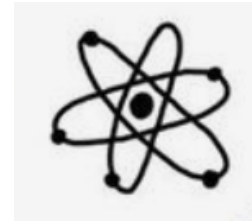
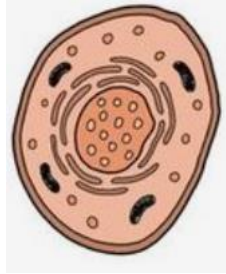
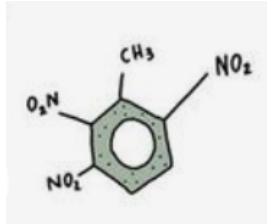
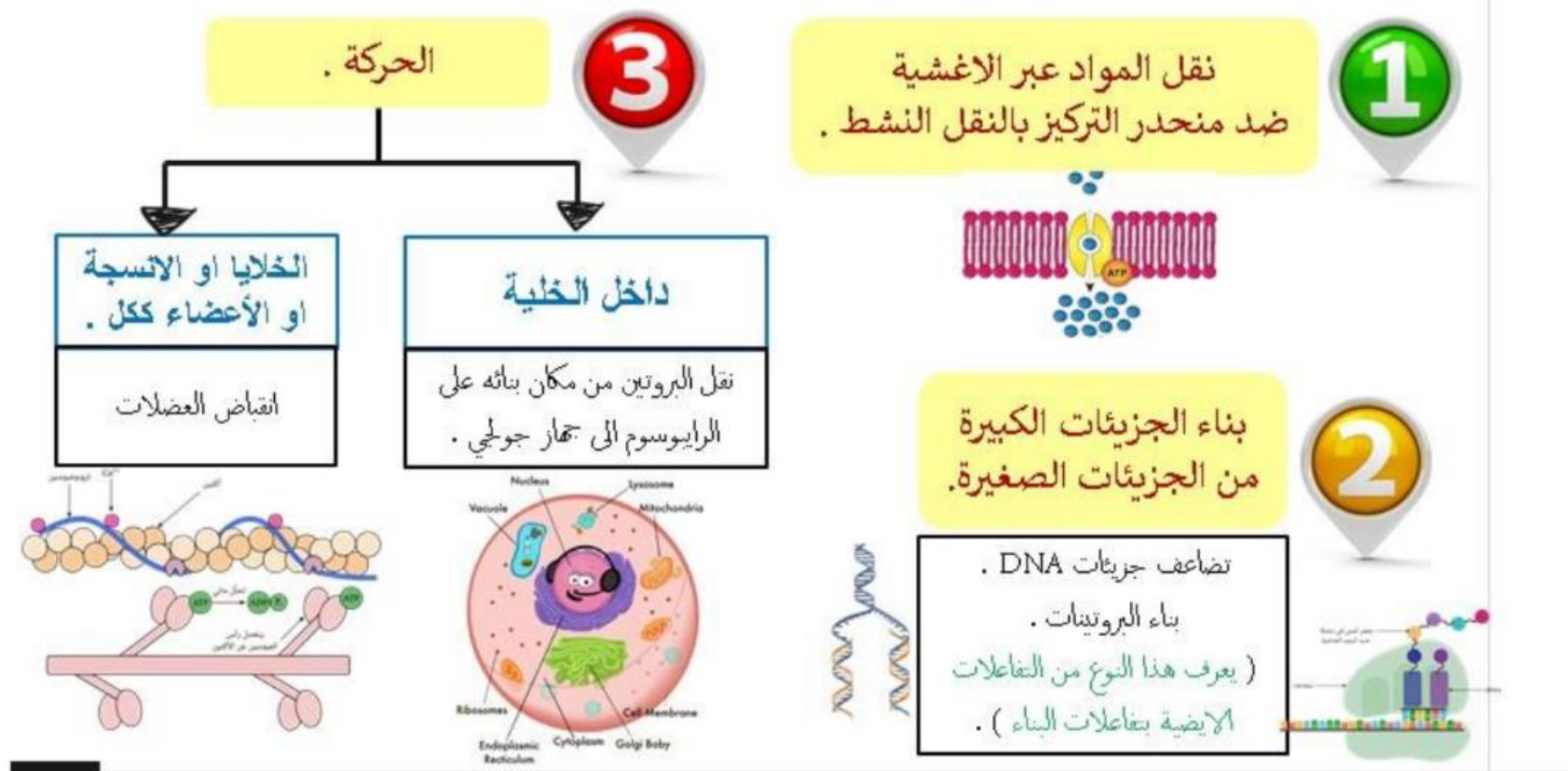


# الأهداف التعليمية

## لوحة " الطاقة والتنفس "



1-6 يلخص حاجة الكائنات الحية للطاقة كما يتضح من خلال النقل النشط والحركة وتفاعلات البناء كتلك التي تحدث في تضاعف DNA وبناء البروتين

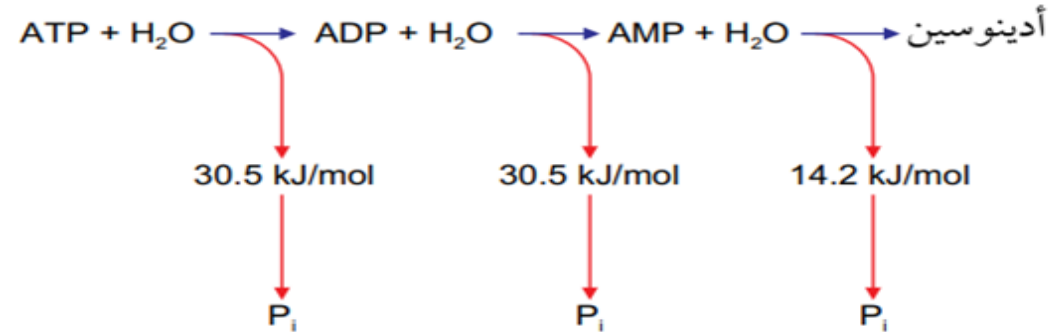


2-6 يصف سمات ATP التي تجعله مناسباً كعملة طاقة عالمية  
المعايير :

- يصف تركيب ATP

لقد نعلم ان جزئ ATP يتكون من 3 مجموعات فوسفات وسكر خماسي "رايبوز" والادنين "سكر" ووحدته البنائية هي النيوكليوتيدة  
- يصف كيف تنطلق الطاقة من ATP

ومصدره جزئ ATP من عملية التمثيل الضوئي فكل خلية حية تستخدم ATP لنقل الطاقة وتكون كل خلية ATP الخاص بها  
ثم تنطلق الطاقة من جزيئات ATP التي تنشأ من ضوء الشمس " التمثيل الضوئي "  
- يذكر مقدار الطاقة المنطلقة من ATP عند تحوله إلى ADP ثم إلى AMP



- يشرح سبب اعتبار ATP عملة طاقة عالمية  
لان كل خلية تستخدم ATP لنقل الطاقة

3-6 يشرح انه يتم بناء ATP بواسطة :

- نقل الفوسفات في التفاعلات المرتبطة بالمواد المتفاعلة
- الاسموزية الكيميائية في اغشية الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء

#### مصطلحات علمية

التفاعل المرتبط بالمادة

المتفاعلة Substrate-linked

reaction : تفاعل يتم فيه

نقل الفوسفات من جزيء

المادة المتفاعلة مباشرة إلى

ADP لتكوين ATP، باستخدام

الطاقة التي يوفرها مباشرة

تفاعل كيميائي آخر.

الأسموزية الكيميائية

Chemiosmosis : بناء ATP

باستخدام الطاقة المنطلقة

من حركة أيونات الهيدروجين

مع منحدر تركيزها عبر غشاء

الميتوكوندريون أو البلاستيدة

الخضراء .

الشرح من خلال التعريف

4-6 يذكر مكان حدوث كل مرحلة من مراحل التنفس الهوائي الأربع في الخلايا حقيقة النواة

التحلل السكري (السييتوبلازم)

التفاعل الرابط (حشوة الميتوكوندريا)

دورة كريبس (حشوة الميتوكوندريا)

الفسفرة التأكسدية (على غشاء الميتوكوندريا الداخلي)

5-6 يلخص التحلل السكري على أنه فسفرة الجلوكوز والانشطار اللاحق للفركتوز (6,1 - ثنائي الفوسفات (C6)) إلى (جزيئي تريوز فوسفات (C3)) اللذين يتأكسدان إلى جزيئي بيروفات (C3)، مع إنتاج ATP و NAD المختزل المعيار:

- يعرف المصطلحات: التحلل السكري، والفسفرة، والتأكسد، والاختزال.

**أكسدة Oxidation** : إضافة

الأكسجين، أو نزع الهيدروجين  
أو الإلكترونات من المادة.

**اختزال Reduction** :

نزع الأكسجين أو إضافة  
الهيدروجين أو الإلكترونات  
إلى المادة.

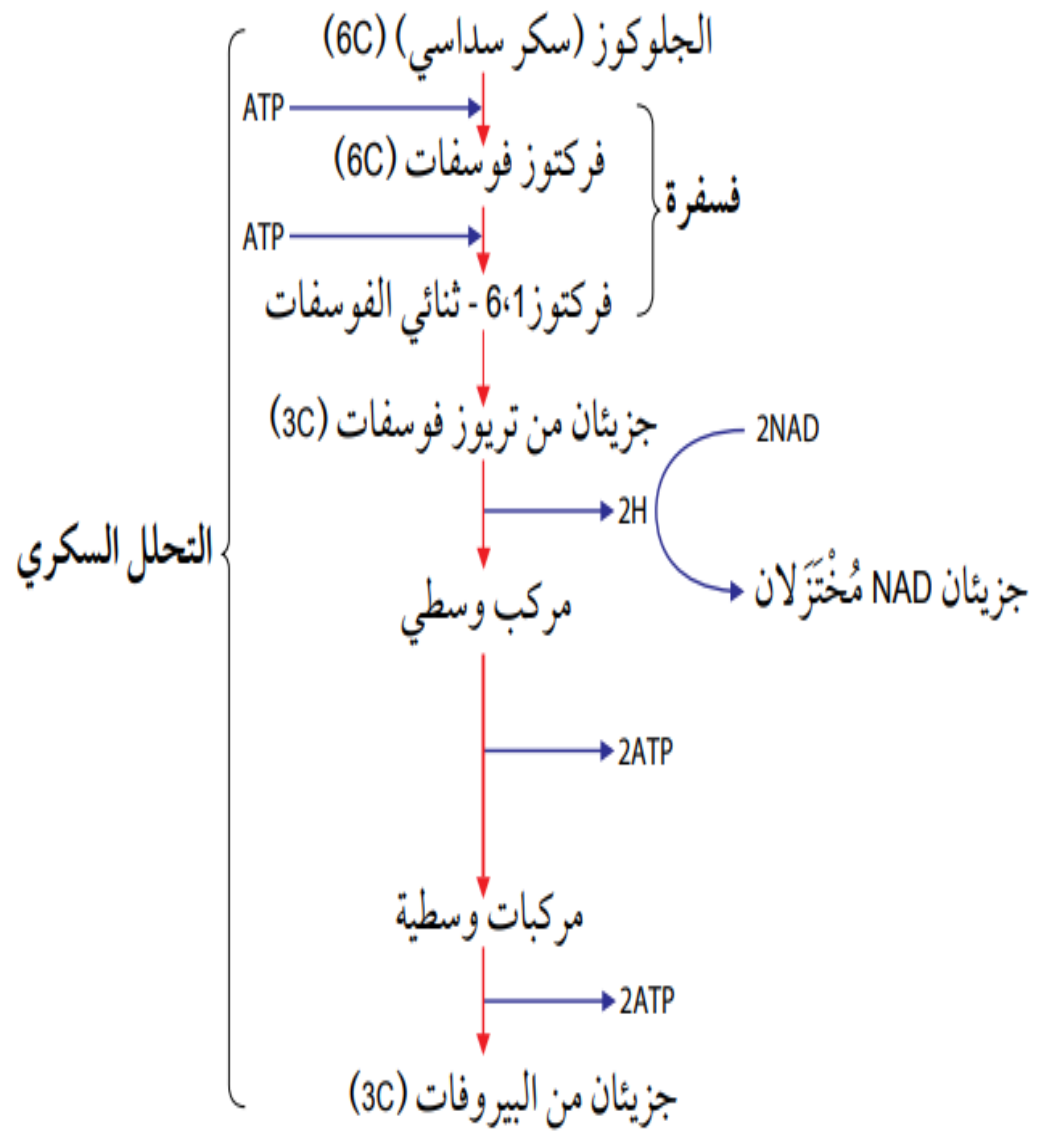
**التحلل السكري Glycolysis** :

انشطار الجلوكوز، وهي المرحلة  
الأولى من التنفس الهوائي.

**الفسفرة Phosphorylation** :

إضافة مجموعة فوسفات إلى  
جزيء.

- يلخص عملية التحلل السكري ويحدد المركبات الوسيطة والمراحل التي ينتج فيها ATP و NAD المختزل



- يذكر عدد ذرات الكربون في الجلوكوز والفركتوز 1, 6- ثنائي الفوسفات وتريوز فوسفات والبيروفات  
الجلوكوز "6 ذرات كربون"  
الفركتوز 1, 6- ثنائي الفوسفات "6 ذرات كربون"  
تريوز فوسفات "3 ذرات كربون"  
البيروفات "3 ذرات كربون"

- يصف كيف تنتج الجزيئات آلية في التحلل السكري:  
- فركتوز 1، 6- ثنائي الفوسفات  
- جزيئاً تريوز فوسفات

يتم استخدام جزيئين من ATP لتحلل جزيء واحد من الجلوكوز. منح أول مجموعة فوسفات ينتج منه جلوكوز فوسفات Glucose phosphate، الذي يُعاد ترتيب ذراته لتكوين فركتوز فوسفات Fructose phosphate، ويمنح جزيء ATP الثاني مجموعة فوسفات أخرى لتكوين فركتوز 1، 6- ثنائي الفوسفات Fructose 1,6 -biphosphate. ثم ينشط الفركتوز 1، 6- ثنائي الفوسفات (6C) مكوناً جزيئين من تريوز فوسفات (3C) Triose phosphate.



## – NAD المختزل

يتم إنتاج جزيئين من NAD المُختَزَل من تحلل جزيء واحد من الجلوكوز، ويمكن نقل الهيدروجين الذي يحمله NAD المُختَزَل بسهولة إلى جزيئات أخرى. وكما ستدرس لاحقاً، يمكن أن يستخدم هذا الهيدروجين في الفسفرة التأكسدية لتوليد ATP.

## – ATP

يتم إنتاج ATP خلال الخطوة نفسها (تحويل تريوز فوسفات إلى بيروفات)، وذلك عن طريق النقل المباشر لمجموعة فوسفات من مادة متفاعلة – في هذه الحالة جزيء مفسفر، وهو أحد المركبات الوسيطة في هذه الخطوة – إلى جزيء ADP. وهذا مثال على الفسفرة المرتبطة بالمادة المتفاعلة.

- يشرح السبب الذي يجعل التحلل السكري يؤدي إلى ربح صافي مقداره جزيئا ATP لكل جزيء جلوكوز.

لذلك، وعلى الرغم من استخدام جزيئين من ATP لتحلل جزيء واحد من الجلوكوز في البداية، فإن أربع جزيئات من ATP تتكوّن في النهاية. لذلك يكون الربح الصافي من تحلل جزيء واحد من الجلوكوز جزيئين من ATP. والنتائج النهائي لتحلل الجلوكوز هو البيروفات،



- يكتب قائمة بالنواتج النهائية للتحلل السكري  
2H , 2 NADH , 2 ATP , 2 بيروفات

6-6 يشرح أنه عند توافر الأكسجين يدخل جزيء البيروفات إلى الميتوكوندريا للمشاركة في التفاعل الرابط.

جزيء واحد من الجلوكوز جزيئين من ATP. والناتج النهائي لتحلل الجلوكوز هو البيروفات، الذي لا يزال يحتوي على قدر كبير من الطاقة الكيميائية الكامنة. وإذا توافر الأكسجين في الخلية، ينتقل البيروفات إلى حشوة الميتوكوندريون، عبر الغشاءين اللذين يكوّنان غلاف الميتوكوندريون بواسطة النقل النشط (لذا تستخدم مرة أخرى كمية صغيرة من ATP).

6-7 يصف التفاعل الرابط، بما في ذلك دور مرافق الإنزيم A في نقل مجموعات الأستيل (C2) - المعيار:

- يعرف مصطلح التفاعل الرابط.

#### التفاعل الرابط

Link reaction : عملية

نزع الكربوكسيل ونزع

الهيدروجين من

البيروفات، ما يؤدي إلى

تكوين أستيل (CoA)،

وربط التحلل السكري

بدورة كريس.

- يذكر موقع التفاعل الرابط.

" في حشوة الميتوكوندريا "

- يصف تفاعلات نزع الكربوكسيل ونزع الهيدروجين في التفاعل الرابط.

عند وصول البيروفات إلى حشوة الميتوكوندريون تتزع الإنزيمات ثاني أكسيد الكربون والهيدروجين منه. تسمى إزالة ثاني أكسيد الكربون **نزع الكربوكسيل Decarboxylation**، وتسمى إزالة الهيدروجين **نزع الهيدروجين Dehydrogenation**. يرتبط ما تبقى

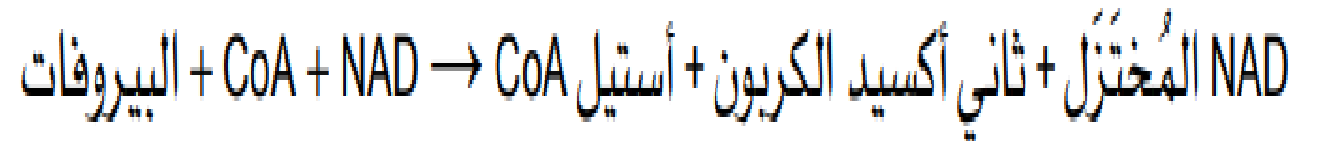
- يصف دور مرافق إنزيم A في التفاعل الرابط.

ناقل لمجموعة الاستيل CoA من التفاعل الرابط الى دورة كريبس

- يذكر نواتج التفاعل الرابط.

2الاستيل CoA , 2CO2 , NAD2المختزل

- يكتب معادلة لتلخيص التفاعل الرابط.



6-8 يلخص دورة كربس شارحا أن أكسالوأسيتات (C4) يعمل كمستقبل لـ (C2) من أستيل مرافق إنزيم A لتكوين السيترات (C6) والذي سيتحول مرة أخرى في سلسلة من الخطوات الصغيرة إلى أكسالوأسيتات

المعيار :

- يذكر موقع دورة كربس  
في حشوة الميتوكوندريا

- يشرح كيف تنتج السيترات (C6) في دورة كربس.  
تتكون السيترات (C6) من خلال ارتباط الاستيل (C2) مع الاكسالوأسيتات (C4)

- يلخص كيف يعاد تكوين أكسالوأسيتات (C4) في دورة كربس  
من خلال نزل الكربوكسيل والهيدروجين من السيترات في سلسلة من الخطوات الذي يؤدي الى اطلاق ثاني أكسيد الكربون والذي ينبعث على شكل غاز عادم كما يطلق الهيدروجين الذي تستقبله النواقل FAD, NAD و ثم يعاد تكوين الاكسالوأسيتات

- يصف كيف يعاد تدوير مرافق إنزيم A  
يختزل من NAD الى NAD المختزل والذي ينقل الهيدروجين الى الفسفرة التأكسدية يتم اكسدته من NAD المختزل الى NAD ليرجع الى التحلل السكري ويعمل مرة أخرى

- يكتب قائمة بنواتج دورة كربس.

2سيترات ,  $COA\ 2$  ,  $NAD6$  المختزل ,  $FAD2$  المختزل ,  $2ATP$  ,  $4CO_2$

- يذكر عدد جزيئات كل ناتج في دورة كربس يتم تكوينه لكل جزيء جلوكوز يدخل في عملية التحلل السكري

$4\ CO_2$  ,  $NAD6$  المختزل ,  $8H$  ,  $2ATP$

9-6 يشرح أن التفاعلات في دورة كربس تتضمن: نزع الكربوكسيل, نزع الهيدروجين, اختزال مرافقي الإنزيم  $NAD$  و  $FAD$ , فسفرة  $ADP$

المعيار:

- يكتب قائمة بمرافقات الإنزيم التي تختزل في دورة كربس.

$NAD$  ,  $FAD$

- يشرح دور العمليات الآتية في دورة كربس:

-نزع الكربوكسيل "إزالة ثاني أكسيد الكربون"

-نزع الهيدروجين "إزالة الهيدروجين"

-اختزال مرافقات الإنزيم "يتم اختزالها من  $NAD$  الى  $NAD$  مختزل ومن  $FAD$  الى  $FAD$  مختزل"

-الفسفرة المرتبطة بالمادة المتفاعلة. "النقل المباشر لمجموعة فوسفات من احدى المواد المتفاعلة الى جزيء

$ADP$  بواسطة الطاقة التي يوفرها مباشره تفاعل كيميائي اخر"

6-10 يصف دور NAD و FAD في نقل الهيدروجين إلى نواقل في غشاء الميتوكوندريا الداخلي  
NAD و FAD يتكونان في دورة كريبس و NAD المختزل في التحلل السكري و يتكونان في ألسيتوبلازم ولكن يمكن الدخول الى الحشوة عبر غلاف الميتوكوندريا و تنتقل جزيئات  
FAD و NAD المختزل من حشوة الميتوكوندريا الى الغشاء الداخلي و نزع الهيدروجين عن طريق الاكسدة ويتم نقله في الجزيئات وهما جزئان ناقلان للهيدروجين فهما مستقبلان  
الهيدروجين من تفاعل و يمنحانه الى تفاعل اخر  
6-11 يشرح أنه أثناء الفسفرة التأكسدية:

- تنشطر ذرات الهيدروجين إلى بروتونات وإلكترونات عالية الطاقة
- تطلق الإلكترونات عالية الطاقة أثناء مرورها طاقة عبر سلسلة نقل الإلكترون (تفاصيل النواقل ليست مطلوبة)
- تُستخدم الطاقة المنطلقة لنقل البروتونات عبر غشاء الميتوكوندريا الداخلي
- تعود البروتونات إلى حشوة الميتوكوندريا عن طريق الانتشار المسهل من خلال ATP سينثيز، الأمر الذي يوفر الطاقة لبناء ATP (تفاصيل ATP سينثيز ليست مطلوبة)
- يعمل الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترونات لتكوين الماء.

ويتم هنا نزع الهيدروجين الذي تم نقله في تلك الجزيئات. تتكوّن كل ذرة هيدروجين  
من بروتون وإلكترون، ينفصل الآن أحدهما عن الآخر. يمكن أيضاً الإشارة إلى البروتون  
باسم أيون الهيدروجين  $H^+$ . يُنقل الإلكترون  $e^-$  إلى الناقل الأول في سلسلة نقل الإلكترون.

يحتوي هذا الإلكترون على طاقة بدأت على شكل طاقة كيميائية كامنة في جزيء الجلوكوز  
من بداية التحلل السكري. ومع انتقال الإلكترون من ناقل إلى الناقل التالي، يتم إطلاق  
بعض طاقته، ثم تستخدم بعضها لضخ البروتونات من حشوة الميتوكوندريون (الشكل 6-6)  
إلى الحيز بين غشاءي غلاف الميتوكوندريا الداخلي والخارجي. وينتج من ذلك تركيز من  
البروتونات في الحيز بين الغشاءين أعلى منه في الحشوة. لذلك، يوجد الآن منحدر تركيز  
للبروتونات عبر غشاء الميتوكوندريا الداخلي.

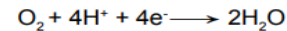
#### مصطلحات علمية

##### ATP سينثيز

**ATP synthase**: الإنزيم  
الذي يحفز فسفرة ADP  
لتكوين ATP.

تعود البروتونات الآن إلى حشوة الميتوكوندريا بالانتشار المسهل، مع منحدر تركيزها عبر قناة جزيء بروتين كبير هو  
إنزيم **ATP سينثيز ATP synthase**، وتلك القناة تجعله مرتبطاً بغشاء الميتوكوندريون الداخلي. ومع مرور البروتون  
عبر القناة، يتم استخدام طاقته لبناء ATP في عملية تسمى الأسموزية الكيميائية (الشكل 6-7).

وأخيراً، يدخل الأكسجين في هذه العملية. فالأكسجين يعمل كمستقبل نهائي للإلكترونات وذلك بدمجها عندما تصل  
إلى نهاية سلسلة نقل الإلكترون، إذ تتحد أربعة إلكترونات مع أربعة بروتونات وجزيء أكسجين لتكوين الماء.



لا تحدث أي من التفاعلات داخل الميتوكوندريون (التفاعل الرابط، ودورة كريبس، والفسفرة التأكسدية)، من دون توافر  
الأكسجين كمستقبل نهائي للإلكترون. هذه المراحل، بخاصة الفسفرة التأكسدية، تُنتج ATP أكثر بكثير مما ينتجه  
التحلل السكري. ويطلق التحلل السكري كمية صغيرة فقط من الطاقة الكيميائية الكامنة من الجلوكوز، لأن الجلوكوز  
يتأكسد جزئياً فقط، بحيث تكمل التفاعلات في الميتوكوندريون هذه الأكسدة مطلقة المزيد من الطاقة.

المعيار:

- يصف تركيب وموقع سلسلة نقل الإلكترون  
يتكون من بروتينات غشائية تسمى ناقلات الإلكترون تثبت في موضعها في غشاء  
الميتوكوندريون الداخلي (الأعراف) وهي مرتبة بعضها بجوار بعض

- يقارن نواتج الفسفرة التأكسدية مع مراحل التنفُّس الهوائي الأخرى.  
 $ATP_{28}$  ,  $2H_2O$  ,  $4FAD$  ,  $4NAD$

## 6-12 يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام مقاييس تنفس بسيطة لتحديد تأثير درجة الحرارة على معدل التنفس.

### مهارات عملية ٦-١

#### قياس امتصاص الأكسجين

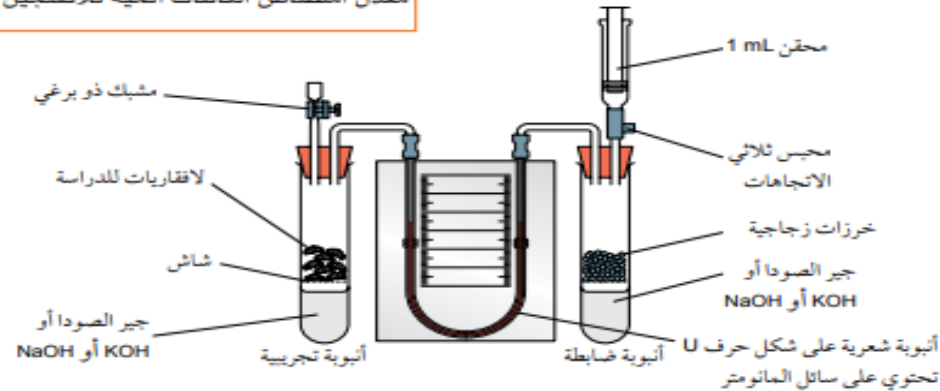
يمكن قياس معدل امتصاص الأكسجين أثناء التنفس باستخدام **مقياس التنفس Respirometer**. يبين الشكل ٦-٩ مقياس تنفس مناسب لقياس معدل استهلاك الأكسجين ليدور نبات أو لافقاريات صغيرة تعيش في اليابسة في درجات حرارة مختلفة.

عندما تتنفس الكائنات الحية تمتص الأكسجين من الهواء المحيط بها، ما يقلل من حجم الهواء. ويتم امتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس بواسطة مادة كيميائية مناسبة مثل جير الصودا Soda lime أو محلول مركز من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH) أو هيدروكسيد الصوديوم (NaOH). وهكذا، فإن ثاني أكسيد الكربون الناتج لن يزيد من حجم الهواء.

لذلك، فإن أي تغيير في حجم الهواء المحيط بالكائنات الحية ينتج من استهلاك هذه الكائنات الحية للأكسجين فقط. يمكن أن يقاس استهلاك الأكسجين بقراءة مستوى عمود سائل المانومتر مقابل التدرج. ويمكن قياس معدل استهلاك الأكسجين بقسمة حجم الأكسجين المستخدم على الزمن المستغرق.

#### مصطلحات علمية

**مقياس التنفس Respirometer**: جهاز يستخدم لقياس معدل امتصاص الكائنات الحية للأكسجين أثناء التنفس.

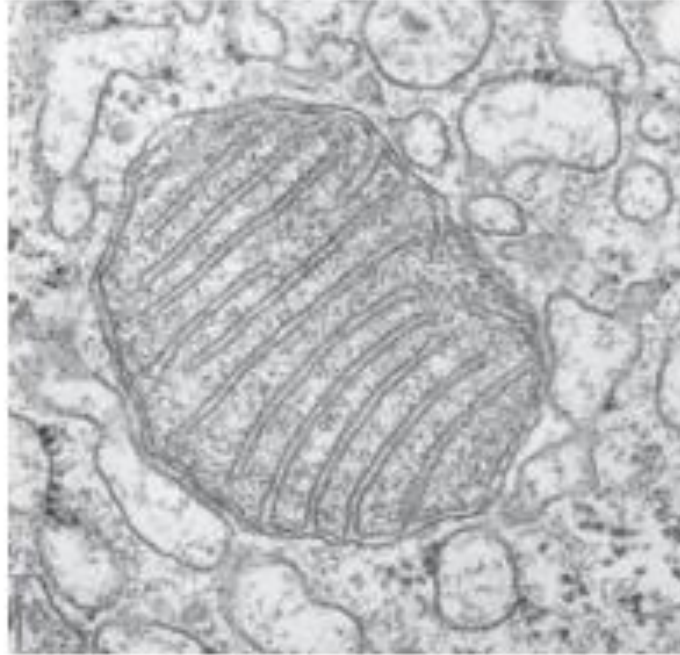


الشكل ٦-٩ مقياس التنفس.

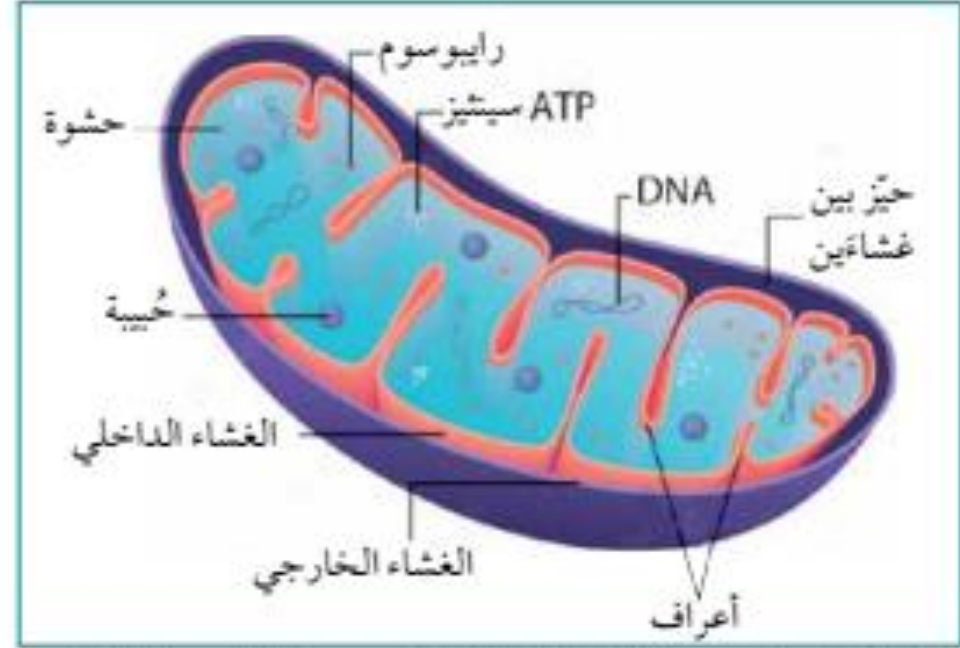
(انظر الاستقصاء العملي ٦-١ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة، للحصول على معلومات إضافية).



6-13 يصف العلاقة بين تركيب ووظيفة الميتوكوندريا باستخدام الرسوم التخطيطية والصور المجهرية الإلكترونية. ووظيفة الميتوكوندريا : مسؤولة عن إنتاج الطاقة في خلايا الجسم.



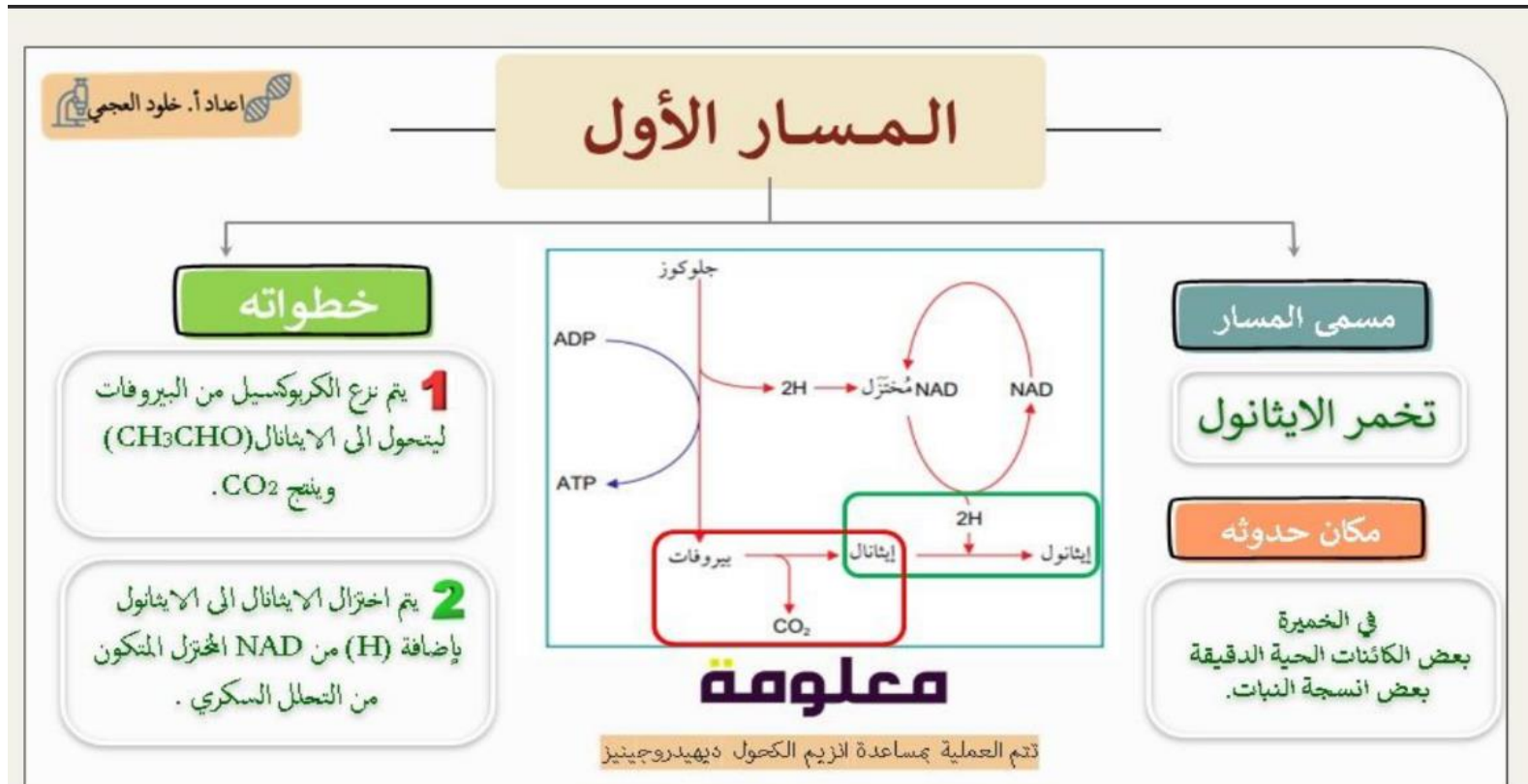
الصورة ٦-٢ صورة مجهرية إلكترونية (النافذ)  
للميتوكوندريون (x15000).



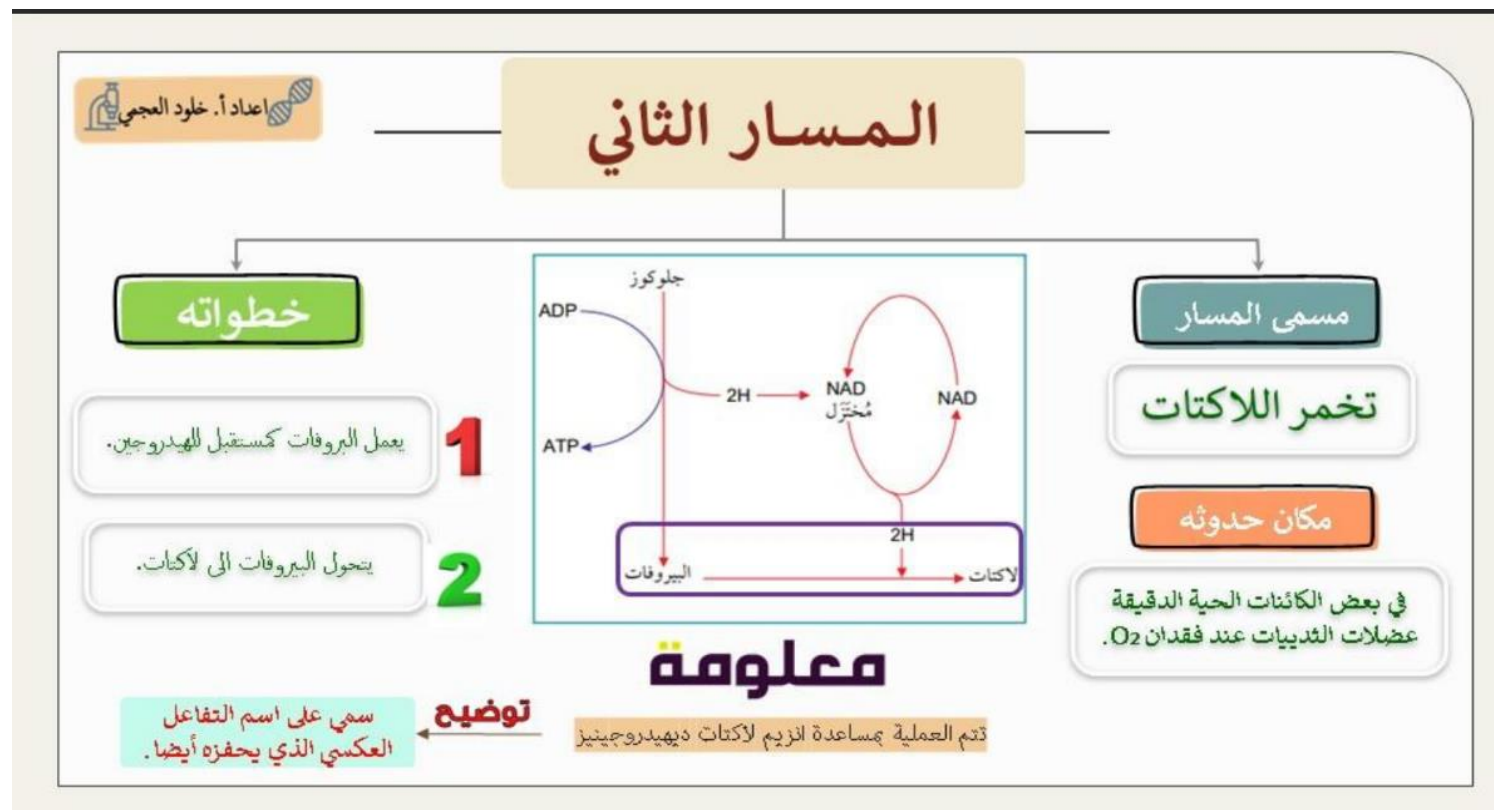
الشكل ٦-١٠ رسم تخطيطي (3D) لميتوكوندريون. قد تحتوي الحبيبات الموجودة في الحشوة على أيونات أو بروتينات للمساعدة في العمليات المتنوعة في الميتوكوندريون.

6-14 يلخص التنفس في الظروف اللاهوائية في الثدييات (تخمير اللالكتات) وفي خلايا الخميرة وبعض الكائنات الحية الدقيقة الأخرى وبعض خلايا النباتات (تخمير الإيثانول) المعيار:

- يسمي الكائنات الحية التي تقوم بتخمير الإيثانول في الظروف اللاهوائية.
- الكائنات الحية الدقيقة
- يصف تخمر الإيثانول في الخميرة.



- يصف تخمر اللاكتات في الثدييات.



- يقارن بين العمليات والنواتج لتخمير الإيثانول وتخمير اللاكتات  
عملية التنفس اللاهوائي

تخمير الإيثانول : 2 إيثانول , 4ATP والمستخدم والصافية عددها 2 ,  $2CO_2$  , 2NAD المختزل  
تخمير اللاكتات : 2 لاکتات , 4ATP والمستخدم والصافية عددها 2 , 2NAD المختزل

15-6 يشرح سبب أن كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف الهوائية أعلى بكثير من كمية الطاقة المنطلقة من التنفس في الظروف اللاهوائية (الحساب التفصيلي للناتج الإجمالي من ATP من التنفس الهوائي للجلوكوز ليس مطلوبًا)





6-16 يشرح كيفية مناسبة تركيب نبات الأرز للنمو مع غمر جذوره في الماء، مقتصرًا على نمو نسيج إيلرنشيمما في الجذور وتخمر الإيثانول في الجذور والنمو السريع في الساق

# علل/ لا يمكن أن يحدث التمثيل الضوئي إذا كانت الأولاق مغمورة في الماء.

لعدم توافق ما يكفي من ثاني أكسيد الكربون وحيث ذلك لأن الغازات تنتشر في الماء بشكل أبطأ بكثير من انتشارها في الهواء بالإضافة تكون ثنائي أكسجين و ثاني أكسيد الكربون الذائبين في الماء أقل بكثير مما هي عليه في الهواء.

هذا ينطبق بشكل خاص على حقول الأرز المغمورة بالمياه

أي يحتوي الطين الذي تررع فيه جذور الأرز على أعداد كبيرة من جماعات الكائنات الحية الدقيقة والعديد منها يتنفس هوائياً ويحصل على الأكسجين من الماء

# ماهي طريقة استجابة بعض أنواع الأرز للفيضانات؟

- ① تنجيب الجذور في الطول بسرعة → تنقل في النمو طولاً مع ارتفاع المياه بسبب حواها
- ② تكون الأجزاء العلوية من أوقها وأزهارها فوق سطح الماء
- ③ مما يتيح إمداداً بأكسجين تبادل  $O_2$  و  $CO_2$  من خلال الثغور على الأوراق.

# مما تكون سيقان نبات الأرز؟

تحتوي على خلايا غير متمايزة تكون شبيهاً بـ إيلرنشيمما

# كيف تصل الغازات إلى سيقان وجذور نبات الأرز؟  
تكون الغازات وبما في ذلك الأكسجين قادر على الانتشار عبر شبيح الإيلرنشيمما إلى أجزاء أخرى من النبات بما فيها تلك الموجودة تحت الماء ويضمن ذلك أن تحتوي الخلايا في الجذور على بعض الأكسجين فتمكن بالتالي من التنفس هوائياً.

# علل/ جذور نبات الأرز تنفس لا هوائياً.

لأن إمداد الأكسجين للجذر هنا لا يكفي عادة لتوفير كل الطاقة التي تحتاج إليها الخلايا للتنفس الهوائي لذلك تستخدم جذور الأرز المغمورة تخمر الإيثانول لبعض الوقت خلايا

# فسر كيفية تكيف نبات الأرز مع تراكم الإيثانول.

أولاً: الإيثانول يمكن أن يتراكم في الأشجار وهو سام

فخلايا جذور الأرز تستطيع تحمل مستويات أعلى بكثير من معظم النباتات أي تنتج أيضاً المزيد من إنزيم إيثانول ديهيدوجينين والذي يفك الإيثانول إلى  $ATP$  الناتج من تخمر الإيثانول وهذا يسمح بنمو النباتات بنشاط حتى عندما يتركز وجود الأكسجين.

## 6-17 يصف ويفسر الاستقصاءات باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال، بما في ذلك DCPIP وأزرق الميثيلين لتحديد تأثير درجة الحرارة وتركيز المادة المتفاعلة على معدل تنفس الخميرة.

### مهارات عملية ٦-٢

#### قياس معدل التنفس باستخدام كواشف الأكسدة والاختزال

تتمثل إحدى طرائق استقصاء معدل التنفس في الخميرة باستخدام صبغة مثل محلول ديكلوروفينول إندوفينول **Dichlorophenolindophenol (DCPIP)**، أو محلول أزرق الميثيلين **Methylene blue**. لا تتلف هاتان الصبغتان الخلايا، وبالتالي يمكن إضافتهما إلى معلق خلايا الخميرة الحية. فكلتا الصبغتين زرقاء اللون، لكنهما تصبحان عديمتي اللون عندما تختزلان؛ وهما مثالان على **كواشف الأكسدة والاختزال Redox indicators**.

تعرفت أن نزع الهيدروجين من المواد المتفاعلة جزء مهم من التنفس. عادة، يلتقط **NAD** و **FAD** هذا الهيدروجين، ومع ذلك، يمكن أيضًا لصبغة **DCPIP** أو أزرق الميثيلين في حال وجودهما التقاط الهيدروجين لتصبح مختزلة. وكلما زادت سرعة التنفس، أطلق المزيد من الهيدروجين

لكل وحدة زمنية، وأُختزلت الصبغتان بشكل أسرع. ويتمثل قياس معدل التنفس في الخميرة بمعدل التغير من اللون الأزرق إلى فقدان اللون.

يمكن استخدام هذه التقنية لاستقصاء تأثير عوامل مختلفة على تنفس الخميرة، مثل درجة الحرارة أو تركيز المادة المتفاعلة أو المواد المتفاعلة المختلفة.

(ارجع إلى الاستقصاء العملي ٦-٢ الوارد في كتاب التجارب العملية والأنشطة للحصول على معلومات إضافية).

#### مصطلحات علمية

**كاشف الأكسدة والاختزال Redox indicator**: مادة يتغير لونها عند تأكسدها أو اختزالها.