ملخص وحدة تحويل الطاقة الضوئية

عملية التركيب الضوئي:

-**تعريف:** هي ظاهرة حيوية يقوم بها النبات الأخضر وذلك بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة في جزيئات المواد العضوية كالنشاء.

-**المقر:** على مستوى الصانعات الخضراء.

بنية الصانعة الخضراء (البلاستيدة):

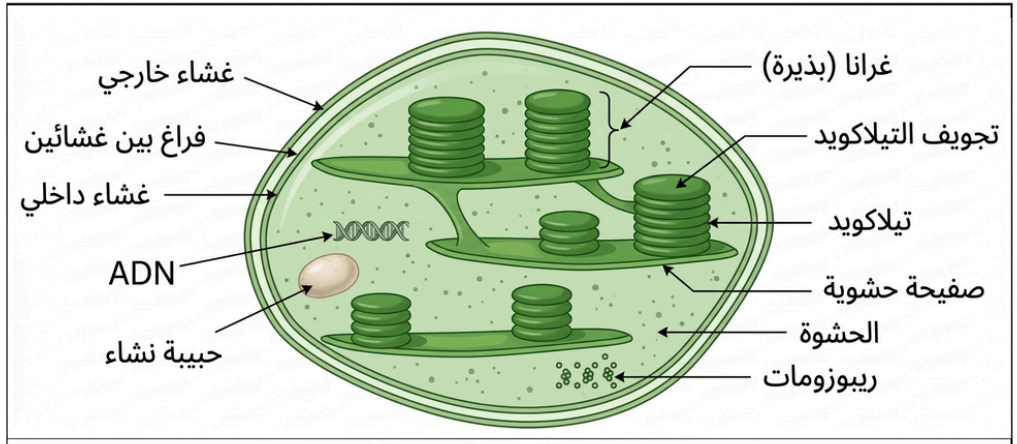
عضية ذات شكل عدسي محاطة بغلاف مكون من غشائين خارجي وداخلي بينهما فراغ، يحيط الغشاء الداخلي بتجويف تملؤه الحشوة (الستروما) والتي تحتوي على شبكة من التراكيب الغشائية بعضها طويلة تسمى صفائح حشوية، وأخرى صغيرة تسمى تيلاكوئيد (كيييسات) تتوضع فوق بعضها مشكلة غرانا (بذيرات)، كما تحتوي الحشوة على حبيبات نشوية، ADN، ريبوزومات.

تمتاز الصانعة الخضراء **ببنية حجيرية** لأنها مقسمة إلى 3 حجرات مفصولة بأغشية وهي:

-الفراغ بين الغشائين: يحدده الغشاءان (الخارجي والداخلي).

-الحشوة: يحددها الغشاء الداخلي للصانعة.

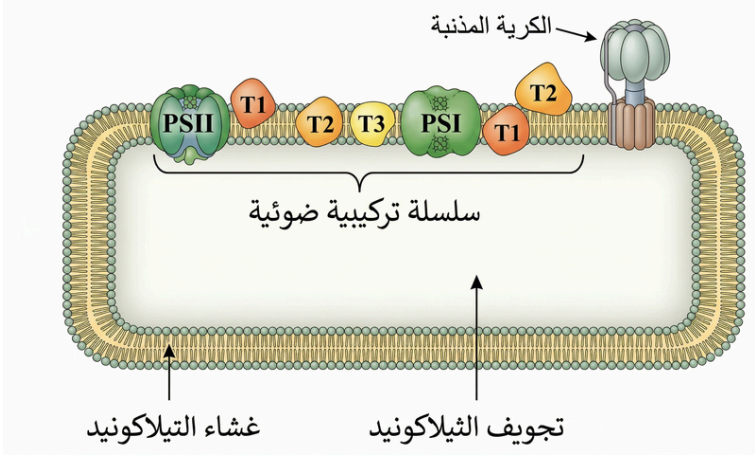
-تجويف التيلاكوئيد: يحدده غشاء التيلاكوئيد.



رسم تخطيطي لما فوق بنية الصانعة الخضراء

بنية غشاء التيلاكوئيد:

يتكون من طبقة فوسفوليبيدية مضاعفة تحتوي على نظامين ضوئيين PSII و PSI كما يتكون من نواقل للإلكترونات وإنزيم ATP سنتاز (كرية مذنبة)، حيث يتوضع النظام الضوئي PSII قبل نواقل الإلكترونات $T_1.T_2.T_3$ يليها النظام الضوئي PSI والذي تليه نواقل الإلكترونات $T`_1$-$T`_2$ ويسمى مجموع هذه العناصر بالسلسلة التركيبية الضوئية وبعدها الكرية المذنبة.



رسم تخطيطي لبنية غشاء التيلاكوئيد

خصائص النظام الضوئي (PSI و PSII):

النظام الضوئي عبارة عن معقدات بروتينية تحتوي على عدد كبير من الصبغات اليخضورية وأشباه الجزرين تكون موزعة بإنتظام وهي :

1-أصبغة هوائية: تكون بأعداد كبيرة ويرمز لها بـــ $(P_1,P_2...P_n)$ ينتمي معظمها إلى اليخضور أ – ب وجزء صغير منها إلى أشباه الجزرين.

-دورها: إستقبال الطاقة الضوئية فتتهيج مما يسمح بنقل الطاقة المكتسبة من صبغة إلى صبغة مجاورة دون فقدان الإلكترون حتى تصل إلى أصبغة مركز التفاعل عن طريق ظاهرة الرنين.

2-أصبغة مركز التفاعل: يتكون من جزئيتين من اليخضور أ فقط ويرمز لها في PSI بـــ(P_{700}) وفي PSII بـــ (P_{680})

ملخص وحدة تحويل الطاقة الضوئية

-دورها: إستقبال الطاقة التي تصل من الأصبغة الهوائية فتتهيج وتصبح (P^*_{700}) و (P^*_{680}) مما يؤدي إلى فقدانها إلكترونات غنية بالطاقة وتصبح في حالة مؤكسدة (P^+_{700}) و (P^+_{680}) (أكسدة النظام الضوئي)

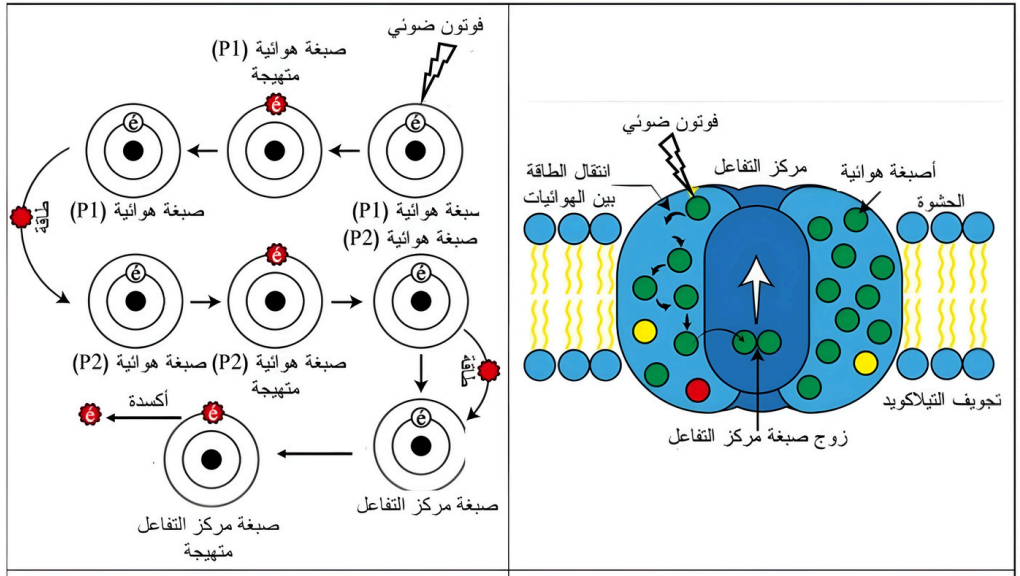
ملاحظات:

1-تأثير فوتونات الضوء على الأنظمة الضوئية: تمتص جزيئة اليخضور فوتونا ضوئيا فينتقل إلكترون أحد ذراتها من مداره الأصلي إلى مدار ذو مستوى طاقوي أعلى وتصبح جزيئة اليخضور في حالة تهيج وبعد زمن قصير:

-إذا كانت صبغة هوائية: يعود الإلكترون إلى مداره الأصلي ويحرر الطاقة التي إكتسبها.

-إذا كانت صبغة مركز التفاعل: يحرر إلكترون غني بالطاقة.

2-يمتاز النظام الضوئي PSII عن النظام PSI بوظيفة إضافية وهي تحليل الماء ضوئيا لإحتوائه على إنزيم أكسدة الماء.



مكونات النظام الضوئي	آلية عمل مكونات النظام الضوئي

مراحل عملية التركيب الضوئي:

هنالك مرحلتين أساسيتين في التركيب الضوئي وهما:

① المرحلة الكيموضوئية ← ② المرحلة الكيموحيوية

في غشاء التيلاكويد — في حشوة الصانعة الخضراء

تكون وفق المعادلة التالية:

$$12\,H_2O + 6\,CO_2 \xrightarrow[\text{ضوء}]{\text{يخضور}} C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + 6\,H_2O$$

(1) (2)

1-المرحلة الكيموضوئية:

شروط حدوث المرحلة الكيموضوئية:

-وجود الضوء (طاقة ضوئية). H_2O-

-وجود مستقبل نهائي للإلكترونات $NADP^+$. -وجود $ADP + Pi$.

سلسلة تفاعلات المرحلة الكيميوضوئية:

-في وجود الضوء تتم أكسدة النظامان الضوئيان PSI و PSII ويحرر كل منهما إلكترونيين غنيين بالطاقة ، حيث تكون معادلة أكسدة الأنظمة الضوئية كالتالي:

$$2P_{700} \xrightarrow{\text{ضوء}} 2P^+_{700} + 2\acute{e}$$

$$2P_{680} \xrightarrow{\text{ضوء}} 2P^+_{680} + 2\acute{e}$$

- أكسدة PSII تحفز الإنزيم الذي يعمل على أكسدة الماء لينطلق الأكسجين O_2 ، وإلكترونات يستقبلها PSII المؤكسد (P^+_{680}) ليستعيد حالته الأصلية والبروتونات تبقى في تجويف التيلاكوئيد.

حيث تكون معادلة أكسدة الماء كالآتي: $H_2O \longrightarrow 1/2O_2 + 2H^+ + 2\acute{e}$

ملخص وحدة تحويل الطاقة الضوئية

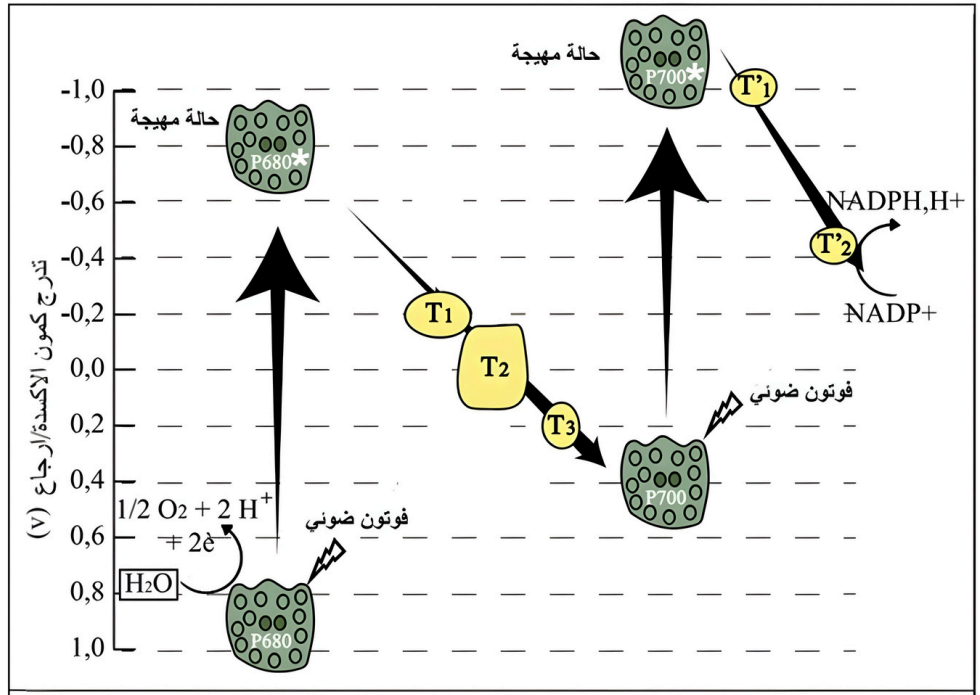
-الإلكترونات التي يفقدها PSII تنتقل عبر نواقل الإلكترونات (T_1-T_2-T_3) ليستقبلها PSI المؤكسد (P^+_{700}) ليسترجع حالته الأصلية ويعيد نشاطه.

-الإلكترونات التي يفقدها PSI تنتقل عبر نواقل الإلكترونات ($T`_1$-$T`_2$) لتستقبل من المستقبل الأخير للإلكترونات $NADP^+$ ليتم إرجاعه إلى $NADPH.H^+$ بإستخدام $2H^+$ من الحشوة وإنزيم NADP ريدوكتاز.

حيث تكون معادلة إرجاع $NADP^+$ كالآتي: $NADP^+ + 2H^+ + 2é \longrightarrow NADPH,H^+$

آلية انتقال الالكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:

-تنتقل الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تلقائيا وفق تدرج متزايد في كمون أكسدة/إرجاع أي من ناقل ذو كمون منخفض إلى ناقل ذو كمون مرتفع.



آلية إنتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية

-يستقبل PSII و PSI الطاقة الضوئية التي تؤدي إلى التهيج وإنخفاض كمون أكسدة/إرجاع لكل منهما مما يسمح بتحرير إلكترونات وأكسدتهما إلى $PSII^+$ و PSI^+ ويرتفع كمون أكسدة/إرجاع لكل منهما من أجل إسترجاع الإلكترونات المفقودة.

-يستعيد $PSII^+$ المؤكسد إلكتروناته من جزيئة الماء ذات كمون منخفض بعد أكسدتها.

-يستعيد PSI^+ المؤكسد إلكتروناته من PSII بعد مرورها عبر النواقل $T_3.T_2.T_1$ من كمون منخفض إلى كمون مرتفع.

-الإلكترونات المحررة من PSI تنتقل عبر $T_2`.T_1`$ من كمون منخفض إلى كمون مرتفع لتستقبل من طرف $NADP^+$.

ملاحظات:

-يمكن للناقل T_1 نقل الإلكترونات é والبروتونات H^+ بينما باقي النواقل تنقل الإلكترونات فقط.

- يقوم الناقل T_2 بنقل الإلكترونات كما يقوم بدور مضخة لإدخال البروتونات H^+ التي تأتي عبر T_1 من الحشوة إلى تجويف التيلاكوئيد بإستخدام الطاقة التي تحرر من الإلكترونات أثناء إنتقالها عبر النواقل.

-الفسفرة الضوئية (تركيب ATP):

-يصاحب نقل الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تراكم البروتونات في تجويف التيلاكوئيد الناتجة من أكسدة الماء بالإضافة إلى البروتونات التي يتم ضخها عبر T_2 فيتولد فرق في تركيز البروتونات بين التجويف والحشوة (تركيز H^+ في تجويف التيلاكوئيد أكبر من الحشوة).

-وجود فرق في تركيز H^+ يؤدي إلى إنتشار البروتونات على شكل سيل من التجويف الأعلى تركيز إلى الحشوة الأقل تركيز (حسب ظاهرة الميز) عبر الكرية المذنبة مؤدية إلى تحفيز إنزيم ATP سنتاز الذي يقوم بفسفرة ADP إلى ATP بإستخدام Pi وتسمى هذه العملية بالفسفرة الضوئية.

حيث تكون معادلة الفسفرة الضوئية كالآتي:

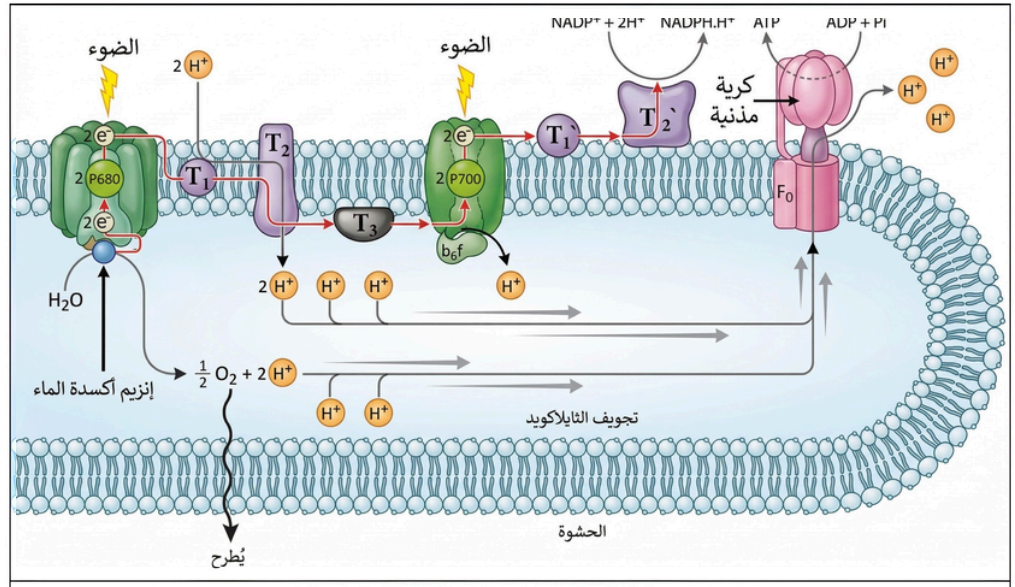
$$ADP + Pi \xrightarrow[\text{ATP سنتاز}]{\text{طاقة}} ATP$$

-**ملاحظة:** قيمة PH تعبر عن تركيز البروتونات حيث أن سلم pH يتناسب عكسيا مع تركيز البروتونات أي أنه كلما زاد تركيز H^+ إنخفضت قيمة الـ pH و العكس صحيح.

ملخص وحدة تحويل الطاقة الضوئية

نواتج المرحلة الكيموضوئية:

-إنطلاق O_2. -إرجاع المستقبل $NADP^+$ وتشكل $NADPH.^+$. - فسفرة ADP وتركيب ATP.



رسم تخطيطي لتفاعلات المرحلة الكيموضوئية

2-المرحلة الكيموحيوية:

شروط حدوث المرحلة الكيموحيوية:

-توفر CO_2. -نواتج المرحلة الكيميوضوئية ($NADPH.H^+$ / ATP).

سلسلة تفاعلات المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن):

-يُثبت الـــ CO_2 على جزيئة خماسية الكربون (C5) (Rudip) لينتج مركب سداسي الكربون ينشطر لجزيئتين من مركب ثلاثي الكربون (C3) هو (APG).

-يتم دمج الـــ CO_2 بتدخل إنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز(Rubisco) .

-يتم فسفرة (APG) إلى مركب ثلاثي الكربون (C3) هو (ADPG) بإماهة ATP إلىADP.

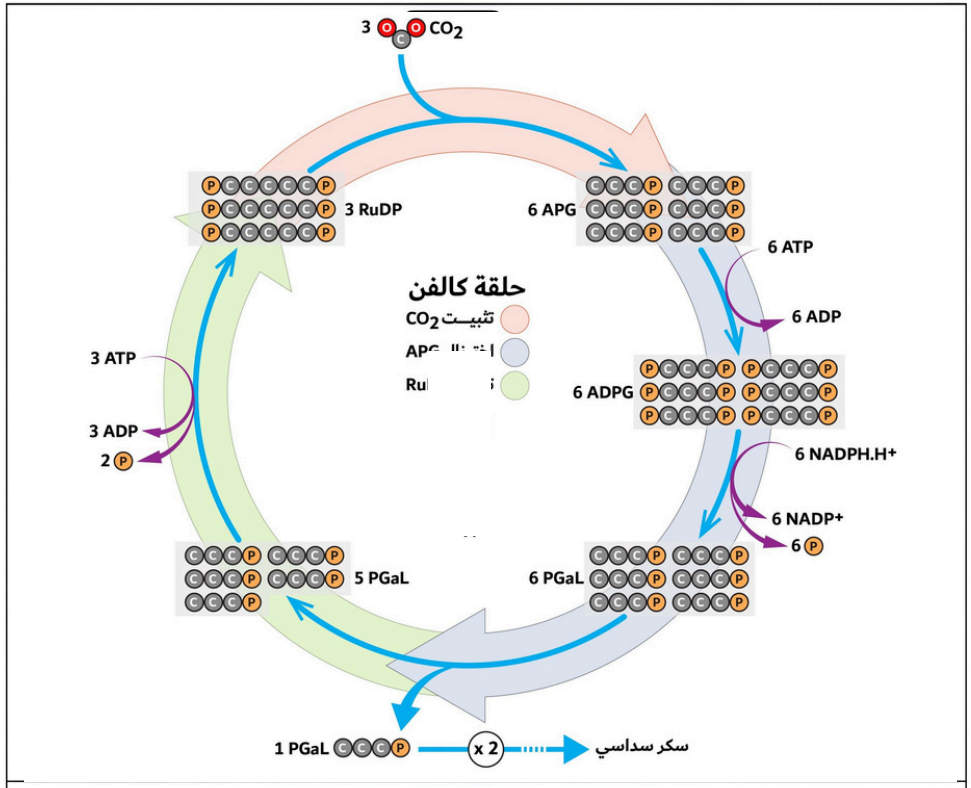
-يتم إرجاع (ADPG) لينتج مركب ثلاثي الكربون (C3) (PGal) بأكسدة $NADPH.H^+$ إلى $NADP^+$.

-يستخدم جزء من (PGal) في تجديد (RuDP) بإماهة المزيد من ATP إلىADP والجزء الآخر يستعمل في تركيب (إنتاج) سكريات سداسية الكربون (مادة عضوية $C_6H_{12}O_6$).

-تتم تفاعلات المرحلة الكيموحيوية في شكل سلسة حلقية لذلك تسمى حلقة كالفن نسبة للعالم الذي إكتشفها.

نواتج المرحلة الكيموحيوية:

-تركيب سكريات (غلوكوز). -تجديد $NADP^+$. -ADP+Pi.



تفاعلات المرحلة الكيموحيوية (حلقة كالفن)

ملخص وحدة تحويل الطاقة الضوئية

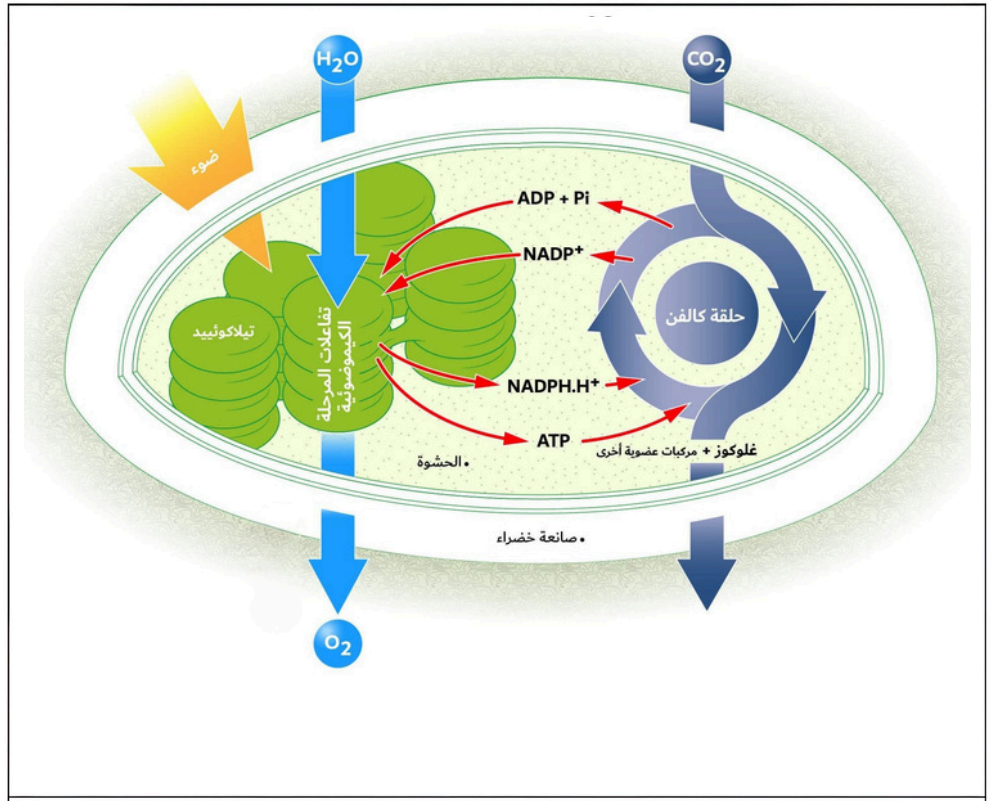
التكامل بين المرحلة الكيميوضوئية والمرحلة الكيميوحيوية:

- أثناء حدوث عملية التركيب الضوئي في الصانعة الخضراء يتم الجمع والتكامل بصورة منظمة بين تفاعلات المرحلة الكيموضوئية وتفاعلات المرحلة الكيموحيوية حيث:

- المرحلة الكيموضوئية: توفر ATP و $NADPH.H^+$ اللذان يعتبران من شروط حدوث المرحلة الكيموحيوية.

- المرحلة الكيموحيوية :توفر (تجديد) المواد الأولية ADP+Pi و $NADP^+$ اللذان يعتبران من شروط المرحلة الكيموضوئية.

-وهكذا تحدث المرحلتان معا بشكل متكامل لكي يتم إنتاج المواد العضوية التي تحمل طاقة كيميائية كامنة.



رسم تخطيطي للعلاقة بين المرحلة الكيموضوئية والمرحلة الكيموحيوية

المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية:

$$12H_2O + 12NADP^+ + 18ADP + 18Pi \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} 6O_2 + 12NADPH^+.H^+ + 18ATP$$

المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموحيوية:

$$6CO_2 + 12NADPH^+.H^+ + 18ATP \longrightarrow \text{غلوكوز} + 12NADP^+ + 18ADP + 18Pi + 6H_2O$$

معادلة التركيب الضوئي:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$