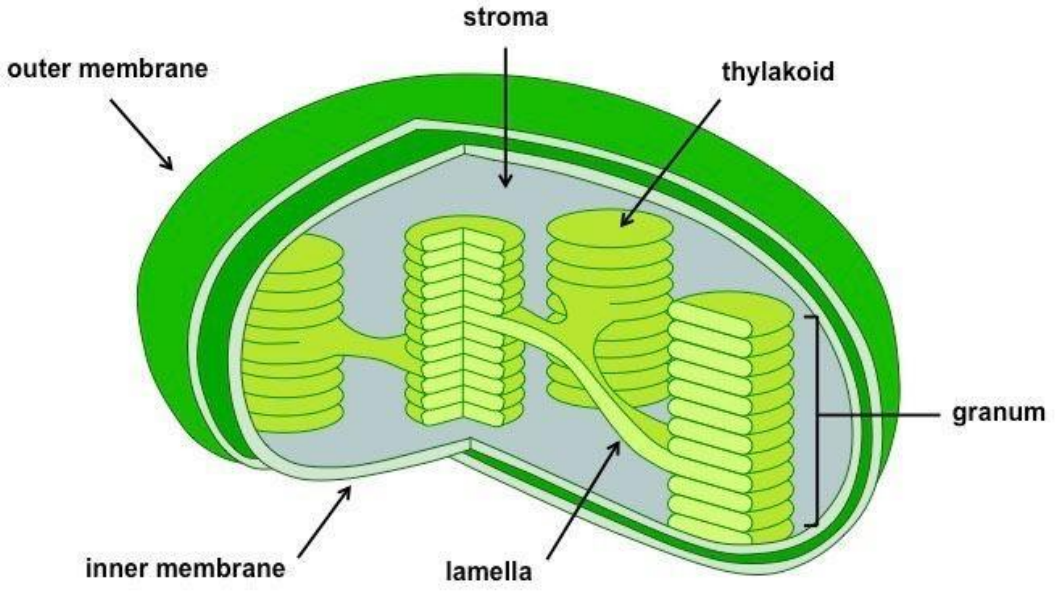
البناء الضوئي photosynthesis

تحدث عملية البناء الضوئي من بدايتها حتى نهايتها في داخل البلاستيدة الخضراء ،وهي عضية سايتوبلازمية ذات تركيب هندسي معقد جدا وتوجد البلاستيدات الخضر في الطحالب الخضر والنباتات الحزازية والنباتات الوعائية الاانها لا توجد في الفطريات والطحالب الخضرالمزرقة وبكتريا البناء الضوئي توجد الصبغات في تراكيب غشائية تسمى حاملات الصبغة chromatophoresاما في الطحالب الخضر المزرقة فتوجد الصبغات اما على الاغشية او في داخلها ، تشاهد بسهولة بالمجهر الضوئي لا ان تركيبها الدقيق يمكن تميزه فقط بالمجهر الالكتروني تحاط محتوياتها بنظام غشائي مزدوج او بغلاف (يتالف من غشاء مزدوج)وان الغشاء اختياري النفاذية ،في النباتات الراقية تحتوي البلاستيدات الخضر على صفائح (اغشية)الكرانا grana lamellaوالتي تحتوي على معظم العوامل الكيميائية الحياتية اللازمة لحدوث التفاعلات الكيميائية الضوئية لعملية البناء الضوئي اي تحدث فيها التفاعلات الكيميائية الضوئية) الكرانا مزدوجة او مكونه من تراكيب تسمى بالثايلاكودthylakoids.البلاستيدات الخضر في الطحالب تخلو عادة من الكرانا وفي الطحالب الخضر المزرقة فان الاغشية توجد في داخل السايتوبلازم بدون غلاف يحددها ،اما في النباتات الراقية فان الصبغات توجد في الاغشية فقط .وتنشا البلاستيدة من البلاستيدة الاولية propastid وتمتلك البلاستيدة معلومات وراثية خاصة ببناء البروتينات ،وان الاحماض DNA,RNA التي توجد فيها تسلسل القواعد يختلف عن تلك الموجودة في النواة .



الصبغات المشاركة في البناء الضوئي :

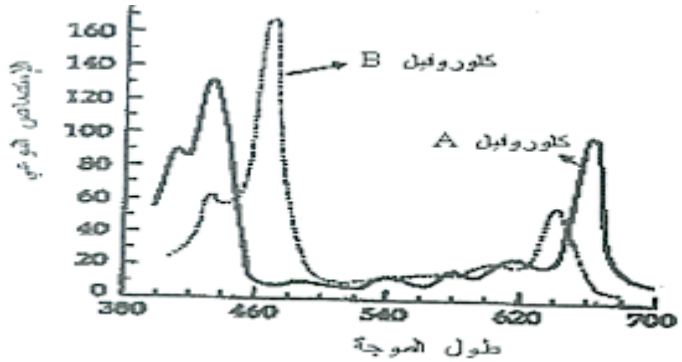
1- **صبغات الكلورفيل :**هي صبغات خضراء اللون ويتميز فيها E,D,C,B,A والكلورفيلات البكترية ويعد كلورفيل A,Bاكثر توفرا.

كلورفيل Aيوجد في جميع الكائنات ذاتية التغذية ماعدا بكتريا البناء الضوئي .

كلورفيل Bيوجد في جميع النباتات الراقية والطحالب الخضراء فقط

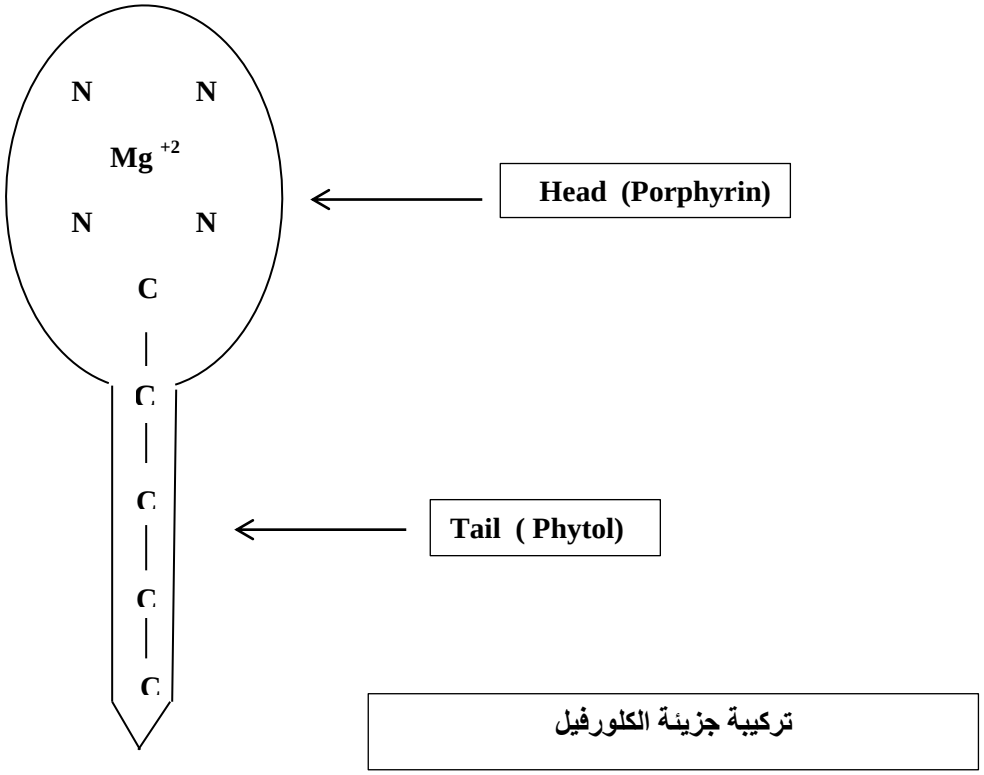
كلورفيل E,D توجد في الطحالب فقط

الكلورفيلات البكترية توجد في بكتريا البناء الضوئي .



شكل يوضح اطياف الامتصاص لكل من كلوروفيل AوB

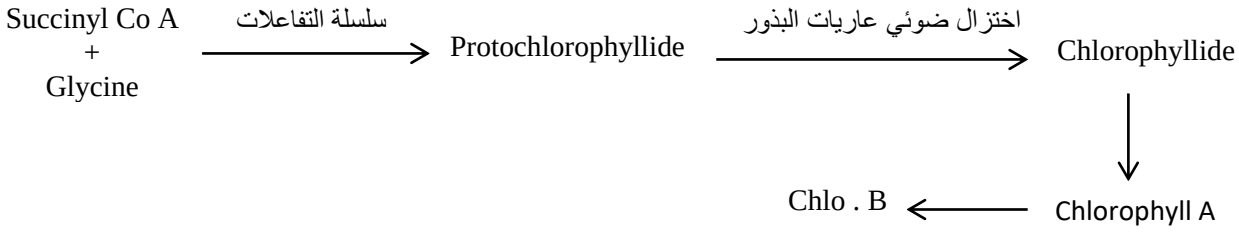
تركيب جزيئة الكلورفيل A :يتكون جزئ الكلورفيل من تركيب دائري رباعي البيرول يسمى بالبورفرينporphyrin وحلقة شبه دائرية تحتوي في وسطها ذرة مغنسيوم ،وتمتد من احدى حلقات البيرول سلسلة كحول الفايتول phytol chain

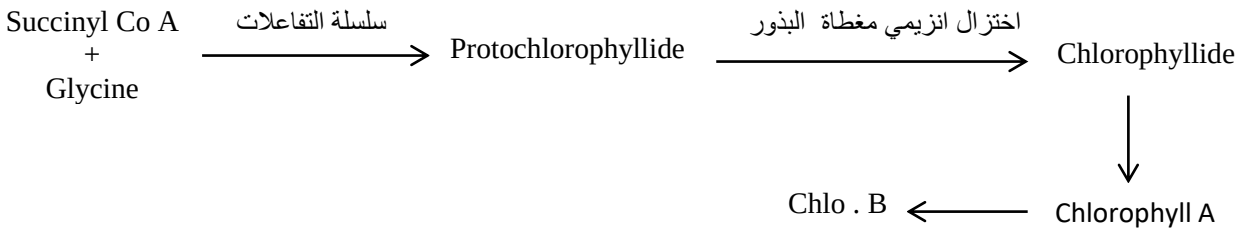


الفرق بين كلورفيل Aوكلورفيل B

كلوروفيل A	كلوروفيل B
الصيغة الجزيئة $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
الوزن الجزيئي 892.3	906.32
ترتبط ذرة الكاربون رقم 3 بمجموعة مثيل CH_3	ترتبط ذرة الكاربون رقم 3 بمجموعة الالديهايد CHO
افضل مذيب هو بترواليوم ايثر	افضل مذيب هو الكحول الاثيلي

بناء الكلوروفيل : ان اساس عملية بناء الكلورفيل مادة Scuccinyl COA وهو احد مركبات دورة كربس الوسطية ،والحامض الاميني الكلايسين Glycineوبتحادهما وبعد سلسلة معقدة من التفاعلات تؤدي الى تكوين protochlorophyllidويتحول الى Chlorophyllide بوجود الضوء يحصل اختزال ضوئي في نباتات مغطاة البذور ،ثم في سلسلة تحولات يضاف الفايتول ليتحول الى chla،ثمchlBاما في عاريات البذور (كالسرخسيات)والحزازيات والطحالب يتحول Protochlorophyllideالى كلورفيل حتى في الظلام لانه اختزال انزيمي (بوجود الانزيمات)





عند عدم وجود الضوء (النباتات النامية في الظلام)تحدث ظاهرة الشحوب الكلورفيلي **Etidation** تبقى البادرات في مغطاة البذور ذات لون اصفر لعدم تكون الكلورفيل هذا اللون الاصفر بسبب اشباه الكاروتينات وتتحول البلاستيدة الاولية الى خضراء بوجود الضوء اي ان نقص الضوء ونقص العناصر مثلN,Mg,Fe والاصابات الفطرية تسسبب هذا الشحوب

الصبغات المساعدة الاخرى:

1- **اشباه الكاروتينات Carotenoid pigments :** مركبات دهنية واسعة الانتشار في الحيوانات والنباتات وتتدرج من اللون الاصفر الى الارجواني وتوجد بتراكيز مختلفة في جميع النباتات الراقية تقريبا وفي كثير من الاحياء المجهرية بما فيها الطحالب الحمر والخضر وبكتريا البناء الضوئي ،استخلصت لاول مرة من جذور الجزروعندما تتالف فقط من الكاربون والهيدروجين تسمى بالكاروتينات واشباه الكاروتينات التي تتالف من الكاربون والهيدروجين والاوكسيجين تسمى بالزانثوفيلات وان تركيز الزنثوفيلات الى الكاروتينات يكون 1:2تقريبا ،واشباه الكاروتينات شانها شان الكلوروفيل توجد في البلاستيدات الخضر وفي حاملات الصبغة chromatophores .

الاهمية الفسلجة لاشباه الكاروتينات في النباتات

2- **لها دور في وقاية الكلورفيل من الاكسدة الضوئية**

3- **لها دور في امتصاص ونقل الطاقة الضوئية الى كلوروفيل A.**

2-صبغات الفايكوبلينات phycobilins: توجد البروتينات البلينية الحمراء المسماة بالفايكواريثرينات phycoerythrinsوالبروتينات البلينية الزرقاء المسماه بالفايكوسيانينات Phycocyaninsفي الطحالب وبكتريا البناء الضوئي

يشار الى اشباه الكاروتينات والفايكوبلينات على انها صبغات مساعدة assessarypigments لان دورها في البناء الضوئي يكون غير مباشر اي ان الطاقة التي تمتصها هذه الصبغات تنقل الى الكلورفيل قبل ان تصبح فعاله في البناء الضوئي .

اصل الاوكسجين في البناء الضوئي origin of oxygen in photosynthesis

ان اصل الاوكسجين في عملية البناء الضوئي هو الماء وهناك ادلة على ذالك:

1- اوضح Van Niel بان اصل الاوكسجين المتحرر في البناء الضوئي هو ا

$$2H_2S+Co_2 \text{----------} \rightarrow 2S+(CH_2O)+H_2O$$

في بكتريا الكبريت الخضراء

$$2H_2O+CO_2 \text{---------} \rightarrow O_2+(CH_2O)+H_2O$$

في الطحالب والنباتات الراقية

وان التشابة الواضح بين البناء الضوئي في كل من البكتريا والنباتات الراقية شجع Van Nielافتراض صيغة عامة للبناء الضوئي

$$2H_2A+CO_2 \text{--------} \rightarrow 2A+(CH_2O)+H_2O$$

ومن هذا استنتج نقطتان مهمتان

1- ان مصدر الاوكسيجين المتحرر في عملية البناء الضوئي هو الماء وليس ثاني اوكسيد الكاربون
2- لا يعتمد التمثيل الفعلي لثاني اوكسيد الكاربون على الضوء .

الدراسات التي تمت باستخدام النظائر المشعةوذلك باستعمال الاوكسجين الثقيل (O^{18})ولو تمت عملية البناء الضوئي في وجود H_2O^{18}وco_2العادي فان الاوكسجين الجزيئي المنطلق يكون من النوع الثقيل (O^{18})

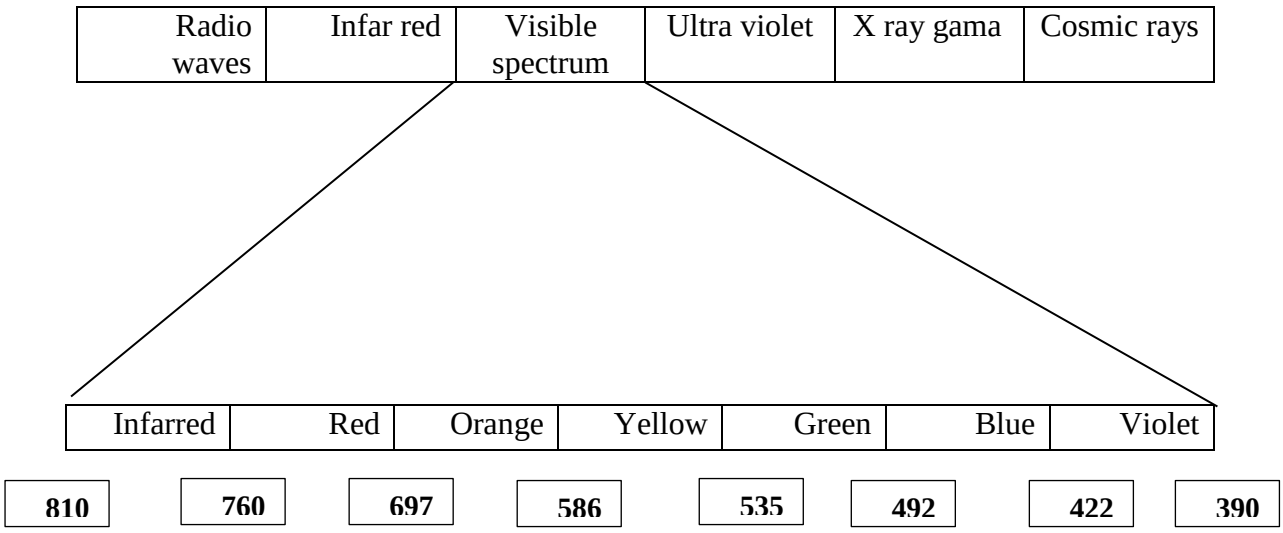
$$2H_2O^{18}+CO_2 \dashrightarrow O_2{}^{18}+(CH_2O)+H_2O$$

ولو تمت عملية البناء الضوئي بوجود الماء العادي و$co_2{}^{18}$ فان الاوكسجين المنطلق يكون من النوع العادي

$$2H_2O+CO_2{}^{18} \dashrightarrow O_2+(CH_2O^{18})+H_2O^{18}$$

اوضح تفاعل Hillان البلاستيدات الخضر المعزولة تستطيع ان تحرر الاوكسجين بشرط تمده بالضوء والماء والمستقبل الملائم للهيدروجين .

الطيف و الطاقة الاشعاعية :تنتشر الطاقة الاشعاعية بصورة امواج متذبذبه كما يوضح الشكل التالي :



تتراوح اطوال الموجات الضوئية التي توثرفي نمو النبات مابين 0,00003سم و0,0009سم وان استخدم مثل هذه الوحدات الكبيرة للقياس لوصف طول موجة الضوء يعد امر مربكا ومزعجا و،لذا يستخدم العلماء في دراسة تاثيرات الضوء في النباتات كسور المتر ويعبر عن اطوال الموجات بوحدات اصغر مثل النانوميتر ،ويمكن تقدير طاقة الكوانتم quantumمن طول موجة الاشعاع الضوئي حيث تكون الطاقة اعظم كلما قصر طول الموجة .

وعندما يمتص جزئ الكلورفيل فوتونا ضوئيا فانه يثار اي يرتفع مسوى حالته المستقرة الى مستوى الاثارة اي طاقة اعلى وان فوتونات الضوء ليست جميعها قادرة على اثارة الكلورفيل

ورفعه الى مستوى طاقة اعلى وان الضوء لابد ان يمتص وان الفوتون الممتص يجب ان يحتوي كمية الخاص بالمكافئ الكيميائي الضوئي فان الفوتون الواحد يثير جزي واحد او ذرة واحدة اي ان الفوتون الضوئي الواحد بصرف النظر عن مستوى طاقتة ينشط جزيئا واحد فقط

امتصاص الضوء بواسطة الكلورفيل وانتقال الطاقة

لا تمتص كل جزيئات الصبغة الضوء ويعتقد ان الطاقة الضوئية الممتصه بوساطة جزئ صبغي واحد تنتقل خلال جزيئات صبغية اخرى قبل ان تصل مكان فعلها وتتنتقل طاقة الكترون مابين الصبغات المساعدة وجزيئات الكلورفيل عن طريق الرنين وهو الرنين الموجي Wave resonancneوهو يشبه موجه الماء التي تتولد نتيجة رمي حجر في الماء ويجب ان تكون الجزيئات متجمعة ومتلاصقة والمسافة بينها لا تتعدى 100نانومتر لحدوث انتقال الطاقة الجيد بالرنين ،وان الترتيب الجزيئي للبلاستيدة الخضراء يكون بصورة تجعل الجزيئات الصبغة متلاصقة بما فيه الكفاية لحدوث ظاهرة انتقال الطاقة بالرنين بالموجي .

تاثير امرسون Emerson Effect

تنتقل الطاقة الضوئية الممتصة بالصبغات المساعدة الى كلورفيل Aقبل ان تصبح فعالة في البناء الضوئي, وقد لاحظ الكثيرمن الباحثين عند دراستهم للدور الفسلجي للصبغات المساعدة في عملية البناء الضوئي في الطحالب فقد وجدو ان الضوء الممتص مباشرة بالكلورفيلA كان اقل فعالية في عملية البناء الضوئي عن مثيله الممتص بالصبغات المساعدة ,واكتشف امرسون ومساعدوه ان تاثير حزمتي (شعاعي)الضوء معا في ان واحد (الموجات الضوئية الاطول والاقصر من 680 نانومتر في معدل البناء الضوئي يزيد عن مجموع كل من النوعين من الاشعة عند استعمال كل منها بمفرده هذا يسمى بتاثير امرسون.

النظامان الصبغيان Two pigment systems

ان عملية البناء الضوئي تحتاج الى التعاون (الفعل المتبادل) مابين مجموعتين متميزتين من الصبغات الفعالة والتي تسمى بالنظم الصبغية photosystmes .

النظام الصبغي الاول photosystem 1:يكون غنيا بكلوروفيل Aويحتوى على اشباه الكاروتينات وعلى كمية اقل من كلورفيل Bذروه امتصاصه عند 703نانوميتر ويسمى P700.

النظام الصبغي الثاني Photosystem2يكون غنيا بكلورفيل Aويحتوي على اشباه الكاروتينات وكمية اكثر من كلوروفيل Bوذروه امتصاصة عند 686ويسمى P680.

وفي كلا النظامين الضوئين فان معظم الصبغات تعمل على تجميع اوحصاد الطاقة الضوئية ونقلها بالرنين الموجي الى جزيئات كلورفيل Aالموجودة عند مراكز نشاط التفاعلات الكيميائية الضوئية والتي تسمى بالمصايد او مراكز اقتناص او اسر الطاقة،فالمركز الصبغي النشط للنظام الضوئي الاول يتكون من كلورفيل Aوالذي يسمى P700والمركز الصبغي النشط للنظام الضوئي الثاني يتكون من كلورفيل A والذي يسمى P680وان جزيئات الكلورفيل Aالمانحة تختزل مستقبل الكترون الخاص وبذلك تصبح موكسدة ،اما مستقبلات او حوامل الالكترونات

التي اختزلت تبدا في سريان اونقل الكترونات وتعمل على تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية

وحدة البناء الضوئي Photosynthetic unit:اصغر مجموعة من جزيئات الصبغة المتعاونة مع بعض لتؤثر في احداث التفاعل الكيميائي الضوئي اي امتصاص وانتقال كونتم الضوء الى مركز الاقتناص حيث يسبب تحفيز انطلاق وتحرير الالكترون.

ان جزئ الكلوروفيل الذي يمتص كوانتم اوفوتون الضوء يرتفع مستوى طاقته الى حالة الاثارة ويضل في حالة الاثارة لمدة 10^{-9}من الثانية وهو وقت قصير لا يتيح فرصة كافية لهذه الطاقة الفائضة ان تفعل اي عمل كيميائي وان هجرة هذه الطاقة مابين الجزيئات المرتبة باحكام تكون بكفاءه عالية جدا تتم بمعدل 1000جزئ تقريبا لكل 10^{-12}من الثانية ولاتكون الهجرة عشوئيا ويكون انتقال الكوانتم اوالفوتون من الاطوال الموجية القصيرة (اي مستوى طاقة اعلى)الى صبغة اخرى لها ذروة امتصاص عند الاطوال الموجية الاطول (اي مستوى طاقة اقل).

تفاعلات البناء الضوئي Reaction of photosynthesis

تقسم تفاعلات البناء الضوئي الى قسمين رئيسين

1- تفاعلات الضوء Light reactionاو التفاعلات المعتمدة على الضوء .

تفاعلات الظلام Dark reaction او التفاعلات غير المعتمدة على الضوء .

تفاعلات الضوء Light Reaction:وهي المرحلة الاولى من تفاعلات عملية البناء الضوئي وتحدث هذه التفاعلات في اغشة الثايلاكويد حيث توجد صبغات الكلورفيل تحدث بوجود الطاقة الشمسية ومن نواتج هذا التفاعل هي ATP,NADPH

الفسفرة الضوئية photosynthetic phosphorylation:ادى اكتشاف قدرة البلاستيدت الخضراء المعزولة على تثبيت وتمثيل co_2 الى ادراك ان هذه العضيات تحتوي على الانزيمات اللازمة لانتاج جزيئات ATPلتثبيت CO_2 وانتاج الكربوهيدرات . واوضح ARNONواخرون ان البلاستيدات الخضر المعزوله والمضاءه لها القدرة على انتاج جزيئات ATPواطلقوا على هذه العملية بالفسفره الضوئية photophosphoryalationاو بفسفرة البناء الضوئي photosynthetic phosphorylationوكشفت هذه العملية ان المايتوكوندريا ليست العضيات السايتوبلازمية الوحيدة التي لها القدره على تكوين جزئيات ال ATP.وان تكوين معظم جزيئات ATPفي المايتوكوندريا يتم عن طريق عملية الفسفره التاكسدية oxidative phosphorylationوكذلك تختلف عملية تكوين جزيئات ATPفي البلاستيدات الخضر عما هي عليه في المايتوكوندريا في انها غير معتمدة على التاكسدات التنفسية .اي ان الطاقة الضوئية قد استغلت في تكوين جزئ ATPاي ان الطاقة الضوئية تحولت الى طاقة كيميائية ،وان جزئ ATPهو احد المتطلبات الضرورية لانتاج الكربوهيدات .

مخطط Zلانتقال الالكترون والفسفرة الضوئية :سمي هذا المخطط بسبب شكله المشابه لحرف Z ويوضح هذا المخطط كيفية انتقال الالكترون وانتاج جزيئات ATP,NADPHفي البلاستيدات الخضر.

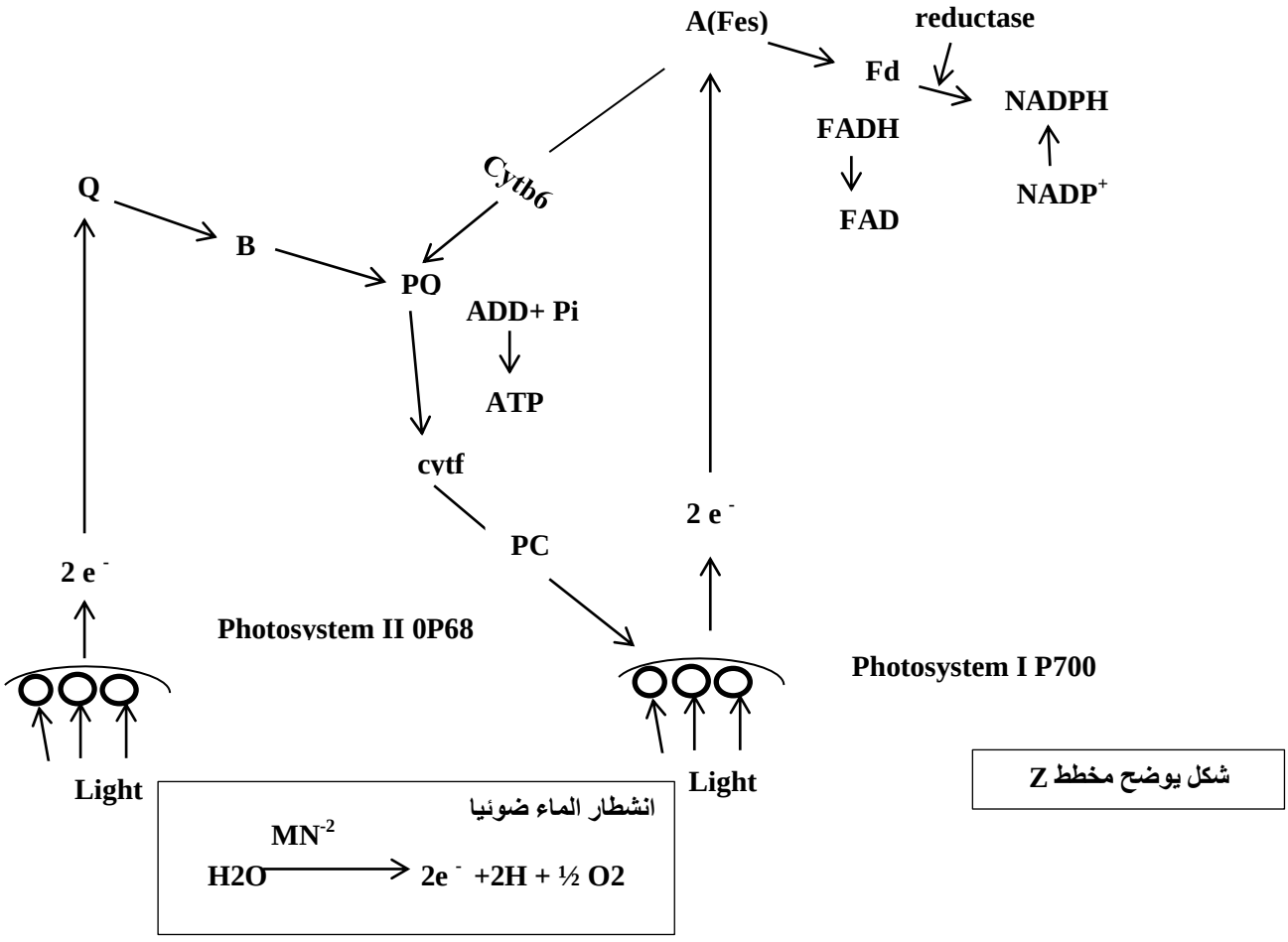
الفسفرة الضوئية غير الدائرية : Non cyclic photophosphorylation

ويمكن ان يشار اليها ايضا بانتقال الكترون غير الدائري noncyclic يحتمل ان يبدا الانسياب الاولي للالكترونات في داخل الثايلاكويد thylakoid في ان واحد لكل من النظامين الصبغيين وذلك من خلال التفاعلات المترابطة مع بعضها والتحلل الضوئي للماء photolysis والذي يمد النظام ككل بانسياب الالكترونات اللازمة لانتاج ATP وNADPHويشار الى هذا التكامل بين النظامين الضوئيين بالفسفرة الضوئية غير الدائرية وهي تعد احدى الوسائل لانتاج ATPفي البلاستيدات الخضر .

بعد اثارة جزئ P700 وهو الكلورفيل القانص للنظام الضوئي الاول فان الالكترونات تسري الى بروتين حامل الحديد والكبريت ويرمز له (FeS)Aوبعد ذلك تسري الالكترونات الى الفيريدوكسين Ferredoxinويرمز له (Fd)وفي النهاية تذهب الى $NADP^+$ فيختزل الى NADPH+Hولسهولة والاختصار نرمز للصورة المختزلة $NADP^+$ بالرمز NADPHوان انتقال الالكترونات الى $NADP^+$ يولد عجزا في الالكترونات في النظام الضوئي الاول ،وبذلك تحصل اثارة كلورفيل P680 في النظام الضوئي الثاني وتنتقل الالكترونات الى كلوروفيل P700 من خلال حوامل الالكترونات وهيB, Qوالبلاستوكونون(Plastoquinone)PQ وسايتوكروم F (Cytf) والبلاستوسيانين plastocyanine(pc) وان حوامل Q وBتعد مركبات غير معروفة التركيب حتى الان وكما هو موضح في الشكل فان pcيبعد البروتونات ويحرر الالكترونات الى سايتوكروم f وفي هذا الموضع ينتج ATPويتولد فراغ النظام الضوئي الثاني يملا بالالكترونات الناتجة من انشطار الماء ضوئيا Photolysisكذلك فان مرور او سريان الالكترونات يتطلب مساهمة النظامين الضوئين ويؤدي الى بناء كل من ATPو NADPH.

الفسفرة الضوئية الدائرية :cyclic photophosophorylation

بسبب تنشيط النظام الضوئي الاول بالموجات الضوئية الاطول من nm680فان الالكترونات تسري الى بروتين حامل الحديد والكبريت (Fes)Aوعندما لا تسري الالكترونات الى $NADP^+$فانها تسري الى سايتوكروم b6وهذا بدوره يمررها مرة ثانية الى p700 عن طريق سايتوكروم (f)والبلاستوسيانين(pc) وان بناء ATPيحدث في موقعين هما بين (Fes)Aوالسايتوكروم b6وبين سايتوكرومb6وسايتوكروم Fوهذا يحدث بوجود البلاستوكونون PQ ويدل مصطلح الفسفرة الضوئية الدائرية ان دورة الالكترون تبدا من المانح وهو كلوروفيل P700المثار ومن ثم يعود الى كلوروفيل P700مع توليد جزئ ATP .



شكل يوضح مخطط Z

الاليات المقترحة لتكوين ATP:ترتبط عملية سريان الالكترونات بعملية فسفرة ADPالى ATP والماء وان الطاقة تنتقل الطاقة من احداهما الى الاخرى عن طريق بعض المواد وان الادلة على هذا الاقتران او الارتباط استند الى الملاحظات الاتية :

1- وجود العوامل الفاصلة يثبط انتاج ATP بينما يستمر سريان او انتقال الالكترون .
2- يعيق انتقال الالكترون او تثبيطه باستخدام مبيدات عشبية معينة وان عملية الفسفرة تثبط انتاج ATP
3- ان اكسدة NADPHو NADHفي التنفس وFADHتتم في ان واحد ويرافق ذلك تكوين ATP.

وعلى الرغم من العلماء قد درسو باستفاضة سريان الالكترون وارتباطه بالفسفرة ،الا انهم حتى الان لم يوضحو الاليات بالكامل ،الا ان النظريات الرئيسية المعتمدة التي افترضها الباحثون هي :

1- الاقتران التكويني او التركيبيConformattional Coupling :التي تستند الى ان اغشية المايتوكوندرات او اغشة ثايلاكويدات البلاستيدة الخضراء تعاني تغيرات تركيبية وهذه التغيرات تحفز الطاقة ذات المستوى العالي تساعد على تحرير الطاقة لانزيم ATPaseالذي تحفز ويسرع انتاج ATP.

2- الاقتران الكيميائي Chemical Coupling

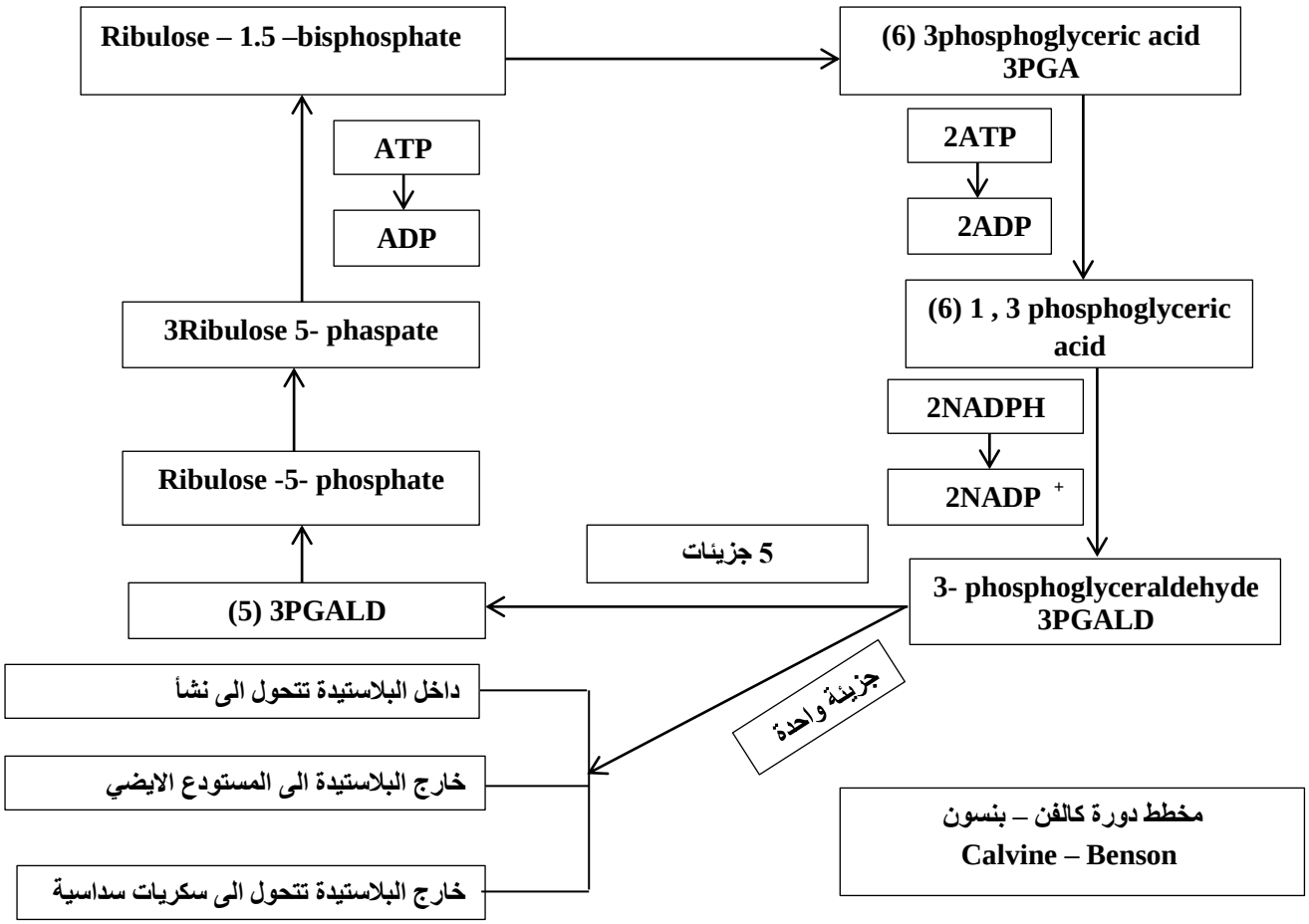
تفترض هذه النظرية ان هناك بروتين رابط غير معروف يحتمل ان يقوم بنقل الطاقة مابين انتقال الالكترونات وتكوين ATP.

3- الاقتران الازموكيميائي Chemiosmotic Coupling

تعد هذه النظرية الاكثر قبولا وشيوعا في تفسيرها للفسفرة التاكسدية في المايتوكوندرات وقد افترض Michellفي سنة 1961 م ان ايونات الهيدروجين تتحرر بسرعة من المايتوكوندريا المتنفسة على حساب الطاقة التي تنطلق اثناء انتقال الالكترونات،اما في البلاستيدات النشيطة هناك تدرج في تركيز H^+ في اثناء عملية البناء الضوئي وينتج كل من NADPH, ATPعلى جوانب الثايلاكويدات المواجهة للحشوة Stroma.

تفاعلات الظلام Dark Reactions: وهي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي تحدث في سترومااالبلاستيدة وتجري بمعزل عن تاثير الضوء ،حيث ان NADPHو ATP الناتجة من تفاعلات الضوء تستغل في اختزال ثاني اوكسيد الكاربون لتتكون الكاربوهيدرات وعملية الاختزال هي عملية بناء.

مسلك كالفن وبنسون Calvin –Benson استطاع كالفن ومساعده ان يرسموا المسلك الايضي لتمثيل CO_2 وكما هو موضح في الشكل فان كل جزيئا من RUBPيثبت جزيئا واحد من CO_2، وينتج جزيئتين من 3-PGA(3-Phosphglyceric acid) ويتطلب تحويل جزيئين من حامض (3-PGA) الى حامض(diphosphglyceric acid (1,3 - diPGA 1,3- acid ويحتاج ذلك استهلاك جزيئتين من ATPياتيان من تفاعلات الضوء ومن ثم ينتج جزيئتين من 3-Phosphoglyceraldehydeويتطلب هذا التفاعل جزئتين من NADPHتنتج من التفاعل الضوئي لذا فان تثبيت واختزال جزئ واحد من CO_2يتطلب ثلاث جزيئات من من NADPHوهي تاتي من التفاعلات الضوئية وبذلك فان انتاج 6 جزيئات من 3-Phosphoglyceraldehydeيؤدي الى استهلاك 9 جزيئات من ATPو6 جزيئات من NADPHو3 جزيئات من CO_2 وان جزئ واحد من الجزيئات الستة ل 3-Phosphoglyceraldehydeيذهب الى التجمعات الايضية بوصفه نتاج صافي للطاقة ومادة خام للنظام الايضي .اما الجزيئات الخمسة المتبقية فيحدث لها تحولات داخلية تؤدي الى انتاج سكريات مفسفرة تعمل على بناء ثلاث جزئيات من سكر Ribulose -5- phosphate وهذا الاخير يتفاعل ليعطي RUBPوهو الذي يستقبل CO_2 لتبدا الدوره من جديد وان النباتات التي تستخدم RUBPمستقبلا اوليا لco_2 والذي يؤدي الى تكوين المركب الثلاثي الكربون 3PGAتسمى نباتات C_3.



1- تحدث في نبات C3
2- نباتات C3 لا تحتوي على تشريح الكرانز
3- المستقبل الاول لـ CO2 ,هو RUBP
4- اول مركب يتم فيه تثبيت CO2 ,هو 3PAG
5- الانزيم المسيطر في هذه الدورة RUBP carboxylase
6- المستويات العالية من O2 تثبط البناء الضوئي
7- التنفس الضوئي في نباتات C3 عالي
8- يوجد نوع واحد من البلاستيدات
9- التنفس الضوئي عالي
10-النتح عالي
11- نقطة التعويض الضوئي عالية

نباتات C_4 وتثبيت CO_2(مسلك هاج- سلاك): توصل العلمانان حامض الاوكزالوخليك المشع غير المستقر نسبيا بوصفه مسار جديد لتثبيت CO_2 عن طريق كربكسلة PEP (phosphoenolpyruvic acid) بواسطة انزيم (carboxylation of PEP).

ان نواتج هذه الدورة رباعية الكاربون (حامض الاوكزا لوخليك ،والماليك والاسبرتيك لذا تسمى النباتات التي يحدث فيها هذا المسلك بنبات C_4، ان تشريح اوراق نباتات C_4يحمل ملامح

او مميزات تدل على ايض المركبات رباعية الكربون C_4وان هذه الاوراق لاتشبه تشريحيا اوراق نباتات C_3 والتي تثبث CO_2عن طريق مسلك كالفن وبنسون ، وتتميز اوراق نباتات C_4 بوجود غمد (غلاف) Sheathفي الخلايا الحشوية paranchyma cellsالمرتبةشعاعيا حول كل حزمة وعائية Vascular bundleثم تحاط الحزمة الوعائية والغمد بخلايا النسيج المتوسط المفككة (الاسفنجية)وهذا الترتيب المحكم لغلاف (غمد) الحزمة الوعائية يسمى بتشريح الضفيرة kranz anatomy او الاكليل wreethوهذ الترتيب يعد من الخصائص التشريحة لنباتات C_4 مثل قصب السكر والذرة البيضاء والذرة .

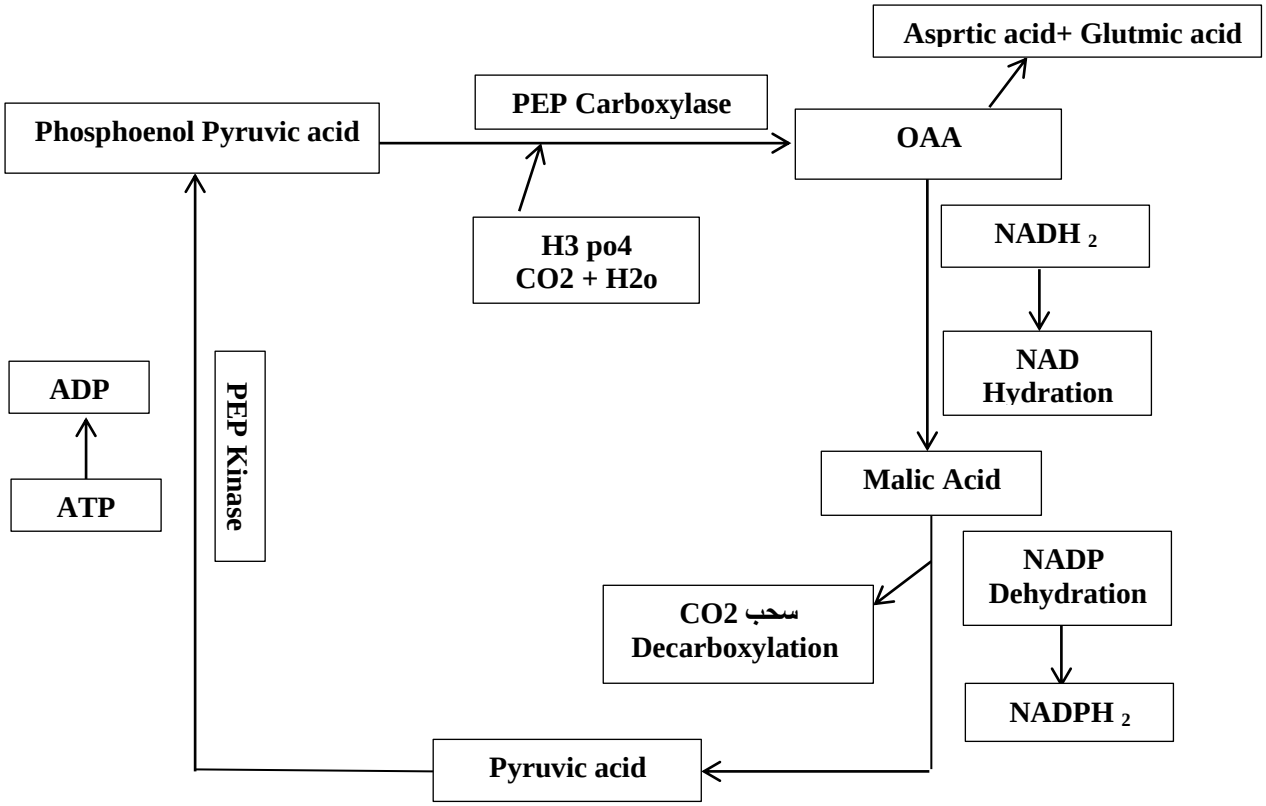
ان خلايا اوراق نباتات C_4 تحتوي على نوعين من البلاستيدات الخضراء ففي داخل خلايا غمد الحزمة bundle sheath توجد بلاستيدات خضر كبيرة الحجم عديمة الكرانا وتحتوي على الكثير من حبيبات النشا .

اما خلايا النسيج المتوسط في الورقة فتحتوي على بلاستيدات خضر اصغر حجما وتحتوي على كرانا ولا يتراكم فيها النشا .

تظهر خلايا النسيج المتوسط لنباتات C_4نشاطا عاليا لانزيم phosphoenolpyruvat(PEP)Carboxylase الذي يسرع تثبيت CO_2 وPEPلتكوين Oxaloacetic ,acid.

اما خلايا غمد الحزمة تظهر نشاط عالي لانزيم RUBP والانزيمات الاخرى الخاصة بدورة كالفن وبنسون وان اوراق نباتات C_4مقسمة الى اقسام متخصصة كل قسم له عمل خاص بتثبيت CO_2 ان البلاستيدات الخضر للنسيج المتوسط تقوم بتثبيت CO_2 في الاحماض رباعية الكاربون عن طريق مسلك هاج –سلاك بينما تقوم البلاستيدات الخضر لغمد الحزمة بتكوين السكريات المفسفرة والنشا .

المخطط التالي يوضح مسلك هاج – سلاك (Hatch – Stack)



رسم تخطيطي يوضح مسلك هاج سلاك Hatch – Slack

1- يحدث في نباتات C4

2- تحتوي نباتات C4 على تشريح كرانز

3- المستقبل الاولي لـ CO2 هو PEP

4- اول مركب يتم فيه نثبيت CO2 هو OAA

5- الانزيم المسيطر في هذه الدورة PEP Carboxylase و RUBP Carboxylase

6- المستويات العالية لـ O2 لاتثبط البناء الضوئي

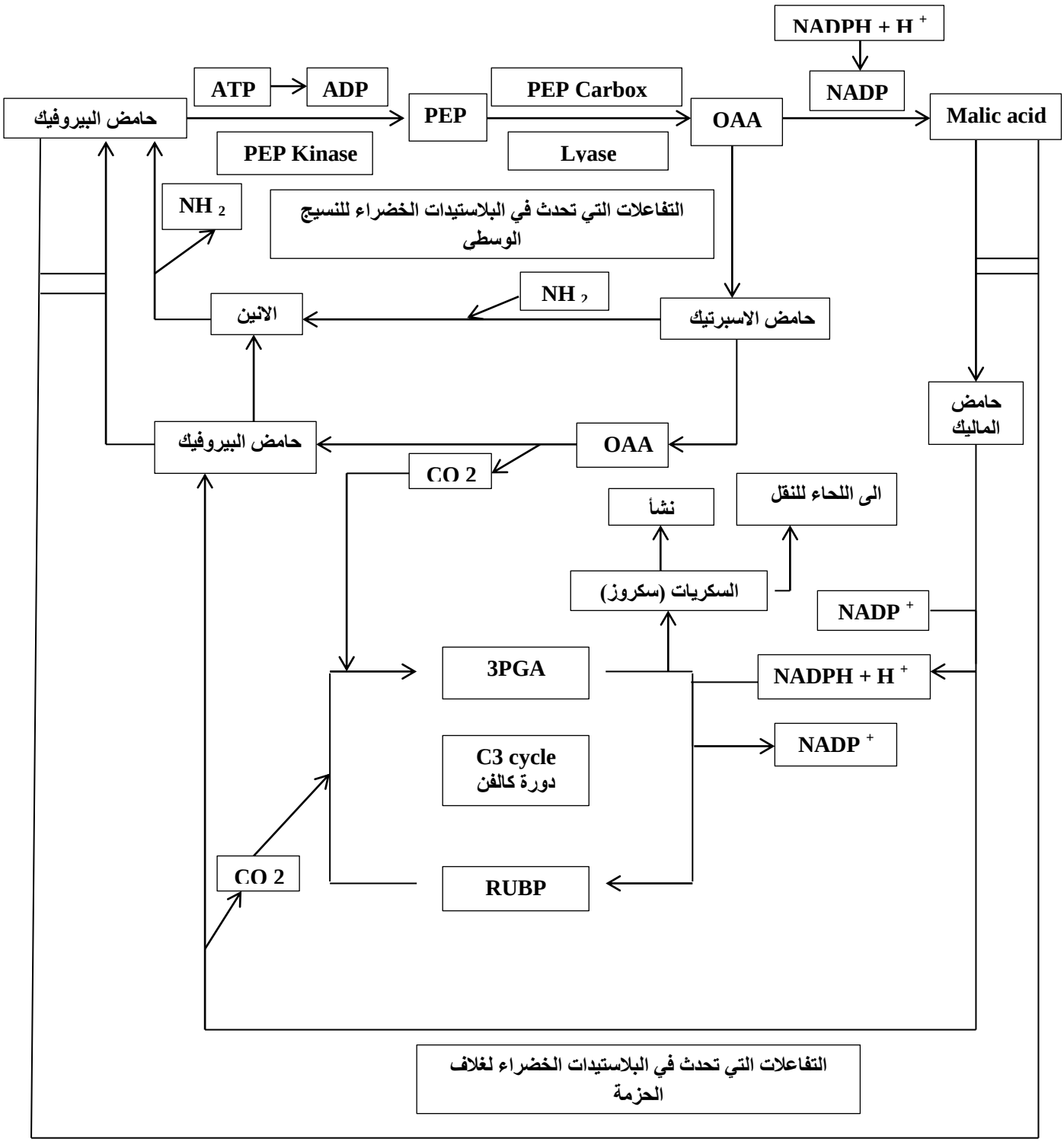
7- التنفس الضوئي في نباتات C4 واطئ

8- توجد نوعين من البلاستيدات في نباتات C4

9- التنفس الضوئي واطي

10 – النتح واطي

11-نقطة التعويض الضوئي منخفضه



مخطط يوضح مسارين لدورة C4 للبناء الضوئي يعتمد على انتاج حامض الماليك او انتاج حامض الاسبرتيك

ايض حامض الكراسيولايسين (CAM)Crassulacean Acid Metabolism

النباتات العصارية هي نباتات C_4 وتثبت CO_2 في حامض الماليك وان هذه النباتات لا تمتلك التركيب التشريحي الخاص بنباتات C_4 Kranz anatomyوان هذه النباتات تثبت ثاني اوكسيد الكاربون في اثناء الليل لان ثغورها تفتح في اثناء الليل وتغلق في اثناء النهار وهذا يساعدها على العيش والبقاء في الصحراء والمناطق القاحلة ،كما اوضح Laetschان نسبة المساحة السطحية الى الحجم تكون منخفضة في النباتات وتعد هذه صفة تركيبية مهمة للاحتفاظ بالماء ،ان تثبيت تاني اوكسيد الكاربون يحدث في الظلام حيث تحدث الحموضة(acidification) في الليل بينما تتكون الكربوهيدرات في اثناء النهار (التخلص من الحموضة deacidfication).

1- لا يوجد تشريح كرانز
2- المستقبل الاولي ل co_2هو PEP
3- اول مركب يتم فيه تثبيت CO_2هو OAA
4- انزيم الكاربوكسليز هو PEPaseوRUBP ase
5- االتراكيز العالية من الاوكسجين لا تثبط البناء الضوئي لا ن الثغور مغلقة .
6- انواع البلاستيدات الموجودة غير معروفة
7- التنفس الضوئي واطي جدا
8- نقطة التعويض الضوئي منخفضة

العوامل المؤثرة في البناء الضوئي Factors Affecting Photosynthesis :

يتاثر البناء الضوئي مثل اي عملية فيزيوكيمائية اخرى بظروف المحيط .

1- الضوءlight: ان الضوء المرئي محصور بين 390-790 nmوعلى الرغم من يستخدم الضوء الاحمر والازرق تظهر الورقة باللون الاخضر لان معظم الضوء المنعكس يكون في المنطقة الخضراء وان الورقة تمتص حوالي 14%من الضوء ولكن مايستخدم 3%فقط منه، وهناك علاقة مباشرة بين معدل البناء الضوئي وشدة الاضاءة بازدياد شدة الضوء ,فان معدل البناء الضوئي ينخفض بسبب بعض العوامل المحددة الاخرى و ان معدل البناء الضوئي يبقى ثابتا اذا ماوصل الى نقطة الاشباع .
ان حوالي 90-95%من الضوء الممتص من قبل الورقة يفقد بشكل حرارة والباقي يستخدم للتفاعلات الضوئية الكيماوية وبهذا فان النباتات تختلف في مابينها في حاجتها الى الطاقة الاشعاعية اللازمة لموازنة البناء الضوئي مع التنفس ,وتسمى شدة الضوء التي يكون فيها CO_2 المستعمل في البناء الضوئي مساويا ل CO_2 المتحرر في التفس بنقطة التعويض الضوئي Light compensation pointوتختلف نقطة التعويض الضوئي باختلاف انواع النباتات ويجب ان يتجاوز النبات هذه النقطة لكي يقاوم وينمو ويكبر .
نباتات C_3 تختلف عن نباتات C_4 وان كفاءة البناء الضوئي في نباتات C_4لها علاقة بنقطة التشبع الضوئية العالية لهذه النباتات وهي النسبة الحجمية بين مركز التفاعل وبين

الكفاءة الضوئية او مايسمى بحجم وحدة البناء الضوئي Photosynthetic unit sizeحيث يكون حجم وحدة البناء الضوئي صغيرا في نباتات C_4 ونباتات الشمس، لكنه يكون كبيرا في نباتات C_3 ونباتات الظل .

2- الاوكسجين :

اشار عالم الحياتية الالماني الشهير واربراغ Warburg بان الاوكسجين يثبط عملية البناء الضوئي بالمستويات العالية،وان التنفس في الضوء light respirationمشابها للتنفس الهوائي الذي يحدث في كثير من النباتات والذي يتميز باستهلاك الاوكسجين وتحرير ثاني اوكسيد الكاربون لكن في التنفس الضوئي لا يحصل تحرير طاقة (لايتكون ATP)وقد اطلق على هذا الشكل من التنفس بالتفس الضوئي Photorespiration،وان تعرض النبات للشدة العالية للضوء والتركيز العالي للاوكسجين ودرجات الحرارة العالية ،فان خلايا الميزوفيل في اوراق نباتات C_3 تبدي معدلات عالية من التفس الضوئي في حين تبدي C_4معدلات واطئة لعملية التفس الضوئي ،وتحدث عملية البناءالضوئي في ثلاث عضيات هي البلاستيدات الخضراء Chloroplastsوالبيروكسيسومات peroxisomes والمايتوكوندريا mitochondria، ويعتبر التنفس الضوئي عملية بنائية غير منتجة لان الكاربون يستخدم لاعادة بناء مركب RUBP ولا يحصل بناء الكاربوهيدرات يستفاد منها للتنفس او الخزن ،وعند الشدة الضوئية العالية نسبيا فان البناء الضوئي في نباتات C_3 يكون مشبعا ،لان معدل البناء الضوئي يكون مساويا لمعدل تثبيت CO_2اما عند الشدة الضوئية الاعلى يصبح التنفس الضوئي هو السائد او المتغلب يرافقه خسارة محسوسة في تثبيت CO_2.

3- ثاني اوكسيد الكاربون CO_2:

تعتبر عملية فتح وغلق الثغور عامل مهم جدا في توفير CO_2 الى الاوراق اكثر اهمية في تنظيم دخول O_2 حيث ان O_2 له القابلية على اختراق طبقة الكيوتكل المحيطة بالاوراق بسهولة ،بينما يعاق نفاذ CO_2 خلال هذه الطبقة وبذلك فان فتح وغلق الثغور لها تاثير مهم في تنظيم فعالية البناء الضوئي ،خاصة في نباتات C_3 التي تستهلكه وتدمجه مباشرة في مركباتها الوسطية وهي السكريات ،وهناك علاقة بين تركيز CO_2 وبين معدل البناء الضوئي وقد لاحظ العلماء زيادة في معدل البناء الضوئي عند زيادة تركيز CO_2 تحت ثلاث شدات اضاءة مختلفة ،فعند تركيز منخفض معين من CO_2 وشدة اضاءة ملائمة يكون معدل البناء الضوئي لنبات معين مساويا للكمية الكلية التنفس (التنفس الحقيقي +التنفس الضوئي)ويطلق على تركيز CO_2في الجو الذي يجعل عملية البناء الضوئي تعوض عن عملية التنفس بنقطة تعويض CO_2 (CO_2Compensation point)

4- درجة الحرارة :تؤدي زيادة درجة الحرارة الى زيادة في البناء الضوئي عندما تكون العوامل الاخرى غير محددة وتكون هذه الزيادة في البناء الضوئي ذات علاقة خطية عند درجات الحرارة الواطئة ثم يبدا معدل البناء الضوئي بالانخفاض كلما زادت درجة الحرارة واخيرا يصل الى درجة الحرارة المثلى عندما تكون درجة الحرارة اعلى

من درجة الحرارة المثلى يثبط البناء الضوئي ،وان تاثير درجة الحرارة العاليةعلى البناء الضوئي في نباتات C_3ترجع الى ان درجة الحرارة العالية تحفز عملية التنفس الضوئي وان تثبيط عملية تثبيت CO_2 في نباتات C_3عند درجة حرارة بين 25م˚-30م˚اما في نباتات C_4 فان معدل البناء الضوئي يزداد بصورة طردية بزدايادة درجة 30م˚وفي بعض الاحيان فوق 35م˚لان التنفس الضوئي يكون واطئ في نباتات C_4،وان تاثير درجة الحرارة على معدل البناء الضوئي وذلك عن طريق تاثيره على التاثيرات الانزيمية .

5- الماء :ان نقص الماء يثبط عملية البناء الضوئي كما يثبط باقي العمليات الحيوية الاخرى في النبات ،وان نمو النباتات في تربة تفتقرللماء يؤدي الى انخفاض معدلات البناء الضوئي وان غلق الثغور هو العامل الرئيسي لتثبيط البناء الضوئي في حالة نقص الماء .