

## التنفس الخلوي

### Cellular Respiration

**المفكرة الرئيسية** تحصل المخلوقات الحية على الطاقة بتحليل الجزيئات العضوية في أثناء عملية التنفس الخلوي.

**الربط مع الحياة** يجب أن تتغذى طيور الخرشنة القزوينية (خرشنة بحر قزوين) *Sterna caspia* باستمرار للتزود بالطاقة لاستمرار حياتها في أثناء هجرتها الشتوية إلى المملكة كل عام. وكذلك الإنسان والمخلوقات الحية الأخرى تحتاج إلى مصادر غذائية متنوعة تزودها بالطاقة الضرورية لبقائها ونموها.

### التنفس الخلوي Cellular Respiration

تحصل المخلوقات الحية على الطاقة بعملية تسمى التنفس الخلوي. وتتمثل وظيفة التنفس الخلوي في جمع الإلكترونات من المركبات الكربونية، مثل الجلوكوز، واستخدام طاقتها في إنتاج جزيء ATP، الذي يزود الخلايا بالطاقة لتؤدي وظائفها. وتمثل المعادلة الآتية التنفس الخلوي:



لاحظ أن عملية التنفس الخلوي تحدث في عكس اتجاه عملية البناء الضوئي. يحدث التنفس الخلوي في مرحلتين رئيسيتين، هما: التحلل السكري والتنفس الهوائي. المرحلة الأولى: التحلل السكري عملية لاهوائية anaerobic process، لا تتطلب وجود الأكسجين. أما التنفس الهوائي aerobic respiration فيشمل حلقة كربس ونقل الإلكترونات، وهو عملية هوائية aerobic process تتطلب وجود الأكسجين. ويلخص الشكل 11-5 التنفس الخلوي الهوائي.

### الأهداف

- تخلص مراحل التنفس الخلوي.
- تحدد دور نواقل الإلكترونات في كل مرحلة من مراحل التنفس الخلوي.
- تقارن بين التخمر الكحولي والتخمر اللبني.

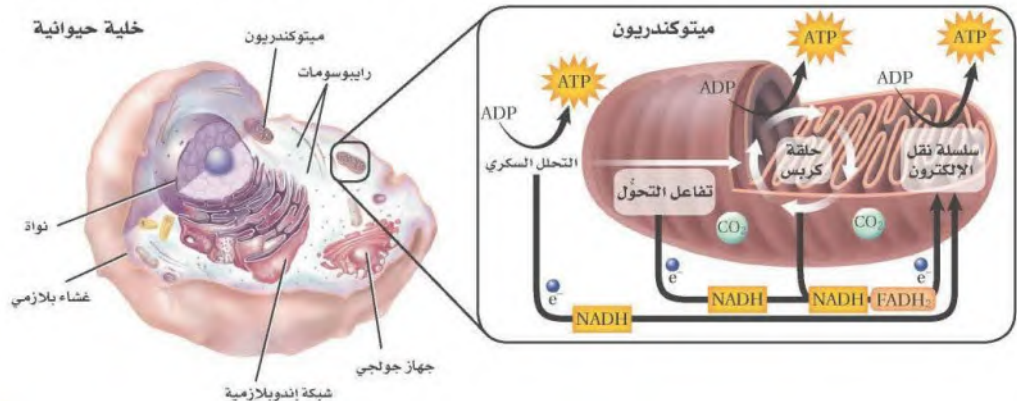
### مراجعة المفردات

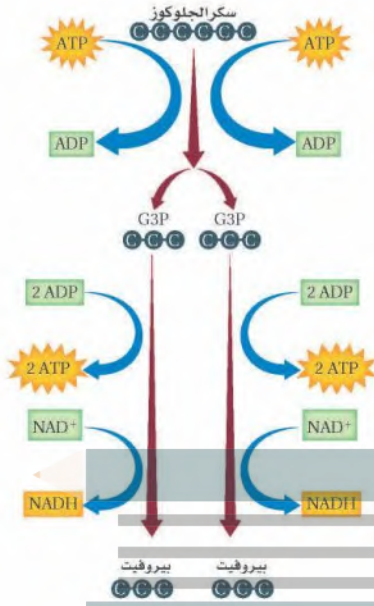
البكتيريا الخضراء المزرقة، نوع من البكتيريا، الذاتية التغذي، تقوم بعملية البناء الضوئي.

### المفردات الجديدة

- عملية لاهوائية
- التنفس الهوائي
- عملية هوائية
- التحلل السكري
- حلقة كربس
- التخمر

الشكل 11-5 يحدث التنفس الخلوي في الميتوكوندريا التي تعد مصنع الطاقة في الخلية.





■ الشكل 12-5 يتحلل الجلوكوز خلال عملية التحلل السكري داخل سيتوبلازم الخلايا. يَخَصُّ المواد المتفاعلة والناجثة عن عملية التحلل السكري.

### التحلل السكري Glycolysis

يتحلل الجلوكوز في السيتوبلازم خلال عملية التحلل السكري glycolysis. ويتكون جزيئان من ATP وجزيئان من NADH، عند تحلل جزيء واحد من الجلوكوز. تتبّع الشكل 12-5 في أثناء قراءة تلك خطوات التحلل السكري. أولاً: ترتبط مجموعتا فوسفات مع الجلوكوز بعد انفصالهما عن جزيئين من ATP. لاحظ أن التفاعلات التي تنتج طاقة الخلية تحتاج إلى طاقة بسيطة (جزيئين ATP) لكي تبدأ؛ حيث يتحلل جزيء الجلوكوز السداسي الكربون إلى مركبين ثلاثيين الكربون.

ثانياً: تضاف مجموعتا فوسفات، ثم تتحد الإلكترونات وأيونات  $H^+$  مع جزيئين من  $NAD^+$  فيتكون جزيئان من NADH. يشبه جزيء  $NAD^+$ ، جزيء  $NADP^+$ ، وهو ناقل إلكترونات يُستخدم خلال عملية البناء الضوئي.

ثالثاً: تتحول أخيراً المركبات الثلاثية الكربون إلى جزيئين من بيروفيك، وفي الوقت نفسه يتم إنتاج أربعة جزيئات ATP.

✓ **ماذا قرأت؟** فسر لماذا يكون الناتج النهائي من الطاقة في عملية التحلل السكري جزيئين فقط من ATP وليس أربعة جزيئات.

المفردات  
أصل الكلمة

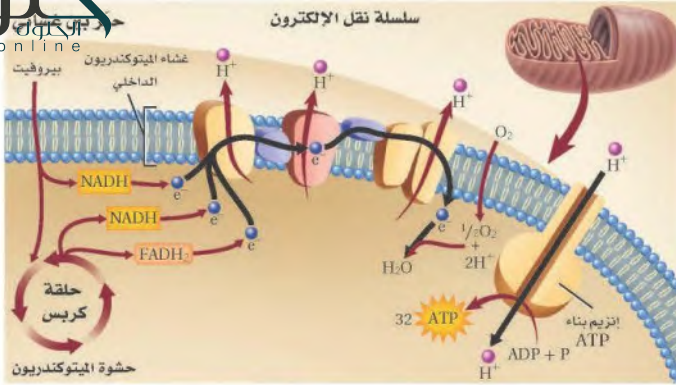
التحلل السكري Glycolysis  
أصل الكلمة من اليونانية:  
Glykys- وتعني "حلو".  
-lysis وتعني "تحلل أو تحطيم"....

### المطويات

ضمّن مطوبتك معلومات من هذا القسم.







### سلسلة نقل الإلكترون Electron Transport

تعد سلسلة نقل الإلكترون في التنفس الهوائي الخطوة النهائية من عملية تحليل سكر الجلوكوز، وهي أيضًا النقطة التي يتم فيها إنتاج معظم جزيئات ATP. وتستخدم الإلكترونات عالية الطاقة وأيونات الهيدروجين من جزيئات NADH و  $FADH_2$  التي أنتجت في حلقة كريس لتحويل ADP إلى ATP.

ويمكنك تتبع هذه العملية كما يبين الشكل 14-5، والتي تحدث كالتالي:

أولاً: تنتقل الإلكترونات على طول غشاء الميتوكوندريا من بروتين إلى آخر، وعندما تتحرر جزيئات الإلكترونات من نواقل الإلكترون NADH و  $FADH_2$  فإنها تتحول إلى  $NAD^+$  و FAD، وتتحرك كذلك أيونات الهيدروجين ( $H^+$ ) في اتجاه حشوة الميتوكوندريا.

ثانياً: يتم ضخ أيونات  $H^+$  من الحشوة عبر الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

ثالثاً: بسبب اختلاف فرق التركيز لأيونات  $H^+$  على جانبي الغشاء الداخلي للميتوكوندريا فإنها تتسرع لتعود مرة أخرى من الحيز بين الغشائي للميتوكوندريا (الأكثر تركيزاً من  $H^+$ ) إلى الحشوة عبر الغشاء الداخلي مروراً بجزيئات إنزيم بناء ATP بواسطة العملية الأسموزية الكيميائية. تتشابه عمليتا الأسموزية الكيميائية وسلسلة نقل الإلكترون في التنفس الخلوي مع العمليات التي تحدث في البناء الضوئي. ويعد الأكسجين المستقبل النهائي للإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترون في عملية التنفس الخلوي؛ حيث تنتقل البروتونات والإلكترونات إلى الأكسجين لإنتاج الماء.

ينتج عن عملية نقل الإلكترون 24 جزيئاً من ATP. وكل جزيء NADH ينتج ثلاثة جزيئات ATP. ويعطي كل جزيء  $FADH_2$  جزيئين من ATP. وفي المخلوقات الحية الحقيقية النواة ينتج عن تحليل كل جزيء من الجلوكوز 38 جزيئاً من ATP. يستهلك منهما الجزيئان اللذان ينتجان عن عملية التحلل السكري عند انتقال البيروفيت إلى حشوة الميتوكوندريا.

■ الشكل 14-5 تحدث سلسلة نقل الإلكترون على طول غشاء الميتوكوندريا. قارن بين سلسلة نقل الإلكترون في التنفس الخلوي وعملية البناء الضوئي.

#### المفردات

##### الاستعمال العلمي مقابل

##### الاستعمال الشائع

##### التركيز Concentration

الاستعمال العلمي: الكمية النسبية من المادة المذابة في مادة أخرى.

تركيز أيونات الهيدروجين في جانب واحد من الغشاء أكبر من الجانب الآخر.

الاستعمال الشائع: الاهتمام، الانتباه.

كان تركيز الطلاب موجهاً نحو الامتحان....

#### مهن مرتبطة مع علم الأحياء

##### عالم الطاقة الحيوية

Bioenergeticist باحث يدرس انتقال الطاقة في الخلايا. وبعض علماء الطاقة الحيوية يدرسون الميتوكوندريا وعلاقتها بالشيخوخة والمرض.

ينتقل البيروفيت إلى الميتوكوندريا في المخلوقات الحية الحقيقية النواة، أما في المخلوقات الحية البدائية النواة فهذه الخطوة غير ضرورية؛ إذ توفر على الخلية البدائية النواة جزيئين من ATP. ليصبح الناتج النهائي من عملية التنفس الخلوي 38 جزيئاً من ATP بدلاً من 36 جزيئاً في الخلايا الحقيقية النواة.

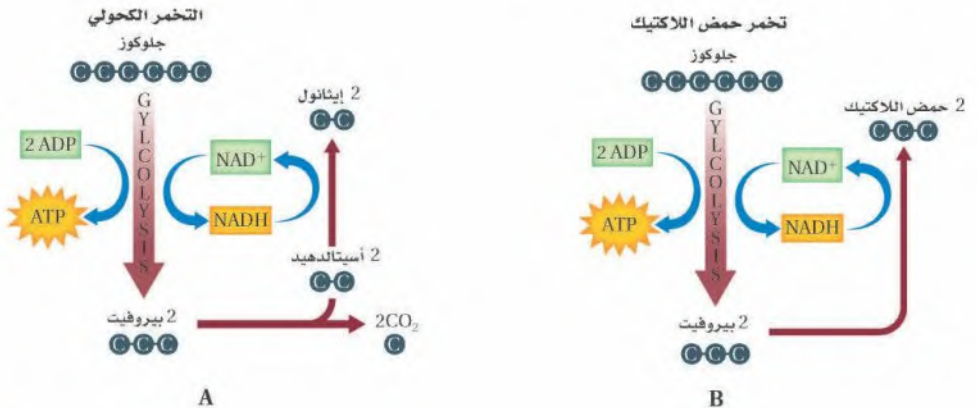
### التنفس اللاهوائي Anaerobic Respiration

يمكن أن تعمل بعض الخلايا فترة زمنية قصيرة عندما تكون مستويات الأكسجين منخفضة. وبعض بدائيات النوى مخلوقات لاهوائية، أي تستطيع أن تنمو وتتكاثر دون وجود الأكسجين. وتستمر هذه الخلايا في بعض الأحيان في إنتاج ATP عن طريق التحلل السكري. ومع ذلك فهناك مشكلات تنتج عن الاعتماد على التحلل السكري وحده في الحصول على الطاقة. فالتحلل السكري يزود الخلية بجزيئي ATP فقط لكل جزيء جلوكوز. ولأن للخلية كمية محددة من جزيء  $NAD^+$ ، تتوقف عملية التحلل السكري عند استهلاك جميع جزيئات  $NAD^+$ ، وخصوصاً عند عدم وجود عملية تعويض النقص في هذه الجزيئات. فالمسار اللاهوائي الذي يتبع عملية التحلل السكري هو التنفس اللاهوائي أو التخمر. ويحدث التخمر fermentation في السيتوبلازم، وهو يعيد تزويد الخلية بجزيئات  $NAD^+$ ، وينتج كمية قليلة من جزيئات ATP. والتخمر نوعان: التخمر اللبني (تخمر حمض اللاكتيك) والتخمر الكحولي.

### الربط مع الصحة: تخمر حمض اللاكتيك Lactic acid fermentation

عند تخمر حمض اللاكتيك تحول الإنزيمات البيروفيت -الذي تكوّن في أثناء عملية التحلل السكري- إلى حمض اللاكتيك، كما في الشكل B 15-5. وتضم العملية نقل الإلكترونات العالية الطاقة والبروتونات من  $NADH$ . وتنتج العضلات الهيكلية حمض اللاكتيك عند عدم وجود الأكسجين الكافي في الجسم نتيجة القيام بالتمارين الرياضية المجهدة مثلاً.

الشكل 15-5 عند وجود الأكسجين بكمية محدودة أو عدم وجوده تحدث عملية التخمر. هذان بين التخمر الكحولي والتخمر اللبني.



وعندما يتجمع حمض اللاكتيك يحدث إجهاد للخلايا العضلية، وتنتج حمض اللاكتيك بواسطة العديد من المخلوقات الحية الدقيقة التي تُستخدم في إنتاج أطعمة معينة، مثل الجبن واللبن الرائب (الزبادي) والقشدة الحامضة.

**التخمّر الكحولي Alcohol fermentation** يحدث التخمّر الكحولي في الخميرة، وبعض أنواع البكتيريا. انظر الشكل 15A-5 الذي يُبين التفاعل الكيميائي الذي يحدث في أثناء التخمّر الكحولي؛ حيث يتحول البيروفيت إلى الكحول الإيثيلي وثاني أكسيد الكربون. وتوفر جزيئات NADH الإلكترونات، كما في تخمّر حمض اللاكتيك، وتتحول إلى جزيئات  $NAD^+$ .

### عملية البناء الضوئي والتنفس الخلوي

#### Photosynthesis and Cellular Respiration

كما تعلمت سابقاً فإن البناء الضوئي والتنفس الخلوي عمليتان مهمتان تستخدمهما الخلايا في الحصول على الطاقة، وهما من المسارات الأضية التي تُنتج الكربوهيدرات البسيطة وتحللها. وبين الشكل 16-5 الارتباط بين هاتين العمليتين.

## مختبر تحليل البيانات 5.1

### بناءً على بيانات حقيقية

#### فهرس البيانات

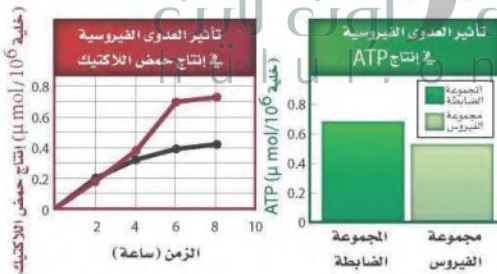
كيف تؤثر العدوى الفيروسية في التنفس الخلوي؟ يمكن للالتهابات الناجمة عن الفيروسات أن تؤثر في عملية التنفس الخلوي، وفي قدرة الخلايا على إنتاج ATP. والاختبار أثر الالتهابات الفيروسية في مراحل التنفس الخلوي في الخلايا المصابة بالفيروسات تم قياس كمية حمض اللاكتيك وجزيئات ATP الناتجة.

#### التفكير الناقد

1. حلّ كيف يؤثر الفيروس في إنتاج حمض اللاكتيك في الخلايا؟
  2. احسب بعد مرور 8 ساعات، ما نسبة ارتفاع إنتاج حمض اللاكتيك في الفيروس مقارنة بالمجموعة الضابطة؟ وما نسبة انخفاض إنتاج جزيئات ATP؟
  3. استنتج ما سبب شعور الإنسان المصاب بفيروس الأنفلونزا بالتعب الشديد؟
- أخذت البيانات في هذا المختبر من:

El-Bacha, T., et al. 2004. Mayaro virus infection alters glucose metabolism in cultured cells through activation of the enzyme

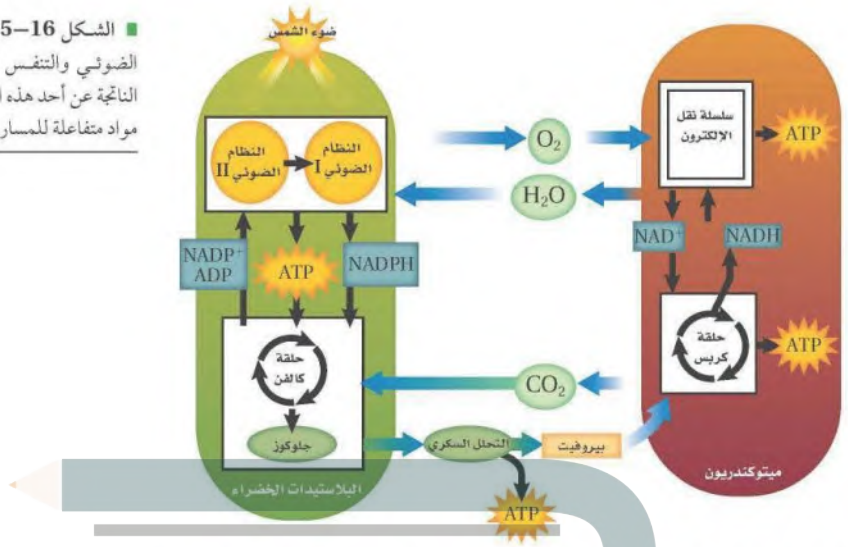
6-phosphofructo-1-Kinase. *Molecular and Cellular Biochemistry*. 266: 191 – 198.





### الشكل 5-16 تشكلا عمليات

الضوئي والتنفس الخلوي دورة المواد الناتجة عن أحد هذه المسارات الأيضية تشكل مواد متفاعلة للمسار الأيضي الآخر.



تذكر أن المواد الناتجة عن عملية البناء الضوئي هي الأكسجين والجلوكوز، وهي المواد المتفاعلة التي تتطلبها عملية التنفس الخلوي. والمواد الناتجة عن عملية التنفس الخلوي هي ثاني أكسيد الكربون والماء، وهي المواد المتفاعلة اللازمة لعملية البناء الضوئي.

## التقويم 3-5

### التفكير الناقد

1. **مفكرة** **الرئاسة** **علم الشكل النهائي** **علم الأحياء** ما عدد جزيئات ATP و  $NADH$  و  $FADH_2$  الناتجة في كل خطوة من خطوات التنفس الخلوي؟ كيف يختلف عدد جزيئات ATP الناتجة (الفعليّة) عن عدد جزيئات ATP الكلية (المتوقعة)؟
2. **قارن** بين نوعي التخمر.

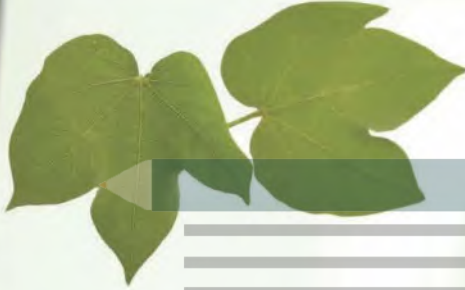
### فهم الأفكار الرئيسية

1. **مفكرة** **الرئاسة** **علم الشكل النهائي** **علم الأحياء** من الطاقة الكيميائية الناتجة عن الخلايا في أثناء التنفس الخلوي.
2. **حدد** ما عدد ذرات الكربون من جزيء جلوكوز واحد التي تدخل في دورة كريس واحدة؟
3. **فسّر** كيف تُستخدم الإلكترونات العالية الطاقة في سلسلة نقل الإلكترون؟
4. **صِف** دور التخمر في الحفاظ على مستويات ATP و  $NAD^+$ .

### الخلاصة

- تستخدم العديد من المخلوقات الحية عملية التنفس الخلوي لتحليل الجلوكوز.
- تضم مراحل التنفس الخلوي التحلل السكري وحلقة كريس ونقل الإلكترون.
- $NADH$  و  $FADH_2$  نواقل إلكترونات مهمة جداً في عملية التنفس الخلوي.
- تقوم الخلايا بعملية التحلل السكري بواسطة التخمر عند عدم توافر الأكسجين.

## البناء الضوئي الاصطناعي Artificial photosynthesis



على مدى عقود، كان تطوير الطاقة المتجددة يركز - إلى حد كبير - على توليد الطاقة الكهربائية. ولكن ما يزيد على 60% من الطاقة في العالم يوفرها الوقود الأحفوري على الرغم من آثاره السلبية على البيئة، خصوصاً ظاهرة الاحتباس الحراري؛ نتيجة للانبعاثات الكربونية إلى الغلاف الجوي الناتجة عن احتراق الكربون. ولكن هل يوجد بديل قابل للتطوير لا ينبعث عنه غازات ضارة؟

هناك تقنية واعدة تقوم على البناء الضوئي الاصطناعي، الذي يستخدم مواد غير حيوية لإنتاج الطاقة من ضوء الشمس مباشرة، حيث تعد الشمس مصدراً متجدداً من مصادر الطاقة. ويجمع البناء الضوئي الاصطناعي بين هذه الميزات في تقنية قابلة للتطبيق واعدة بأمن الطاقة والاستدامة البيئية والاستقرار الاقتصادي.

وفي حين يزودنا البناء الضوئي الطبيعي في النباتات بالطاقة التي يحولها من ضوء الشمس، فإن حدوداً كبيرة تقيد أدائه. فمن المعروف أن جزءاً بسيطاً من الطاقة الشمسية يستخدم فعلياً في عملية البناء الضوئي في النباتات، ولا يتجاوز صافي تحويل الطاقة السنوية 1%، كما تستهلك كميات كبيرة من الطاقة داخل خلايا النبات للحفاظ على عملياتها الحيوية، ومنها عملية البناء الضوئي؛ ويخزن الباقي من الطاقة في أشكال متعددة من المركبات الكربونية. ومع ذلك فإن البناء الضوئي الاصطناعي، المستلهم من البديل الطبيعي، أظهر إمكانية للأداء الفعال؛ حيث يوفر الطاقة في شكل يمكن استخدامه.

فكما يعمل الكلوروفيل على امتصاص الضوء في عملية البناء الضوئي الطبيعية، فإن المواد المناسبة مطلوبة لامتصاص ضوء الشمس اللازم لتكسير جزيئات الماء في الأنظمة الاصطناعية، كما يحتاج النظام أيضاً إلى محفزات لتسهيل الإنتاج الفعال للوقود. ولا بد أن تكون هذه المحفزات عالية النشاط، ومستقرة.

كيف يمكن أن يبدو نظام البناء الضوئي الاصطناعي؟ الشكل الأساسي لهذا النظام عبارة عن لفافة رقيقة من طبقات تشبه البلاستيك - وهي كالقماش العالي الأداء في ستر المطر - يمكن بسطها وطبها حسب الحاجة. وتمتص الطبقة العلوية منها الماء وثاني أكسيد الكربون من الجو، أما الطبقة التالية فتمتص ضوء الشمس ومن ثم استخدامه في إنتاج الوقود. ومن خلال فصل الوقود عن طريق غشاء فإنه لن يتسرب إلى الهواء بل يمر عبر الجزء السفلي من الطبقات التي تشبه البلاستيك إلى صهر يج تجميع لاستخدامه فيما بعد.

ينقسم الماء إلى غازي الهيدروجين والأكسجين بفعل أشعة الشمس. ومن الممكن تحويل غاز الهيدروجين إلى وقود سائل، أو حمله على التفاعل مع ثاني أكسيد الكربون، أو معالجته لإنتاج وقود سائل يمكن استخدامه في الحياة اليومية. وبدلاً من ذلك فإن المحفزات، كما في أنظمة البناء الضوئي الطبيعية، يمكنها تحويل غاز  $CO_2$  مباشرة إلى ميثانول أو ميثان. لقد زودتنا التطورات الحديثة في علوم النانو والمواد والكيمياء والفيزياء بالأدوات اللازمة لتحقيق تقدم سريع في هذا المجال، لنستخدمها في إنتاج الطاقة النظيفة القادرة على توفير الأساس لمستقبل الطاقة الآمنة المستدامة.



# مختبر الأحياء

## هل تؤثر أطوال الموجات الضوئية المختلفة في معدل حدوث عملية البناء الضوئي؟

- الخلفية النظرية:** تحتاج المخلوقات الحية التي تعتمد على عملية البناء الضوئي إلى الضوء لإتمامها. يتكون الضوء الأبيض من ألوان مختلفة توجد في الطيف الضوئي المرئي. ولكل لون من الضوء طول موجي محدد. وفي هذا المختبر تصمم تجربة لاختبار أثر أطوال الموجات الضوئية المختلفة في معدل حدوث عملية البناء الضوئي.
- سؤال:** كيف تؤثر أطوال الموجات الضوئية المختلفة في معدلات حدوث عملية البناء الضوئي؟
5. اعمل جدول بيانات لتسجيل ملاحظاتك وقياساتك.  
6. تأكد من موافقة معلمك على خطتك قبل بدء العمل.  
7. ابدأ بإجراء تجربتك كما اتفق عليها.  
8. التنظيف والتخلص من الفضلات نظف جميع الأجهزة بحسب التعليمات، وأعد كل شيء استخدمته إلى مكانه المناسب. وتخلص من النبات بحسب توجيهات معلمك، ثم اغسل يديك جيداً بالماء والصابون.

## المواد والأدوات

- اختر المواد التي تراها مناسبة للتجربة التي تصممها.
- أنابيب اختبار سعتها (15 mL).
  - نبات مائي.
  - بخار مدرج سعته (10 mL).
  - ساعة إيقاف.
  - مخلول صودا الخبز (0.25 %).
  - مسطرة مترية.
  - مصباح مع عاكس ومصباح صغير.
  - ورق سلوفان ملون.
  - بقدره 150 واط.
  - دورق زجاجي مخروطي.
- احتياطات السلامة**
5. ناقش ما إذا كانت بياناتك تدعم توقعك أم لا.

## خطط ونفذ المختبر

1. املا بطاقة السلامة في دليل التجارب العملية.  
2. توقع كيف تؤثر أطوال الموجات الضوئية المختلفة في معدل حدوث عملية البناء الضوئي في النبات؟  
3. صمم تجربة لاختبار توقعك، واكتب قائمة بالخطوات التي تتبعها، وحدد المجموعة الضابطة والمتغيرات التي ستستخدمها.

## تواصل

مراجعة اعرض بياناتك على زملائك، ثم ناقش ما عرضه زملاؤك، واستخدم ملاحظاتهم في الصف لتحسين أدائك.

4. وضح كيف تولد ضوءاً بأطوال موجية مختلفة؟ وزود النبات بثاني أكسيد الكربون، واحسب كمية الأكسجين التي ينتجها النبات.