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:

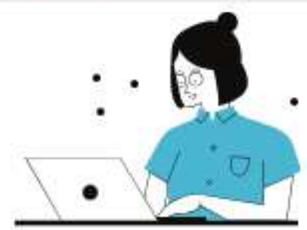
1. حدّد شروط عملية التركيب الضوئي.
2. حدّد شكل الطاقة المحولة والناتجة في عملية التركيب الضوئي.

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.

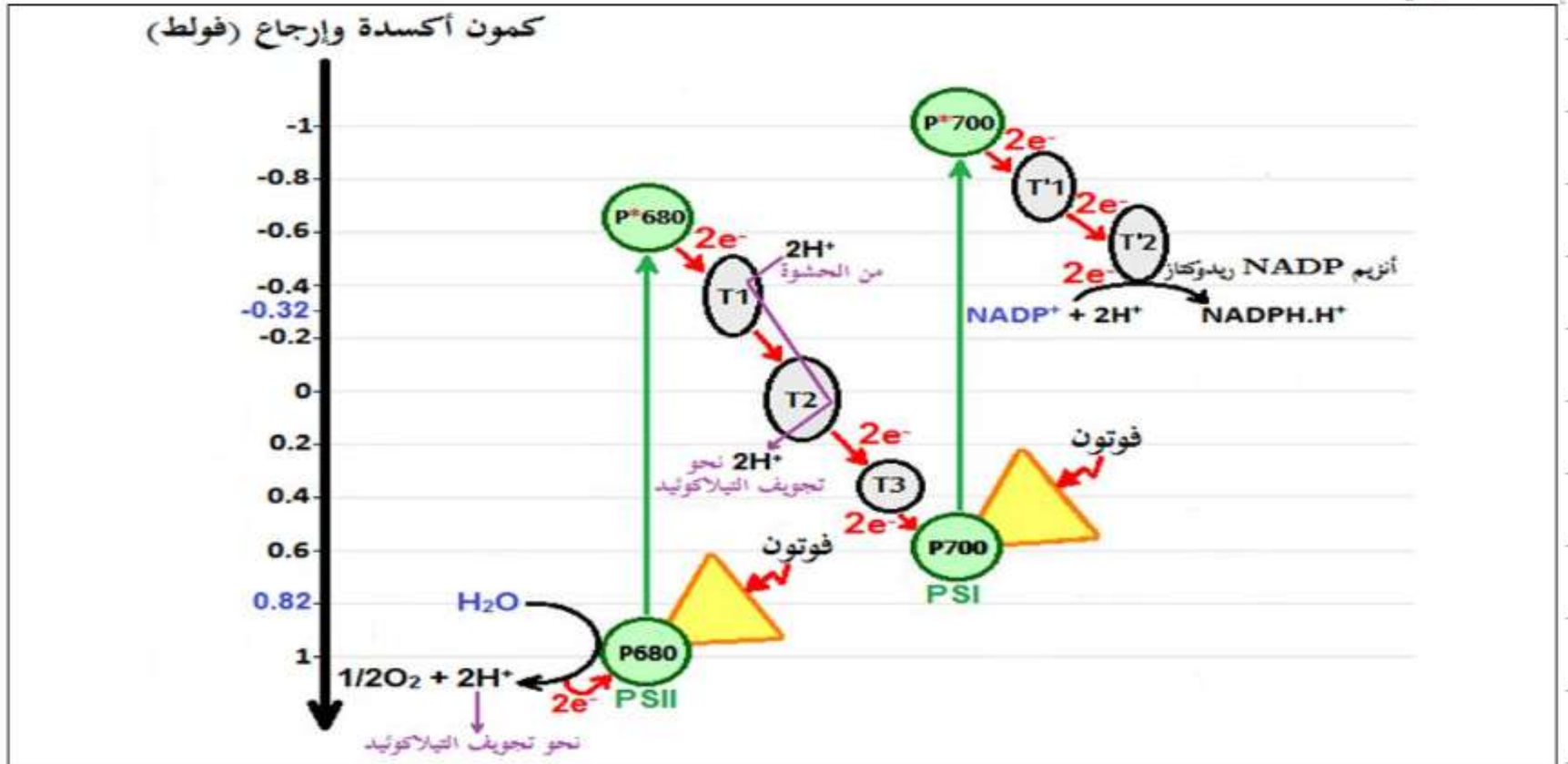
المشكلة: ما هي آليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة؟

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

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

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

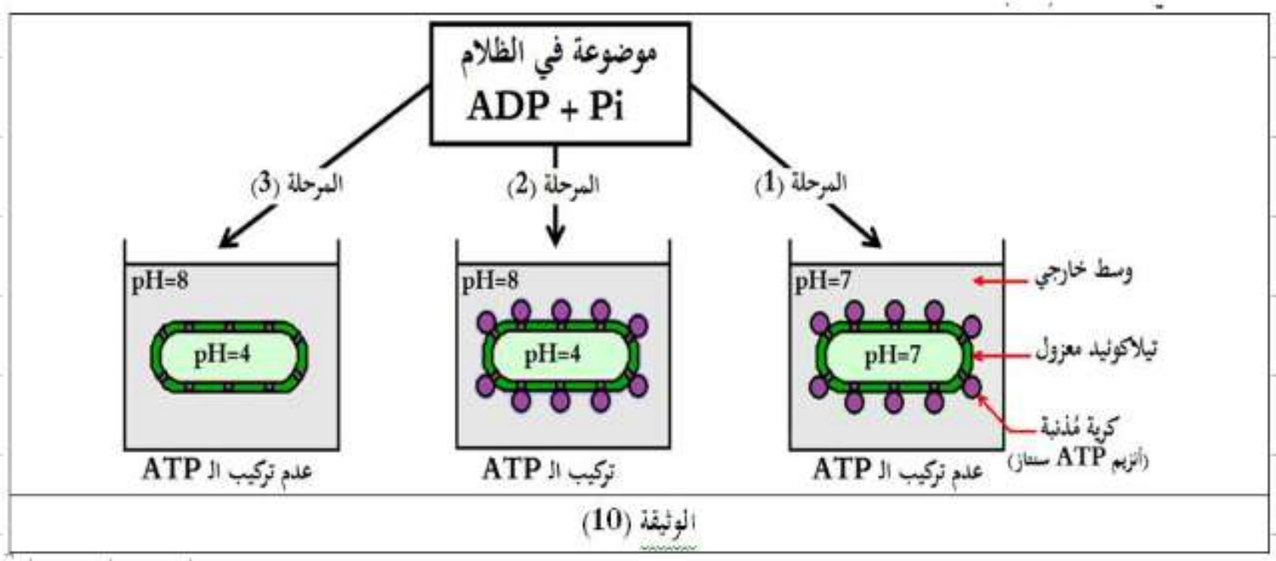
• ملاحظة: إن تركيز البروتونات (H^+) يتناسب عكسًا مع الـ pH، حيث:

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 سنتاز).
- 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 سنتاز.
  - تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات الخارجة بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي (Pi): إنها الفسفرة الضوئية.

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

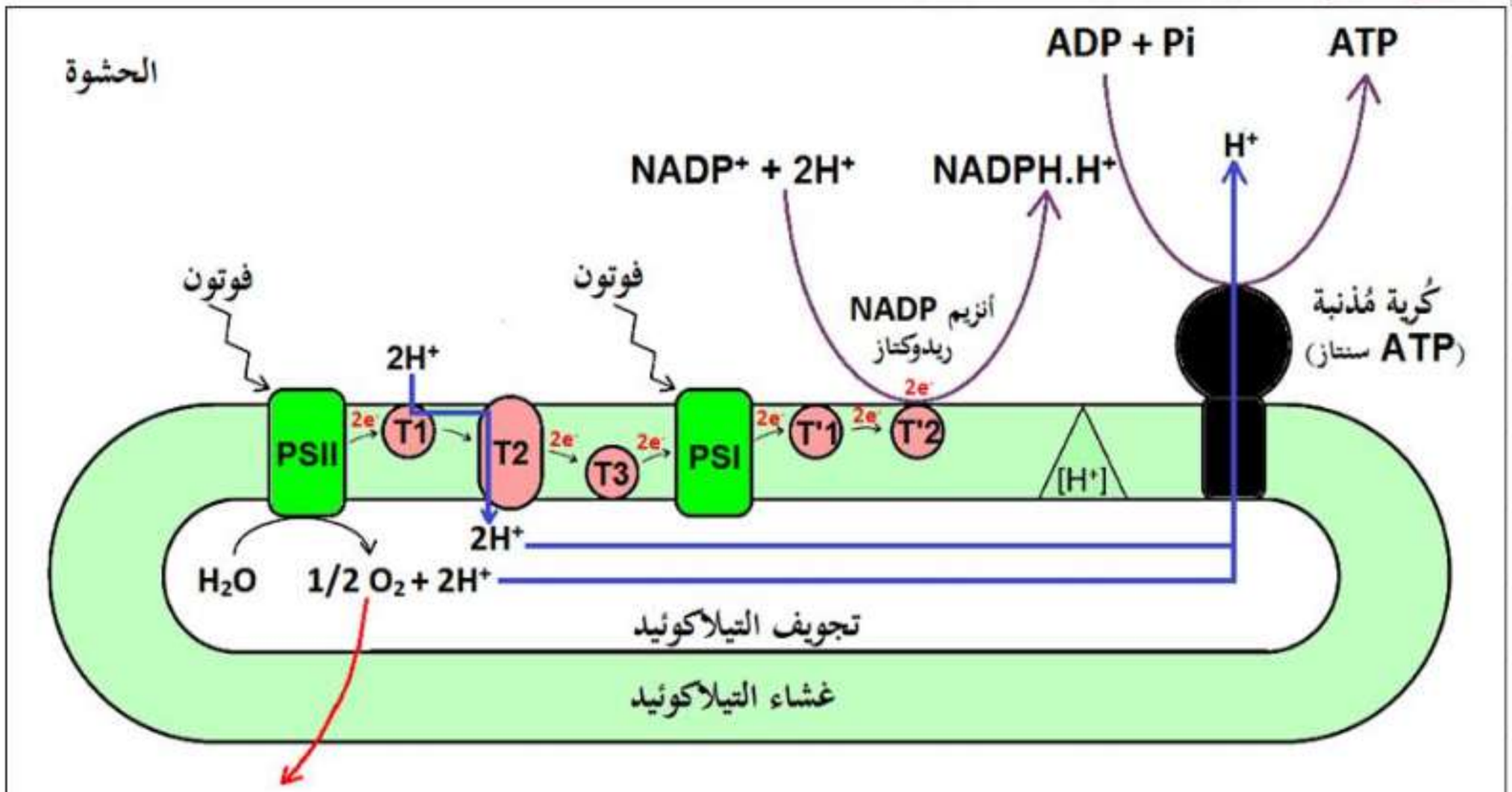
- **ملاحظة:** الغرض من إجراء التجربة في الظلام هو: منع تأثير الضوء المسؤول طبيعيًا على أكسدة الماء لإنتاج البروتونات التي تعمل على تكوين فرق في التركيز، وإثبات أن تركيب الـ ATP من الـ ADP وPi مرتبط بفرق تركيز H^+ على جانبي غشاء التيلاكوئيد (الكيس).

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

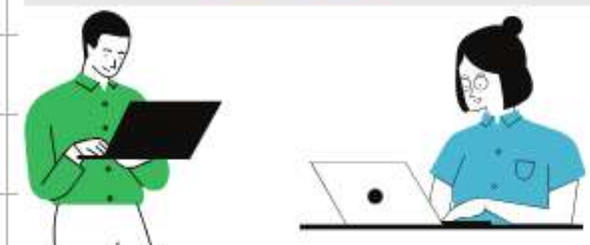
0699 320 999 / 044 77 64 11

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

2.اقتراح نموذج تفسيري لألية المرحلة الكيموضوئية:

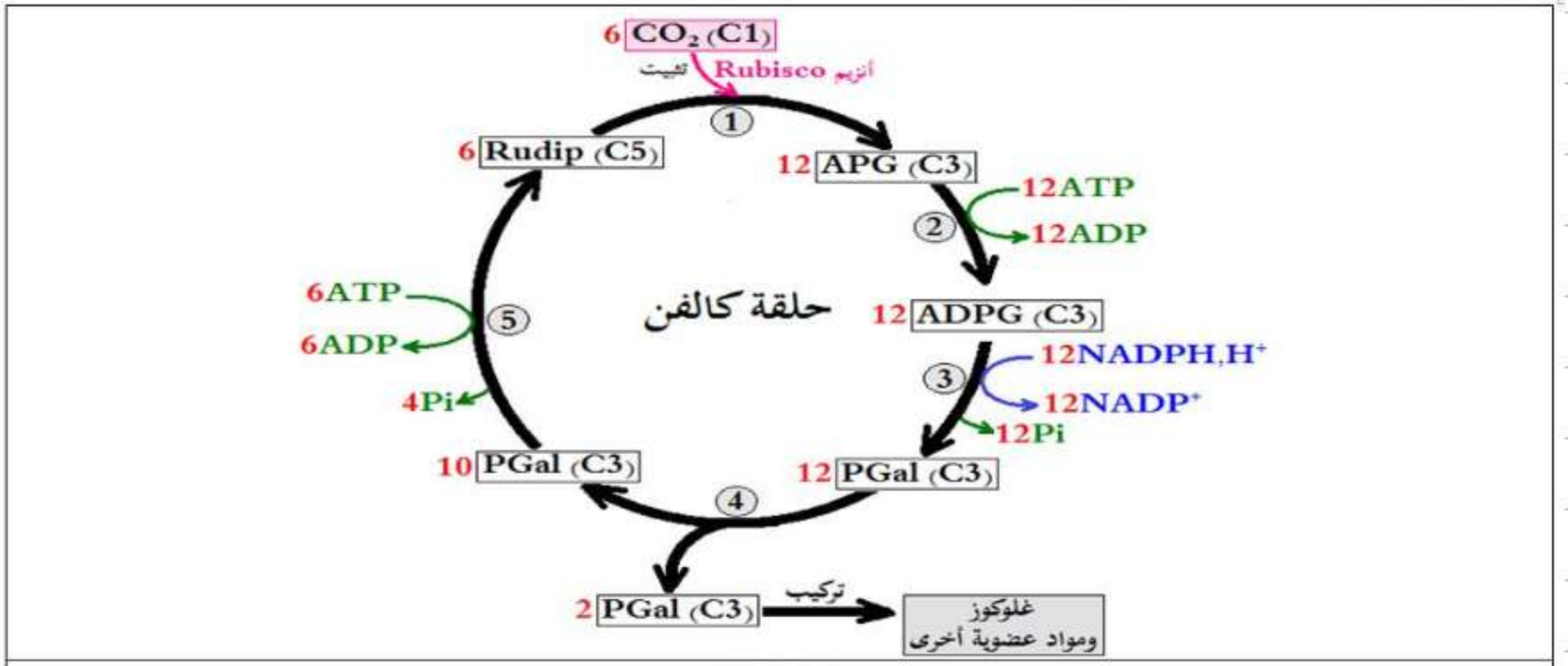


نموذج تفسيري مقترح لألية المرحلة الكيموضوئية

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

توصل كالفن ومساعدوه إلى تحديد تفاعلات تثبيت الـ CO_2 والمركبات الوسطية الناتجة في شكل حلقة تُعرف بحلقة كالفن، تمثل **الوثيقة (13)** مخطط حلقة كالفن.



الوثيقة (13)

التعليمات:

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

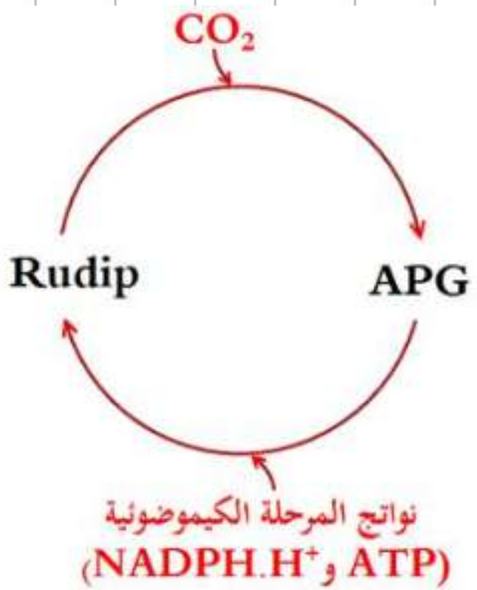
دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك
0699 320 999 / 044 77 64 11

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

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 سريعًا 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

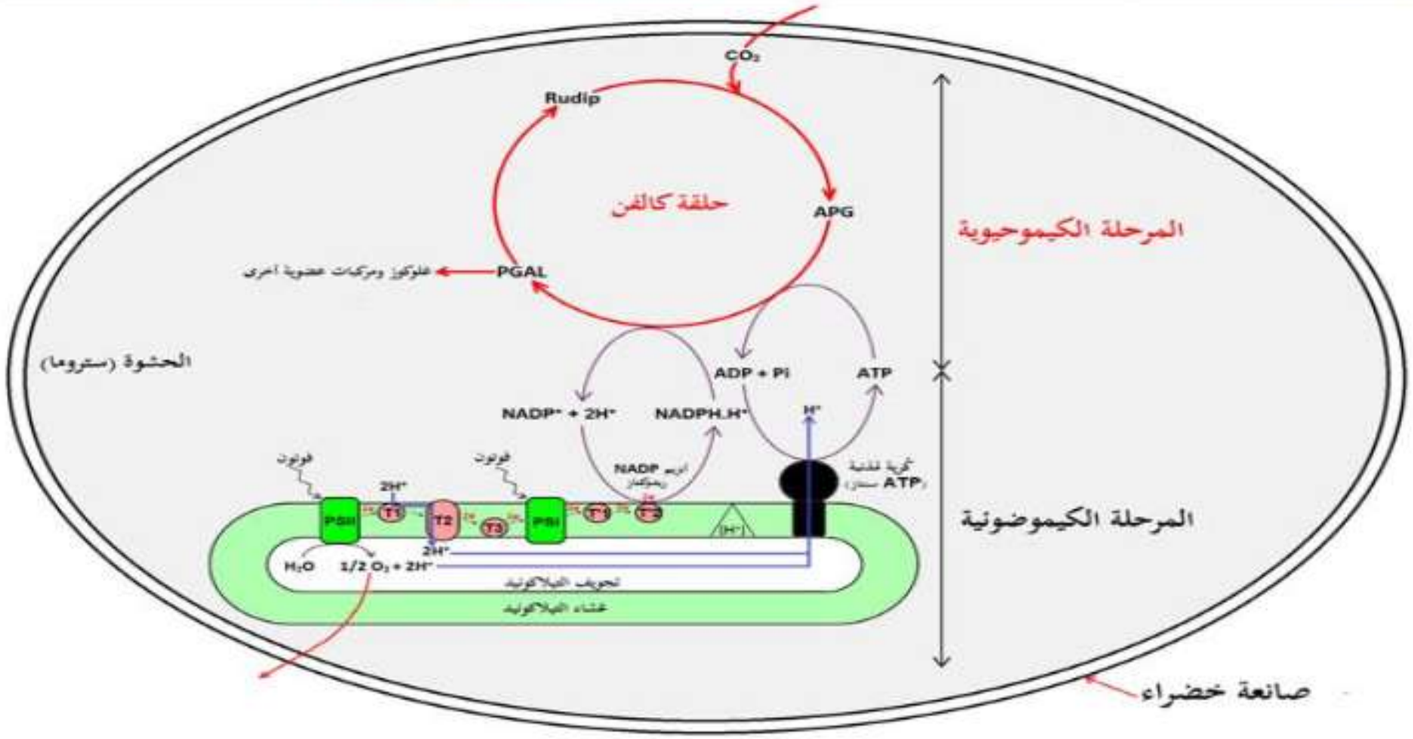
0699 320 999 / 044 77 64 11

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.
- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المقتنصة، مُتخلية 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 النوافل 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 سنتار.
- 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 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.
- 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:

- تتأكسد جزيئة اليخضور لمركز التفاعل تحت تأثير الفوتونات المُقتنصة، 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:

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

3. الفسفرة الضوئية للـ ADP في وجود Pi (تركيب الـ ATP):

$$ADP + Pi \xrightarrow[F_0]{\text{ATP سنتاز}} ATP$$

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:

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

أو

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

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:

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

- 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

التمرين4

لنباتات الخضراء القدرة على تركيب المادة العضوية انطلاقا من المادة المعدنية في وجود الطاقة الضوئية عن طريق عملية التركيب الضوئي حيث يوجد نوعان من النابتات :

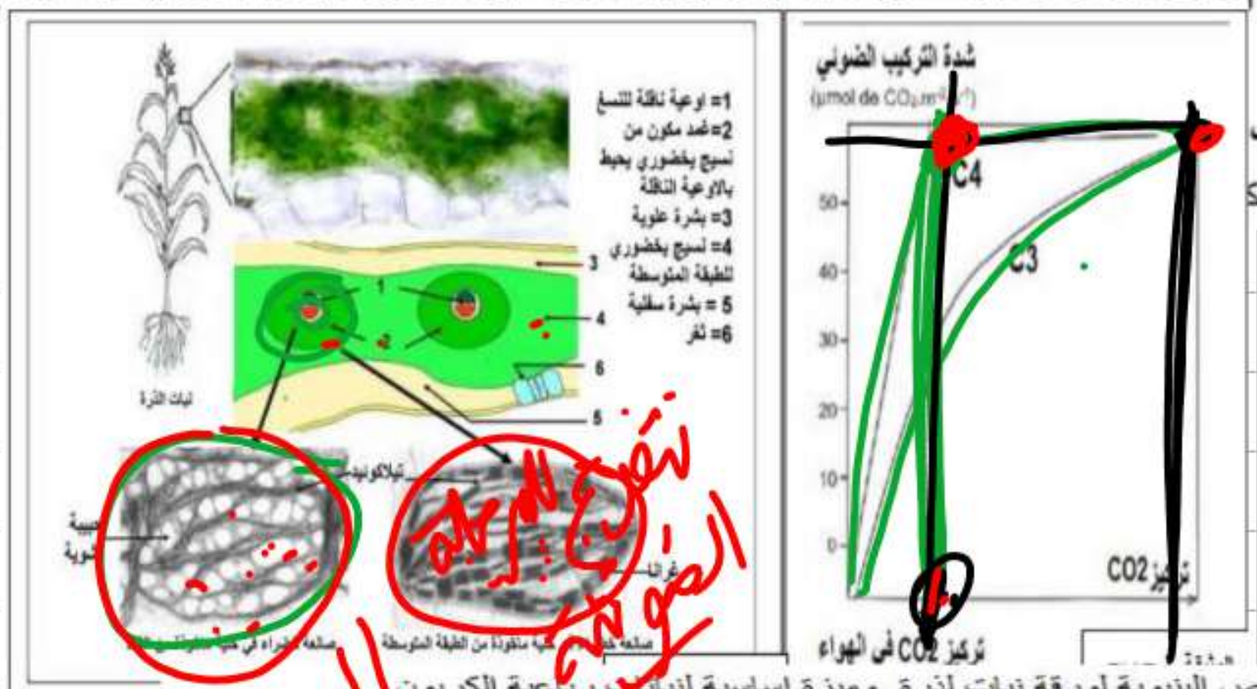
النوع الاول يقوم بعملية التركيب الضوئي التقليدي ب C3(نباتات ثلاثية الكربون)

النوع الثاني يقوم بعملية التركيب الضوئي ب C4:نباتات رباعية الكربون مثل نبات الذرة و التي يكون عندها التركيب الضوئي اكثر فعالية بفضل مجموعة من الخصائص البنيوية و الوظيفية .

الجزء الاول:

تمثل(**الوثيقة 1 – ا**–) ... وئي و رسما تفسيريا له .

اما (**الوثيقة 1 – ب** ... ثلاثية الكربون و رباعية الكـ...

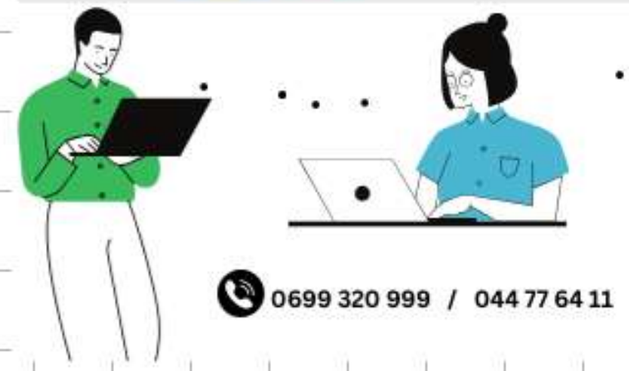


1/استخرج من (للوثيقة 1) الخصائص البنيوية لورقة نبات لذرة .وميزة اساسية لنباتات رباعية الكربون .

يفسر العلماء الاختلاف بين النباتات ثلاثية الكربون و رباعية الكربون الى ان مراحل التركيب الضوئي عند هذه الاخيرة تحدث في موقعين مختلفين من الورقة .

2/ بلستغلالك (للوثيقة 1) و من معلوماتك **قدم** استدلالا علميا لهذا التفسير .

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/استخرج من (للوثيقة 1) الخصائص البنيوية لورقة نبات لذرة .وميزة اساسية لنباتات رباعية الكربون .

يفسر العلماء الاختلاف بين النباتات ثلاثية الكربون و رباعية الكربون الى ان مراحل التركيب الضوئي عند هذه الاخيرة تحدث في موقعين مختلفين من الورقة .

2/ بلستغلالك (للوثيقة 1) و من معلوماتك **قدم** استدلالا علميا لهذا التفسير .

الجزء الثاني : من اجل تحديد الخصائص الوظيفية لنباتات رباعية الكربون و الذي يميزها عن النباتات الاخرى نجري الدراسة التالية:

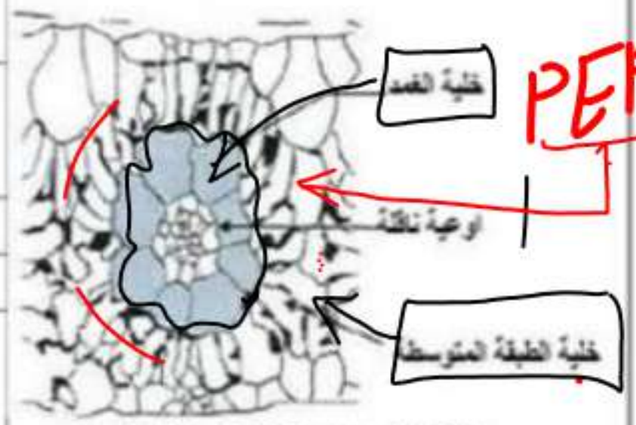
بينت نتائج البحث عن الانزيمات النباتية على مستوى الخلايا اليخضورية وجود نوعين من الانزيمات **RUBISCO** و**PEPc** (phosphoenolpyruvate carboxylase) حيث مكنت تقنية التصوير الاشعاعي الذاتي من تحديد موقع هذا الاخير في ورقة نبات رباعي الكربون كماهو موضح في الوثيقة (2- ا-)

اما الوثيقة (2 –ب -)فتمثل جدولا يلخص الفرق بين الانزيمين

الانزيمات النباتية	PEPc	RUBISCO
وجودها في النباتات الخضراء	النباتات رباعية الكربون	النباتات ثلاثية الكربون و رباعية الكربون
الركيزة	CO2	
الناتج	مركب رباعي الكربون	مركب ثلاثي الكربون
ثابت Mikaelis Menten(مك مول/ل)	70	450

علاقة Mikaelis Menten تترجم الالفة بين الانزيم و الركيزة ,حيث كلما زادت قيمة الثابت قلت فاعلية الانزيم في تحفيز التفاعل

الوثيقة 2-ب



النقاط السوداء تمثل تمركز الاشعاع

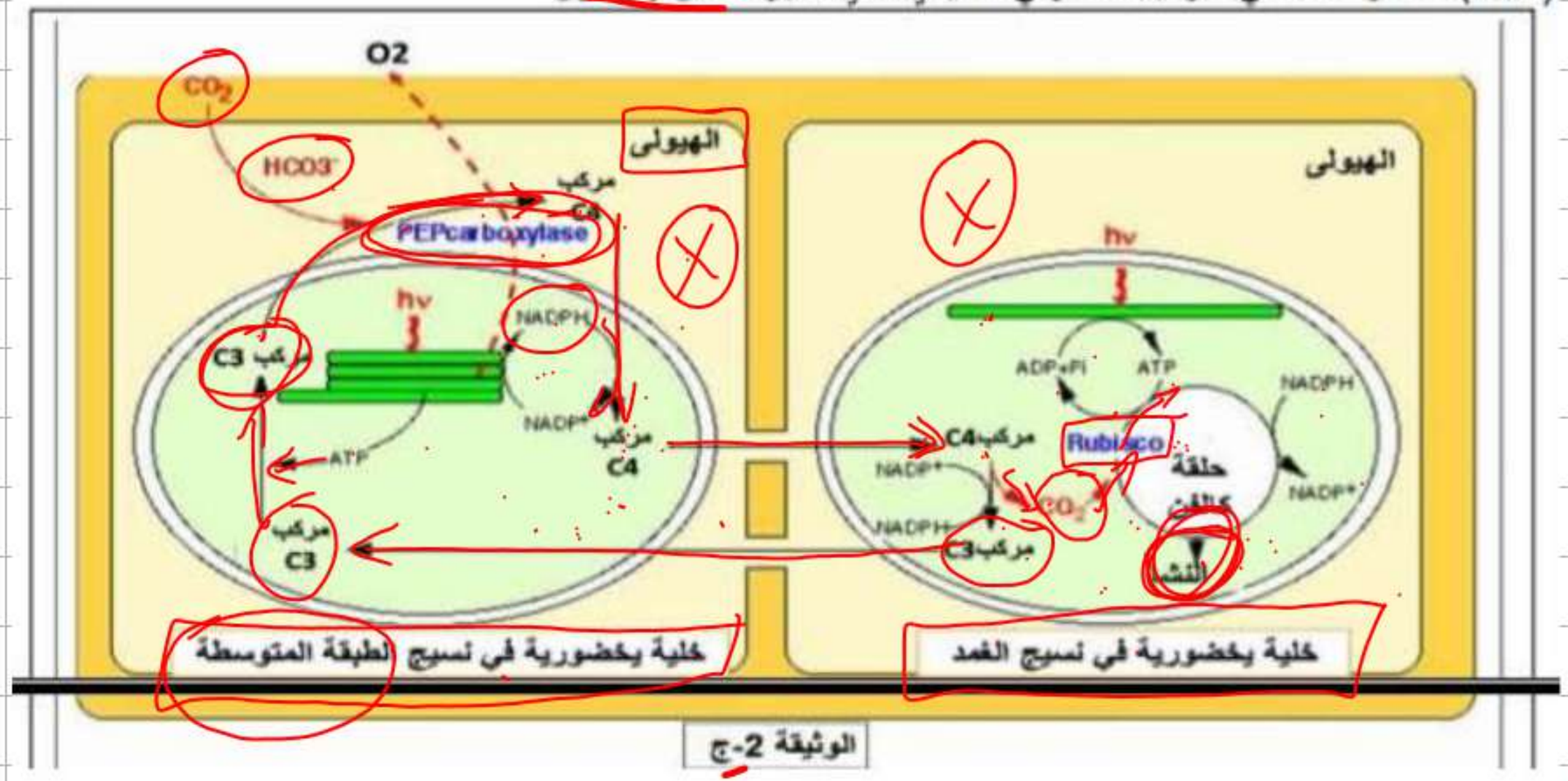
الوثيقة 2- أ

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

اظهر Hatch و Slack في عام 1970 انه في بعض النباتات كان المركب العضوي الاول المتكون من ثاني اكسيد الكربون عبارة عن جزيئ C4 (مالات و اسبرتات) كما هو موضح في الوثيقة (2ج) و ليس حمض الفوسفوغليسيريك (PGA) كما هو الحال في التركيب الضوئي التقليدي الذي اظهره كالفن و بنسون



الوثيقة 2-ج

- باستغلالك المعطيات المقدمة في اشكال الوثيقة (2) **اشرح** سبب تميز نباتات رباعية الكربون بالكفاءة العالية في عملية التركيب الضوئي مقارنة بالنباتات ثلاثية الكربون .

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 التمرين4

1/استخراج من (للوثيقة 1) الخصائص البنيوية لورقة نبات لذرة .وميزة اساسية لنباتات رباعية الكربون

الوثيقة (1 ا)

تتكون الورقة الخضراء لنبات الذرة من طبقتي بشرة علوية و بشرة سفلية بها ثغور بينهما طبقة متوسطة من **خلايا اليخضورية تتوسطها خلايا بخضورية** تشكل غمد يحيط بالاوعية الناقلة لنسغ .

_ تتميز الخلايا اليخضورية للطبقة المتوسطة بصانعات خضراء غنية جيدا بالغرانا و هي كييسات مكدسة تصطف بين الصفائح الحشوية و **غياب الحبيبات النشوية** ،اما الحلايا اليخضورية للغمد فتتميز بوجود صانعات خضراء لا تضم غرانا بل صفائح حشوية و **غنية جدا بالحبيبات النشوية** .

الوثيقة (1 –ب):

كلما زاد تركيز ال CO_2 ،**تتزايد** شدة التركيب الضوئي عند كل من النوعين للنباتات ثلاثية الكربون و رباعية الكربون ، الا ان هذه الاخيرة تتزايد عندها الشدة **بوتيرة اسرع** حيث تصل عند تركيز ال CO_2 الطبيعي في الهواء الى قيمة عالية جدا (اكثر من 60 مك مول من CO_2/مم2/ثا) مقارنة بالنباتات ثلاثية الكربون التي لاتتجاوز نصف القيمة السابقة.

الاستنتاج:النباتات رباعية الكربون لها كيزة اساسة انها ذات كفاءة عالية في تثبيت ال CO_2 حتى في حالة التركيز الضعيف منه .

2- تقديم الاستدلال العلمي للتفسير

الخلايا اليخضورية في الطبقة المتوسطة تقوم بتفاعل كيموضوئي بشدة كبيرة و الدليل على ذلك انها **غنية** بالغرانا اي تراكيب غشائية تيلاكويدية كثيرة ، و لكنها **لا تقوم بالتفاعل الكيموحيوى** و الدليل على ذلك **غياب الحبيبات النشوية** .

الحلايا اليخضورية في الغمد : **تقوم بالتفاعل الكيموحيوى بشدة كبيرة** و الدليل ذلك غناها بلاحبيبات التشوية . اما التفاعل الكيموضوئى فضعيف جيدا لغياب الغرانا ووجود الصفائح الحشوية فقط.

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

استعلال الوثيقة 2 :ابراز الخصائص الوظيفية للنباتات رباعية الكربون مما يسمح بتفسير الكفاءة العالية في عملية التركيب الضوئي .

الوثيقة 2 ـأ : نتائج متابعة الاشعاع في الانزيم ال PEPc في الخلايا اليخضورية لورقة نبات الذرة:

- نلاحظ ظهور **و تمركز الاشعاع على مستوى الخلايا اليخضورية للطبقة المتوسطة و غيابه** في خلايا الغمد

الاستنتاج: **انزيم PEPc يتواجد في خلايا الطبقة المتوسطة فقط** و لا يوجد في خلايا الغمد .

الوثيقة (2 – ب): جدول يلخص الفرق بينالانزيمات النباتية عند النباتات ثلاثية الكربون و رباعية الكربون :

- **انزيم PEPc يميز C4** ولا يتواجد عند نباتات ال C3بيت ال يقوم بتثبيت CO2 و ناتج التفاعل المركب رباعي الكربون ، يتميز **بفاعلية كبيرة جدا في تثبيت ال CO2**
- انزيم ال **RUBISCO يتواجد عند كلا النوعين** من النباتات ، يقوم بتثبيت ال CO2 و ناتج التفاعل المركب ثلاثي الكربون ، يتميز **بفاعلية اقل في تثبيت ال CO2** مقارنة ب لانزيم PEPc الذي تفوق فاعليته RUBISCO
- الوثيقة (2-ج): رسم تخطيطي يوضح تفاعلات الكيميائية التى تحدث على مستوى الخلايا اليخضورية للنبات رباعي الكربون .
- **على مستوى خلية يخضورية في نسيج الطبقة المتوسطة:**

على مستوى كيبسات داخل الصانعات الخضراء يحدث التفاعل الكيموضوئي بانتاج NADPH.H+ وATPمع انطلاق O2 **وعلى مستوى الهيولى** يتم **تثبيت ال CO2** على مركب C3 بتدخل انزيم **PEPcلينتج مركب C4** ينفذ الى لستروما الصانعة الخضراء و يتم **ارجاعه الى مركب C4اخر باكسدة** NADPH.H+ اما ال ATP فتستعمل **في تجديد المستقبل الاول ل CO2** انطلاقا من مركب C3 يتشكل في الصانعة الخضراء للخلية اليخضورية في نسيج الغمد

-**ينتقل C4 بعدها من** الطبقة المتوسطة الى نسيج الغمد .

على مستوى الخلية اليخضورية في نسيج الغمد:

على مستوى ستروما الصانعة الخضراء يتم اكسدة C4 الىC3 بتحرير الCO2 (نزع ال CO2) و ب**ارجاع** NADP+ الى NADPH.H+. ثم يعود C3 الى نسيج الطبقة المتوسطة.

يدخل ال CO2 في حلقة كالفن حيث يثبته انزيم RUBISCO ويتم دمجه في المادة العضوية باستهلاك ATPالتي تركب على مستوى اغشية الصفائح الحشوية و NADPH.H+ المرجع و هذا ما يسمح بتركيب النشاء

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

التركيب :سبب تميز نباتات رباعية الكربون بالكفاءة العالية في عملية التركيب الضوئي مقارنة بالنباتات ثلاثية الكربون .

تعود الكفاءة العالية لنباتات رباعية الكربون في عملية التركيب الضوئي الى وجود نوعين من الانسجة لكل منهما مجموعة من الخصائص البنيوية و الوظيفية تتمثل في

خلايا الطبقة المتوسطة : تتميز بوجود الصانعات الخضراء الغنية بالكيسات و التي تضمن اقتناص كمية كبيرة من الطاقة الضوئية و انتاج كمية كبيرة من ال ATP و NADPH.H+ بفضل **التفاعل الكيموضوئي** ، ووجود انزيم PEPc ذي الكفاءة العالية في تثبيت ال و تشكيل مركب رباعي C4

خلايا الغمد: تتميز بوجود صانعات خضراء تحتوي على تنزيم RUBISCO الذي يثبت ال CO2 المنقول عبر C4 و حدوث **التفاعل الكيموحيوي** الذي يؤدي الى تركيب النشاء .

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

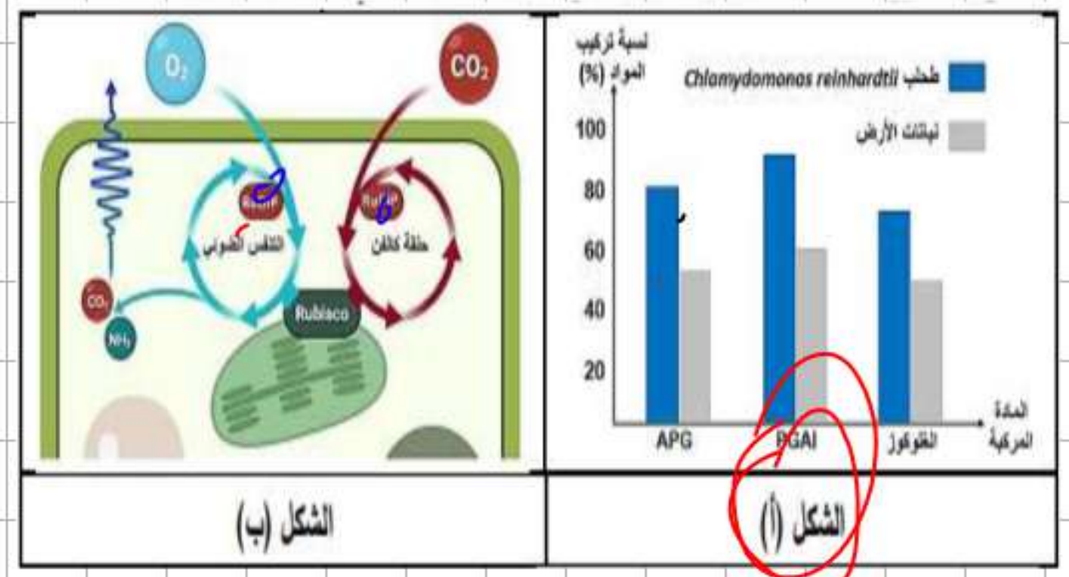
التمرين5

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:

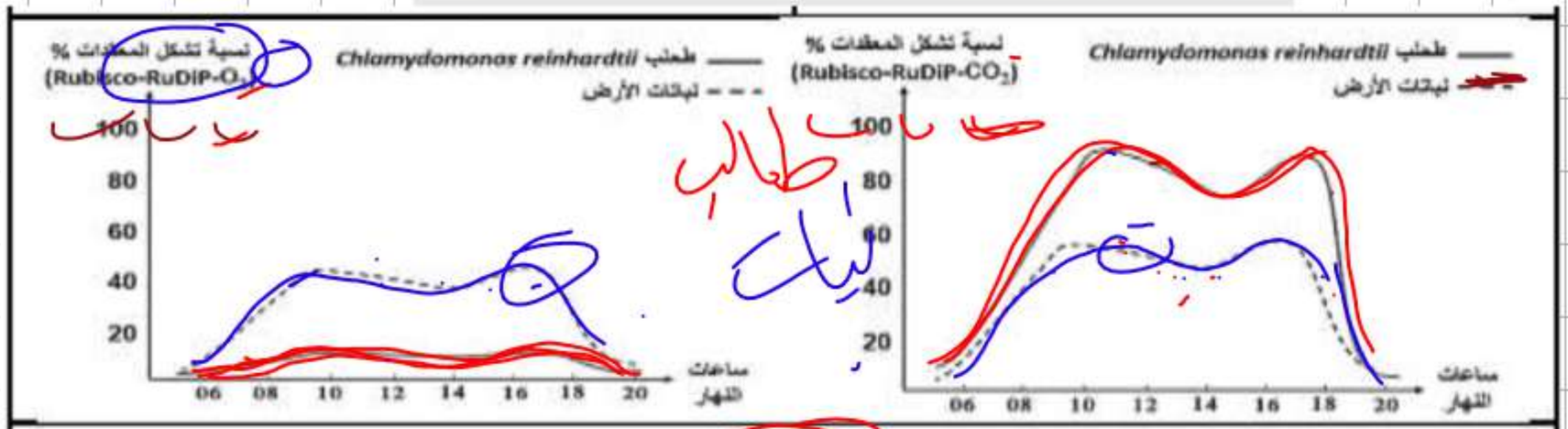
- **الشكل (أ)** يمثل كميات المواد المركبة خلال تفاعلات حلقة كالفن في كل من الطحلب المائي و نباتات الأرض.
- **الشكل (ب)** يبرز التفاعلات التي يقوم بها إنزيم Rubisco في الصانعات الخضراء لنباتات الأرض، حيث وجد أنه إضافة إلى تثبيت الـ CO_2 فإن له القدرة على تثبيت الـ O_2 كذلك ضمن سلسلة تفاعلات تدعى التنفس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



الشكل (ب) | الشكل (أ)

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:

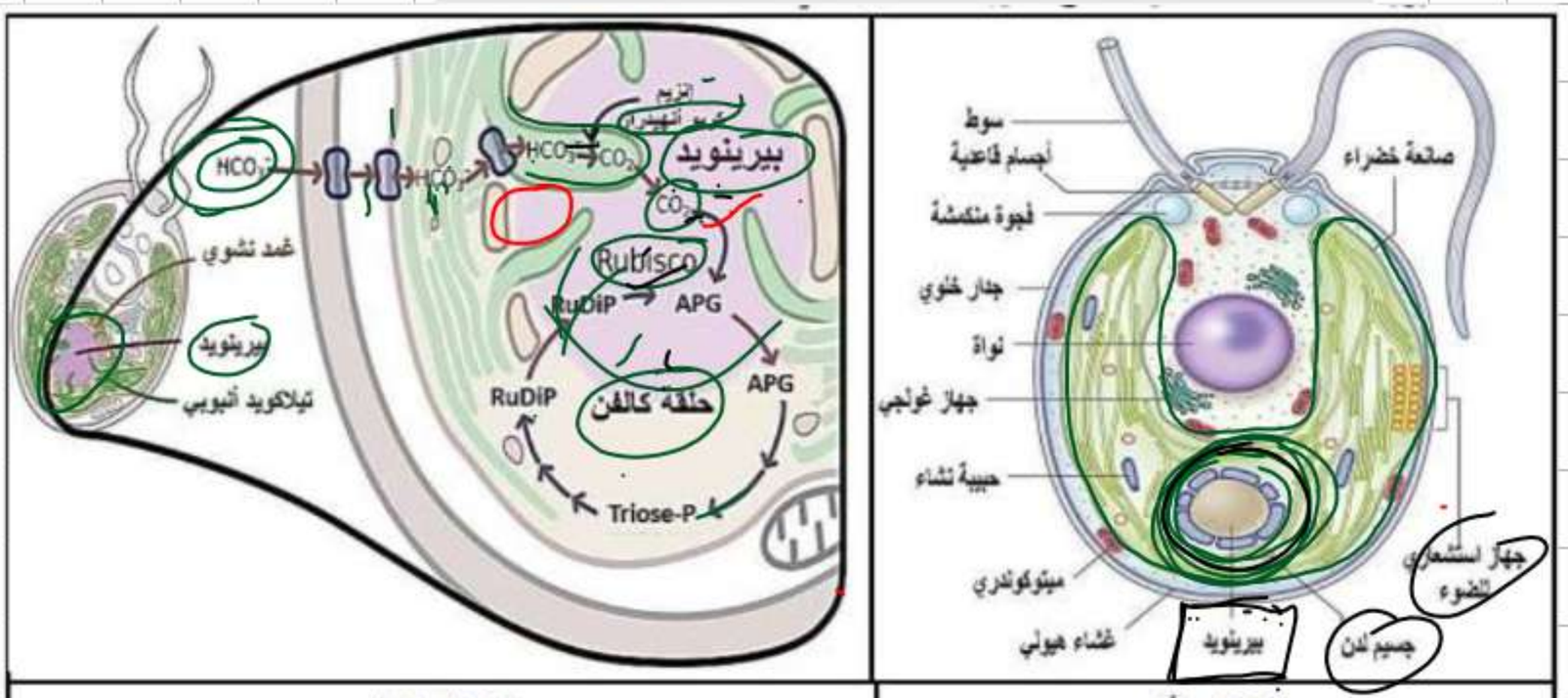
للإجابة عن المشكل المطروح نقترح عليك أشكال الوثيقة (2)، حيث:

- **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

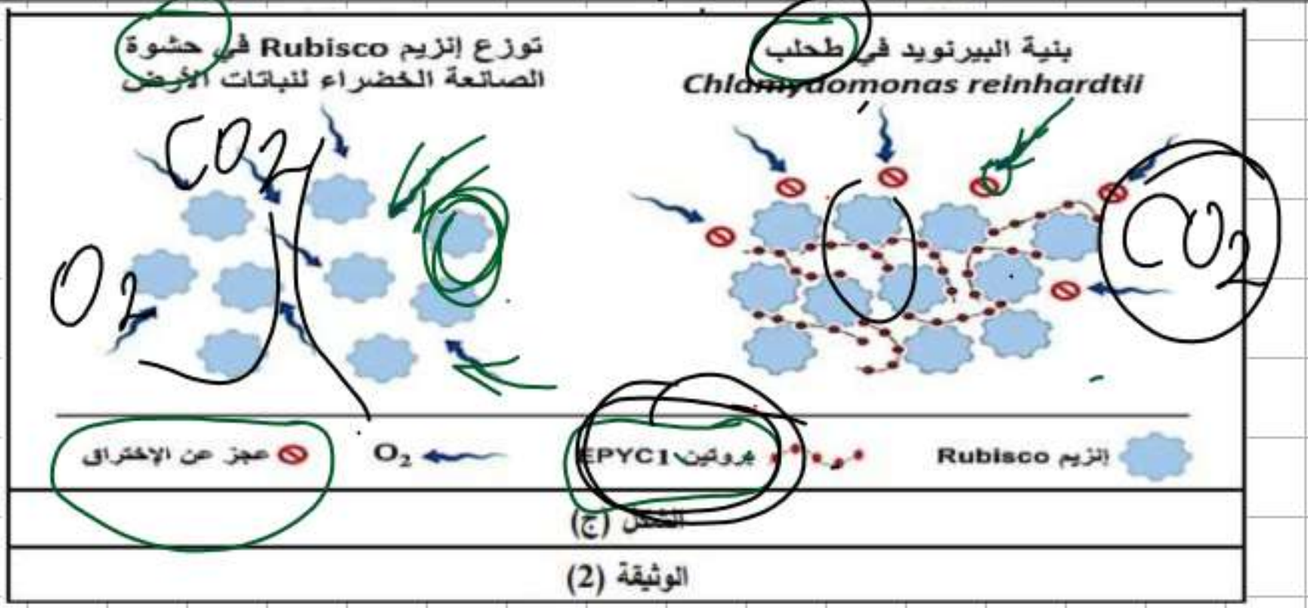
0699 320 999 / 044 77 64 11

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



الشكل (أ)

الشكل (ب)



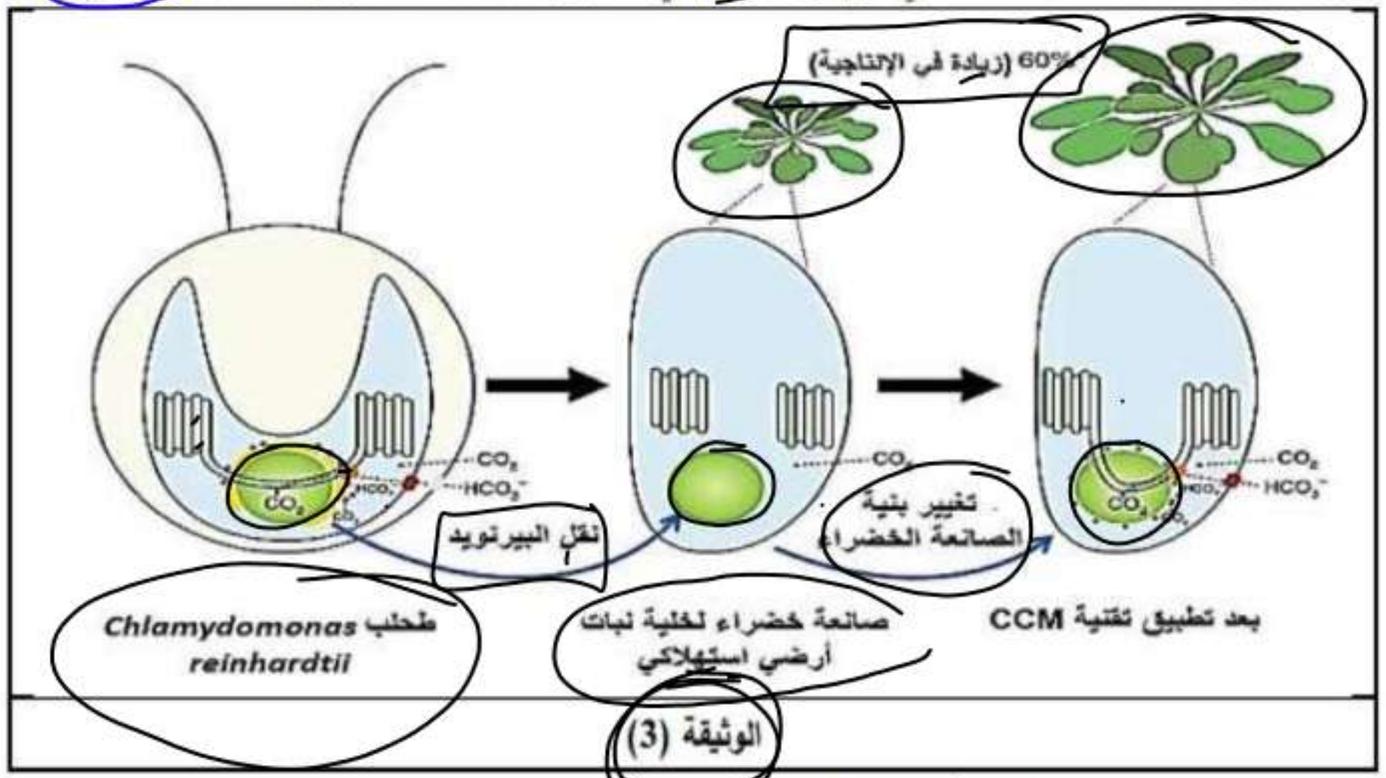
الشكل (ج)

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 التمرين5

الجزء الأول:

1. استخراج سبب ضعف إنتاجية نباتات الأرض:

- **استغلال الشكل (أ):** يمثل أعمدة بيانية توضح كميات المواد المركبة خلال تفاعلات حلقة ك 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 اثنان 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

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

المجال التعلمي الثالث: التحولات الطاقوية

الوحدة التعلمية الثانية: آليات تحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى ATP في الوسط الهوائي

النشاط التعلمي: مقر الاكسدة الخلوية

مدخل الوحدة:

تحتوي المواد العضوية المركبة أثناء عملية التركيب الضوئي على طاقة كيميائية كامنة في روابطها الكيميائية، هذه الأخيرة يتم هدمها لاستخراج مابها من طاقة وتحويلها إلى طاقة قابلة للإستعمال ATP تستعملها الخلايا الحية في مختلف نشاطاتها الحيوية. عن طريق التنفس في وجود O_2 ، التخمر في غياب O_2

تلخص المعادلة الإجمالية الآتية ظاهرة الهدم الكلي لجزيئة الغلوكوز (التنفس)

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{إنزيمات تنفسية}} 6CO_2 + 12H_2O + E$$

2860KJ

E = حرارة 1700KJ + ATP1160KJ

0KJ

التعليمة: استنتج من المعادلة مفهوم التنفس أهمية الظاهرة

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:

التنفس ظاهرة حيوية يتم خلالها هدم المادة العضوية كليا وتحويل الطاقة الكميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى ATPوجزء يضيع على شكل حرارة.

الاهمية: انتلج طاقة قابلة للاستعمال في مختلف نشاطات الخلية

المشكل:

ماهي اليات تحويل الطاقة الكميائية الكامنة في الجزيئات العضوية إلى 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

I- إظهار مقر الأكسدة التنفسية:

السند: التجربة +الوثيقة 01/ 207+الوثيقة 02. 03/ 208**التعليمة:** بين مقر الأكسدة التنفسية باستغلال الوثائق.

تجربة: نقوم بتحضير مزرعتين من خميرة الخبز في إناءين مختلفين ، يحتوي كل منهما على محلول سكري ، نسد الإناء الأول بإحكام ، ونقوم بتهوية الإناء الثاني باستمرار ، بعد مدة زمنية ، نأخذ عينة من كل إناء ونعالجها بمحلول أخضر الجانوس الذي يعتبر ملونا حيويا ، حيث يكون أخضرا في الحالة المؤكسدة وشفافا في الحالة المرجعة . كانت النتائج المتحصل عليها كالتالي :
ظهور حبيبات ملونة بالأخضر في الخلايا المأخوذة من الوسط الهوائي وعدم ظهورها في الوسط اللاهوائي .

الاجابة

نلاحظ تلون حبيبات باللون الأخضر في الوسط الهوائي وهذا يدل على حدوث أكسدة الملون داخل على مستواها . أي أن على مستوى هده العضياتتحدثعملية الأكسدة بينما عدم تلون أخضر الجانوس في الوسط اللاهوائي يدل على عدم وجود العضيات المسؤولة عن ذلك.

ومنهخلايا الخميرة على عضيات تتم فيها عملية الاكسدة يرتبط تواجدها بتهوية الوسط.

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

شكل (أ): رسم تفسيري لخلية من وسط هوائي

شكل (أ): خلية من وسط هوائي

شكل (ب): رسم تفسيري لخلية من وسط لاهوائي

شكل (ب): خلية من وسط لاهوائي

الوثيقة (1) خلايا الخميرة كما تبدو تحت المجهر الإلكتروني النافذ

الوثيقة 01

بمقارنة بنية خلايا الخميرة المأخوذة من وسط هوائي واخرلاهوائي نجد أن:

خلايا الخميرة المأخوذة من وسط هوائيتحتوي على عدد كبير من الميتوكوندري المتطورة تتتميزبحجم كبير وأعراف نامية ، في حين تكون شبه غائبة في الوسط اللاهوائي (عدد قليل من الميتوكوندري) وتتميزبحجم صغير وأعراف ضامرة).

اذن وجودالميتوكوندري وتطورها مرتبط بتهوية الوسط

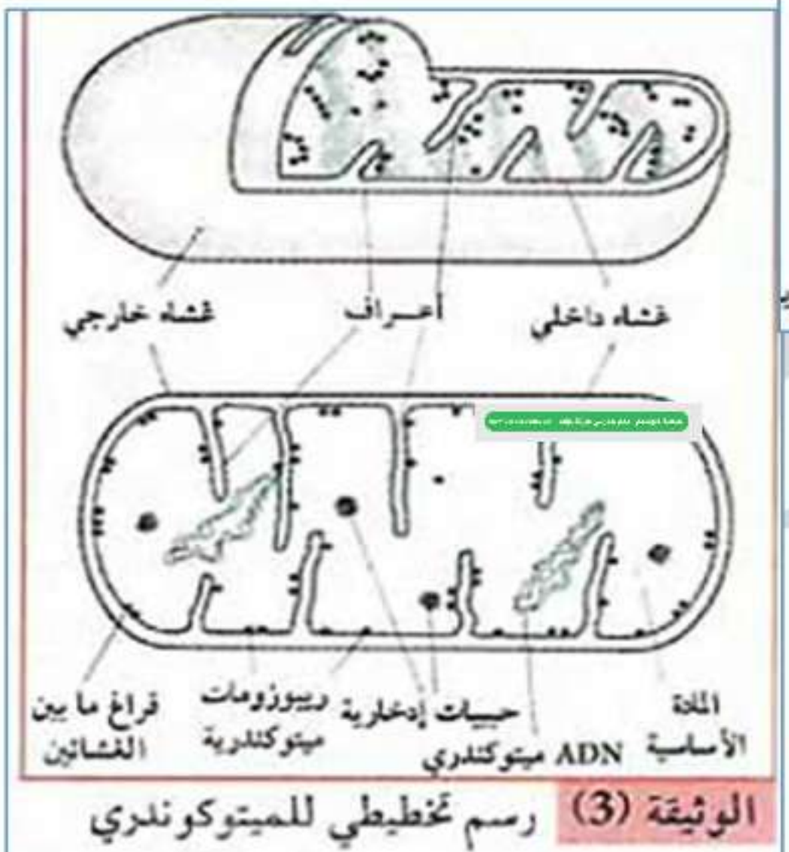
دروسكم
منصة التعليم الإلكتروني
ملف الحصة المباشرة و المسجلة
1 حصص مباشرة
2 حصص مسجلة
3 دورات مكثفة
أحصل على بطاقة الإشتراك

0699 320 999 / 044 77 64 11

الوثيقة (2) صورة بالمجهر الإلكتروني النافذ لمقطع في ميتوكوندري

و **صف بنية الميتوكوندري واستنتج ميزتها البنيوية**

للميتوكوندري عضية ذات شكل عصوي محاطة بغشائين د
وخارجي بينهما فراغ بين غشائين ،
يرسل الغشاء الداخلي إنثناءات تكون عمودية على المحور
للميتوكوندري هيالأعراف الميتوكوندرية ويحصر مادة أسا
تحتوي على ريبوزومات و DNA ومواد ادخارية .
اذن للميتوكوندري بنية حجيرية حيث تتكون من حجرتين وهي :
الفراغ بين الغشائين والمادة الأساسية.



الوثيقة (3) رسم تخطيطي للميتوكوندري

ومنه في وجود O_2 تكون الميتوكوندري ذات بنية متطورة (حجم كبير واعراف نامية) فتكون وظيفية في حين تكون في غياب O_2 ضامرة فتكون غير وظيفية وبالتالي الميتوكوندري هي مقر الأكسدة التنفسية.

2-التركيب الكيموحيوي للميتوكوندرى

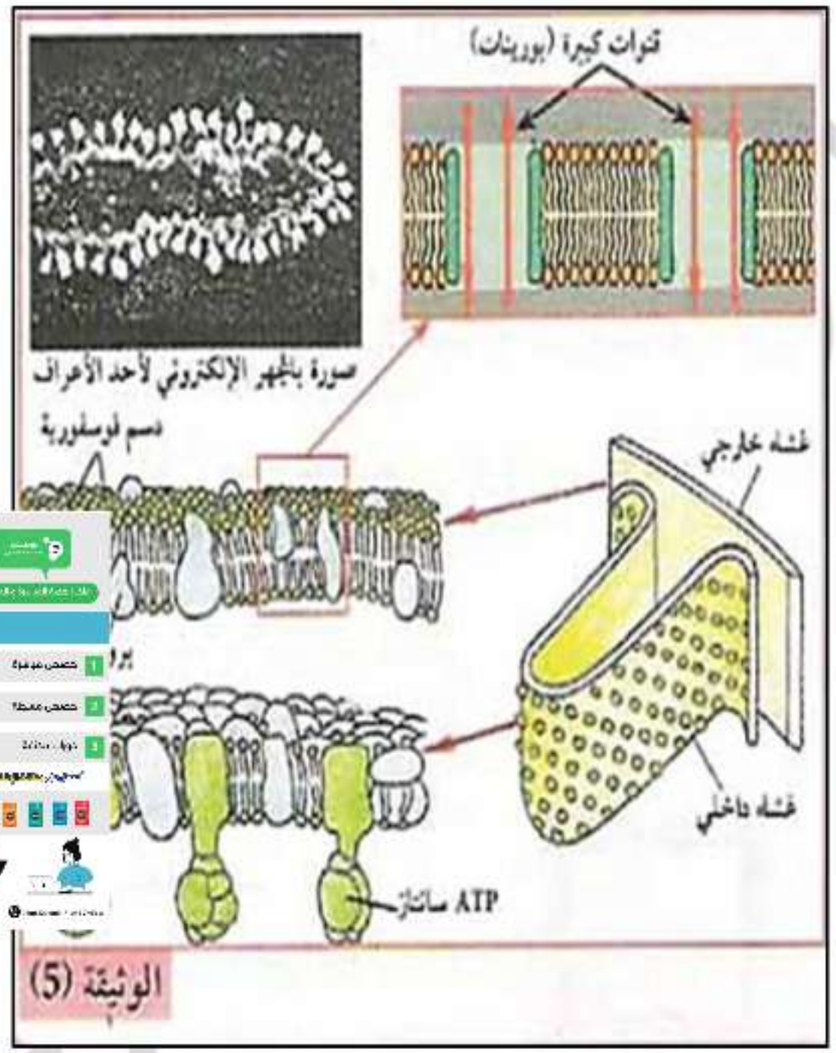
السند: الوثيقة 04. 05/ 208. 209

التعليمة: **أثبت** اختلاف دور الغشاء الداخلي و المادة الأساسية للميتوكوندريفي سيرورة عملية التنفس .

المقر / نوع المادة	الهيولى	الميتوكوندريا		
		المادة الأساسية	الغشاء	
			الداخلي	الخارجي
البروتينات في الغشاء			+	+
الدسم في الغشاء			+	+
مواد الأيض				
حمض البيروفيك	+	+		
الغلوكوز	+	-		
أستيل	-	+		
البروتينات والإنزيمات				
نازعات الهيدروجين	+	+	+	-
نازعات الهيدروجين والكربوكسيل	-	+	-	-
نواقل الإلكترونات	-	-	+	-
ATP Synthase	-	-	+	-
مضخات البروتونات	-	-	+	-

+ موجود - غير موجود

الوثيقة (1)



الوثيقة (5)

بمقارنة التركيب الكيميائي للغشاء الداخلي والخارجي نجد أن تركيب الغشاء الخارجي يتكون من نسبة قليلة من البروتينات 50% تتمثل اساسا في البورينات في حين يحتوي الغشاء الداخلي على نسبة مرتفعة من البروتينات80% وهذا يدل على انه مقر لتفاعلا ت كيموحيوية هامة ، حيث يحتوي على أنزيمات نازعات الهيدروجين، نواقل الالكترونات أي مفر لتفاعلات أكسدة وارجاع ، انزيم ATPSynthase فهو يدل على دوره في تصنيع ATPوتوجد مضخات البروتونات.

أما المادة الأساسية تحتوي على نسبة قليلة من أنزيمات وهي نازعات الهيدروجين و نازعات الهيدروجينوالكربوكسيل .تحتوي على عوامل مساعدة مُؤكسدة (NAD^+ و FAD).
كما تحتوي على مواد الايض وهي نواتج هدم الغلوكوز (حمض البيروفيك وأستيل مرافق الأنزيم أ)
أي أن المادة الأساسية هي مقر هدم المادة العضوية.
ومنه يختلفالتركيب الكيميائي لكل من المادة الأساسية والغشاء الداخليوهذا يدل على اختلاف دورهما في عملية التنفس .

3- طبيعة التفاعلات الكميائية لعملية التنفس:

يمكن تلخيص التفاعلات الكميائية للتنفس في المعادلة الاجمالية الآتية:

تعليمة: حدد نوع التفاعلين (1) و(2) و ...ج؟

الإجابة:**التفاعل1: هو تفاعل أكسدة ، اما تفاع...عل إرجاع**

الاستنتاج: تفاعلات ظاهرة التنفس هي تفاعلا... إرجاع.

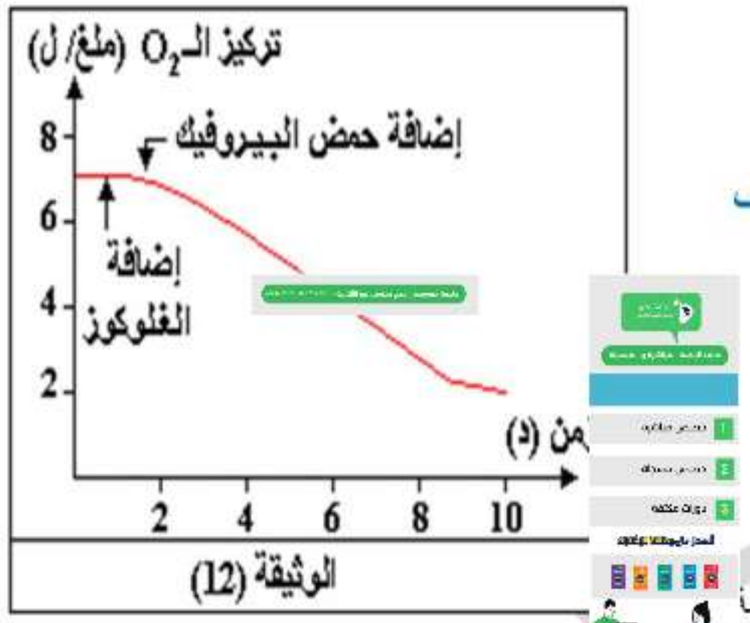
خلاصة:يتم هدم الركيزة العضوية داخل الميتو... ...ي ذات بنية حجيرية

- يتميز الغشاء الداخلي للميتوكوندري بوجود ، نواقل البروتونات و/ أو الإلكترونات التي تشكل سلاسل الأكسدة و الإرجاع و وجود الـ ATPسنتيتاز.

- تحتوي المادة الأساسية على عدة أنزيمات من نوع نازعات ثاني أكسيد الكربون ، نازعات الهيدروجين ، التي تستعمل عوامل مساعدة مُؤكسدة(NAD^+ و FAD)، و الـATP

النشاط التعلمي2: التحلل السكري

وضعية الانطلاق: تتم عملية التنفس داخل الميتوكوندري، حيث يتم أكسدة مادة الأيض للحصول على طاقة



الوثيقة (12)

1- مراحل هدم مادة الأيض في الميتوكوندري:

السند: الوثيقة 02/ 210+ الوثيقة212/04

التعليمة:

وضح مراحل هدم مادة الأيض المستعملة من طرف الميتوكوندري على مستوى الهيولى

الاجابة:

الوثيقة 02

-قبل إضافة الغلوكوز نسجل أن كمية الأكسجين ثابتة في حدود 7.2 ملغ/لتر (عدم استهلاك الأكسجين).

-عند إضافة الغلوكوز تبقى كمية الأكسجين ثابتة بنفس القيمة

-بعد إضافة حمض البيروفيك نسجل تناقصكبير في كمية الا

في الوسط من 7.2 ملغ/لتر الي ان تصل 2ملغ/لتر بعد10دقائق من اضافة حمض البيروفيك.

الاستنتاج : يتم استهلاك الاكسجين من طرف الميتوكوندري في وجود حمض البيروفيك .

الوثيقة04:تمثل مراحل التحلل السكري

1- تتم فسفرة الغلوكوز في وجود Pi الناتج من اماهة الـ ATP

2- يتماكب الغلوكوز P-6 الى الفركتوز P-6

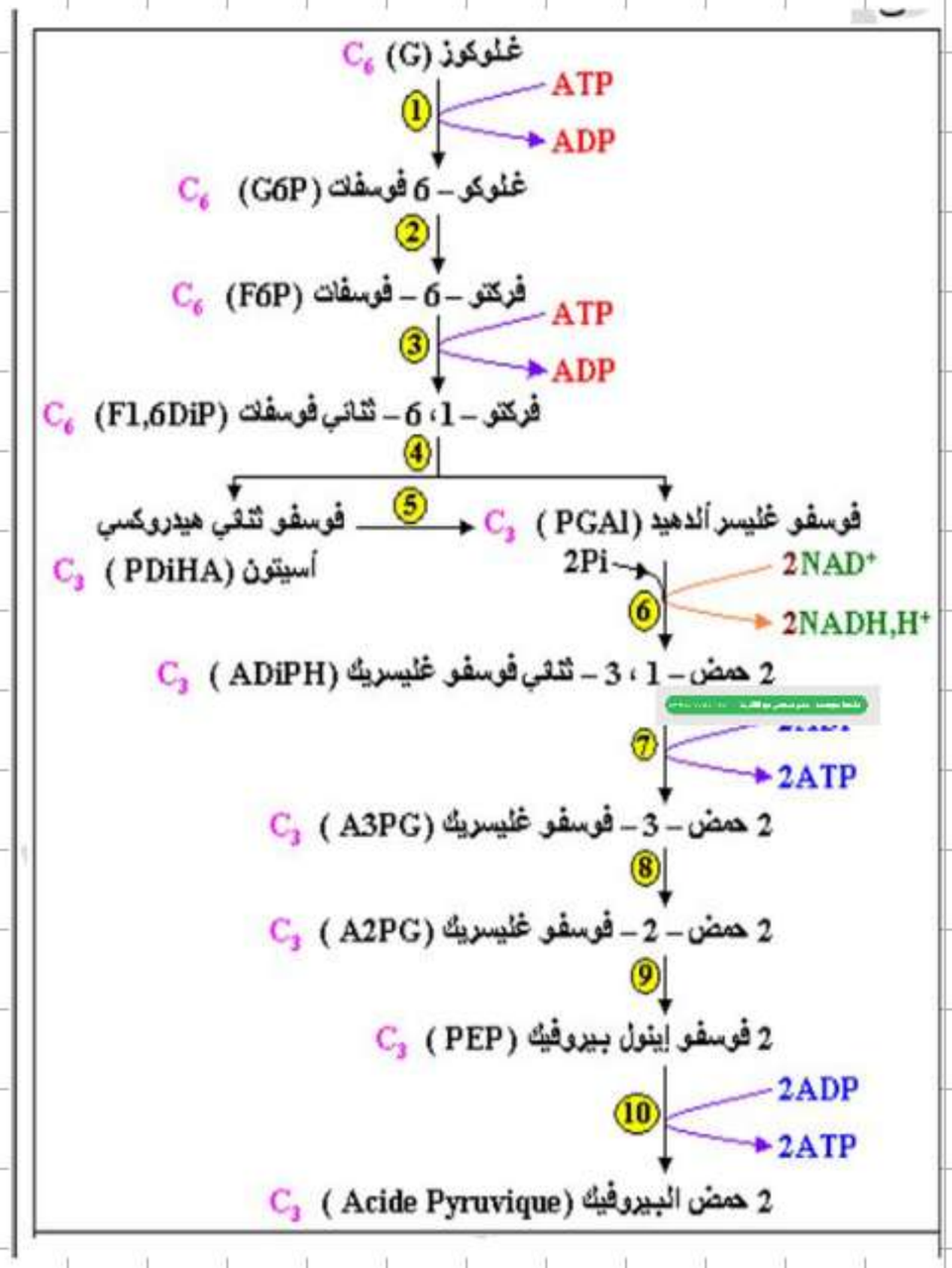
3- يتم فسفرة الفركتوز P-6 في وجود Pi الناتج من من اماهة الـ ATP لينتج الفركتوز1- 6-ثنائي فوسفات

4- ينشطر الفركتوز1- 6-ثنائي فوسفات لينتج فوسفوغليسر الهيد و فوسفوثنائي هيدروكسي اسيتون.

5- فوسفوثنائي هيدروكسي اسيتون يتماكب الى فوسفوغليسر الهيد

6- تتم أكسدة جزيئتين من فوسفوغليسر الهيد في وجود $2NAD^+$و فسفرته في وجود2 Pi لينتج2 حمض1-3ثنائيفوسفوغليسريك

7- يتم إزالة فوسفور من 2حمض1-3ثنائيفوسفوغليسر



8- يتماكب 2حمضـ 3 فوسفوغليسريك الى 2حمضـ 2فوسفوغليسريك

9- يتماكب 2حمضـ 2فوسفوغليسريك الى 2فوسفوإينولبيروفيك (PEP2)

10- يتم إزالة فوسفور من 2فوسفوإينولبيروفيك (PEP2) لينتج 2حمضالبيروفيك

معادلةالتحلل السكري :

$$Glucose + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \longrightarrow 2\ Pyruvique + 2ATP + 2NADH,H^+$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \longrightarrow 2\ (CH_3\text{-}CO\text{-}COOH) + 2ATP + 2NADH,H^+$$

خلاصة:

على مستوى الهيولى:

يستعمل الغلوكوز من طرف الخلية على شكل (C6-P) الذي يُهدم إلى جزيئتين من حمض (C3) خلال ظاهرة كيموحيويةالتحلل السكري(الغلكزة)

النشاط التعلمي3 : هدم حمض البيروفيك(حلقة كريبس)

النشاط التعلمي3 : مراحل هدم حمض البيروفيك(حلقة كريبس)

وضعية الانطلاق: يهدم حمض البيروفيك في وجود الـ O_2 على مستوى المادة الأساسية للميتوكوندري وفق سلسلة من التفاعلات

المشكلة : ماهي مراحل هدم حمض البيروفيك على مستوى المادة الأساسية

البحث والتقصي:

1- مراحل هدم حمض البيروفيك:

$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-COOH$	+ CoA – SH	$\xrightarrow{CO_2}$	$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-S-CoA$	
ح . بيروفيك	(أ)	$NADH,H^+$		

تعليمة:1-استخرج مراحل هدم حمض البر ميتوكوندري.

الاجابة:

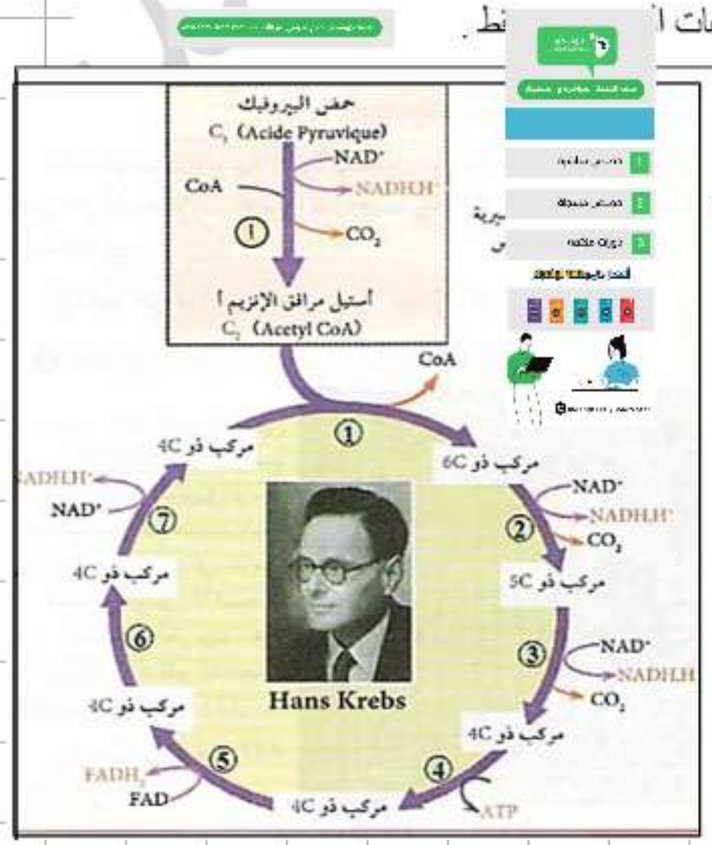
1-مراحل هدم حمض البروفيك في الميتوكوندري

1-تحول حمض البيروفيك إلى أستيل مرافق الإنزيم (أ) يتم بواسطة معقد إنزيمي كبير يقوم بنزع الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون .

يعتبر هذا التفاعل خطوة تحضيرية للمرحلة اللاحقة (حلقة كريبس) لذلك تدرج عادة مع حلقة كريبس

2- تفاعلات حلقة كريبس:

يشاركأستيل مرافق الإنزيم (أ) هذا الأخير في سلسلة من التفاعلات بشكل دورة تدعى "حلقة كريبس" وذلك بتدخل إنزيمات نازعات الكربوكسيل والهيدروجين أوانزيمات نازعات ا ط .



التفاعل 1 : تثبيت أستيل مرافق الإنزيم (أ) على مركب رباعي الكاربون.

التفاعل 2 : يتم فيه عملية نزع كربوكسيل وأكسدة وهو مايسمى بنزع الكربوكسيل التأكسدية décarboxylation oxidative ،ارجاع NAD+

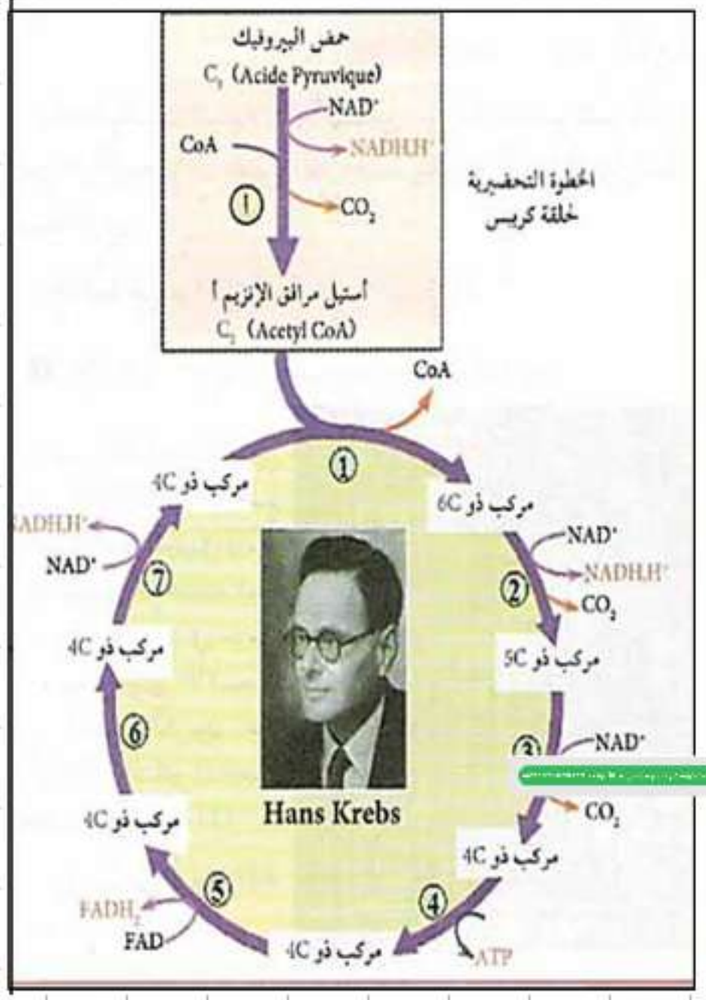
التفاعل 3 : نزع الكربوكسيل التأكسدية (أكسدة في وجود NAD+ و نزع CO2)، ارجاع NAD+.

التفاعل 4 : تركيب ATP (فسفرة ADP)

التفاعل 5 : تفاعل نزع الهيدروجين(أكسدة) لمركب رباعي الكاربون .

التفاعل 6 : تفاعل تماكب.

التفاعل 7: تفاعل أكسدة لمركب رباعي الكاربون و إرجاع المرافق الإنزيمي FAD.



التفاعل 1 : تثبيت أستيل مرافق الإنزيم (أ) على مركب رباعي الكاربون.

التفاعل 2 : يتم فيه عملية نزع كربوكسيل وأكسدة وهو مايسمى بنزع الكربوكسيل التأكسدية décarboxylation oxidative ،ارجاع NAD+

التفاعل 3 : نزع الكربوكسيل التأكسدية

(أكسدة في وجود NAD+ و نزع CO2)، ارجاع NAD+.

التفاعل 4 : تركيب ATP (فسفرة ADP)

التفاعل 5 : تفاعل نزع الهيدروجين(أكسدة) لمركب رباعي الكاربون .

التفاعل 6 : تفاعل تماكب.

التفاعل 7: تفاعل أكسدة لمركب رباعي إرجاع المرافق الإنزيمي FAD.

التعليمة 2:-استنتج الحصيلة الأولية للتنفس الخلوي وحلقة كريبس انطلاقا من جزيئة غلوكوز واحدة

المرحلة	ATP	+NADH,H	FADH2	CO2
التحلل السكري	2	2	0	0
خطوة تحضيرية	0	2	0	2
حلقة كريبس	2	6	2	4
المجموع	4	10	2	6

الحصيلة الاولية للتحلل السكري وحلقة كريبس انطلاقا من جزيئة واحدة من الغلوكوز:
الحصيلة هي : 4 ATP،10جزيئات NADH,H+ و جزيئتين من FADH2 و6 جزيئات من CO2 .

خلاصة:

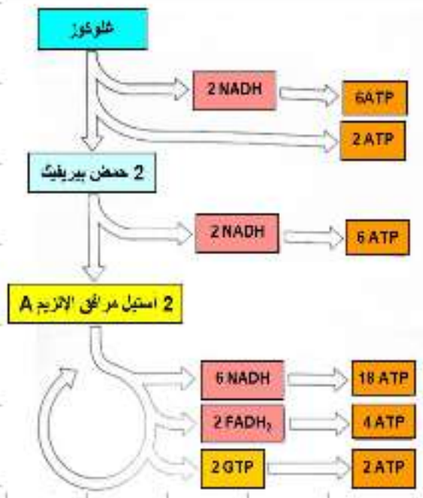
على مستوى الميتوكندري:
- ينفذ حمض البيروفيك إلى الميتوكندري في وجود ثنائي الأكسيجين لينـ سلسلة من التفاعلات:
  - نزع ثاني أكسيد الكربون
  - نزع الهيدروجين

وجملة هذه التفاعلات تشكل حلقة كريبس يتم خلالها تجديد المركب C_4 ADP إلى ATP في وجود الفوسفور اللاعضوي(Pi)

$$CH_3\text{-}CO\text{-}S\text{-}CoA + 3NAD^+ + FAD^+ + ADP + Pi + 3H_2O \longrightarrow 2CO_2 + 3NADDH + H^+ + FDH_2 + ATP + CoA\text{-}SH$$

مصير النواقل المرجعة : الفسفرة التأكسدية

la phosphorylation oxydative



لاحظنا أن تفكيك مول من الغلوكوز ينتج عنه 10 مول $NADH,H^+$، و 02 مول $FADH_2$، فما مصير هذه النواقل المرجعة؟ و كيف يتم توفير النواقل الضرورية لإستمرار تفكيك الغلوكوز؟

الشكل المقابل يمثل بد تخطيطية مراحل تجربة و نتائجها. فعند تجزئة الغشاء الد للميتوكوندريا بالأمواج فوق الصوتية ultra-son تنغلق منه على شكل حويصلات مقلوبة تكون فيها وضعية الكريّات المذنبة معكوسة، فالكريات نحو المحيط و الأذناب نحو المركز.

هذه الحويصلات تبقى قادرة على تركيب الـ ATP؛

النشاط التعلمي4 : الفسفرة التأكسدية

وضعية الانطلاق:

إن معظم الطاقة الناتجة من مراحل عملية التنفس الخلوي السابقة تكون في صورة إلكترونات غنية بالطاقة محمولة على المرافقات الإنزيمية المرجعة FADH2 و NADH.H+ يتم استخراج هذه الطاقة وتحويلها إلى الصورة القابلة للاستعمال ATP عند أكسدة هذه المرافقات وفق تفاعلات الفسفرة التأكسدية.

المشكلة التعلمية: ماهو مقر تفاعلات الفسفرة التأكسدية؟

الفرضيات:

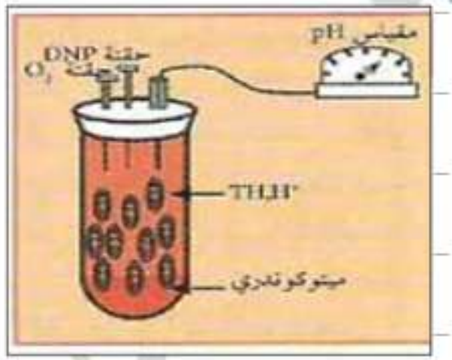
الغشاء الداخلي للميتوكوندري

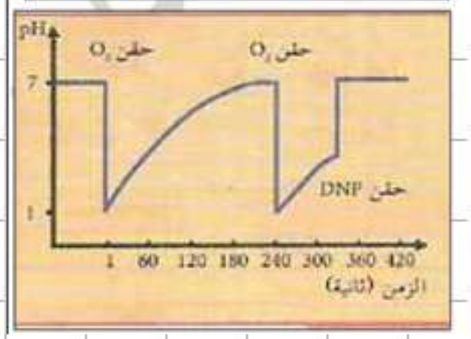
البحث والتقصي:

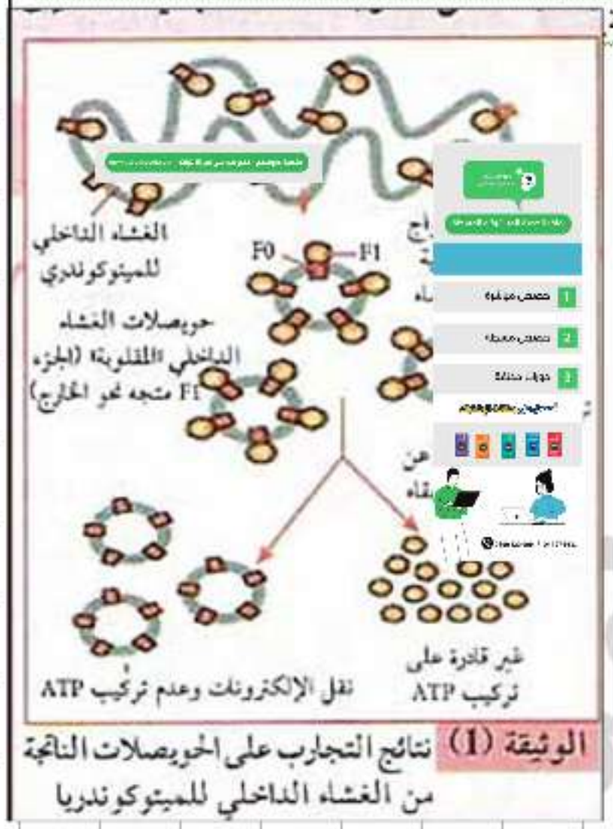
1- دور الغشاء الداخلي للميتوكوندري:

التجربة01: الوثيقة 01/ 2015،التجربة 02: الوثيقة 02/ 215،التجربة 03: الوثيقة 03/ 216،الوثيقة 04/ 216

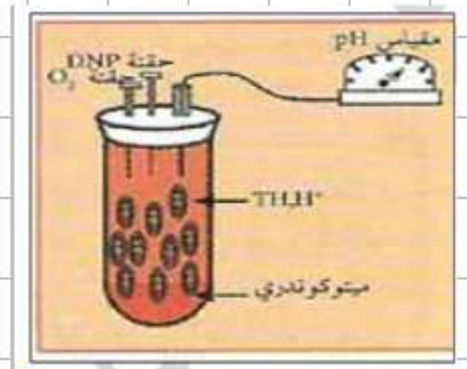
التعليمة1: أبرز دور الغشاء الداخلي للميتوكوندري في أكسدة المرافقات الأنزيمية المرجعة وتركيب الـATP

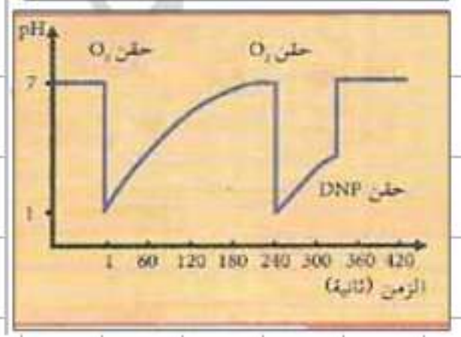






الوثيقة (1) نتائج التجارب على الحويصلات الناتجة من الغشاء الداخلي للميتوكوندريا





الوثيقة 2:

يمثل تغيرات قيمة الوسط الخارجي في شروط تجريبية مختلفة:

قبل حقن O_2 في الوسط الخارجي يكون PH الوسط ثابتا (PH=7).

عند إضافة O2 نلاحظ انخفاض سريع لـpH خارج الميتوكوندري (زيادة تركيز البروتونات H+) وهذا راجع إلى أكسدة TH_2H^+.

$$TH_2 \longrightarrow T + 2H^+ + 2e^-$$

ثم ترتفع قيمة PHتدريجيا (ببطء) الى القيمة الأصليةبعد نفاذ الأكسجين نتيجة عودة البروتونات تدريجيا الى المادة الأساسية للميتوكوندري فيتناقص تركيز البروتونات في الوسط الخارجي (تزايد قيمة PH).

عند حقن مادة DNP إلى انخفاض سريع في تركيز البروتونات (تزايد سريع في قيمة PH).

DNPيعمل على إدخالالبروتوناتبسرعةمنالخارجإلىالداخلحيثتجعلالغشاءنفوذاللبروتونات

انظر على الغشاءالداخليللميتوكوندري يتم نقل الإلكترو ATP وضع

الوثيقة3

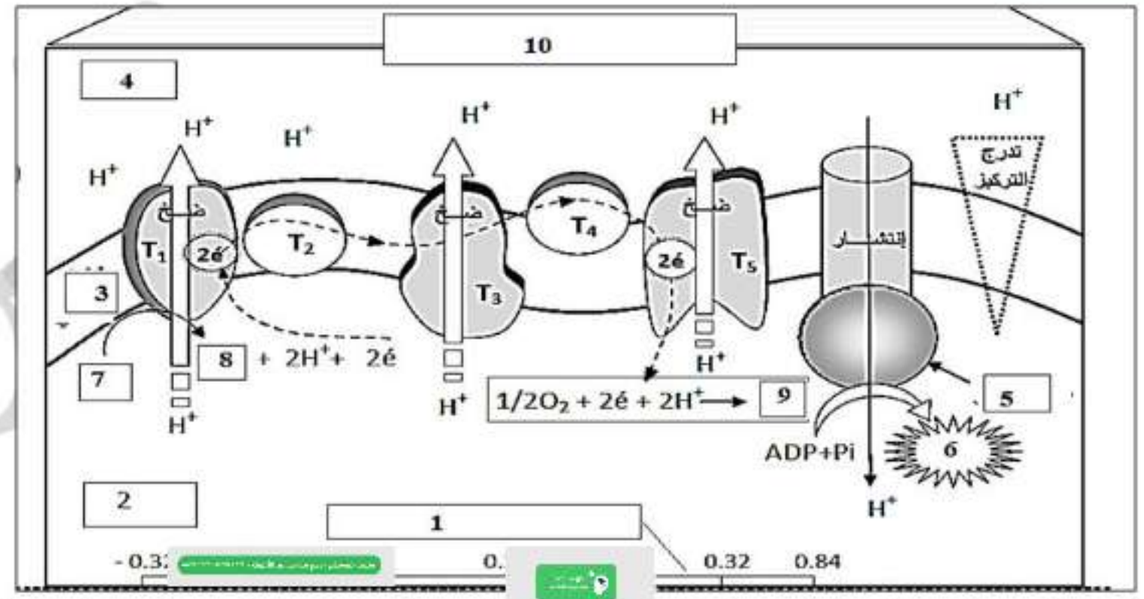
التجارب	PH الداخلي	PH الخار	كريات المذنبة	الملاحظات
1	7	7	نعم	عدم فسفرة الـADP
2	4	7	نعم	فسفرة الـADP
3	4	7	لا	عدم فسفرة الـADP

شروط تركيب ATP:وجود فرق في تركيز H+ بين الوسط الخارجي والداخلي للميتوكوندري (تركيز البروتونات مرتفع في الوسط الداخلي للحويصلة المقلوبة).

وجود الكرية المذنبة (إنزيم ATP Synthase).

توفر ADP+Pi

الوثيقة4 ص216



على مستوى عرف الميتوكوندريا تخضع ين للتحولات التالية :

. تتأكسد هذه النواقل محررة إلكتر نات .

. تنتقل هذه الإلكترونات عبر نواق لكمون الأكسدة والإرجاع المتزايد حتى استقبالها نهائيا من الهواء ، حيث تسمح تلك التفاعلا روتونات من المادة الأساسية نحو الفراغ بين O_2قبل الـ الغشاءين ، فيرتفع تركيزها فيه على ة الاساسية.

. يؤدي فرق التركيز في البروتونا ا عبر الكرات المذنبة من الفراغ بين الغشائين إلى الحشوة حسب التدرج في التركيز محررة ط يط إنزيم تر ATP .

ATP Synthase

ADP+Pi+ E ⟶ ATP

ومنه على مستوى الغشاء الداخلي تسمح تفاعلات الأكسدة و الإرجاع التي تتم على طول السلسلة التنفسية بضخ البروتونات من المادة الأساسية نحو الفراغ بين الغشاءين مولدا بذلك تدرجا للبروتونات في هذا المستوى.

– تسمح الطاقة المتحررة من سيل البروتونات بفسفرةADP إلى ATP في وجود الفوسفات اللاعضوي(Pi) في مستوى الكرات المذنبة إنها الفسفرة التأكسدية.

التعليمة2: – أحسب الحصيلة الطاقوية القابلة للإستعمال (عدد الـATP) الناتجة من هدم جزيئة غلوكوز مع العلم أن الطاقة المتحررة من اكسدة NADH.H+ تعادل 3ATP أما الـ FADH2 فتعادل 2ATP

- $NADH_2$ (10) = ($NADH_2$ 1 كل) 3 × 10 = 30 ATP .
- $FADH_2$ (2) = ($FADH_2$ 1 كل) 2 × 2 = 4 ATP .
- ATP (4) .

إذن : الحصيلة الطاقوية الناتجة من هدمجزيئة غلوكوز هي 38 جزيئة ATP .

حوصلة:

1- انطلاقا من معادلات مراحل هدم الغلوكوز في الوسط الهوائي لخص عملية التنفس بمعادلة إجمالية

$$TH,H^+ \longrightarrow T^+ + 2H^+ + 2é$$

$1/2O_2+2H+ \longrightarrow H_2O$ $\quad$ $TH2+1/2O_2+ADP+Pi \longrightarrow T+H_2O+ATP$

$12TH2+6O_2+34(ADP+Pi) \longrightarrow 12T+12H_2O+34ATP$ $\quad$ (10NAD++2FAD)

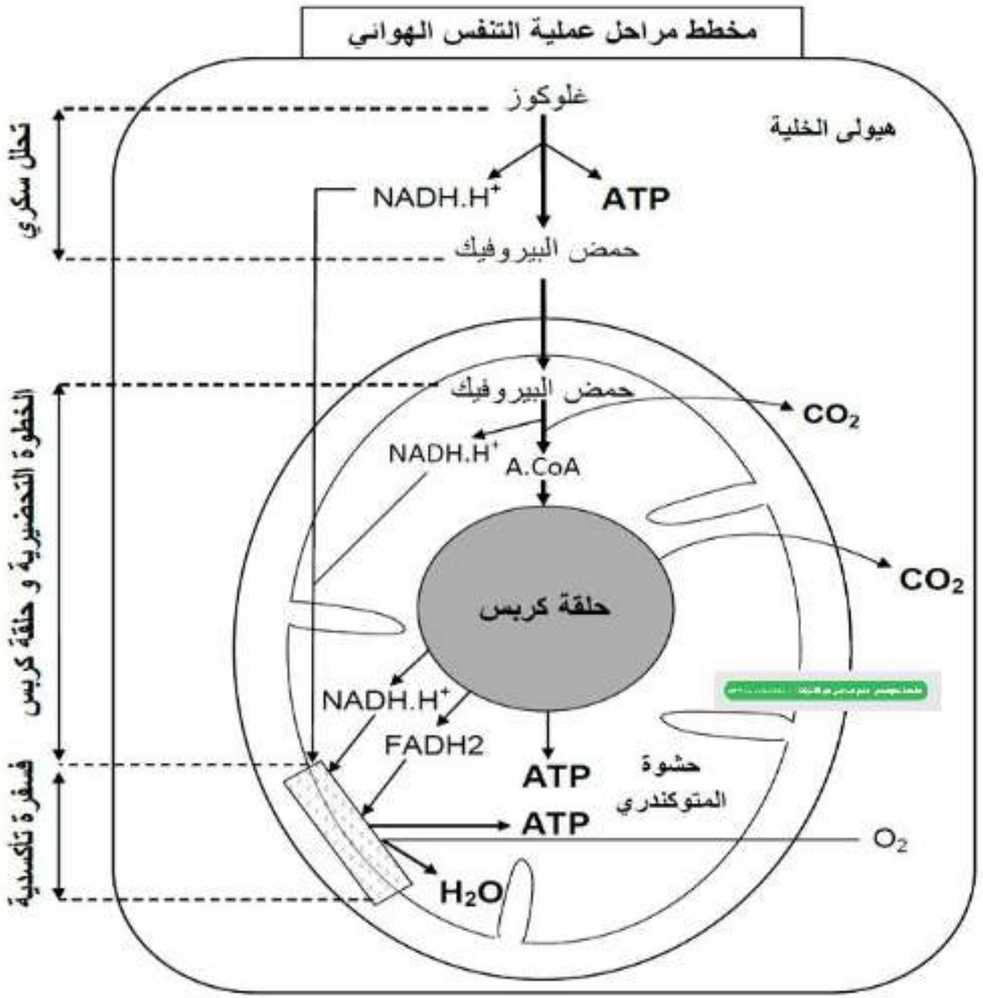
$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi + 2NAD^+ \longrightarrow 2\ (CH_3\text{-}CO\text{-}COOH) + 2ATP + 2NADH,H^+$

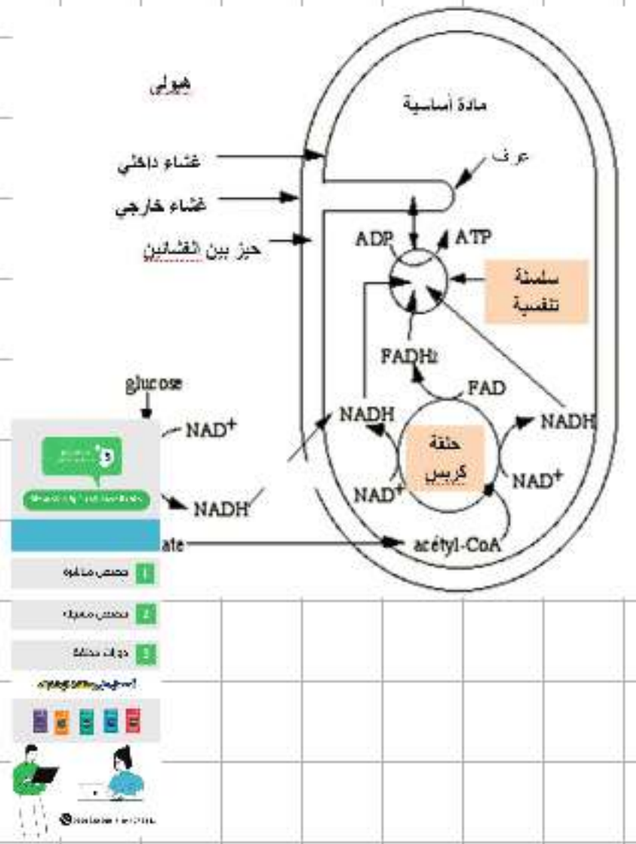
$2\ CH3\text{-}CO\text{-}COOH + 8NAD^+ + 2FAD^+ + 2ADP + 2Pi + 6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 8NADH + H^+ + 2FADH_2 + 4ATP$

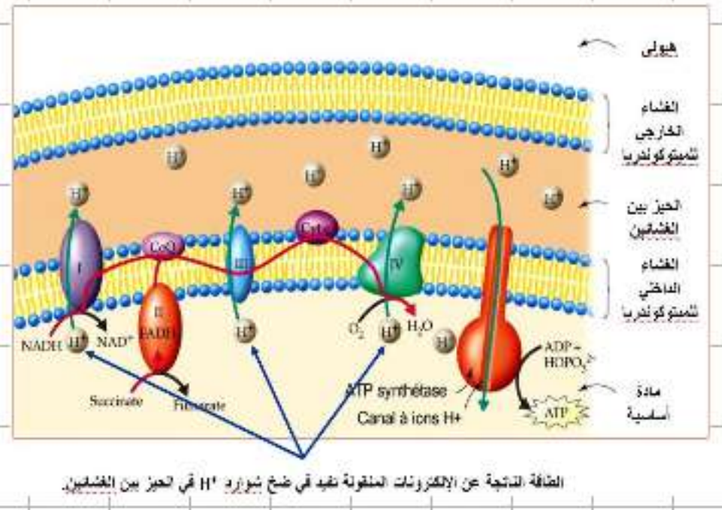
$12TH2+6O2+34(ADP+Pi) \longrightarrow 12T++12$

$6O_2+24H+ \longrightarrow 12H_2O$

$C_6H_{12}O_6 + 6O2 + 6H2O \longrightarrow 6CO2+12H2O+38ATP$


مخطط مراحل عملية التنفس الهوائي
هيولى الخلية
تحلل سكري
الخطوة التحضيرية و حلقة كربس
فسفرة تأكسدية
غلوكوز
NADH.H+
ATP
حمض البيروفيك
حمض البيروفيك
CO2
NADH.H+
A.CoA
CO2
حلقة كربس
NADH.H+
FADH2
ATP
ATP
حشوة المتوكندري
O2
H2O


هيولى
مادة أساسية
غشاء داخلي
غشاء خارجي
حيز بين الغشائين
عرف
ADP
ATP
سلسلة تنفسية
FADH2
FAD
glucose
NAD+
NADH
حلقة كربس
NADH
NAD+
NAD+
NADH
ate
acétyl-CoA



الطاقة الناتجة عن الإلكترونات المنقولة تفيد في ضخ بروتونات H^+ في الحيز بين الغشائين.

الحصيلة إنطاقوية لأكسدة مول من الغلوكوز :

حصيلة حلقة كريبس

Acétyl-CoA + 3 NAD^+ + FAD + GDP + P_i → 2 CO_2 + 3 NADH + $FADH_2$ + GTP + CoA

كم ينتج أكسدة سكر العنب إلى CO_2؟

الأكسدة التامة لسكر العنب تعطي 38 ATP

تحويل طاقة $NADH,H^+$ و $FADH_2$ إلى ATP يتم بعملية تسمى الفسفرة التأكسدية « phosphorylation oxydative ».