

✓ تأثير ألوان الطيف على عمل التيلاكويد:

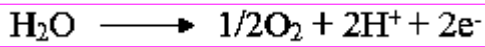
- يتكون الضوء الأبيض المرئي من سبعة أطيف تتغير أطوال موجاتها من 400 الى 700 نانو متر وهي على الترتيب: أزرق، بنفسجي، نيلي، أخضر، أصفر، برتقالي، أحمر.
- تمتص جزئيات اليخضور الاطيف بشدات مختلفة، فهي كبيرة في الاطيف الطرفية (أزرق وبنفسجي، أحمر) وقليلة في الاطيف الوسطية (أصفر، برتقالي) وتقريبا منعدمة في الأخضر.
- يكون توافق تام بين نسبة الامتصاص وشدة التركيب الضوئي، مما يدل أن الاطيف الأكثر امتصاصا هي الأكثر فعالية في عملية التركيب الضوئي.

- تأثير ألوان الطيف على عمل التيلاكويد: الوثيقة (2) ص 181.

✓ آلية عمل التيلاكويد:

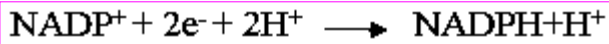
- أكسدة الماء:

أثناء المرحلة الكيموضوئية تتم أكسدة الماء لينتج عنه انطلاق O₂ حسب المعادلة التالية:



- ارجاع مستقبل الإلكترونات:

يتمثل في NADP⁺ وهو مرافق انزيمي ينقل الإلكترونات والبروتونات ويعتبر المستقبل الأخير للإلكترونات ويتم ارجاعه حسب المعادلة:



✓ دور اليخضور والضوء في عمل التيلاكويد:

- تجربة التفلور (الاستشعاع):

يؤدي تعريض جزئيات يخضور للضوء الى انتقالها من الحالة الاصلية الى حالة التهيج حيث يكتسب الكترون من جزيئة اليخضور طاقة ضوئية فينتقل من مداره الأصلي الى مدار أعلى وتصبح في حالة تهيج، بعد زمن قصير يعود الكترون الى مداره الأصلي ويحرر الطاقة التي اكتسبها على شكل حرارة واشعاعات حمراء (عودة الى حالة اصلية).

- تفسير ظاهرة التفلور: الوثيقة (5) ص 184.

- آلية عمل الأنظمة الضوئية:

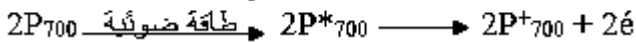
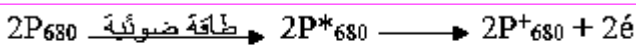
يتكون النظام الضوئي من نوعين من نوعين من الاصبغة هي:

* أصبغة هوائية:

تكون بأعداد كبيرة ويرمز لها بـ (P₁, P₂... P_n) دورها استقبال الطاقة الضوئية فتتهيج مما يسمح بنقل الطاقة المكتسبة من صبغة الى صبغة مجاورة دون فقدان الإلكترون حتى تصل الى أصبغة مركز التفاعل.

* أصبغة مركز التفاعل:

يتكون من جزئيتين من اليخضور فقط ويرمز لها في PSI بـ (P₇₀₀) وفي PSII بـ (P₆₈₀) ودورها استقبال الطاقة التي تصل من الأصبغة الهوائية فتتهيج وتصبح (P⁺₇₀₀) و (P⁺₆₈₀) مما يؤدي إلى فقدانها الكترونات غنية بالطاقة وتصبح في حالة مؤكسدة (P⁺₇₀₀) و (P⁺₆₈₀) حسب المعادلات التالية:



- دور الاصبغة الهوائية وأصبغة مركز التفاعل: الوثيقة (7+6) ص 185.

- حالة أصبغة مركز التفاعل في النظام الضوئي: الوثيقة (9+8) ص 186.

تذكير بالمكتسبات

- تعريف عملية التركيب الضوئي: هي ظاهرة حيوية يتم فيها تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة في جزئيات المواد العضوية ومقرها على مستوى الصانعات الخضراء.
- شروطها: يجب توفر الشروط التالية:
- اليخضور. - الضوء. - CO₂. - الماء والاملاح المعدنية.
- مظاهرها: تتمثل في: امتصاص CO₂ وطرح O₂ وتركيب مادة عضوية.
- معادلة التركيب الضوئي:



مقر عملية التركيب الضوئي

✓ وصف بنية الصانعة الخضراء:

- عضبة ذات شكل بيضوي محاطة بغلاف مكون من غشاءين خارجي وداخلي يحيط بسائل يسمى المادة الأساسية (الحشوة، ستروما) والتي تحتوي على شبكة من التراكيب الغشائية بعضها طويلة تسمى صفائح حشوية، وأخرى صغيرة تسمى كيبسيات او تيلاكويد تتوضع فوق بعضها مشكلة غرانا (بذيرات)، كما تحتوي الحشوة على حبيبات نشوية، ADN، ريبوزومات.
- تمتاز الصانعة الخضراء ببنية جبرية لأنها مقسمة الى 3 حجرات مفصولة بأغشية وهي:

* الفراغ بين الغشاءين: يحدده الغشاءان (الخارجي والداخلي).

* الحشوة: يحددها الغشاء الداخلي للصانعة.

* تجويف التيلاكويد: يحدده غشاء التيلاكويد.

- بنية الصانعة الخضراء: الوثيقة (1) ص 177.

✓ طبيعة تفاعلات عملية التركيب الضوئي:

- يبين التحليل الكيميائي لمكونات الصانعة الخضراء وجود اختلاف في التركيب الكيميائي بين أغشية التيلاكويد والحشوة، مما يدل ان لهما وظائف مختلفة في عملية التركيب الضوئي.
- التركيب الكيميائي لعناصر الصانعة الخضراء: جدول ص 177.

■ عملية التركيب الضوئي هي تفاعلات أكسدة وإرجاع حيث:

* أكسدة الماء يتم على مستوى غشاء التيلاكويد، ويتطلب وجود ضوء ويخضور ويتم انطلاق O₂ وتسمى المرحلة الكيموضوئية.

* إرجاع CO₂ يتم على مستوى الحشوة، ويتطلب توفر CO₂ ويتم خلاله تركيب مادة عضوية وتسمى المرحلة الكيميوحيوية.

- معادلة التركيب الضوئي ص 179.

تفاعلات المرحلة الكيموضوئية

✓ بنية غشاء التيلاكويد:

يتكون من طبقة فوسفوليبيدية مضاعفة تحتوي على نظامين ضوئيين PSI و PSII وهي عبارة عن معقدات بروتينية تحتوي على عدد كبير من الأصبغة (اليخضور وأشباه الجزرين). كما يتكون من نواقل للإلكترونات وانزيم ATP سنتاز (كرية مذنب). ويسمى مجموع هذه العناصر بالسلسلة التركيبية الضوئية.

- تموضع مكونات غشاء التيلاكويد: الوثيقة (2) ص 178.

✓ شروط عمل التيلاكويد:

ينتج من عمل التيلاكويد انطلاق O₂ وتتمثل شروطه في:

* وجود الضوء (طاقة ضوئية).

* وجود مستقبل للإلكترونات.

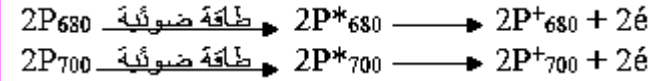
* وجود ADP + Pi.

* وجود CO₂ يعتبر شرط لاستمرار انطلاق O₂.

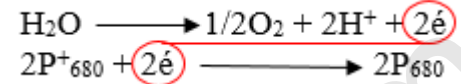
✓ تسلسل تفاعلات المرحلة الكيميائية الضوئية:

- انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:

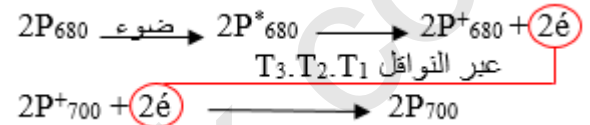
- في وجود الضوء تتم أكسدة النظامان الضوئيان PSI و PSII ويحرر كل منهما إلكترونين غنيين بالطاقة.



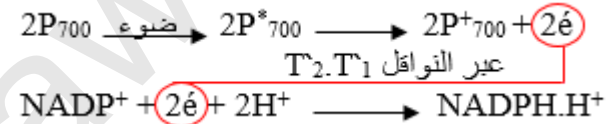
- أكسدة PSII يحفز الانزيم الذي يعمل على أكسدة الماء لينتج O_2 يطرح، والإلكترونات يستقبلها PSII المؤكسد (P^{+}_{680}) ليستعيد حالته الأصلية والإلكترونات تبقى في تجويف الثيلاكويد.



- 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 ارجاعه الى $NADPH.H^{+}$ باستخدام $2H^{+}$ من الحشوة.



- آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:

■ تنتقل الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية تلقائياً وفق تدرج متزايد في كمون أكسدة/ارجاع أي من ناقل ذو كمون منخفض الى ناقل ذو كمون مرتفع ويؤدي هذا الى فقدان تدريجي لطاقة الإلكترون.

■ يستقبل PSII و PSI الطاقة الضوئية التي تؤدي الى التهييج وانخفاض كمون أكسدة/ارجاع لكل منهما مما يسمح بتحرير الإلكترونات وأكسدتهما الى $PSII^{+}$ و PSI^{+} ويرتفع كمون أكسدة/ارجاع لكل منهما من اجل استرجاع الإلكترونات المفقودة.

■ يستعيد $PSII^{+}$ المؤكسد الإلكترونات من جزيئة الماء ذات كمون منخفض بعد أكسدتها.

■ يستعيد PSI^{+} المؤكسد الإلكترونات من PSII بعد مرورها عبر النواقل T_3, T_2, T_1 من كمون منخفض الى كمون مرتفع.

■ الإلكترونات المحررة من PSI تنتقل عبر T_1, T_2 من كمون منخفض الى كمون مرتفع لتستقبل من طرف $NADP^{+}$.

- آلية انتقال الإلكترونات في السلسلة التركيبية الضوئية:

الوثيقة (10) ص 188.

- ملاحظة:

- يمكن للنواقل T_1 نقل الإلكترونات e^{-} 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 الى تجويف الثيلاكويد باستخدام الطاقة التي تحرر من الإلكترونات اثناء انتقالها عبر النواقل.

✓ الفسفرة الضوئية (تركيب ATP):

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

- وجود فرق في تركيز H^{+} يؤدي الى خروجها من التجويف الأعلى تركيز الى الحشوة الأقل تركيز عبر الكرية المذنبة مؤدية الى تحفيز الانزيم الذي يقوم بفسفرة ADP الى ATP باستخدام Pi وتسمى هذه العملية بالفسفرة الضوئية.

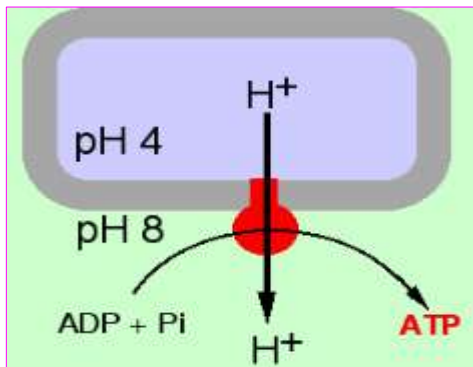


- شروط تركيب الـ ATP:

- وجود فرق في تركيز البروتونات بين تجويف الثيلاكويد والحشوة حيث يكون تجويف الثيلاكويد أكثر تركيز من الحشوة.

- وجود وسلامة الكرية المذنبة (ATP Synthase).

- توفر ADP و P_i .



- ملاحظة:

- قيمة (PH) تعبر عن تركيز البروتونات حيث أن سلم pH يتناسب عكسياً مع تركيز البروتونات أي أنه كلما زاد تركيز H^{+} انخفضت قيمة الـ PH والعكس صحيح.

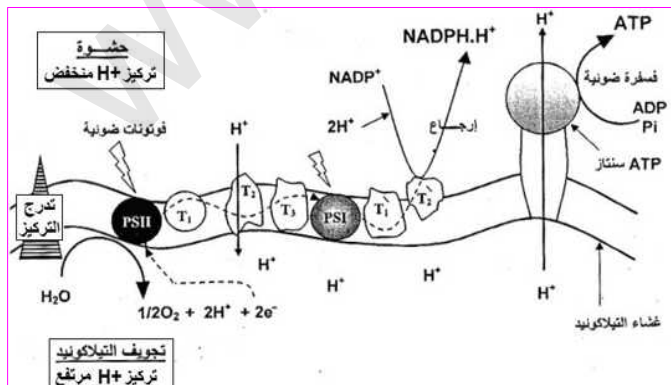
✓ نواتج المرحلة الكيميائية الضوئية:

- أكسدة الماء وانطلاق O_2 .

- ارجاع المستقبل $NADP^{+}$ وتشكل $NADPH.H^{+}$.

- فسفرة ADP وتركيب ATP.

* رسم تخطيطي للظواهر الفيزيولوجية التي تظهر على مستوى الثيلاكويد خلال المرحلة الكيميائية الضوئية: - وثيقة ص 199 -



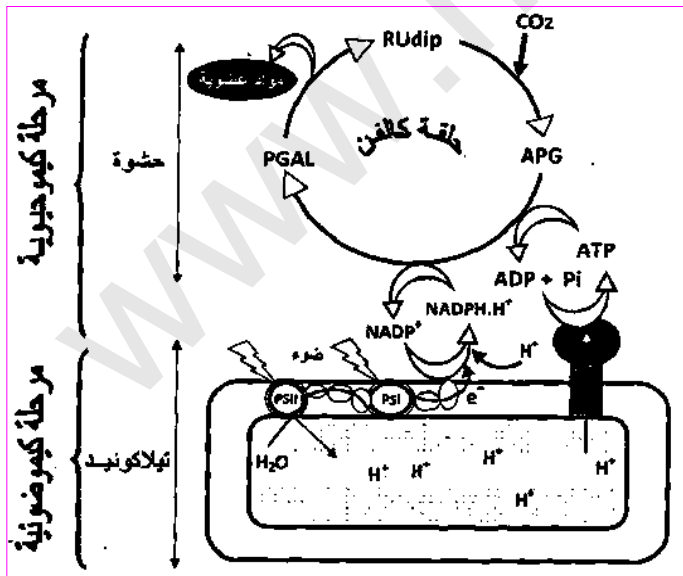
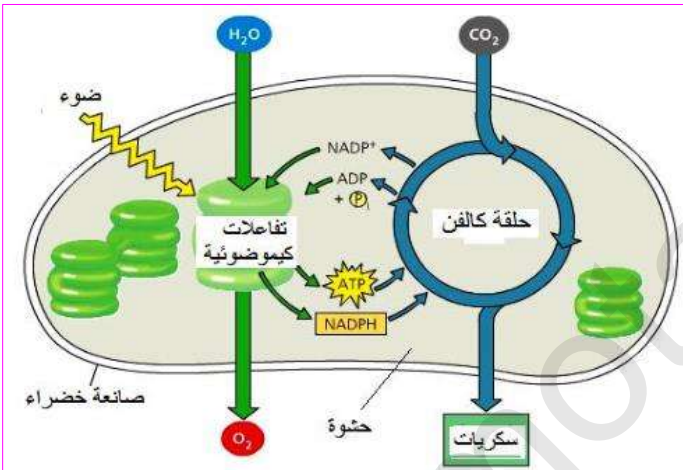
التكامل بين المرحلة الكيميوضوئية والمرحلة الكيميوحيوية

- اثناء حدوث عملية التركيب الضوئي في الصانعة الخضراء يتم الجمع والتكامل بصورة منظمة بين تفاعلات المرحلة الكيميوضوئية وتفاعلات المرحلة الكيميوحيوية حيث:

* **المرحلة الكيميوضوئية:** توفر ATP و NADPH.H^+ للذان يعتبران من شروط حدوث المرحلة الكيميوحيوية.

* **المرحلة الكيميوحيوية:** توفر (تجديد) المواد الأولية $\text{ADP} + \text{Pi}$ و NADP^+ للذان يعتبران من شروط المرحلة الكيميوضوئية. * وهكذا تحدث المرحلتان معا بشكل متكامل لكي يتم انتاج المواد العضوية التي تحمل طاقة كيميائية كامنة.

- **رسم تخطيطي يوضح التكامل بين المرحلتين الكيميوضوئية والكيميوحيوية:** الوثيقة (5) ص 196.



تفاعلات المرحلة الكيميوحيوية

تتم في الحشوة وتسمح بتثبيت CO_2 وإنتاج جزيئات عضوية.

✓ **تثبيت غاز CO_2 :**

تتمثل شروط دمج غاز CO_2 : في:

* توفر CO_2 .

* نواتج المرحلة الكيميوضوئية.

* يعتبر الضوء شرط لاستمرار تثبيت CO_2 .

✓ **آلية دمج (إرجاع) غاز CO_2 :**

■ يُثبت الـ CO_2 على جزيئة خماسية الكربون (5C) الريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) لينتج جزيئتين من مركب ثلاثي الكربون (3C) هو حمض الفوسفو غليسريك (APG).
- يتم دمج الـ CO_2 بتدخل إنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز (Rubisco).

■ يتم فسفرة APG الى مركب ثلاثي الكربون (3C) هو حمض ثنائي فوسفو غليسريك (ADPG) بإمالة ATP الى ADP.
■ يتم ارجاع وإزالة فسفرة لـ ADPG لينتج مركب ثلاثي الكربون (3C) هو فوسفو غليسريد (PGal) مع اكسدة NADPH.H^+ الى NADP^+ .

■ يستخدم جزء من PGal في تركيب السكريات والجزء الآخر يستعمل لتجديد RuDP ويتم خلاله إمالة ATP الى ADP.
■ تتم تفاعلات المرحلة الكيميوحيوية في شكل سلسلة حلقية لذلك تسمى حلقة كلفن نسبة الى العالم الذي اكتشفها.

- **مراحل حلقة كلفن:** الوثيقة (4) ص 195.

- **العلاقة بين APG و RuDP:**

إن المركبين يتحولان إلى بعضهما ضمن حلقة يتطلب استمرارها توفر CO_2 والضوء بحيث RuDP يتحول إلى APG بعد تثبيته لـ CO_2 و APG يجدد RuDP باستعمال نواتج المرحلة الكيميوضوئية.

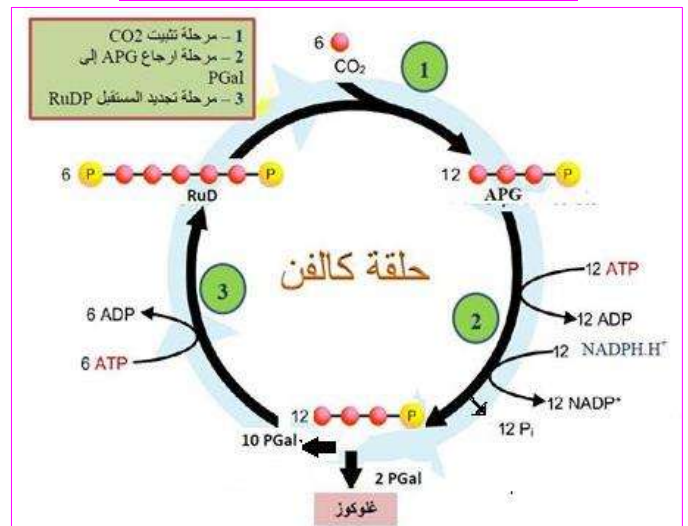
* في الحالة العادية في وجود CO_2 والضوء تكون سرعة التحول مساوية لسرعة التركيب لكل منهما.

* في غياب CO_2 ووجود الضوء يحدث تراكم RuDP بسبب توقف تحويله واستمرار تركيبه، وانخفاض APG بسبب توقف تركيبه واستمرار تحويله.

* في وجود CO_2 وغياب الضوء يحدث انخفاض RuDP بسبب توقف تركيبه واستمرار تحويله، وارتفاع APG بسبب توقف تحويله واستمرار تركيبه.

- **العلاقة بين APG و RuDP:** الوثيقة (3) ص 194.

- **مخطط يبين مراحل تفاعلات حلقة كلفن -**



- مخطط تحصيلي يوضح آليات تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنة (التركيب الضوئي) -

