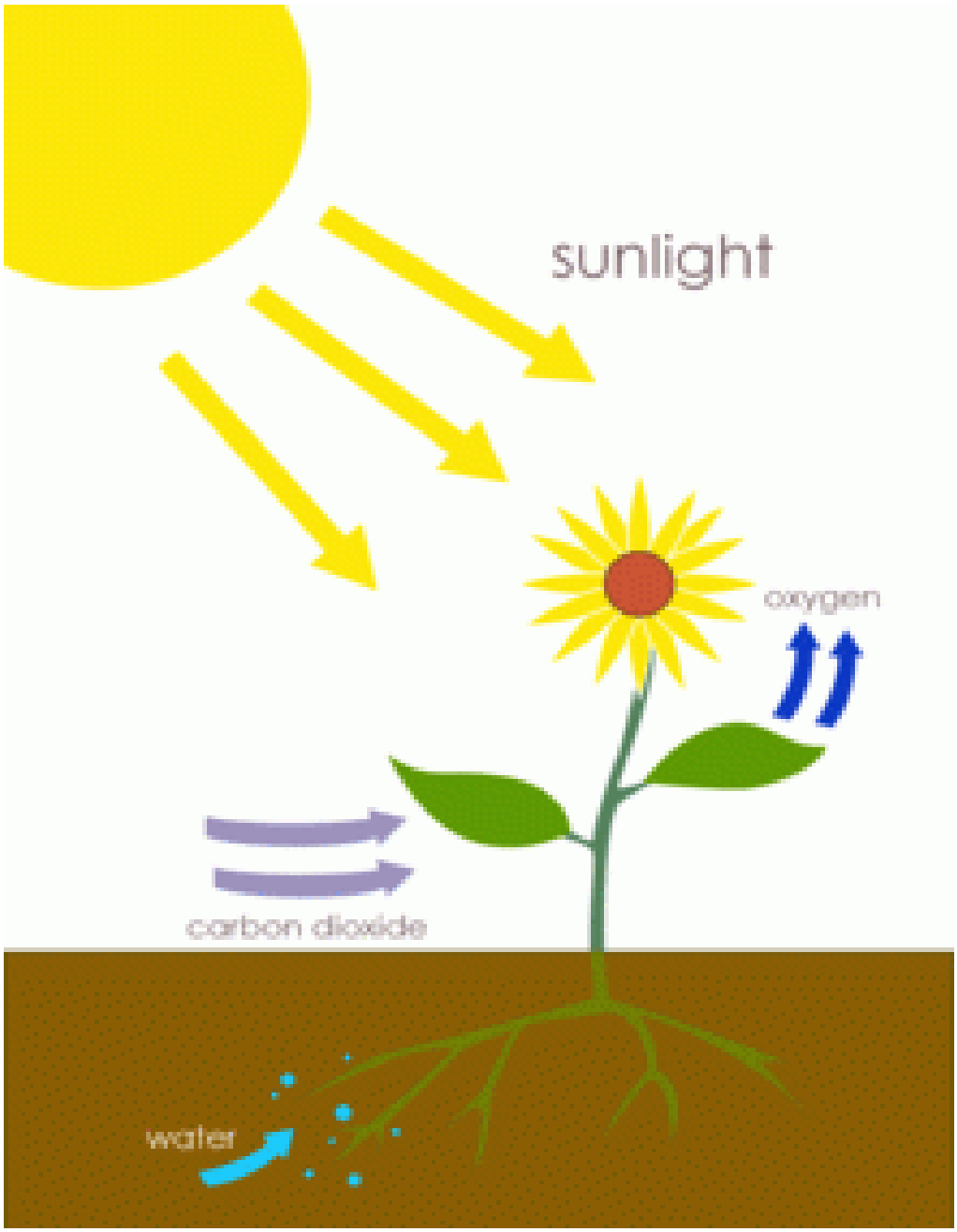
Photosynthesis



البناء الضوئي
Photosynthesis

تعتمد الحياة على وجه الأرض بدرجة أساسية على الطاقة المستمدة من الشمس. وعملية البناء الضوئي هي العملية الوحيدة ذات الأهمية الأحيائية التي بمقدورها الاستفادة من هذه الطاقة. وأن الجزء الأعظم من مصادر الطاقة على الأرض قد نتجت من نشاط عملية البناء الضوئي، وهذه إما أن تكون حديثة العهد (الكتلة الحية Biomass) أو قديمة العهد (الوقود المتحجر أو الأحفورية Fossil fuels) . ويعني مصطلح بناء ضوئي Photosynthesis بناء باستعمال الضوء. وكما سيتضح لاحقاً فإن الكائنات بنائية الضوء Photosynthetic organisms تستخدم الطاقة الشمسية لبناء مركبات عضوية والتي لايمكن أن تتكون بدون استخدام طاقة. وأن الطاقة المخزونة في تلك الجزيئات يمكن أن تُستغل فيما بعد لتسهيل العمليات الحيوية في النبات. كما أنها تفيد كمصدر طاقة لكافة أشكال الحياة.

إن عناصر عملية البناء الضوئي معروفة وهي الماء وثاني أكسيد الكربون بوجود الضوء والكلوروفيل.

$$6\,CO_2 + 12\,H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

$$\underset{\text{Carbon dioxide}}{6CO_2} + \underset{\text{Water}}{6H_2O} \xrightarrow{\text{Light}} \underset{\text{Sugar}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Oxygen}}{6O_2}$$

الضوء Light

الضوء في عملية البناء الضوئي هو ضوء الشمس وهو مصدر الطاقة على الأرض، حيث أن مجمل الطاقة متأتية من عملية البناء الضوئي التي تستثمر الطاقة الضوئية وتحولها إلى طاقة كيميائية ضمن مركبات عضوية معقدة مثل الكربوهيدرات وغيرها.

والضوء، في حقيقته، هو موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic waves والتي تتألف من جسيمات تسمى ضوئيات أو فوتونات أو كوانتات Photons or quanta. وتختلف طاقة هذه الجسيمات باختلاف طول الموجه الضوئية. وهذه الطاقة هي التي تحدد لون

إن الإشعاع الشمسي هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي الذي يقسم حسب الطول الموجي إلى مناطق منها الأشعة الكونية وأشعة جاما والأشعة السينية وفوق البنفسجية والضوء المرئي وتحت الحمراء والموجات الدقيقة وموجات الراديو (شكل ٩-١). وأن محتوى الطاقة في الفوتونات يتناسب عكسياً مع الطول الموجي بمعنى أن إشعاع الطول الموجي القصير تكون فوتوناته ذات محتوى عالي للطاقة مما للإشعاع ذو الطول الموجي الطويل. فالفوتونات عالية الطاقة مثل الأشعة فوق البنفسجية تكون خطرة على الخلية لأنها يمكن أن تكسر جزيئات عضوية في الخلية، بينما الفوتونات منخفضة الطاقة ذات الموجات الطويلة مثل الأشعة تحت الحمراء فإنها لاتضر الخلايا لأنها فقط تزيد من الطاقة التذبذبية أو الدورانية Vibrational or Rotational energy للجزيئات ولاتكسر الروابط. وأن عملية البناء الضوئي يمكنها أن تستثمر جزء من الطيف

الكهرومغناطيسي في منطقة الضوء المرئي.

إن امتصاص الضوء الأزرق يثير الكلوروفيل إلى مستوى طاقي

عالي مما لامتصاص الضوء الأحمر ذلك إن طاقة الفوتونات تكون عالية عندما تكون موجاتها قصيرة. وفي الحقيقة بأن الكلوروفيل في هذه الحالة غير مستقر ويعطي طاقته إلى الوسط المحيط كحرارة ويدخل المستوى الطاقي الأقل حيث يبقى مستقراً لفترة جداً قصيرة (10^{-9} ثانية). وحينما يصل الكلوروفيل إلى تلك الحالة فهناك عدة مسارات محتملة ممكن من خلالها يتخلص من طاقته المتاحة:

١- يعيد بث الفوتونات حيث يعود إلى حالة الخمود Ground state بطريقة تسمى اللصف Fluorescence. وفي هذه الحالة فإن الطول الموجي للصف يكون، عموماً، أطول من الطول الموجي للامتصاص إلى ذات الحالة الالكترونية ذلك أن جزء من طاقة التحفيز تتحول إلى حرارة قبل بث الفوتونات اللاصفة.

٢- التحول إلى حالة الخمود بفقد حرارة عندما لايكون هناك بث للفوتونات.

٣- إستعمال طاقة الحالة المثارة في تفاعلات كيميائية وهذا ما يحصل في تفاعلات الضوء كما سيلي ذكره. ويحصل ذلك بسرعة متناهية والتي تعد من أسرع التفاعلات المعروفة.

٤- يمكن أن تعود الجزيئات المثارة أو المتهيجة إلى نوع آخر من حالات الإثارة تسمى الحالة الثلاثية Triple state. وتختلف هذه الحالة عن الحالة الفردية المنخفضة في دوران الالكترونات، فعندما يوضع الالكترون في مستوى طاقي في الحالة المثارة الفردية بواسطة امتصاص فوتون ضوئي فإنه في بعض الأحيان يعكس اتجاه دورته (يدور بشكل معاكس Spin reversed). وهذا الالكترون المثار لايعود إلى رفيقه

خواص الضوء المستغل في عملية التمثيل الضوئي

يعتبر الضوء المرئي هو مصدر الطاقة الضوئية لعملية التمثيل الضوئي في نباتات المحاصيل، والذي يعتبر جزءا من الطاقة الشمسية، (شكل (٢-١).

إن الطاقة الضوئية ذات صفات مميزة وفريدة، ويمكن توضيحها بواسطة نظريتين هما: نظرية الموجات الكهرومغناطيسية Electro-magnetic wave length، ونظرية الكوانتم Quantum theory، إن نظرية الموجات الكهرومغناطيسية تنص على أن الضوء ينتقل على هيئة موجات كهرومغناطيسية ذات أطوال مختلفة قصيرة، وأن عدد الموجات المارة على نقطة معينة في زمن معين تعبر عن التذبذب أو التردد Frequency، وأن العلاقة بين التردد وسرعة الضوء وطول الموجه يمكن توضيحها منالمعادلة الآتية:

$$V = C / \text{ف}$$

حيث أن:

V= التردد (أطوال الموجات / الثانية)

C= سرعة الضوء (٣ × ١٠ ^{١٠}سم / ثانية)

ف= طول الموجه

وإذا قسمنا سرعة الضوء على التردد فإننا نحصل على طول الموجه.

ونظرية الكوانتم تفترض أن الضوء ينتقل في صورة تيار من جزيئات صغيرة جدا يطلق عليها فوتونات Photones وحيث أن الطاقة الموجودة في كل فوتون تسمى كوانتم. فإن الكوانتم يعبر عنه بطول الموجه (شكل ٢-١)، أي كلما قصر طول الموجه الضوئية كلما زادت طاقة الكوانتم، ويمكن توضيح العلاقة بين طول الموجه والطاقة المتحصل عليها من المعادلة الآتية:

$$E=h \times V = C / \text{ف}$$

حيث أن :

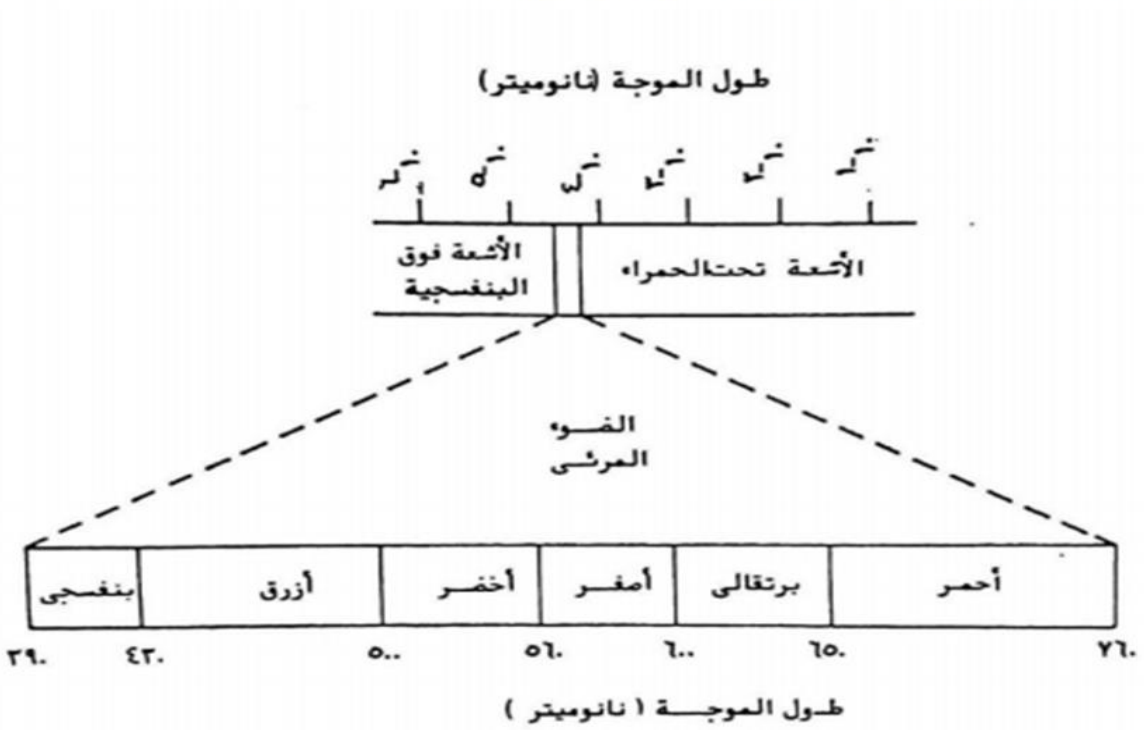
E= طاقة الفوتون (الكوانتم)

h= ثابت بلانك (٦٦٢ × ١٠ ^{٧} أرج/ ثانية)

C= سرعة الضوء (٣ × ١٠ ^{١٠} سم/ ثانية)

ف= طول الموجه

وتستخدم النباتات في عملية التمثيل الضوئي حوالي ١-٢% فقط من الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على سطح الأرض.



شكل (٢-١). طيف الطاقة الإشعاعية والطول الموجي. الفوتونات في المجال من ٤٠٠-٧٠٠ ملليميكرون (نانومتر) هي المستغلة في عملية التمثيل الضوئي.

صبغات البناء الضوئي Photosynthetic Pigments

تقوم صبغات البناء الضوئي بدور أساسي في عملية البناء الضوئي حيث تمتص هذه الصبغات الطاقة الشمسية. وفي الحقيقة بأن كافة الصبغات تكون نشطة في تلك العملية وهي صبغات موجودة في البلاستيدات الخضر. وتحوي الكائنات الحية الحاوية على صبغات البناء الضوئي على أكثر من نوع من تلك الصبغات وكل منها يقوم بوظيفة مخصصة.

الكلوروفيلات Chlorophylls

وهي صبغات خضر موجودة في النباتات والطحالب والبكتريا. ويمكن تمييز تسعة أنواع على الأقل من تلك الصبغات:

كلوروفيل أ، ب، ج، د وكلوروفيلات بكتيرية أ و ب Bacteriochlorophylls a,b وكلوروفيل كلوروبيام ٦٥٠ و ٦٦٠ Chlorobium chlorophylls 650 , 660 .

وأكثر الكلوروفيلات شيوعاً هي أ، ب وتوجد في معظم الكائنات ذاتية التغذية عدا البكتريا الحاوية على الصبغات البنائية الضوئية، حيث أنها تحوي كلوروفيلات خاصة. أما كلوروفيلات ج ، د فإنها توجد بشكل خاص في الطحالب مع كلوروفيل أ مثل الطحالب البنية والذهبية والحمر.

يتكون جزيء كلوروفيل أ من بورفيرين Porphyrin الذي هو تركيب بايرول رباعي حلقي Cyclic tetrapyrrolic structure مع حلقة دائرية متماثلة Isocyclic ring التي تحيط بذرة مغنيسيوم (الشكل ٩-٤). بالإضافة إلى سلسلة فايتول Phytol chain تمتد من إحدى حلقات البايرول. وأن سلسلة الفايتول التي تكون رابطة إسترية مع مجموعة كاربوكسيل على كربون ٧ للبورفيرين عبارة عن سلسلة طويلة كارهة للماء تحوي رابطة مزدوجة واحدة. ويُعتقد أن سلسلة الفايتول تُبنى في المسار الأيضي لأشباه الكاروتين (الكاروتينويدات). وقد تكون مشتقة من فيتامين أ. وتبدو سلسلة الفايتول ممتدة إلى داخل أغشية البلاستيدة والتي تتداخل مع جزيئات دهنية كارهة للماء.

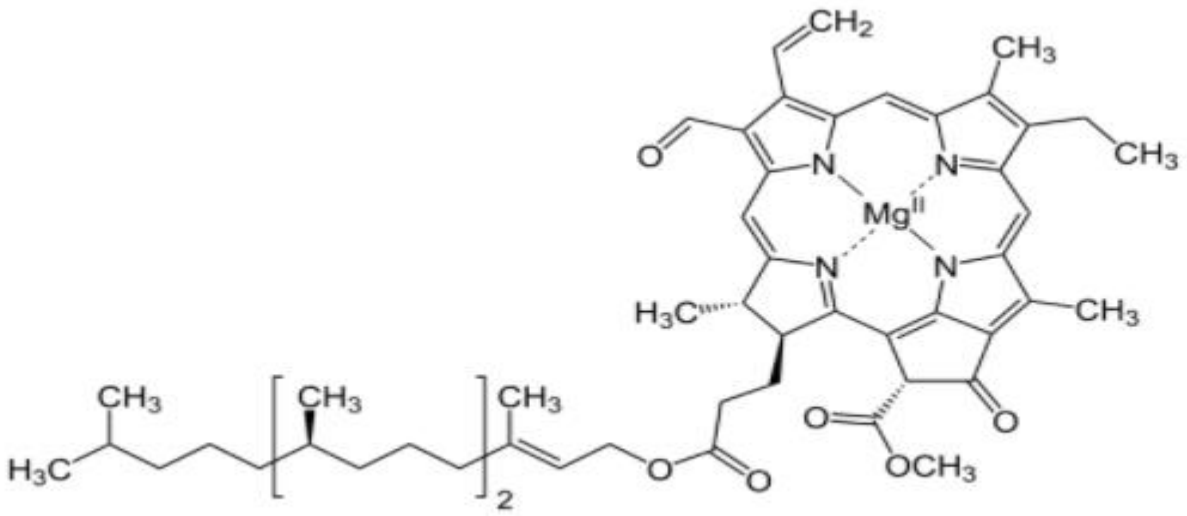
تختلف أنواع الكلوروفيلات المعروفة في الطحالب والنباتات بالشكل الآتي:

١- كلوروفيل (أ) به مجموعة ميثايل CH_3 - عند كربون (٣)

٢- كلوروفيل (ب) به مجموعة الدهايد CHO- عند كربون (٣)

٣- كلوروفيل (ج) يشبه كلوروفيل (أ) عدا أن كلوروفيل (ج) ليس له سلسلة فايتول.

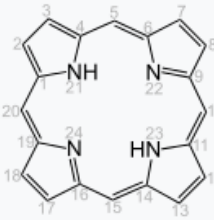
٤- كلوروفيل (د) يشبه كلوروفيل (أ) عدا أن كلوروفيل (د) به مجموعة O - CHO - بدلاً من $CH = CH_2$ - عند كربون (٢).



التركيب الكيميائي لجزيئة الكلوروفيل أ

وفي حالة الكلوروفيل ب فإن مجموعة CH_3 - تستبدل بالمجموعة CHO -

البنية والفاعلية

النوع	التركيب الأساسي	C_2-Rest	C_3-Rest	C_7-Rest	C_8-Rest	C_{17}-Rest	C_{17-18}- رابطة	الصيغة
Chlorophyll *a*		CH_3–	–$CH=CH_2$	CH_3–	–CH_2CH_3	CH_2CH_2COO--Phytyl	رابطة تساهمية	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$
Chlorophyll *b*		CH_3–	–$CH=CH_2$	–CHO	–CH_2CH_3	CH_2CH_2COO--Phytyl	رابطة تساهمية	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$
Chlorophyll c_1		CH_3–	–$CH=CH_2$	CH_3–	–CH_2CH_3	CH=CHCOOH–	رابطة مضاعفة	$C_{35}H_{30}O_5N_4Mg$
Chlorophyll c_2		CH_3–	–$CH=CH_2$	CH_3–	–$CH=CH_2$	CH=CHCOOH–	رابطة مضاعفة	$C_{35}H_{28}O_5N_4Mg$
Chlorophyll *d*		CH_3–	CHO–	CH_3–	–CH_2CH_3	CH_2CH_2COO--Phytyl	رابطة تساهمية	$C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$
Chlorophyll *f*		–CHO	–$CH=CH_2$	CH_3–	–CH_2CH_3	CH_2CH_2COO--Phytyl	رابطة تساهمية	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

إن الذي يهمنا في الوقت الحاضر هو كلوروفيل (أ) وكلوروفيل (ب) باعتبارهما الموجودين في البلاستيدات الخضر للنباتات الراقية بشكل عام. وهذه البلاستيدات توجد في الكائنات ذاتية التغذية عدا البكتريا الحاوية على الصبغات البنائية الضوئية،

الصبغات المساعدة الأخرى Other Accessory Pigments

هناك صبغات أخرى تقوم بدور مهم في امتصاص الطاقة الشمسية وتسهيل عملية البناء الضوئي. وتوجد هذه الصبغات في مختلف الكائنات الحية التي تبني غذائها بالاستفادة من الطاقة الشمسية مثل البكتريا الزرقاء والطحالب والنباتات. وتشمل تلك الصبغات:

أ - الفايكوبلينات Phycobilins

توجد هذه الصبغات في الطحالب الحمر والبكتريا الزرقاء.

ب - أشباه الكاروتين (الكاروتينويدات) Carotenoids

تشكل أشباه الكاروتين مجموعة من صبغات برتقالية وصفر توجد في معظم الكائنات البنائية الضوء. وتوجد بكميات كبيرة في جذور الجزر وثمار الطماطم، كما أنها توجد في الأوراق الخضر غير أن صبغات الكلوروفيل تحجب رؤيتها. وفي موسم الخريف فإن صبغات الكلوروفيل تتحلل وتظهر صبغات أشباه الكاروتين في الأوراق بشكل واضح حيث تبدو الأوراق صفر أو برتقالية. وبالرغم من أن وظائف أشباه الكاروتين في النبات لم تدرس بشكل واضح إلا أنها تمتص الضوء الأزرق إلى مدى معين ويمكنها من إمرار الطاقة للكلوروفيل لاستعمالها في عملية البناء الضوئي. كذلك يمكن أن تقوم أشباه الكاروتين بحماية الكلوروفيل من الأكسدة الضوئية وذلك بامتصاص الفائض من الضوء الأزرق.

وهناك صبغات أخرى كالفلافينات Flavins مثل رايبوفلافين Riboflavin ومشتقاتها النيكليوتيدية ومن أمثلتها فلافين أحادي النيكليوتيد Flavin Mononucleotide (FMN) وفلافين أدينين ثنائي النيكليوتيد Flavin Adenine Dinucleotide (FAD). و FMN و FAD،

مرافقات إنزيمية شائعة في تفاعلات الأكسدة والاختزال الخلوية. كما توجد الفلافينات بشكل معقد مع البروتينات لتكوين فلافوبروتين Flavoprotein وهذه بمثابة مستقبلات الضوء الأزرق.

وثمة مستقبلات أخرى للأشعة فوق البنفسجية تسمى UV-B receptors وتجري في الوقت الحاضر عملية تشخيص لهذه المستقبلات.

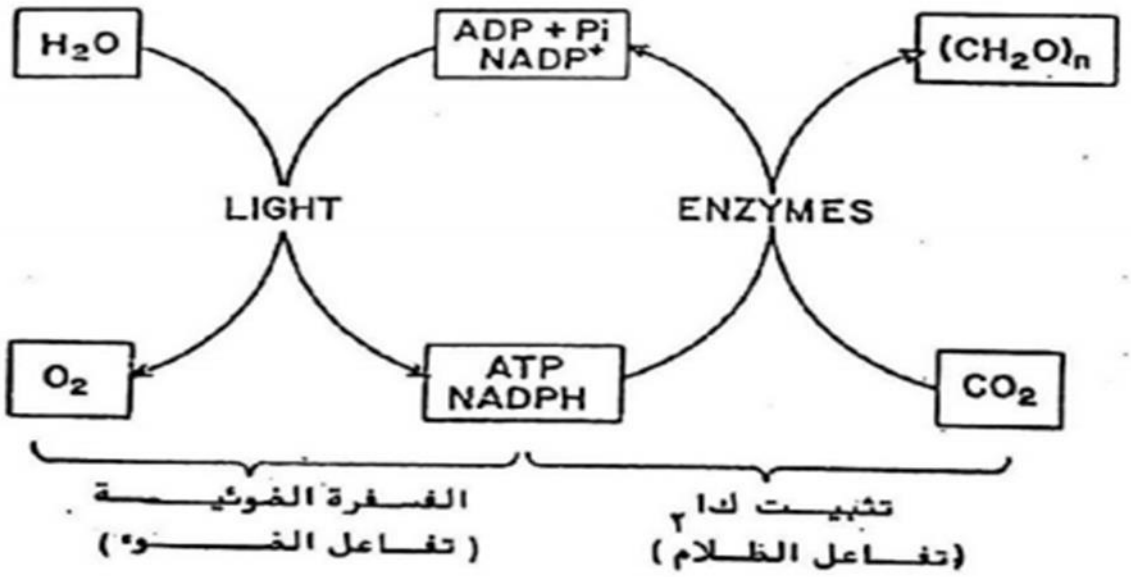
وهناك صبغات أشباه الفلافينات أوالفلافونويدات Flavanoids والتي تُعزى إليها الألوان البراقة لأوراق التويج والثمار والقنابات والأوراق في بعض الأحيان. ومن أهم تلك الصبغات صبغة الأنثوسيانين وغيرها. وهذه الصبغات مشتقات فينايل بروبان Phenylpropane ذات تركيب C6 - C3 - C6. وفي الحقيقة بأن هناك ثلاث مجاميع من الفلافونويدات هي: الفلافونات Flavones والفلافونولات Flavonols والأنثوسيانيدين Anthocyanidins. وأن الأنثوسيانين يعود إلى المجموعة الأخيرة والتي تحوي عدد من الصبغات يصل عددها اثنتا عشرة صبغة.

تفاعلات البناء الضوئي Reactions of Photosynthesis

يمكن تقسيم تفاعلات البناء الضوئي إلى قسمين رئيسين:

أ - تفاعلات الضوء Light reactions أو التفاعلات المعتمدة على الضوء.

ب - تفاعلات الظلام Dark reactions أو التفاعلات غير المعتمدة على الضوء.



شكل (٢-٣). تفاعل الضوء والظلام في عملية التمثيل الضوئي.

تفاعلات الضوء Light Reactions

وهي المرحلة الأولى من تفاعلات عملية البناء الضوئي. وتحدث هذه التفاعلات في أغشية الثايلاكويد حيث توجد صبغات الكلوروفيل، وسميت كذلك لأنها لاتحصل إلا بوجود الطاقة الشمسية. ونواتج هذه التفاعلات هو أن الماء ينشطر ليتحرر الأكسجين، كما يتكون NADPH و ATP.

$$2H_2O \xrightarrow{\text{تحلل ضوئي}} 4H^+ + 4e^- + O_2$$

$$NADP^+ + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow NADPH + H^+$$

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

وأن $NADPH_2$ و ATP هما الطاقة اللازمة لحدوث تفاعل الظلام والذي فيه يختزل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات.

المسار الالكتروني Electron Pathway

لقد استنتج Emerson ومساعدوه عام ١٩٥٧م من أن هناك موقعين لاستقبال الطاقة الشمسية حيث دلت نتائج أبحاثهم على أن التفاعلات المعتمدة على الضوء تتطلب مساهمة نظامين ضوئيين يُطلق عليهما النظام الضوئي الأول Photosystem I والنظام الضوئي الثاني Photosystem II (شكل ٧-٢). وكل واحد من هذين النظامين يحوي جزيئات من الصبغات التي هي جزء من المجسات اللاقطة للضوء والتي يمكن تشبيهها بلاقطات التلفاز التي تستقبل الإشارات، وهي مرتبة بطريقة بحيث تصطاد أكبر كمية ممكنة من الطاقة الضوئية. وإن جزيئات الصبغات في المجسات اللاقطة عبارة عن جزيئات

الكلوروفيل وأشباه الكاروتين. وتعد صبغة كلوروفيل أ ذات خصوصية ذلك أنها مركز تفاعلات الضوء. وتبدأ هذه العملية حينما تمتص المجسات في كل نظام ضوئي الفوتونات للضوء المرئي والتي توجه الطاقة الضوئية إلى مركز التفاعل. وأن لجزيء كلوروفيل أ، كمركز تفاعل للنظام الضوئي الأول، امتصاص طيفي أقصى عند ٧٠٠ نانومتر، وبالتالي يُطلق عليها مركز ضوئي ٧٠٠ (P 700). كما أن لجزيئة كلوروفيل أ، كمركز تفاعل للنظام الضوئي الثاني، امتصاص طيفي أقصى عند طول موجي أقصر من الأول عند ٦٨٠ نانومتر وبالتالي يُطلق عليها مركز ضوئي ٦٨٠ (P 680). إن امتصاص مراكز التفاعل للأطياف الضوئية المحددة من شأنها إثارة الالكترونات والتعجيل في انفلاتها من جزيئات الكلوروفيل حيث تصبح جزيئات الكلوروفيل مؤكسدة. وتقوم جزيئات مستقبلة بالتقاط تلك الالكترونات المنشطة بطاقة عالية والتي بدورها تقوم بإمرارها إلى نظام بعضه مركبات سايتوكرومية مؤلف من وحدات بروتينية مرتبطة بالغشاء البلازمي. ومن الجدير بالملاحظة بأن هناك مسارين للالكترونات خلال تفاعلات الضوء في عملية البناء الضوئي:

١- المسار الالكتروني غير الدائري The Noncyclic Electron Pathway

خلال هذا المسار يُنتج ATP و NADPH حيث يمكن وصف الأحداث كما لو كانت تحدث بطريقة متتابعة من النظام الضوئي الثاني. وبامتصاص P 680 الطاقة الشمسية فإن الالكترونات تصبح متهيجة ونشطة Energized والتي يمكن أن تترك جزيء الكلوروفيل المرتبط بالثايلاكويد. ويمكن تعويض الالكترونات المفقودة من هذا النظام من التحلل الضوئي للماء Photolysis حيث ينتج الأكسجين والبروتونات.

$$H_2O \longrightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2} O_2$$

وتتم عملية استقبال الالكترونات المنطلقة من P 680 من قبل مركب مستقبل للإلكترونات ومنه تنتقل إلى نظام نقل الكتروني مؤلف من سلسلة من مركبات حاملة Carriers مرتبطة بالثايلاكويد وبعضها جزيئات سايتوكروم. ولهذا السبب فإنه غالباً مايُطلق على نظام النقل الالكتروني إسم نظام السايتوكروم Cytochrome system. ونظام السايتوكروم في أغشية الثايلاكويد نظام معقد ضمن سلسلة من مركبات تتقبل الالكترونات من الجزيء المستقبل للالكترونات من النظام الضوئي الثاني PSII (شكل ٩-٦). تبدأ تلك السلسلة بمركب Pheophytin (Pheo) الذي يمرر الالكترونات إلى مستقبلات بلاستوكينون Plastoquinone acceptors مثل Q_A , A_B. والمركب الأخير يمرر الالكترونات إلى نظام السايتوكروم المعقد المؤلف من مجموعة مركبات مثل Cytf, FeSR, Q, Cyt b.

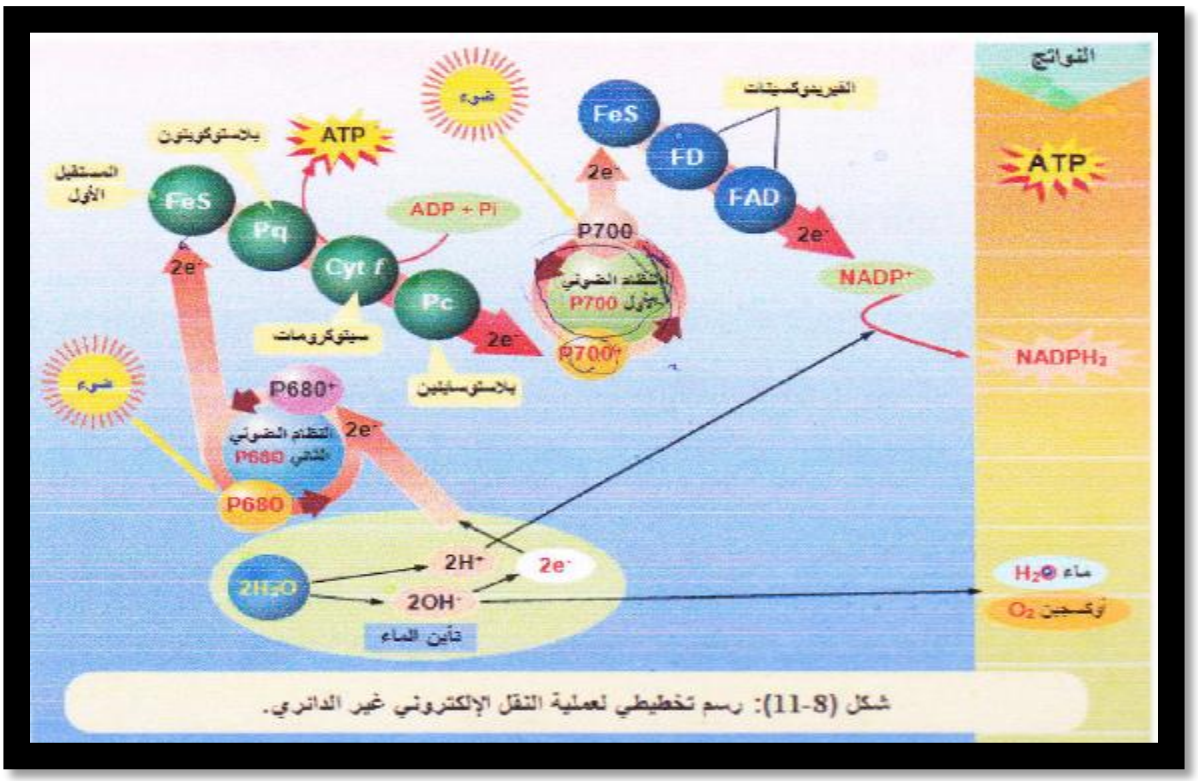
يقوم نظام السايتوكروم بإمرار الالكترونات إلى بلاستوسيانين Plastocyanin (PC)، وبذلك تغادر الالكترونات هذا النظام وهي منخفضة الطاقة وخلال مرور الالكترونات في نظام السايتوكروم تتم عملية تكوين ATP.

$$ADP + Pi + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

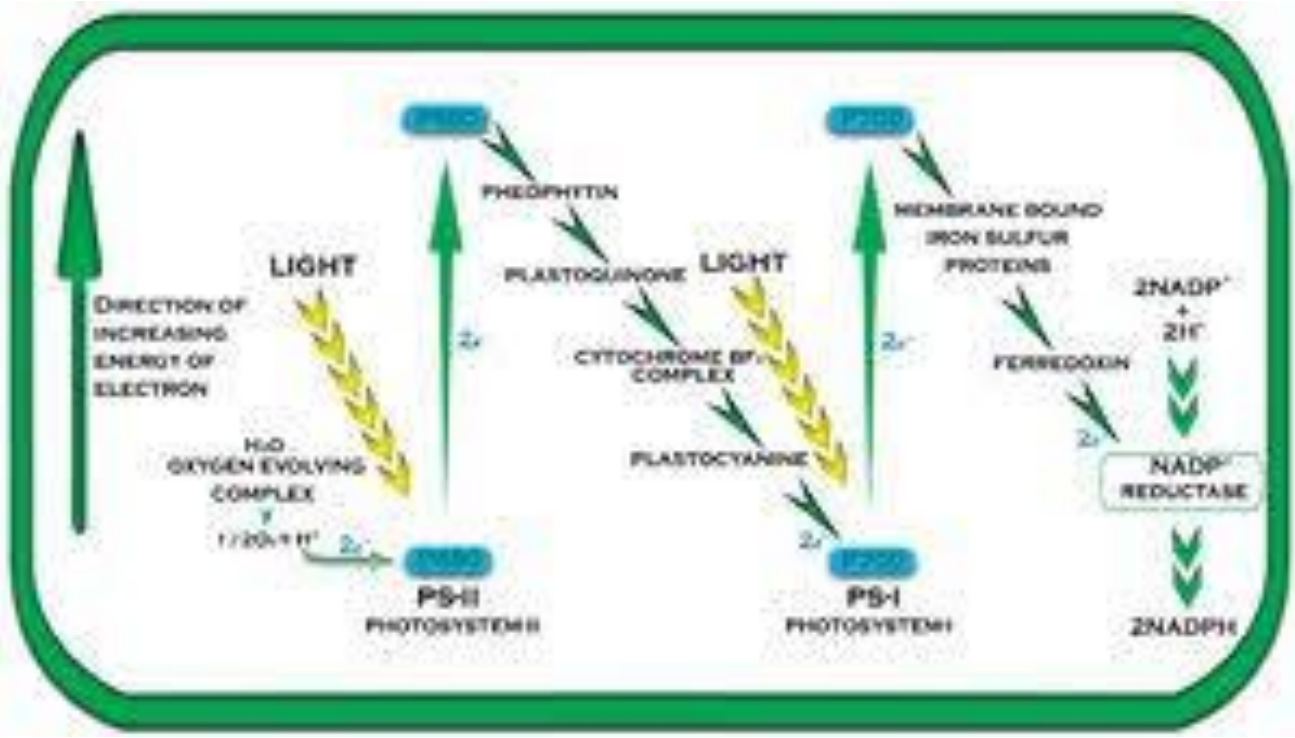
وبعد ذلك يستقبل المركز الضوئي P 700 (وهو مركز التفاعل للنظام الضوئي الأول) الالكترونات. ويقوم P 700 بتنشيط الالكترونات لترتفع طاقتها إلى أعلى مستوى مقارنة مع النظام الضوئي الثاني حيث يستلم مستقبل خاص تلك الالكترونات والذي يقوم بتمريرها إلى مركبات مختلفة مثل كينون Quinone (A0,A1) ومركبات مرتبطة بغشاء الثايلاكويد وهي مركبات بروتينية حاوية على الحديد والكبريت Membrane - bound iron sulfure proteins وهذه المركبات يُرمز لها FeSA, FeSB, FeSx. تقوم المركبات الأخيرة بإمرار الالكترونات إلى فيريدوكسين Ferredoxin (Fd) وهذا مرتبط بمركب فلافوبروتين Flavoprotein (Fp). وهذا المعقد يسهل إمرار الالكترونات إلى المرافق الإنزيمي $NADP^+$ بواسطة إنزيم Flavoprotein ferredoxin - NADP reductase. وبالتالي تستكمل عملية مرور الالكترونات في الدورة المفتوحة حيث يُنتج ATP في نظام السايتوكروم المرتبط بأغشية الثايلاكويد ويتكون NADPH في نهاية المطاف.

$$NADP^+ + [2e^- - 2H] \longrightarrow NADPH + H^+$$

ويمكن إيضاح هذا الحركة للإلكترونات في المسار المفتوح من خلال مخطط يسمى مخطط Z

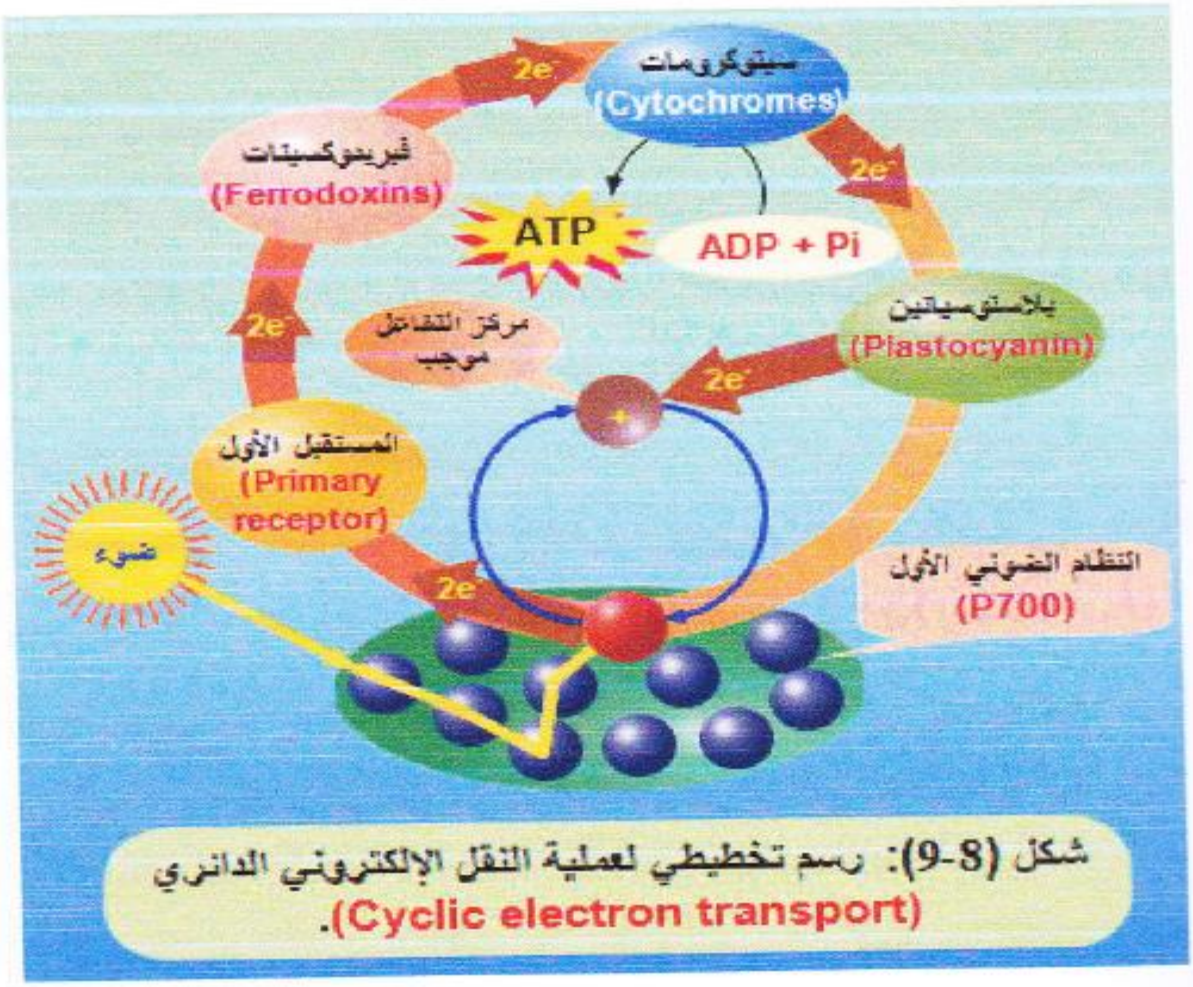


شكل (8-11): رسم تخطيطي لعملية النقل الإلكتروني غير الدائري.



٢- المسار الالكتروني الدائري The Cyclic Electron Pathway

وهو المسار الالكتروني الثاني في جرانات البلاستيدات الخضر. وفي هذا المسار فإن الالكترونات التي تغادر النظام الضوئي الأول P 700 يمكن أن تعود ثانية إليه بعد دورة مغلقة حيث تتنشط الالكترونات وترتفع بطاقتها إلى مستوى عال تلتقط بعدها تلك الالكترونات من قبل جزيء مستقبل يقوم بإمرارها إلى مركبات منها فيريدوكسين Fd الذي قد يُرجع تلك الالكترونات إلى نظام السايتوكروم. وتمر الالكترونات خلال ذلك النظام حيث يتكون ATP لتعود الالكترونات ثانية إلى مركز التفاعل للنظام الضوئي الأول لتختزل جزيئات الكلوروفيل التي أُكسدت أول الأمر.



تفاعلات الظلام Dark Reactions

وهي المرحلة الثانية من عملية البناء الضوئي التي تجري بمعزل عن تأثير الضوء، حيث أن NADPH و ATP الناتجة من تفاعلات الضوء تُستغل لغرض اختزال ثاني أكسيد الكربون CO_2 reduction ليكون $[CH_2O]$ بشكل جزيء كربوهيدرات. وعملية الاختزال ماهي إلا عملية بناء لأنها تتطلب تكوين روابط جديدة. وأن ذرات الهيدروجين والطاقة مطلوبة لعملية الاختزال البنائي وهذه توفرها NADPH و ATP التي نتجت عن تفاعلات الضوء.

ويمكن إيضاح العلاقة بين المرحلتين تفاعلات الضوء وتفاعلات الظلام بالجدول التالي

تفاعلات الظلام	تفاعلات الضوء
Photosynthesis	
Synthesis stage **عملية البناء – تثبيت طاقة**	**Photostage** **Energe-trapping stage** **خزن او تجميع الطاقة – اصطياد الطاقة**
a-Energy change	
Unstable chemical energe **Stable chemical energy**	**Ligh energy**
b- chemichal change	
C- assimilation **And P , S , N**	**Photo electron transport**
c- location	
Chloroplast stroma	**Chloroplast lamella – thylakeid**

ومما هو ملاحظ بأنه في كافة الكائنات حقيقية النواة التي تقوم بعملية البناء الضوئي Photosynthetic eukaryotes ابتداءً من الطحالب البسيطة وحتى كاسيات البذور يكون اختزال ثاني أكسيد الكربون إلى كربوهيدرات بواسطة الآلية الأساسية والتي تسمى دورة اختزال الكربون البنائية الضوء لمركبات ثلاثية الكربون The C_3 photosynthetic carbon reduction (PCR) cycle ويُشار إلى هذه الدورة، أيضاً، بأنها دورة كالفن Calvin cycle نسبة إلى مكتشفها Melvin Calvin الذي حصل على جائزة نوبل في عام ١٩٦١م. وتتضمن دورة كالفن تثبيت ثاني أكسيد الكربون واختزاله وإعادة

Z scheme_light reaction of photosynthesis with reduction potential-720p.mp4