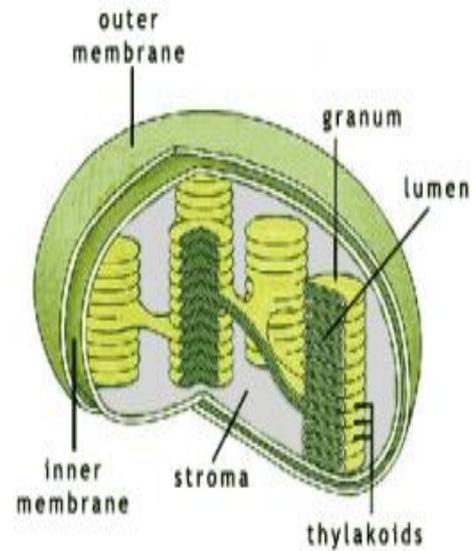
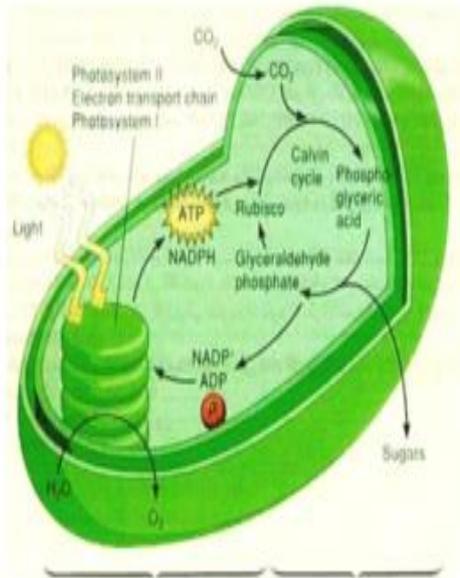
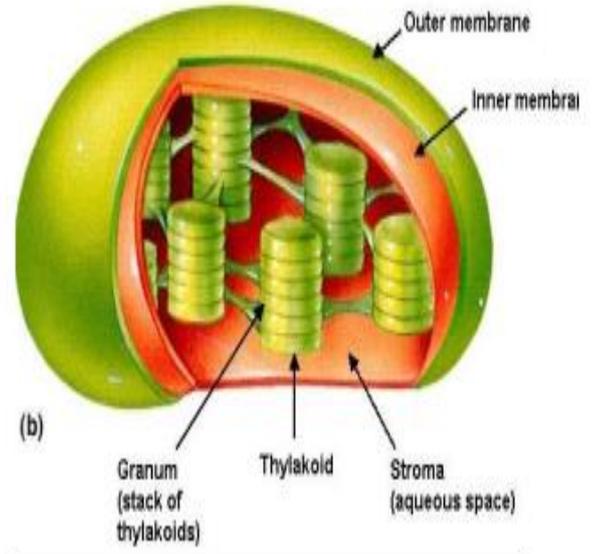
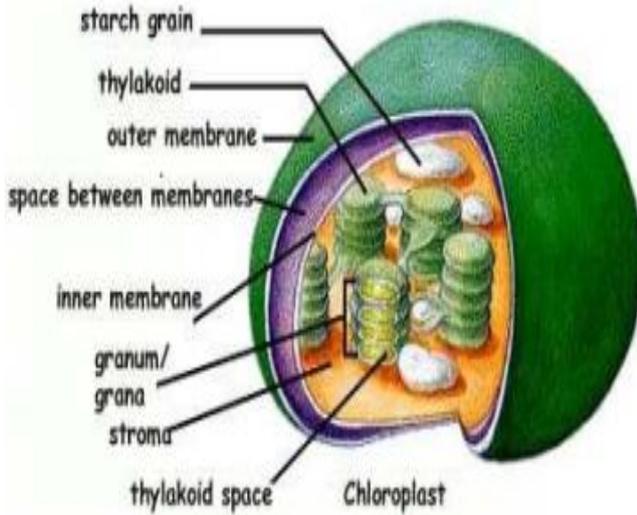


## التركيب الضوئي Photosynthesis

النباتات الخضراء تختلف عن معظم الكائنات الأخرى بكونها ذاتية التغذية Autotrophic أي إنها تستطيع أن تصنع غذائها بنفسها من خلال تحويل الـ (CO<sub>2</sub>) اللاعضوي إلى مواد عضوية سكرية داخل البلاستيدات الخضراء بمساعدة الطاقة الضوئية بعكس الكائنات الحيوانية والإنسان التي تعتمد في غذائها على المصادر الجاهزة للمواد الغذائية العضوية ولهذا تسمى Heterotrophic . لحدوث عملية التركيب الضوئي يجب توفر العناصر الأساسية المساهمة في انجازها والمتمثلة في الماء الذي يجهز من خلال الشعيرات الجذرية وخلايا البشرة المجاورة لها بشكل أساس أو من ما يمتصه الجزء الخضري بشكل ثانوي والـ (CO<sub>2</sub>) الذي يجهز من المحيط الخارجي للنبات بشكل أساس أو من ما ينتج خلال عمليات التنفس الخلوي والبلاستيدات الخضراء والضوء . ولذلك ولفهم عملية التركيب الضوئي يجب دراسة

أ- تركيب البلاستيدات الخضراء والتعرف على الصفات التي تحويها هذه الجسيمة السائتوبلازمية، إذن ماهي البلاستيدة الخضراء: هي عبارة عن جسيمة سائتوبلازمية تمثل المركز الذي تتم فيه عملية التركيب الضوئي حيث تنتظم فيها جزيئات الكلوروفيل والأصبغ المساعدة الأخرى بنظام خاص يسمح بنقل الطاقة ما بين جزيئات الصبغات التي تمتص الضوء وتحوله إلى عدة جزيئات أخرى قبل أن تصل إلى مكان تأثيرها فقد تتحول الطاقة الضوئية من جزيئة كلوروفيل a إلى جزيئة كلوروفيل a أخرى أو من جزيئة كلوروفيل b إلى جزيئة كلوروفيل a أو من جزيئة كاروتين إلى جزيئة كلوروفيل a . لقد كشف المجهر الإلكتروني بان البلاستيدات الخضراء (الكلوروبلاست) محاطة بزوج من الأغشية كما موضح بالرسم، ينبعج الداخلي منها للداخل من عدة أماكن ليكون النظام الصفائحي للبلاستيدة والمسؤول عن تفاعلات الضوء أو الكيموضوئية وذلك لاحتوائه على صبغات الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات.



اذ يتكون النظام الصفائحي من صفائح أو أكياس تسمى ( Granum ) وعند اجتماع اثنين أو أكثر منها يتكون البذيرة Grana (وهي جمع كلمة Granum) وعند امتداد احد الأكياس أو الصفائح العائدة لبذيرة معينة خلال حشوة البلاستيدة واتصالها بكيس أو صفيحة أخرى تعود الى بذيرة ثانية يتكون ما يسمى بالصفيحة الحشوية Stromal Lamella . فراغ البلاستيدة المسمى Stroma أو Matrix هو عبارة عن سائل ذات طبيعة غروية لاحتوائه على البروتينات والأنزيمات ويشترك في تفاعلات الظلام أو الكيمو حرارية الخاصة بتثبيت الـ  $CO_2$  خلال عملية التركيب الضوئي.

## Plant Physiology

## العوامل الأساسية للقيام بعملية البناء الضوئي:

## الضوء

هو موجات كهرومغناطيسية تتألف من جسيمات تسمى ضوئيات أو فوتونات أو كوانتات تختلف طاقتها باختلاف الطول الموجي الذي يحدد أيضاً لون الضوء. مثلاً الضوء الأحمر طوله الموجي 660 نانومتر طاقة الجسيم الضوئي  $= 3.01 \times 10^{-19}$  جول. فوتون<sup>-1</sup>، في حين طاقة الجسيم للضوء الأزرق (طوله الموجي 435 نانومتر)  $= 4.56 \times 10^{-19}$  جول. فوتون<sup>-1</sup>. الضوء المؤثر في عملية البناء الضوئي هو الإشعاع الشمسي الذي هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي المتكون من الأشعة الكونية وأشعة كاما والسينية وفوق البنفسجية والضوء المرئي وتحت الحمراء والموجات الدقيقة والراديوية، محتوى الطاقة في الجسيم الضوئي يتناسب عكسياً مع الطول الموجي، فالجسيمات عالية الطاقة (ذات طول موجي قصير) مثل الأشعة فوق البنفسجية تكون خطيرة على الخلية بسبب تكسيرها للجزيئات العضوية، بينما الموجات الطويلة مثل الأشعة تحت الحمراء لا تضر بالخلايا بل تزيد الطاقة التذبذبية للجزيئات ولا تكسر الروابط. إن الضوء المرئي ذو الأطوال الموجية بين 400 و800 نانومتر تقريباً تمتلك الطاقة الكافية لتحفيز وتهيج الإلكترونات إلى مدار الكتروني أعلى دون الأضرار بالخلية.

## صبغات البناء الضوئي

دورها الأساسي هو امتصاص الطاقة الضوئية وهناك أنواع منها في الخلايا النباتية لكن أهمها:

## الكلوروفيلات Chlorophylls

هي صبغات خضراء اللون موجودة في النباتات والطحالب وبعض أنواع البكتيريا، ويمكن أن نميز على الأقل 9 أنواع من الكلوروفيل مثل a و b توجد في معظم الكائنات ذاتية التغذية عدا البكتيريا الحاوية على الصبغات البنائية فهي حاوية على أنواع خاصة بها هي a, b Bacteriochlorophylls ، أما c, d فهي توجد بشكل خاص في الطحالب مع chlorophyll a مثل الطحالب البنية والذهبية والحمراء، و Chlorobium chlorophylls 650,660.

## Plant Physiology

الصبغات النباتية:- عبارة عن جزيئات كيميائية تمتص نطاقات معينة من أطوال الموجات الضوئية وبكفاءة عالية ولا تمتص أطوال موجات أخرى ولهذا تظهر بألوان مختلفة (علمياً بان الضوء الأبيض العادي هو خليط من الموجات كلها).

أن امتصاص الطاقة الضوئية من قبل البلاستيدات الخضراء يتم بواسطة الصبغات Pigments التي تحتويها البلاستيدات والتي تصنف الى:-

أ-الصبغات الرئيسية:- والتي تشمل الكلوروفيلات وخاصة (A الخضراء المزرقية) و(B الخضراء المصفرة) والتي تشكل 65% من الصبغات الموجودة في البلاستيدات الخضراء.

ب\_الصبغات المساعدة أو ما يسمى بأشباه الكاروتينات:- والتي تشمل الكاروتين (نو اللون الأصفر- البرتقالي - الأحمر) والزانثوفيل (نو اللون الأسمر أو البني) واللذان يشكلان نسبة 6% و29% على التوالي من الصبغة الموجودة في البلاستيدة الخضراء.

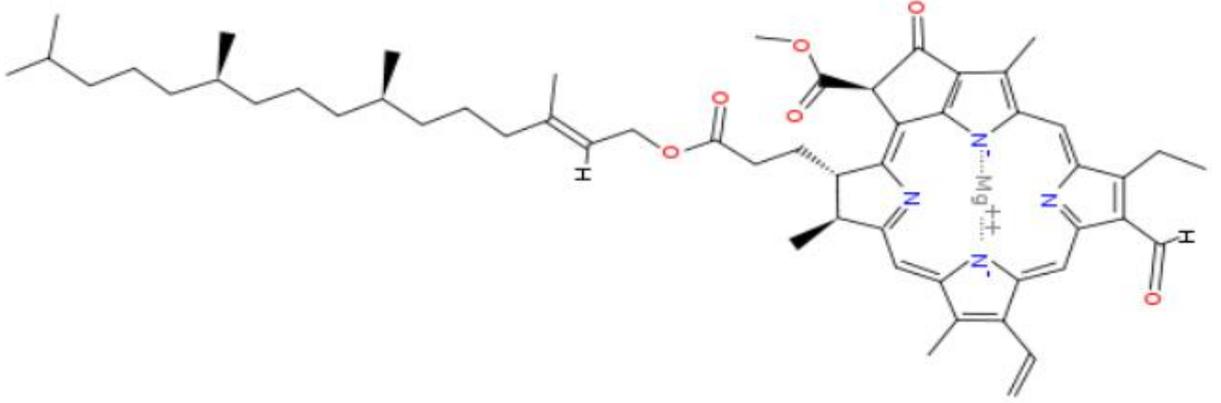
أن كل من الأصباغ الرئيسية والمساعدة نشطة ضوئياً وتساهم بشكل فعال في اسر الطاقة الضوئية حيث أن عملية التركيب الضوئي تستخدم جميع الأطوال الموجية ضمن الطيف المرئي لكن أكثر الموجات الضوئية تأثيراً على أحداث التركيب الضوئي هي الزرقاء والحمراء والتي تمتص من قبل جزيئات كلوروفيل (A و B) بكفاءة عالية أما الموجات الضوئية التي تقع ضمن المناطق الوسطى للطيف المرئي (الموجات الضوئية الخضراء) فإنها تمتص بصورة رئيسية من قبل أشباه الكاروتينات والتي لا تمتلك القدرة على استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها لذلك فإنها تحولها الى جزيئات الكلوروفيل لكي تستخدمها في عمليات التركيب الضوئي.

علل : اشباه الكاروتينات تحول الطاقة الضوئية التي تمتصها الى الكلوروفيلات .

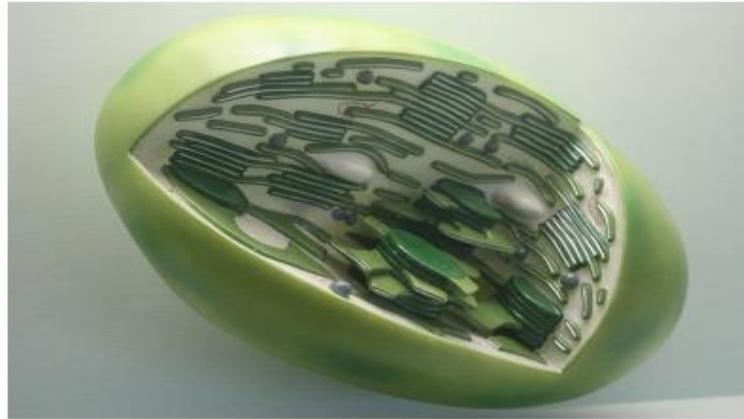
(ج) لانها لا تمتلك القدرة علة استخدام الطاقة الضوئية الممتصة من قبلها.

## Plant Physiology

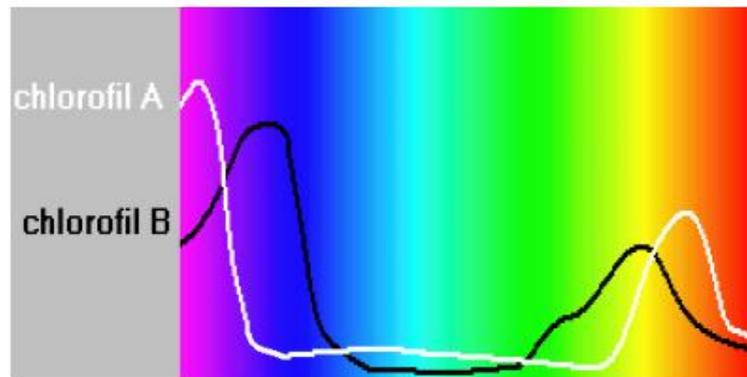
يتكون جزيء chlorophyll a من Porphyrin وهو تركيب بايرون رباعي حلقي مع حلقة دائرية متماثلة تحيط بذرة مغنيسيوم ترتبط حلقة البايرون بسلسلة Phytol تمتد من إحدى حلقات البايرون وإن سلسلة الفايترول تكون رابطة استيرية مع مجموعة كاربوكسيل على كاربون رقم 7 للبورفيرين وأن سلسلة الفايترول هي سلسلة طويلة كارهة للماء تحوي رابطة مزدوجة واحدة، وتبدو ممتدة الى داخل اغشية البلاستيدة.



Chlorophyll a



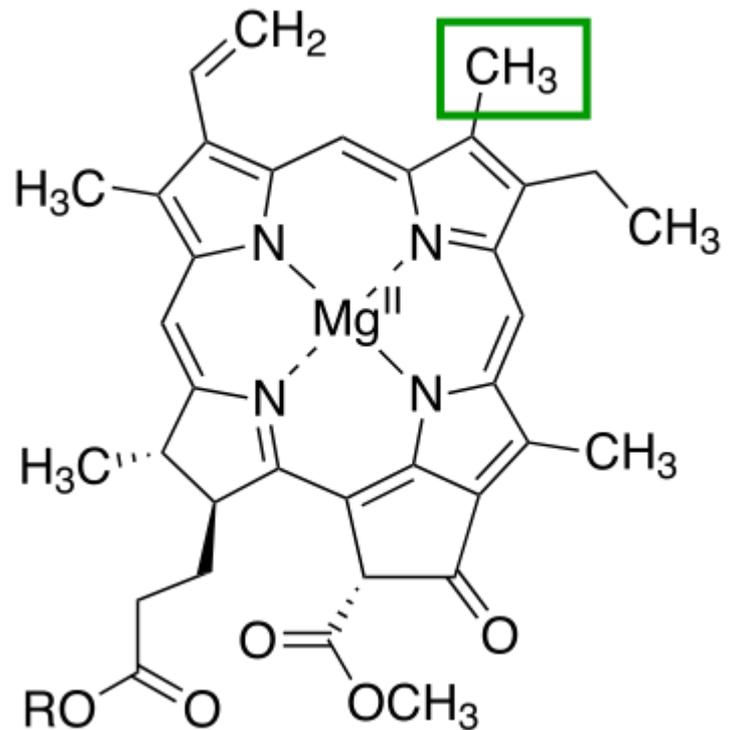
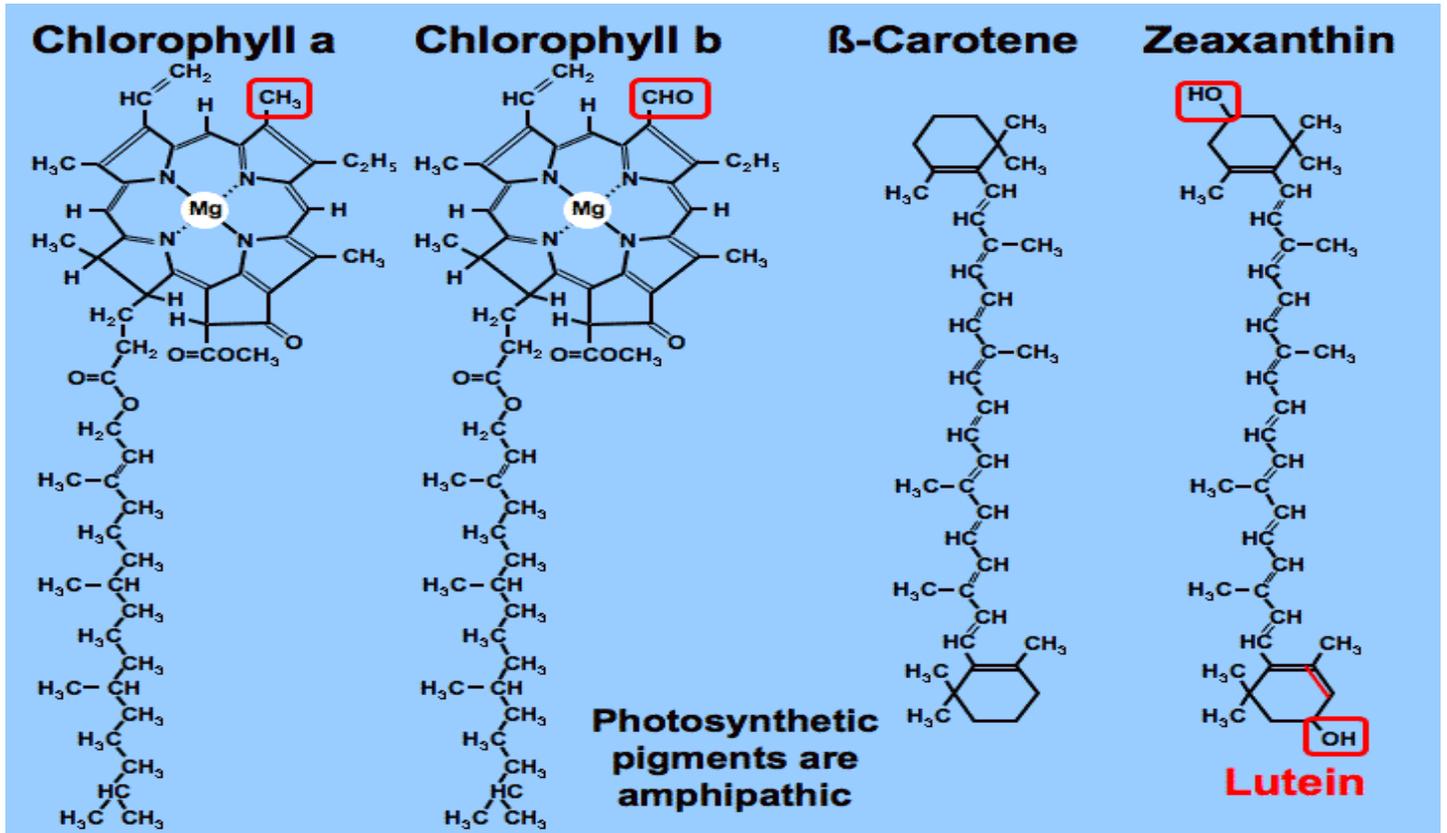
البلاستيدة الخضراء



اختلاف الامتصاصية للطول الموجي حسب نوع الكلوروفيل

## Plant Physiology

- تختلف أنواع الكلوروفيلات المعروفة في الطحالب والنباتات وكما يلي:
  - كلوروفيل A به مجموعة مثيل  $\text{CH}_3$  - عند كربون 3.
  - كلوروفيل B به مجموعة الديهايد  $\text{CHO}$  - عند كربون 3.
  - كلوروفيل C يشبه كلوروفيل A عدا أن كلوروفيل C ليس له سلسلة فايتول.
  - كلوروفيل D يشبه كلوروفيل A عدا أن كلوروفيل D به مجموعة  $\text{O} - \text{CHO}$  - بدلا من  $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$  عند كربون 2.
- لون كلوروفيل A أخضر مزرق وكلوروفيل B أخضر مصفر.
- سلسلة الفايتول تجعل الكلوروفيل غير ذائب في الماء، إذ أن سلسلة الفايتول تثبت جزيئة الكلوروفيل بالجزء الكاره للماء لمحيط الغشاء ويشكل إرتباطات غير تساهمية Non-Covalent Associations مع البروتينات الكارهة للماء.
- الأوكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي هو ناتج من التحلل الضوئي للماء وليس من  $\text{CO}_2$ .
- أن التفاعلات المعتمدة على الضوء تتطلب مساهمة نظامين ضوئيين يطلق عليهما النظام الضوئي الأول (PS I) Photosystem I والنظام الضوئي الثاني (PS II) Photosystem II.
- جزيئات الصبغات في المجسات اللاقطة عبارة عن جزيئات الكلوروفيل وأشباه الكاروتين.
- تعد صبغة الكلوروفيل A ذات خصوصية وذلك لأنها مركز تفاعلات الضوء.
- التنفس الخلوي (في الماييتوكوندريا) هو عكس ما يحصل في البلاستيدات الخضراء بعملية البناء الضوئي.

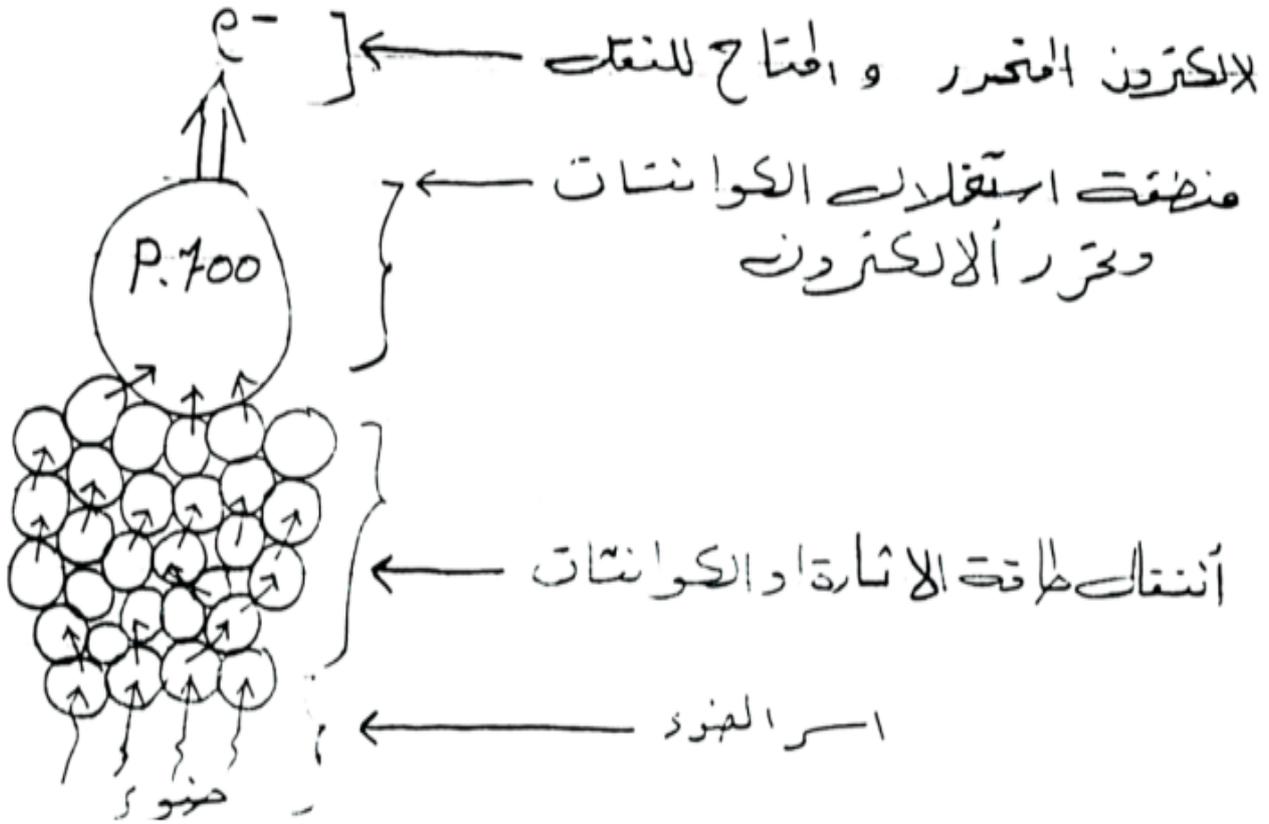


تركيب (بوفيرين) البايروول الرباعي الحلقي لجزيئة كلوروفيل A

## Plant Physiology

## وحدة التركيب الضوئي Photosynthetic Unit

لقد اعتقد المشتغلون الأوائل في التركيب الضوئي بان امتصاص وتحول الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية يتطلب وجود بلاستيده خضراء كاملة النمو والتركيب لكن لوحظ من التجارب بان وجود أجزاء صغيرة من البلاستيده يكفي لحدوث التركيب الضوئي وهذا يشير الى إمكانية تكون البلاستيده من وحدات صغيرة تسمى وحدات التركيب الضوئي : وهي تمثل اصغر مجموعة من جزيئات الصبغات المتقاربة من بعضها وبترتيب هندسي منظم وتتعاون مع بعضها في امتصاص الطاقة الضوئية ونقلها الى مكان استغلالها حيث يحدث انطلاق أو تحرر الالكترونات وكما موضح بالرسم:



رسم يوضح ترتيب الجزيئات في وحدة التركيب الضوئي ويبين كيفية جمع ونقل الطاقة

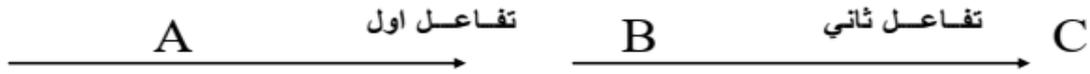


## Plant Physiology

الأدلة العلمية لوجود مراحل الضوء والظلام في عملية التركيب الضوئي:-

أ- تجارب الضوء المتقطع للعالم واربرغ Worburg:

لقد توصل هذا الباحث الى أن معدل عملية التركيب الضوئي للنبات تحت الضوء المستمر ولفترة زمنية معينة هو اقل من معدل التركيب الضوئي لنفس النبات عندما يستلم نفس الكمية من الضوء لكن بصورة متقطعة تفصلها فترات ظلام ولتفسير هذه الحالة وضع النموذج التالي:



حيث أن A:- هي نقطة بدأ عملية التركيب الضوئي وهي تفاعل الـ  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

B:- هي نقطة وسطية في عملية التركيب الضوئي حيث يتكون خلالها مركبات وسطية

C:- هي نقطة انتهاء في عملية التركيب الضوئي حيث يتكون نواتج التركيب مثل  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

فعند تعرض النبات الى ضوء مستمر ذو شدة عالية يكون التفاعل من A الى B أسرع من التفاعل في تحول B الى C ونتيجة للتباين في معدل سرعة التفاعلين فسوف يحدث تراكم في B وان زيادة تكوين B سوف لا يؤثر على معدل تكوين C طالما كان التفاعل الثاني من (B الى C) لا يملك القدرة على استخدام على الـ B المتوفرة له عن طريق التفاعل الأول (بسبب قلة سرعته) وعلى هذا الأساس يحدث خلال عملية قطع الضوء تحول الـ B الى C والتي يكون خلالها التفاعل الأول متوقف أو قليل (بسبب عدم توفر الضوء) وهكذا فان استخدام الضوء المتقطع سوف يؤدي الى تكوين كمية اكبر من C.

أما عند نمو النباتات تحت شدة إضاءة واطئة فيكون معدل تكون B من A واطئي واقل من تحول B الى C.

مما سبق يتضح بان التفاعل الأول هو المحدد لمجمل تفاعلات التركيب الضوئي وهو تفاعل كيموضوئي أي يتطلب وجود الضوء لحدوثه بشكل أساسي.

1. تجارب درجة الحرارة:-

وجد أيضا من التجارب بان درجة الحرارة لا تؤثر في التفاعلات الكيموضوئية (التفاعل الأول) لكنها تؤثر في التفاعلات الكيموحرارية (التفاعل الثاني) فعند نمو النبات تحت شدة إضاءة عالية يزداد تكون معدل تكون B من A وعند زيادة درجة الحرارة تحت هذه الظروف يحدث زيادة في تكوين C من B.

3. اخذ  $\text{CO}_2$  خلال الظلام:-

وجد من خلال التجارب بان وضع مجموعة من النباتات تحت شدة ضوء عالية وفي جو خالي من الـ  $\text{CO}_2$  يحصل تراكم بمادة B وبشكل ملحوظ لكن هذه المادة تزول بشكل تدريجي أو يقل تركيزها عن تجهيز النباتات بالـ  $\text{CO}_2$  تحت ظروف الظلام.

## Plant Physiology

أن نتائج هذه التجارب أوضحت بان عملية التركيب الضوئي تتضمن نوعين من التفاعلات هما:-

أ- التفاعلات الكيموضوئية (تفاعلات الضوء) Photochemical reaction :-

وتتميز بأنها تتطلب وجود الضوء، سريعة، غير حساسة لدرجة الحرارة، تحدث في البذيرات والصفائح ما بين البذيرات ويتم خلالها انشطار المساء ضوئياً.

ب- تفاعلات الكيموحرارية (تفاعلات الظلام) Thermochemical reaction :-

وتتميز بأنها لا تحتاج الى تواجد الضوء، بطيئة، ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى إسراعها، تحدث في الحشوة ويتم خلالها اختزال الـ  $CO_2$  .

