المحاضرة السابعة

البناء الضوئيPhotosynthesis

البناء الضوئي : هو عملية تحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية عن طريق اختزال Co_2 بوجود الماء والكلوروفيل

عملية شطر الماء ضوئيا لتحرير H و O_2 وانتقال الالكترونات عبر النواقل البروتينية لتكوين مركبات عالية الطاقة ATP و NADPH لغرض استخدامها في اختزال Co_2 في دورة كالفن لتكوين الكلوكوز

والمعادلة العامة لهذه العملية تكتب كما يلي:

Light

$$CO_2 + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2\uparrow$$

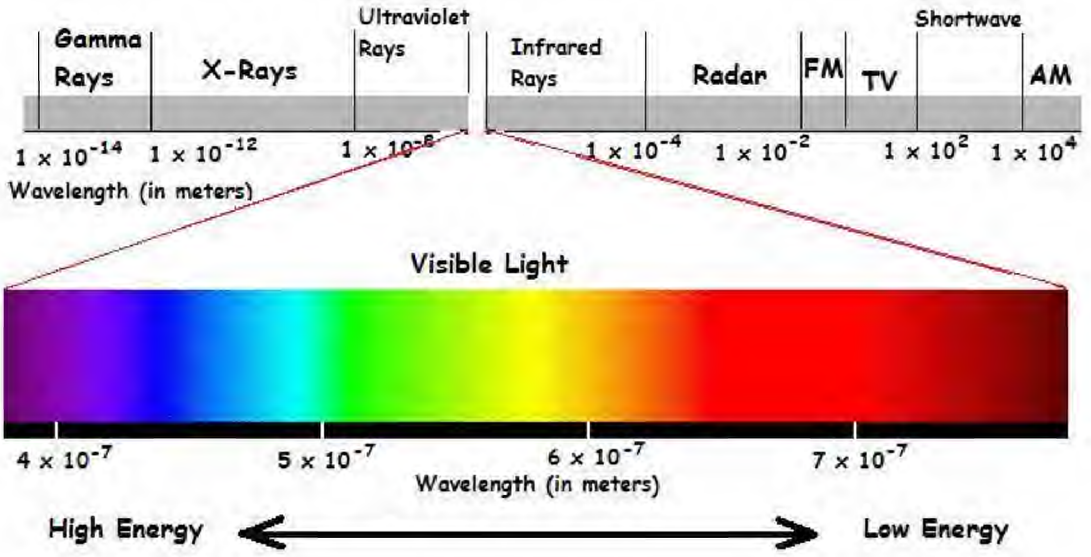
Chloroplast

$$\Delta G = +686 \text{ kcal/mol}$$

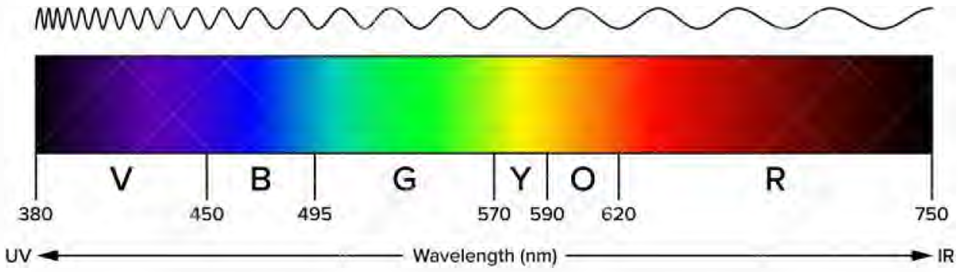
هذا التفاعل هو من نوع التفاعلات المتطلبة للطاقة Endergonic reactions وهذه الطاقة هي الطاقة الشمسية (الشمس هي مصدر الطاقة على الأرض وتمثل قنبلة هيدروجينية ضخمة) .

الطاقة الضوئية مكونة من أطياف ضوئية مختلفة الموجات. كلما كانت الأطوال الموجية قصيرة كلما كانت ذات طاقة كبيرة والعكس صحيح .

الطاقة الضوئية تنبعث على هيئة موجات متصل من كوانتم الضوء والطاقة الناتجة من كوانتم ضوئي واحد يسمى فوتون poton .



Visible Spectrum

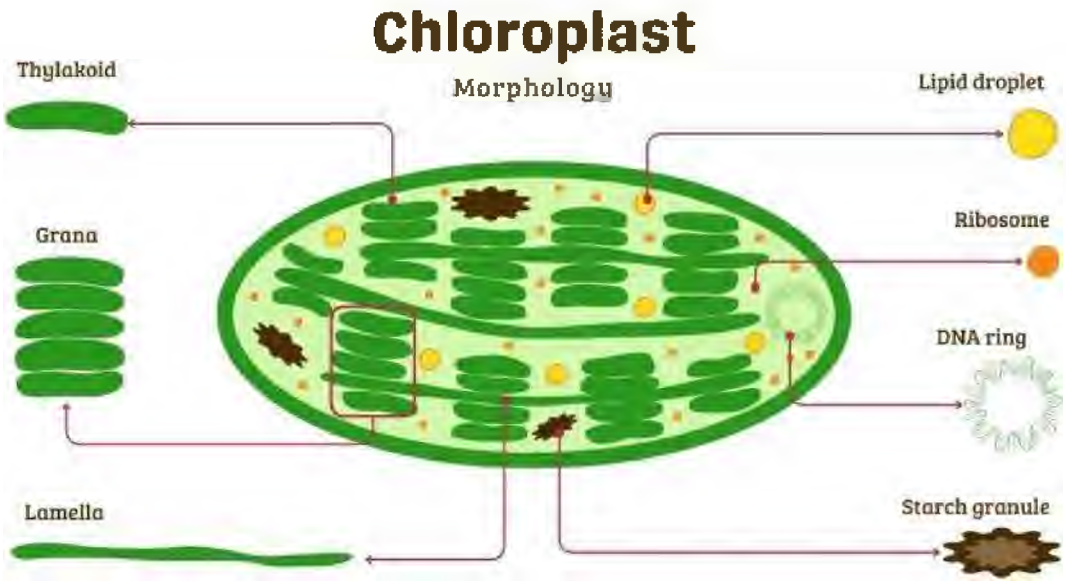


Color	Wavelength (nm)	Frequency (THz)	Photon Energy (eV)
Violet	380 – 450	670 – 790	2.75 – 3.26
Blue	450 – 485	620 – 670	2.56 – 2.75
Cyan	485 – 500	600 – 620	2.48 – 2.56
Green	500 – 565	530 – 600	2.19 – 2.48
Yellow	565 – 590	510 – 530	2.10 – 2.19
Orange	590 – 625	480 – 510	1.98 – 2.10
Red	625 – 750	400 – 480	1.65 – 1.98

dreamstime.com ID 323891456 © Peter Hermes Furian

البلاستيدات الخضر

وهي تراكيب بيضاوية الشكل يبلغ محورها الطولي من 3-5 مايكرومتر ويبلغ عددها بالخلية الورقية للنباتات الراقية الخضر بضع مئات وأحيانا تكون في الطحالب واحدة فقط. وتمتص الصبغات في البلاستيدات الخضر الطاقة الضوئية وتحولها في النهاية الى طاقة كيميائية على هيئة ATP . وتتكون البلاستيدات الخضر من مجموعة صفائح غشائية تتألف من على بروتينات دهنية وصبغات البناء الضوئي جميعها شبيهة بالاكياس تسمى ثايلاكويد thylakoids تكون منضدة فوق بعضها مكونة الكرانا grana و هناك صفائح بين الكرانا داخل أرضية سائلة يطلق عليها الستروما Stroma تحتوي على سائل غروي يحتوي على انزيمات تفاعلات الظلام وتتكون من 69% بروتينات وتحتوي على DNA و RNA .



وبصورة عامة فان عملية البناء الضوئي هي عبارة عن عملية أكسدة واختزال اذ تتم أكسدة جزيئات الماء كما موضح في المعادلة التالية:

معادلة عامة $CO_2 + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow$

$2H_2O \rightarrow 4e^- + 4H^+ + O_2\uparrow (1)$

$CO_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow CH_2O + H_2O (2)$

$CO_2 + 2\,H_2O \rightarrow CH_2O + H_2O + O_2\uparrow$

هذه المعادلة العامة تحدث في النباتات الخضر, إذ يعد الماء مصدر الهيدروجين الضروري اللازم لتحويل CO_2 الى كربوهيدرات. ولكن في كائنات أخرى مثل بكتريا الكبريت التي تعيش تحت ظروف لاهوائية فان مصدر الهيدروجين هو عبارة عن غاز كبريتيد الهيدروجين كما هو موضح في المعادلة الاتية:

في النبات الخضر $CO_2 + H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + O_2\uparrow \ldots\ldots\ldots (1)$

Light

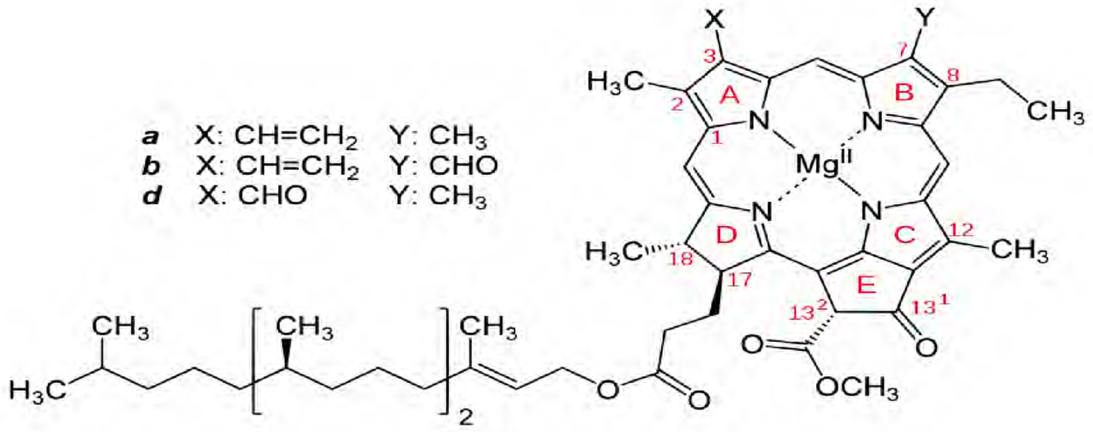
$CO_2 + 2H_2S \rightarrow CH_2O + 2S + H_2S \ldots\ldots (2)$

من المعادلتين رقم (1) و (2) يتضح ان الفرق هو في طبيعة معطي غاز الهيدروجين في النباتات الخضر هو الماء في حين انه في البكتريا اللاهوائية هو غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S,كما يلاحظ من المعادلة (2) عدم تصاعد غاز الاوكسجين مما يدل على ان مصدر الاوكسجين المنطلق في عملية البناء الضوئي يأتي من الماء وليس من غاز ثنائي أوكسيد الكربون.وبصورة عامة يمكن تقسم تفاعلات البناء الضوئي الى نوعين من التفاعلات:

صبغات البناء الضوئي :

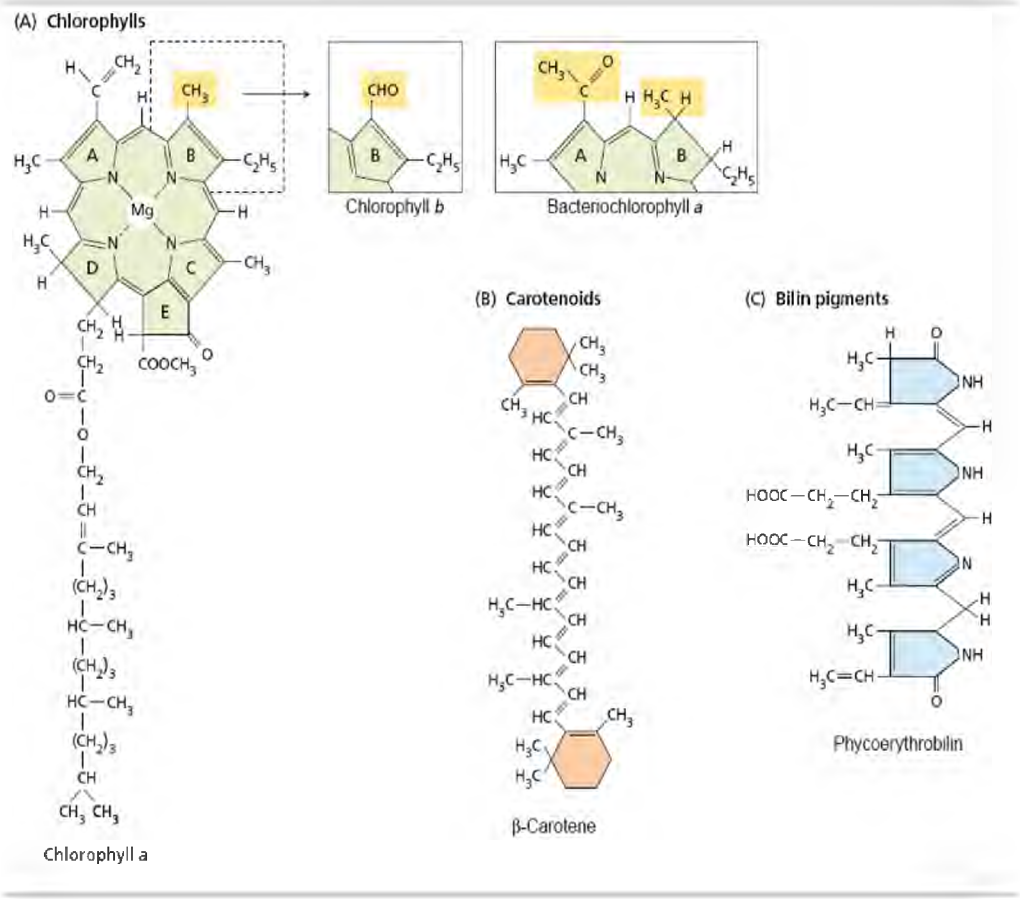
الكلوروفيل : سوداء في الحالة الصلبة وخضراء في الحالة السائلة ، لا تذوب في الماء ولكنها تذوب في المذيبات العضوية تتكون من رأس يسمى porphyrin وذيل هيدروكاربوني يسمى phytol , و هناك عدة انواع من الكلوروفيل هي :

1- كلوروفيل a صيغته $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ يوجد في النباتات الخضر عدا البكتريا لونه اخضر مزرق ويمتص الضوء الأزرق والأحمر .
2- كلوروفيل b صيغته $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ يوجد في جميع النباتات الوعائية والحزازيات والطحالب اليوغلينية والخضر لونه اخضر مصفر ويمتص الضوء البرتقالي .
3- كلوروفيل c يوجد في الطحالب البنية والبكتريا الضوئية.
4- كلوروفيل d يوجد في الطحالب الحمر فقط .



الصبغات المساعدة :

1- صبغات الكاروتين: وهي صبغات هيدروكاربونية تعطي اللون الأصفر والبرتقالي والأحمر وتذوب في الدهون والايثر موجودة في جميع النباتات الزهرية وبدرجة اقل في الطحالب والبكتريا صيغتها $H_{40}C_{51}$ الكاروتين صبغة برتقالية تمتص الضوء الأزرق والقريب من الأخضر .
2- الزانثوفيل : صبغة صفراء مؤكسدة تذوب في الكحول توجد باشكال مختلفة صيغتها $C_{40}H_{56}O_2$ تمتص الضوء القريب من البرتقالي ونهايات الضوء الأزرق .
3- الفايكوبلينات : وهي صبغات تذوب في الماء متحدة مع البروتينات وتشمل الفايكوسيانين والفايكوارثرين وهي صبغات زرقاء وحمراء توجد في الطحالب الخضر المزرقة والطحالب الحمر



تاثير ايمرسون

لاحظ العلم Emerson ان الضوء الممتص مباشرة من الكلوروفيل a يكون اقل فاعلية في البناء الضوئي عن ذلك الضوء الممتص بواسطة الصبغات الإضافية ثم ينتقل بعد ذلك إلى الكلوروفيل a , لاحظ ايضا انخفاضا ملحوظا في الناتج الكمي للأوكسجين عند أطوال موجة تزيد عن 680 nm و هي مساحة في الطيف تحتلها الحزمة الحمراء , بين أيضا ان كفاءة البناء الضوئي الذي إنخفض عند اطوال موجة تزيد عن 680 nm يمكن أستعادتهما بإستخدام طول موجة أقصر من ذلك و بشكل متزامن

استنتج ان تأثير الجمع بين الحزمتين الضوئيتين على معدل البناء الضوئي يزيد عن مجموع تأثير كل منهما على حدى و اطلق على هذه الزيادة بتأثر Emerson .

النظام الضوئي الثاني Photosystem II:

1- يعد مركزا مؤكسدا قويا جدا , حساس للضوء الاحمر , و الاشعة تحت الحمراء لا تسير تفاعلاته .
2- يتحلل فيه الماء ضوئيا الى الهيدروجين والاوكسجين .
3- يتكون هذا النظام من صبغات الكلوروفيل A واخرى متساوية من B والنوع الخاص من كلوروفيل A المسمى مصيدة الضوء يمتص بطول موجي 680 لذلك سمي P680 .
4- يهب الالكترونات الى مختزل ضعيف هو الكوينون.

5- يتكون النظام من 400-250 جزيئة كلوروفيل و4 جزيئات بلاستوكوينون و4 بلاستوسيانين و الفيريدوكسين , و الكاروتينات تشارك في الامتصاص مثل الزانثوفيل والفيولازانثين والنيوزانثين .
6- يوجد هذا النظام في صفائح الكرانا (مناطق التكدس) .
7- يعد كل من Cl و Mn من المتطلبات المهمة لعمل النظام.

النظام الضوئي الاول Photosystem I :

1- مركزا مختزلا قويا جدا و حساس للضوء تحت الاحمر , الاشعة الحمراء لا تسير تفاعلاته .
2- يتكون هذا النظام من صبغات الكلوروفيل A واخرى متساوية من B والنوع الخاص من كلوروفيل A المسمى مصيدة الضوء يمتص بطول موجي 700 لذلك سمي P700 .
3- يهب الالكترونات الى المختزل القوي لينتج ATP و NADPH2.
4- يتكون النظام من 300 جزيئة كلوروفيل وجزيئات الكاروتين و الفيرودوكسين الحر والبلاستوسيانين .
5- يوجد هذا النظام في صفائح الستروما وبالتحديد في حافة صفائح الكرانا .
6- يحدث فيه الفسفرة الضوئية المغلقة

النوع الاول :تفاعلات الضوء Light reaction

التفاعلات المعتمدة على الضوء وهي لا تحدث إلا بوجود الضوء وهي تفاعلات كيمو ضوئية وتحدث في أغشية الثايلوكويد في البلاستيدات الخضر حيث تتواجد الصبغات النباتية التي تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة كيميائية كما يتواجد أيضا جهاز النقل الالكتروني المسؤول عن تسير حركة الالكترونات وتحول طاقة الالكترون الى طاقة كيميائية وداخل أغشية الثايلوكويد هناك وحدتين وظيفيتين هما Photosystem I و Photosystem II النظام الضوئي الاول و الثاني.

ان وظيفة النظام الضوئي الاول والثاني هي تجميع الطاقة الضوئية ثم تمريرها الى مركز التفاعل وفي مركز التفاعل (صبغة P680) فان حركة الالكترونات تبدأ بواسطة الاكسدة الضوئية للصبغة P680 كما في الشكل :

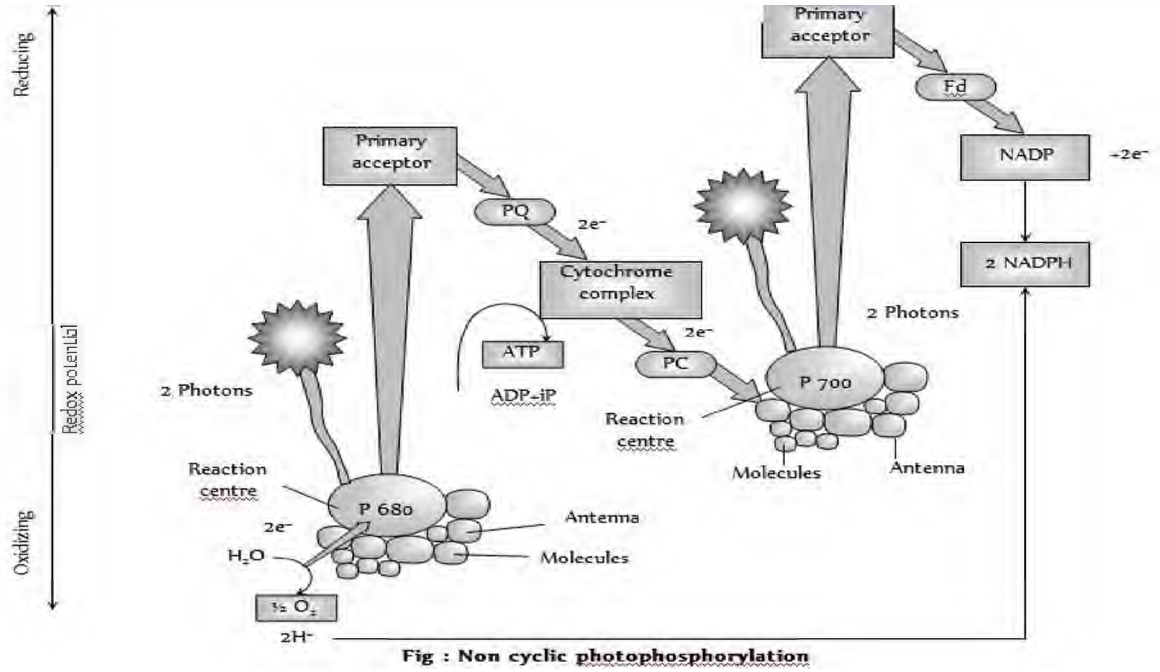


Fig : Non cyclic photophosphorylation

وعندما تحدث عملية الاكسدة الضوئية للصبغة P680فان هذا يؤدي الى فقدانها الى احد الالكترونات الموجودة في المدارات الخارجية للصبغة ولتعويض هذا الالكترون المفقود تحدث عملية أكسدة لجزيئات الماء فتحصل على الالكترونات التي تقوم بشغل الفراغ الموجود في الصبغة اذ تستمر عملية تدفق الالكترونات من النظام الضوئي الثاني الى النظام الضوئي الاول الى ان تصل في النهاية هذه الالكترونات الى المرافق الانزيمي $NADP^+$كما في المعادلة التالية:

$$H_2O \rightarrow 2e^- + 2H^+ + NADP^+$$
$$\downarrow$$
$$H_2O + NADP^+ \rightarrow NADPH + H^+$$

الناتج الاخر لعملية النقل الالكتروني هو تكوين ATP الذي يتكون اعتمادا على تركيز البروتونات التي هي الناتج الثاني للاكسدة الضوئية للماء.ويتكون ATP في عملية يطلق عليها الفسفرة الضوئية (أي إضافة مجموعة فوسفات اعتمادا على الطاقة الضوئية) .

$$ADP + Pi + E \rightarrow ATP$$

الفسفرة الضوئية الحلقية واللاحلقية noncyclic and cyclic photophosphorylation

أثناء هبوط الالكترونات من النظام الضوئي photosystem II 2 إلى النظام الضوئي photosystem I1 تتم فسفرة ATP.الىADP

$$ADP \rightarrow ATP$$

إذ ان الطاقة التي يتبعها مرور زوج من الالكترونات من المستقبل الالكتروني الاول للنظام الضوئي photosystem II(2) تكون كافية لتخليق جزئ واحد على الاقل وربما جزيئين من

ATP وتوجد آليتان أساسيتان لتخليق الطاقة في البناء الضوئي في النبات الخضر يختلف مسارهما من حيث الانسياب الالكتروني المرتبط لكل منهما.فقد يتخذ المسار الالكتروني المؤدي للفسفرة باتجاه واحدا كما في الشكل اعلاه , وذلك عندما تستخدم الالكترونات التي تنطلق من كلوروفيل النظام الضوئي(2) photosystem II آخر الامر باختزال المرافق الانزيمي **$NADP^+$** وتحويله الى مرافق انزيمي مختزل **$NADPH + H^+$** الذي يستخدم بعدئذ في تفاعلات اختزال ثنائي اوكسيد الكربون الى كربوهيدرات. والمصدر الاخير للالكترونات الذي يعوض النظام الضوئي الثاني في هذه الالية هو الماء.

وهناك مسار آخر بالإضافة للمسار اللاحلقي (اللادوري) يتم عن طريقه تكوين ATPفي البناء الضوئي الا ان هذا المسار أو الطريق لا يشترك فيه النظامان الضوئيان معا, بل هو مقصور على النظام الضوئي الاول (1) photosystem I وحده ويسمى هذا النوع من تكوين ATP بالفسفرة الضوئية الحلقية (الدورية) ولا يشترك فيه النظام الضوئي (1) photosystem I ومركز تفاعلها هو الصبغة P700 .ان التفاعلات الكيمو ضوئية سريعة جدا تصل سرعتها 9-10 من الثانية .

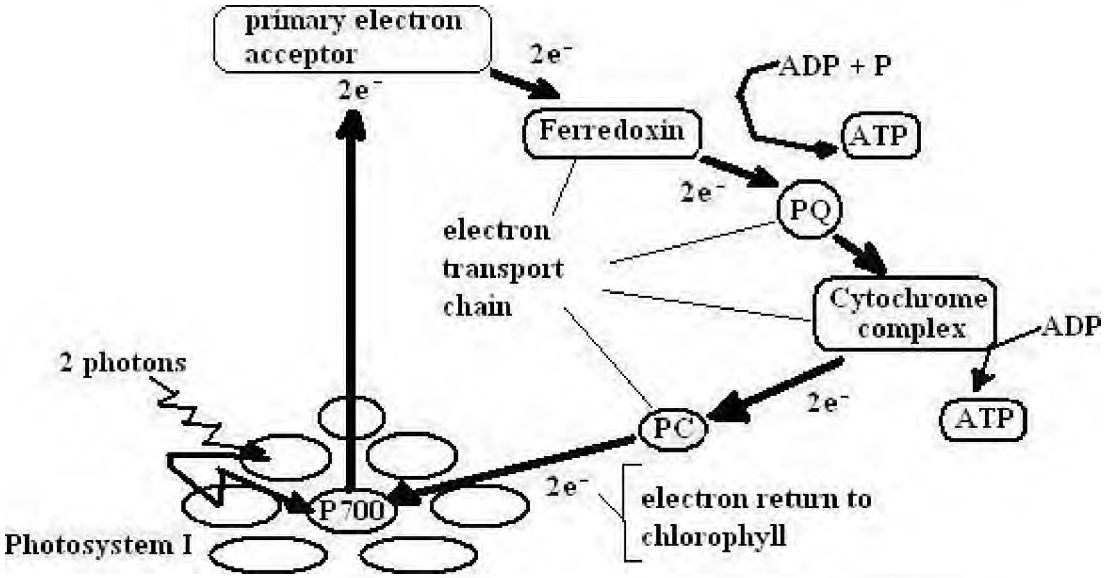
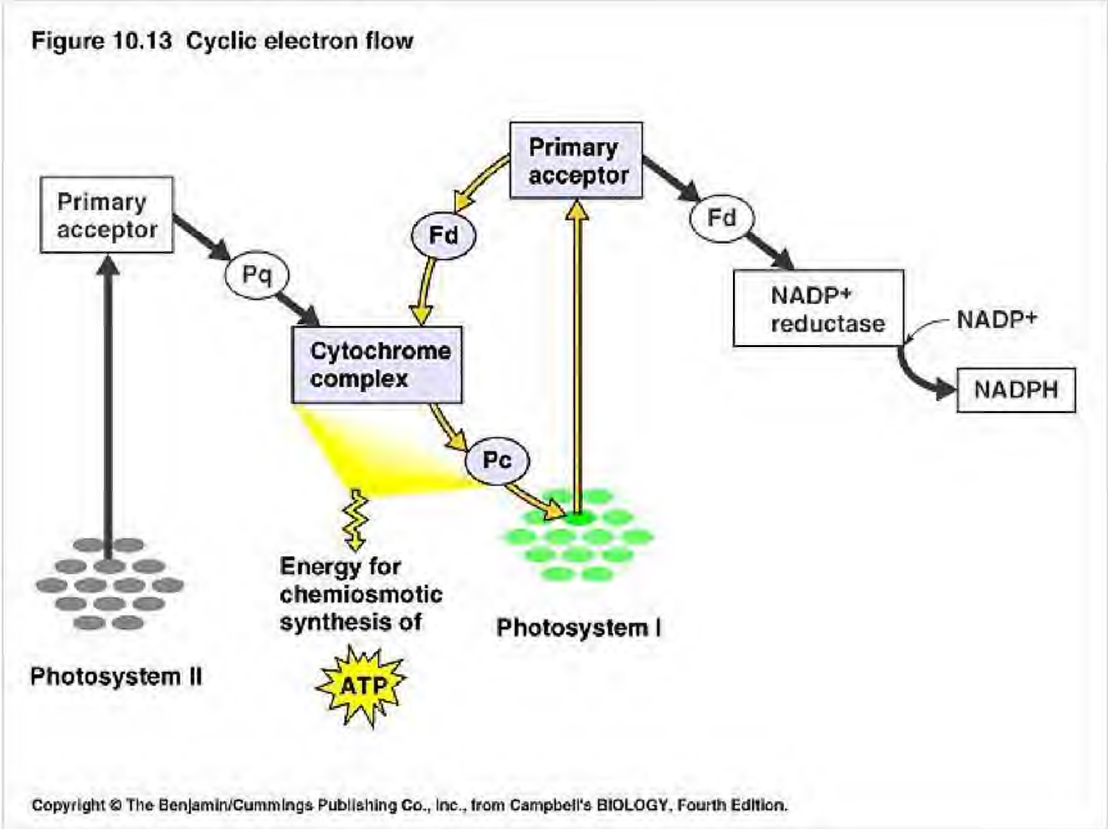


Fig 5. Cyclic photophosphorylation whereATP is produced,but no water is split or NADPH produced

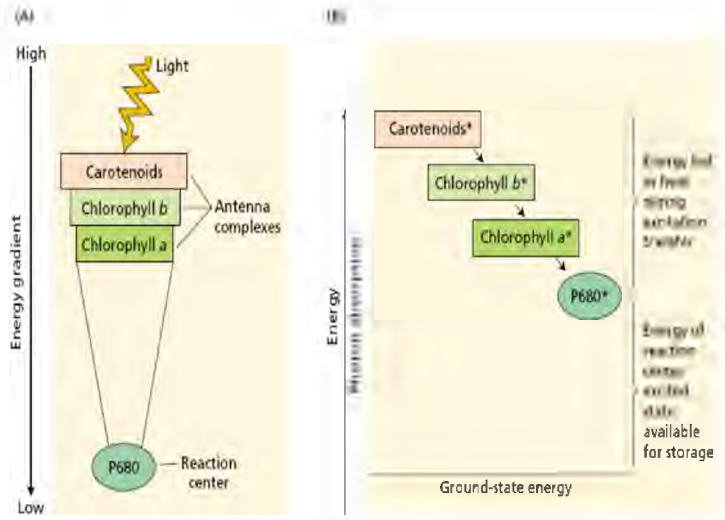


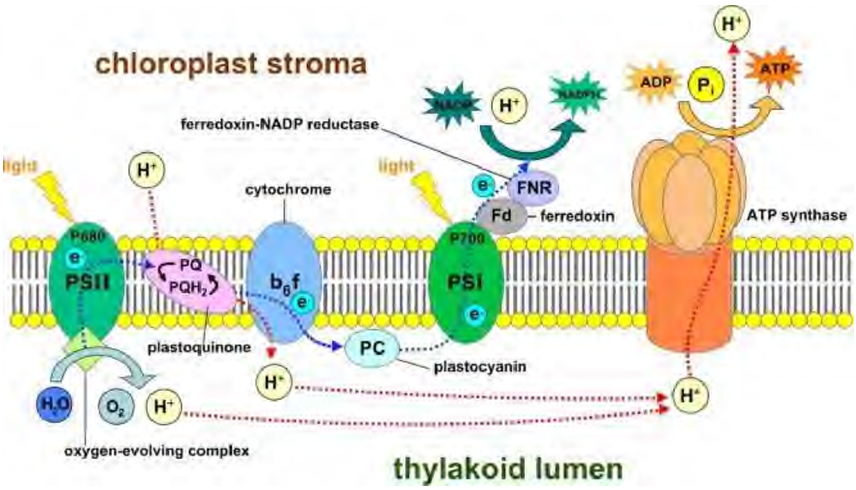
مصيدة الضوء :

في النباتات الراقية تتكون من 200-300 جزيئة كلوروفيل لكل مركز .

مصيدة الضوء: كاروتينات ثم كلوروفيل b ثم كلوروفيل a ثم توجه الى مركز التفاعل p680 .

هناك معقد حصاد الضوء LHC Light harvasting complex: وهو بروتين مصاحب للنظام الضوئي الاول , وهذه المصيدة مكونة من كلوروفيل a/b ويتكون هذا البروتين من ثلاث وحدات الفا حلزونية ومرتبط 15 جزيئة كلوروفيل a وb .





النوع الثاني: تفاعلات الظلام (التفاعلات غير المعتمدة على الضوء)

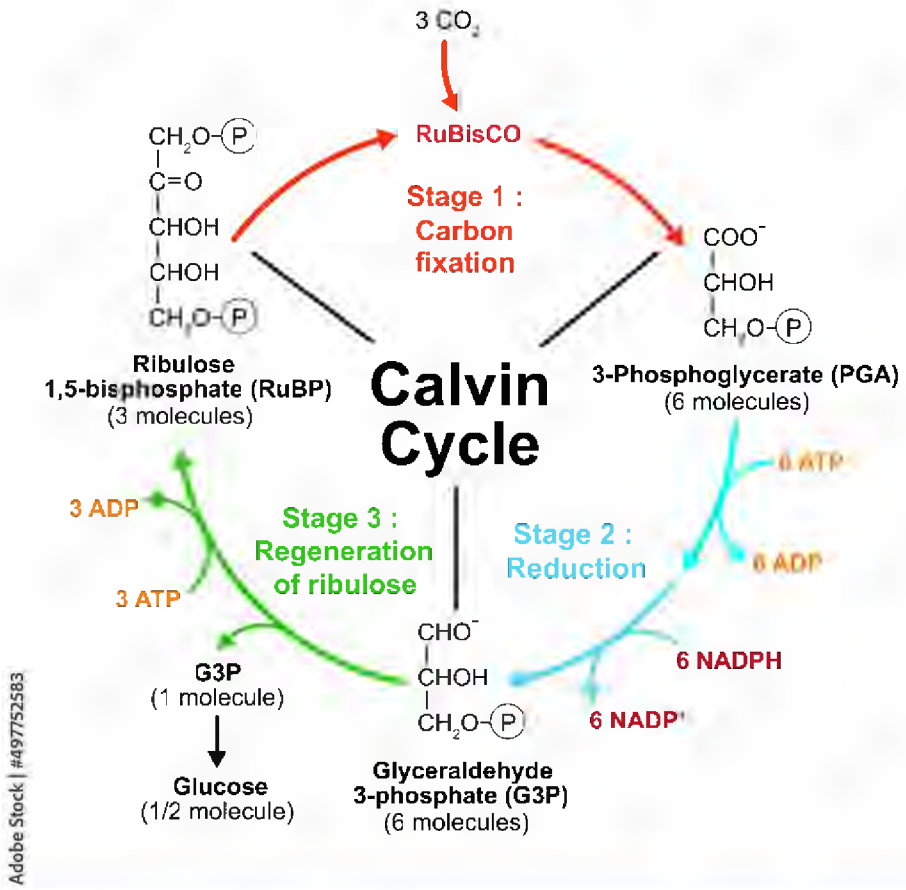
وهي تفاعلات بايوكيميائية تحدث بالارضية السائلة للبلاستيدة الخضراء stroma (تحدث سواء في الظلام او الضوء الا ان الضوء لا يلعب دورا في تفاعلاتها) اذ تتوفر الانزيمات اللازمة لتحويل CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات واهم هذه الانزيمات هو الانزيم الذي يطلق عليه الرابسكو rubisco وتحتاج هذه التفاعلات الى قوة اختزالية وهذه القوة الاختزالية يتم الحصول عليها من المرافق الانزيمي للمختزل **$NADPH +H^+$** كما تحتاج التفاعلات الى ATPالذي هو المصدر الذي يوفر الطاقة اللازمة لتسيير اختزال CO_2 الى كربوهيدرات , وقد بات واضحا ألان ان عملية اختزال CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات تتم عن طريق ثلاث مسالك أوطرق تعتمد على البيئة التي ينمو فيها النبات.

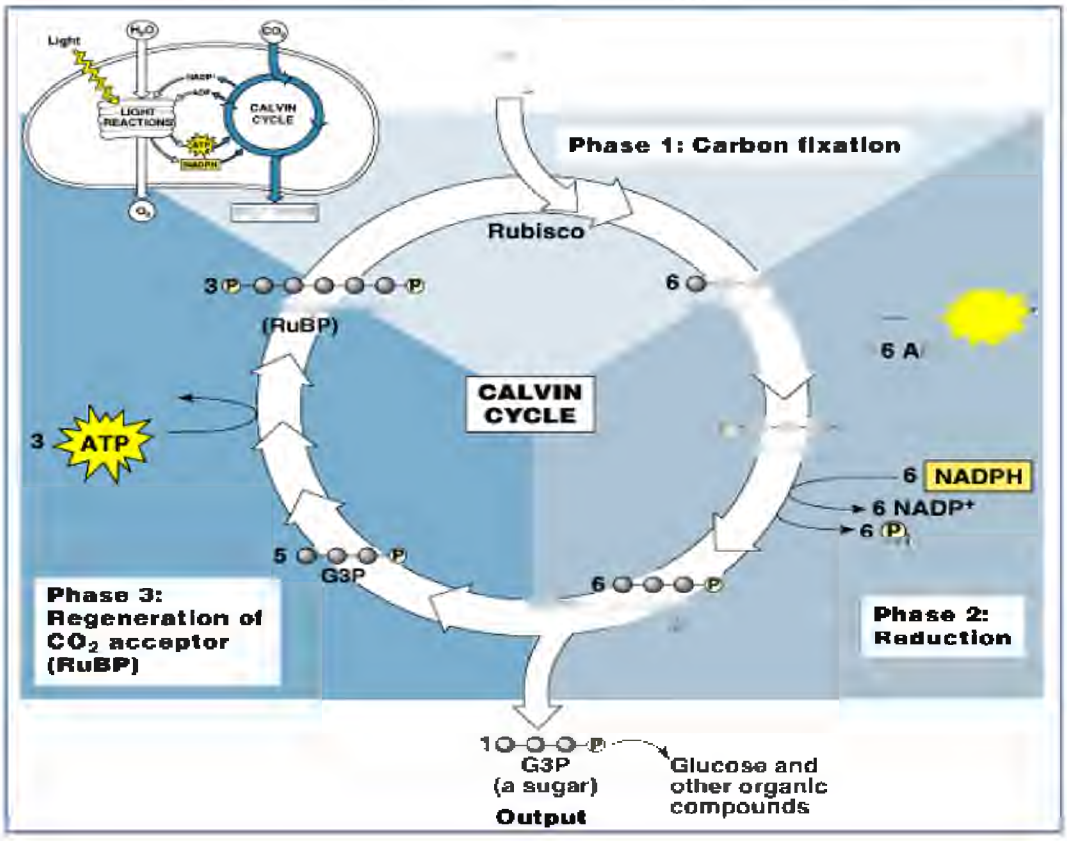
دورة كالفن Calvin cycle :

خلال هذه الدورة يدخل غاز CO_2 عن طريق الثغور حيث يتحد مع مركب خماسي الكاربون هو ثنائي فوسفات الرايبلوز (RUBP) **Ribulose-1,5-bisphosphate** و ينشط هذا التفاعل انزيم RuBPCarboxylase (الرابسكو) ليتكون الناتج مركب غير ثابت وسرعان ما ينقسم الى جزيئتين من مركب ثلاثي الكربون وحامض الفسفوريك phosphoglyceric acid (3PGA) وتسمى هذه المرحلة الكربكسلة (تفاعلات اختزال Co_2) وتعد هذه العملية الاكثر تعقيدا .

1- تتم فسفرة 3PGA بتحفيز من انزيم PGA kinase باستهلاك ATP فيتكون جزئ 1,3 diphosphglyceric acid .
2- يختزل جزئ 1,3 diphosphglyceric acid جزئ NADPH الى NADP وبتحفيز من انزيم glycerol dehydrogenase ليتكون جزئ من 3 glyceraldehydes phosphate .
3- يتم تحويل بعض من جزيئات glyceraldehydes 3 phosphate بتحفيز من انزيم aldolase لتتكون مركبات كربوهيدراتية منها سكر الكلوكوز .

4- يتم تحويل المتبقي من جزيئات glyceraldehydes 3 phosphate الى السكر الخماسي **Ribulose-1,5-bisphosphate** باستهلاك جزيئة ATP , وهكذا لتتكرر دورة كالفن .


3 CO2
RuBisCO
Stage 1 : Carbon fixation
Ribulose 1,5-bisphosphate (RuBP) (3 molecules)
3-Phosphoglycerate (PGA) (6 molecules)
Calvin Cycle
6 ATP
6 ADP
3 ADP
3 ATP
Stage 3 : Regeneration of ribulose
Stage 2 : Reduction
6 NADPH
6 NADP+
G3P (1 molecule)
Glucose (1/2 molecule)
Glyceraldehyde 3-phosphate (G3P) (6 molecules)
Adobe Stock | #497752583


Light
LIGHT REACTIONS
CALVIN CYCLE
Phase 1: Carbon fixation
Rubisco
3
(RuBP)
6
6 A
CALVIN CYCLE
3 ATP
6 NADPH
6 NADP+
6 P
5
G3P
6
Phase 3: Regeneration of CO2 acceptor (RuBP)
Phase 2: Reduction
1
G3P (a sugar)
Output
Glucose and other organic compounds

تفاعلات اختزال CO_2الى مستوى الكربوهيدرات Reaction of CO_2 reduction to carbohydrates

1.مسلك ثلاثي الكاربون C3-Pathway

2.مسلك رباعي الكاربون C4-Pathway

3.ايض الحامض العضوي في النباتات العصاريةCAM -photosynthesis

المسلك الثلاثي الكاربون

الناتج الاول من عملية البناء الضوئي هو عبرة عن حامض ثلاثي الكاربون 3PGA

المسلك الرباعي الكاربون :

وهو المسلك الثاني لتفاعلت اختزال CO_2 حيث يحدث على مرحلتين اذ يدخل CO_2 عن طريق الثغور فيذوب و يتأين مكونا حامض الكاربونيك كما موضح في المعادلة الاتية:

$$CO_2+H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

ايون البيكاربونات حامض الكربونيك

ايون البيكربونات الناتج يتحد مع مركب ثلاثي الكاربون يسمى PEP

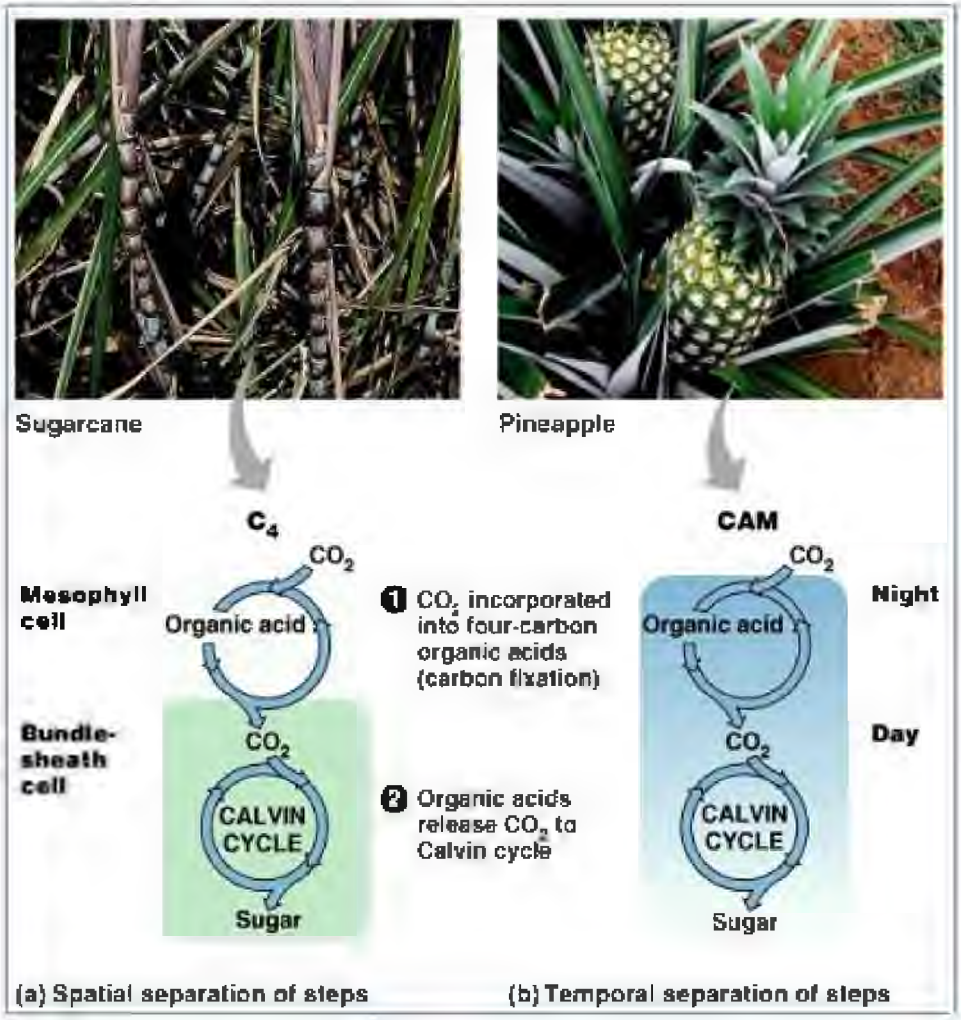
$$HCO3- + PEP \rightarrow OAA$$

(Phosphoenol Pyruvic acid - Oxaloacetic acid)

هذه التفاعلات تحدث في الجزء العلوي من الورقة بعد ذلك يتحرك هذا الحامض الرباعي من الجزء العلوي من الورقة الى منطقة غلاف أو غمد الحزمة الوعائية عندما يصل الحامض الى منطقة غمد الحزمة يتحد مع المرافق الانزيمي المختزل NADPH+H ويتكون لدينا حامض رباعي هو حامض الماليك Malic acid هذا الحامض الرباعي تحدث له عملية إزالة CO_2.

CO_2 الناتج من هذه العملية سوف يتحد مع السكر الخماسي (رايبوز ثنائي الفوسفات) وذلك لاعادة دورة كالفن كما سبق ذكره في النباتات ثلاثية الكاربون.إذن يلاحظ في هذه الدورة ان هناك فصل في مكان نشاط الانزيمات حيث ان انزيم الرابسكو يكون غير موجود في الجزء العلوي من الورقة ولذلك حدثت عملية تحوير في التفاعلان البايوكيميائية بحيث تمنع من حدوث ظاهرة شائعة في النباتات ثلاثية الكاربون وهذه الظاهرة تسمى التنفس الضوئي Photorespirationوالتي تحدث في النباتات ثلاثية الكربون بسبب استخدام الربسكو الاوكسجين كمادة تفاعل بدل من ثنائي اوكسيد الكربون الذي يؤدي عادة الى تكوين الكربوهيدرات التي هي الغاية والهدف وراء عملية البناء الضوئي.

الدورة رباعية الكاربون توجد في النباتات التي تستوطن المناطق الحارة والجافة حيث ان مصادرالمياه تكون قليلة ولذلك فان هذه النباتات عادة ما تفتح ثغورها لفترة محدودة خلل النهار لغرض دخول CO_2 وبنفس الوقت تقلل من فقد الماء عن طريق النتح.



المقارنة بين نباتات رباعية الكاربون والـCAM

ايض الحامض العضوي في النباتات العصارية CAM- photosynthesis

وهو المسلك الثالث لاختزال CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات وانه يحدث في النباتات العصارية وهذه النباتات تستوطن الصحراء هذه النباتات العصارية لها من التحورات والتكيفات بحيث تتمكن من صنع غذائها وذلك عن طريق فتح الثغور ليلاً فقط اذ يدخل CO_2 ليلا الى الثغور المفتوحة ثم يتحد CO_2 مع مركب رباعي الكربون هو حامض الاوكزاليكOAAهذا الحامض سرعان ما يتم اختزاله الى حامض الماليك الذي هو أيضا حامض رباعي وهذا الحامض يتراكم بكميات كبيرة في الفجوات التي تمتلكها هذه النباتات العصارية .

أما في النهار فتغلق الثغور وذلك درءً لخطر الجفاف وخلال ساعات النهار تحدث عملية إزالة CO_2 من الحامض الرباعي الكربون CO_2 الناتج يتحد مع السكر الخماسي الذي هو الرايبلوز ثنائي الفوسفات وذلك لاعادة دورة كالفن كما سبق ذكره .

ان النباتات العصارية تعد ذات كفاءة عالية باستخدام الماء مقارنة بالنباتات الرباعية والنباتات الثلاثية الكاربون.

النوع الاول من أنواع المسالك أو طرق تثبيت ثنائي اوكسيد الكربون يطلق عليه اسم المسلك و الطريق ثلاثي الكربون C3 pathway سمي بهذا الاسم لان المركب الثابت الاول في هذا الطريقه هو مركب ثلاثي الكربون ويسمى أيضا هذا المسلك بدورة كالفن Calvin cycle نسبة الى العالم أو الباحث الامريكي كالفن الذي حصل على جائزة نوبل للعلوم البايولوجية في عام 1961م لهذا الاكتشاف.

أما الطريق الاخر (الثاني) لاختزال CO_2 فيطلق عليه اصطلاح دورة الحامض الرباعي الكربون لان المركب الثابت الاول فيها هو مركب رباعي الكربون وهي تحدث في النباتات التي تنمو في بيئات حارة وملحية حيث يكون توفر الماء محدودا.

أما النوع الثالث عن طريق اختزال CO_2 الى مستوى الكربوهيدرات فيطلق عليه أيض الحامض العضوي في النباتات العصارية CAM photosynthesis وهو يحدث بالدرجة الرئيسة في النباتات التي تستوطن الصحراء حيث ان الماء شحيح لذا فان أهم هذه النباتات قد طورت طريقة صنع غذائها بحيث تتناسب مع البيئة التي تنمو فيها.

بعض خصائص نباتات C3 و C4 و CAM

C3	C4	CAM
تشمل اكثر من 95% من الانواع النباتية الموجودة على الارض	تشمل اقل من 4% من الانواع النباتية الموجودة على الارض	تشمل انواع قليلة مقارنة بنباتات C3 و C4
تعتمد مسار C3 في البناء الضوئي	تعتمد مساري C3 و C4 في البناء الضوئي	تعتمد مساري C3 و C4 كما في نباتات C4 لكن مختلفة عنها على مستوى الزمن اي ما يجري في الليل في نباتات C4 يتم في النهار وبالعكس
الثغور مفتوحة لفترة طويلة	مفتوحة لفترة اقل	الثغور مغلقة نهارا ومفتوحة ليلا وقد تبقى مغلقة ليلا ونهارا
الميزوفيل متمير الى بركيما عمادية palaside parenchyma واخرى اسفنجية spongy parenchyma	الميزوفيل غير متميز	الميزوفيل غير متميز
غلاف الحزمة Bundle sheeth غير موجود , وان وجد يكون ضعيف التكشف (حاو على بلاستيدات صغيرة او معدومة)	غلاف الحزمة موجود وجيد التكشف (حاو على بلاستيدات خضر كبيرة بدون بذيرات Grana) ويطلق على هذه الصفة التشريحية مصطلح kranz anatomy	تظهر غلاف حزمة جيدة التكشف
توجد في المناطق المعتدلة temperate من العالم	توجد في المناطق الجرداء Arid وشبه الجرداء semi-arid من العالم	توجد في المناطق الصحراوية
لها قيمة تكيفية Adaptive value عالية تحت ضروف الرطوبة والبرودة والضوء الاعتيادي بوصفها تستخدم ايات اقل (انزيمات اقل وبدون تشريح خاص) وذلك قياسا بنباتات C3 و C4	تكمن قيمتها التكيفية بكون البناء الضوئي فيها اسرع تحت ظرف الحرارة العالية وشدة الاضاءة العالية الا ان Co_2 ينقل مباشرة الى الانزيم Rubisco مما يمنعه من اخذ O_2 اي يمنع حدوث التنفس الضوئي photorespiration	اكثر قيمة تكيفية من نباتات C3 في استغلال الماء تحت ظروف البيئة الصحراوية لان ثغورها مغلقة نهارا ومفتوحة ليلا
تثبيت Co_2 فيها يتم بوجود انزيم واحد هو Rubisco	التثبيت يتم بوجود انزيمين هما PEPcarboxylase و Rubisco	التثبيت يتم بوجود انزيمين هما PEPcarboxylase و Rubisco
دورة كالفن تحدث في الميزوفيل ليلا	دورة كالفن تحدث في غلاف الحزمة ليلا	دورة كالفن تحدث في غلاف الحزمة نهارا
يحدث فيها تنفس ضوئي , الذي يعطل تثبيط Co_2 لا سيما بارتفاع درجة الحرارة وبوجود مستويات عالية من O_2 ومستويات واطئة من Co_2	لا يحدث فيها تنفس ضوئي	لا يحدث فيها تنفس ضوئي
تعد اسلاف لنباتات C4 فهي بدائية قياسا بها	تعد راقية قياسا بنباتات C3	تعد نباتات C4 محورة modified
الورقة سميكة بالمقطع المستعرض	الورقة رقيقة بالمقطع المستعرض	الورقة سميكة بالمقطع المستعرض

التنفس الضوئي photorespiration

- تحدث في النباتات ثلاثية الكربون بسبب استخدام الربسكو Rubisco الاوكسجين كمادة تفاعل بدل من ثنائي اوكسيد الكربون . (انزيم الربسكو هو (Ribulose bisphosphate carboxylase يثبت CO2 او oxygenase 2O وهو انزيم في اول خطوة في دورة كالفن في الخطوة الاولى)
- يفقد نصف CO2 وخسارة في ATP
- يحدث بوجود الضوء ويزداد مع زيادة الحرارة.