منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

المجال التعلمي 2: تحويل الطاقة على مستوى ما فوق البنية الخلوية.

الوحدة التعلمية 1: آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة.

الحصة التعلمية 1: مقر التركيب الضوئي ومراحله.

وضعية الإنطلاق: (التذكير بالمكتسبات)

تقوم النباتات الخضراء بتركيب المادة العضوية بظاهرة التركيب الضوئي، حيث تتم مجموع تفاعلاتها الكيميائية داخل الصانعة الخضراء وفق المعادلة الإجمالية التالية:

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

التعليمات:

1. حدّد شروط عملية التركيب الضوئي.
2. حدّد شكل الطاقة المحولة والناتجة في عملية التركيب الضوئي.

الإجابة:

1. شروط عملية التركيب الضوئي هي: الضوء، اليخضور، غاز CO_2 والماء (H_2O).
2. شكل الطاقة المحولة هو طاقة ضوئية، وشكل الطاقة الناتجة هو طاقة كيميائية كامنة.

المشكلة: ما هي آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة؟

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

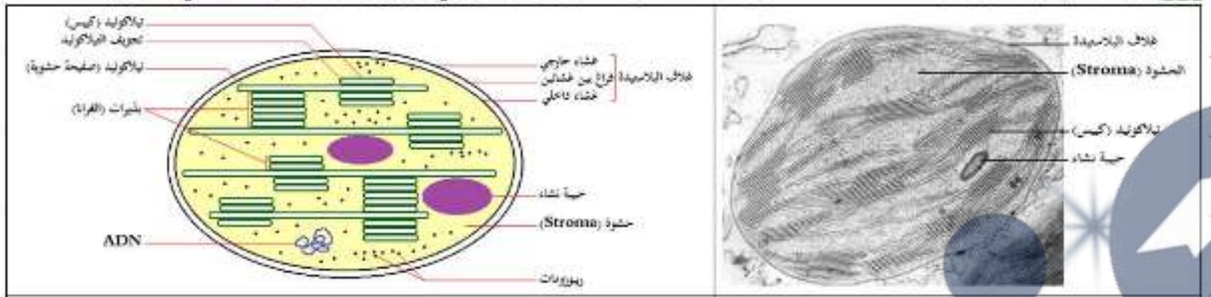
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

1. مقر التركيب الضوئي، طبيعة تفاعلاته ومراحله:

لتحديد مقر التركيب الضوئي، طبيعة تفاعلاته ومراحله، نُقترح عليك الدراسات التالية:

تمثل الوثيقة (1) ما فوق بنية الصانعة الخضراء كما يظهرها المجهر الإلكتروني، إلى جانب رسم تخطيطي تفسيري لها.



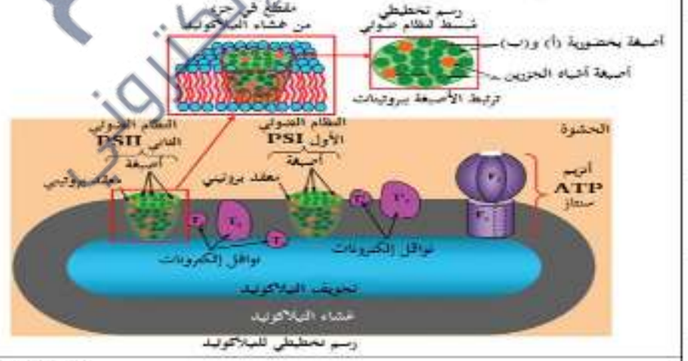
الشكل (أ) | الشكل (ب)

الوثيقة (1)

تمثل الوثيقة (2) جدول لمعطيات حول التركيب الكيموحيوي لكل من الأغشية التيلاكوئيدية والحشوة للصانعة الخضراء.

الأغشية التيلاكوئيدية	الحشوة
– نظامان ضوئيان PSI وPSII بحسب أصبغة التركيب الضوئي (أصبغة خضورية (أ) و(ب)، أصبغة أشباه الجزرين).	– مواد أيضية وسطية لتركيب المواد العضوية.
– نواقل إلكترونات.	– مرافقات إنزيمية (نواقل بروتونات: $NADP^+$ و NADPH).
– أنزيم ATP سنتاز (الكرية المذنبة).	– ATP، ADP وPi.
	– أنزيمات منوعة (كأنزيم ريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز Rubisco).

ملاحظة: يكون توضع مكونات غشاء التيلاكويد كما هو موضح في الرسم التخطيطي التالي.

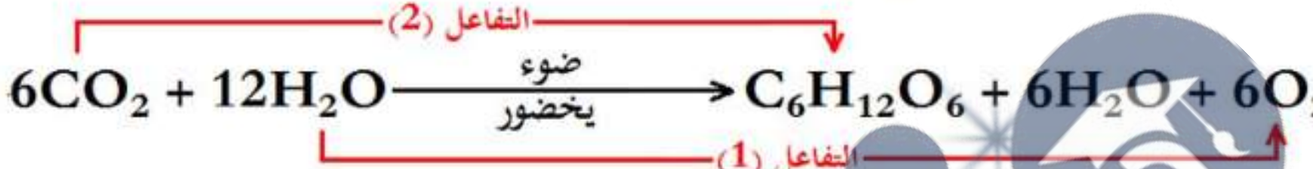


الوثيقة (2)

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

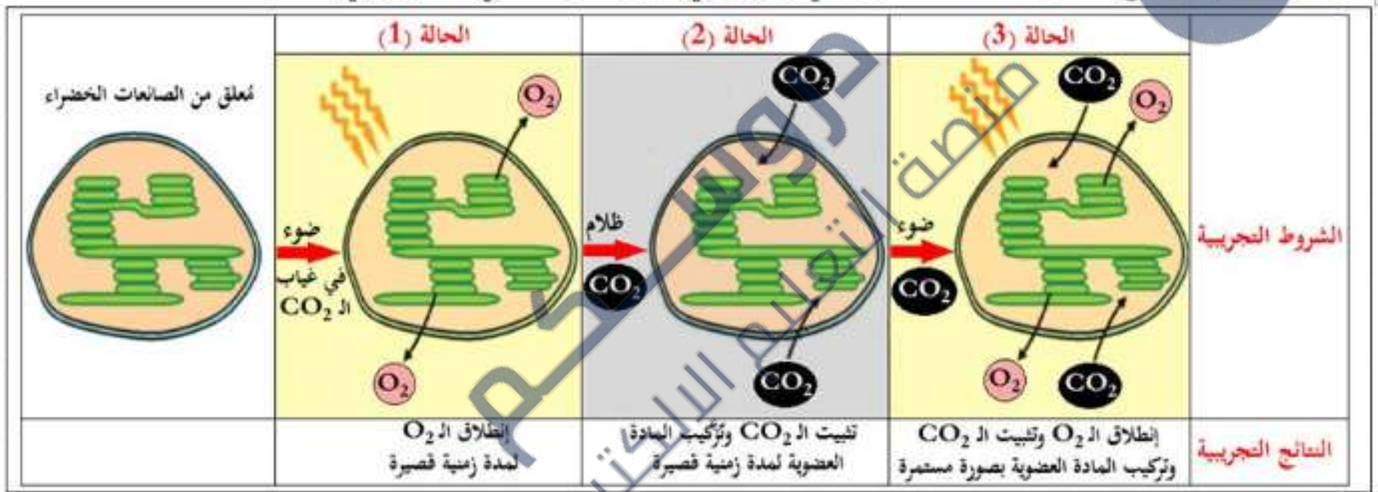
منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إن تفاعلات الأكسدة والإرجاع هي تفاعلات كيميائية يحدث خلالها إنتقال الإلكترونات بين مُعط للإلكترونات (مُرجع) ومُستقبل للإلكترونات (مُؤكسِد)، تمثل الوثيقة (3) المعادلة الكيميائية الإجمالية لعملية التركيب الضوئي.



الوثيقة (3)

تمثل الوثيقة (4) نتائج حضن صانعات خضراء في وجود وفي غياب الـ CO_2 في الضوء وفي الظلام.



الوثيقة (4)

التعليمة:

- بَيّن مقر التركيب الضوئي، طبيعة تفاعلاته ومراحله وذلك **بإستغلالك** للوثائق (1)، (2)، (3) و(4).

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الإجابة:

تبيان مقر التركيب الضوئي، طبيعة تفاعلاته ومراحله:

إستغلال الوثيقة (1): تمثل الوثيقة (1) ما فوق بنية الصانعة الخضراء كما يظهرها المجهر الإلكتروني، إلى جانب رسم تخطيطي تفسيري لها، حيث نلاحظ:

- أن الصانعة الخضراء (أو البلاستيدة) عضية خلوية يحيط بها **غلاف بلاستيدي** مُكوَّن من **غشائين (خارجي وداخلي)** بينهما فراغ (فضوة)، يُحدد الغشاء الداخلي المادة الأساسية (**الحشوة أو ستروما Stroma**) التي تحتوي على تراكيب غشائية داخلية تُشكل أكياس مُسطحة تُعرف **بالتيلاكوئيد** والتي نُميّز فيها (**الكيسات والصفائح الحشوية**)، تصطف الكيسات فوق بعضها البعض مُكوّنة تراكيب تُدعى **بالبذيرات (أو الغرانا)**، تتكون التيلاكوئيدات من **غشاء التيلاكوئيد** الذي يحيط بتجويف يدعى **بتجويف التيلاكوئيد**، كما تحتوي الصانعات الخضراء على **ADN**، **ريبوزومات**، **حبيبات نشاء**.

الإستنتاج:

للصانعة الخضراء بنية **حجيرية منظمة** كالآتي:

- تراكيب غشائية داخلية تُشكل أكياس مُسطحة: **التيلاكوئيد**.
- **تجويف داخلي: الحشوة**، مُحددة بغشاء بلاستيدي داخلي، يُضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي، يفصل الغشاءين فضوة بين الغشائين.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إستغلال الوثيقة (2): تمثل الوثيقة (2) جدول لمعطيات حول التركيب الكيموحيوي لكل من الأغشية التيلاكوئيدية والحشوة للصانعة الخضراء، حيث نلاحظ:

- أن الأغشية التيلاكوئيدية تحوي نظامين ضوئيين PSI وPSII بهما أصبغة التركيب الضوئي (أصبغة يخضورية، أصبغة أشباه الجزرين)، نواقل إلكترونات وأنزيم ATP سنتاز (الكرية المذنبة).
- أن الحشوة تحوي مواد أيضية وسطية لتركيب المواد العضوية، نواقل البروتونات (مرافقات أنزيمية)، (ATP، ADP وPi) وأنزيمات متنوعة.

الإستنتاج: تتميز الصانعة الخضراء بتركيب كيموحيوي مُتباين ما يؤكد الدور المختلف لكل من أغشية التيلاكوئيد والحشوة.

إستغلال الوثيقة (3): تمثل الوثيقة (3) المعادلة الكيميائية الإجمالية لعملية التركيب الضوئي، حيث نلاحظ:

- أن التفاعل (1) هو تفاعل أكسدة (أكسدة الماء أدى إلى إنطلاق الـ O_2).

$$12H_2O \longrightarrow 6O_2 + 24H^+ + 24e^-$$

- وأن التفاعل (2) فهو تفاعل إرجاع (إرجاع الـ CO_2 بواسطة هيدروجين الماء أدى إلى تشكل مادة عضوية).

$$6CO_2 + 24H^+ + 24e^- \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

الإستنتاج: طبيعة تفاعلات ظاهرة التركيب الضوئي هي تفاعلات أكسدة وإرجاع.

إستغلال الوثيقة (4): تمثل الوثيقة (4) نتائج حضن صانعات خضراء في وجود وفي غياب الـ CO_2 في الضوء وفي الظلام، حيث نلاحظ:

- في الحالة 1: عند تعريض معلق الصانعات الخضراء للضوء وفي غياب الـ CO_2: إنطلاق الـ O_2 لمدة زمنية قصيرة.
- في الحالة 2: عند وضع معلق الصانعات الخضراء في الظلام وفي وجود الـ CO_2: تثبيت الـ CO_2 وتركيب المادة العضوية لمدة زمنية قصيرة.
- في الحالة 3: عند تعريض معلق الصانعات الخضراء للضوء وفي وجود الـ CO_2: إنطلاق الـ O_2 وتثبيت الـ CO_2 وتركيب المادة العضوية بصورة مستمرة.

الإستنتاج: يتم التركيب الضوئي في مرحلتين:

- مرحلة كيموضوئية تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها طرح الـ O_2.
- مرحلة كيموحيوية لا تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها إرجاع (تثبيت) الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية.

ومنه:

يتم التركيب الضوئي على مستوى الصانعات الخضراء التي لها بنية حجرية منظمة.
طبيعة تفاعلاته أكسدة وإرجاع.
يتم التركيب الضوئي في مرحلتين:
- مرحلة كيموضوئية تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها طرح الـ O_2، تحدث على مستوى التيلاكوئيد.
- مرحلة كيموحيوية لا تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها إرجاع (تثبيت) الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية، تحدث على مستوى الحشوة.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

2. المرحلة الكيموضوئية:

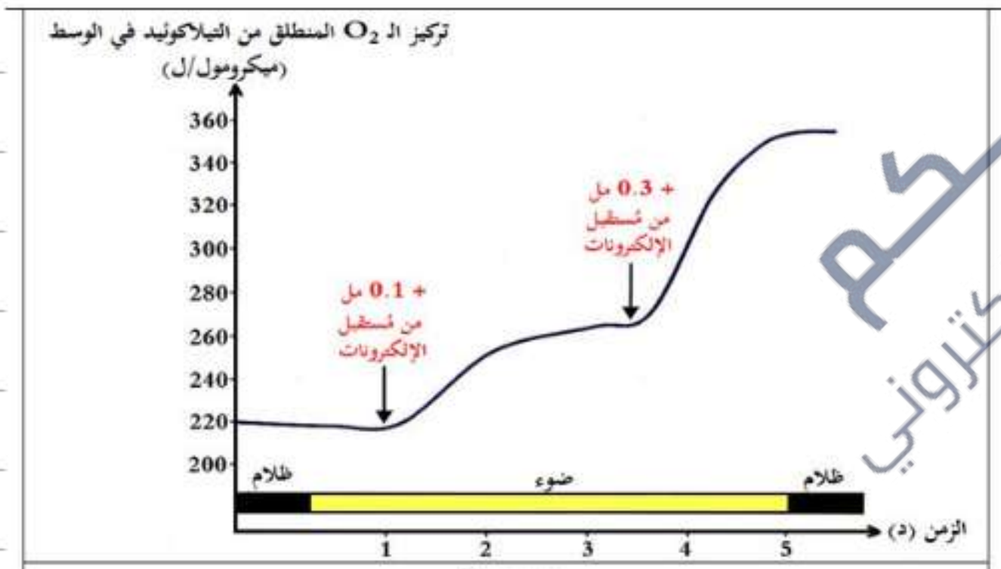
تحدث المرحلة الأولى من التركيب الضوئي (المرحلة الكيموضوئية) على مستوى التيلاكوئيد، والتي تتطلب وجود الضوء، **فما هي آلية المرحلة الكيموضوئية؟**

لتحديد شروط عمل التيلاكوئيد، تُقترح عليك الدراسات التالية:

تجربة هيل (Hill): تم تحضير مُعلق من التيلاكوئيدات المعزولة في شروط تجريبية مختلفة (ضوء، ظلام)، حيث أُضيف للوسط كاشف **Hill** = فيروسيانور البوتاسيوم $K_3Fe(CN)_6$ بتركيز (0.1 مل ثم 0.3 مل) الذي يقوم بدور **مُستقبل إصطناعي** للإلكترونات بدل المستقبل الطبيعي الموجود داخل الصانعة الخضراء في فترة الإضاءة. يكون لون الكاشف **بني مُحمر في الحالة المؤكسدة (Fe^{3+})** و**أخضر في الحالة المُرجعة (Fe^{2+})**.

لُوحظ بعد حقن الكاشف تغير لون محلول الوسط من البني المحمر إلى الأخضر حسب التفاعل التالي: $Fe^{2+} \longrightarrow Fe^{3+} + e^-$

الشروط التجريبية ونتائجها موضحة في **الوثيقة (5)**.



الوثيقة (5)

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

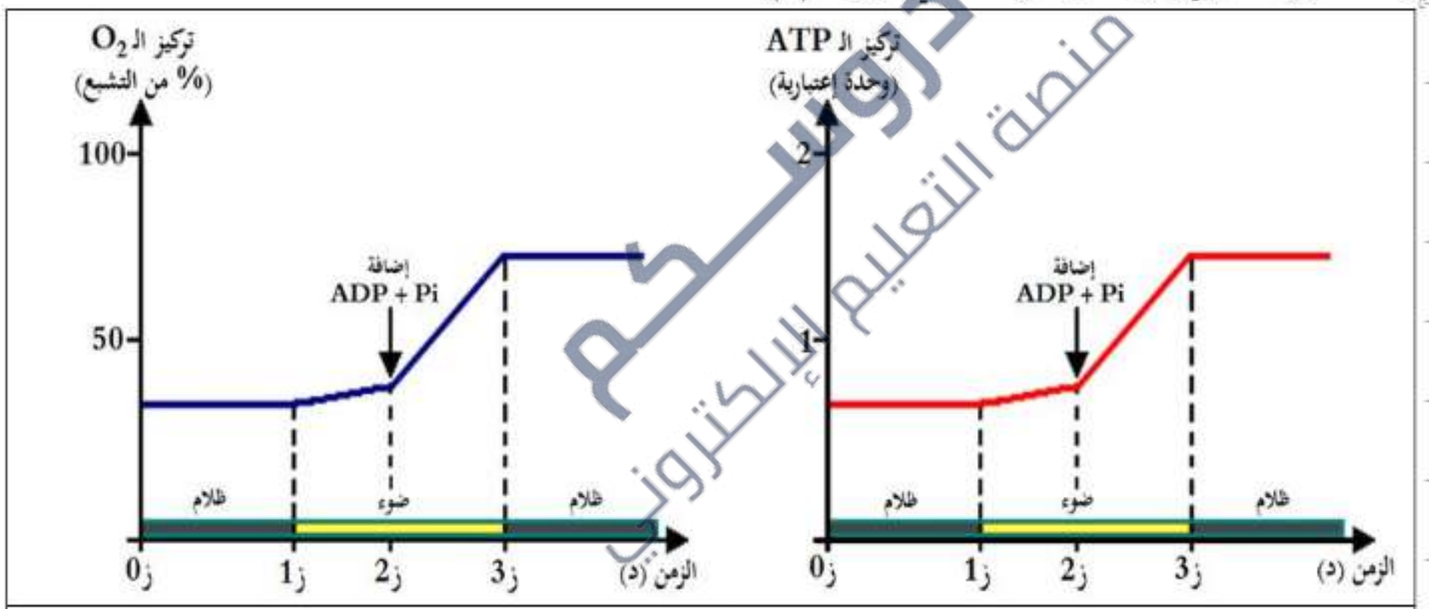
منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

يُلخّص **جدول الوثيقة (6)** شروط ونتائج تجريبية لوسطين مختلفين.

رقم الوسط	الشروط التجريبية	النتائج التجريبية
1	تزويد طحلب أخضر معرض للضوء بـ CO_2 أوكسجينه O^{18} مشع + H_2O عادي	O_2 المنطلق غير مُشع
2	تزويد طحلب أخضر معرض للضوء بـ CO_2 عادي + H_2O أوكسجينه O^{18} مشع	O_2 المنطلق مُشع

الوثيقة (6)

تم قياس تركيز كل من الـ O_2 و ATP في معلق من الصانعات الخضراء في شروط تجريبية مناسبة قبل وبعد حقن الـ ADP و Pi، الشروط التجريبية ونتائجها موضّحة في **الوثيقة (7)**.



الوثيقة (7)

لتحديد آلية المرحلة الكيموضوئية، تفاعلاته الأساسية ونواتجها، تُقترح عليك الدراسات التالية:

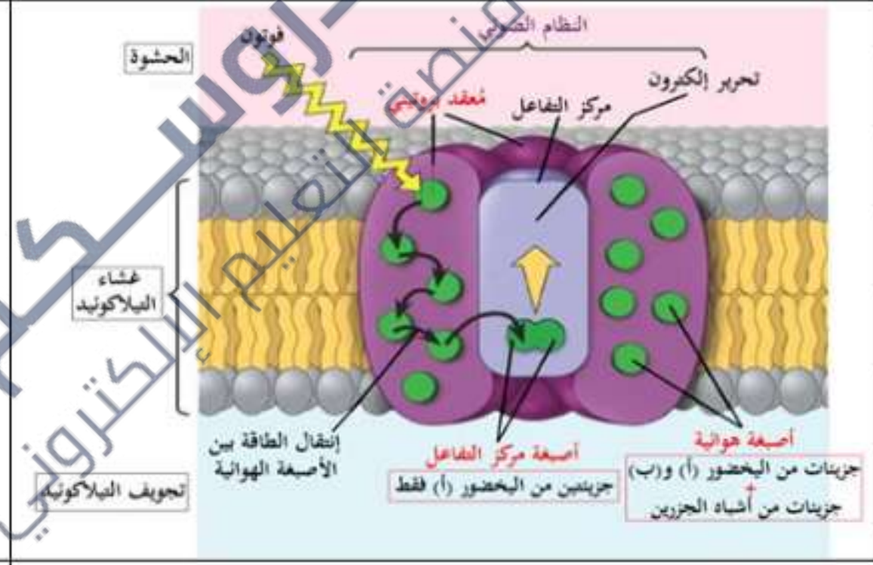
دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

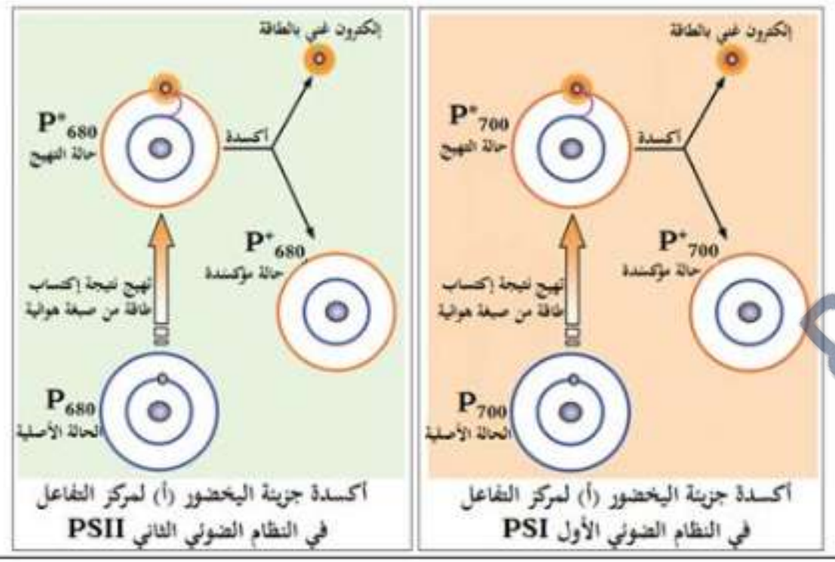
منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

يمثل الشكل (أ) من الوثيقة (8) رسمًا تخطيطيًا لبنية النظام الضوئي (Photosystème=PS)، حيث يوجد نوعين من الأنظمة الضوئية PSI و PSII.

في كل نظام ضوئي PSI و PSII يتم إقتناص الفوتونات الضوئية (الطاقة الضوئية) من طرف الأصبغة الهوائية (لواقط الفوتونات) التي تسمح لجزيئة اليخضور لهذه الأصبغة بإكتساب طاقة التي تنتقل من صبغة هوائية إلى أخرى (إنتقال طاقة دون إلكترون) حتى تصل إلى جزيئات اليخضور لمركز التفاعل (P_{700} في النظام الضوئي الأول PSI) و (P_{680} في النظام الضوئي الثاني PSII)، يمثل الشكل (ب) من نفس الوثيقة نتائج تأثير الفوتونات المقتنصة على جزيئة اليخضور (أ) لمركز التفاعل (أكسدة اليخضور).



الشكل (أ)



الشكل (ب)

الوثيقة (8)

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

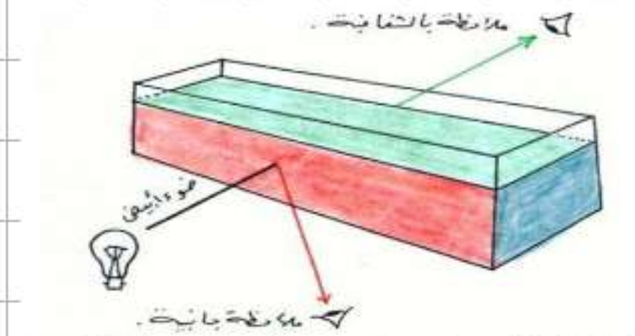
ب - آلية عمل التيلاكويد :

- دور الضوء و اليخضور :

لاحظنا في تجربة هل أن التيلاكويدات تفكك الماء فتحرر الأوكسجين و تقوم بإرجاع المستقبل الصناعي للإلكترونات.

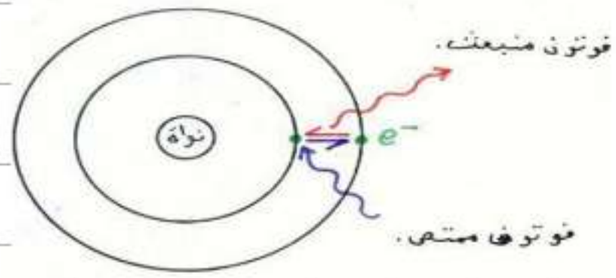
و من معطيات علم الكيمياء أنه إذا تواجدت ثنائيتي (أكسدة - إرجاع = oxydoréduction (Ox/red فإن نقل الإلكترونات لا يتم تلقائيا إلا في اتجاه قيم كمون الأكسدة - إرجاع E_o المتزايدة، و أن هذا التفاعل يحرر طاقة.

بينما لاحظنا في تجربة هيل أن الإلكترونات تنتقل من الماء ($E_o = 0.8$ v) إلى الحديد ($E_o = 0.3$ v) أي من الكمون الأعلى إلى الكمون الأقل، و هذا التفاعل يحتاج طاقة).



اللون الظاهري لليخضور في الضوء المباشر والمنعكس.

تفسير ظاهرة التفلور.



عند تعريض محلول اليخضور الخام لحزمة ضوء أبيض قوي، يتفلور (يتألق = يستشع) بالأحمر.

فعند تعرض بعض ذرات اليخضور للضوء تكتسب طاقة، فتصعد بعض الإلكترونات من مدارها إلى مدارات أعلى أو تغادر الذرة.

الإلكترون المفقود أو الصاعد إلى مدار أعلى يعود إلى موضعه الأصلي و يفقد الطاقة المكتسبة على شكل ضوء أحمر.

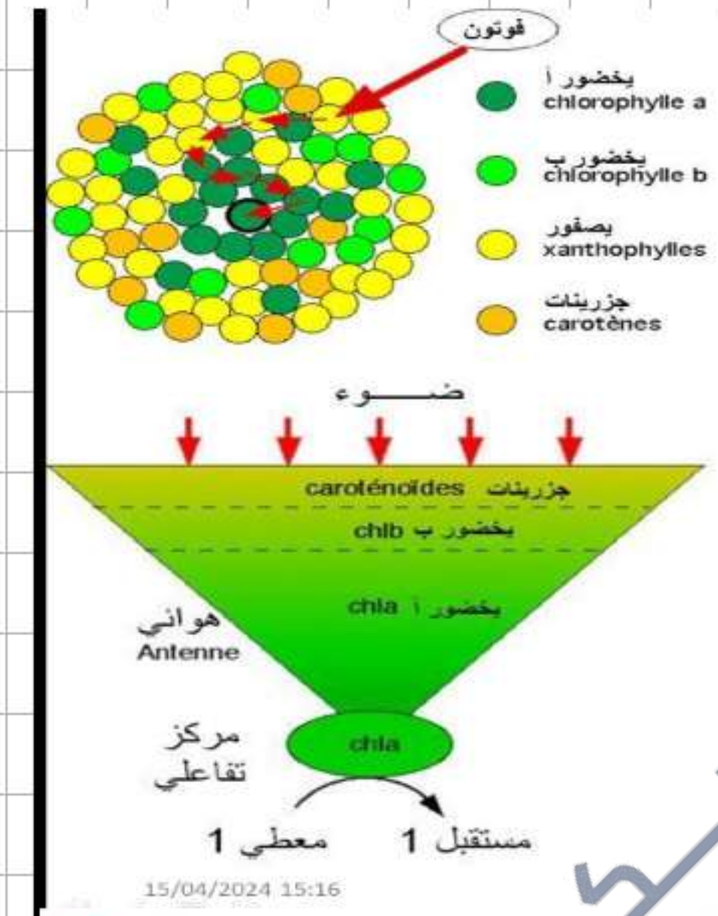
الخلاصة :

الضوء يثير اليخضور فيجعل بعض إلكتروناته ذات طاقة كامنة أعلى.

دور النظام الضوئي :

الوحدة الأساسية في التركيب الضوئي تعرف بالنظام الضوئي :photosystème و هو مجموعات من مئات جزيئات اليخضور chlorophylles المحتواة في غشاء الكييس حيث تتم التفاعلات الكيموضوئية.

لحقيقيات النواة نوعين من الأنظمة الضوئية I و II على الترتيب (P_{700} و P_{680}). الأصبغة الملحقة تمتص الضوء و تحول طاقته من جزيئة إلى جزيئة من محيط النظام إلى مركز التفاعل الذي يتضمن زوجا من جزيئات اليخضور a المتخصصة. هذه الجزيئات هي الوحيدة القادرة على التخلي عن إلكتروناتها لمستقبل إلكترونات عند اثارتها بالفوتونات les photons.



اللاقط و المركز التفاعلي Antenne et centre réactionnel

الأصبغة الموجودة في الوحدات التركيبية الضوئية تشكل لاقطا يجمع الطاقة الضوئية. بعد ذلك تحول هذه الطاقة إلى المركز التفاعلي الذي يحتوي على جزيئة يخضور a خاصة. هذه الجزيئة تتخلى عن إلكترون إلى مستقبل الذي يمر إلى الحالة المرجَعة. في هذه المرحلة، الطاقة الضوئية تحولت إلى طاقة كيميائية.

دور اللاقط يمكن تلخيصه ببساطة بالطريقة التالية: يوجد في الواقع احتمال ضعيف للفوتون حتى يمس مباشرة جزيئة البخضور الخاصة في المركز التفاعلي. و بالعكس، إذا أصاب تدفق الالكترونات في نفس الوقت عددا كبيرا من جزيئات الأصبغة و حولت هذه المعلومة الطاقوية إلى الجزيئة الهدف في المركز التفاعلي، إذ أن مردود الاقتناص على مستوى المركز التفاعلي سيكون أحسن. هذا ما يحدث، و صورة الهوائي المقعر تسمح بالفهم الأحسن لاقتناص الطاقة.

الخلاصة :

يقتلع الضوء إلكترونا من البخضور، يُستقبل الإلكترون من طرف الحديد Fe^{3+}، و يسترجع إلكترونه المفقود من تفكيك الماء. فالبخضور يلعب دور وسيط بين الماء و المستقبل النهائي للإلكترونات.

جـ - تسلسل تفاعلات المرحلة الكيموضوئية :

- يتنبه بخضور الـ PS_I بفوتون فيفقد إلكترونا :

$$2PS_I \rightarrow 2\ PS_I^{+} + 2\ e^-$$

الإلكترون المفقود يستقبل من طرف ناقل إلكترونات T'_1 على مستوى غشاء الكيس، يمرره بدوره إلى ناقل ثاني T'_2.

- يسلم T'_2 إلكتروناته إلى المستقبل النهائي للإلكترونات و الموجود على مستوى الحشوة و يعرف بنيكوتيناميد أدنين ثنائي نكليوتيد فوسفات Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate و الذي يرمز له اختصارا بـ NADP (أو $NADP^+$)

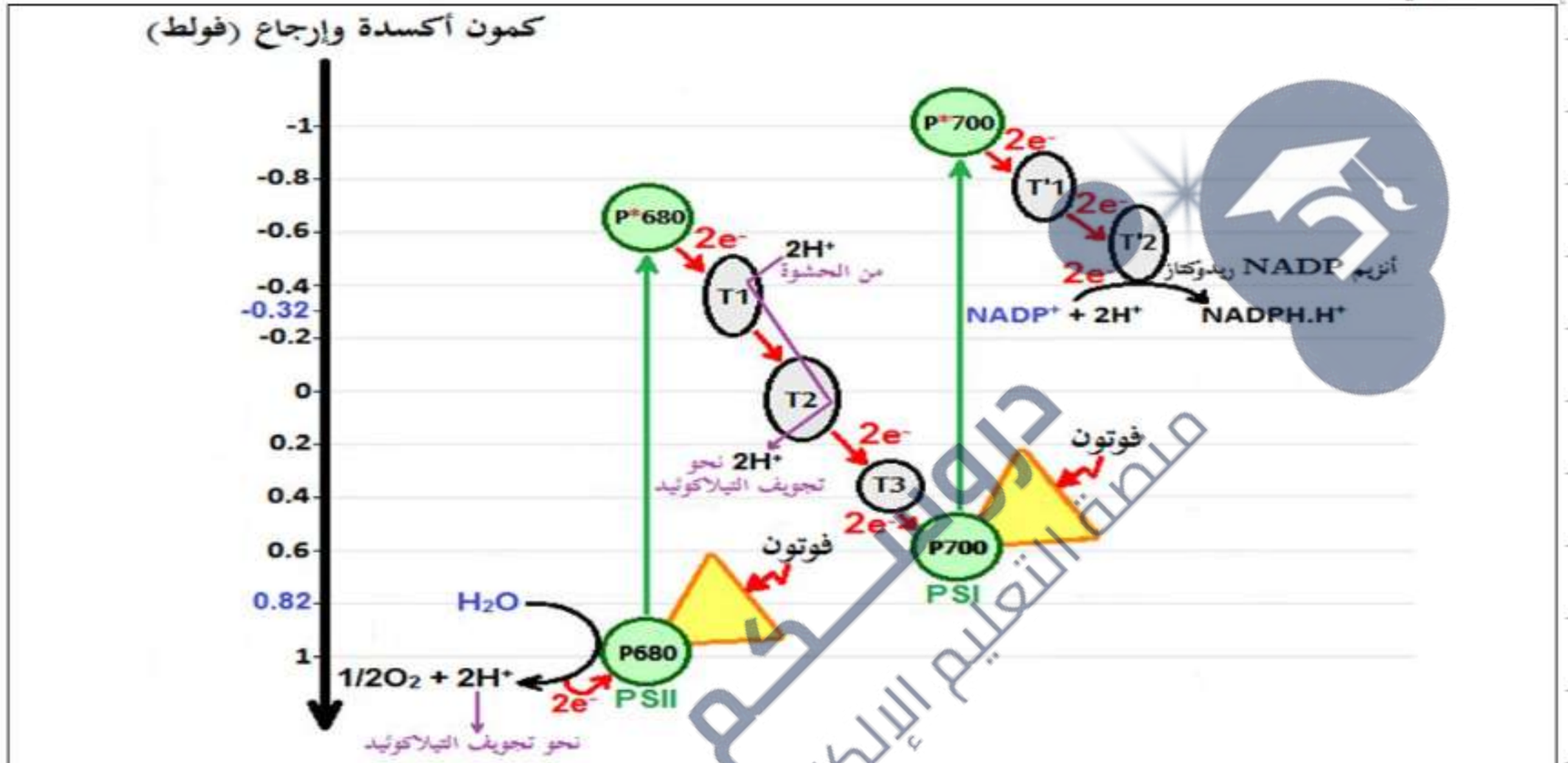
$$NADP^+ + 2\ e^- + 2H^+_e \rightarrow NADPH,H^+$$

دروسكم من تنظيم الإلكتروني

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

تمثل الوثيقة (9) مخطط إنتقال الإلكترونات عبر نواقل السلسلة التركيبية الضوئية وفق كمونات الأكسدة والإرجاع ودور اليخضور في ذلك.



الوثيقة (9)

التعليمات:

1. بيّن شروط عمل التيلاكوئيد وذلك **بإستغلالك** للوثائق (5)، (6) و(7).
2. إشرح آلية المرحلة الكيموضوئية مُبرزًا التفاعلات المميزة لها ونواتجها وذلك **بإستغلالك** للوثيقتين (8) و(10).

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

الإجابة:

1.تبيان شروط عمل التيلاكوئيد:

إستغلال الوثيقة (5): تمثل الوثيقة (5) منحنى تغيرات تركيز الـ O_2 المنطلق من التيلاكوئيد في الوسط بدلالة الزمن في شروط تجريبية مختلفة، حيث نلاحظ:

- قبل إضافة مستقبل الإلكترونات الإصطناعي، في الظلام وفي وجود الضوء : ثبات تركيز الـ O_2 عند القيمة المنخفضة.
- بعد إضافة 0.1 مل من مستقبل الإلكترونات الإصطناعي (في حالة مؤكسَدة) وفي وجود الضوء : تزايد تركيز الـ O_2 ثم ثباته.
- بعد إضافة 0.3 مل من مستقبل الإلكترونات الإصطناعي (في حالة مؤكسَدة): في وجود الضوء : تزايد تركيز الـ O_2 ثم ثباته.
- في الظلام: ثبات تركيز الـ O_2.

الإستنتاج: إنطلاق الـ O_2 من التيلاكوئيد يتطلب ضوء ومستقبل إلكترونات مؤكسَد (في حالة مؤكسَدة).

منصة التعليم الإلكتروني

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إستغلال الوثيقة (6): تمثل الوثيقة (6) شروط ونتائج تجريبية لوسطين مختلفين، حيث نلاحظ:

- في الوسط (1): عند تزويد طحلب أخضر معرض للضوء بـ CO_2 أوكسجينه O^{18} مشع و H_2O عادي كان الـ O_2 المنطلق غير مشع.
- في الوسط (2): عند تزويد طحلب أخضر معرض للضوء بـ CO_2 عادي و H_2O أوكسجينه O^{18} مشع كان الـ O_2 المنطلق مشع.

الإستنتاج: مصدر الـ O_2 المنطلق خلال عملية التركيب الضوئي هو الماء (H_2O).

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني

ملف الحصة المباشرة و المسجلة

1 حصص مباشرة

2 حصص مسجلة

3 دورات مكثفة

أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إستغلال الوثيقة (7): تمثل الوثيقة (7) منحنيي تغيرات تركيز كل من الـ O_2 و ATP في شروط تجريبية مناسبة قبل وبعد حقن الـ ADP و Pi، حيث نلاحظ:

- **قبل حقن الـ ADP و Pi:**
  - في الظلام: ثبات تركيز كل من الـ O_2 و ATP عند القيم المنخفضة.
  - في وجود الضوء : تزايد طفيف وبطيء في تركيز كل من الـ O_2 و ATP.
- **بعد حقن الـ ADP و Pi:**
  - في وجود الضوء: تزايد كبير وسريع في تركيز كل من الـ O_2 و ATP.
  - في الظلام: ثبات تركيز كل من الـ O_2 و ATP.

الإستنتاج: إنطلاق الـ O_2 على مستوى التيلاكوئيد يرافقه تركيب الـ ATP ويتطلب ذلك ضوء، ADP و Pi.

ومنه:

تتمثل شروط عمل التيلاكوئيد في: الضوء، مستقبِل إلكترونات مؤكسَد، الماء (H_2O)، ADP و Pi.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

2.شرح آلية المرحلة الكيموضوئية مع إبراز التفاعلات المميزة لها ونواتجها:

إستغلال الوثيقة (8):

يمثل الشكل (أ) رسم تخطيطي لبنية النظام الضوئي، حيث نلاحظ:

- يتواجد النظام الضوئي ضمن غشاء التيلاكوئيد.
- يوجد نوعان من الأنظمة الضوئية هما: النظام الضوئي الأول (PSI) والنظام الضوئي الثاني (PSII).
- أن النظام الضوئي عبارة عن **معقد بروتيني** به **أصبغة هوائية وأصبغة مركز التفاعل**، حيث نلاحظ:
  - **الأصبغة الهوائية (لواقط الفوتونات)** تتركب من جزيئات اليخضور (أ) و(ب)، ومن جزيئات أشباه الجزرين.
  - **أصبغة مركز التفاعل** تتركب من جزيئتين من اليخضور (أ) فقط، يُرمز لكل جزئية منهما بالرمز P_{700} في الـ PSI وبالرمز P_{680} في الـPSII.

الإستنتاج: يتكون النظام الضوئي من **معقد بروتيني** به **أصبغة هوائية وأصبغة مركز تفاعل.**

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

يمثل **الشكل (ب)** نتائج تأثير الفوتونات المقتنصة على جزيئة اليخضور (أ) لمركز التفاعل (أكسدة اليخضور)، حيث نلاحظ:

- عند وصول الطاقة الضوئية الممتصة (الفوتونات المقتنصة) من طرف الأصبغة الهوائية إلى جزيئة اليخضور (أ) لمركز التفاعل (P_{700} في الـ PSI)،

(P_{680} في الـ PSII) **تتهيج** ثم **تتأكسد** مُتخلية عن إلكترون غني بالطاقة لتصبح في **حالة مؤكسَدة**.

$$2P_{700} \xrightarrow{\text{طاقة ضوئية}} 2P^{*}_{700} \xrightarrow{\text{أكسدة}} 2P^{+}_{700} + 2e^{-}$$

$$2P_{680} \xrightarrow{\text{طاقة ضوئية}} 2P^{*}_{680} \xrightarrow{\text{أكسدة}} 2P^{+}_{680} + 2e^{-}$$

الحالة الأصلية — حالة التهيج — حالة مؤكسدة

الإستنتاج: تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة، مُتخلية عن إلكترون.

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

يمثل **الشكل (ب) من الوثيقة (9)** مخطط إنتقال الإلكترونات عبر نواقل السلسلة التركيبية الضوئية وفق كمونات الأكسدة والإرجاع ودور اليخضور في ذلك، حيث نلاحظ:

- يؤدي سقوط الفوتونات الضوئية على الأنظمة الضوئية PSI وPSII (التنبيه الضوئي لـ PSI وPSII) إلى تهيّج مراكز تفاعلها (**جزيئتين من اليخضور P_{700} في الـ PSI وجزيئتين من اليخضور P_{680} في الـ PSI**) وانخفاض كمون أكسدتها الإرجاعيه فتتأكسد مُتخليةً عن زوج من الإلكترونات الغنية بالطاقة.
- تسترجع جزيئة اليخضور لمركز التفاعل في الـ PSII المؤكسَدة **حالتها المرجعَة** وبالتالي **قابلية التنبيه** إنطلاقًا من الإلكترونات الناتجة عن **أكسدة الماء (التحلل الضوئي للماء)** حسب التفاعل التالي:

$$H_2O \xrightarrow[\text{اليخضور}]{\text{ضوء}} 1/2\ O_2 + 2H^+ + 2e^-$$

تتراكم البروتونات (H^+) داخل تجويف التيلاكوئيد وينطلق الـ O_2.

- تسترجع جزيئة اليخضور لمركز التفاعل في الـ PSI المؤكسَدة **حالتها المرجعَة** وبالتالي **قابلية التنبيه** إنطلاقًا من الإلكترونات الناتجة عن أكسدة مركز التفاعل لـ PSII والتي تنتقل إليها عبر سلسلة من نواقل الإلكترونات (T1، T2 وT3) مُتزايدة كمون الأكسدة والإرجاع (الإتجاه الطبيعي لإنتقال الإلكترونات).
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن أكسدة مركز التفاعل لـ PSI عبر سلسلة من نواقل الإلكترونات (T'1 وT'2) مُتزايدة كمون الأكسدة والإرجاع وصولاً للمستقبل الأخير للإلكترونات الموجود في الحشوة يُدعى بـ $NADP^+$ **(حالة مُؤكسَدة)** الذي يُرجَع إلى $NADPH.H^+$ **(حالة مُرْجَعة)** بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل التالي:

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

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الإستنتاج:

- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسَدة **حالتها المرجَعة**، وبالتالي **قابلية التنبيه** إنطلاقًا من الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الماء.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل عبر سلسلة من النواقل مُتزايدة كمون الأكسدة والإجاع.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة يدعى النيكوتين أميد أدنين ثنائي النيكليوتيد فوسفات $NADP^+$ الذي يُرجع بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل العام:

$$2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

$$2NADP^+ + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADPH.H^+$$

$$2NADP^+ + 2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 2NADPH.H^+$$

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني

ملف الحصة المباشرة و المسجلة

1 حصص مباشرة

2 حصص مسجلة

3 دورات مكثفة

أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

ومنه:

آلية المرحلة الكيموضوئية، التفاعلات المميزة لها ونواتجها:

- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة، مُتخلية عن إلكترون.
- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسَدة **حالتها المرجَعة**، وبالتالي قابلية التنبيه إنطلاقًا من الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الماء.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل عبر سلسلة من النواقل مُتزايدة كمون الأكسدة والإجاع.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة يدعى النيكوتين أميد أدنين ثنائي النيكليوتيد فوسفات $NADP^+$ الذي يُرجع بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل العام:

$$2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

$$2NADP^+ + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADPH.H^+$$

$$2NADP^+ + 2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 2NADPH.H^+$$

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

- **ملاحظة:**
  - الناقل T1 ينقل الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الـ PSII مع البروتونات (H^+) التي يأخذها من الحشوة، بينما الناقل T2 ينقل فقط الإلكترونات التي يأخذها من الناقل T1 ويحرّر (يضخ) البروتونات في تجويف التيلاكوئيد.
  - أثناء إنتقال الإلكترونات عبر السلسلة التركيبية الضوئية تتحرر طاقة تسمح بإنتقال (ضخ) البروتونات (H^+) من الحشوة الأقل تركيزا عبر الناقل T2 إلى تجويف التيلاكوئيد الأعلى تركيزًا بالنقل الفعال.
  - يمكن أن نرمز لـ $NADP^+$ بالرمز R أو T، وعليه $NADPH.H^+$ يُرمز له بـ RH_2 أو TH_2.

يُصحَب التحلل الضوئي للماء في تجويف التيلاكوئيد بتحرير بروتونات (H^+) وتراكمها داخل التجويف، إضافة للبروتونات (H^+) التي تُنقل (تُضخ) من الحشوة عبر الناقل T_2 إلى تجويف التيلاكوئيد أثناء إنتقال الإلكترونات عبر السلسلة التركيبية الضوئية (السلسلة نواقل الأكسدة والإرجاع) الموجودة على مستوى غشاء التيلاكوئيد، فيرتفع بذلك تركيز البروتونات (H^+) داخل تجويف التيلاكوئيد محدثًا فارق في تركيز البروتونات (H^+) بين الحشوة وتجويف التيلاكويد (إنخفاض pH داخل التجويف)، فما هو مصير البروتونات (H^+) الناتجة عن التحلل الضوئي للماء والتي تُنقل من الحشوة إلى تجويف التيلاكوئيد؟

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

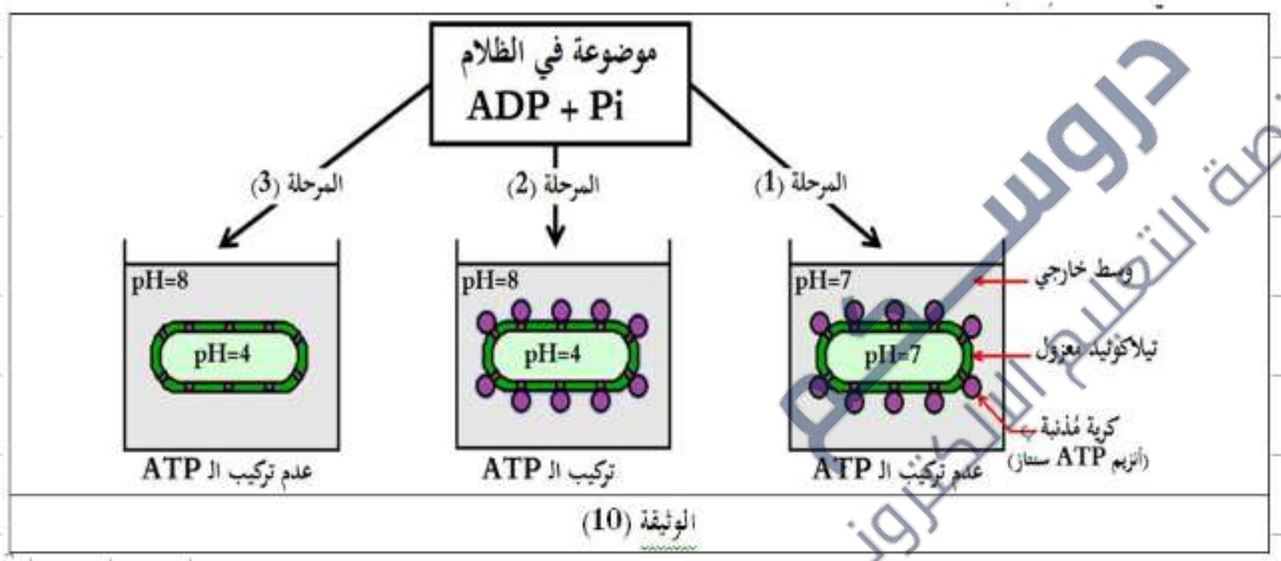
- ملاحظة: إن تركيز البروتونات (H^+) يتناسب عكسًا مع الـ pH، حيث:

عندما يكون تركيز البروتونات (H^+) في الوسط مرتفع يدل على أن pH الوسط منخفض (وسط حامضي).

عندما يكون تركيز البروتونات (H^+) في الوسط منخفض يدل على أن pH الوسط مرتفع (وسط قاعدي).

لمعرفة مصير البروتونات (H^+) الناتجة عن التحلل الضوئي للماء والتي تُنقل من الحشوة إلى تجويف التيلاكوئيد، تُقترح عليك الدراسة التالية:

عُزلت تيلاكوئيدات بتقنية الطرد المركزي بعد تجزئة الصانعة الخضراء بتعريضها لصدمة حلولية، مراحل التجربة ونتائجها موضحة في الوثيقة (10).



الوثيقة (10)

التعليمات:

1. حدّد شروط وآلية تركيب الـ ATP على مستوى التيلاكوئيد (الكيس) وذلك باستغلالك للوثيقة (10).
2. إقترح نموذجًا تفسيريًا لآلية المرحلة الكيموضوئية مُبينًا التفاعلات المميزة لها ونواتجها إنطلاقًا مما توصلت إليه من هذه الدراسات.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

1.تحديد شروط وآلية تركيب الـ ATP على مستوى التيلاكوئيد (الكيس):

إستغلال الوثيقة (10): تمثل الوثيقة (10) جدول مراحل تجربة ونتائجها، حيث نلاحظ:

- **في المرحلة 1:** عند تساوي pH تجويف التيلاكوئيد وpH الوسط الخارجي لا يتم تركيب الـ ATP.
- **في المرحلة 2:** عندما يكون pH تجويف التيلاكوئيد حامضيًا وpH الوسط الخارجي قاعديًا يتم تركيب الـ ATP.
- **في المرحلة 3:** عندما يكون pH تجويف التيلاكوئيد حامضيًا وpH الوسط الخارجي قاعديًا مع تخريب الكريات المذنبة لا يتم تركيب الـ ATP.

الإستنتاج:

- يتطلب تركيب الـ ATP على مستوى التيلاكوئيد:
  - وجود تدرج في تركيز البروتونات على جانبي غشاء التيلاكوئيد، حيث تجويف التيلاكوئيد حامضي (تركيز H^+ مرتفع) وخارجه قاعدي (تركيز H^+ منخفض).
  - سلامة الكريات المذنبة (أنزيم ATP سينتاز).
- آلية تركيب الـ ATP على مستوى التيلاكوئيد:
  - يُصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية (السلسلة التركيبية الضوئية)، تراكم البروتونات الناتجة عن أكسدة الماء، 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 الـ ATP سينتاز.
  - تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi): إنها الفسفرة الضوئية.

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

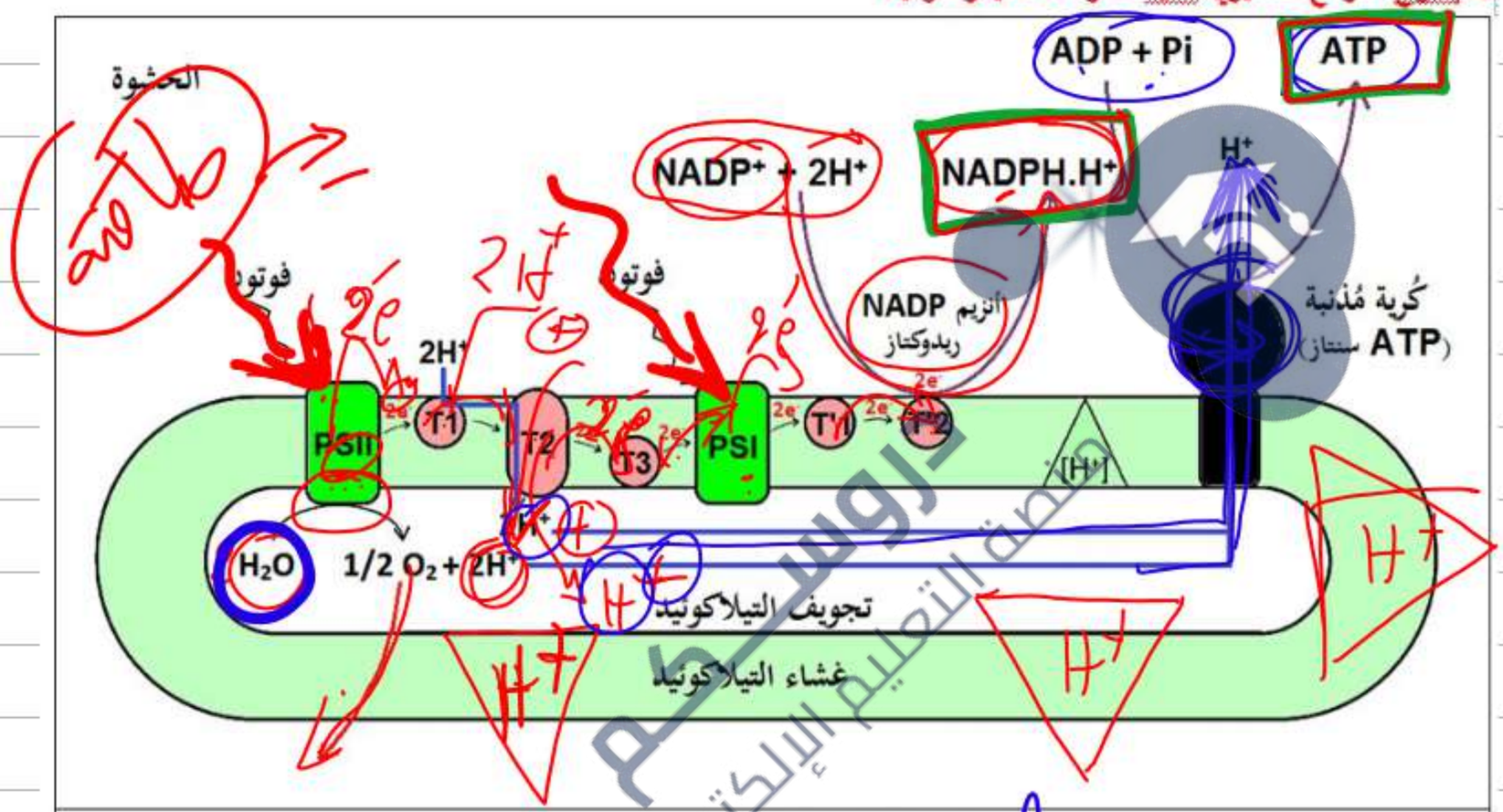
- **ملاحظة:** الغرض من إجراء التجربة في الظلام هو: منع تأثير الضوء المسؤول طبيعيًا على أكسدة الماء لإنتاج البروتونات التي تعمل على تكوين فرق في التركيز، وإثبات أن تركيب الـ ATP من الـ ADP وPi مرتبط بفرق تركيز H^+ على جانبي غشاء التيلاكوئيد (الكيس).

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

2.اقتراح نموذج تفسيري لآلية المرحلة الكيموضوئية:



نموذج تفسيري مقترح لآلية المرحلة الكيموضوئية

$$2H_2O + 2NADP^+ + ADP + Pi \xrightarrow[\text{الحضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 2NADPH,H^+ + ATP$$

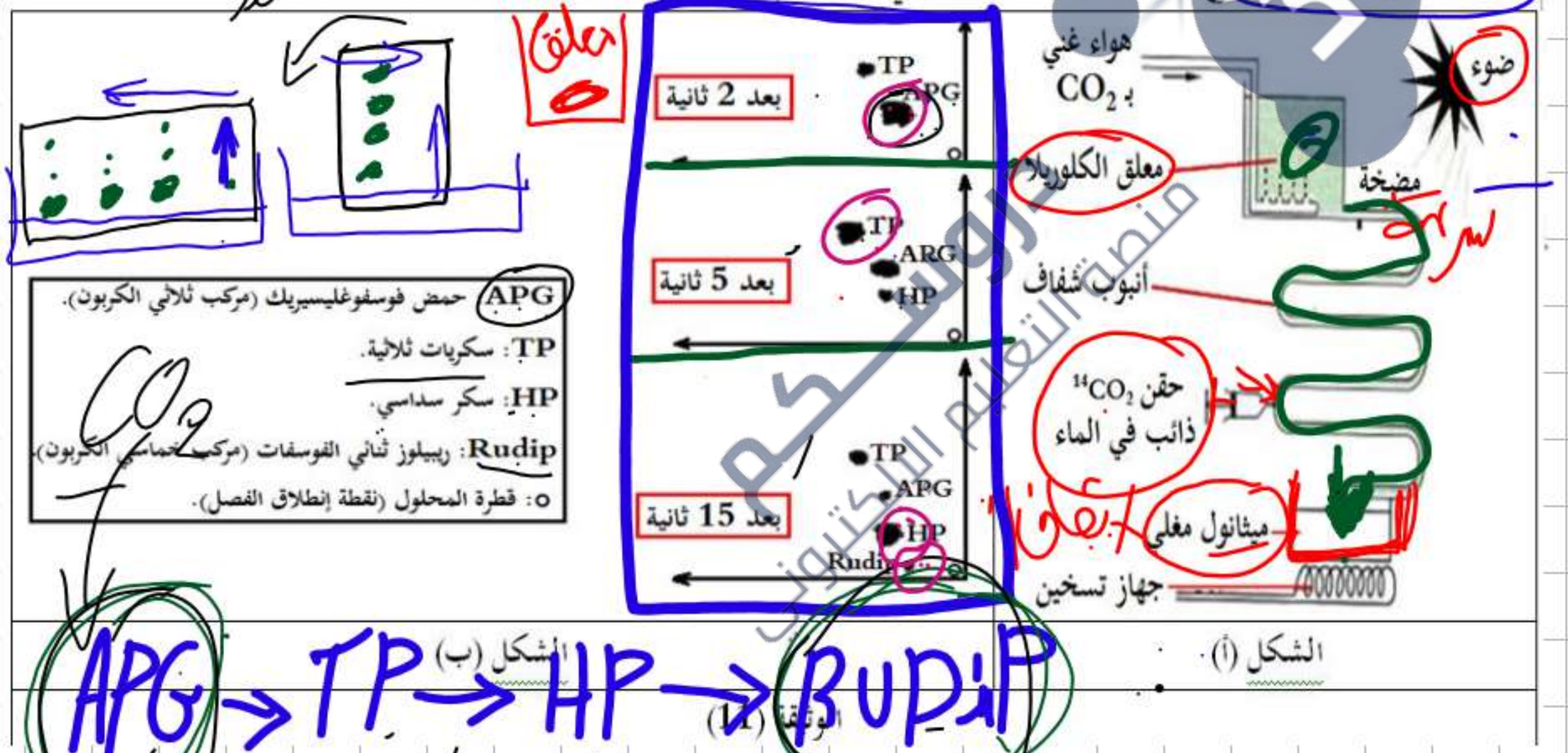
دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

3. المرحلة الكيموحيوية:

تحدث المرحلة الثانية من التركيب الضوئي (المرحلة الكيموحيوية) على مستوى حشوة الصانعة الخضراء، لا تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية، فما هي آلية إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية على مستوى الحشوة؟

لتحديد آلية إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية على مستوى الحشوة، تُقترح عليك الدراسات التالية:



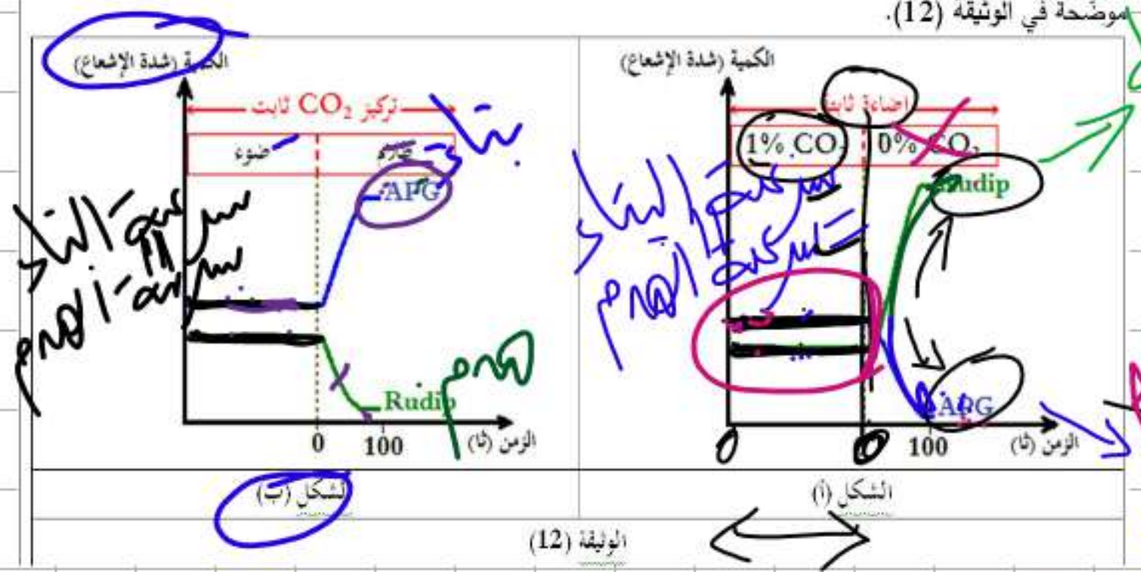
APG: حمض فوسفوغليسيريك (مركب ثلاثي الكربون).
TP: سكريات ثلاثية.
HP: سكر سداسي.
Rudip: ريبيلوز ثنائي الفوسفات (مركب خماسي الكربون).
o: قطرة المحلول (نقطة إنطلاق الفصل).

APG → TP → HP → RUDIP

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

تم قياس كمية كل من المركبين المشعين APG وRudiP في شروط مختلفة من الإضاءة والـ CO_2، النتائج المحصل عليها موضّحة في الوثيقة (12).



الوثيقة (12)

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

ملف الحصة المباشرة و المسجلة

1 حصص مباشرة

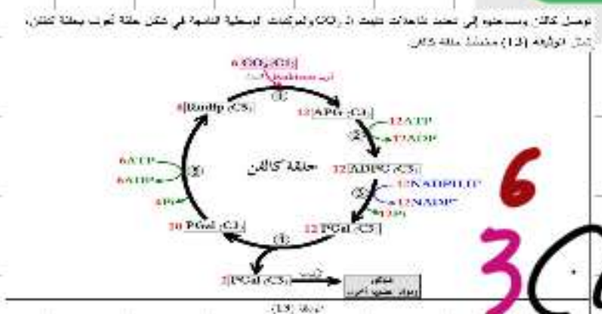
2 حصص مسجلة

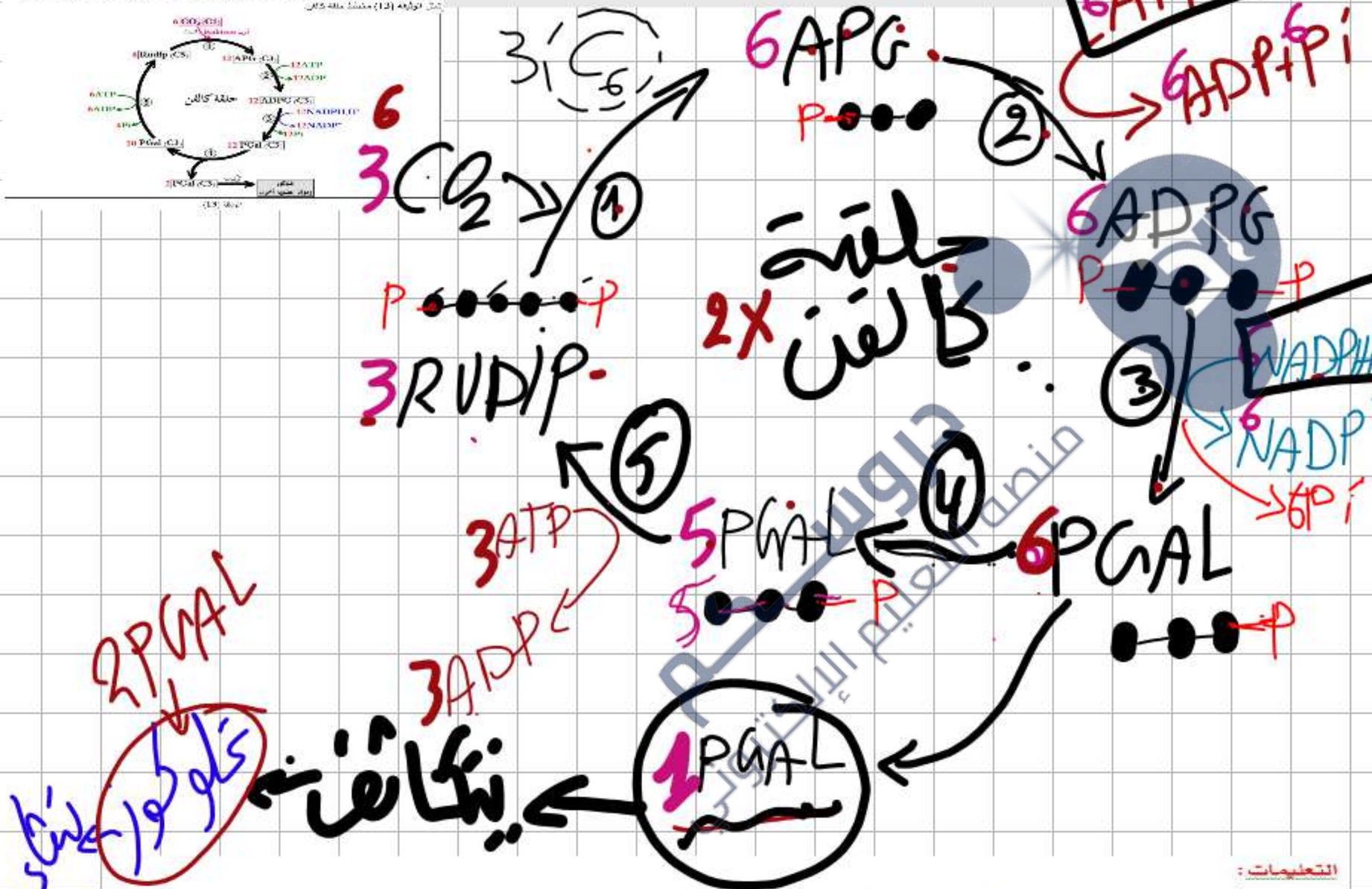
3 دورات مكثفة

أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com





التعليمات :

1. **وضّح** آلية إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية على مستوى الحشوة وذلك **باستغلالك** للشكل (ب) من الوثيقة (11) وشكلي الوثيقة (12).
2. **إشرح** تفاعلات المرحلة الكيموحيوية وذلك **باستغلالك** للوثيقة (13).

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الإجابة:

1.توضيح آلية إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية على مستوى الحشوة:

إستغلال الشكل (ب) من الوثيقة (11): يمثل الشكل (ب) نتائج التسجيل اللوني (تجربة كافن)، حيث نلاحظ:

- **بعد 2 ثانية:** ظهور الإشعاع بنسبة عالية في مركب الـ APG كما يظهر بنسبة أقل في مركب الـ TP.
- **بعد 5 ثواني:** تناقص نسبة الإشعاع في مركب الـ APG وبالمقابل تتزايد نسبته في مركب الـ TP، كما يظهر بنسبة قليلة في مركب الـ HP.
- **بعد 15 ثانية:** إستمرار تناقص نسبة الإشعاع في مركب الـ APG كما تتناقص أيضًا في مركب الـ TP، بينما تزداد نسبة الإشعاع في مركب الـ HP مع ظهور مركب جديد هو الـ RudiP.

الإستنتاج: يُدمَج الـ CO_2 في مركبات عضوية وسطية مختلفة والتي تظهر وفق التسلسل الزمني التالي:

APG ← TP ← HP ← RudiP

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إستغلال الوثيقة (12):

يمثل الشكل (أ) منحنيي تطور كمية الـ APG وRudiP في وجود الضوء وفي وجود وغياب الـ CO_2، حيث نلاحظ:

- في وجود الضوء والـ CO_2: ثبات كمية كل من الـ APG وRudiP، يدل على توازن ديناميكي بين سرعة تركيبهما واستهلاكهما.
- في وجود الضوء وغياب الـ CO_2: تناقص كمية الـ APG وتزايد كمية الـ RudiP ثم ثباتها، يدل على إستهلاك الـ APG دون تركيبه وتركيب الـ RudiP دون إستهلاكه.

الإستنتاج: يتركب (يتجدد) الـ APG إنطلاقاً من تثبيت الـ CO_2 على الـ RudiP.

يمثل الشكل (ب) منحنيي تطور كمية الـ APG وRudiP في وجود الـ CO_2 وفي وجود وغياب الضوء، حيث نلاحظ:

- في وجود الـ CO_2 والضوء: ثبات كمية كل من الـ APG وRudiP، يدل على توازن ديناميكي بين سرعة تركيبهما واستهلاكهما.
- في وجود الـ CO_2 وفي الظلام (غياب نواتج المرحلة الكيموضوئية): تناقص كمية الـ RudiP وتزايد كمية الـ APG ثم ثباتها، يدل على إستهلاك الـ RudiP دون تركيبه وتركيب الـ APG دون إستهلاكه.

الإستنتاج: يتركب (يتجدد) الـ Rudip إنطلاقاً من الـ APG بإستعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

ومنه:

إن المركبين APG و Rudip يتحولان إلى بعضهما ضمن حلقة يتطلب إستمرارها توفر الـ CO_2 ونواتج المرحلة الكيموضوئية، بحيث:

الـ APG يتركب إنطلاقًا من تثبيت الـ CO_2 على الـ RudiP، والـ RudiP يتركب إنطلاقًا من الـ APG بإستعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية (ATP و $NADPH.H^+$).

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

2. شرح تفاعلات المرحلة الكيموحيوية:

إستغلال الوثيقة (13): تمثل الوثيقة (12) مخطط حلقة كالفن، حيث نلاحظ:

- يُثبّت الـ CO_2 على جزيئة خماسية الكربون: الريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) مُشكلاً مُركب سداسي الكربون الذي ينشطر سريعا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفو غليسريك (APG)، يُراقَبُ دمج الـ CO_2 بأنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز (أنزيم Rubisco) .(المرحلة 1)
- ينشط حمض الفوسفوغليسريك المؤكسد ثم يُرجع بواسطة الـ ATP و $NADPH,H^+$ الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.(المرحلتين 2 و3)
- يُستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة (TP = PGAL) في تجديد الـ Rudip أثناء تفاعلات حلقة كالفن وبنسون.(المرحلة 5)
- يُستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة (TP = PGAL) في تركيب السكريات سداسية الكربون (HP)، الأحماض الأمينية، والدسم.(المرحلة 4)

الإستنتاج: إن تفاعلات المرحلة الكيموحيوية تتم على مستوى حشوة الصانعة الخضراء في شكل حلقة تُعرف بحلقة كالفن، حيث يتم خلالها إرجاع الـ CO_2 باستعمال نواتج المرحلة الكيموضوئية (ATP ونواقل مرجعة $NADPH,H^+$) وتركيب المواد العضوية (الغلوكوز ...).

- **ملاحظة:** إن تركيب سكر سداسي واحد (جزيئة 1 من الغلوكوز) وتجديد 6 جزيئات من الـ RudiP يتطلب إستعمال: 18ATP و $12NADPH.H^+$.

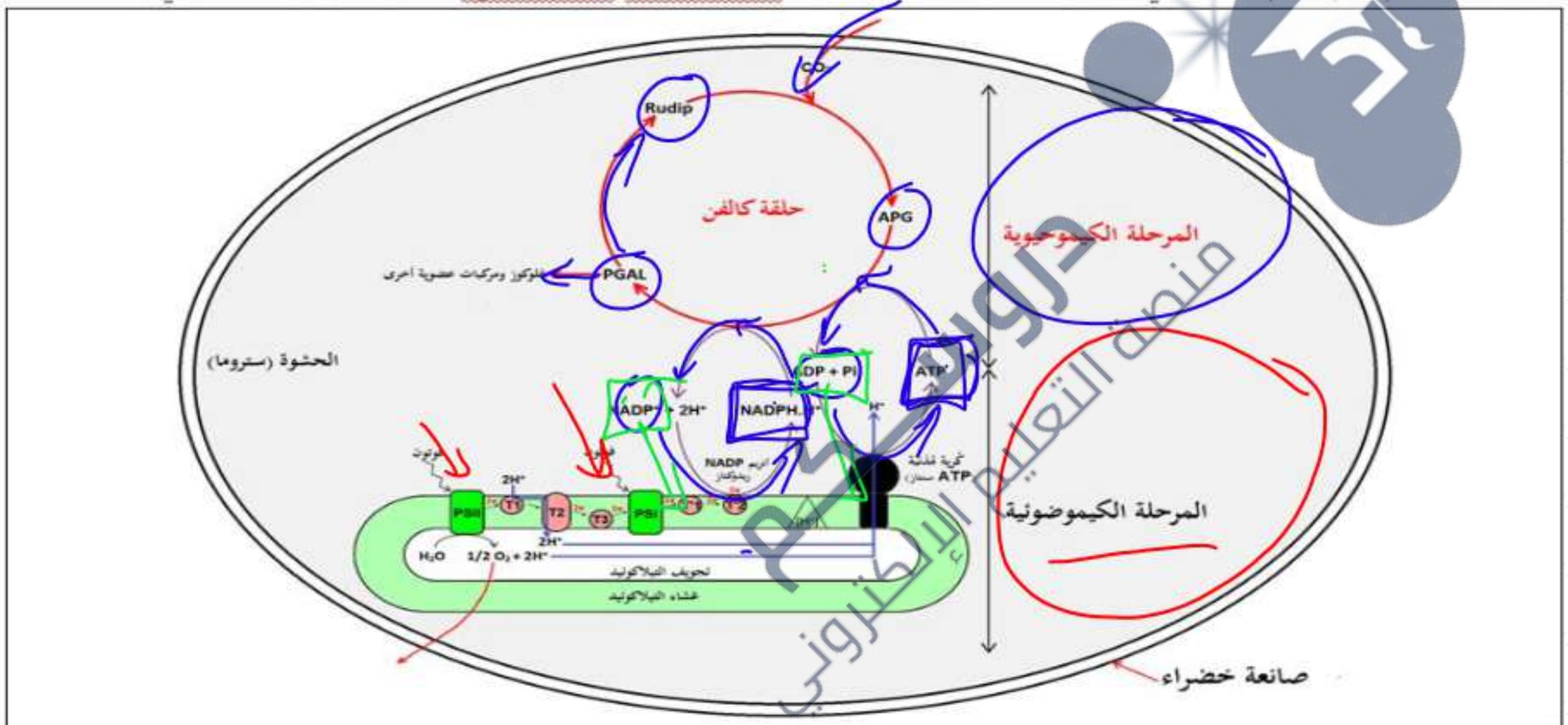
دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

3. العلاقة بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية:

عند الخلايا النباتية الخضراء تعتبر الصانعة الخضراء ببنيتها الحجيرية المميزة مقر عملية التركيب الضوئي التي تضمن تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة وفق مرحلتين، المرحلة الكيموضوئية التي تحتاج تفاعلاتها للضوء والمرحلة الكيموحيوية التي لا تحتاج تفاعلاتها للضوء، فما هي العلاقة بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية؟

تمثل الوثيقة (14) رسم تخطيطي يُبيّن التكامل بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي.



الوثيقة (14)

التعليمة:

- أبرز العلاقة بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية وذلك باستغلالك للوثيقة (14).

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

إبراز العلاقة بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية:

إستغلال الوثيقة (14): تمثل الوثيقة (14) رسم تخطيطي يُبيّن التكامل بين المرحلتين الكيموضوئية والكيموحيوية لعملية التركيب الضوئي، حيث نلاحظ:

- أثناء التركيب الضوئي يتم على مستوى الصانعات الخضراء الجمع بين:
  - تفاعلات كيميوضوئية يكون مقرها التيلاكوئيد أين يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية (ATP و $NADPH,H^+$).
  - تفاعلات كيميوحيوية يكون مقرها الحشوة أين يتم إرجاع الـ CO_2 إلى كربون عضوي (مواد عضوية) بإستعمال الطاقة الكيميائية (ATP و $NADPH,H^+$) الناتجة من المرحلة الكيموضوئية.

الإستنتاج: المرحلتان الكيموضوئية والكيموحيوية تعملان بطريقة إزدواجية وتتكاملان بتجديد واستعمال الـ ATP والنواقل المرجعة $NADPH,H$.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الخلاصة:

- للصانعة الخضراء بنية حجيرية منظمة كالآتي:
  - تراكيب غشائية داخلية تُشكل أكياس مُسطحة: التيلاكوئيد.
  - تجويف داخلي: الحشوة، مُحددة بغشاء بلاستيدي داخلي، يُضاعف الغشاء البلاستيدي الداخلي بغشاء خارجي، يفصل الغشائين البلاستيديين فضوة بين الغشائين.
- تحوي الأغشية التيلاكوئيدية أصبغة التركيب الضوئي (اليخضور، أصبغة أشباه الجزرين) وجهاز أنزيمي بما في ذلك الـ ATP سينتاز.
- تحوي الحشوة مواد أيضية وسطية لتركيب المواد العضوية.
- يتم التركيب الضوئي في مرحلتين:
  - مرحلة كيموضوئية تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها طرح الـ O_2.
  - مرحلة كيموحيوية لا تحتاج إلى ضوء، يتم خلالها إرجاع الـ CO_2 وتركيب جزيئات عضوية.
- تأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المُمتصة، مُتحلية عن إلكترون.
- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسدة حالتها المرجعة وبالتالي قابلية التنبيه إنطلاقاً من الإلكترونات الناتجة عن أكسدة الماء.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل في سلسلة من النواقل مُتزايدة كمون الأكسدة والإرجاع.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة يدعى النيكوتين أميد أدنين ثنائي النيكليوتيد فوسفات $NADP^+$ الذي يُرجع بواسطة أنزيم NADP ريدوكتاز حسب التفاعل العام:

$$2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

$$2NADP^+ + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADPH.H^+$$

$$2NADP^+ + 2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 2NADPH.H^+$$

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

- يُصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية، تراكم البروتونات الناتجة عن أكسدة الماء، وتلك المنقولة من الحشوة بإتجاه تجويف التيلاكوئيد.
- إن تدرج تركيز البروتونات المولد بين تجويف التيلاكوئيد وحشوة الصانعة الخضراء ينتشر على شكل سيل من البروتونات الخارجة عبر الـ ATP سنثاز.
- تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi): إنها الفسفرة الضوئية.
- يُثبّت الـ CO_2 على جزيئة خماسية الكربون: الريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) مُشكلاً مُركب سداسي الكربون الذي ينشطر سريعًا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفوغليسريك (APG)، يُراقب دمج الـ CO_2 بأنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز.
- ينشط حمض الفوسفوغليسريك المؤكسد ثم يرجع بواسطة الـ ATP و $NADPH,H^+$ الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.
- يُستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة في تجديد الـ Rudip أثناء تفاعلات حلقة كالفن وبنسون.
- يُستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة في تركيب السكريات سداسية الكربون، الأحماض الأمينية، والدسم.
- 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 الـ CO_2 إلى كربون عضوي بإستعمال الطاقة الكيميائية (ATP و $NADPH,H^+$) الناتجة من المرحلة الكيميوضوئية.

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

التقويم:

- **وضّح** في نص علمي آلية تحويل الطاقة على مستوى الصانعة الخضراء **مُدعمًا** إجابتك بمعادلات كيميائية.

النص العلمي:

تتم مجموع التفاعلات الكيميائية للتركيب الضوئي داخل الصانعة الخضراء في مرحلتين هما المرحلة الكيموضوئية والكيموحيوية، فكيف تحدث كل منهما؟

1. المرحلة الكيموضوئية:

- تأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة، مُتخلية عن إلكترون.
- تسترجع جزيئة اليخضور المؤكسَدة حالتها المرجعة، وبالتالي قابلية التنبيه إنطلاقًا من الإلكترونات الناتجة عن **أكسدة الماء**.
- تنتقل الإلكترونات الناتجة عن مركز التفاعل عبر سلسلة من النواقل مُتزايدة كمون الأكسدة والإرجاع.
- إن المستقبل الأخير للإلكترونات الناتجة يدعى $NADP^+$ **الذي يُرجع بواسطة أنزيم** NADP ريدوكتاز.
- يُصاحب نقل الإلكترونات على طول سلسلة الأكسدة الإرجاعية (السلسلة التركيبية الضوئية)، تراكم البروتونات الناتجة عن أكسدة الماء، 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 الـ ATP سنتاز.
- تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi): إنها **الفسفرة الضوئية**.
- **المعادلات الكيميائية لمختلف تفاعلات المرحلة الكيموضوئية:**

1. أكسدة الماء (التحلل الضوئي للماء): $2H_2O \xrightarrow[\text{يخضور}]{\text{ضوء}} O_2 + 4H^+ + 4e^-$

2. إرجاع المستقبل الأخير للإلكترونات: $ADP^+ + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2NADPH,H^+$

3. الفسفرة الضوئية للـ ADP في وجود Pi (تركيب الـ ATP): $ADP + Pi \xrightarrow[F_1]{\text{ATP سنتاز}} ATP$

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

- المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموضوئية:

$$2H_2O + 2NADP^+ + ADP + Pi \xrightarrow{\text{ضوء، حضور}} O_2 + 2NADPH,H^+ + ATP$$

أو

$$12H_2O + 12NADP^+ + 18(ADP + Pi) \xrightarrow{\text{ضوء، حضور}} 6O_2 + 12NADPH,H^+ + 18ATP$$

2. المرحلة الكيموحيوية:

- يُثبت الـ CO_2 على جزيئة خماسية الكربون: الريبولوز ثنائي الفوسفات (Rudip) مُشكلاً مُركب سداسي الكربون الذي ينشطر سريعًا إلى جزيئتين بثلاث ذرات كربون هو حمض الفوسفو غليسريك (APG)، يُراقب دمج الـ CO_2 بأنزيم الريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز.
- ينشط حمض الفوسفوغليسريك المؤكسد ثم يُرجع بواسطة الـ ATP و $NADPH,H^+$ الناتجين عن المرحلة الكيميوضوئية.
- يُستخدم جزء من السكريات الثلاثية المرجعة في تجديد الـ Rudip أثناء تفاعلات حلقة كالفن وبنسون.
- يُستخدم الجزء الآخر من السكريات المرجعة في تركيب السكريات سداسية الكربون، الأحماض الأمينية، والدسم.
- المعادلة الإجمالية للمرحلة الكيموحيوية:

$$6CO_2 + 12NADPH,H^+ + 18ATP \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12NADP^+ + 18(ADP + Pi) + 6H_2O$$

- 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 الـ CO_2 إلى كربون عضوي بإستعمال الطاقة الكيميائية (ATP و $NADPH,H^+$) الناتجة من المرحلة الكيموضوئية.

المعادلة الإجمالية للتركيب لضوئي:

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

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

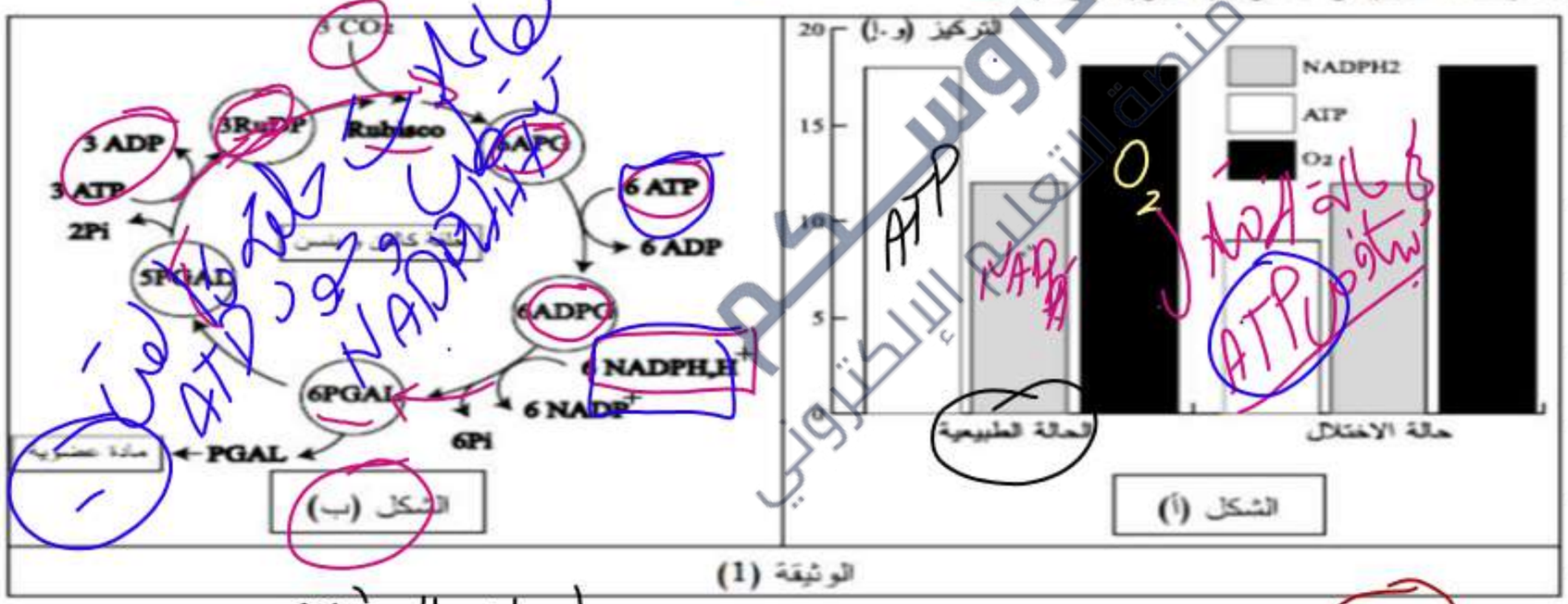
منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

التمرين 01

تعتبر النباتات الخضراء مقرا لظاهرة حيوية تسمح بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية كامنه في جزيئات المادة العضوية وفق سلسلة من التفاعلات الحيوية الهامة المنظمة في مراحل حيث أن استمرار هذه الظاهرة متعلق أساسا بالتوازن بين نواتج هذه المراحل ومن أجل دراسة الاختلال في هذا التوازن وكيفية تصحيحه من طرف النبات نقدم اليك الدراسة التالية:

الجزء الأول:

يمثل الشكل (ب) من الوثيقة (1) اختصار لتفاعلات احدى المراحل المهمة في الظاهرة المدروسة أما الشكل (أ) فيظهر نتائج المرحلة الأخرى في الحالة الطبيعية وفي حالة الاختلال نتيجة عوامل مختلفة يتعرض لها النبات منها تعرضه لشدة إضاءة عالية ولمدة زمنية طويلة نوعا ما.



الوثيقة (1)

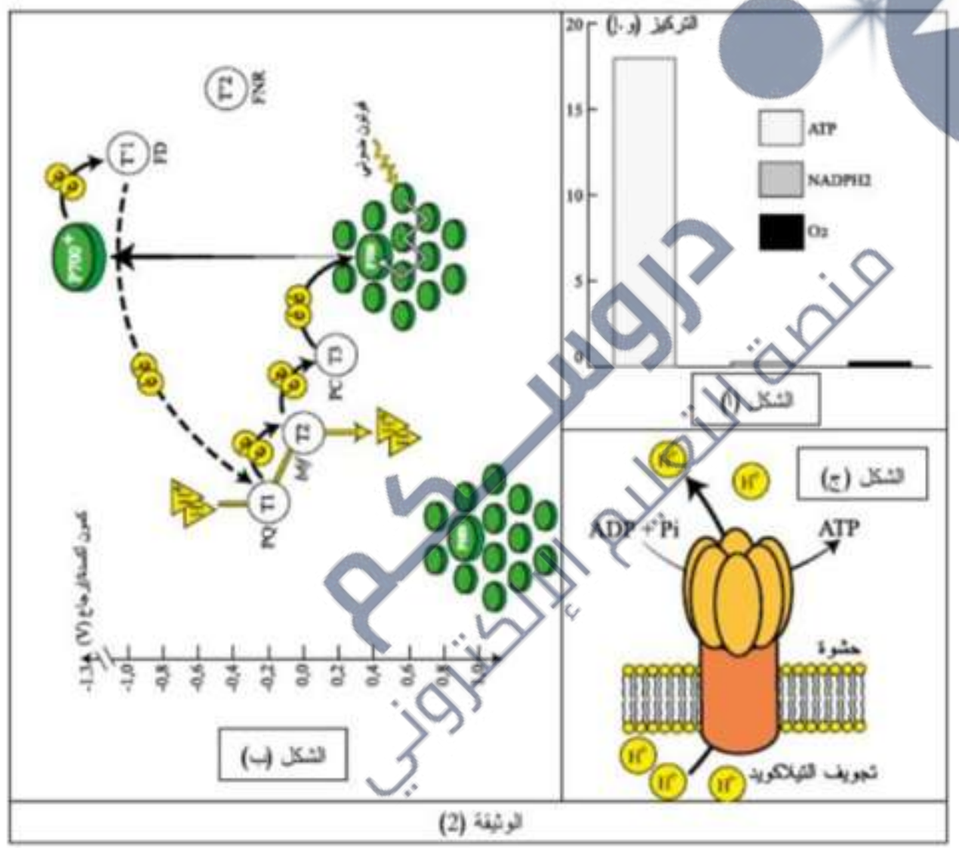
1- وضح حالة الاختلال وتأثيرها على عملية التركيب الضوئي.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الجزء الثاني:

رغم حالة الاختلال فإن الظاهرة المعنية بالدراسة لا تتوقف حيث يلجأ النبات الى العمل على إعادة التوازن وتعويض تراكيز النواتج من أجل استمرارها تمثل الوثيقة (2) من خلال الشكل (أ) نواتج العملية التي تلجأ اليها النباتات في حالة الاختلال أما الشكل (ب) فيمثل الآلية التي يعتمدها النبات في هذه الحالة أما الشكل (ج) فيمثل كيفية الحصول على النواتج الممثلة في الشكل (أ)



1- اشرح الالية التي تمكن النباتات من استعادة التوازن الطبيعي بين مراحلها وبالتالي تركيب ضرورياتها إذا علمت أنها تدعى بالفسفرة الضوئية الحلقية.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

حل التمرين1

الجزء الأول:

ايضاح حالة الاختلال وتأثيرها على عملية التركيب الضوئي

يمثل الشكل أ: أعمدة بيانية تبين تغيرات كل من $NADPHH^+$ و ATP و O_2 حيث نلاحظ

*في الحالة الطبيعية يتراوح تركيز كل من O_2 و ATP 18 وا بينما تركيز $NADPH_2$ فيقدر ب 12 وا في حين نلاحظ

*في حالة الاختلال يحافظ كل من $NADPH_2$ و O_2 على نفس التركيز مقارنة مع الحالة الحالة الطبيعية أما بالنسبة إلى ATP فنسجل انخفاض مقارنة بالحالة الطبيعية حيث أصبح يقدر ب 9 وا

الاستنتاج: في حالة الاختلال ينخفض تركيز ATP عند النبات الاخضر

يمثل الشكل ب اختصار لتفاعلات حلقة كالفن حيث نلاحظ

في وجود 3 $C0_2$ يتم تحويل 3 RuDP إلى 6 APG ثم باستعمال 6 جزيئات ATP تتم فسفرتها إلى 6 ADPG ليتم استعمال 6NADPHH الناتجة عن المرحلة الكيموضوئية وازالة 6 جزيئات من الفسفور لانتاج PGal6 بعدها يحدث انشطار لهذه الأخيرة حيث جزيئة منها تعطي المادة العضوية اما 5 جزيئات الباقية تؤمن تجديد 3RuDp باستعمال 3 جزيئات من ATP الناتجة عن المرحلة الكيموضوئية

الاستنتاج تؤمن نواتج المرحلة الكيموضوئية احداث المرحلة الكيموحيوية باستعمال تركيز عالي من ATP و تركيز أقل من NADPHH

التركيب

حالة الاختلال مرتبطة بانخفاض تركيز ATP بينما نواتج المرحلة الكيموضوئية ضرورية لحدوث المرحلة الكيموحيوية وتركيب المادة العضوية وعليه حالة الاختلال تكمن في ضعف تركيز ATP الذي يؤدي إلى توقف المرحلة الكيموحيوية وبالتالي توقف التركيب الضوئي

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الجزء الثاني

شرح الآلية التي تمكن النبات من استعادة التوازن الطبيعي بين مراحل التركيب الضوئي

يمثل الشكل أ تغيرات تركيز نواتج لمرحلة يقوم بها النبات اثناء الاختلال حيث نلاحظ ارتفاع تركيز ATP الى 18 و ا بينما نلاحظ انعدام كل من الاكسجين و NADPHH

الاستنتاج يقوم النبات الاخضر اثناء حالة الاختلال برفع كمية ATP دون NADPHH و الاكسجين.

يمثل الشكل ب الآلية التي يعتمدها النبات في حالة الاختلال حيث نلاحظ عند سقوط الفوتون الضوئي على الأصبغة الهوائية لل PSI يتم نقل الطاقة دون الالكترون ما يسمى بالرنين لتصل هذه الطاقة إلى صبغة مركز التفاعل فينخفض كمون الأكسدة والارجاع من 0.4 إلى 1.3- حيث يتأكسد P700 لتنتقل من كمون اكسدة وارجاع منخفض إلى كمون أكسدة و ارجاع مرتفع عندها يتم ارجاع الناقل : T'1 ليرجع هذا الأخير للناقل T1 بدل T'2 وبعدها تنتقل الكترونات الى الناقل T2 والذي يثبت أيضا بروتونين من الحشوة ويضخها في تجويف التيلاكويد باستغلال طاقة الالكترونين اما الالكترونات تنتقل إلى T3 لتعود إلى P700

الاستنتاج: في حالة الاختلال يتم ضخ البروتونات من الحشوة بأكسدة P700

أما الشكل ج فيمثل الفسفرة الضوئية حيث تلاحظ تتم فسفرة ADP إلى ATP في وجود Pi بتدخل انزيم ATP سنتاز و هذا في وجود طاقة يؤمنها سيل البروتونات المتدفقة عبر الكرية المذنبة مصدرها ضخ البروتونات من الحشوة بأكسدة P700 من طرف الناقل T2 دون الاكسدة الضوئية للماء و دون ارجاع $NADP^+$

الاستنتاج تدفق البروتونات عبر الكرية المذنبة شرط لفسفرة ADP إلى ATP في وجود Pi

التركيب يقوم النبات خلال حالة الاختلال باعادة التوازن الطبيعي عن طريق انتاج ATP فقط دون الاكسجين و دون ارجاع المستقبل النهائي حيث يتأكسد PSI فقط بشكل حلقي فهو من يفقد الالكترونات التي تستعمل في ارجاعه .وفي ضخ البروتونات من طرف الناقل T2 إلى تجويف التيلاكوبيد ليتشكل فرق في تركيز البروتونات يسمح بسيلها عبر الكرية المذنبة لتتولد طاقة تستغلها في فسفرة ADP الى ATP في وجود Pi ما ينتج عنه ارتفاع في تركيز ATP دون اكسدة الماء ودون ارجاع NADP انها الفسفرة الضوئية الحلقية .

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

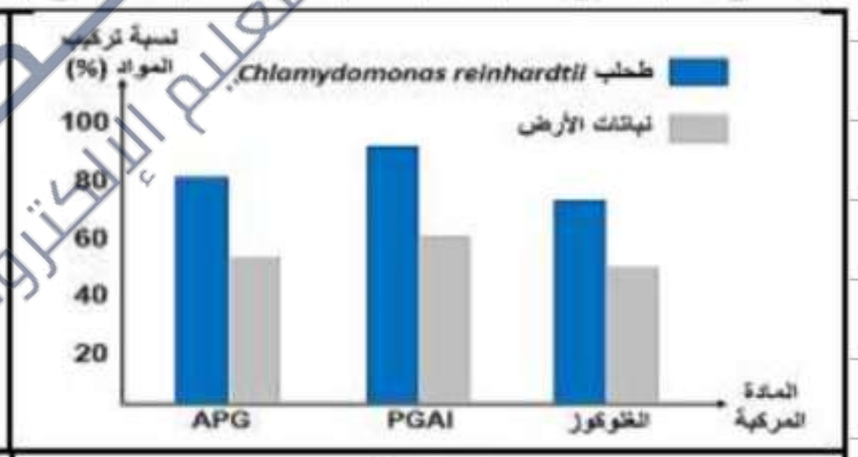
التمرين2

تقوم نباتات الأرض بتثبيت ثاني أوكسيد الكربون الجوي و دمجه في المادة العضوية في إطار ظاهرة التركيب الضوئي، و هذه العملية هي ما يوفر قاعدة الاحتياجات الغذائية لجميع الكائنات الحية.

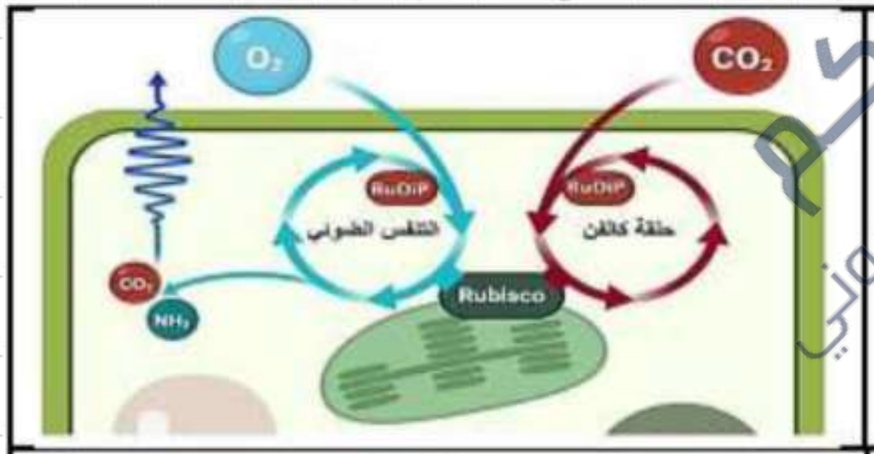
الجزء الأول:

وجد الباحثون أن النباتات لا تستغل ثاني أوكسيد الكربون بشكل مثالي و هذا ما ينعكس سلبا على الإنتاجية و لمعرفة سبب ذلك أجروا عليها دراسة مقارنة مع طحلب مائي قادر على التركيب الضوئي يدعى *Chlamydomonas reinhardti* نقدمها لك في أشكال **الوثيقة (1)**، حيث:

- **الشكل (أ)** يمثل كميات المواد المركبة خلال تفاعلات حلقة كالفن في كل من الطحلب المائي و نباتات الأرض.
- **الشكل (ب)** يبرز التفاعلات التي يقوم بها إنزيم Rubisco في الصانعات الخضراء لنباتات الأرض، حيث وجد أنه إضافة إلى تثبيت الـ CO_2 فإن له القدرة على تثبيت الـ O_2 كذلك ضمن سلسلة تفاعلات تدعى التنفس الضوئي.
- يوضح **الشكل (ج)** معدلات تفاعل إنزيم Rubisco مع كل من CO_2 و O_2 في الطحلب و نباتات الأرض.



الشكل (أ)

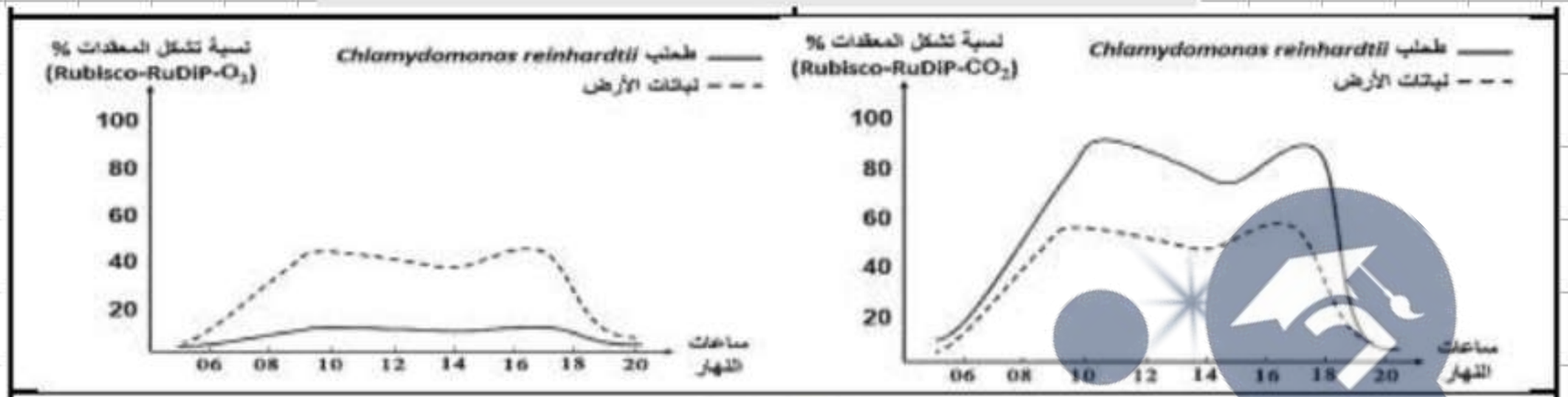


الشكل (ب)

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com



الشكل (ج)

الوثيقة (1)

1- باستغلال أشكال الوثيقة (1)، **استخرج** سبب ضعف إنتاجية نباتات الأرض.

2- بالاعتماد على ما توصلت إليه في الشكل (ج)، **صغ** المشكل العلمي المطروح.

الجزء الثاني:

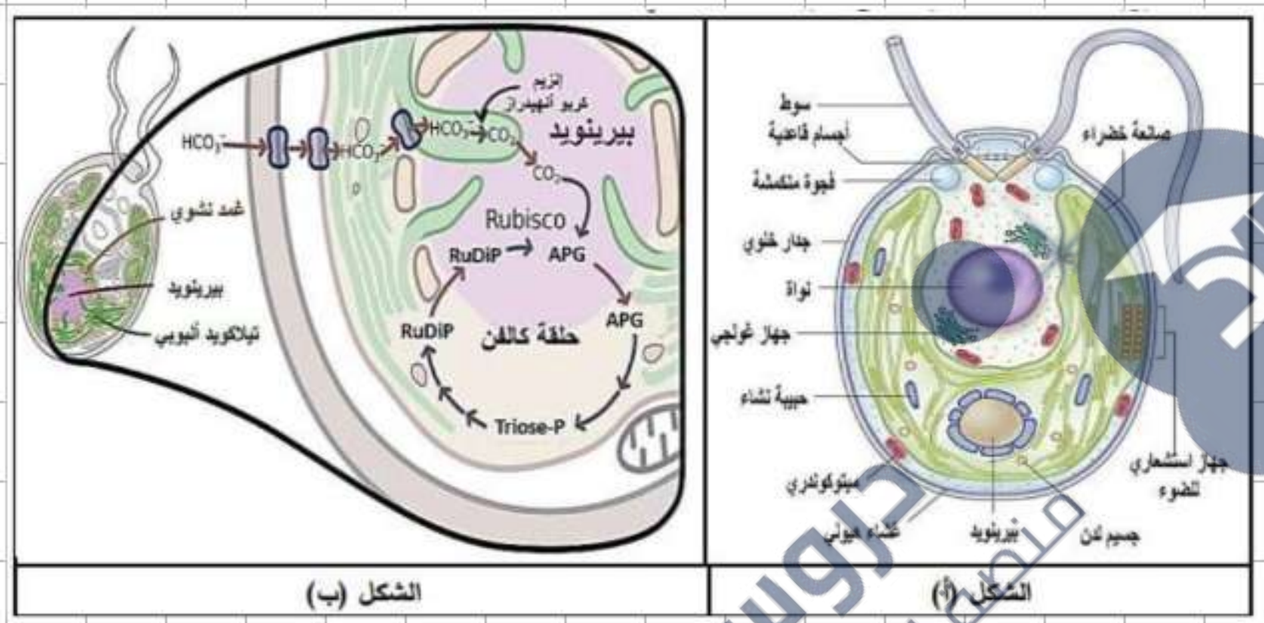
للإجابة عن المشكل المطروح نقترح عليك أشكال الوثيقة (2)، حيث:

- **الشكل (أ)** يمثل رسما تخطيطيا لما فوق بنية الطحلب المائي *Chlamydomonas reinhardtii*.
- **الشكل (ب)** يبين خطوات تقنية تركيز ثاني أوكسيد الكربون CCM التي يقوم بها الطحلب المائي لإنتاج غذائه انطلاقا من CO_2 الذي يكون منحلا في الماء في شكل بيكربونات $HCO3^-$.
- **الشكل (ج)** يمثل نمذجة لطريقة توزع إنزيم Rubisco في كل من الطحلب و نباتات الأرض.

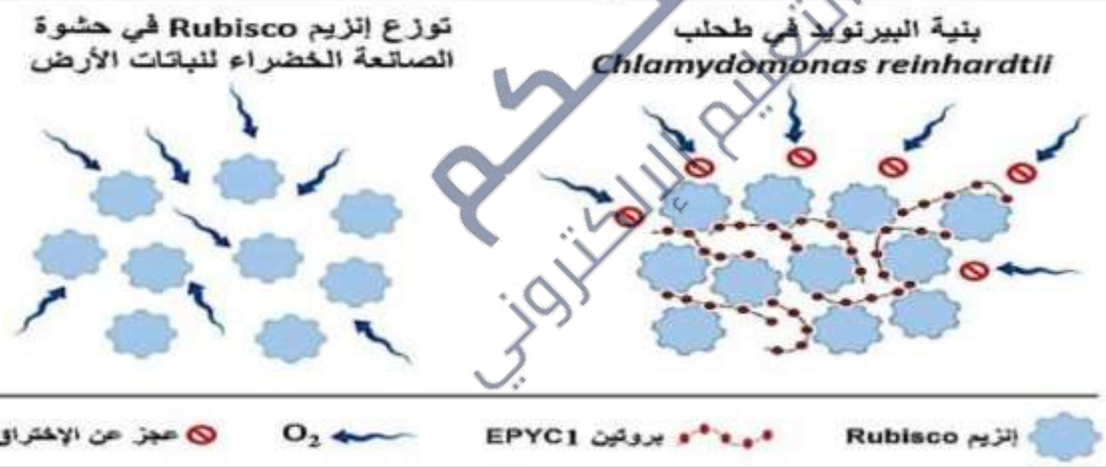
دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com



الشكل (ب) | الشكل (أ)



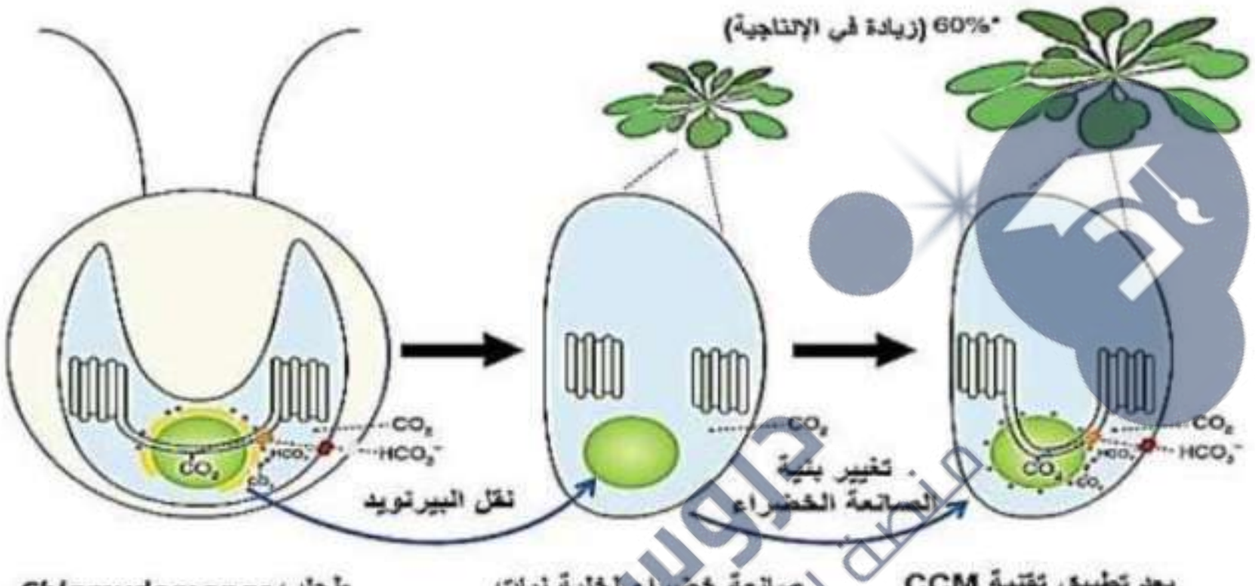
الشكل (ج)

الوثيقة (2)

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

سعى الباحثون لاستغلال تقنية CCM التي يقوم بها الطحلب في تحسين إنتاجية نباتات الأرض كما تبينه **الوثيقة (3)**:



الوثيقة (3)

1- باستغلال معطيات الوثيقة (2)، **أجب** عن المشكل المطروح.

2- **وضح** سبب اهتمام الباحثين بهذا الطحلب المائي بالاعتماد على الوثيقة (3).

دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

حل التمرين2

الجزء الأول:

1. استخراج سبب ضعف إنتاجية نباتات الأرض:

- **استغلال الشكل (أ):** يمثل أعمدة بيانية توضح كميات المواد المركبة خلال تفاعلات حلقة كالفن في كل من الطحلب المائي و نباتات الأرض، حيث:
- يركب الطحلب نسبة أكبر من APG (80%) مقارنة مع نباتات الأرض (50%).
- يركب الطحلب نسبة أكبر من PGAl (90%) مقارنة مع نباتات الأرض (60%).
- يركب الطحلب نسبة أكبر من الغلوكوز (70%) مقارنة مع نباتات الأرض (50%).
- **الاستنتاج:** الطحلب المائي ذو إنتاجية أكبر للمركبات الوسطية في تفاعلات حلقة كالفن من نباتات الأرض.

- **استغلال الشكل (ب):** يمثل نمذجة للتفاعلات التي يقوم بها إنزيم Rubisco في حشوة الصانعات الخضراء لنباتات الأرض، حيث:

نلاحظ أن إنزيم Rubisco يقوم بالتفاعل مع ركيزتين:

- CO_2 الذي يثبته على مركب RuDiP ضمن تفاعلات حلقة كالفن لإنتاج السكريات.
- O_2 الذي يثبته كذلك على RuDiP ضمن تفاعلات التنفس الضوئي التي ينتج عنها NH_3 و انطلاق CO_2.
- **الاستنتاج:** إنزيم Rubisco قادر على تثبيت كل من CO_2 و O_2 في حشوة الصانعات الخضراء لنباتات الأرض.

- **استغلال الشكل (ج):** يمثل منحنيات تظهر تغيرات نسبة تشكل المعقدات (Rubisco-RuDiP-CO_2) و المعقدات (Rubisco-RuDiP-O_2) في كل من الطحلب و نباتات الأرض، حيث:

- **نسبة تشكل المعقدات (Rubisco-RuDiP-CO_2):**

- ترتفع بداية من الساعة (06) لكن بنسبة أكبر عند الطحلب حيث تصل إلى 90% عند الساعة (10) بينما تصل إلى 60% فقط عند النباتات، ثم تنخفض ببطء خلال ساعات منتصف النهار حتى تصل إلى 80% للطحلب و 50% للنباتات لتعود للارتفاع مجددا بعد الساعة (03) ثم تنخفض بشكل سريع حتى الانعدام عند الساعة (20) مساء.

- **نسبة تشكل المعقدات (Rubisco-RuDiP-CO_2):**

- ترتفع بداية من الساعة (06) بنسبة أكبر عند النباتات حيث تصل إلى 50% عند الساعة (10)، ثم تنخفض ببطء خلال ساعات منتصف النهار حتى تصل إلى 40% لتعود للارتفاع مجددا بعد الساعة (03) ثم تنخفض بشكل سريع حتى الانعدام عند الساعة (20) مساء، بينما لا تتجاوز نسبة 20% عند الطحلب طيلة ساعات النهار.

- **الاستنتاج:** يتميز إنزيم Rubisco عند الطحلب بكفاءة (فعالية) كبيرة في تثبيت CO_2 و ضعف في تثبيت O_2 على عكس إنزيم Rubisco عند نباتات الأرض الذي يتميز بكفاءة أقل في تثبيت CO_2 و أكبر في تثبيت O_2.

* **و منه:**

نقص كفاءة (فعالية) إنزيم Rubisco في تثبيت CO_2 عند نباتات الأرض أدى إلى تقليل إنتاج المواد الوسطية لتفاعلات حلقة كالفن و بالتالي إنتاج كمية أقل من المثالية للغلوكوز الذي يستعمل في نمو النباتات، مما أدى إلى تقليل إنتاجيتها.

2. صياغة المشكل العلمي المطروح:

- من الشكل (ج): لاحظنا أن إنزيم Rubisco عند الطحلب ذو كفاءة عالية في تثبيت CO_2 مقارنة بنباتات الأرض و العكس في حالة تثبيت O_2، مما يقودنا للتساؤل:

* **ما سبب هذا الإختلاف؟**

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

منصة دروسكم - دعم مدرسي عبر الأنترنت - www.dorouscom.com

الجزء الثاني:

1. الإجابة عن المشكل المطروح:

- **استغلال الشكل (أ):** يمثل رسما تخطيطيا للطحلب المائي *Chlaydomonas reinhardtii*، حيث يظهر أن هذا الطحلب:
- كائن وحيد الخلية حقيقي النواة محاط بغشاء هيولي داخلي و جدار خلوي ينبعث منه سوطان بارزان.
- الهيولى تحتوي على مجموعة متنوعة من العضيات (ميتوكوندريات، نواة، أجهزة غولجي، فجوتان منكمشتان، جسمان قاعديان ملتصقان في قاعدتي السوطين، صانعة خضراء).
- الصانعة الخضراء ضخمة و متطورة تحتوي على مجموعة من البنيات متوزعة بشكل مختلف (بيرينويد في المركز، جسيمات لدنة متفرقة، جهاز استشعاري للضوء ملتصق بالغلاف، حبيبات نشاء أغلبها متمركز حول البيرينويد)، كما تحتوي الصانعة على شبكة كثيفة من التيلاكويدات.
- **الاستنتاج:** بنية الطحلب المائي تسمح له بالقيام بالتركيب الضوئي.
- **استغلال الشكل (ب):** يمثل رسما تخطيطيا وظيفيا لجزء من الطحلب المائي يبرز خطوات آلية CCM التي يقوم بها لإنتاج غذائه انطلاقا من CO_2 المنحل في الماء في شكل HCO_3^- حيث:
- ينفذ HCO_3^- عبر قنوات إلى داخل الطحلب ثم إلى داخل الصانعة الخضراء ثم إلى داخل تيلاكويد أنبوبي، هذا الأخير يخترق البيرينويد.
- داخل التيلاكويد و بتدخل إنزيم كربوانهيدراز يتحول HCO_3^- إلى CO_2.
- يخرج CO_2 من التيلاكويد إلى البيرينويد أين يتواجد إنزيم Rubisco الذي يثبته على APG ليدخل في تفاعلات حلقة كالفن المنتجة للسكريات.
- **الاستنتاج:** الطحلب المائي قادر على اقتناص البيكربونات من الماء و تحويلها إلى CO_2 يستعمله في إنتاج غذائه.

- **استغلال الشكل (ج):** يمثل نمذجة لطريقة توزع إنزيمات Rubisco في كل من الطحلب و نباتات الأرض، حيث:
- عند النباتات: تكون الإنزيمات متوزعة بشكل حر في حشوة الصانعة الخضراء مع وجود فراغات بينها تسمح لها بوصول O_2 إليها.
- عند الطحلب: تكون الإنزيمات مرتبطة ببعضها بواسطة بروتينات EPYC1 مما يغلق الفراغات بينها و يمنع وصول O_2 إلى الإنزيمات.
- **الاستنتاج:** تمنع بنية البيرينويد (وجود بروتينات EPYC1) المميزة تثبيت إنزيم Rubisco لـ O_2.

*** و منه:**

سبب الاختلاف و تفوق الطحلب على النباتات في كفاءة تثبيت CO_2 هو:

- قدرته على تحويل اقتناص البيكربونات من الماء و تحويلها إلى CO_2.
- احتواؤه على بنية تميزه عن النباتات و المتمثلة في البيرينويد المتكون من بروتينات EPYC1 تربط إنزيمات Rubisco ببعضها و تمنع وصول O2 إليها.
- عدم وصول O2 إلى Rubisco يمنع منافسته لـ CO2 الذي يصل بسهولة عبر التيلاكويدات الأنبوبية التي تخترق البيرينويد.

2. توضيح سبب اهتمام الباحثين بهذا الطحلب:

- **استغلال الوثيقة (3):** تمثل رسما تخطيطيا وظيفيا يظهر آلية تحسين إنتاجية نباتات الأرض بتقنية CCM الخاصة بالطحلب حيث:
- في البداية، تم نقل البيرينويد من الطحلب إلى حشوة الصانعة الخضراء لنبات أرضي استهلاكي.
- بعد ذلك تم تغيير بنية الصانعة الخضراء بحيث يخترق البيرينويد الثان من التيلاكويدات.
- عقب هذه التغييرات تصبح بنية الصانعة الخضراء للنبات مشابهة لمثيلتها عند الطحلب، و هذا ما يسمح لها بالقيام بآلية CCM في تثبيت CO_2، مما يرفع في الإنتاجية بنسبة 60%.

*** و منه:**

سبب اهتمام الباحثين بهذا الطحلب هو قدرته على تثبيت CO2 بطريقة أكثر كفاءة بفضب احتوائه على البيرينويد الذي يمكن نقله إلى النباتات الاستهلاكية مما يرفع من إنتاجتها و يحسن المحاصيل.

دروسكم منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11