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.

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

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

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

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 .

في 1930 وضعت المعادلة العامة التالية للتركيب الضوئي :

$$CO_2 + 2H_2A \longrightarrow 2A + (CH_2O) + H_2O$$

حيث ان CO_2 هو العامل المؤكسد و H_2A العامل المختزل ، كما استنتج ان O_2 الذي تحرره النباتات ياتي من الماء وليس من CO_2 وبذلك فهو افترض فكرة انشقاق الماء بالضوء Photolysis كخطوة اولية في التركيب الضوئي .
اما الدليل الاخر حول اصل الاوكسجين من الماء فقد جاء من Ruben (1941) حيث اضاف للاشنات الخضراء Chorella ماء يحتوي اوكسجين ثقيل (O^{18} ليس مشعا) ولاحظ ان O_2 المتحرر بعملية التركيب الضوئي هو النظير O^{18} ولذلك تدخل جزيئتان من الماء وتخرج جزيئة اوكسجين واحدة .
بعد ذلك قام Hill (1947) باستعمال بلاستيدات خضراء معزولة من النباتات واستنتج انه بوجود الضوء والماء يمكن استبدال CO_2 بأي مستلم اصطناعي للالكترونات (أي ان CO_2 غير ضروري لتفاعلات الضوء).

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 الثانويةAccessory Pigments وتشمل

أ- 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 اوبنية اللون وانواعها تحوي 40 ذرة كاربون وتحمل اوكسجين .

neoxanthin 19% - cryptoxanthin 4% - violaxanthin 3% - Zeaxanthin 2% - lutein 40% .

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.

ب. صبغات Phycobillins or Biliproteins

توجد في الاشنات الزرقاء الخضراء والاشنات الحمراء.

وحدة التركيب الضوئي Photosynthetic Units

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 الـ Subunits التي تتألف منها الكلوروبلاست وان كل واحد منها يتكون من:

$2\ Mn^{+2}$ جزيئة $12\ Fe^{+2}$ جزيئة موزعة كما يلي:

عدد(1) يدخل في تركيب $Cytochrome\ b_6$ وعدد (1) يدخل في Cytochrome F وعدد (10) يدخل في Ferredoxin

Cu^{+2} (6جزيئة) Quinone (46جزيئة) Carotenoids (48جزيئة)

Chlorophylls (230-250جزيئة)

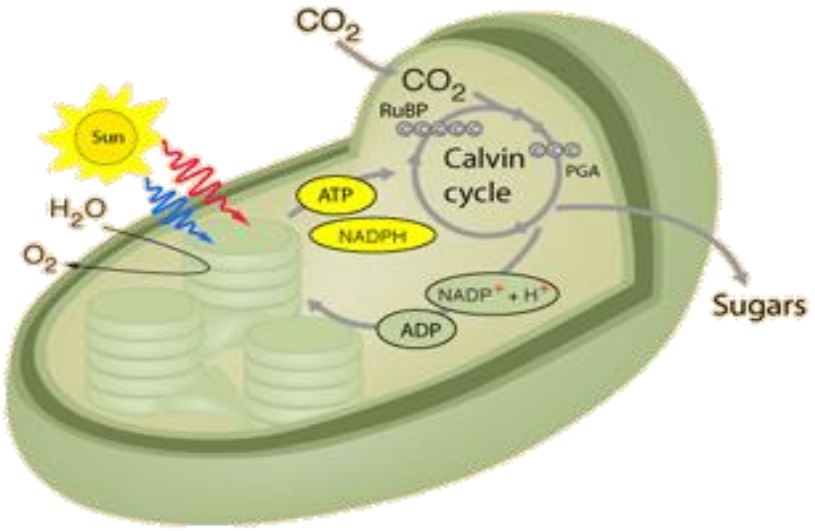
تفاعلات التركيب الضوئي

اولا: تفاعلات الضوء Light Reactions

تحدث في اغشية الـ grana والـ stroma lamellae

نفاعلات 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) وهذة تشمل كلوروفيل a. اما

الثاني فهو Photosystem 2 ويشمل صبغات كلوروفيل b والشكل الاخر لكلوروفيل a الذي يمتص الضوء ذو الموجة



القصيرة (672 µm).

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-$NADP^+$ reductase فان هذا المركب يستلم الالكترونات ويتحول الى مركب $NADPH_2$.

ويمكن الاستنتاج ان Ps 2 يهيج الالكترونات وهذه الالكترونات تسقط اوتجري الى الـ 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)

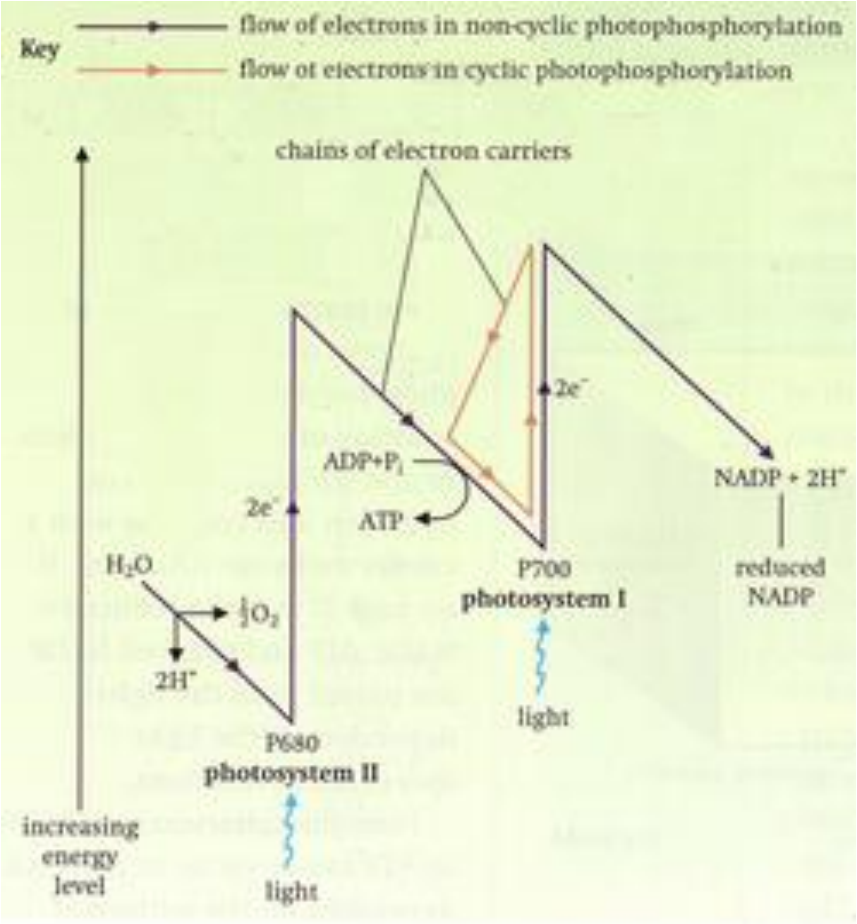
(3)مركبPlastocyanin (Cu-protein) وهو مركب بروتيني يحوي ذرتين نحاس ويمتص الضوء ذو الموجة 600-590 ولونه ازرق.

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

$$nADP + nH_3PO_4 \rightarrow nATP + nH_2O$$

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 . يحدث هذا النوع من الفسفرة عندما يكون استغلال الـ NADPH في اختزال CO2 قليل بسبب غلق الثغور وعدم امكانية دخول CO2 الى الورقة. قد يتوقف هذا النوع من الفسفرة بوجود المثبط DNP بسبب عدم تكوينها للطاقة. 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.

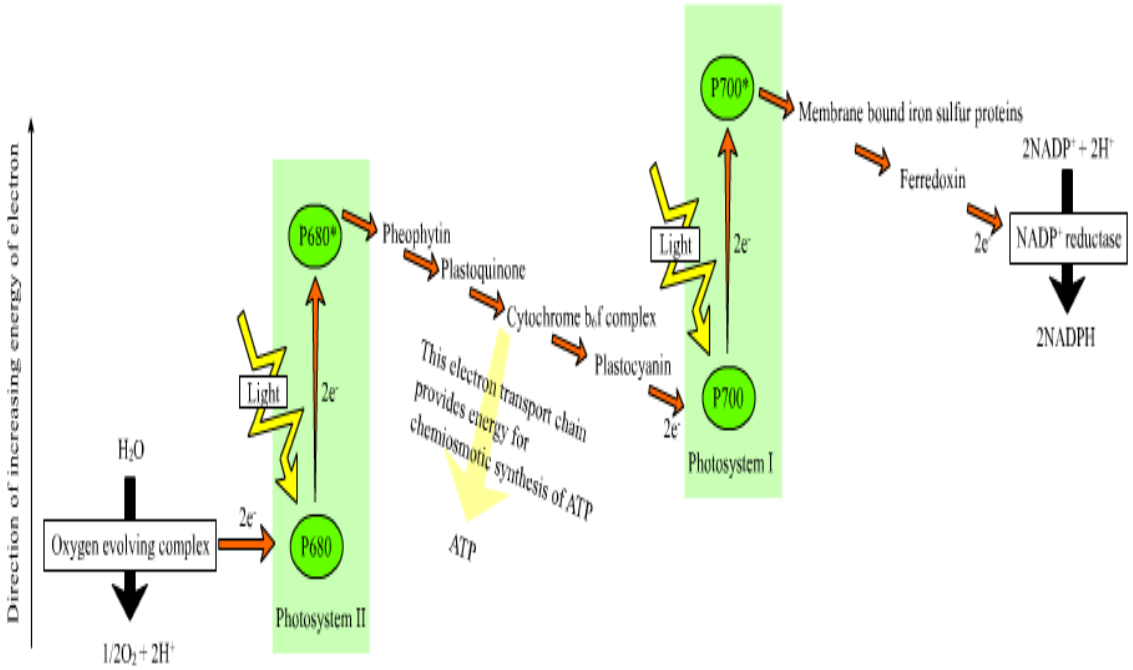
$$2H_2O + 2NADP^+ + 3ADP + 3H_3PO_4 \longrightarrow O_2 + 2NAPD + 2H^+ + 3ATP + 3H_2O$$

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


Direction of increasing energy of electron
H2O
Oxygen evolving complex
1/2O2 + 2H+
2e-
P680
P680*
Light
2e-
Photosystem II
Pheophytin
Plastoquinone
Cytochrome b6f complex
Plastocyanin
This electron transport chain provides energy for chemiosmotic synthesis of ATP
ATP
2e-
P700
P700*
Light
2e-
Photosystem I
Membrane bound iron sulfur proteins
Ferredoxin
2e-
NADP+ reductase
2NADP+ + 2H+
2NADPH