التركيب الضوئي Photosynthesis

النباتات الحية الخضراء تستطيع اخذ الفوتونات الضوئية وتحويلها الى طاقة كيمياوية لغرض تكوين مركبات عضوية مختلفة

في سنة 1804 وضع De Saussure اول معادلة كمية في التركيب الضوئي

$$CO_2+H_2O \rightarrow O_2+ (CH_2O)$$

وفي 1864 اوضح Sachs بعض نواتج التركيب الضوئي عندما لاحظ نمو حبيبات النشأ في كلوروبلاست الورقة المعرضة للضوء ووضع المعادلة العامة:

$$nCO_2 + nH_2O \rightarrow (CH_2O)n + nO_2$$

في 1905 صرح Blackmann ان التركيب الضوئي يشمل:

1- **تفاعل يعتمد على الضوء وغير حساس لدرجة الحرارة.**
2- **تفاعل يجري في الظلام وحساس لدرجة الحرارة والمثبطات.**

صبغات التركيب الضوئي

مركبات عضوية متعلقة بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة كيمياوية

اولا : Chlorophylls وتشمل:

1- **chl a / في جميع النباتات القائمة بالتركيب الضوئي باستثناء البكتريا القائمة به**
2- **chl b / في النباتات الراقية والاشنات الخضراء**
3- **chl c / الاشنات السمراء**
4- **chl d / الاشنات الحمراء**
5- **chl e / في بعض النباتات**
6- **Bacteriochlorophyll a, b / البكتريا القائمة بالتركيب الضوئي**

جزئية الكلوروفيل تحتوي في تركيبها على راس يسمى Prophyrin (Tetrapyrrole Ring) وتتركز ذرة Mg في منتصف الجزئية ، كما يخرج من الـ Prophyrin ذيل مكون من الكحول يسمى phytol tail او phytol alcohol.

	الصفة	Chlorophyll a	Chlorophyll b
1	طول موجة الضوء التي يمتصها بشدة (mμ)	660 , 430	645 , 453
2	الصيغ التركيبية	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
3	القطبية	اقل قطبية ويذوب في الايثر	اكثر قطبية ويذوب في مثيل الكحول
4	اللون	اخضر مزرق غامق	اخضر فاتح
5	التركيز	نسبة chl a الى chl b تعادل ثلاثة	

ثانيا: الصبغات الثانوية Accessory Pigments وتشمل الكاروتينويدات و Biliproteins

الكاروتينات Carotenoids Pigments

وهي مركبات دهنية الوانها صفراء وحمراء وبرتقالية وسمراء وتوجد في البلاستيدات الخضراء والملونة (في البكتريا) وهي تقسم الى مجموعتين:

1- مجموعة Carotene وتتكون من C و H_2 فقط ومنها عدة انواع

a. β –Carotene وهي الشائعة الوانها صفراء او برتقالية

b. α -Carotene اقل انتشارا وبنفس الالوان

c. Lycopene لونها احمر

2- مجموعة Xanthophylls سمراء او بنية اللون وانواعها تحوي 40 ذرة كاربون وتحمل اوكسجين مثل Zeaxanthin و Violaxnthinو Lutein.

وظائف الكاروتينويد

1. منع هدم الكلوروفيل بوجود الضوء والاوكسجين حيث يطلق على هذه الظاهرة الهدمية Photooxidation ولوحظ ان الكاروتينويد تتاكسد ضوئيا لحفظ الكلوروفيل

2. تمتص الطاقة الضوئية اللازمة للتركيب الضوئي وتحولها الى الكلوروفيل ومن ثم تستعمل في التركيب الضوئي.

وحدة التركيب الضوئي Photosynthetic Unit

اعتقد الاوائل ان امتصاص وتحويل الطاقة الضوئية يتطلب وجود كلوروبلاست كاملة النمو والتركيب. بيد انه لوحظ ان بالامكان اظهار ذلك بمجرد وجود بعض الاجزاء الصغيرة من الكلوروبلاست مما يشير الى امكانية تكوين الكلوروبلاست من وحدات دقيقة سميت (PU) والتي هي اصغر مجموعة من جزيئات الصبغات المتقاربة وفي ترتيب هندسي منظم وضرورية لامتصاص الطاقة الضوئية ونقلها الى مكان استغلالها.

صفاتها: أظهرت دراسات الميكرسكوب الالكتروني ان وزنها ألجزيئي يقارب المليونين وان بعض الباحثين اطلق عليها اسم Quantasome ويحتمل انها هي الـــ Subunits التي تتألف منها الكلوروبلاست وان كل واحد منها يتكون من:

Mn^{+2} 2 جزيئة Fe^{+2} 12 جزيئة ونحاس Cu^{+2} (6 جزيئة) Quinone (46 جزيئة)

Carotenoids (48 جزيئة) Chlorophylls (230-250 جزيئة)

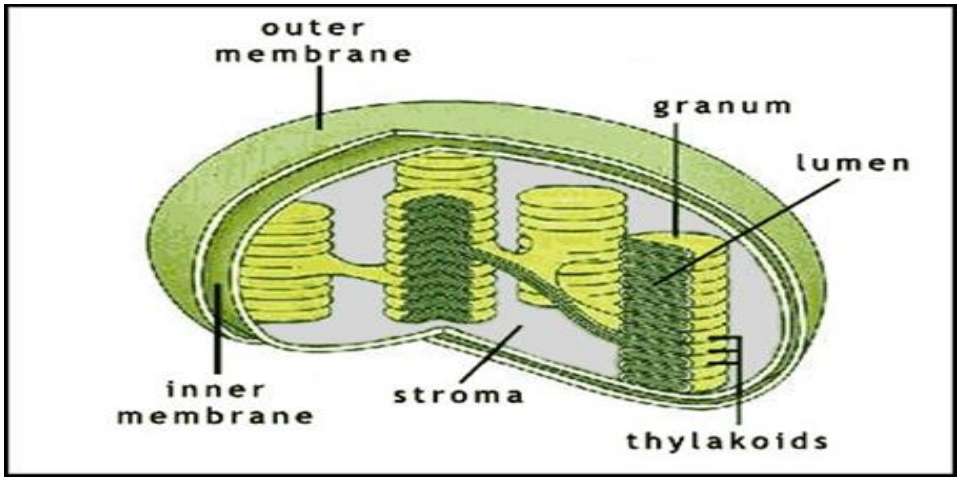
تفاعلات البناء الضوئي

اولا: تفاعلات الضوء Light Reactions

تحدث في اغشية الـ grana والـ stroma lamellae

تفاعلات الضوء في التركيب الضوئي مكونة من نوعين من الانظمة Photosystems او Pigments systems الاول هو Photosystem 1 الذي يتعلق بالصبغات الممتصة للضوء ذي الموجة الطويلة (683µm) وهذه تشمل كلوروفيل a. اما الثاني فهو Photosystem 2 ويشمل صبغات كلوروفيل b والشكل الاخر لكلوروفيل a الذي يمتص الضوء ذو الموجة القصيرة (µm 672).

خطوة تحرير الاوكسجين او تحلل الماء ضوئيا Photolysis تتعلق بالجهاز ذو الموجة القصيرة Ps 2 اما الجهاز ذو الموجة الطويلة فيجهز القوة الاختزالية Reducing Power مثل $NADPH_2$(Nicotineamide adenine dinucleotide phosphate)



ولتوضيح كيفية انتقال الالكترونات من الماء الى $NADPH_2$ فانه يتم تحلل الماء بواسطة الضوء كمايلي:

$$H_2O \rightarrow Mn^{+2} \rightarrow\rightarrow 1/2\ O_2 + 2H^+$$

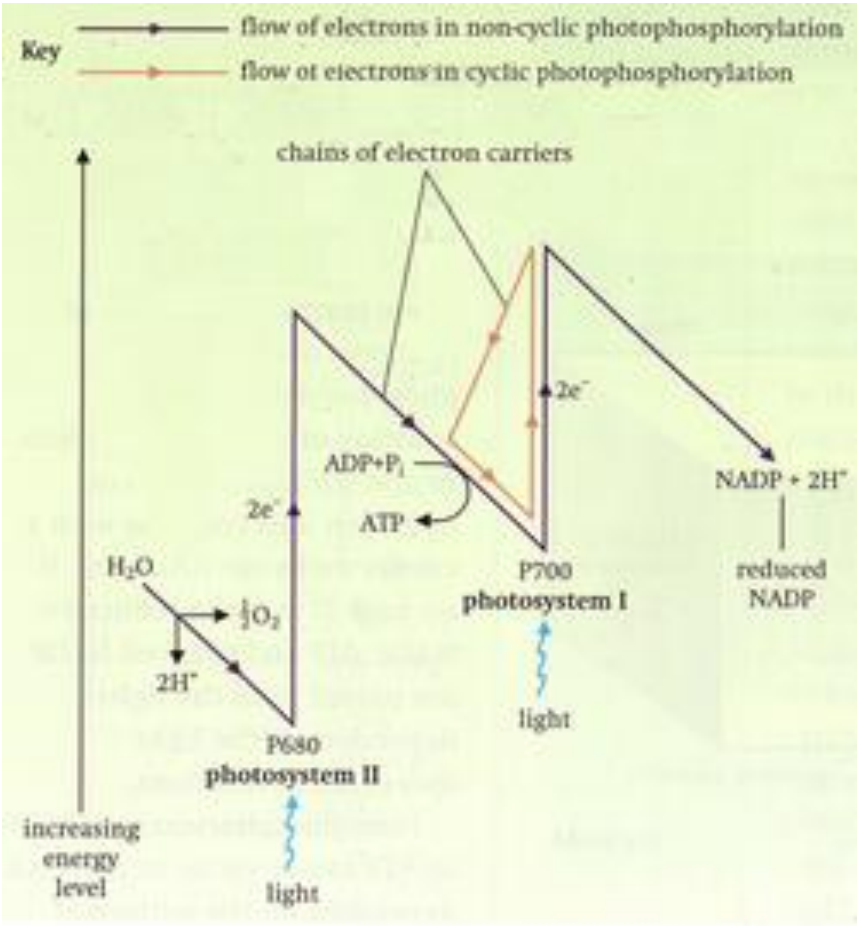
حيث تستلم الالكترونات المنبعثة نتيجة تحلل الماء من قبل النظام الصبغي الثاني او مايسمى بالنظام الضوئي الثاني Photosystem 2 (675nm) بعدها تستلم الالكترونات من قبل مركب Plastoquinone (PQ) ليحولها الى مركبات Cyt b6 ثم الى Cyt F ثم الى Plastocyanin (PC) عندها تصل الالكترونات الى النظام الصبغي الاول او مايسمى بالنظام الضوئي الاول Photosystem 1 (700nm) بعد ذلك يتلقف الالكترونات مركب Ferredoxin (Fd) ليحولها الى مركب $NADP^+$ والذي يمثل المستلم النهائي للالكترونات حيث بوجود انزيم Fd-reductase $NADP^+$ فان هذا المركب يستلم الالكترونات ويتحول الى مركب $NADPH_2$.

ويمكن الاستنتاج ان Ps 2 يهيج الالكترونات وهذه الالكترونات تسقط او تجري الى الـــ Ps 1 والسؤال هو ماهي المكونات الموجودة بين النظامين والتي تعاني تفاعلات الاكسدة والاختزال. لقد اتضح ان هذه المكونات هي:

(1) مركبات Plastoquinone مركبات عضوية تعاني اكسدة واختزال بسبب نقلها للالكترونات. غير مرتبطة بأي بروتين في البلاستيدات الخضراء.

(2) Cytochromes اوHeme proteins وهي مركبات بروتينية ومنها Cytochrome F ويوجد بنسبة جزيئة واحدة لكل 300-400 جزيئة كلوروفيل كما يوجد Cytochrome b_6 (اربعة اضعاف Cyt F)

(3) مركب Plastocyanin (Cu-protein) وهو مركب بروتيني يحوي ذرتين نحاس ويمتص الضوء ذو الموجة 590-600 ولونه ازرق.



وظائف تفاعلات الضوء

(1) تحرير O_2 ناتجا عرضيا (Oxygen evolution)

(2) تكوين القوة البنائية من تفاعلات الضوء او انتاج القوة الاختزالية NADPH

(3) انتاج الطاقة (ATP) حيث يطلق على عملية انتاج الطاقة اسم Photosynthetic Phosphorylation

يوجد نوعين من الفسفرة الضوئية

1. الفسفرة الضوئية الدائرية Cyclic photophosphorylation

تكوين ATP لايتعلق بوجود أي تغيير في مستلم الالكترونات او مسلمها وان الالكترونات المنبعثة من الكلوروفيل قد ترجع اليه وتمتاز بان لها علاقة بالنظام الاول وتعمل بقربه ولا علاقة لها بالنظام الثاني. ان تكوين ATP يكون في مكانين هما بين Ferridoxin و Cyt F وبين Cyt b6 و Ferridoxin . ATP المنتج غير معلوم.

2. الفسفرة الضوئية غير الدائرية Non-cyclic photophosphorylation

يكون تكوين ATP مرتبط بنقل الالكترونات من الماء الى المستلم النهائي للالكترونات NADP ويشترك كلا النظامين لانتاج الطاقة. وتمتاز الفسفرة غير الدائرية بتحرير الاوكسجين وان ATP المتكون منها هو ثلاثة وتتكون في مكان واحد فقط هو بين Cyt b6 و Cyt F.

تمتاز تفاعلات الضوء بمايلي:

1. يتطلب 8-10 فوتون لاكسدة مولين من الماء وتحرير اربعة الكترونات ومول واحد من O_2 واختزال مول واحد من CO_2.

2. اربعة فوتونات ضوئية تستغل في النظام الضوئي الاول واربعة تستغل في النظام الثاني.

3. تثبيت (اختزال) مول واحد من CO_2 يتطلب ثلاث مولات من ATP ومولين من NADPH