٦ جزئيات من CO2 و جزيء واحد من غليسر الدهايد أحادي الفوسفات PGAL.



شكل (8-12): رسم تخطيطي لتفاعلات الظلام أو دورة كالفن.



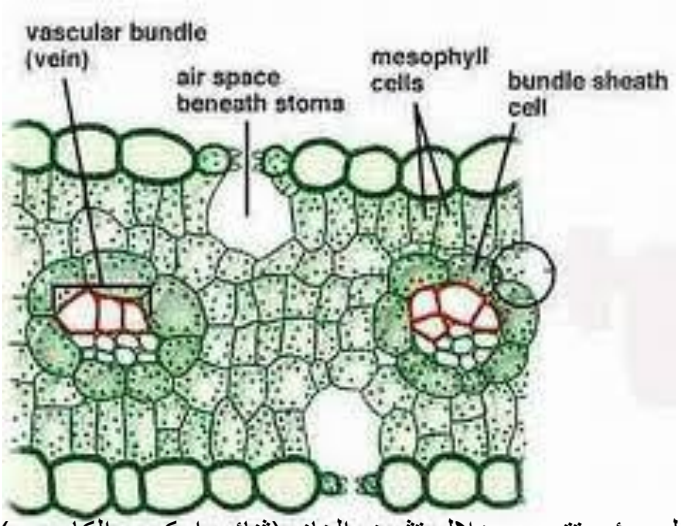
الربط بين تفاعلات الضوء والظلام في عملية البناء الضوئي .



ملخص عملية البناء الضوئي

مسار هاتش- سلاك The Hatch-Slack Pathway:

وضع هاتش وسلاك مساراً جديداً للأنتفاع بـCO_2 حيث اكتشفا أنّ حامض الماليك malic acid وحامض الاسبارتك aspartic acid هما المركبان السائدان في بعض النباتات،و النجيليات الاستوائية بصفة خاصة.وسميت هذه النباتات بـ C_4 plants. تحوي مجموعة النباتات رباعية ذرات الكاربون نوعين من البلاستيدات الخضراء يتواجدان في صنفين من الخلايا. إذ تحوي أوراق هذه النباتات غمد بارنكيمي Paranchyme sheeth يحيط قطرياً بالحزم الوعائية. توجد ضمن خلايا الغمد بلاستيدات خضراء كبيرة تفتقر عادة إلى الكرانا grana وتحتوي على حبيبات عديدة من النشأ.على النقيض من ذلك تحتوي خلايا النسيج الوسطي mesophyll cells للورقة على بلاستيدات خضراء أصغر والتي تحتوي بدورها على الجرانا ولا تُراكم النشأ. ويعتقد أنّ خلايا النسيج الوسطي هي الموقع التي يتم فيها تحويل الحامض البيروفي إلى حامض الماليك وحامض الاسبارتك.وتتضمن البلاستيدات الخضراء لخلايا الغمد أنزيماً يساعد على فك الارتباط المؤكسد بين حامض الماليك و CO_2 لانتاج الحامض البيروفي

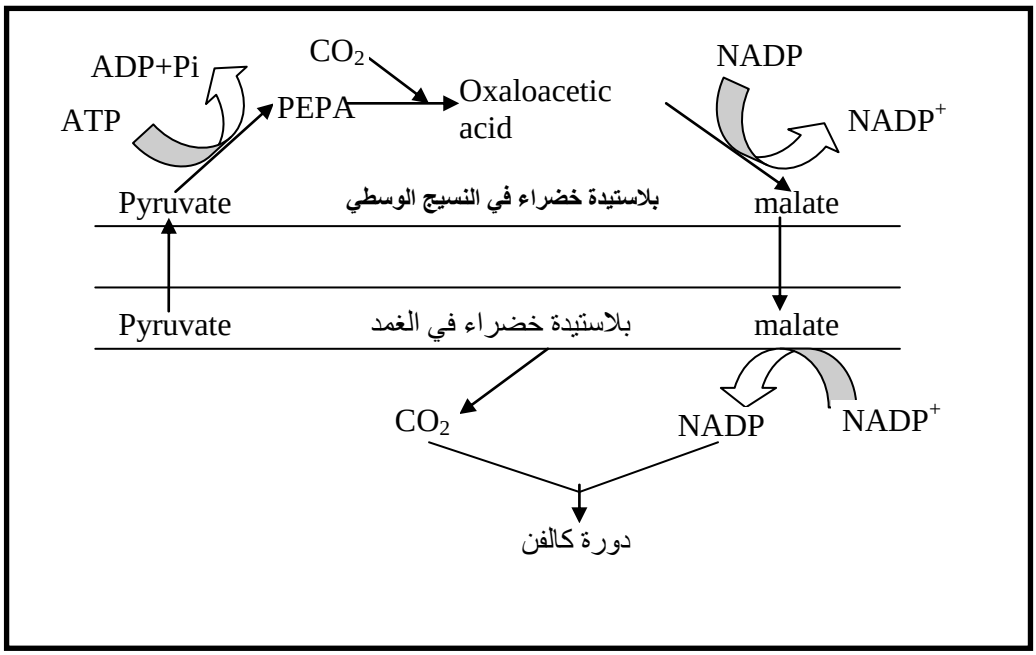


ويتلخص هذا المسار بان عملية البناء الضوئي تتم من خلال تثبيت الغاز (ثنائي اوكسيد الكاربون) باستقباله من قبل مركب ثلاثي الكاربون PEP فوسفور اينول بايروفيت (Phospho Enol Pyrovate) بمساعدة انزيم الكربوكسيليز (PEP carboxylase) ليكون اول مركب عضوي مستقر هو رباعي الكاربون OAA (حامض الاوكسالو اسيتيك Oxalo Acetic Acid) الذي سرعان مايتحول اما الى حامض الاسبارتيك (Aspartic acid) او حامض الماليك (Malic acid) وكلاهما رباعي الكاربون (حيث يتم التحويل حسب نوع النبات) لذا سميت النباتات C4 Plants . وبعد هذه التحويلات تستمر التفاعلات لينطلق مرة اخرى غاز ثنائي اوكسيد الكاربون ليتثبت ثانيةً بنفس الطريقة المروفة سابقا (طريقة كالفن وبنسن) ليكون مركب ثلاثي الكاربون (حامض الفسفوركليسيرك) وهكذا تستمر التفاعلات لتكوين سكر سداسي كما هو معروف في عملية البناء الضوئي في الطريقة الاولى (السابقة) كما هو موضح في المخطط ادناه.

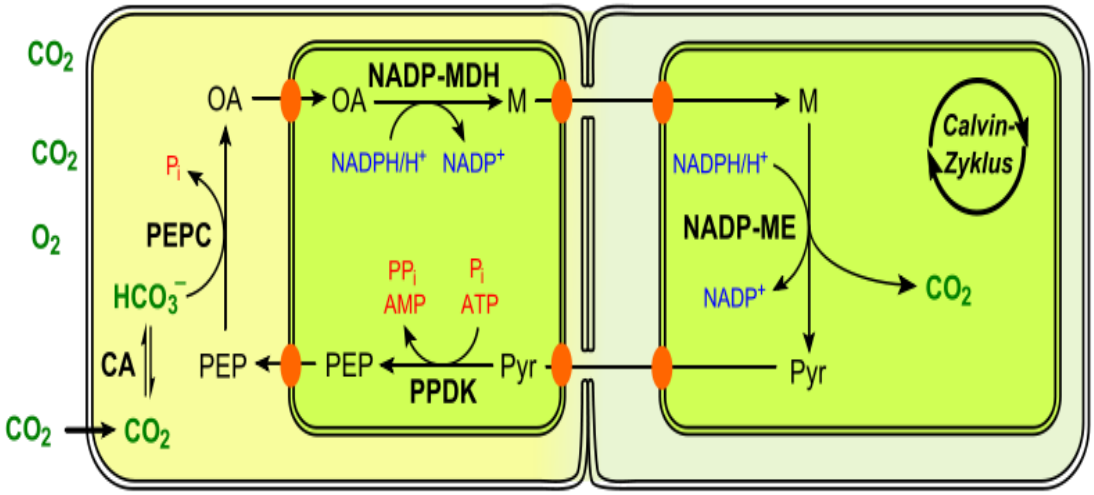
ورغم هذا التعقيد في مراحل تثبيت الغاز في الطريقة الحديثة الا انها ذات فاعلية عالية جدا في النباتات التي تتبع هذه الطريقة بحيث لوحظ ان تركيز الغاز في انسجة الورقة يعادل الصفر او قريب منه في حين

نباتات C3 قد يصل التركيز الى مايقارب ٣٠٠ جزء بالمليون (مايقارب تركيزه في الجو الخارجي) . وهذا ما يجعل البناء الضوئي اسرع واكثر كفاءة وتكوين مركبات سكرية وفي وقت اقل من نباتات C3 . لذا فان ظاهرة التنفس الضوئي photorespiration غير موجودة في نباتات C4 والتي هي معروفة في نباتات C3 وهي عملية تحرر CO_2 في الضوء وتعني بان تركيز الغاز في الضوء اكثر منه في الظلام. إنّ هذه النباتات هي أكثر كفاءة من تلك التي تسودها دورة كالفن.هذا المسار شائع في نباتات الفلقة الواحدة monocotyledos الاستوائية مثل الحشائش والذرة الصفراء وقصب السكر.

وقد لوحظ هناك فروقات واضحة بين هاتين المجموعتين من النباتات في النواحي التشريحية والبيئية . ففي نباتات C4 لوحظ لها نسيج متوسط في اوراق معظمها تكون جلاياه بصورة متراصة مع الحزم الوعائية والتي تدعم عملية نقل المواد السكرية من الورقة الى اجزاء النبات الاخرى ، أي ان عملية النقل (Translocation) تكون اسرع . اما الظروف البيئية فقد لوحظ ان نباتات C4 تعيش في ظروف رطوبة عالية كما ان درجة الحرارة المثلى للنمو وكذلك لعملية البناء الضوئي تكون عالية تصل ٣٠-٣٥ م. او اكثر في حين ان نباتات C3 تعيش في ظروف رطوبة او درجة حرارة من قليلة الى عالية ١٠-٢٥م٠ . ولابد هنا من التاكيد بان نباتات C4 تاخذ غاز ثنائي اوكسيد الكاربون وتثبته من الجو بصورة اكثر فاعلية واسرع مقارنة بنباتات C3 مما قد يقود التفكير الى تشجيع زراعة مثل هذه النباتات لتقليل نسبة هذا الغاز المعروف زيادة تركيزه في السنوات الاخيرة . كما ان نباتات C4 قد تتواجد في المناطق ذات شدة اضاءة عالية وذات توفر محدود من المياه .



غمد الحزمه الوعائيه **النسيج الوسطي**



مخطط يمثل مسار هاتش-سلاك Hatch-Slack pathway

التمثيل الضوئي في النباتات العصيريه CAM
Photosynthesis in Crassulacean Acid Metabolism Plants

هناك نوع من النباتات تسمى Crassulacean Acid Metabolism (CAM). وهي النباتات العصارية Succulent Plants تنمو هذه النباتات في بيئه جافه أو شبه جافهاوراقها صغيره سميكة الادمه عدد الثغور قليل النباتات يحدث بها مسار C3وC4 حيث تثبت الكاربون بواسطة تراكم كميات كبيرة من الأحماض العضوية في الليل (في الظلام). مثل هذه النباتات تفتح ثغورها خلال الليل ويتم تثبيت CO2 مع PEP — OA <—> M ويخزن في الفجوه العصاريه للخلايا التي قامت بعملية التمثيل الضوئي خلاي النسيج الوسطي . وفي النهار تغلق الثغور و يتحرر CO2 ويستخدم في دورة كالفن في نفس الخلايا .

ونتيجة لهذا فأنّ أغلب النتح يتم خلال الليل وكذلك أخذ CO_2. وخلال الليل عند تثبيت CO_2 يقل المحتوى النشوي. ولهذا فإنّ pH العصير الخلوي يقل.

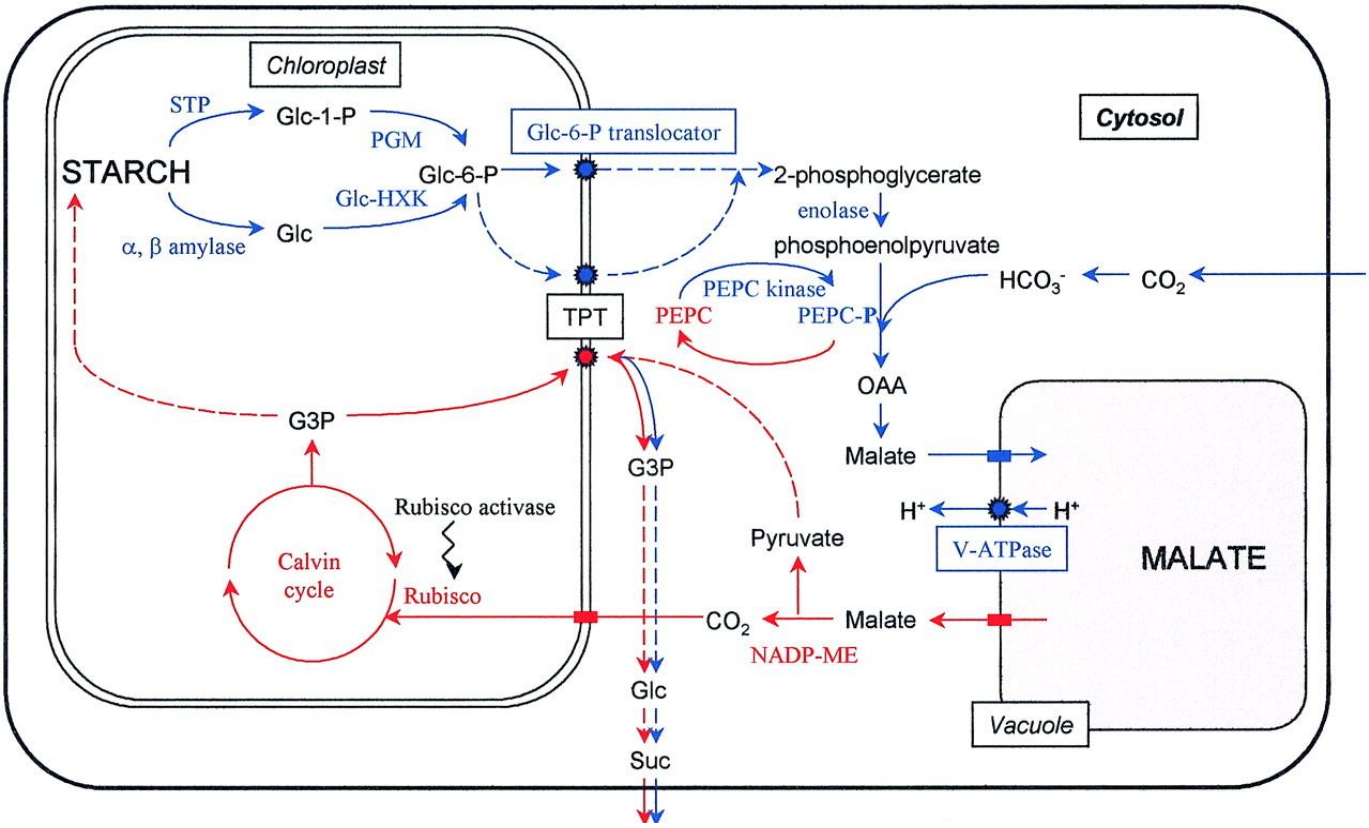
خواص نباتات CAM:

١. فتح الثغور ليلاً.
٢. غلق الثغور نهاراً ولهذا يقل أو ينعدم التبادل الغازي.
٣. النتح ليلاً.
٤. أخذ CO_2 ليلاً.
٥. زيادة الحامضية خلال الليل.

٦. استنزاف النشأ ليلاً.

٧. زيادة النشأ نهاراً.

٨. قلة الحامضية في النهار.



Crassulacean acid metabolism (CAM).

العوامل المؤثرة على معدل التركيب الضوئي:

i. العوامل الخارجية: External Factors Affecting The Rate of Photosynthesis. وتشمل:

١. تركيز ثاني أوكسيد الكاربون: تتناسب تناسباً طردياً ضمن مدى معين.

٢. شدة الضوء: أفضلها ١٠٠٠ شمعة/قدم. نباتات الظل تحتاج $\frac{1}{10}$ هذه الكمية.

٣. درجة الحرارة: حسب النوع النباتي.

٤. تركيز O_2: يتناسب تناسباً عكسياً.

٥. توفر الماء: يعتبر الماء المصدر الوحيد للألكترونات المنبعثة أثناء التفاعلات الضوئية. وتأثيره غير المباشر على انسداد الثغور. وبالتالي على عملية التبادل الغازي.

٦. العناصر الغذائية خاصة Mg^{++}، Fe^{++}، Fe^{+++}، Mn^{++}، P :-

Mg: يدخل في تركيب جزيئة الكلوروفيل.
Mn: عنصر أساسي أثناء انشطار الماء ضوئياً.
Fe: يدخل في تركيب السايتوكرومات، والفريدوكسين.
P: يتحد مع ADP لتكوين جزيئة ATP في التفاعلات الضوئية.

ب- العوامل الداخلية

- الأنزيمات

حيث تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الأنزيمات الخاصة بهاو وكفاءتها وحدوث أي خلل بها يؤدي إلى التأثير على معدل العملية .

٢- تركيب الورقة الداخلي

تتوقف كفاءة عملية البناء الضوئي على التركيب الداخلي للورقة والذي يختلف في ذوات الفلقة عن ذوات الفلقتين.

٣- تراكم المنتجات

إن تراكم المنتجات الكربوهيدريتية الناتجة من عملية البناء الضوئي في الأوراق يؤدي إلى بطء العملية

البناء الضوئي Photosynthesis

تعد هذه العملية من أهم العمليات الإحيائية على وجه الارض ولجميع الكائنات الحية باستثناء بعض البكتريا اللاهوائية والتي يمكن ان تثبت CO2 مستخدمة مصدر غير الماء . تأتي اهمية هذه العملية من عدة نقاط :

١- تعتبر المصدر الاساس للمادة العضوية على سطح الارض ، حيث يتكون حوالي ٥٠ مليون طن سنويا من السكر بهذه العملية والذي يعد مصدر للغذاء لجميع الكائنات الحية الاخرى غير النبات.

٢- في هذه العملية تستهلك الاف الاطنان من ثاني اوكسيد الكاربون من الجو ليحل محله غاز الاوكسجين في اكبر عملية للتوازن الغازي في محيط الارض .

٣- يمكن اعتبار كل مصادر الطاقة التي يستعملها الانسان في حياته مثل النفط والفحم الحجري والغاز الطبيعي هي نواتج لعملية البناء الضوئي في النبات .

٤- تشكل العنصر الاساس في تدوير الطاقة وحفظ التوازن البيئي في محيط الارض .

قد تعطى عملية البناء الضوئي عدة تعارف منها : تحويل الطاقة الضوئية الى كيميائية ، او هي العملية التي تحول فيها الطاقة الشمسية الى طاقة كيموضوئية ثم الى طاقة كيميائية بواسطة كلوروفيل النبات . كل التعارف صحيحة ولكن قد لا تعطي وصفا كاملا للعملية .

يمكن ان تعرف عملية التمثيل الضوئي بشكل اكثر شمولية بانها العملية الحيوية التي تحدث في جميع الكائنات التي تحتوي على مادة الكلوروفيل والتي يتم فيها تحويل المركبات اللاعضوية (الماء و CO_2) الى مركبات عضوية كيميائية بواسطة الطاقة الضوئية والتي مصدرها الشمس وكما في المعادلة الاتية :

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{Light}]{\text{Chlorophyll}} CH_2O + O_2 + ATP$$

مادة كاربوهيدراتية

او تكتب بشكل اكثر تعبيرا عن النواتج

$$\mathbf{6CO_2 + 12H_2O + light + chloroplasts = C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 + \text{طاقة}}$$

تتضمن هذه العملية اكسدة لجزيئة الماء وتحرر للأوكسجين ثم اختزال لـ CO_2 وتكون السكر

نبذة تاريخية عن عملية التمثيل الضوئي

نظرا للأهمية الكبيرة لهذه العملية فقد شغلت بال العلماء لعقود عديدة من الزمن ن وسنوجز هنا اهم الاعمال التي اجريت عليها :

١- يُعد الأغريقي أرسطو Aristole أول من صّرح بأن النباتات تحصل على غذاءها من التربة

٢- Van Helmont ١٦٤٠ زرع نبات الصفصاف Willow plants (وزن النبات في البداية ٢.٥كغم)في إناء حاوي على تربة جافة موزونة (١٠٠كغم) وسقى النبات بالماء كلما إحتاج اليه .وبعد مرور خمس سنوات لاحظ إن وزن النبات أصبح ٨٤كغم ولكن عند تجفيف التربة وجدها ناقصة قليلا جدا لهذا إستنتج بصورة خاطئة للمعلومات الحديثة بأن النبات ينمو

في الماء فقط.إلاّ أن Wood Ward 1699 لاحظ بأن نمو نبات البطاطا في الماء الطيني كان أكثر من نمو نبات البطاطا في ماء المطر وبذلك فقد خالف رأي Van HELMONT.

٣- في عام ١٧٢٧ اعتقد Stephen Hales بان قسما من تغذية النبات ياتي من الجو

٤- في عام ١٨٠٤ وضع De Saussure اول معادلة للبناء الضوئي ظلت صحيحة الى يومنا هذا

$$CO2 + H2O \text{ ---------- } CH2O + O2$$

٥- في عام ١٨٤٢ وضع Robert Mayer قانون حفظ الطاقة والذي حل بموجبه مشكلة انتقال الطاقة في عملية البناء الضوئي ، اذ اشار الى انه بإمكان النبات ان يحول الطاقة الضوئية (الشمسية) الى طاقة كيميائية تستغل في عملية البناء الضوئي

٦- في عام ١٨٨٨ صرح Engelmann بان الكلوروفيل هي الصبغة الرئيسة في البناء الضوئي وان العملية تجري في البلاستيدات الخضر Chloroplast

٧- في عام ١٩٠٥ استنتج Blackmann من تجاربه ان تفاعلات البناء الضوئي على نوعين هما :

أ- تفاعلات تجري بوجود الضوء وغير حساسة للحرارة

ب- تفاعلات تجري في الظلام وحساسة للحرارة

٨- في عام ١٩٣٠ تمكن العالم Ruben ومساعديه من معرفة ان الاوكسجين المتحرر من عملية البناء الضوئي مصدره الماء وليس CO_2

٩- في عام ١٩٣٠ وضع العالم Van Niel المعادلة العامة للبناء الضوئي (المذكورة سابقا)

١٠- في عام ١٩٣٧ لاحظ Hill عند اجراء تجاربه على البلاستيدات الخضراء المعزولة بانه بلامكان لاي مركب قابل لاستلام الالكترون ان يقوم بدور العامل المؤكسد بدل CO2 ومن هذه المركبات اوكزلات البوتاسيوم الحديدية وستنتج منها ان CO2 غير ضروري في تفاعلات الضوء وكذلك اثبت ان العملية تجري في البلاستيده الخضراء .

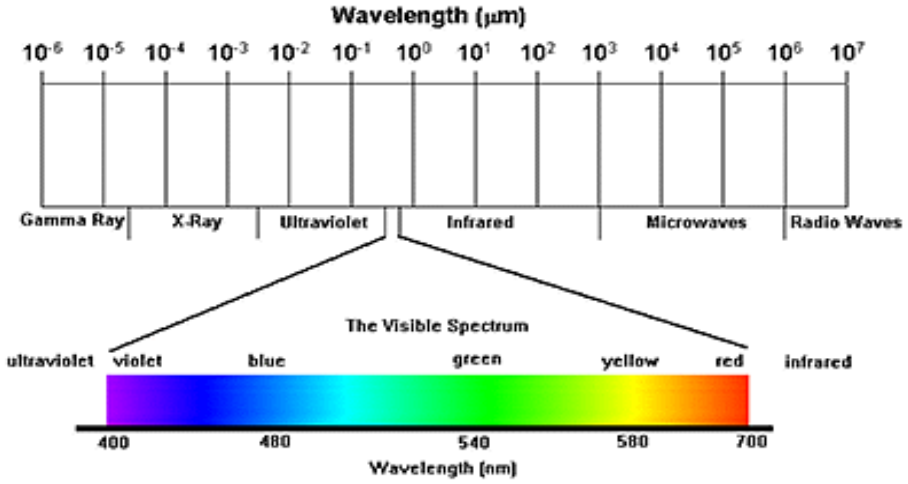
ضوء الشمس وطبيعته

بإستثناء القوة التي ولدت من التفاعلات الداخلية لنواة الذرة، والتي استخدمها الإنسان حديثاً كمصدر للطاقة، فإنّ الشمس كانت ولا تزال المصدر الوحيد للطاقة تقريباً لجميع أنواع وأشكال الحياة . ان الاعتقاد السابق وحتى منتصف القرن السابع عشر كان يفسر الضوء على انه سيل من الجسيمات الدقيقة والتي تنبعث من المصدر (الشمس) وهذه الجسيمات تمتص من قبل الأجسام المعتمة وتنعكس بالأجسام غير المعتمة ، حتى جاء بعد ذلك العالم Huygin والذي اقترح أن الضوء هو موجات كهرومغناطيسية ، وقد أطلق على هذه النظرية بالنظرية الموجية . ضل هذا الافتراض قائما حتى جاء انشتاين والذي جمع بين النظريتين (الدقائقية والموجية) اذ اقترح ان الضوء هو دقائق متناهية الصغر تدعى بالفوتونات photon

وكل فوتون يحمل طاقة تدعى بالكوانتم Quantum تنتقل هذه الدقائق من المصدر بحركة موجية ذات تردد يتناسب طرديا مع طاقة الفوتون الواحد

أن ما نطلق عليه مصطلح "الضوء "هو الضوء المرئي (Visible light) والذي هو جزء من الطيف الشمسي الكلي والذي يتكون من طيف واسع من الأشعة الكهرومغناطيسية ، تمتد من الاشعة الراديوية مروراً بالطيف المرئي الى الاشعة الكونية ذات الطاقة العالية (10^{22} HZ) والتي بإمكانها تدمير كل اشكال الحياة . يسمح الغلاف الجوي بمرور حزمة ضيقة جدا من مجمل الطاقة الكهرومغناطيسية ، وهو الضوء المرئي والذي تتراوح اطوال موجاتهُ بين ٤٠٠ – ٨٠٠ نانومتر ، وهناك فجوات في الغلاف الجوي تسمح بمرور الاشعة فوق البنفسجية Ultra violet (UV) وتحت الحمراء Infrared (IR) .

- ضمن موجات الطيف المرئي تقع أطياف الفعل (Action spectra) للأنظمة الأساسية التي تقع تحت تحكم الضوء مثل حركات النبات والإنبات والتركيب الضوئي والتزهير و التأقت الضوئي والاستجابات الضوئية في النبات.



ان الطاقة المنبعثة من الشمس ذات أطوال موجية مختلفة فكلما قصر طولها زادت طاقتها والعكس صحيح ، وكلما كان طولها الموجي اطول كان اختراقها اكبر والعكس صحيح .

ان كمية الإشعاع الشمسي الساقط على الأرض سنويا بحدود ٥٦ ×10^{23} من الطاقة الشمسية وان ٥٠% منها تنعكس في أعالي الغلاف الجوي بالغيوم والغازات ، فالأشعة قصيرة الموجة تصفى وتعزل بواسطة طبقة الأوزون ، وأما الإشعاعات الطويلة مثل IR فتنعكس ببخار الماء والغيوم ، وان ٤٠% تقريبا من تلك الطاقة تمتص او تسقط على البحار والمحيطات والاهوار والصحاري . اما ١٠% الباقية فأنها تسقط على النباتات والمستغل منها هو ١% فقط ، ولكن لكثرة النباتات على الارض فأنها تحول سنويا بحدود ٢٠٠ بليون طن من CO_2 الى ٥٠ طن من السكر .

ان الطاقة الكبيرة الناتجة من الشمس متأتية من تفاعلات نووية كبيرة تحدث داخل كتلة الشمس تصل درجة حرارتها الى ملايين الدرجات الحرارية، وهذه التفاعلات عبارة عن اتحاد أربعة جزيئات من الهيدروجين H لتكوين ذرة واحدة من الهليوم He وفرق الطاقة بين المتفاعلات والنواتج يكون بشكل طاقة حرارية ضوئية.

يطلق على الطاقة التي يمتصها مول واحد من الماء او اي مركب مصطلح " انشتين" وهي وحدة قياس الطاقة:

$E = N \times h \times V$

Where: E; energy , N; Avogadro number = 6.023×10^{23}

h; Plank's constant =1.58×10^{-34} , V ; Frequency = C / λ C ; speed wave , λ ; wave length

ولحساب الطول الموجي لطاقة الضوء البرتقالي مثلا والذي طول موجته ٦٥٠ نانومتر:

$E = N \times h \times V$

$E = 6.023 \times 10^{23} \times 1.58 \times 10^{-34} \times (3 \times 10^{8} / 6.5 \times 10^{-7})$

E= 43.91 K.cal/mole

E = 43.91 Einstein انشتين

صبغات البناء الضوئي Photosynthesis pigment

قد تتنوع الصبغات الموجودة في النباتات المختلفة الا ان الصبغات الخضراء الموجودة في البلاستيدات الخضراء هي الوحيدة التي تقوم بعملية البناء الضوئي ، وبقية الصبغات قد تكون صبغات ثانوية مساعدة في العملية . من اهم الصبغات في النباتات المختلفة هي:

١- الكلوروفيلات Chlorophylls :وكميتها في النبات تعادل ١٠ أضعاف كمية الصبغات الأخرى . وتوجد في النبات بأشكال مختلفة :

أ- كلوروفيل a : ورمزه الكيميائي $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ويوجد في جميع النباتات التي تقوم بعملية البناء الضوئي ، وان اعلى امتصاص لها يقع عند الطولين الموجيين ٤٣٠ و ٦٦٠ نانومتر.

ب- كلوروفيل b : ورمزه الكيميائي $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ويوجد في جميع النباتات الراقية والطحالب الخضراء وان اعلى امتصاص لها يقع عند الطولين الموجيين ٤٥٢ و ٦٤٢ نانومتر .

ت- كلوروفيل c : وتوجد في الاشنات السمراء

ث- كلوروفيل d : توجد في الاشنات الحمراء

ج- كلوروفيل e : توجد في بعض النباتات .

جميع هذه الكلوروفيلات هي صبغات مساعدة وضيفتها امتصاص الطاقة الضوئية وإيصالها إلى كلوروفيل a والذي هو الصبغة الأساسية .

يختلف كلوروفيل a عن كلوروفيل b في الكمية داخل النبات حيث يبلغ ثلاث أضعاف كمية كلوروفيل b . كما يكون لون كلوروفيل a اخضر مزرق بينما يكون لون كلوروفيل b اخضر فاتح ، فضلا عن اختلافهما في طيف الامتصاص.

٢- الصبغات الأخرى : وتشمل مجموعتين

أ- مجموعة الكاروتينات Carotenes وتشمل البيتا كاروتين و الالفا كاروتين والليكوبين Lycopene وتعطي اللوان مختلفة من الاحمر والبرتقالي والاصفر .

ب- مجموعة الزانثوفيل Xanthophyll وتوجد في البلاستيدات الخضر ولونها اصفر . وضيفتها :

١- منع الأكسدة الضوئية للكلوروفيلات بوجود الضوء

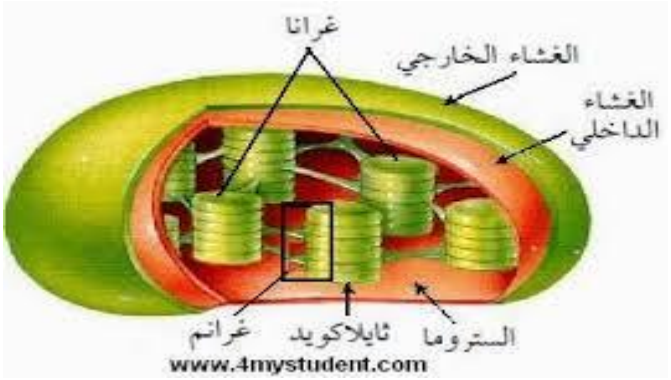
٢- امتصاص الضوء اللازم للبناء الضوئي ونقله الى مناطق الاستغلال

٣- تساهم في عملية الانتحاء الضوئي phototropisum .

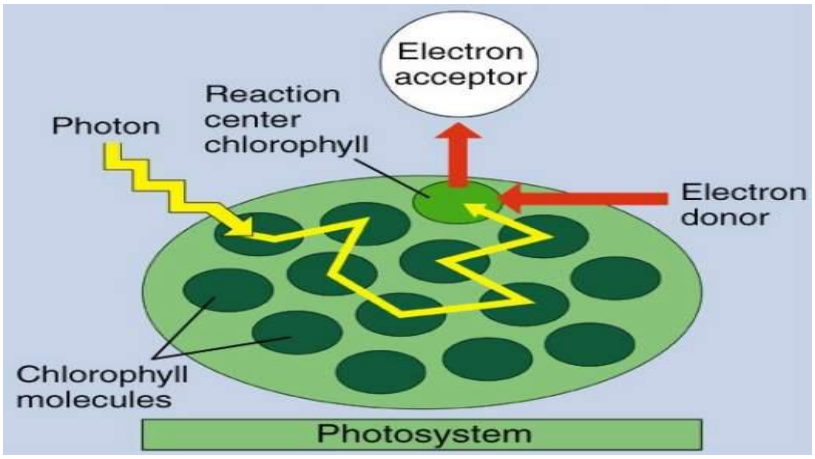
تعريف الضوء : يمكن تلخيص تعريف الضوء حسب رئي انشتاين بانه سلسلة من الدقائق المتناهية بالصغر تنطلق من مصدرها الشمس بحركة موجية تتناسب طاقتها مع الطول الموجي لها وهذه الدقائق تسمى فوتونات Photons تحمل طاقة تدعى بالكوانتم Quantum

تركيب الكلوروبلاست chloroplast structure

بفحص الكلوروبلاست بالمجهر الإلكترونى يتضح تواجد الغشاء الخارجى المزدوج والذى يحوى بداخله نوعين من الصفائح. الأول منها تسمى صفائح الكرانا وتحتوى على صبغات البناء الضوئى والثانى منها تسمى صفائح الاستروما وتحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام.

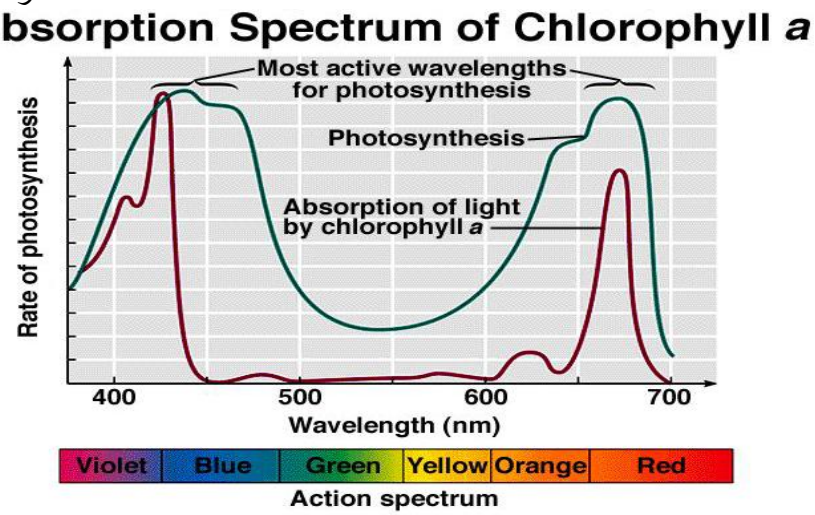


تحدث عملية التمثيل الضوئي في مرحلتين ، الأولى في غشاء الثالكويد والتي تتضمن تفاعلات الضوء ، بينما تحدث تفاعلات الظلام في الستروما . وتحدث العملية في داخل وحدات تدعى وحدات البناء الضوئي ، واصغر جزء من هذا النظام يحتوي على ٤٠٠ جزيئة من الكلوروفيل والمرتبة ترتيبا هندسيا منتظما تدعى بالكوانتوسوم quantasome . تعمل وحدات البناء الضوئي بواسطة الصبغات المساعدة على استقطاب الموجات الضوئية وتجميعها ومن ثم تسليمها الى جزيئة كلوروفيل a الأساسية في مركز النظام والتي بدورها تعمل على شطر جزيئة الماء وتحرير الطاقة منها بشكل بروتون H^+ . اذ تستلم هذه الوحدات الطاقة الضوئية من الشمس وتنقلها فيما بينها بعملية تدعى الرنين المغناطيسي لغرض رفع طاقتها الى مستوى كافي لاثارة التفاعل .



التاثير الكيموضوئي للكلوروفيل photochemistry of chlorophyll

يتأثر الكلوروفيل ويثار إذا ما تعرض للضوء الأبيض (الضوء المرئي) اذ يشغل الضوء الأبيض منطقة صغيرة جداً يتراوح أطوالها الموجية من ٣٩٠ nm حتى ٧٦٠ nm وهذه المنطقة من الأطوال الموجية تشمل الضوء الأزرق(٤٣٠-٤٧٠)، لأزرق المخضر (٥٠٠ ـ ٤٧٠) ، الأخضر (٥٣٠ ـ ٥٠٠) ، الأصفر المخضر (٥٦٠ ـ ٥٣٠) ، الأصفر(٦٠٠ ـ ٥٦٠) ، البرتقالى (٦٤٠ ـ ٦٠٠)، الأحمر الفاتح (٦٧٠ ـ ٦٤٠) ، (الأحمر القاتم (٦٧٥ –٧٦٠). بينما الأطوال الموجية الأكبر من ذلك أو الأصغر أشعة كهرومغناطيسية لا يستفيد منها النبات.



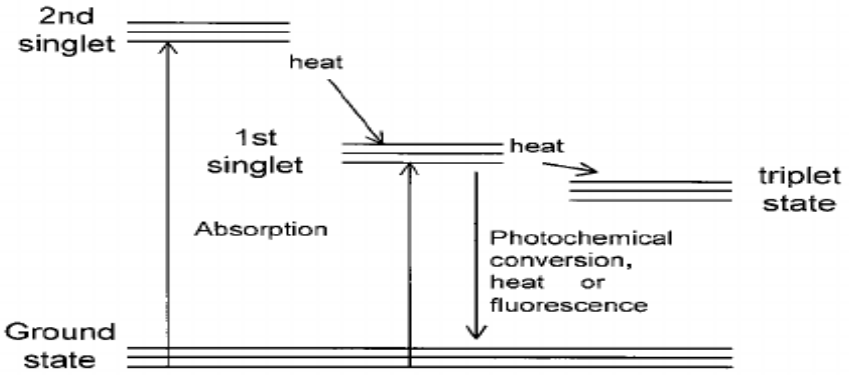
عند امتصاص الكلوروفيل للأشعة الزرقاء ذات الطول الموجى (٤٣٠) nm و الأشعة الحمراء ذات الطول الموجى (٦٧٠)nmفإن جزئيات الكلوروفيل يحدث لها إثارة نتيجة لامتصاص هذه الطاقة الضوئية .وتوجد ثلاث مستويات للإثارة يمكن أن يصل جزيئى الكلوروفيل المثار إلى أى منها وهى:

1 - Second singlet state

هذا المستوى يصل إليه الكلوروفيل عند تعرضه للضوء الأزرق(٤٣٠) nmحيث تثار جزئيات الكلوروفيل وتمتص كمية عالية من الطاقة تصل إلى Cal.k ٦٥. ومن المعروف أن هذه المرحلة عالية الطاقة ولكنها لا تستمر طويلاً حيث تفقد الكترونات الكلوروفيل كمية من الطاقة فى صورة انبعاث حرارى ويصل إلى المستوى الذي يليه وهو الأكثر ثباتاً نسبياً وطاقته Cal.k٤٠.

٢- **1st singlet state** وتصل الكترونات الكلوروفيل فى محتواها من الطاقة إلى هذا المستوى إذا ما تعرضت إلى الضوء الأحمر (٦٧٠) وكما سبق ذكره أن هذا المستوى أكثر ثباتاً من المستوى السابق حيث أن هذه المرحلة قادرة على إتمام التفاعلات الكيموحيوية بالخلية. والإلكترون المثار فى هذا المستوى هو الأكثر أهمية كمصدر للطاقة فى إتمام تفاعل البناء الضوئى .ويمكن وصول الإلكترون إلى هذا المستوى أيضاً من خلال فقده كمية من الطاقة فى صورة حرارة من المستوى.second singlet stat .

٣- :**1st triplet state** وطاقة هذا المستوى حوالى.Cal ٣٠ K ، اذ تصل الكترونات الكلوروفيل المثارة لهذا المستوى عند فقد الاكترونات في مرحلة stale singletلكمية من الطاقة فى صورة انبعاث حرارى .ويمكن للإلكترونات المثارة فى هذا المستوى القدرة على إتمام تفاعلات البناء الضوئى فى الكلوروبلاست وهى تفاعلات psI .psII s . كما قد يعود الإلكترون المثار و الذى طاقته فى المستوى 1st singlet stateو 1st singlet state إلى Ground state وهى مرحلة الثبات وذلك بعد أن يفقد طاقته المكتسبة و التى يحملها ويفقدها فى صورة انبعاث حرارى أو ضوئى.



تفاعلات الضوء Light Reaction

من المعروف أن عملية البناء الضوئى تحدث من خلال تفاعلين هما تفاعل الضوء وتفاعل الظلام داخل الكلوروبلاست. أما تفاعل الضوء فيتم فى صفائح الجرانا داخل الكلوروبلاست وتحتوى هذه الصفائح على صبغات البناء الضوئى. أما تفاعل الظلام فتتم خطواته فى صفائح الاستروما والتى تحتوى على إنزيمات تفاعل الظلام. وتفاعل الضوء هو الذى يقوم بإنتاج الطاقة المختزلة كمصدر للهيدروجين فى صورة NADPH2وكذلك جزئيات الطاقة.ATP وتستغل هذه الطاقة المنتجة فى عملية اختزال CO2كما فى التفاعلات التالية:

: $H2O + NADP + ADP + Pi$ ========= $O2 + NADPH2 + ATP$ (الضوء تفاعل

($NADPH2 + ATP + CO2$ ==========$(CH2O)n$. (الظلام تفاعل

وقد أمكن معرفة أن تفاعل الضوء يتضمن نظامين هما النظام الضوئى الأول photosystem I وهو يمتص الطاقة عند ٧٠٠ يسمى P700 والنظام الضوئي الثاني photo system II يمتص الطاقة عند P680 ولكل نظام صبغاته الخاصة وكذلك الحاملات الالكترونية الخاصة به

.الصبغات والحاملات الالكترونية الخاصة بالنظام الضوئى الأول تشمل .

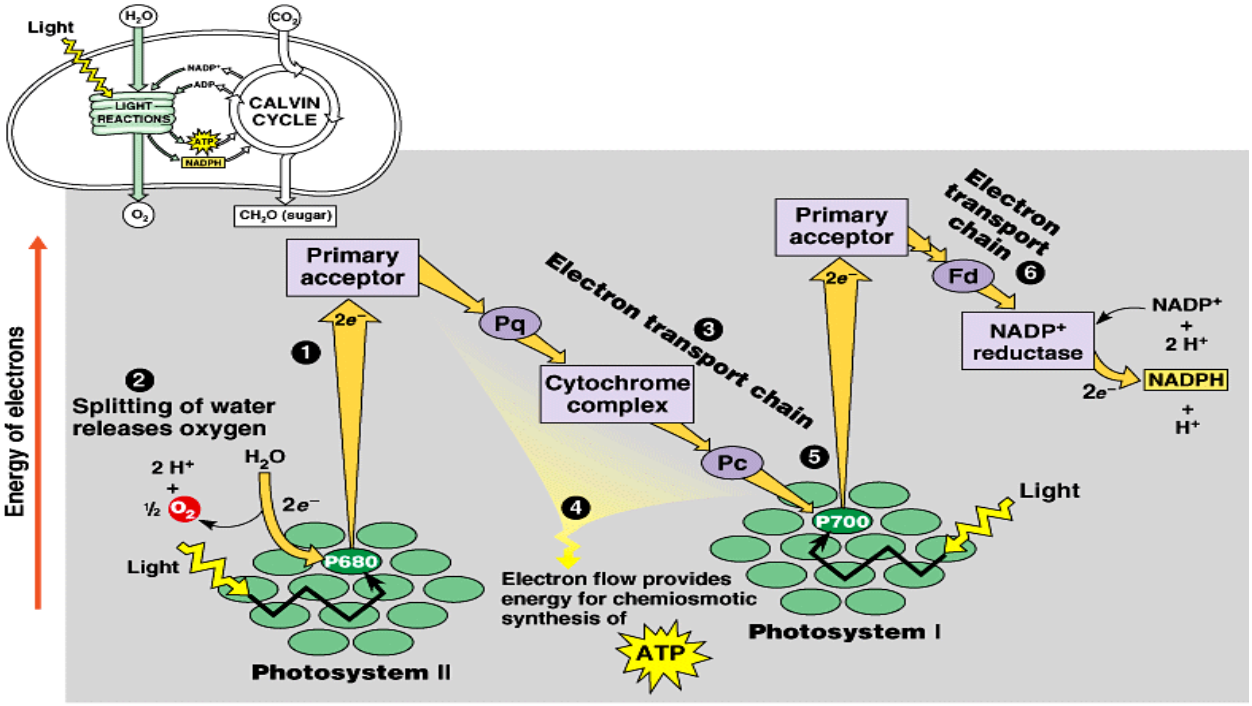
Ferredoxin & **NADP** & **F.R.S** & **P700 Chlorophylls** & **carotenoids** & **Fd-NADR- reductase** (nm ٧٠٠& ٦٩٠& ٦٨٠& ٦٧٠& ٦٦٠ **أ كلوروفيلات بأنواعه**)

كما يشمل النظام الضوئى الثانى كل من

P680 & Q & **cytochrome (b)** & **plastoquenone** & **cyfochrome (f)** & **plastocyanine** & **ChlOrOlhylls** (وتشمل **chlorophyll (b)650 & Chl (a) 660 & Chl (a) 670 nm & Chl (a) 677 & Chl (a) 670).**

انتقال الالكترون:

عند وصول الطاقة المتجمعة الى النظام الضوئي الثاني P680 فإن جزئياتها تثار فتتأكسد جزيئة الماء فيها وينطلق منها الكترونات والذي ينتقل عبر سلسلة من الحوامل الكترونية بعملية أكسدة واختزال (اكتساب وفقد للالكترون) إلى أن تصل فى النهاية إلى NADP لتكون جزئيات الطاقة المختزلة. اذ يستلم ايون الهيدروجين الناتج من شطر جزيئة الماء اولا من قبل مركب Q فيختزل ومن ثم يسلم الطاقة بعملية الأكسدة الى مركب السايتوكروم **cytochrome f و من ثم cytochrome b والذي بدورها تسلم الطاقة الى البلاستوسيانين Plastocyanin الحاوي على النحاس، وفي هذه المرحلة تنتج جزية الطاقة ATP فتنخفض طاقة الالكترون الى مستوى واطى وتسلم ال النظام الضوئي الأول (P700) . في النظام الضوئي الأول تحدث عملية امتصاص للضوء لرفع طاقة الإلكترون مرة أخرى من خلال تحلل جزيئة ماء ، وتستلم الطاقة الناتجة في هذا النظام من قبل مركب مختزل قوي هو الفيردوكسين Fd والذي يتاكسد مسلم الطاقة الى مركب اختزالي اخر هو** Fd - NADP- reductase وهذا الإنزيم يتكون من الفلافوبروتين المحتوى على FAD والذي بدوره يقوم بتكون المركب الاختزالي NADPH2 و هو اهم مركب في النظام الاحيائي .



الفسفرة الضوئية المفتوحة (غير الدائرية) Non Cyclic photophosphorylation

عندما تنطلق الطاقة الناتجة من شطر جزيئة الماء في النظام الضوئي الثاني وتنتقل عبر سلسلة من النواقل الاكترونية مرورا بالنظام الضوئي الاول الاول (P700) حتى انتاج المركب الاختزالي NADPH2 تدعى هذه السلسة بالفسفرة الضوئية المفتوحة .

الفسفرة الضوئية المغلقة (الدائرية) Cyclic photophosphorylation

تحدث الفسفرة الضوئية المفتوحة عندما يتعرض النظام الضوئي الاول (P700) الى اطوال موجية اكثر من ٦٨٠ مليميكرون (ذات الطاقة الضعيفة) فانها تكون غير كافية لتحليل جزيئة الماء ورفع طاقة الالكترون ، في هذه الحالة لايستطيع النظام انتاج المركب الاختزالي NADPH2 وانما تعود الطاقة الى السايتوكروم في النظام الضوئي الثاني لإنتاج جزيئة ATP وإعادة التفاعل مرة أخرى .

مكونات سلسلة نقل الإلكترون فى نظامي التفاعل الضوئي II PS & I PS)

أ- **الفريدوكسين Ferredoxin** عبارة عن بروتين يحتوى على الحديد والكبريت وجهد الأكسدة الاختزالية لهذا المركب منخفض. ويتم اختزال هذا المركب فى حدود الضوء.

ب- **Plastocyanin** البلاستوسيانين عبارة عن بروتين مرتبط بالنحاس وتوجد هذه المادة بنسبة 0.2 % من كمية الكلوروفيل الكلى ويمكن إختزالها بسهولة بالكلوروبلاست المعزولة.

ت- **cytochrome f, b** يوجد سيتوكروم فى البلاستيدات الخضراء بنسبة 0.25 % من الكلوروفيل الكلى وهو عبارة عن مركب يحتوي على الحديد وموقع انطلاق ATP يكون فيما بين انطلاق الالكترون من البلاسيتوكينون وسيتوكروم o). f)

ث- **plastoquinon** توجد مادة البلاستوكينون فيما بين نظامى تفاعل الضوء ويتم أكسدتها ضوئياً بواسطة PS I أما اختزالها فيكون من خلال النظام الضوئى الثانىPS II وهذا المركب هو الوحيد الموجود بكمية تعادل ٥-١٠ %من الكلوروفيل الكلى.

ج- **Quinon Q أو C55O** هذه المادة غير معروفة بدرجة كافية وهى تعمل كمستقبل الكتروني فى PS II ويعطى هذا المركب أعلا معدل لطيف الامتصاص عند ٥٥٠ ملليمكرون<

تفاعلات الظلام Dark Reaction

بعد ان يتم انتاج $NADPH_2$, ATP من تفاعلات الضوء ، فأنها ستدخل في تفاعلات أخرى تسمى تفاعلات تثبيت الكربون فيتحول CO_2 اللاعضوي الى مركب كربوني عضوي . لقد كانت توصف هذه التفاعلات سابقا بتفاعلات الظلام ظنا من الباحثين أنها لا تحتاج الى طاقة ضوئية ، ولكن اتضح مؤخرا أن الإنزيمات المساهمة في هذه التفاعلات تنشط

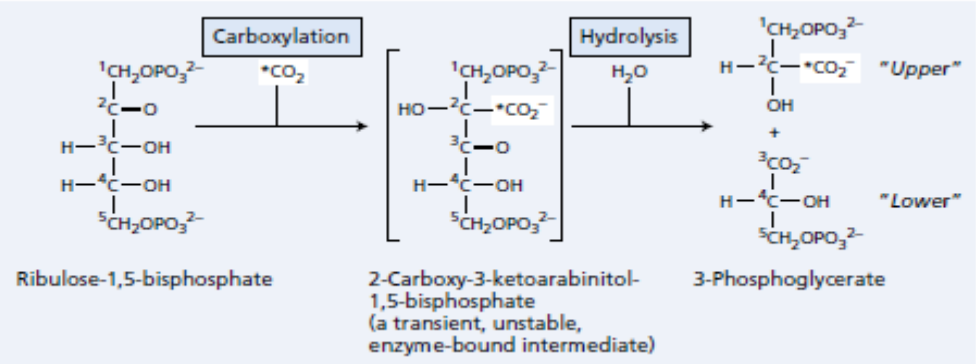
بوجود الضوء وتنخفض فعاليتها في الظلام ، ولذا لا يمكن اختزال الكربون في الظلام حتى وان توفرت الطاقة من مصدر أخر.

طرق تثبيت CO_2 في النباتات

لقد بينت البحوث وجود ثلاثة طرق لتثبيت CO_2 تبعا لاختلاف **الانواع النباتية** وعلى ضوء ذلك قسمت النباتات الى ثلاثة مجاميع على حسب ذلك:

١- **مجموعة نباتات C_3** : وقد سميت بهذا الاسم لان أول مركب يتكون بعد تثبيت CO_2 هو مركب ثلاثي ذرات الكربون 3- phosphoglyceric acid (PGA) وتثبت CO_2 ضمن دورة من التفاعلات تدعى **دورة كالفن Calvin cycle** وتتضمن هذه الدورة مايلي :

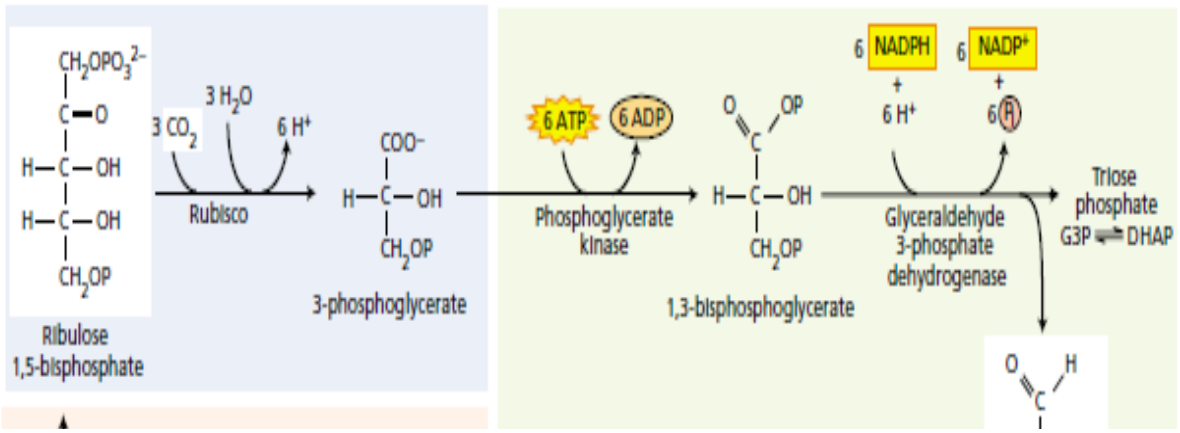
تكثف هذه الدورة جزيئة CO_2 مع سكر خماسي الكربون (RuBP) Ribulose-1,5biphosphate الى جزيئتين من سكر الثلاثي الكربون هو 3- phosphoglyceric acid (PGA) باستغلال طاقة $NADPH_2$, ATP . ولاختصار الدورة تدخل ستة جزيئات من CO_2 دورة كالفن فتنتج كل جزيئة منها جزيئتين من 3-PGA وكما موضح في المخطط :



بعد أن تنتج جزيئتين 3-PGA يتم اختزال كل جزيئة منها الى Glyceraldehydes-3-P (G3P) في تفاعل يتطلب طاقة ATP وقوة اختزال NADPH (وهما من نواتج تفاعلات الضوء) . بعض جزيئات G3P قد تنتقل الى السايتوبلازم وتتحد لتكوين سكريات سداسية (hexose-P) مثل سكر الفركتوز Fructose-P او Glucose-P واللذان قد يتحدان لتكوين السكروز المفسفر ، وقد يتكون منها النشا وكاربوهيدرات اخرى . اما الجزيئات الاخرى فقد تمر بسلسلة من التفاعلات (تكثيف واعادة تنظيم) لتكوين RuBP ليستقبل جزيئة CO_2 مرة اخرى ولتستمر تفاعلات الدورة . النتيجة النهائية لهذه التفاعلات هو أعادة دورة الكربون من خلال تدوير ٥ جزيئات (من اصل ٦ جزيئات) من G3P لتنتج ثلاث جزيئات من RuBP لتحل محل الجزيئات التي تفاعلت سابقا مع CO_2 ، وبذلك تستمر دورة كالفن. اما الجزيئة السادسة فهي التي تدخل الايض في السايتوبلازم لتكوين hexose والكاربوهيدرات الاخرى.

اذاً، في هذه الدورة كل جزيئة CO_2 تحتاج 3ATP و 2NADPH . وبما ان تكوين جزيئة واحدة من F-6-P يحتاج الى ٦ جزيئات من CO_2 كمحصلة نهائية :

$$6\,CO_2 + 11\,H_2O + 12\,NADPH + 18\,ATP \rightarrow \text{Fructose-6-phosphate} + 12\,NADP^+ + 6\,H^+ + 18\,ADP + 17\,P_i$$



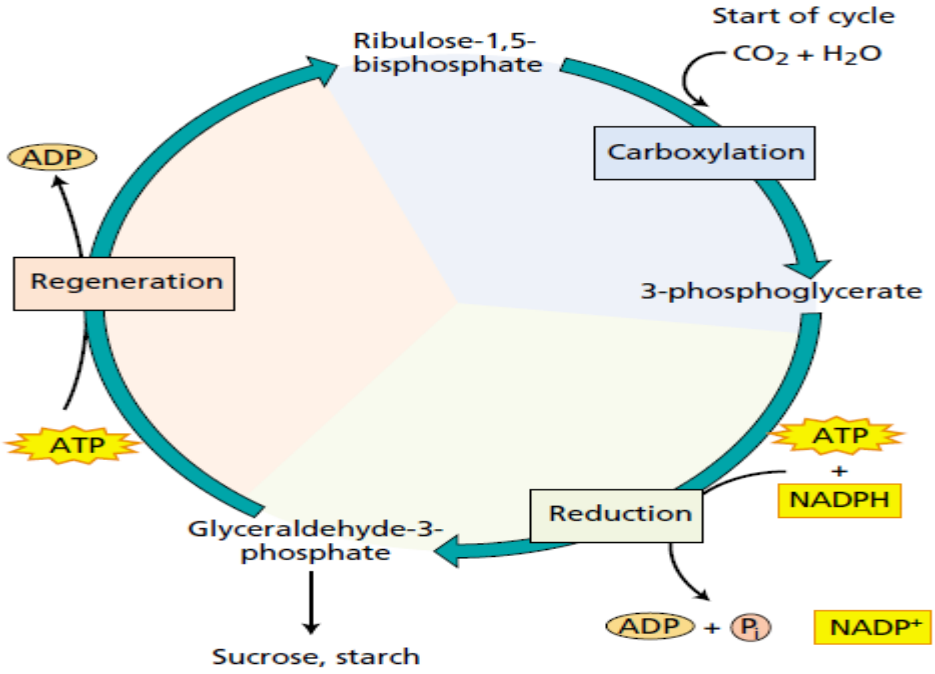


FIGURE 8.2 The Calvin cycle proceeds in three stages: (1) carboxylation, during which CO_2 is covalently linked to a carbon skeleton; (2) reduction, during which carbohydrate is formed at the expense of the photochemically derived ATP and reducing equivalents in the form of NADPH; and (3) regeneration, during which the CO_2 acceptor ribulose-1,5-bisphosphate re-forms.

من الامثلة على نباتات C3 محصول الحنطة والشعير والرز والباقلاء وفول الصويا وزهرة الشمس وغيرها.

٢- مجموعة نباتات C4 (نباتات رباعية الكربون C4-plant)

سميت بهذا الاسم لان اول مركب يتكون بعد تثبيت CO_2 هو مركب رباعي الكربون وهو حامض الاوكزالو اسيتيت (OAA) .

ويعرف مسار تثبيت الكربون فيها بمسار هاج – سلاك Hatch – slack pathway .

يحدث هذا المسار في بعض النباتات – خاصة الاستوائية الأصل أو شبه الاستوائية كالذرة البيضاء والصفراء و قصب السكر وغيرها ، ويكون الناتج الأول للتفاعل هو مركب رباعي ذرات الكربون . تضم هذه المجموعة ما يقارب ١٥٠٠ نوعا موزعة على ما يقارب عن ١٨ عائلة نباتية لمغطاة البذور (١٥ منها من ذوات الفلقتين و٣ من ذوات الفلقة الواحدة) .

تتميز نباتات هذه المجموعة بما يلي:

١- تنمو بشكل مثالي تحت شدة ضوء عالية ودرجة حرارة عالية (٣٠ – ٤٠ درجة سيليزية)

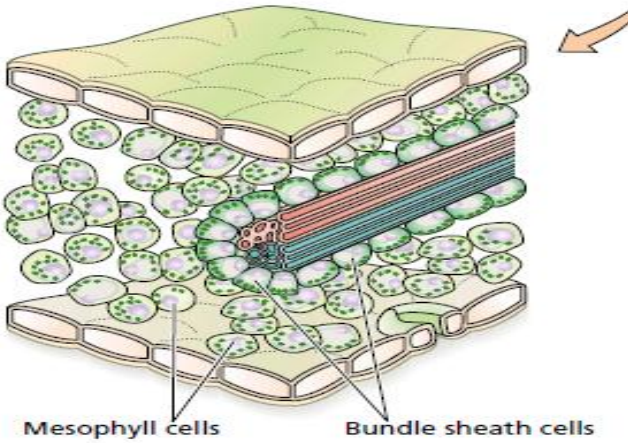
٢- معدل التركيب الضوئي فيها عالي قد يصل الى ضعفين او ثلاث مما هو عليه في نباتات C3 في نفس الظروف

٣- سرعة نمو عالية (تنتج حوالي ٤-٥ غم مادة جافة/سم^3 /يوم مقارنة بـ ٠.٥ – ٢ غم في نباتات C3

٤- قدرتها على تحمل الجفاف اكبر من نباتات C3 ، ولها القدرة على استمرار عملية البناء الضوئي تحت ظروف الإجهاد المائي (Water stress)

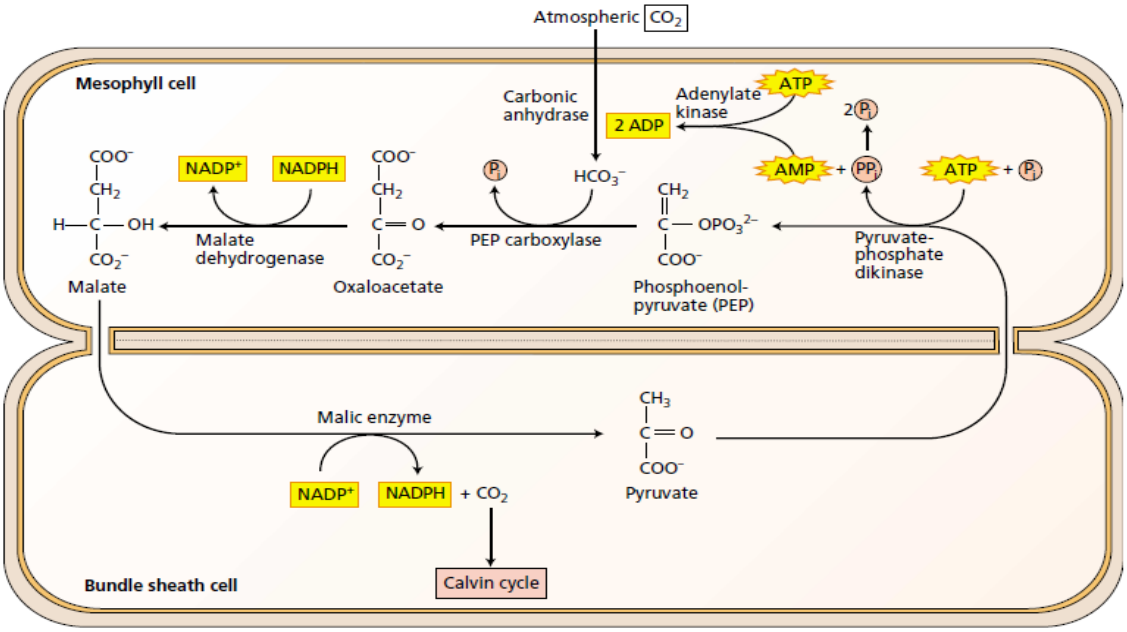
٥- التنفس الضوئي فيها معدوم أو واطئ جدا بسبب قدرتها على زيادة تركيز CO_2 في أنسجة الورقة وقد يكون هو السبب وراء اكتسابها الميزات المذكورة

٦- تحتوي على بلاستيدات خضراء في خلايا غلاف الحزم الوعائية للورقة Bundle sheath إضافة الى بلاستيدات خلايا طبقة الميزوفيل ، بينما لا تحتوي نباتات C3 على بلاستيدات في خلايا غلاف الحزمة، مما يعطيها أمكانية اكبر في استغلال الطاقة الضوئية، كما في الشكل الاتي:



دورة هاج – سلاك:

يحدث التفاعل اولا في خلايا الميزوفيل حيث يتفاعل مركب Phosphoenol pyruvate (PEP) مع CO_2 الداخل من الهواء الى الورقة فيتكون حامض وسطي رباعي الكربون غير ثابت ، ثم يتحول الى مركب اخر رباعي الكربون مستقر هو Asparatate او Malate اللذان ينتقلان الى كلوروبلاست خلايا غلاف الحزمة الوعائية المجاورة ، وهناك تزال جزيئة من CO_2 لتدخل دورة كالفن ثم تختزل الى سكر ثلاثي (Triose sugar) . اما الحامض العضوي الثلاثي المتبقي فيعود (ينتقل) الى خلايا الميزوفيل بعد ان يتحول الى pyruvate ثم الى PEP ليستلم جزيئة جديدة من CO_2 وتعود الدورة من جديد ، وكما في المخطط الاتي:



٣- مجموعة نباتات CAM :

والمقصود بالمختصر هو Crassulacean Acid Metabolism والتسمية أطلقت على النوع النباتي التي اكتشفت فيه العملية أولا وهو Crassulacean. ويحدث هذا النوع في النباتات العصارية التي لا تفتح ثغورها في النهار لتجنب فقدان الماء بفعل الحرارة العالية . لذلك فأن غاز CO_2 ينفذ الى داخل أنسجة الورقة ليلا عندما تكون الثغور مفتوحة ويثبت بإتحاده مع مركب PEP ليكون OAA الذي يتحول الى الماليت ويخزن بكميات كبيرة في الفجوات . وفي النهار يتحول الماليت إلى OAA والذي بدورة يتحول الى PEP محرر غاز CO_2 الذي يتم تثبيته مرة اخرى في دورة كالفن كما في المخطط:

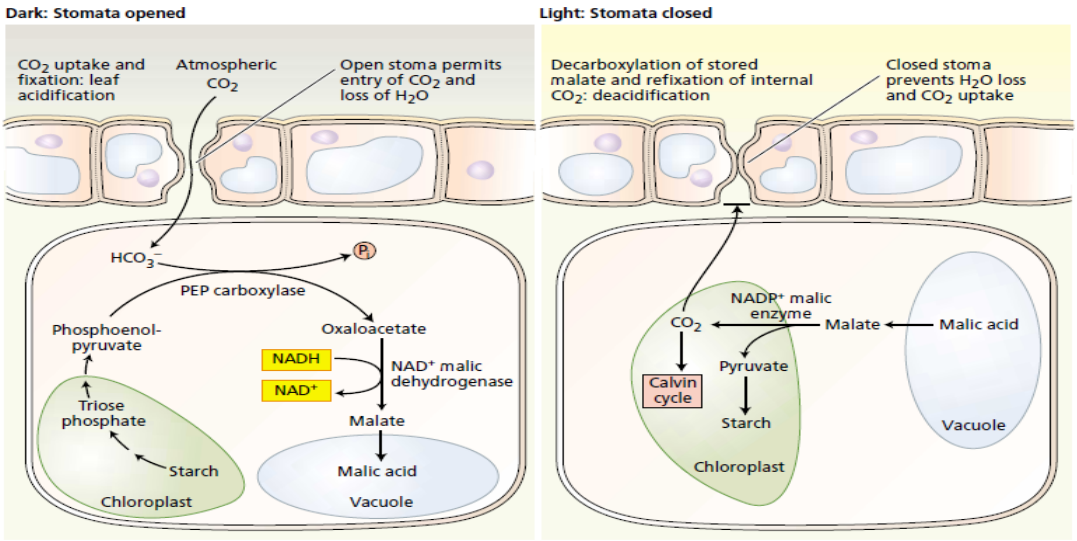


FIGURE 8.12 Crassulacean acid metabolism (CAM). Temporal separation of CO_2 uptake from photosynthetic reactions: CO_2 uptake and fixation take place at night, and decarboxylation and refixation of the internally released CO_2 occur during the day. The adaptive advantage of CAM is the reduction of water loss by transpiration, achieved by the stomatal opening during the night.

التنفس الضوئي Photorespiration

يحدث هذا النوع من التنفس في نباتات C3 ، إذ يحدث تنفس بوجود الضوء في البلاستيدات الخضراء والبيروكسوسوم والمايتوكندريا . تتضمن العملية تنافس بين O_2 والـ CO_2 بوجود الضوء على الارتباط بالموقع الفعال في عملية التمثيل الضوئي Ribulose diphosphate carboxylas . وفي هذه العملية يستهلك جزء من الكربون المثبت في دورة كالفن بواسطة العمليات المستهلكة للأوكسجين والمحررة للـ CO_2 ، والتنافس بينهما يعتمد على تركيزهما في الورقة، فزيادة تركيز الأوكسجين (أي نقص CO_2) يزيد من معدل التنفس الضوئي، والعكس صحيح

تفقد نباتات C3 بسبب التنفس الضوئي بحدود ٢٠ – ٤٠ % من الكربون المثبت في التركيب الضوئي ، وهذا ما يجعل عملية التركيب الضوئي في نباتات C3 اقل كفاءة . على الرغم من ذلك ألا ان العملية لاتخلو من فوائد للنبات ، ومن فوائدها بناء الحامضين الامينيين الكلايسين والسيرين اللذان يدخلان في بناء البروتين .

العوامل المؤثرة في عملية البناء الضوئي

١- تركيز CO_2 في الجو :

يؤثر كل من عملية انتشار غاز CO_2 وتركيزه في معدل الية البناء الضوئي ، فقد لوحظ ان انتشار الغاز الى داخل انسجة الورقة من خلال الثغور يتأثر بسعة الثغر، فهو يتناسب طرديا مع نصف قطر الثغر . كما وجد ان زيادة التركيز تؤدي الى زيادة معدل البناء الضوئي ولكن الى حد معين بعدها ينخفض المعدل بزيادة التركيز بسبب السمية للنبات .

٢- تركيز الاوكسجين O_2 :

يعتقد ان الاوكسجين يؤثر في عملية البناء الضوئي من خلال تنافس الاوكسجين O_2 مع CO_2 على ايون الهيدروجين (H) في المركب الاختزالي NADPH مما يؤدي الى تكوين الماء بدلا من الاتحاد مع CO_2 وتكوين السكر وبالتالي تنخفض عملية التمثيل الضوئي . كذلك يمكن ان يحدث التأثير من خلال التنافس الحاصل بين البناء الضوئي والتنفس على المركبات الوسطية ، اذ ان استهلاك هذه المركبات في عملية التنفس بصورة كبيرة بسبب التركيز العالي للأوكسجين يؤدي الى حرمان عملية التمثيل الضوئي منها وبالتالي الى خفض معدلها. ومن الامثلة المهمة على هذه الحالة التنفس الضوئي الذي ذكرناه سابقا.

٣- توفر الماء:

لوحظ ان للماء تأثير على عملية البناء الضوئي ، فعند حصول الجفاف الشديد تغلق الثغور وينخفض دخول غاز CO_2 وبتالي ينخفض البناء الضوئي ، كما ان الجفاف الشديد يؤدي الى سحب الماء من البروتوبلازم وهذا بدوره يؤثر سلبا في نشاط الانزيمات في الخلية ومنها انزيمات البناء الضوئي.

٤- درجات الحرارة:

تؤثر درجات الحرارة بصورة واضحة في عملية البناء الضوئي ، فدرجات الانجماد تؤدي الى تجمد الماء في المسافات البينية ومنع دخول غاز CO_2 وبتالي خفض معدل البناء الضوئي ، وفي نفس الوقت تحطم البروتينات. اما درجات الحرارة العالية فتؤثر سلبيا على نشاط انزيمات تفاعلات الظلام مسببة خفض البناء الضوئي . وعموما زيادة درجة الحرارة تؤدي الى زيادة نشاط اغلب الفعاليات الحيوية الى حد الدرجة المثلى بعدها تصبح مضرة للنبات

٥- شدة الضوء Light intensity:

لوحظ وجود علاقة بين شدة الاضاءة ومعدل البناء الضوئي ، فكلما ازدادت الشدة ازداد معدل البناء الضوئي الى حد معين بعدها تصبح الزيادة طفيفة . وفي حالة شدة الاضاءة العالية جدا ينخفض معدل البناء الضوئي بسبب حدوث الاكسدة الضوئية للكلوروفيل وتلفه .

م/٨: الهرمونات النباتية Phytohormones

لوحظ أن معظم الاستجابات الفسيولوجية فى النباتات مثل استطالة الخلايا وتكشفها ، تكوين الأزهار ، نمو الجنين ، تساقط الأوراق ، الإنتحاءات ، تكوين الثمار اللابذرية ،السيادة القمية وغيرها ترجع إلى مركبات نشطة تسمى هرمونات.

يطلق لفظ هرمون على تلك المواد العضوية التى ينتجها الكائن الحى بتركيزات منخفضة جداً حيث يتم تصنيعها فى مكان بجسم الكائن الحى وتنتقل بعد ذلك الى أماكن أخرى فى نفس الكائن حيث تحدث فيها تغيرات فسيولوجية ملحوظة .

وقد أستخدم هذا الإصطلاح أولاً فى فسيولوجيا الحيوان وهو من أصل يونانى بمعنىTo excite أى لينشط وقد تم إستخدامة مجازاً فى مجال فسيولوجى النبات تحت إسم Phytohormones أوالهرمونات النباتية وإن كان إلى الأن مازالت هناك إختلافات حول هذة التسمية حيث يفضل بعض العلماء أن تسمى بمنظمات النمو وعلى أى حال يمكن تعريفها بكونها **مركبات عضوية تنتج طبيعياً فى النبات بكميات صغيرة جداً تشجع او تثبط او تحور العمليات الفسيولوجية فى النبات وتنتقل من أماكن إنتاجها إلى الأماكن الأخرى التى تحدث فيها تأثيرها الفسيولوجى وتشمل خمسة مجاميع رئيسية هى:**

- الأوكسينات ٢- الجبريللينات ٣- السيتوكينينات ٤- الإثيلين ٥- حامض الأبسيسيك.

وهنا يجب التمييز بين المنظم والهرمون اذ ان :

منظمات النمو growth regulators	هرمونات النمو Growth hormones

هى مركبات عضوية من غير المغذيات والتى بكميات صغيرة تشجعpromote أو تحور modifyأو تثبط inhibit العلميات الفسيولوجية فى النبات	هى مواد تنتجها النباتات والتى بكميات صغيرة تنظم العمليات الفسيولوجية النباتية وهى تتحرك خلال النبات من أماكن تخليقها إلى أماكن عملها.
هي مواد تؤثر على النمو	هى الهرمونات التى تنظم النمو

وتقسم هرمونات النمو إلى الآتى:

- منشطات النمو مثل الأوكسينات – الجبريللينات -السيتوكينيات.

- مثبطات النمو مثل حامض الأبسيسيك والاثليين

١- الأوكسينات Auxins

الأوكسينات هى أول نوع من الهرمونات تم اكتشافه .وكلمة أوكسين يونانية معناها 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.

يمكن تعريف الأوكسين بانه المادة العضوية التى تزيد النمو زيادة غير عكسية على طول المحور الطولى إذا أعطيت بتركيزات ضئيلة " أقل من ٠.٠٠١ مول " لسيقان نباتات أمكن تخليصها أو خالية بقدر الإمكان من منظمات النمو الداخلية.

تم اكتشاف الأوكسينات نتيجة تجارب أجريت لتفسير بعض الظواهر الفسلجية كالانتحاء الضوئي Phototropism) فقد وجد العالم دارون ١٨٨١ بأنّ قمة الغمد الورقي للحشائش Grass Coleoptile يعتبر أساس لحدوث الانتحاء الضوئي للغمد الورقي كله.وقد وصف العالم كوجل Kogl ومساعدوه المركب إندول حامض الخليك Indole-3-Acetic Acid ومختصره (IAA) بأنه أوكسين وقد استخلصت هذه المادة بصورة نقية من مصادر نباتية مختلفة.

وقد اكتشف بأنّ بول الإنسان غني بمواد النمو (Growth Substances) وباستخدام إختبار غمد الشوفان Avena Coleoptile Test على أنواع كثيرة من المواد تمكن العالم كوجل Koglوهيكن-سميث Haagen-Smith في عام ١٩٣١ من استخلاص مركب بصورة بلورية من بول الإنسان أطلق عليه اسم أوكسين أ (Auxin A) وباستخدام طرق تنقية مماثلة تمكن نفس العلماء في سنة ١٩٣٤ من استخلاص مادة فعّالّة أخرى من زيت حبوب الذرة ذات تركيب كيميائي وفعّالية مشابهة للمركب أوكسين أ سمّي بأوكسين ب (Auxin B) إنّ اكتشاف الأوكسين شجع عدد كبير من الباحثين والمشتغلين في مجال تنظيم نمو النبات إلى القيام ببحوث ودراسات موسعة ومكثفة في هذا المحال مما أدى إلى اكتشاف عدد كبير من مركبات طبيعية Natural وتركيبته Synthetic مشابهة للمركب IAA من حيث فعاليتها الفسلجية.

توزيع الأوكسين في النباتDistribution of auxin in the plant:

لوحظ بأنّ أعلى تركيز للأوكسين يوجد عادة في القمم النباتية للأعضاء النباتية مثل الأغماد الورقية والبراعم والقمم النامية للسيقان والأوراق والجذور والأزهار والنموات الزهرية. ويقل تركيزه كلما تقدمنا نحو قاعدة ذلك العضو وذلك نتيجة لنضج الخلايا وتقدمها في العمر.

توجد الأوكسينات داخل النبات بشكلين مختلفين أحدهما سهل الاستخلاص بطريقة الإ[illegible]ار ويسمى بالاوكسين الحر (Free Auxin) والثاني صعب الاستخلاص ويتطلب مركبات عضوية لأستخلاصه ويسمى بالاوكسين المرتبط (Bound Auxin). والأخيرهو الأوكسين الفعّال في عملية النمو. وكثير من الاوكسينات المرتبطة ناتجة من ارتباط الاوكسينات بالبروتينات ولهذا يحتاج استخلاصها بواسطة أنزيمات معينة تعمل على تجزئة البروتين محررة بذلك الاوكسين. يعتبر الاوكسين الحر اوكسين فائض وغيّر فعّال. وينتقل الاوكسين في النبات بهيئة اوكسين حر من أماكن تكوين إلى أماكن فعاليته حيث يؤثر في تنظيم النمو.

انتقال الاوكسينات:

من تجارب دارون وغيره تم التوصل الى اعتبار انتقال الاوكسينات في النبات هو انتقال قطبي (Polar) وحركة الاوكسين هي نحو القاعدة (Basipetally) لكثير من الأنسجة أو الأعضاء الأخرى كالأغماد الورقية أو أعناق الأوراق والسويقات الخشبية والسيقان العشبية والخشبية. تحدث الحركة القطبية الى أسفل خلال الأنسجة البرانكيمية أو اللحاء. أمّا في الجذور فإنّ صورة انتقال الاوكسين تكون مختلفة. ففي الجذور العتيقة يكون انتقال الاوكسين يميل الى الابتعاد عن القمة النامية بينما يكون انتقال الاوكسين في الجذور القديمة لكلا الاتجاهين الى الأعلى والى الأسفل.

إلّا أن التجارب التي تلت ذلك بينت أن قطبية انتقال الاوكسينات نحو القاعدة لا ينطبق على جميع النباتات حيث وجد جاكوبس ١٩٦١ في سيقان نبات الكوليس (Coleus) بان الاوكسين ينتقل باتجاهين أحدهما نحو القاعدة والآخر نحو القمة Acropetally وبنسبة ١:٣ على التوالي. كما وُجد بأنّ قسماً من الأوكسين المتكون في الورقة ينتقل بواسطة اللحاء الى أجزاء أخرى من النبات وهذا الإنتقال بطبيعة الحال ليس قطبياً. كما أنّ التجارب الحديثة بينت أنّ انتقال الاوكسين يتم في كلا الاتجاهين ولو أنّ الانتقال نحوالقاعدة أكثرأهمية بالنسبة للنبات.

<u>التأثيرات الفسيولوجية للاوكسينات:</u>

١- استطالة الخلايا: Cell Elongation

إنّ زيادة تركيز الاوكسينات تسبب زيادة معدل استطالة الخلايا ضمن مدى معين من التركيز وان مدى التركيز المثالي Optimum لأستطالة الخلايا يختلف بحسب الأنسجة المختلفة. وبصورة عامة فأنّ التركيزات العالية نسبياً تعطي تأثير مثبط لهذه العملية.

٢- الانتحاءات Tropisms:

تتأثر وتستجيب الكائنات الحية للظروف الخارجية والداخلية. فتغير الظرف الخارجي يسمى منبه (Stimulus) بينما التغير الحاصل في النبات والناتج من ذلك المنبه يسمى الاستجابة (Response) وقد تتخذ هذه الاستجابة عدة اشكال وغالباً ما تكون بهيئة حركة (Movement). وتقسم الانتحاءات إلى:

أ. **الانتحاء الضوئي Phototropism**: وهي استجابة النبات لضوء مسلط من جانب واحد (Unilateral) بانحنائه باتجاه الضوء أو بعيداً عنه. تنحني المجموعة الخضرية باتجاه الضوء ويسمى انتحاء ضوئي موجب اما السيقان الارضية والجذور ذات انتحاء ضوئي سالب أي تنحني بعيداً عن مصدر الضوء.

ب. الانتحاء الأرضي: Geotropism:

هي الحركة الناتجة عن النمو استجابة لتأثير الجاذبية الأرضية فإذا كان نمو العضو النباتي نحو مركز الأرض يعتبر ذلك العضو موجب الانتحاء الأرضي. أمّا إذا كان النمو بعيداً عن مركز الأرض يكون سالب الانتحاء الأرضي. معظم الجذور الرئيسة تكون موجبة الانتحاء الأرضي بينما معظم سيقان النباتات الراقية تكون سالبة الانتحاء الأرضي.إنّ التفسير لهذا ينطبق عليه نظرية كولودني وفنت أيضاً.

ج. الانتحاء الكيميائي: Chemotropism:

ويقصد به حركة عضو نباتي معين باتجاه منبه كيميائي خارجي كما في حالة نمو انبوب اللقاح خلال نسيج القلم وباتجاه البويض. حيث تحدث استطالة انبوب اللقاح بتأثير مواد كيميائية موجودة في البويض وجدران المبيض. ولو أنّ التركيب الكيميائي لهذه المواد لا يزال غير معروف.

د. الانتحاء الميكانيكي:Thigmotropism :

هي الحركة الناتجة من منبهات ميكانيكية كما في التفاف حوالق العنب والبزاليا وغيرها من النباتات المتسلقة حول دعامات خاصة.

ه. الانتحاء المائي: Hydrotropism:

كثير من الجذور تنمو نحو المناطق التي هي أكثر رطوبة من غيرها أثناء تغلغلها في التربة.

٣-السيادة القمية: Apical Dominant:

إنّ البراعم الجانبية (Lateral Buds) لكثير من النباتات الوعائية تظل كامنة طالما يكون البرعم النهائي نامياً نمواً طبيعياً. وعند إزالة البرعة النهائي فان أكثر هذه البراعم الجانبية تنبت وتبدأ بالنمو. وهذه الظاهرة تسمى بالسيادة القمية.

٤- تكوين بادئات الجذور: Root Initiatim:

يزيد الاوكسين خصوصاً IAA من عدد الجذور المتكونة على النصل فيما إذا زرعت هذه العُقل في وسط ملائم للنمو.

٥- تكوين الثمار عذرياً: Parthenocarpy:

تحفز عملية التلقيح (Pollinatim) انتفاخ المبيض في أغلب أنواع النباتات. ويعتبر وجود البذور الحية شرط اساسي لنمو الثمار. إنّ تأثير التلقيح والأخصاب على نمو الثمار ربما يكون بواسطة تحرر مواد محفزة معينة. وعلى الرغم من ذلك فهناك ثمار تنمو من دون حدوث عملية تلقيح سابقة. نمو هذا النوع من الثمار شائع

ويسمى ويعرف بالنمو العذري (Parthenocarpy). وتعرف الثمار الناتجة بالثمار العذرية (Parthenocarpic fruits)

٦- علاقة الاوكسين بالتنفس: وُجد ان استخدام الاوكسين يزيد من معدل تنفس الأعضاء النباتية وهذه الظاهرة غير معروفة ولكن يعتقد بأنها تحصل من خلال تكوين مادة الـADP حيث يسرع في استخدام الـATP من قبل الخلايا أثناء نموها واستطالتها ونتيجة لذلك تتحرر مادة الـADP الضرورية لزيادة معدل التنفس.

٧- تكوين الكالس:Callus Formation:

الكالس: عبارة عن انتفاخ يمثل نسيجاً من خلايا برانكيمية سريعة الانقسام. قد يتكون نسيج الكالس هذا في أماكن الجروح على الأجزاء النباتية. اي ان الاوكسين يحفز النشاط الكامبيومي سواء كان كامبيوم وعائي أو فليني. في هذا فالاوكسين مشابه في عمله لفعل الجرلين.

٢- الجبرلينات Gibberellins

اكتشف هذه المجموعة من هرومونات النمو النباتية من قبل بعض الباحثين اليابانيين حيث لاحظ كيرساوا karasawa عام ١٩٢٦ أثناء دراسته لمرض البكانا Bakana أو ما يسمى بالبادرة الحمقاء Foolish Seedling في نباتات الرز نتيجة لإصابتها بالفطر المسمى (Gibberella Fujikuroi) والمعروف أيضاً باسم Fusarium moniliform بأنّ سيقان وأوراق النباتات المصابة بهذا المرض تنمو لدرجة كبيرة وشاذة فتبدو طويلة ونحيفة وأحياناً خالية من الثمار.

وقد بيّن هذا الباحث بأنّ المستخلص (Extract) المأخوذ من هذا الفطر يسبب ظهور أعراض المرض المذكور في النباتات الطبيعية. في عام ١٩٣٩ تم استخلاص مادة بلورية من راشح المادة الغذائية المنمى عليها الفطر حيث تم استخلاص مادة بلورية وسميت هذه المادة بجبرلين أ (Gibberellin-A) نسبة إلى الفطر الذي استخلصت منه هذه المادة لأول مرة. أمّا التركيب الكيميائي لهذه المادة فلم يعرف حتى عام ١٩٥٤ عندما تمكن مجموعة من الباحثين الأنكليز من استخلاص هذه المادة بصورة نقية تماماً من الراشح الغذائي لهذا الفطر وسميت هذه المادة بمادة الجبرليك (Gibberellic Acid) ولم يبدأ الإهتمام بالجبرلينات إلّا منذ عام ١٩٥٠ عندما وجد أن هذه المواد تؤثر على الفعاليات الفسيولوجية والتطورات المورفولوجية للنباتات الوعائية. وهذا قاد إلى الإعتقاد بوجود هذه المركبات بصورة طبيعية في النبات. ولم يمض وقت طويل حتى تم استخلاص أربعون (٤٠) مركباً ذو فعالية فسيولوجية مماثلة لحامض الجبرليك ومنها ١٣ مركباً جميعها متشابهة بالتركيب الكيميائي وتسمى بسلسلة جبرلين-أ (Gibberellic Acid) ولها جميعاً نفس نفس التركيب الجزيئي الأساسي والذي يسمى الهيكل الكاربوني الأساسي للجبرلينات، وهي تختلف عن بعضها البعض بعدد وموقع المجاميع الجانبية على ذرات الكاربون المكونة لتلك الحلقات، إضافة إلى اختلافها في درجة تشبع الأواصر في الحلقة أ (A-Ring) ومن المركبات التي لها فعالية جبرلينية ولكن تختلف عنها بالتركيب الكيميائي هي هلمنثوسبورال Helminthosporal المستخلص من الفطر المسمى (Helminthsporium Sativum) وكذلك حامض الفاسيوليك (Phaseolic acid) المستخلص من بذور الفاصوليا.

التأثيرات الفسيولوجية للجبرلينات:

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 (كموت) البراعم والبذور وتحفيز النسيج الحشوي في الورقة (Mesophyll) وفيما يلي بعض التأثيرات الفسيولوجية المهمة للجبرلينات:

١. التقزّم الوراثي: Genetic Dwarfism:

إنّ التقزّم الوراثي ينتج عادة عن طفرة في أحد الجينات التي ربما تسبب إيقاف في عملية بناء الجبرلين أو في إظهار فعاليته. والنباتات المتقزمة وراثياً تنتج عند قعر السلاميات وليس عند قلة عددها. فعند معاملة تلك النباتات بالجبرلين كما في (الفاصوليا والبزالياوالباقلاء) تستطيل سلاميات هذه النباتات ويزداد عددها وتصبح مماثلة للنباتات الاعتيادية. أمّا تأثير الجبرلين على النباتات الاعتيادية فيكون ضعيفاً. يعتقد البعض بان التقزم الوراثي والذي يُزال بواسطة الجبرلين يرجع سببه إلى عدم وجود هورمون الجبرلين أو يتواجد بتراكيز قليلة داخل تلك النباتات وهذا قد يعود إلى انعدام وجود أنزيم معين يؤثر على سلسلة التفاعلات المؤدية إلى بناء الجبرلين. ويعتقد البعض بأنّ سبب التقزّم الوراثي في بعض النباتات يرجع إلى وجود زيادة في بعض مثبطات النمو وان الجبرلين يُضاد تأثيراتها عندما تعامل به تلك النباتات.

٢. نمو الساق الزهري والتزهر: Bolting and Flowering:

يُلاحظ في بعض النباتات عدم توافق زمني بين نمو الأوراق واستطالة الساق فقد تنمو الأوراق بانتظام ولكن الساق يتأخر في النمو مكون ما يدعى بالشكل التوردي (Rosette). وإذا ما عُوملت مثل هذه الأنواع بالجبرلين وهي تحت ظروف غير ملائمة تبدأ السيقان بالإستطالة ومن ثم التزهير.

٣. تثبيط الضوء لنمو الساق:Light inhibited stem Growth:

من الحقائق المعروفة أنّ النباتات النامية في الظلام تكون أطول من تلك النامية في الضوء لنفس النوع النباتي ويشير ذلك إلى أنّ الضوء يعمل على تثبيط إستطالة الساق. وعند معاملة تلك النباتات النامية في الضوء بالجبرلين لوحظ زيادة في استطالة سيقانها، والسبب قد يرجع إلى واحد أو أكثر من الآتي:

١. الضوء يخفض من تركيز أو نشاط الجبرلين الداخلي.

٢. إنّ الجبرلين يزيد من لدونة الجدران الخلوية وبالتالي إلى استطالة الخلايا. أمّا الضوء بصورة عامة والأحمر بصور خاصة يثبط عملية تحول اللبنة الأولية للجبرلين GA-Precursor.

٣. إنّ الضوء ربما يحفز تكوين مثبطات نمو تبطل عمل الجبرلين في استطالة الخلايا.

وعلى العكس من ذلك فليس للضوء تأثير في بعض النباتات مثل الخروع حيث كان مستوى الجبرلين متساوياً في النباتات النامية في الضوء وكذلك تلك النامية في الظلام.

٤- إنبات البذور Gibberellin and Germination:

وجد أنّ حامض الجبرلين يمكن أن يحفز أنزيم الاميليز في سويداء حبوب الشعير التي أزيل منها الجنين. وقد تبين بعد ذلك بأنّ طبقة الأليرون في السويداء عديمة الحساسية له. إنّ تحفيز الجبرلين للأميليز يشير إلى أنّ هذا الهرمون ربما يؤثر على بعض الجينات شأنه شأن الاوكسين، حيث يعتقد بأنّ الجينات المسؤولة عن بناء الأميليز تكون مثبطة عند بدء عملية الإنبات وفي بداية إنبات البذور فإنّ هرمون الجبرلين الذي يتحرر من قبل الجنين وينتقل إلى خلايا طبقة الأليرون يزيل التثبيط عن الجينات المسؤولة عن عملية تكوين أنزيم الاميليز.

الفعل المتبادل بين الجبرلين والاوكسين

يتشابه تأثير الجبرلين والاوكسين في بعض الظواهر الفسيولوجية ومنها استطالة السلاميات والأغماد الورقية. عند وضع أجزاء من ساق لنبات معين حاوي على عدد من السلاميات في محلول أوكسيني وأجزاء أخرى في محلول جبرليني يلاحظ استطالة الأجزاء الموضوعة في المحلول الأوكسيني فقط. ولكن عند وضع بعض الأجزاء الساقية أو أجزاء غمدية في محلول يحوي كل من الاوكسين والجبرلين فان استطالة تلك الأجزاء تكون كبيرة وأكبر مما لو كان المحلول حاوياً على الأوكسين فقط.

يستدل من ذلك أنّ تأثير الجبرلين يعتمد على وجود الأوكسين.

تشير بعض الأدلة بأنّ الجبرلين يزيد في مستوى الأوكسين الداخلي بتأثيره أمّا على بناء الأوكسين أو عملية منع أكسدته. حيث يعتقد البعض بأنّ حامض الجبرلين يؤثر على الأنزيم المؤكسد للـIAA والمعروف بـ-IAA Oxidase وبالتالي إلى حماية الـIAA من الأكسدة.

ولوحظ انخفاض في تركيز البيروكسيديز عند معاملة نباتات الذرة والبزاليا المتفرقة بالجبرلين، وزيادة في مستوى الاوكسين في بادرات البزاليا وعباد الشمس عند معاملة هذه النباتات بالجبرلين. وفي نباتات أخرى لوحظ تحفيز الجبرليك لعملية تحويل التربتوفان Tryptophan إلى Indole-3- Acetic Acid.

يلاحظ مما سبق بأنّ الجبرلين والاوكسين يؤثران بصورة مشتركة أو مستقلة اعتماداً على نوع النبات والظروف المحيطة التي ينمو بها النبات وكذلك على نوع الظاهرة الفسيولوجية.

٣- السايتوكينينات:Cytokinins:

هي هورمونات نمو تتركب أساساً من حلقة البيورين Purine Ring وتسمى سابقاً كاينيناتKinins. تم اكتشافها من خلال ملاحظة أنّ بعض المركبات الحاوية على الأدنين Adenine يمكنها أن تحفز الانقسام الخلوي في بعض النباتات. والادنين واسمه الكيميائي (G-amino Purine) عبارة عن قاعدة نايتروجينية من نوع البيورين تدخل في تركيب الأحماض النووية كالـ RNA و DNA وقد تم اكتشاف أول مركب من هذه المجموعة هو الكاينيتين Kinetin واسمه(6-Furfuryl amino purine). وهناك سايتوكاينينات أخرى شائعة الوجود في النبات وخصوصاً في الأنسجة التي في حالة انقسام نشط كما أنّ هناك أدلة على وجود السايتوكاينينات في بعض الأحياء المجهرية أيضاً. وقد تمكن ميلر Miller, 1961 من استخلاص مادة ذات فعالية سايتوكاينينية بحالة نقية من حبوب الذرة غير الناضجة. استخدم الكاينين في المزارع النسيجية. إنّ السايتوكاينين الذي استخلص بصورة نقية بلورية من حبوب الذرة غير الناضجة هو الزياتين Zeatin وانه

اكثر فعالية من الكايتين. ثم استخلص بعد ذلك من عدة نباتات أخرى ومن بعض الفطريات ويعتبر الزياتين من أكثر السايتوكاينينات فعالية أُستخلص لحد الآن ١٨ مركب سايتوكاينيني، ١٣ منها استخلص من النباتات الراقية (Devlin 1975). إنّ معظم أو ربما جميع السايتوكاينينات الطبيعية الموجودة في النبات تربط بسكريات خماسية (Pentose Sugar) وأحياناً بالفوسفات Phosphate مكونة أمّا Nucleotides أو Nucleosides.

التأثيرات الفسيولوجية للسايتوكايتينات:

يعتقد بأنّ السايتوكاينينات لا تنتقل في النبات بنفس سرعة الجبرلينات أو الاوكسينات. وهناك ادلة واضحة تشير إلى أنّ السايتوكاينينات تتكون في الجذور ثم تنتقل إلى السيقان والأوراق. يعتقد أنها تنتقل بواسطة نسيج الخشب وتتحرك نحو مراكز تكون الاوكسجين في النبات ومن جهة اخرى فقد لوحظ عند معاملة بعض الأوراق النباتية بالسايتوكاينينات فانها لا تنتقل بل تبقى في نفس المكان في الورقة المعاملة (Bidwell 1974). ومن أهم التأثيرات الفسيولوجية هي:

١. الانقسام الخلوي: لوحظ أنّ الكاينيتين يحفز الانقسام الخلوي في المزارع النسيجية Tissue Culture لبعض الأنسجة النباتية. أمّا استمرارية نمو الأنسجة فيتطلب إضافة الـIAA إضافة إلى الكاينيتين. انّ مراحل الانقسام الخلوي تشمل بناء DNADNA Synthesis وانقسام النواة ثم انقسام السايتوبلازم.

٢. إتساع الخلايا: له نفس التأثير الأوكسينات والجبرلينات.

٣. تكوين بادءات الجذور ونموها: نفس الشيء مع الاوكسينات والجبرلينات.

٤. بدء تكون ونمو المجموع الخضري:Sheet Initiation & Growth: يبقى الكالس بحالة برانكيمية ولا يحدث فيه أي تمييز (Differentiation)طالما كان هناك توازن بين IAA والكاينيتين. أمّا اذا زادت نسبة الكاينيتين على IAA أمّا بزيادة الكايتين أو تقليل IAA يبدأ الكالس بالتميز وتكوين المجموع الخضري.

٥. كسر الكمون (السكون) Breaking dormancy: بيّن كل من(Thimann 1958 Wickson) بأنّ نمو البراعم الجانبية يُثبط في أجزاء من سيقان البزاليا النامية في محلول غذائي يحوي IAA بينما لا يثبط نموها عند إضافة الكاينيتين مع IAA. يستدل من ذلك بأنّ نمو البراعم الجانبية يتوقف على توازن خاص بين تركيز الكاينتين والـ IAA.

٦. منع الشيخوخة Prevention of Senescence: عند وضع فرع من نبات في ماء فقط فإنّ الأوراق تفقد كلوروفيلها بصورة تدريجية وتصبح صفراء ولكن عند إضافة الكاينيتين بتركيز ملائم إلى الماء فإنّ الأوراق المذكورة تحتفظ بكلورفيلها ومن ثم بلونها الأخضر مدة أطول من السابق. إنّ تأثير السايتوكاينينات في تأخير أومنع حدوث الشيخوخة في الأجزاء النباتية ربما يعزى إلى:

أ. منع تكوين بعض أنزيمات التحلل المائي Hydrolytic Enzymes مثل أنزيم النيوكليز Nuclease والبروتييز Protease وبالتالي تبقى الأحماض النووية والبروتينات غير معرضة للتحلل السريع في الخلايا.

ب. منع انتقال المواد الغذائية بعيداً عن الجزء المعامل بالسايتوكاينينات.

ج. تعمل السايتوكانينات على سحب المواد الغذائية نحو تلك الأجزاء المعاملة.

د. اشتراك السايتوكانينات كجزء في تركيب الحامض النووي t-RNA.

عمل السايتوكانينات:Cytokinin Mode of Action:

إنّ فعالية أي نوع من السايتوكانينات يتوقف على التركيب الكيميائي لتلك السايتوكانينات وأكثرها فعالية هي التي تحوي السلسلة الجانبية لها على خمسة ذرات من الكاربون. كما تزداد الفعالية بوجود حلقة البنزين أو أواصر غير مشبعة في السلسلة الجانبية. ويعتقد أنّ الرايبوسومات قد تكون مواقع (Sites) لعمل السايتوكانينات. مما تقدم يظهر أنّ للسايتوكانينات دور خاص في التأثير على النبات كأن تسلك سلوكاً هرمونياً أو أن تشترك في t-RNA متوفقاً على نوع النبات والظروف المحيطة.

٤- الأثلين: $H_2C=CH_2$ Ethylene

يعتبر الأثلين هورمون مثبط للنمو وهو غاز في درجات الحرارة الأعتيادية وتأثيراته الفسيولوجية هي:

١. الأثلين وتفتيح الثمار: يؤثر على معدل التنفس. وجد أنّ معدل التنفس يزداد بشكل مفاجيء Sharp rise ثم ينخفض قرب نهاية فترة تفتح تلك الثمار وتسمى هذه الظاهرة بالتنفس النضجي Respiration Climacteric حيث تحفز هذه العملية الثمار على التحول من حالة غير ناضجة إلى حالة النضج. وقد وجد بأنّ تركيز الأثلين يزداد بحوالي (١٠٠) مرة في وقت التنفس النضوجي عن الأوقات الأخرى. لذا فإنّ الأثلين يسرع من عملية إنضاج الثمار.

وتفسير تأثير الأثلين على نضج الثمار حسب رأيين:

الأول: يعتقد أنّ الأثلين يسبب زيادة في نفاذية أغشية الأنسجة بصورة مباشرة أو غير مباشرة وذلك بتحفيزه لتكوين حامض الابسيسك Abscisic Acid.

الثاني: هو تحفيزه لتكوين بعض البروتينات الأنزيمية الضرورية للإسراع في عملية تفتيح الثمار.

ويحتمل أنّ الأثلين يعمل بكلتا الآليتين.

٢. الأثيلين والإنتحاء الأرضي: كان يعتقد أنّ الأوكسين يثبط استطالة خلايا الجذر من الجهة السفلية للجذر الموضوع أفقياً بسبب تركيز الاوكسين العالي ولكن وجد بعد ذلك أنّ هذا التثبيط هو ليس نتيجة مباشرة للاوكسين بل نتيجة للأثلين المتكون بسبب التراكيز العالية للاوكسين في ذلك الجانب.

البناء الحيوي للاثلين: Biosynthesis

يعتقد بأنّ الحامض الأميني الحاوي للكبريت (S) والمسمى ميثيونين (Methionine) يمكن أن يتحول داخل الأنسجة النباتية إلى الاثلين، كما وجد بأنّ الضوء وفلافين احادي النيوكليوتايد (FMN) يحفزان بناء الاثلين، كما وان البيروكسيد (H_2O_2) وانزيم البيروكسيديز ربما يكونان ضرورين لبناء الأثلين.

٥- حامض الابسيسيك: Abscisic Acid

استخلص هذا الهرمون لأول مرة في سنة ١٩٦٥ 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

تأثيراته الفسيولوجية:

١. الإسراع في عملية سقوط الأعضاء النباتية (Abscision) وقد شرحت ميكانيكيتها في موضوع الاوكسينات.
٢. الشيخوخة Senescence في عدد من النباتات عن طريق تثبيطه لبناء الـRNA والبروتين.
٣. تثبيط عمل الـIAA.
٤. إبطال عمل الجبرلين المحفز لتكوين أنزيم الأميليز في طبقة الأليرون.
٥. تحفيز الكمونDormancy في كثير من النباتات.

يتم 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).

الفلورجين: Florigen

هناك أدلة قاطعة على وجود مادة الهرمون المنشط للتزهير وقد اقترح تسميتها الفلورجين (منتج الأزهار) وبالنظر لكون لمثل هذه المادة الفعالة امكانية تطبيقية كبيرة فقد بُذلت جهود كثيرة لاستخلاصها دون جدوى.

م/٩ : فسيولوجيا الإجهاد (Stress Physiology)

يتعرض النبات إلي تغيرات كثيرة في العوامل البيئية المختلفة التي تحيط بالنبات سواء كانت هذه التغيرات يومية أو موسمية و بالتالي تتأثر العمليات الفسيولوجية التي تسببها التغيرات البيئية المختلفة.

يعرف الإجهاد (Stress) بأنه تغير فسيولوجي يحدث عندما تتعرض الأنواع إلي ظروف غير عادية و غير مرغوبة لا تهدد بالضرورة حياتها، بل قد تكون حافزاً لاستجابتها للأقلمة لهذه الظروف.

فغالباً ما تتعرض النباتات خلال دورة حياتها إلي ظروف بيئية قاسية مما يسبب حدوث إجهاد للنبات و لكي يحافظ النبات علي حياته و استمراره كان لزاماً عليه أن يقاوم الضغوط البيئية و يتأقلم مع هذه التغيرات. لذلك لابد من معرفة عوامل الاجهاد وأضرار الإجهادات المختلفة و معرفة ميكانيكية مقاومة النباتات لهذه الإجهادات.

عوامل الاجهاد stress factors

يوجد عوامل مختلفة في البيئة الطبيعية تؤثر في نمو النبات وتغير هذه الظروف واختلافها يؤثر علي النبات بشكل أو بأخر مما يوقع النبات تحت ما يسمى بالجهد أو بالضغط البيئي ويمكن تعريف الجهد البيئي علي أنه:- الانحراف من الحالات المثلى للحياة والذي يؤدى إلي ظهور تغيرات أو استجابات علي مستوي جميع العمليات الحيوية للكائن الحي.أي أن النبات يقع في ظروف بيئية غير ملائمة لنموه وتعرف هذه الظروف ب عوامل الإجهاد

وعوامل الإجهاد وهي :- الظروف الكثيرة الغير مفضلة لكثير من النباتات والتي توجد بصفة مستديمة(مثل ملوحة شاطئ البحر) أو متقطعة (مثل جفاف موسمي)في مكان ما وقد يؤدي إلي موت النبات وتنقسم عوامل الإجهاد إلي:-

1-عوامل أحيائية -: (Biotic) مثل ازدحام النباتات في منطقة معينة والنباتات المتطفلة- الكائنات الدقيقة – الرعي

2-عوامل لا أحيائية -: (A Biotic) مثل الإشعاع – الحرارة – الماء –الغازات- ---الخ

أضرار الإجهاد (Stress Injury)

١) أضرار مباشرة (Direct Injury) يحدث هذا النوع من الضرر عند التعرض للإجهاد حيث ينتج عنه شد غير مرن Plastic Strain و يؤثر هذا الشد تأثيراً مباشراً و سريعاً ويحدث موت للنبات بعد التعرض لهذا الإجهاد بعد فترة قصيرة.

مثال ذلك عندما يتعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة لدرجة التجمد بشكل فجائي و ذلك لان بروتوبلازم النبات يحدث له تجمد و يتمزق الغشاء البلازمي بسبب وجود البلورات الثلجية التي تكونت و بالتالي يفقد البروتوبلازم خاصية االنفاذية الاختيارية و بالتالي تموت الخلية من جراء التعرض لهذا الإجهاد الفجائي.

٢) أضرار غير مباشرة (Indirect Injury) يحدث عند التعرض للإجهاد بصورة غير مباشرة. وفي هذه الحالة يحدث شد مرن Elastic Strain أي عكسي . و هذا النوع غير ضار و لكن إذا طالت مدة التعرض للإجهاد فيمكن أن يتحول هذا الشد المرن إلي شد غير مرن.أي غير عكسي. و هذا النوع يمكن أن يسبب ضررا للنبات و قد يؤدي إلي موته.

مثال ذلك عند تعرض النبات لدرجة حرارة منخفضة لا تسبب التجمد لأنسجة النبات مما يؤدي إلي حدوث شد مرن يحدث معه نقص في معدل جميع العمليات الكيميائية و الفيزيائية في داخل النبات و التي لا تكون ضارة و لكن يحدث أحيانا عدم اتزان في العمليات الايضية للنبات و قد تتراكم بعض المركبات السامة.

٣) ضرر ثانوي (Secondary injury) يحدث هذا الضرر عند التعرض للإجهاد و لكن لا ينشأ عن الشد الذي يحدثه الإجهاد، و لكنه ينشأ بسبب إجهاد آخر و الذي يكون نتيجة تعرض النبات لذلك الإجهاد. يحدث هذا النوع عند تعرض النبات لدرجة حرارة مرتفعة فغن هذا الإجهاد (درجة الحرارة المرتفعة) لا يضر النبات بصورة مباشرة و لكنه يسبب إجهادا آخر هو الإجهاد الجفافي في النبات نتيجة لزيادة البخر نتح Evapotranspiration علي معدل الامتصاص و بالتالي ينتج شداً بسبب الإجهاد الجفافي مما يحدث ضرراً للنبات، و هذا ما يطلق عليه الضرر الثانوي.

<u>اليات مقاومة الاجهاد</u>

قام العلماء بدراسات متعددة لمعرفة السلوك الذي يسلكه النبات الواقع تحت الإجهاد فوجد أنه يتخذ طريقين للمقاومة:-

1 - التحاشي : (Avoidance) وهو تحاشي الكائن الحي العامل المسبب للجهد كأن يقوم بعدة تحولات كيميائية داخل الخلايا لتحاشي العامل المجهد

2- التحمل: قدرة بروتوبلازم الخلية النباتية علي مقاومة Resistالعامل المجهد

ومنه نجد أن قدرة النبات علي البقاء في البيئة المعرضة للإجهاد تعتمد علي قدرته علي القيام بأحدي الوسائل التالية-:

1- الهرب من الإجهاد
2- تحمل الإجهاد
3- استعادة النشاط بعد زوال الإجهاد

وتختلف النباتات في مواكبتها للعامل البيئي إذ يعتمد ذلك علي

1- المقدرة الوراثية لكل نبات حيث يختلف تعامل أنواع مختلفة من النباتات اتجاه العامل المؤثر عليها
2- اختلاف استجابة النبات يختلف باختلاف الأوقات (ليل – نهار – اختلاف فصول السنة)
3- اختلاف المرحلة العمرية للنبات (بذرة – بادرة – نبات كامل)

ماذا يحدث إذا وقع الإجهاد :- طبقا للنظرية الدينامكية للضغط فإن الكائن الحي الذي يتعرض للإجهاد يدخل في عدة مراحل

1- مرحلة التنبيه أو الإنذار-: (Alarm phase) ويقصد بها بداية وقوع الضرر علي النبات وفيها يفقد النبات استقراره وتكون عمليات الهدم أكثر من عمليات البناء

2- مرحلة المقاومة (Resistame phase) وهي المرحلة التي يكون عامل الإجهاد مستمر وفيها يقوم النبات بالتقسية Hardening إذا كان العمل مؤقت أو بعملية التكيف (Adaptation) إذا كان العمل مستمر

3- مرحلة الإنهاك (Exhaustion phase) أو المرحلة النهائية-: (End phase) ويصل النبات لهذه المرحلة لحالتين

أ- إما أن يكون غير قادر علي القيام بالمرحلة الثانية (المقاومة)

ب- أن يكون قد تعرض للإجهاد لفترات طويلة جدا أو أن عامل الإجهاد قد زاد من شدته مما يؤدي إلي تعرض النبات للأمراض المختلفة نتيجة لضعف وسائل الدفاع ليؤدي إلي انهيار النبات و موته

انواع الاجهاد

١- **الاجهاد المائي** هو الضرر الذي يصيب النبات نتيجة التعرض لنقص او زيادة الماء عن الحد الامثل للنمو ويقسم الاجهاد المائي الى نوعين

ا- اجهاد الغمر والمقصود به اجهاد زيادة الماء الذي يسبب ما يسمى بالاختناق (نقص اوكسجين التربة).

ب- اجهاد الجفاف وهو الحالة التي ينخفض فيها الجهد المائي والجهد الانتفاخي الى المدى الذي يصعب على النبات القيام بالوظائف الحيوية الفسلجية بشكل طبيعي وبمعنى آخر يعني استنزاف الماء الجاهز من المنطقة الجذرية إلى أن يتساوى الجهد المائي للنبات مع الجهد المائي للتربة وعندها يصل النبات إلى نقطة الذبول الدائم، ومن اهم مسببات الاجهاد الجفافي نقص ماء التربة، فضلاً عن مسببات اخرى متمثلة بالملوحة وانخفاض درجة حرارة التربة او ما يسمى بالجفاف الفسيولوجي (حالة وجود الماء وتوفره في محلول التربة ولكن لا يستطيع النبات امتصاصه والاستفادة منه.

٢- **الاجهاد الضوئي** هو الضرر الذي يصيب النبات نتيجة التعرض لنقص او زيادة الضوء عن الحد الامثل ويقسم الى نوعين

أولا: إجهاد نقص الضوء:

تمتلك نباتات الظل فقط القدرة على الاستمرار في البيئات الظليلة وذلك بسبب امتلاكها لمجموعة من الصفات الفسلجية و الخصائص التشريحية التي تميزها عن غيرها من النباتات.
ومن أهم الصفات التي تميز نباتات الظل في عملية البناء الضوئي:

*يصل فيه البناء الضوئي إلى التشبع عند شدة إضاءة منخفضة..
*انخفاض النقطة الحرجة للضوء مقارنة بنباتات الشمس..
*انخفاض معدل البناء الضوئي عند شدة إضاءة مرتفعة (علاقة عكسية..(
*انخفاض معدل التنفس فيها..
*زيادة كمية الكلورفيل خصوصاً كلورفيل (ب..(
*نقص كمية البروتين في البلاستيدات الخضراء..

وكذلك تمتلك نباتات الظل خصائص تشريحية تلائم البيئة الظليلة وما تميزت به من انخفاض الحرارة ووفرة الماء وتزاحم النباتات تتمثل ب :
*الخلايا العمادية قليلة أو معدومة في أوراقها..
*الأوراق عريضة مفلطحة قد يصل قطر الورقة إلى نصف متر..
*الثغور واسعة بحيث يسهل خروج الماء وتبادل الغازات بين الوسطين الداخلي والخارجي..
*البلاستيدات كبيرة مكدسة على السطح العلوي لاقتناص أكبر قدر من الضوء في البيئة الظليلة..
*خلايا التدعيم وطبقات الكيوتين قليلة في أوراق وسيقان نباتات الظل..
*الثغور في نباتات الظل سطحية والشعيرات الحامية لها قليلة أو معدومة..

ثانياً: زيادة الضوء:
ينشأ إجهاد زيادة الإضاءة لسببين:
*زيادة سقوط الضوء على الأوراق..
*نقص معدل البناء الضوئي عند كمية ثابته من الضوء الساقط..

٣- الاجهاد بالمعادن الثقيلة:

التلوث بالمعادن الثقيلة يعتبر من أكثر العوامل فاعلية في دمار المكون الحيوي على سطح الكرة الأرضية ، و المعادن الثقيلة هي المعادن التي تزيد كثافتها عن خمسة أضعاف كثافة الماء. ويحتاج النبات إلى بعضها بصورة أثار و لكن من الصعب وضع خط فاصل بين المعادن الضرورية التي يحتاجها و المعادن غير الضرورية .
وجميع المعادن الثقيلة سامة في حالة توافرها بتركيزات كبيرة و من أهم المعادن الثقيلة و المرتبطة بالتلوث و السمية : الرصاص والكادميوم و النيكل و الزئبق و الكروم و الزرنيخ. وزيادة تركيزات هده المعادن في الجو و الهواء و التربة يسبب الكثير من المشاكل لجميع الكائنات الحية، و تتمثل خطورة هده العناصر في تراكمها الحيوي في سلسلة الغداء ، حيث ينتج عن تلوث الغداء بهده المعادن كثير من الأمراض الناتجة عن تراكمها في الأنسجة و ترجع خطورتها الى عدم ظهورها فور التعرض لها وإنما تظهر بعد مدة طويلة.
و غالبا ما تجد هذه المعادن طريقها الى الغذاء عن طريق التربة وذلك نتيجة لعوامل التعرية الطبيعية أو أثناء التكون الطبيعي للتربة من مادة الأصل أو نتيجة للأنشطة الصناعية مثل التعدين و صهر المعادن أو استخدام الأسمدة و المبيدات الحشرية ، بالإضافة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي و الزراعي بما تحمله من ملوثات صناعية في ري الأراضي الزراعية أو استخدام الحمأة في تسميد محاصيل الخضر على المدى الطويل.

و تعتبر محاصيل الخضر الورقية من أكثر المحاصيل تراكما للعناصر الثقيلة و يليها في ذلك المحاصيل الجذرية و الدرنية و المحاصيل الثمرية . وعموما تسبب العناصر الثقيلة تثبيط لنمو محاصيل الخضر إلا أن آلية تثبيط العناصر الثقيلة للنمو في محاصيل الخضر ليست واضحة التفاصيل و لكن يقترح أنها تثبط النمو عن طريق تقليل انقسام الخلايا ، تثبيط بناء الكلوروفيل ، عمل إجهاد مائي للنبات ، تقليل تمثيل النترات ، تقليل امتصاص العناصر الغذائية الأساسيةاجهاد النبات