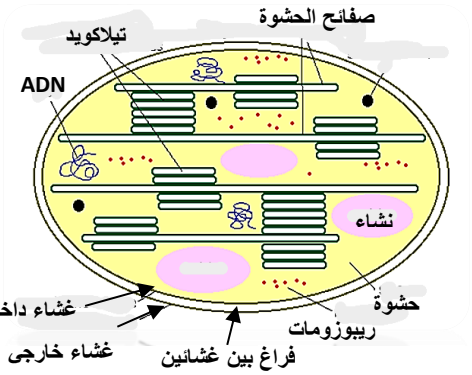
التركيب الضوئي آلية تؤدي إلى تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية مخزنة في روابط الجزيئات العضوية ، كانشاء

I – ما فوق بنية الصانعة الخضراء :

- تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصانعات الخضراء.
- للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالتالي :
- تراكيب غشائية داخلية تشكل أكياس مسطحة : التيلاكويد.
- تجويف داخلي : الحشوة ، محددة بغشاء داخلي.
- يضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي ، يفصل الغشائين البلاستيديين ، (فضوة) فراغ بين غشائين.



تحدث عملية التركيب الضوئي في مرحلتين هما :

II – المرحلة الكيموضوئية :

- تحتوي أغشية التيلاكويد على أصبغة التركيب الضوئي (اليخضور ، أصبغة أشباه الجزرين) وجهاز أنزيمي بما في ذلك الـ ATP سينتاز.
- تحوي الحشوة مواد الأيض الوسيطة لتركيب المواد العضوية كنواقل البروتونات(NADPH - H+) ، الـ ADP والـATP وكذلك عدد من الأنزيمات كالريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز.

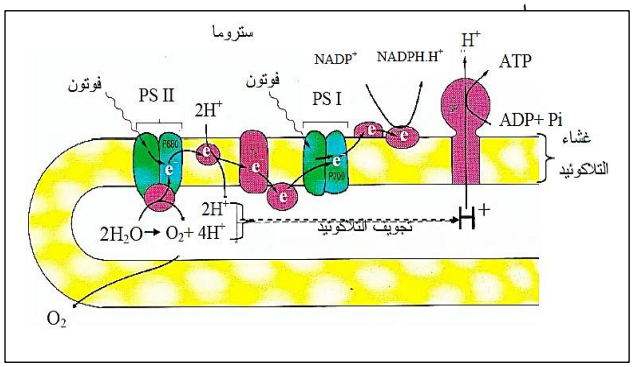
1 – تفاعلات نقل الطاقة :

- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة ،متخلية عن الكترون
- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسدة ضوئيا شكلها المرجع ،وبالتالي قابلية التنبه انطلاقا من الإلكترونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل في سلسلة من النواقل متزايدة كمون الأكسدة والإجاع.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة عبارة عن ناقل للبروتونات والإلكترونات يدعىالنيكوتين أميد ثنائي نكليوتيد فوسفات $NADP^+$ الذي يُرجع إلى $NADPH,H^+$ بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل العام :

$$2(NADP^+) + 2H_2O \longrightarrow 2NADPH,H^+ + O_2$$

2 – تشكيل جزيئة الـ ATP :

- يصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية، تراكم البروتونات الناتجة عن التحلل الضوئي للماء وتلك المنقولة من الحشوة بإتجاه تجويف التيلاكوئيد
- إن تدرج تركيز البروتونات المتولد بين تجويف التيلاكوئيد وحشوة الصانعة الخضراء ، ينتشر على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر ATP سينتاز .
- تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي(Pi) :إنها الفسفرة الضوئية .



يمكن تلخيص المرحلة الكيموضوئية :

- تحدث على مستوى التيلاكويد
- تتطلب توفر الضوء والتيلاكويد (أنظمة ضوئية +نواقل للالكترونات + ATP سنتاز) ،توفر المستقبل $NADP^+$ وتوفر ADP و Pi .
- **نواتج المرحلة الكيموضوئية :**
  - ATP : جزيئات عالية الطاقة نتيجة لعمل النظام الضوئي PSII .
  - NADPH,H+ وهي مرافقات انزيمية تحمل الكترونين ذات طاقة عالية نتيجة لعمل النظام الضوئي PSI .

أهم التفاعلات التي تحدث في هذه المرحلة :

- **التحلل الضوئي للماء (أكسدة الماء) :**

$$2\,H_2O \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e^- + O_2\uparrow$$

- **المعادلات الكيميائية لتفاعلات الأكسدة والإرجاع التي تحدث في وجود الضوء ومستقبل الإلكترونات الموجود في الحشوة**

$$2\,H_2O \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e^- + O_2\uparrow$$
$$4\,H^+ + 2\,NADP^+ + 4e^- \rightarrow 2\,NADPH.H^+$$
$$2\,H_2O + 2\,NADP^+ \rightarrow 2\,NADPH.H^+ + O_2\uparrow$$

- **الفسفرة الضوئية**

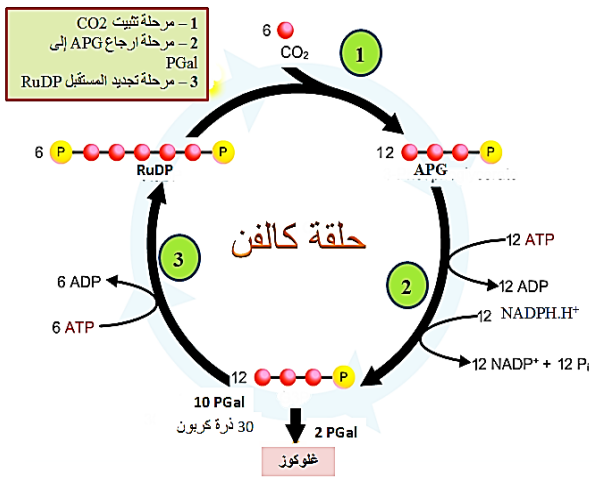
$$ADP + Pi + E \rightarrow ATP + H_2O$$

III – المرحلة الكيموحيوية :

- تحدث هذه المرحلة على مستوى الحشوة (الستروما) :

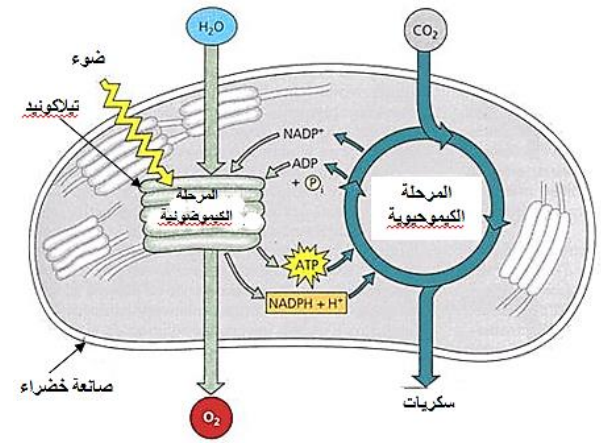
تمر بالخطوات التالية :

- يُثبت الـ CO2 على جزيئة خماسية الكربون : الريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) مشكلا مركب سداسي الكربون الذي ينشطرسريعا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفو غليسريك (APG).
- يراقب دمج الـ CO2 بأنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز.
- ينشط حمض الفوسفوغليسريك المؤكسد ثم يُرجع بواسطة ال ATPو+NADPH,H الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.
- يستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة في تجديد الـ Rudipأثناء خلال تفاعلات حلقة كالفن وبنسون.
- يستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة في تركيب السكريات سداسية الكربون ، الأحماض الأمينية ،والدسم .



التكامل بين المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية

- أثناء التركيب الضوئي يتم على مستوى الصانعات الخضراء الجمع بين:
- تفاعلات كيميوضوئية يكون مقرها التيلاكوئيد أين يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية.
- تفاعلات كيميوحيوية يكون مقرها الحشوة أين يتم إرجاع ال CO2 إلى كربون عضوي بإيتعمال الطاقة الكيميائية (ATPو $NADPH,H^+$) الناتجة من المرحلة السابقة .
- تتكامل مرحلتي التركيب الضوئي بصورة منظمة حيث :
- **توفر المرحلة الكيموضوئية** ATPو $NADPH,H^+$ الضروريتان لحدوث المرحلة الكيموحيوية.
- **توفر المرحلة الكيموحيوية** المواد الأولية ($NADP^+$,Pi ,ADP) لتركيب ATPو $NADPH,H^+$ باستقبال الإلكترونات الكيموضوئية.
- لذلك تحدث المرحلتان معا لكي يتم انتاج الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية (النشاء)



رسم تخطيطي وظيفي يبرز العلاقة بين الظواهر التي تتم في المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية

مخطط يوضح التكامل بين مرحلتي التركيب الضوئي