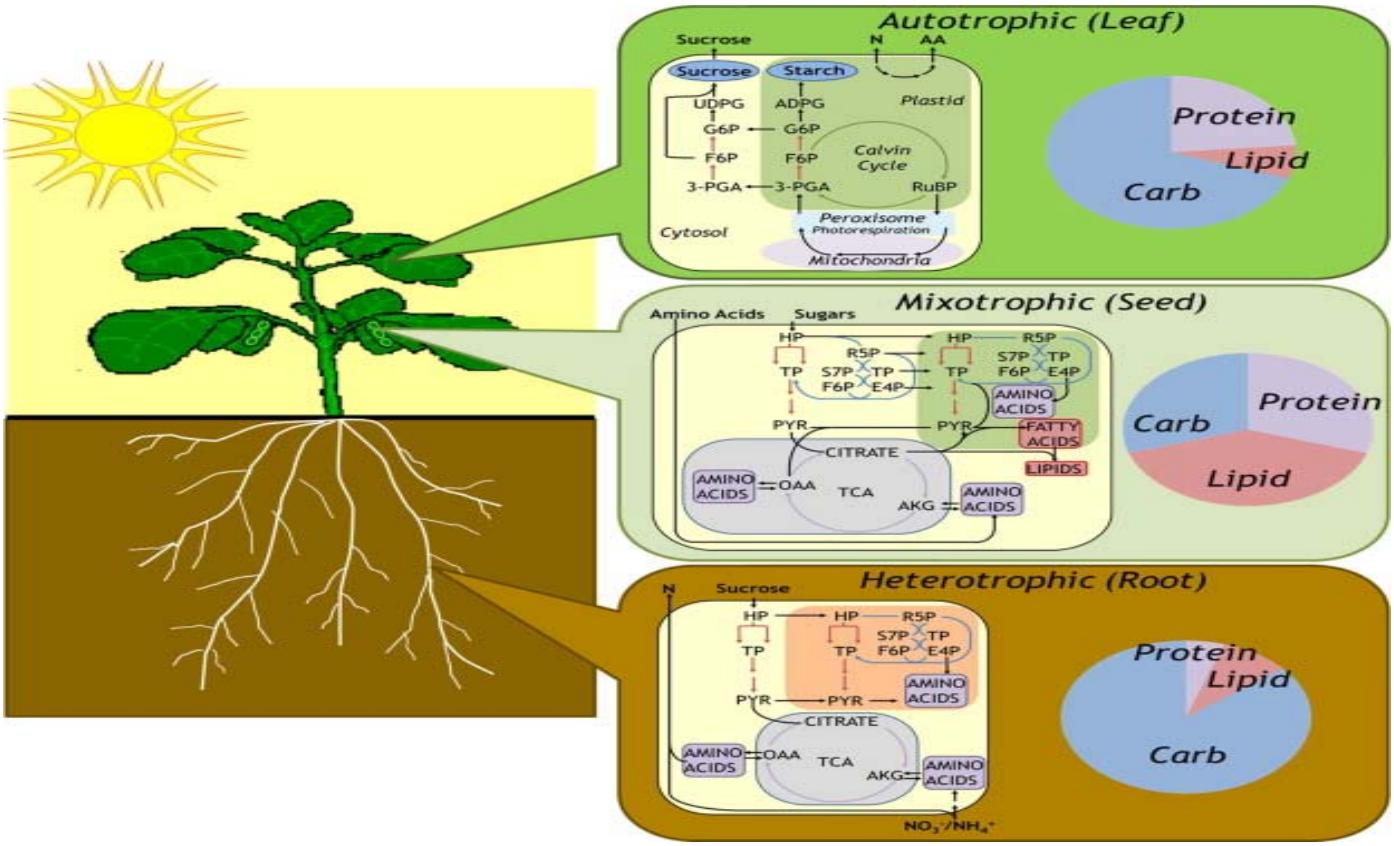
التغذية المعدنية Mineral Nutrition

تعرف بأنها تجهيز وامتصاص المركبات الكيميائية التي يحتاجها الكائن الحي لنموه وفعالياته الحيوية , وتعتبر المغذيات الكبرى والأساسية للنبات هي : ثنائي أوكسيد الكاربون ، و الماء و الأوكسجين ، وينمو النبات بمساعدة ضوء الشمس ، بعملية تعرف بالبناء الضوئي

تنقسم العناصر الأساسية لنمو النباتات إلى عناصر كبرى (Macro nutrients) وعناصر صغرى أو دقيقة.(Micro nutrients) فالعناصر الكبرى هي تلك العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة تقدر بحوالي واحدغم/كغم واحد من المادة الجافة وتشمل (الكربون والهيدروجين و الأوكسجين والنيتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت)أما العناصر الصغرى فهي تلك العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة تقدر بحوالي0.1غم/واحد كغم من المادة الجافة ولكنه لا يستغني عنها حتى يكون النمو طبيعي، وتشمل (الحديد والمنغنيز والزنك والنحاس والبورون والمولبدنيوم).وقد وجد أن هناك بعض العناصر الصغرى قد تكون أساسية لنمو بعض المحاصيل الزراعية ومن أهم هذه العناصر الصوديوم والالومنيوم والسليكون والكوبلت والكلورين فقد وجد أن السليكون ضروري لنمو محصولي الأرز والدخن وكذلك قصب السكر والكلورين هام في بنجر السكر بينما الصوديوم ضروري لنمو بعض نباتات رباعية الكربونC4 وكذلك النباتات العصيرية .CAM

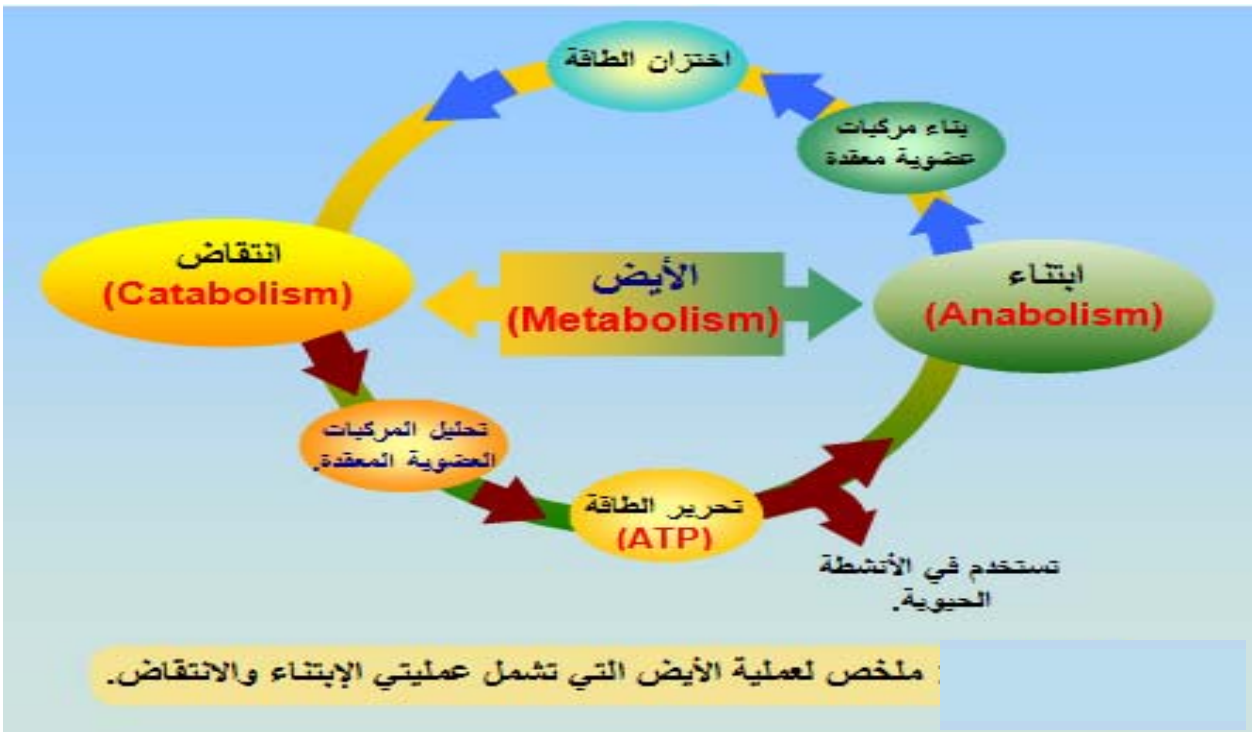


الفعاليات الحيوية النباتية

الايض والتمثيل الغذائي

الأيض Metabolism

الأيض أو عملية التمثيل الغذائي أو الاستقلاب (Metabolism) : هي مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الكائنات الحية بواسطة العوامل الإنزيمية والتي تعمل على المواد الغذائية المختلفة بغرض الحصول على الطاقة لنموها وأدائها الوظيفي السليم. فبالتغذية توفر الكائنات الحية لنفسها المركبات التي تبني منها مادتها الحية، وتعوض بها التالف أو المستنفد منها سواء كانت هذه الكائنات ذاتية التغذية (Autotrophs) كالنباتات، أو عضوية التغذية (Heterotrophs) كالإنسان والحيوانات. كما تُنتِج هذه التفاعلات الكيميائية نواتج ثانوية، وهي نواتج لا يحتاج إليها النبات. ويُطلَق على تلك النواتج الثانوية، التي يُحتمَل أن تكون سامة للنبات، الفضلات الأيضية ويجب التخلُّص منها عن طريق الإخراج. وبخلاف الحيوانات، لا يمتلك النبات جهازًا مُخصصًا للإخراج. بدلًا من ذلك، يستخدم النبات العديد من الآليات المختلفة التي من خلالها يعيد تدوير الفضلات التي يُحتمَل أن تكون ضارَّة أو يتخلص منها ، والإخراج هو العملية التي يتخلص بها جسم الكائن الحي من فضلات الأيض.



فالنباتات تقوم بعملية البناء الضوئي (Photosynthesis) باستخدام CO_2 والماء والطاقة الضوئية منتجة الأوكسجين الذي يتصاعد إلى الجو، ومركب عضوي بسيط سرعان ما يتحول إلى كلوكوز.
الأيض نوعان : (Catabolism) انتقاض(تحليل مواد معقدة + تحرير طاقة)
(Anabolism) ابتناء (تكوين مواد معقدة + اختزان طاقة)

1- الإبتناء (Anabolism) : تبدأ عمليات الابتناء في الكائنات ذاتية التغذية مثل النبات الأخضر بعملية البناء الضوئي التي توفر المركبات التي تؤدي إلى بناء الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والأحماض النووية والفيتامينات. أما في الكائنات عضوية التغذية فبتغذيتها على الكائنات ذاتية التغذية وحصولها على هذه المركبات فإنها تقوم بهضمها وامتصاص نواتج الهضم لتقوم بعد ذلك ببناء ما تحتاجه من كربوهيدرات ودهون وبروتينات وأحماض نووية، وتستهلك طاقة في تلك التفاعلات .

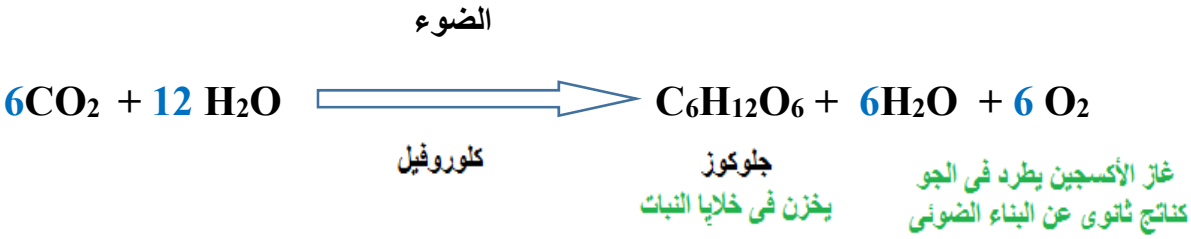
2-الهدم(Catabolism) : يتم تكسير المواد الغذائية الرئيسة سواء كانت كربوهيدرات أو بروتينات أو دهون خلال طرق مختلفة من التفاعلات الحيوية إلى جزيئات بسيطة وينتج عن ذلك الحصول على الطاقة، وبذلك يتمكن النبات من استغلال هذه الطاقة في عملياته الحيوية المختلفة . وتعرف عملية أكسدة الجلوكوز وهدمه إلى جزيئات بسيطة و إنتاج الطاقة بعملية التنفس الخلوي (Cellular respiration) .

يطلق على ما يحدث داخل الخلايا النباتية من عمليات البناء والهدم اسم الايض او التحول الغذائى تحدث عمليتا البناء والهدم فى النبات جنبا الى جنب ، غير أنه يحدث أحيانا أن يختل النظام الداخلى للبروتوبلازم ويفقد سيطرته على عمليات التحول الغذائى نتيجة لعوامل داخلية أو خارجية عارضة مما يؤدى إلى حدوث الانحلال الذاتى الذى ينتج عنه تراكم منتجات ليس من المألوف وجودها بالنبات في الحالة الطبيعية ، فمثلا اذا وضع النبات فى وسط خال من الأوكسجين – وهذه الحالة غير طبيعية بالنسبة للنبات – فان النبات يضطر الى التنفس اللاوكسجينى ويكون نتيجتها تراكم مواد ضارة وسامة بأنسجة النبات مثل الكحول والاستلدهايد . ان معظم الكائنات الحية تعيش

على حساب الثروة المادية والطاقة على الأرض في كل صورها و**مصدرها الوحيد هو الشمس**. وأهم مصنع يستطيع تحويل الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس الى طاقة كيميائية هو النبات الأخضر و الذي يقوم بتخزين الطاقة في صورة مركبات عضوية معقدة يتكون منها تركيبة الخلوي و كذلك تستغل تلك المركبات العضوية في بناء جسم الحيوانات و الذي يقوم الأخير بأكسدتها و تحويلها الي طاقة حركية وطاقة تستغل في النشاط الحيوي لهذه الكائنات الحية والتي تنتهى جميعها بالموت والتحلل الميكروبى الى العناصر الأساسية التي يمتصها النبات مرة آخرى ليعيد بناء المركبات العضوية من المواد البسيطة الممتصة من التربة بالإضافة للمتكونة من عملية البناء الضوئي.

البناء الضوئيPhotosynthesis

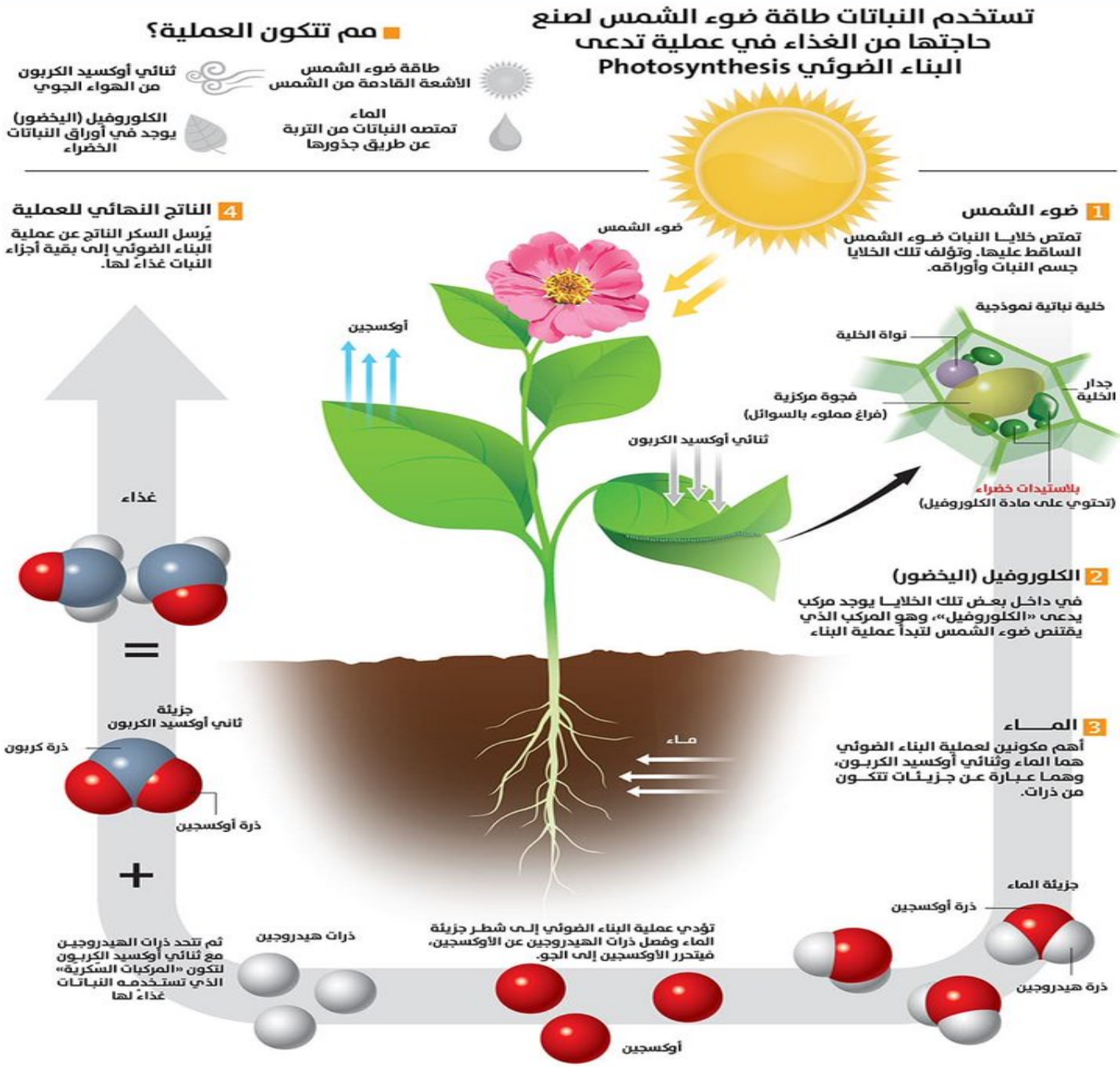
تعتمد الحياة على الأرض بدرجة أساسية على الطاقة المستمدة من الشمس وعملية البناء الضوئي هي العملية الوحيدة ذات الأهمية الاحيائية التي بمقدورها الاستفادة من هذه الطاقة ، وان الجزء الأعظم من مصادر الطاقة على الأرض قد نتجت من نشاط عملية البناء الضوئي ، وهذه اما ان تكون حديثة العهد (الكتلة الحية Biomass) او قديمة العهد (الوقود الاحفوري Fossil fuels) ويعني مصطلح البِناء الضوئي أو البناء الكاربوني أو التمثيل أو التخليق أو التركيب الضوئي أو الفسفرة الضوئية: عملية كيميائية معقدة تحدث في النباتات الراقية والطحالب الحاوية على الكوروفيل في الكلوروبلاست ، اذ يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية الشمسية من طاقة كهرومغناطيسية على شكل فوتونات أشعة الشمس إلى طاقة كيميائية تخزن في روابط سكر الجلوكوز أي بناء مواد عضوية مختلفة من مواد غير عضوية بسيطة (ماء و CO_2) وفق المعادلة التالية :



.

1-**البناء الضوئي** (Photosynthesis) **:** وهو ربط ذرة CO_2 و H_2O لإعطاء جزيء سكر و O_2 بوجود الطاقة الشمسية . ويحتوي السكر على الطاقة المخزنة وهو يؤمن المادة الخام التي تصنع منها المركبات الأخرى.

2- **التنفس** (Respiration): وهو عكس التمثيل الضوئي حيث تنطلق الطاقة المخزنة بالسكر بوجود الأوكسجين ويعاد تحرير CO_2 و H_2O التي كانت قد اندمجت مع بعضها أصلاً بواسطة الطاقة الشمسية.



العوامل الاساسية للقيام بعملية البناء الضوئي :

1- الضوء

هو موجات كهرومغناطيسية تتالف من جسيمات تسمى فوتونات او كوانتات وتختلف طاقتها باختلاف الطول الموجي والذي يحدد لون الضوء، فالضوء الأحمر طوله الموجي 660 نانومتر واللون الأزرق طوله الموجي 435 نانومتر، الضوء المؤثر في عملية البناء الضوئي هو الاشعاع الشمسي المتكون من الاشعة الكونية وكاما والسينية وفوق البنفسجية والضوء المرئي وتحت الحمراء والموجات الدقيقة والراديوية ، محتوى الطاقة في الجسم الضوئي يتناسب عكسيا مع الطول الموجي فالجسيمات ذات الطاقة العالية ذات طول موجي قصير مثل الاشعة فوق البنفسجية والتي تكون خطرة على الخلية لأنها تكسر الجزيئات العضوية ، بينما الموجات الطويلة مثل الاشعة تحت الحمراء لا تضر الخلايا. ان الضوء المرئي ذو الاطوال الموجية بين 400-800 نانومتر تقريبا يمتلك الطاقة الكافية لتحفيز وتهيج الالكترونات الى مدار الكتروني اعلى دون الاضرار بالخلية.

2- البلاستيدات الخضراء Chloroplasts (الصانعات اليخضورية) تتكون من

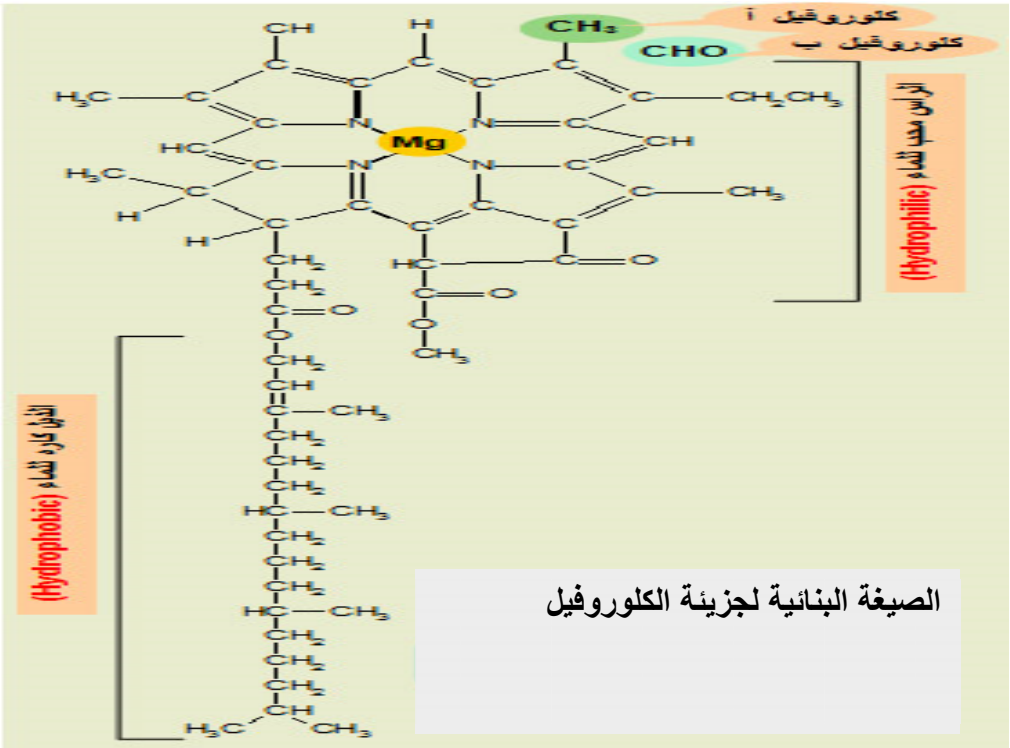
أ- غشاء مزدوج.

ب- تجمعات منتظمة من أغشية الثايلاكويد thylakoid تسمى كل مجموعة Granum وهي تراكيب قرصية على هيئة أكياس غشائية مسطحه تدعى صائدات الطاقة التي تتكون من بروتينات ودهون وصبغات الكلوروفيل والكاروتينات والزانثوفيلات وتحتوي أنزيمات التفاعلات الضوئية.

ج- الحشوة **(الستروما stroma)** وهي سائل يغمر الثايلوكيدات ويحتوي على أنزيمات التفاعلات اللاضوئية وعلى الحمضين النوويين RNA و , DNA كذلك تحتوي على ريبوسومات أصغر في الحجم من الريبوسومات العادية ، ويمكن للبلاستيدات الانقسام والتكاثر داخل الخلية .

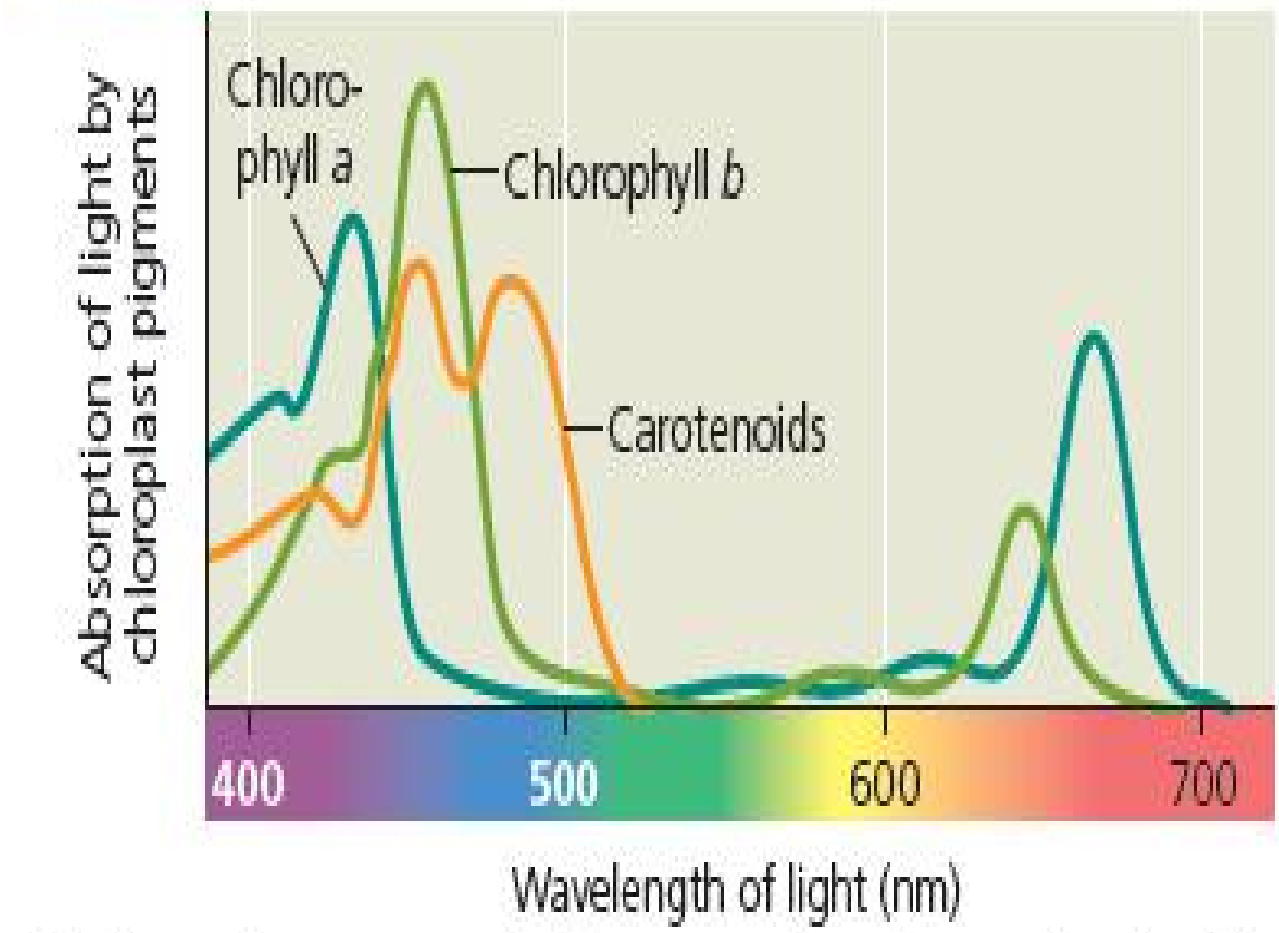
3- صبغات البناء الضوئي

صبغة الكلورفيل Chlorophyll pigments : الكلورفيل هو الصبغة الخضراء في النبات وهو أهم الصبغات لعملية التمثيل الضوئي وتشمل كلوروفيل a, b وتتواجد في بلاستيدات الخلايا النباتية أما بقية الأنواع فتوجد في الكائنات الدقيقة ذاتية التغذية مثل الطحالب الخضراء و البكتريا bacteriochlorophyll، كلوروفيل a يعطي لون اخضر مصفر كلوروفيل b عادة يكون ذو لون اخضر مزرق . يتكون جزيء كلوروفيل أ من رأس محب للماء (Hydrophilic) يتكون من هيكل رباعي ويتوسطه جزئ المغنسيوم في صورتة الغير متأنية , وذيل كاره للماء (Hydrophobic) (كحول طويل السلسلة) مرتبط بالرأس . تتناوب الاواصر البسيطة والمضاعفة في الهيكل الرباعي مما يكسب جزيئة الكلوروفيل خاصية التلون وامتصاص الضوء، أما الذيل كاره للماء يكسب جزيئة الكلوروفيل خاصية دهنية ويمنع تجمدها في درجات الحرارة المنخفضة، ويقوم بتثبيت جزيئة الكلوروفيل ضمن اغشية البلاستيدة. ويمتص الكلوروفيل جميع ألوان الضوء المرئي ما عدا الأخضر.



الصيغة البنائية لجزيئة الكلوروفيل

الكاروتنيدات Carotenoid pigments : وهي مجموعه من الصـبغات التي لها علاقة وثيقة بعملية البناء الضوئي وهي مركبات ليبيدية يتراوح لونها من الأصفر حتى البنفسجي وتتواجد في البلاســتيدات الخضــراء جنبا الي جنب مع الكلورفيل بنســبة1: 3 وتعد جميع الكاروتنيدات هيدروكربونات غير مشبعه و سريعه الأكسدة في وجود الأوكسجين ,وقد تبين أنها تمتص بعض الموجات الخاصــة بالاشــعة الفوق بنفســجية وتقوم هذه الصــبغات بالاحاطة بجزيئات الكلورفيل وكثيرا ما تحميه من الاكسدة الضوئية وكذلك تمتص الطاقة وتنقلها إلى الكلوروفيل.



(a) Absorption spectra. The three curves show the wavelengths of light best absorbed by three types of chloroplast pigments.

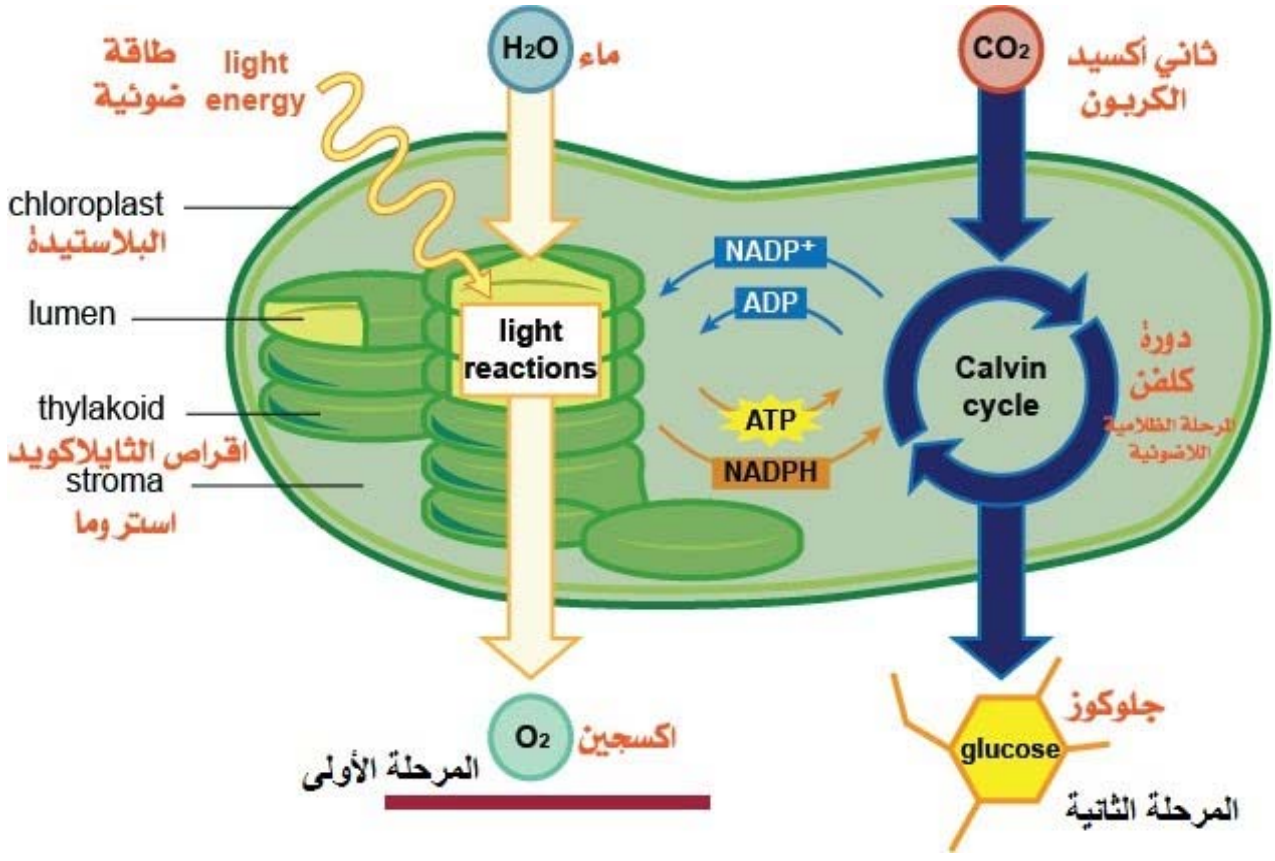
تتكون التفاعلات الكيميائية خلال عملية البناء الضوئي من قسمين رئيسين هما:

أ ـ تفاعلات الضوء(Light Reactions)

تفاعلات كيميائية ضوئية(Photochemical reactions) وهي سلسلة من التفاعلات تتم بوجود الضوء في thylakoides تتضمن شطر جزيئة الماء وتحرر الاوكسجين وانتقال الالكترونات في سلسلة النقل الالكتروني وإنتاج مركب الطاقة ATPو $NADPH_2$ الضروريان لبدء تفاعلات الظلام.($NADPH_2$ Nicotinamide adenine diphosphate) مركب حامل ذرات الهيدروجين ذات الطاقة العالية و الضرورية في تكوين الكربوهيدرات و(ATP) Adenosine Triphosphate مركب الطاقة).

ب- تفاعل الظلام الانزيمية (Dark Reactions)

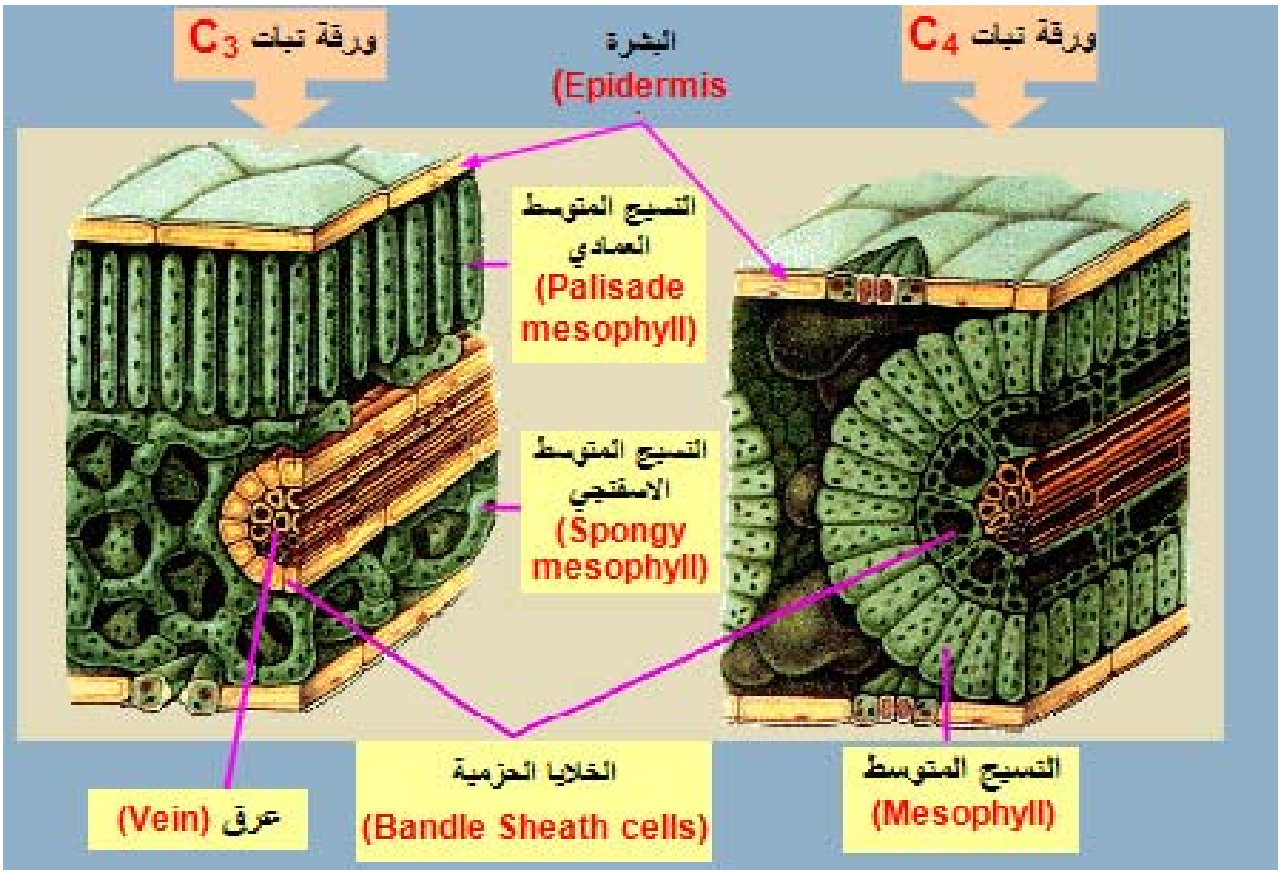
يسمي هذا التفاعل الكيماوي بتفاعل دورة كالفن , وتجري هذه التفاعلات ضمن Stroma باستعمال نواتج تفاعل الضوء السابقة الذكر وهي $NADP\ H_2$ ؛ ATP ويتكون من عدد من الخطوات الحيوية الإنزيمية لاختزال و تثبيت Co_2 إلى مركبات كربوهيدراتية. ولا تستلزم هذه العملية وجود الضوء، ولإنتاج جزيئة سكر واحدة لابد لحلقة كالفن الدوران ست مرات.



طريقة تثبيت ثنائي أوكسيد الكاربون

الأنواع الثلاثة للبناء الضوئي عند نباتات C3 و C4 وCAM

تختلف طريقة التثبيت بحسب تركيب الورقة والمناخ الذي ينمو فيه النبات، وهناك ثلاثة أنواع من النباتات تختلف عن بعضها البعض في طريقة تثبيت CO_2، اذ ان البناء الضوئي لنباتات C3 هو البناء الضوئي المثالي (النموذجي) ومعظم النباتات تستخدمه ,بينما البناء الضوئي عند نباتات C4 و CAM كلاهما تكيف مع الظروف الجافة لأنهم ينتجون كفاءة استعمال للماء أفضل بالإضافة إلى أن نبات CAM تستطيع أن تنفق الطاقة المخزنة الثمينة والماء أثناء الأوقات القاسية ، كما وان نباتات C4 تستطيع أن تقوم بالبناء الضوئي بشكل أسرع تحت حرارة الصحراء العالية وظروف إضاءة عالية أكثر من نباتات C3 لأنها تستخدم طريق بيوكيميائي إضافي وتشريح خاص لتخفيض التنفس الضوئي.



مقارنة بين تركيب الورقة في نبات C3 ونبات C4.

نباتات ثلاثية الكربون:(C_3 Plants)

تشـــكل نباتات C3 ما يزيد عن 95% من أنواع النباتات على الأرض ومنها ذوات الفلقتين التي تعتبر من المحاصـــيل الزراعية الهامة ,تزهر نباتات C3 في المناطق الباردة والرطبة والغائمة حيث مســتويات الأشــعة الضــوئية تكون منخفضــة , وإذا كان الماء متوفراً تبقى الثغور مفتوحة وتســـمح بدخول مزيد من CO_2 على أية حال , فإن فقد الكربون خلال التنفس الضـــوئي يكون عالياً. حيث تفقد نباتات C3 حوالي 97 % من الماء الممتص عن طريق الجذور بواسطة النتح. ويتم تثبيت CO_2 في هذه النباتات بالطريقة التالية :

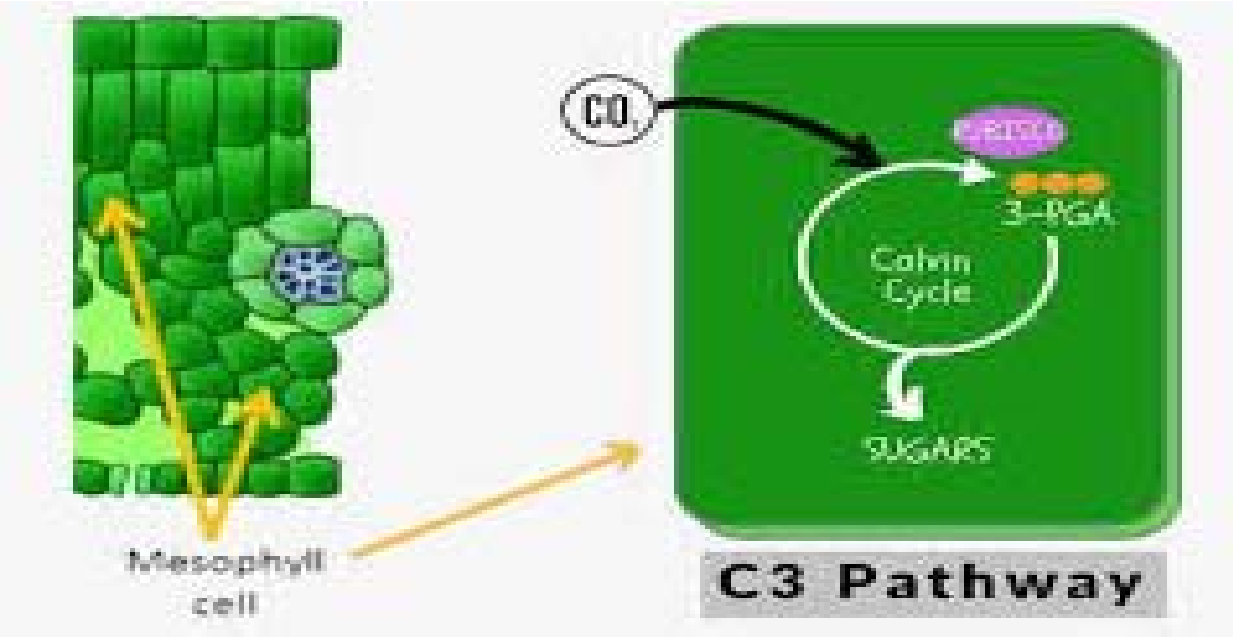
1- سميت هذه النباتات بالنباتات ثلاثية الكربون (C_3) لان المركب الأول الناتج بعد تثبيت CO_2 هو Phospho glyceric acid (PGA) والذي يتكون من ثلاث ذرات كربون، (تنتج جزيئتين منه)

2- ويتم تثبيت CO_2 مباشرة في دورة كالفن في خلايا النسيج المتوسط.(Mesophyll) .

3- الثغور تكون مفتوحة أثناء النهار.

4- يقوم انزيم RuBisCo بامتصاص ثنائي أوكسيد الكربون.

5- C3 تكون أكثر فعالية من نباتات C4 وَ CAM تحت الشـــروط الباردة والرطبة و تحت ظروف الضوء الطبيعي لأنها تتطلب آلية أقل (أنزيمات أقل).



نباتات رباعية الكربون:(C_4 Plants)

1- نباتات C4 والتي تعيش في المناطق الحارة والجافة تملك كفاءة استخدام عالية للماء في هذه البيئات لذلك تستطيع رفع معدل التمثيل الضوئي بمعدل مرتين أو أكثر لكل 1غم من الماء عنه في نباتات C3 ، أقل من 1% من الأنواع النباتية على الأرض يمكن أن تصنف كنباتاتC4 هذه النباتات مثل قصب السكر والذرة، يختلف تركيب الورقة فيها عن نباتات ثلاثية الكربون.(C_3)

2-طريقة تثبيت ثنائي أوكسيد الكربون في هذه النباتات تختلف عن نباتات.(C_3) اذ يتم تثبيت CO_2 في النسيج المتوسطة وخلايا غمد الحزمية الوعائية.

3- ويكون أول المركبات الناتجة هو OAA (Oxalo-acetic acid) وهو مركب يتكون من أربع ذرات كربون ولذلك سميت هذه النباتات برباعية الكربون.(C_4 plants)

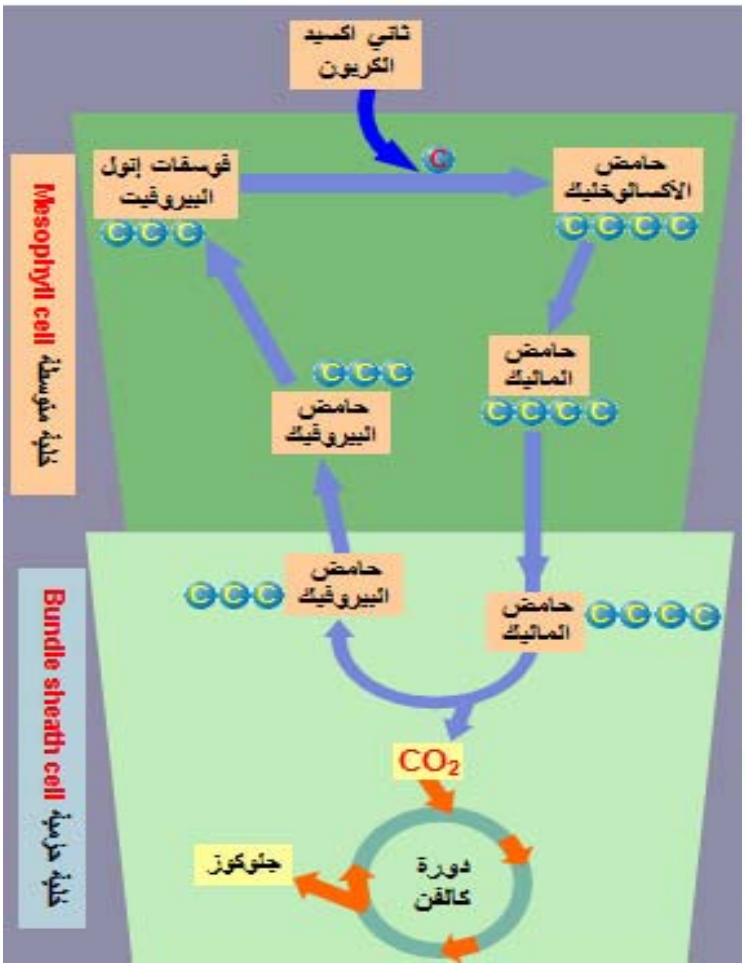
4- يقوم [Phospho-enol-pyrovate carboxylase (PEPCase)]بتحفيز هذا التفاعل وامتصاص ثنائي أوكسيد الكربون.

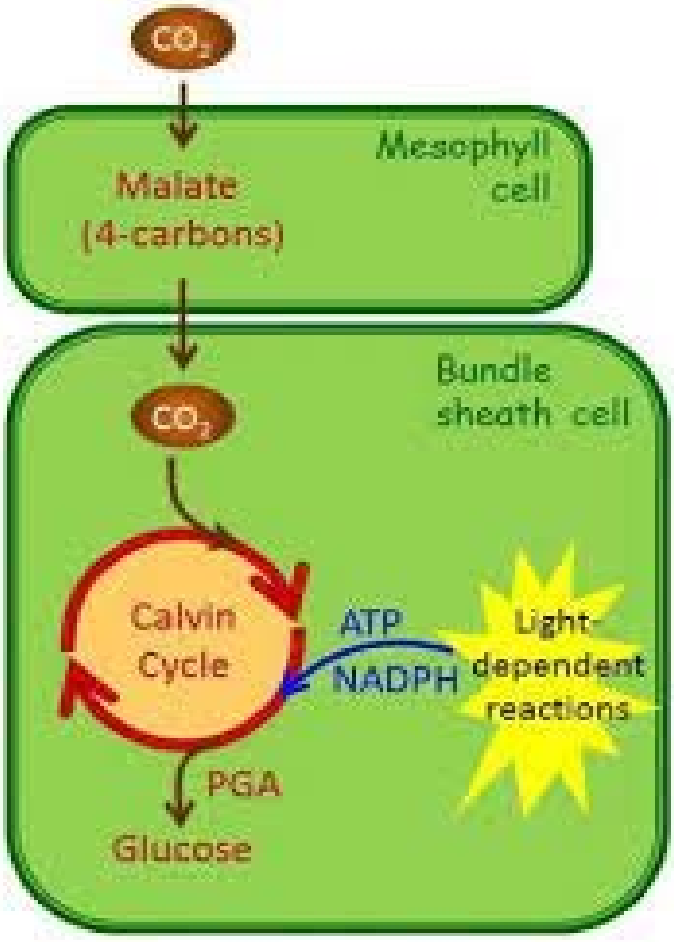
5- تمتلك نباتات C4 آلية كيماوية حيوية وتشريحية لرفع تركيز CO_2 الداخلي في مواقع تثبيته وهذا يخفض وأحيانا يلغي فقد الكربون بواسطة التنفس الضوئي اذ ان Co_2 يدخل للثغر اثناء الليل ويحول CO_2 إلى حامض عضوي رباعي الكربون والذي لديه القدرة على إعادة توليد CO_2 في كلوروبلاست خلايا غمد الحزمة (يكون تركيز CO_2 مرتفع جداً في خلايا غمد الحزمة). بعد ذلك تستطيع خلايا غمد الحزمة الناقلة استخدام CO_2 لتكون الكربوهيدرات عبر المسار التقليدي لنباتاتC3 . لتجري دورة كالفن خلال النهار عندما الثغور تكون مغلقة بدلاً من التثبيت المباشر في حلقة كالفن.

6- تكون أسرع في البناء الضوئي من نباتاتC3 تحت ظروف شدة ضوئية عالية وحرارة مرتفعة لأن CO_2 يتم إيصاله إلى أنزيم Rubisco داخل غمد الحزمة ولا يسمح له بالتقاط الأوكسجين والقيام بالتنفس الضوئي.

7- تكون هذه النباتات أكثر كفاءة في اســتخدام الماء لأن أنزيم PEP Carboxylase يأخذ CO_2 بشكل أسرع ولا توجد ضرورة لبقاء الثغور مفتوحة (بالتالي فقد ماء أقل عن طريق النتح) بالنسبة لنفس الكمية من CO_2 المستخدمة في البناء الضوئي.

8- بما أن كل جزيء من CO_2 يجب أن يثبت مرتين فإن مســار نباتاتC4 مســتهلك للطاقة أكثر من مســارC3 . يتطلب مســارC3 (ATP18) من أجل تركيب جزيء واحد من الكلوكوز بينما يتطلب C4 (ATP 30).





❁نباتات الأيض الحمضي العشبي:[Crassulacean acid metabolism (CAM)]

جاء الاسم من اسم فصيلة النباتات التي تم اكتشاف هذه الطريقة فيها لأول مرة وهي فصيلة النباتات العشبية .(Crassulaceae) بعد ذلك تم اكتشاف هذه الطريقة في أكثر من 25 عائلة من النباتات الأخرى مثل الأناناس والصبار، التي تنمو في ظروف بيئية جافة (صحراوية) وقد تكيفت هذه النباتات مع هذه الظروف بعدة عوامل منها المحافظة على الماء وذلك بغلق الثغور أثناء النهار وفتحها أثناء الليل. وبالرغم من أن غلق الثغور أثناء النهار في هذه النباتات يساعدها على المحافظة على الماء، لكنه يمنع دخول ثاني أكسيد الكربون. لذا فإن دخول ثاني أوكسيد الكربون وعملية تثبيته وتحويله إلى مركبات عضوية مختلفة تتم عندما تكون الثغور مفتوحة أثناء الليل. يطلق على هذه الطريقة اسم الأيض الحمضي العشبي .(CAM) وفيها يتم تثبيتCO_2 بطريقة تشبه تثبيته في النباتات رباعية الكربون(C_4) ، من حيث أن المركب العضوي الأول الذي يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون فيه هو حامض الأكسالوخليك وهو يتكون من أربع ذرات كربون، إلا أن هناك اختلافات هامة بين النوعين وذلك كما يلي:

1- تتم عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون أثناء الليل فقط في خلايا النسيج المتوسط (Mesophyll cells)، التي تقوم بتخزين الأحماض العضوية الناتجة بعد تثبيت CO_2 في الفجوات العصارية حتى الصباح.

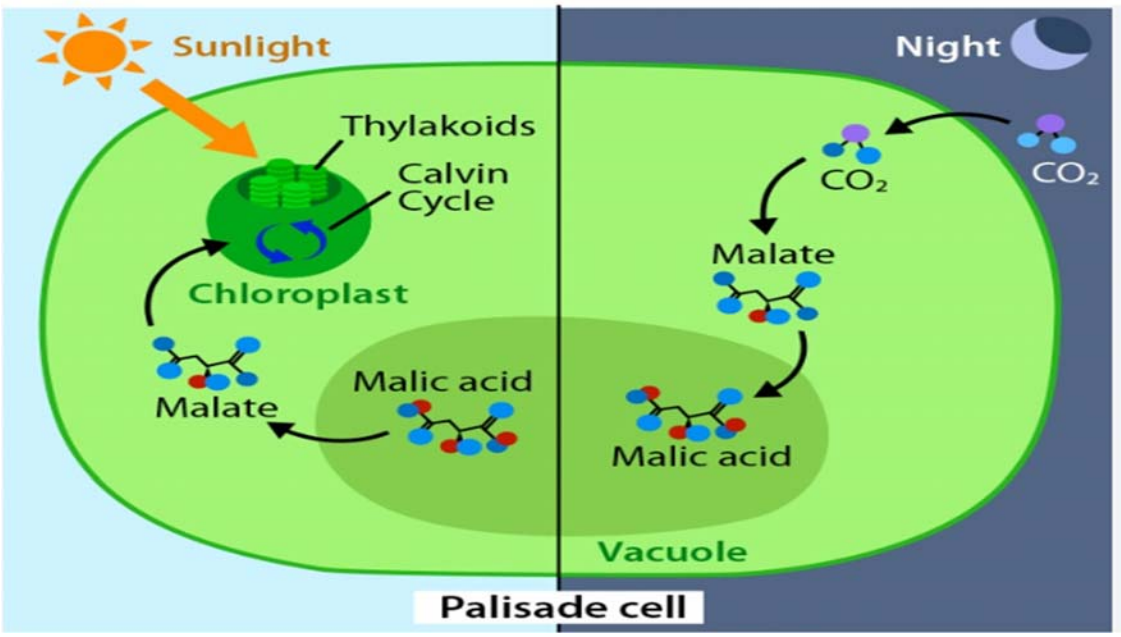
2- أثناء النهار يتحررCO_2 من الأحماض العضوية ويدخل دورة كالفن لإكمال تفاعلات الدورة في خلايا النسيج المتوسط أيضاً وليس في الخلايا الحزمية كما في النباتات الأخرى.

3- تفتح الثغور في الليل (الوسط حامضي) وتكون عادة مغلقة أثناء النهار (الوسط قاعدي) CO_2 يحول إلى حامض عضوي ويخزن أثناء الليل. وفي النهار يتحطم الحامض وينطلق CO_2 إلى RuBisCo من أجل البناء الضوئي

4- تكون هذه النباتات قابلة لمسك معدلات عالية منCO_2, لأن الثغور تكون مغلقة أثناء النهار وقد وجد هذا التكيف في النباتات العصارية، كالصبار ونبات Euphorbs كذلك التي توجد في المناطق الصحراوية (الجافة جدا).

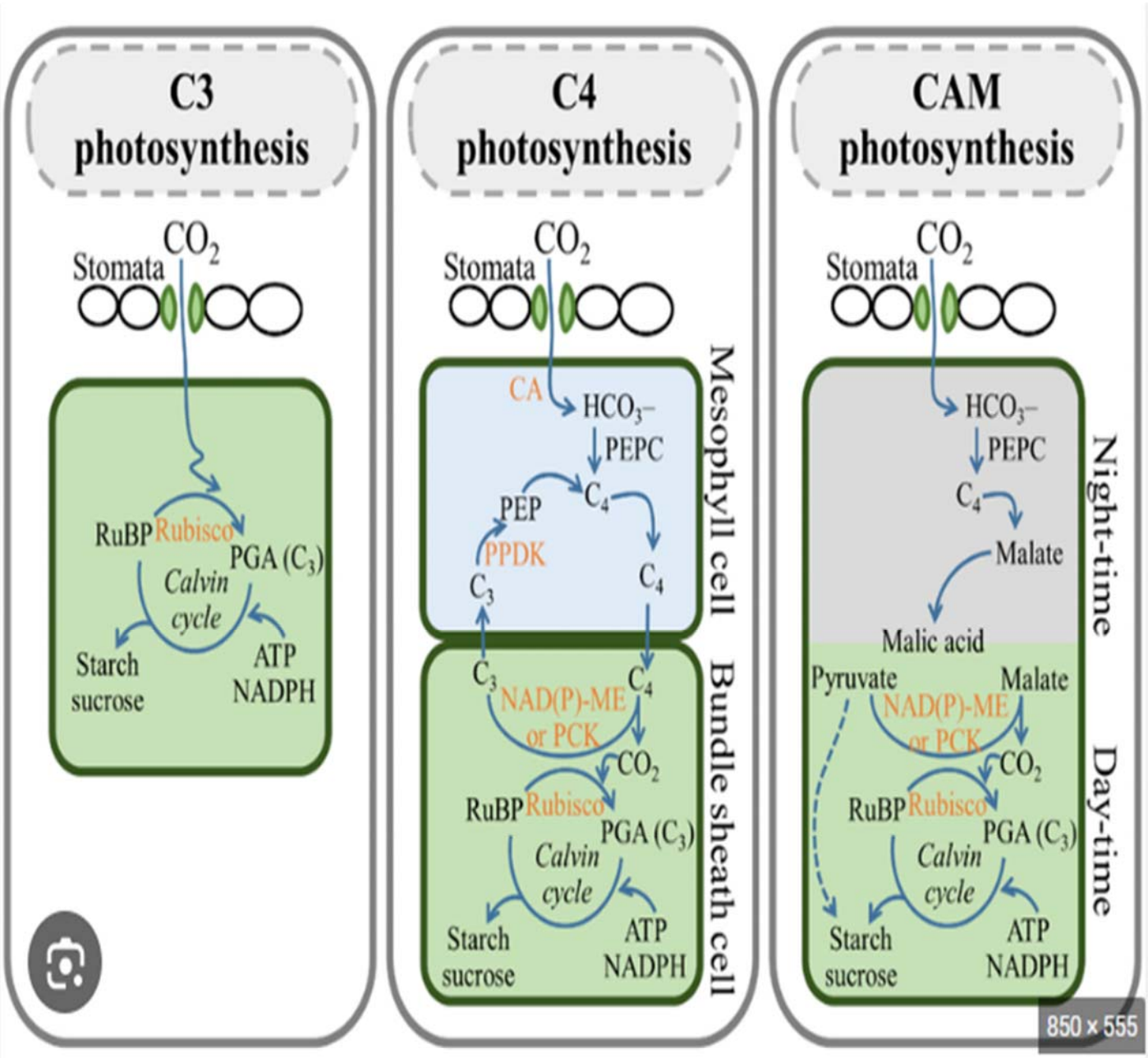
5-تكون كفاءة استعمال الماء اكبر من نباتات C3 تحت الشروط الجافة بسبب فتح الثغور في الليل عندما يكون معدل النتح اقل و نسبة التبخر منخفضة (بدون أشعة شمس – حرارة اقل – سرعات رياح منخفضة

6-الأوكسجين المطروح بالبناء الضوئي يستعمل للتنفس وثاني أوكسيد الكربون المنطلق بالتنفس يستعمل بالبناء الضوئي. ربما تكون نباتات CAM خاملة عندما تكون الشروط قاحلة جدا وأوراق نباتات CAM تستطيع فقط أن تغلق ثغورها ليلاً ونهاراً.



تراكم نواتج عملية البناء الضوئي

ان تراكم نواتج عملية البناء الضوئي لدرجة كبيرة يكون مصحوبا بهبوط في سرعة هذه العملية وزيادة في سرعة عملية التنفس. وتختلف النباتات في اختزان مواد البناء الضوئي فعلى سبيل المثال تختزن نباتات ذوات الفلقة الواحدة السكريات الذائبة بينما تتكاثف هذه السكريات في ذوات الفلقتين لتكون النشا وبما ان النشا غير ذائب فان نواتج عملية البناء الضوئي تبعد أولاً بأول من وسط التفاعل وهذا يؤدي الى استمرار العملية، لكن ذلك لا يحدث في نباتات ذوات الفلقة الواحدة.



Carbon pathway in the photosynthetic metabolism of C3, C4, and CAM... | Download Scientific Diagram

Visit ›

العوامل المؤثرة في البناء الضوئي

العوامل الداخلية:

- تركيب الورقة: ويشمل سمك القشرة والبشرة، وجود الأوبار على سطحها، وتركيب النسيج المتوسط، وحجم الثغور وتوزيعها.
- نواتج البناء الضوئي: عندما يزداد تركيز نواتج البناء الضوئي في الخلايا الخضراء يقل معدل العملية وبخاصة إذا كان انتقال تلك النواتج بطيئا وزيادة في سرعة التنفس
- حالة المادة الحية البروتوبلازم (وخاصة جفاف البروتوبلازم) واضطراب عمل الإنزيمات.

العوامل الخارجية: تشمل الحرارة والضوء وشدته وتركيز ثنائي أوكسيد الكربون(0.03%) و الماء والعناصر المعدنية والملوثات، وكل عامل يؤثر بعملية البناء الضوئي ويتأثر بالعوامل الأخرى.

وجه المقارنة	الميتوكندريا	البلاستيدات الخضراء
التركيب	لها غشاء خارجي وغشاء داخلي كثير الطيات والإنثناءات	حجرات صغيرة وعديدة على شكل أقراص تسمى الثايلاكويدات داخل الغشاء الداخلي
الوظيفة	تنتج طاقة	تقوم بعملية البناء الضوئي

www.almsdar.net/vb المصدر السعودي