

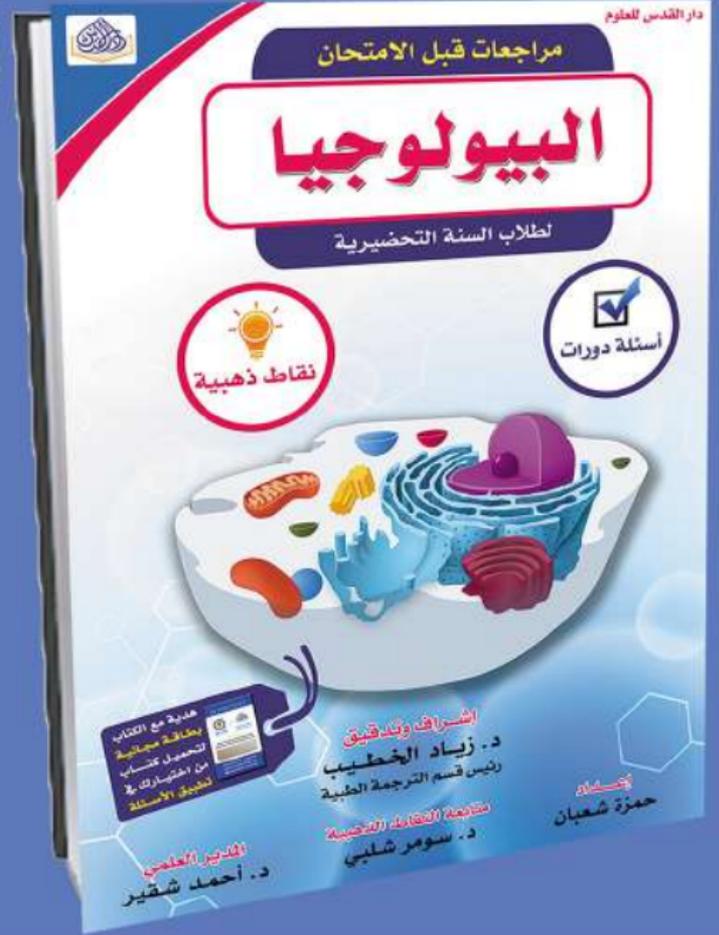
# يتضمن كتاب البيولوجيا:

## • أسئلة الدورات:

مع الإجابات الدقيقة وإضافة التعليقات لأجوبة الكثير من الأسئلة، وتم فرز الأسئلة إلى عناوين فرعية ضمن كل فصل من فصول المادة، وذلك لتسهيل الدراسة.

## • النقاط الذهبية:

وهي عبارة عن ملخص موجز ومبوب لمادة البيولوجيا يساعد الطالب في التحضير للامتحان من خلال التركيز على أهم المعلومات التي تأتي في الامتحانات عادة. وتم إغناء النقاط بالعديد من الجداول والمخططات التي تساعد على حفظ المعلومات المهمة والمترابطة.



## المحتويات

<b>الفصل 1: مدخل إلى البيولوجيا</b>	
5	نقاط ذهبية .....
13	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 2: التركيب الكيميائي الحيوى للخلية</b>	
21	نقاط ذهبية .....
42	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 3: بنية ووظائف عضيات الخلية</b>	
60	نقاط ذهبية .....
87	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 4: بنية ووظيفة النواة</b>	
102	نقاط ذهبية .....
114	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 5: الغشاء الخلوى</b>	
122	نقاط ذهبية .....
133	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 6: الهيكل الخلوى</b>	
140	نقاط ذهبية .....
148	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 7: الالتصاق الخلوى</b>	
154	نقاط ذهبية .....
164	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 8: طاقة الخلية</b>	
172	نقاط ذهبية .....
186	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 9: الانقسام الخلوى والدورة الخلوية</b>	
191	نقاط ذهبية .....
199	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 10: الانقسام المنصف ووراثة الصبغيات</b>	
204	نقاط ذهبية .....
213	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 11: التأشير الخلوى</b>	
220	نقاط ذهبية .....
232	أسئلة دورات .....
<b>الفصل 12: التمايز والخلايا الجذعية</b>	
239	نقاط ذهبية .....
251	أسئلة دورات .....
256	دورة 2019 + دورة 2020 .....



# وكلاء دار القدس للعلوم لكتب التحضيرية:



- مكتبة الكمال (مركز تصوير الطب البشري): 2153220
- مكاتب نفق الآداب (الأثوار - غسان - أمزون)
- المركز الأكاديمي للكتاب: 6631432
- دار المنجد: 0932871976 - 0958720364
- مكتبة الفارابي - حلبوني: 2226786
- مكتبة الأثوار - حلبوني: 2231199

دمشق

- مكتبة سقراط (مدخل السكن الجامعي - باب اسبيرو): 2418986
- مكتبة ميديا (مقابل باب الزراعة): 0994093713
- مكتبة اليمان (عند نفق الجامعة): 0992006204
- مكتبة إليسار (اسبيرو): 0949883715
- دار الصاري (العويينة - شارع المثنى بن حارثة): 0942215092

اللاذقية

- مكتبة الجامعة (أمام سور الجامعة الرئيسي): 0991016290

طرطوس

- مكتبة الكشاف: 0945330203
- مكتبة المدينة الجامعية: 0933555747 - 2670501
- مركز تصوير الطب البشري: 0956299183 - 2674902
- دار الرواد: 0944686303

حلب

- مكتبة دار الطب (ساحة العاصي): 2510505

حماة

- مكتبة طريف (داخل كلية الطب البشري): 2148491
- مكتبة الطب والعلوم الصحية: 0933108098 - 2166625

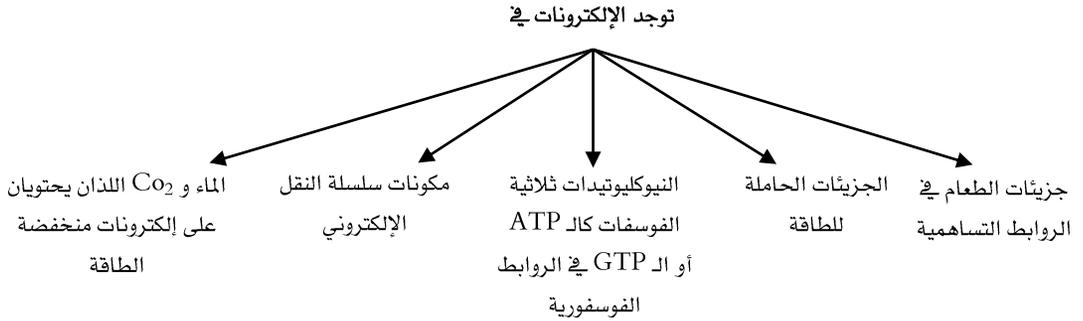
حمص

# طاقة الخلية

## 8

### مقدمة

- ❖ تُستمد الطاقة في الأرض من طاقة الشمس وتُخزَّن في الجزيئات الكبيرة في الروابط التساهمية للكربون (C-C) ويستفد قسم كبير من الطاقة في بناء الكائنات الحية وكطاقة حركية ميكانيكية أو بشكل حرارة تتبدد عادة من سطح الكرة الأرضية إلى الكون.
- ❖ تعد الإلكترونات اللاعب الأساسي في مجال الطاقة إذ تعد مسالك الطاقة في الخلايا.
- ❖ مكونات سلسلة نقل الإلكترون: هي معقدات بروتينية في الغشاء الداخلي للمتقدرات وغشاء الثاليكوئيدات في صناعات اليخضور.



### أشكال ومصادر الطاقة

- ❖ تتألف الخلايا من مادة وطاقة وتقوم الخلايا باستخلاص الطاقة من الجزيئات والمواد التي تخزنها.
- ❖ تصنف القوانين الفيزيائية أشكال الطاقة الشائعة في ثلاثة أنواع:
  - طاقة حركية Kinetic Energy : ناتجة عن تحرك الجزيئات والمواد.
  - طاقة كامنة Potential Energy : مخزنة داخل الجزيئات والمواد.
  - طاقة حرارية Heat Energy : ناتجة عن الاختلاف في حرارة الجزيئات أو المواد.
- ❖ جميع أشكال الطاقة غير مرئية، ونستطيع تقدير أشكال الطاقة من خلال المادة التي تؤثر بها.
- ❖ قانونا الطاقة والتفاعلات الاستقلابية:
  - ⬅ القانون الأول: الطاقة في الكون ثابتة لا تخلق ولا تفتنى لكن تتحول من شكل إلى آخر. يفسر القانون الأول الطرق التي طورتها الخلايا لمعالجة وتحويل الطاقة.
  - ⬅ القانون الثاني: تميل أنظمة الطاقة إلى زيادة الإنتروبية Entropy أي الطاقة المهذرة أو غير المستخدمة.
- ❖ يعالج القانون الثاني للترموديناميك نوعية الطاقة المتاحة فتكون الطاقة المخزنة في بعض المواد ذات نوعية عالية والطاقة المنتشرة في الجو ذات نوعية منخفضة.



## مصادر وأنماط الطاقة

### مصادر طويلة الأجل:

- ❖ تعد الشحوم وبعديدات السكاكر أمثلة على طاقة مخزنة طويلة الأجل، فالجزيئات ذات الإنتروبية المنخفضة تخزن الطاقة الأكثر نفعاً.
- ❖ تنتظم الشحوم تلقائياً في قطيرات شحمية كارهة للماء مما يؤدي لانخفاض الإنتروبية فيها بشكل كبير وتمتلك إنتروبية أقل من السكاكر وهي بذلك تحمل طاقة نافعة أكثر من السكاكر.
- ❖ تمتلك البروتينات إنتروبية أعلى من الشحوم و**السكاكر** وتكون بعض الخلايا كخلايا العضلات الهيكلية مليئة جداً بالبروتينات لذلك تستخدم بروتيناتها في الجوع الشديد لتبقى على قيد الحياة.
- ❖ لا يعد الدنا في الخلية مصدراً للطاقة المخزنة نظراً لكونه مصدر المعلومات الوحيد الذي لا يستبدل حتى أثناء الجوع.

### مصادر طاقة قصيرة الأمد (الأجل):

- ❖ تحافظ الخلايا على مستودع من الطاقة الكامنة من السهل الوصول إليها وتحتاج إلى قليل أو لا تحتاج أي تفاعلات كيميائية كي تكون جاهزة للاستخدام.
- ❖ توجد مستودعات الطاقة قصيرة الأجل على ثلاث أشكال:
  - ❑ إلكترونات عالية الطاقة في جزيئات خاصة تدعى حوامل الطاقة Energy carriers.
  - ❑ المدروجات الأيونية ion gradient.
  - ❑ الكمون الكهربائي electrical potential على جانبي الأغشية الحيوية.

## الإلكترونات عالية الطاقة وناقل الطاقة

- ❖ تحمل ناقل الطاقة إلكترونات أو إلكترونين يتحرران جراء تفكك الروابط التساهمية.
- ❖ عملية تشكل الروابط التساهمية صعبة تتم بالتركيب الضوئي، إلا أنها تحرر كمية كبيرة من الطاقة عندما تتفكك.
- ❖ الطاقة الحرة للرابطة C-C في الجزيئات العضوية تعادل 80 كيلو حريرة/مول.
- ❖ تتفكك الروابط C-C في الخلايا وتلتقط بعض الطاقة المتحررة عن طريق ناقل الإلكترونات وتتراوح الطاقة الحرة في ناقل الإلكترونات بين 30-50 كيلو حريرة/مول.
- ❖ عند تفكك تلك الروابط عالية الطاقة تستخدم الطاقة المتحررة لتشكيل الـ ATP من الـ ADP والـ Pi ويتطلب ذلك 7 كيلو حريرة/مول.

- ❖ نقل الإلكترونات هو جوهر التفاعلات المتعلقة باستخدام الطاقة فهي تنتقل من المعطي إلى المتلقي وعندما تفقد ذرة إلكترونات فإنها تتأكسد وعندما تكسب ذرة إلكترونات فإنها تترجع، وبالتالي فإن أهم التفاعلات الاستقلابية تفاعلات الأكسدة - الإرجاع، التي تترافق غالباً مع نقل أيونات الهيدروجين.
- ❖ تفاعلات الأكسدة والإرجاع هي المفتاح الأهم لانتقال الطاقة في الخلايا.
- ❖ تسمى نواقل الإلكترونات عموماً كثائني يشمل الأشكال المؤكسدة والمرجعة ومن أشهرها  $NADPH/NADP^+$  و  $NADH/NAD^+$  و  $FADH_2/FAD^+$ .
- ❖ يتلقى جزئي ( $NAD^+$ ) الإلكترونات والهيدروجين من الجزيئات الغذائية المفككة ويُرجع إلى NADH الذي ينقلها إلى مواضع إنتاج الـ ATP في أغشية الميتوكوندريا.
- ❖ تشترك النواقل الإلكترونية المرتبطة بالأغشية في سلسلة من تفاعلات الأكسدة - الإرجاع بحيث تكون جزءاً من سلسلة النقل الإلكتروني (ETC) المؤلفة من العديد من نواقل الإلكترونات والإنزيمات المتوضعة في الأغشية الخلوية.
- ❖ يكون النقل الإلكتروني على شكل خطوات سلمية فالإلكترونات التي تُرفع إلى ذروة السلم تمتلك الطاقة الكامنة الأعلى وتهبط الإلكترونات أسفل السلم خطوة فخطوة ويتحرر في كل خطوة جزء من طاقاتها الفائضة.
- ❖ تستخدم الطاقة الناتجة للقيام بعمل ما كبناء مدروج للبروتونات، إضافةً لمدروج كيميائي كهربائي وكلاهما يعد أساسياً من أجل تشكيل جزيئات ATP.

الجدول التالي يبين بعض أكثر نواقل الإلكترونات شيوعاً:

الشكل المرجع	الشكل المؤكسد	الوظيفة الرئيسية	الناقل الإلكتروني
NADH	$NAD^+$	يتلقى الإلكترونات والهيدروجين في أماكن تفكيك الغذاء، وينقلها ويعطيها إلى أماكن إنتاج ATP.	Nicotine amide dinucleotide
NADPH	$NADP^+$	يتلقى الإلكترونات والهيدروجين في أماكن تحول الطاقة الشمسية، وينقلها ويعطيها إلى مواضع التركيب الضوئي.	Nicotine amide dinucleotide phosphate
$FADH_2$	FAD	يتلقى الإلكترونات والهيدروجين في أماكن تفكيك الغذاء، ينقلها ويعطيها إلى مواضع إنتاج ATP.	Flavin amide dinucleotide
$FMNH_2$	FMN	يتلقى ويعطي الإلكترونات والهيدروجين في العديد من منظومات النقل الإلكتروني المرتبطة بالأغشية الخلوية.	Flavin mono nucleotide
$Fe^{+2}$	$Fe^{+3}$	يتلقى ويعطي الإلكترونات في العديد من منظومات النقل الإلكتروني المرتبطة بالأغشية الخلوية.	Cytochrome بحلقة تحوي الحديد
$O^-$	O	المتلقي الإلكتروني الأخير في العديد من منظومات النقل الإلكتروني المرتبطة بالأغشية.	Oxygen

## المدرجات الأيونية

- ❖ تعد أكثر وأسهل الأشكال وصولاً للطاقة تتشكل من خلال خلق عدم توازن في التركيز الأيوني عبر الغشاء.
- ❖ تشكل المتقدرات والصناعات الخضراء داخل الخلايا مدرج للبروتونات  $H^+$  عبر أغشيتها لتخزين الطاقة الكامنة.
- ❖ يتشكل هذا المدرج عن طريق بروتينات عابرة للغشاء تستخدم الطاقة الموجودة في حوامل الإلكترونات لضخ أيونات البروتون من أحد جوانب الغشاء للآخر.
- ❖ يُسمح للأيونات في الخلايا بالتدفق عبر قنوات تشكلها بروتينات غشائية مثل المعقد الإنزيمي ATP synthase (الإنزيم المُصنَّع لـ ATP).
- ❖ إن التدرج في تركيز الأيونات عبر أغشية الخلية ضروري لتخزين الطاقة، إذ يشير القانون الثاني في الترموديناميك إلى أن الجزيئات تسعى إلى تحقيق تركيز متساوٍ على جانبي الغشاء فتعبر جيئةً وذهاباً عبر الحاجز حتى لا يبقى هناك اختلاف في التركيز.
- ❖ يشرف على هذه العملية نوعان من البروتينات الغشائية:
  - مضخات غشائية Membrane Pumps تعمل على بناء/تشكيل المدرج الأيوني وهي بروتينات ناقلة مقترنة بالطاقة تشكل تدرجات في تركيز الأيونات.
  - قنوات غشائية Membrane Channels تقوم بتبديد/تشتيت المدرج الأيوني مترافقاً ذلك بتخزين الطاقة الناتجة عن تبديد المدرج في جزيئات الـ ATP.

## الكمون الكهربائي والطاقة الكامنة:

- ❖ يشير الكمون الكهربائي إلى كمية الطاقة الكهربائية المخزنة كطاقة كامنة على جانبي الغشاء ويقاس بوحدتي الفولط.
- ❖ الأغشية الخلوية غير نفوذة للجزيئات المشحونة، لذا فإن المدرج الكهربائي هو مصدر مفيد للطاقة وبشكل مستقل عن المدرج الكيميائي المرافق له.
- ❖ يمكن جمع المدرجين الكيميائي والكهربائي بمدرج واحد هو المدرج الكيميائي الكهربائي.
- ❖ تتحرك الذرات عادةً من الأوساط السلبية إلى الإيجابية وبالعكس في الخلايا.
- ❖ تقاس كمية التدفق الكهربائي بوحدتي شائعة تدعى الملي أمبير أو 1 من 1000 من الأمبير.

## مصادر طاقة جاهزة للاستخدام

- ❖ يعد النيوكليوتيد ثلاثي الفوسفات ATP أكثر الجزيئات الحاملة للطاقة شيوعاً إلا أنه ليس الوحيد.
- ❖ يتكون ATP من الأدينين والريبوز وثلاث مجموعات ارتباط فوسفاتية والأجزاء المهمة هي الرابطتان اللتان تربطان ثلاثي الفوسفات p-O-p وتعطيان بالحلمة قادراً كبيراً من الطاقة.
- ❖ تحمل مجموعات الفوسفات الثلاث في ATP أربع شحنات سالبة قريبة بعضها من بعض حيث يعد ATP عالي الشحن وطاقته غير مستقرة. كما أن مجموعة الفوسفات الطرفية أكثر انجذاباً للماء المحيط من انجذابها إلى مجموعتي الفوسفات الباقيتين ومن ثم يكون تفاعل الحلمة محبذاً بالنسبة لها.
- ❖ يجعل ذلك تفكك الرابطة الطرفية في ATP سهلاً ويطراف مع تحرير الرابطة المخزنة في الرابطة.

- ❖ تخفف الحلمهة من توتر الجزيء وذلك لتوزع الشحنات الجديد بعد انفصال مجموعة الفوسفات.
- ❖ تفاعل حلمهة مجموعة الفوسفات:  $ATP \rightarrow ADP + Pi + \Delta$ .
- ❖ تحدث في ظروف خاصة حلمهة ثانية لـ ADP إلى (AMP) أدينوزين أحادي الفوسفات  
 $ADP \rightarrow AMP + Pi + \Delta$
- ❖ يدعى ATP بالعملة المتداولة للطاقة ويجب أن يتجدد الـ ATP باستمرار في الخلية.
- ❖ قد تفوق كتلة ATP التي يستهلكها الجسم كل يوم وزن الجسم نفسه وبدلاً من التخلص من ADP والـ AMP فإنهما يُشحنان من جديد من مصدر طاقة خارجي بإعادة فسفرتها، ويمكن لجزيء واحد أن يفسفر ويفكك وتعاد فسفرته من جديد آلاف وحتى ملايين المرات في اليوم الواحد.

## الجزئيات الكبيرة كمصدر للطاقة

- ❖ تختلف كمية الطاقة المتحررة من الجزئيات الكبيرة بحسب نوع الجزيء الكبري.
- ❖ كمية الطاقة المتحررة من تحطيم (1) غرام تساوي:
  - (4) كيلو كالوري لكل غرام من الساكر.
  - (4) كيلو كالوري لكل غرام من البروتينات.
  - (9) كيلو كالوري لكل غرام من الدهن.
- ❖ يتم تخزين ما يزيد من الطاقة عن حاجة الجسم أولاً بشكل سكاكر الغليكوجين في الكبد.
- ❖ تخزن الطاقة الزائدة عن استيعاب الكبد بشكل دسم في النسيج الشحمية نظراً لقدرة الأحماض الدسمة العالية على خزن الطاقة.
- ❖ يكفي مخزون الكبد من الطاقة الجسم بنحو 18 ساعة في حالات الصيام.
- ❖ باستمرار الصيام لأكثر من 18 ساعة يبدأ تفكك الأحماض المخزنة بشكل دسم وتصدر رائحة غير محببة للدم بسبب تشكل مركبات خلوية ناتجة عن تفكك الأحماض الدسمة.
- ❖ يشكل الغلوكوز المخزن الأول والأسهل للطاقة فمقابل أكسدة جزيء واحد من الغلوكوز نحصل على 36 جزيء ATP.
- ❖ تشكل الدهن المصدر الثاني كمخزن للطاقة فمقابل أكسدة كل جزيء دسم مؤلف من (18) كربون نحصل على 144 جزيء ATP.
- ❖ تنتج جزيئة الدهن كمية من ATP أكثر بـ 1.5 مرة مما تنتجه جزيئة الغلوكوز.
- ❖ يحصل جزء من استقلاب الأحماض الدسمة في المتقدرات منتجاً الطاقة، ومع ذلك تتم في العديد من حقيقيات النوى أكسدة الأحماض الدسمة إلى CO<sub>2</sub> وماء في الجسيمات المؤكسدة دون إنتاج طاقة.
- ❖ تشكل البروتينات المصدر الأخير للطاقة ولا يتم استهلاكها إلا عند الحاجة الشديدة للطاقة (حالة أمراض السرطان التي تترافق مع الهزال الشديد).
- ❖ بالنسبة للنوع الرابع من الجزئيات الكبيرة، لا تشكل جزيئات الـ DNA والـ RNA مصدراً للطاقة بينما يتضمن الناقل الأوحده للطاقة في الخلية وهو الـ ATP.
- ❖ تختزن بعض بذور النباتات الطاقة اللازمة لإنتاجها في أحماض دسمة وحين تحين الفرصة للانتاش فإن البذور تحوي جسيمات مؤكسدة تدعى الجسيمات المؤكسدة السكرية التي تقوم بتحويل الدهن المخزن للطاقة أولاً إلى سكاكر تستخدمها البذور بشكل أسهل وأسرع.

## الصناعات الخضراء وتفاعلات التركيب الضوئي

- ❖ توجد الخلايا التي تقوم بالتركيب الضوئي في النسيج المتوسط في أوراق النباتات.
- ❖ تمتص جذور النباتات الماء وتنقله إلى الأوراق عبر أوعية الأوراق كما يدخل غاز الكربون إلى الورقة عبر المسام Stomata، ويمكن لكل من الماء وغاز الكربون أن ينتشرا بشكل حر إلى الصناعات الخضراء.
- ❖ يحيط بالصناعات الخضراء غشاء مضاعف ليشكل ما يشبه السيتوبلازما داخل الصناعات تدعى بالسدى stroma.
- ❖ الثالاثوكويدات Thylakoids: هي عبارة عن أكياس مسطحة يشكلها غشاء ثالث موجود ضمن السدى.
- ❖ ينتج عن تكس الثالاثوكويدات بعضها فوق بعض ما يعرف بالقمححات grana.
- ❖ تكون الفراغات بين الثالاثوكويدات متصلة بعضها ببعض مشكلةً ما يدعى بالفراغ الثالاثوكويدي Thylakoid space.
- ❖ يحوي الغشاء الثالاثوكويدي مادة اليخضور التي تمتص الضوء حيث تتحول في التركيب الضوئي طاقة الضوء إلى طاقة كيميائية تُخزن مؤقتاً في جزيئات الـ ATP ومن ثم في جزيئات السكاكر التي يتم تركيبها (مثل السكروز والنشاء).
- ❖ يحدث التركيب الضوئي في الصناعات الخضراء في كل من النباتات والطحالب وحيدة الخلية (الأوالي النباتية).
- ❖ ينتج عن التركيب الضوئي غاز الأكسجين الذي يطلق في الهواء وهو المصدر الأساسي لكل غاز الأكسجين في الهواء كما أن السكاكر المنتجة هي المصدر الأساسي للطاقة في الكائنات غيرية التغذية.
- ❖ تتمكن الكائنات ذاتية التغذية من القيام بالتركيب الضوئي فهي تمتلك الإنزيمات الخاصة بذلك إضافةً لامتلاكها اليخضور Chlorophyll (أو أصبغة مشابهة لليخضور كالكاروتينات Carotenes).
- ❖ لا تتمكن الكائنات غيرية التغذية من القيام بالتركيب الضوئي لعدم امتلاكها للإنزيمات الخاصة بتفاعلاته أو للأصبغة الملائمة لامتصاص الضوء.
- ❖ تفاعلات التركيب الضوئي photosynthesis هي تفاعلات إرجاع reduction reactions.
- ❖ تعرف الأكسدة oxidation على أنها فقدان الإلكترونات والإرجاع reduction على أنه كسب إلكترونات.
- ❖ تعرف الأكسدة في التفاعلات التساهمية على أنها فقدان ذرات الهيدروجين والإرجاع كسب ذرات الهيدروجين.
- ❖ تعد تفاعلات التركيب الضوئي تفاعلات إرجاع يتم فيها انتقال ذرات (إلكترونات) الهيدروجين من الماء H<sub>2</sub>O إلى غاز الكربون CO<sub>2</sub> عبر وسيط هو NADP<sup>+</sup>، أثناء تحرير الأكسجين وإرجاع السكر (CH<sub>2</sub>O).



## تفاعلات الضوء Light reactions

❖ تجري تفاعلات الضوء في الثالاثوكوتيدات عند توفر طاقة الشمس (خلال النهار).

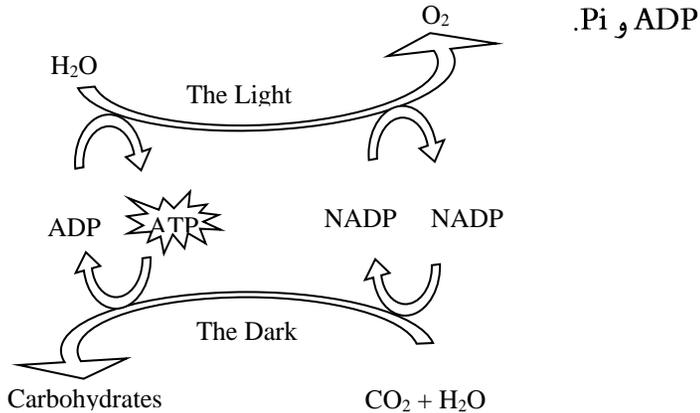
- ❑ يقوم اليخضور بامتصاص طاقة الشمس واستخدامها لتنشيط إلكترونات جزيء الماء  $H_2O$ .
  - ❑ تُستخدم طاقة الإلكترونات المنشطة لإنتاج ATP ويغادر غاز الأكسجين عبر مسام الأوراق.
  - ❑ تؤخذ إلكترونات الماء المنشطة وبروتون الماء من قبل مركب مساعد إنزيمي  $NADP^+$  لإنتاج NADPH بعد اكتساب إلكترونين منشطين إضافةً لبروتون:
- $$NADP^+ + 2e^- + H^+ \rightarrow NADPH$$

## تفاعلات الظلام Dark reactions: "رغم أنها تجري أيضاً خلال النهار"

- ❑ تحدث تفاعلات حلقة كالفن Calvin cycle المرجعة لغاز الكربون في السدى.
- ❑ يُرجع غاز الكربون من قبل NADPH إلى سكاكر تتحول لاحقاً إلى غلوكوز كما ينتج عن هذه التفاعلات إعادة تشكيل  $NADP^+$  الذي يستخدم ثانيةً.
- ❑ تكون جزيئات ATP و NADPH المنتجة خلال تفاعلات الضوء ضرورية لإنجاز تفاعلات الظلام، بحيث تقترن هذه التفاعلات مع بعضها بعضاً.

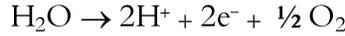
❖ تمتص جزيئات اليخضور في الغشاء الثالاثوكوتيدي طاقة أشعة الشمس وتشكل معقدين إنزيمين يعرفان بمعقدي التركيب الضوئي (1) و (2) يقومان بتنشيط إلكترونات هيدروجين الماء ونقلها إلى مستويات طاقة أعلى.

- ❖ يتم إيصال الإلكترونات عالية الطاقة إلى المستقبل النهائي ( $NADP^+$ ) عبر سلسلة نقل الإلكترون.
- ❖ يتحرر جزء من طاقة الإلكترون ويستخدم في إنتاج جزيئات ATP في كل مرة تنتقل فيها الإلكترونات من مركب إلى آخر عبر السلسلة ويوجد معقد إنزيمي يدعى بمعقد صنع الـ ATP أو ATP Synthase.
- ❖ ATP synthase: هو عبارة عن بروتين يعمل كقناة أيونية ويتوضع على الغشاء الثالاثوكوتيدي وعند مرور أيونات الهيدروجين عبر هذا المعقد تنتج طاقة حركية تُمكن الإنزيم من إنتاج ATP بدءاً من



تفاعلات الضوء والظلام أثناء التركيب الضوئي في النباتات

❖ يمكن اختصار تفاعلات نقل الإلكترونات في التركيب الضوئي كما يلي:



❖ يمكن تقسيم عمليات التركيب الضوئي إلى أربع مراحل:

- 1- امتصاص الضوء (من قبل اليخضور) وتنشيط الإلكترونات.
- 2- انتقال الإلكترونات مما ينتج عنه تشكيل غاز الأكسجين من الماء وإرجاع  $NADP^+$  إلى  $NADPH$  وتشكيل قوة تحفيز البروتون.
- 3- اصطناع جزيئات  $ATP$ .
- 4- تحويل غاز الكربون  $CO_2$  إلى سكاكر أو ما يعرف بتثبيت الكربون.

❖ تتكرر جميع مراحل عملية التركيب الضوئي بحيث تتج المقدار المطلوب من السكاكر في النباتات.

❖ تتحضر التفاعلات في المراحل (1-3) بروتينات تقع في الغشاء الثالكوئيدي بينما تضم بعض الإنزيمات غاز الكربون في سدى الصانعات الخضراء.

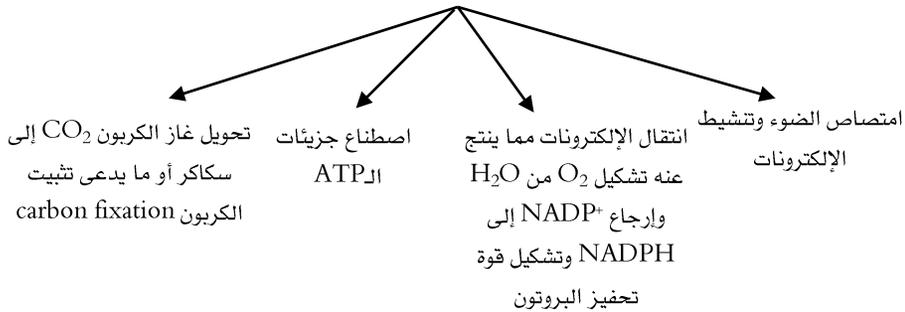
❖ تتوضع الإنزيمات اللازمة لتصنيع السكاروز من السكاكر الثلاثة في سيتوبلازما الخلية النباتية أي خارج الصانعات الخضراء.

❖ يستخدم جزء من جزيئات الـ  $ATP$  المنتجة خلال تفاعلات الضوء إضافةً إلى  $NADPH$  في إرجاع غاز الكربون إلى سكر ثلاثي هو غليسر ألدهيد 3 فوسفات  $G3P$  عبر تفاعلات تتم ضمن السدى تدعى بحلقة كالفن.

❖ يتحول  $G3P$  في سيتوبلازما الخلية إلى:

- الغلوكوز فوسفات الذي يسهم في تركيب السكاروز (سكر الطعام) و**عديدي السكاريد** (النشاء والسيللوز).
- الأحماض الدسمة والجليسيرول وهما المكونان الأساسيان للدهن.
- عند إضافة الآزوت يمكن لـ  $G3P$  تشكيل الأحماض الأمينية المكون الأساس للبروتينات.

#### مراحل عملية التركيب الضوئي



## المتقدرات والفسفرة التأكسدية

- ❖ يحدد الغشاء الخارجي الحدود الناعمة للمتقدرات ويمتلك الغشاء الداخلي انخماصات تدعى الأعراف Cristae تجري على سطحها تفاعلات الفسفرة التأكسدية.
- ❖ يحدد كلا الغشاءين الداخلي والخارجي حجرتين داخل المتقدرات:
  - الفراغ الغشائي البيني بين الغشاء الخارجي والأعراف.
  - المطرس (اللحمة) matrix: هو الحجرة المركزية داخل المتقدرات.
- ❖ تكون مساحة السطح الداخلي في متقدرات خلايا الكبد نحو خمسة أضعاف مساحة الغشاء الخارجي.
- ❖ تقدر المساحة الكلية للأغشية الداخلية لمتقدرات خلايا الكبد بنحو (17) ضعف الغشاء السيتوبلازمي للخلية.
- ❖ تحتوي المتقدرات في خلايا العضلات الهيكلية وعضلة القلب على 3 أضعاف عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد، وهذا يعكس الحاجة العالية للطاقة في الخلايا العضلية.
- ❖ يحتوي الغشاء الداخلي للمتقدرات على نسبة كبيرة من البروتينات الغشائية.
- ❖ يحتوي الغشاء الخارجي للمتقدرات على بروتين قنوي غشائي يدعى البورين Porin تستطيع الأيونات والجزيئات الصغيرة عبوره بشكل تلقائي.
- ❖ يكون الحاجز الأساسي لعبور الجزيئات بين الفراغ الغشائي البيني وبين المطرس (اللحمة) هو الغشاء الداخلي والأعراف.
- ❖ تحتوي أعراف المتقدرات على العديد من الجسيمات الغنية بالبروتينات منها:
  - معقد اصطناع الـ ATP.
  - السلسلة الناقلة للإلكترونات.
  - معقدات تقوم بنقل الإلكترونات من مركب NADH إلى الأكسجين.
- ❖ تسمح البروتينات الناقلة على الغشاء الداخلي والأعراف بنقل المركبات التي لا يمكنها عبور الغشاء الداخلي ومنها ADP و Pi من الفراغ البيني إلى المطرس، كما تسمح للـ ATP بالعبور من المطرس إلى الفراغ البيني.
- ❖ تشكل البروتينات جميعها ما يعادل 76% من الوزن الكلي للغشاء الداخلي وهذه النسبة أعلى من أي غشاء آخر.

## اقتران الفسفرة التأكسدية والتركيب الضوئي

- ❖ تقترن تفاعلات التركيب الضوئي في الكائنات ذاتية التغذية مع تفاعلات الفسفرة التأكسدية في متقدرات حقيقيات النوى (النباتية والحيوانية).
- ❖ تشكل نواتج الفسفرة التأكسدية مستهلكات التركيبي الضوئي وبالعكس:
  - السكاكر والأوكسجين اللذان ينتجان عن التركيبي الضوئي يستهلكان مرة أخرى في تفاعلات الفسفرة التأكسدية.
  - ينتج عن الفسفرة التأكسدية غاز الكربون والماء وهما المادتان الأساسيتان المستهلكتان في التركيبي الضوئي.

## الفسفرة التأكسدية

- ❖ يتم استقلاب الأحماض الدسمة والسكريات بوجود الأكسجين إلى غاز الكربون  $\text{CO}_2$  والماء  $\text{H}_2\text{O}$  وتتحول الطاقة المتحررة إلى طاقة كيميائية مخزنة في فسفرة الـ  $\text{ADP}$  وإنتاج  $\text{ATP}$ .
- ❖ تحدث الخطوة الأولى لتحطيم الجلوكوز (تحلل الجلوكوز) في سيتوبلازما الخلية في كل من حقيقيات وطلائعيات النوى ولا تتطلب أكسجين وينتج عنها مقدار قليل من الطاقة.
- ❖ تتطلب الخطوات الأخيرة من أكسدة الجلوكوز الأكسجين وتنتج الكمية الأكبر من الطاقة وتحدث في متقدرات حقيقيات النوى والغشاء السيتوبلازمي لطلائعيات النوى.
- ❖ خطوات تحلل الجلوكوز:
  - استقلاب الجلوكوز إلى مركب ثلاثي الكربون هو البيروفات في سيتوبلازما الخلية.
  - أكسدة البيروفات في حلقة كريبس داخل المتقدرات.
  - انتقال الإلكترونات والبروتونات عبر سلسلة نقل الإلكترونات (ETC) والفسفرة التأكسدية.
- ❖ تفاعلات نقل الإلكترونات في الفسفرة التأكسدية:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

## الاستقلاب الهوائي واللاهوائي للجلوكوز

- ❖ لا يحتاج تحلل الجلوكوز في سيتوبلازما الخلية أكسجين وينتج البيروفات.
- ❖ في غياب الأكسجين، يكون المصدر الرئيسي للطاقة تحلل الجلوكوز إلى بيروفات ينتج عنه جزيئي  $\text{ATP}$  لكل جزيئة جلوكوز وحمض اللبن الذي ينشأ من البيروفات. يدعى ذلك بالاستقلاب اللاهوائي للجلوكوز.
- ❖ يتراكم حمض اللبن في عضلات الجسم بعد الجهد الشديد والمتواصل ويعطي شعوراً بالتعب والوهن.
- ❖ تحول البيروفات إلى حمض لبن ضروري لأن حمض اللبن يصل إلى عضلة القلب ويتحول ثانية إلى بيروفات الذي يكمل تفاعلات الأكسدة في متقدرات عضلة القلب.
- ❖ بوجود الأكسجين (الاستقلاب الهوائي)، تكتمل أكسدة البيروفات الذي يدخل إلى المتقدرات وتنتج (36) جزيئة  $\text{ATP}$  لكل جزيئة جلوكوز في سلسلة تفاعلات تدعى بالتنفس الخلوي.

## خطوات التنفس الخلوي

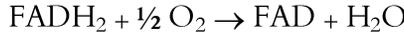
1. أكسدة البيروفات والأحماض الدسمة إلى  $\text{CO}_2$  والتي تقتزن مع إرجاع  $\text{NAD}^+$  إلى  $\text{NADH}$  والفلافين أدينين ثنائي النكليوتيد ( $\text{FAD}$ ) إلى  $\text{FADH}_2$ .
2. نقل الإلكترونات من  $\text{NADH}$  و  $\text{FADH}_2$  إلى الأكسجين وإعادة توليد الشكل المؤكسد لكل من  $\text{NAD}^+$  و  $\text{FAD}$ .
3. جمع الطاقة المخزنة في مدروج تراكيز البروتونات الكيميائي الكهربائي لاصطناع الـ  $\text{ATP}$  من قبل معقد  $\text{F}_0\text{F}_1$  (ATP synthase) في الغشاء الداخلي للمتقدرات.

ملاحظة: لا يتدخل الأكسجين في تفاعلات حلقة كريبس، مع ذلك يقوم بدور مستقبل نهائي للإلكترونات التي تنتج عن أكسدة NADH وFADH<sub>2</sub> إلى NAD<sup>+</sup> وFAD وفي غياب الأكسجين تتوقف حلقة كريبس بسبب نفاذ NAD<sup>+</sup> وFAD.

يتحرر جزء من الطاقة الناتجة خلال التنفس بشكل حرارة.

تخزن معظم الطاقة المتحررة خلال عملية أكسدة الجلوكوز إلى CO<sub>2</sub> في التيممين NADH وFADH<sub>2</sub>.

تتحرر الإلكترونات من التيممين وتنتقل للأكسجين لتشكل الماء:



- ملاحظة: التفاعلات السابقة مطلقة للطاقة بقوة إذ ينتج 52.6 كيلو حريرة لكل جزيء NADH و 43.4 كيلو حريرة لكل جزيء FADH<sub>2</sub>.

- إن تحول كل جزيء جلوكوز إلى CO<sub>2</sub> عبر تحلل الجلوكوز في السيتوبلازما واحتراق البيروفات في حلقة كريبس يعطي 10 جزيئات NADH وجزيئتين FADH<sub>2</sub> وتعطي أكسدتها 613 كيلو حريرة يستخدم جزء منها للتحكم بدرجة حرارة الجسم.

## ضخ البروتونات وتوليد قوة تحفيز البروتون

❖ يسمح نقل البروتون التدريجي خلال سلسلة نقل الإلكترون على الغشاء الداخلي للمتقدرات بنقل الطاقة من NADH وFADH<sub>2</sub> بشكل زيادات صغيرة يتم تخزينها بشكل قوة تحفيز البروتون.

❖ يتم ضخ البروتونات من مطرس المتقدرات إلى الفراغ البيني بين الغشاءين الداخلي والخارجي. حيث يؤدي هذا النقل الفعال إلى تشكيل مدرج تركيز للبروتونات.

❖ يكون تركيز البروتونات في الفراغ البيني أعلى منه في المطرس وعلى اعتبار أن الغشاء الداخلي للمتقدرات غير نفوذ للبروتونات فإن PH المطرس يكون أعلى منه في الفراغ البيني. يؤدي ذلك أيضاً إلى تشكيل كمون كهربائي عبر الغشاء الداخلي، بحيث يكون المطرس أكثر سلبية من الفراغ البيني.

❖ تقوم كل من الصانعات الخضراء والمتقدرات والجراثيم باستخدام الآلية نفسها والمسماة بالتناضح الكيميائي Chemiosmosis لتوليد ATP من ADP و Pi.

❖ في التناضح الكيميائي، يقود كل من مدرج تراكيز البروتونات والكمون الكهربائي عبر الأغشية عمليات اصطناع جزيئات ATP، ويطلق على مجموع العمليتين مصطلح قوة تحفيز البروتون PMF

❖ إضافة إلى تحفيز اصطناع ATP، يمكن لقوة تحفيز البروتون أن تزود بالطاقة اللازمة لنقل الجزيئات الصغيرة عبر الغشاء بشكل يعاكس مدرج التركيز (النقل الفعال):

- يحفز البروتين الناقل بالتوازي للبروتونات والساكر قبط سكر اللاكتوز لدى الجراثيم.
- تحفز النواقل المتعكسة المحفزة بالبروتونات تراكم الأيونات والسكراروز في الفجوات المركزية للنباتات.
- تحفز PMF دوران السوط لدى الجراثيم.

## بنية إنزيم ATP Synthase

- ❖ يتألف ATP Synthase من جزأين رئيسيين هما  $F_0$  و  $F_1$  يحتوي كل منهما على بروتينات متعددة.
  - يحتوي  $F_0$  ← ثلاث أنماط من البروتينات a و b و c.
  - يحتوي  $F_1$  ← 5 عديدات ببتيد وهو الجزء المنحل بالماء.
- ❖ يؤدي دوران المعقد  $F_0$  إلى تبدل شكل المعقد  $F_1$ :
  - يؤدي مرور البروتونات عبر معقد  $F_0$  إلى تغير في شكل المواقع الرابطة للكلبيوتيدات في الجزء  $F_1$ .
  - وعبر هذه الآلية ترتبط جزيئات ADP و Pi بالموقع الرابط لهما في  $F_1$  ثم يحدث تغير في شكل الموقع الرابط بحيث يجبر ADP و Pi على الارتباط معاً لإنتاج ATP.
  - يسبب دوران الجزء غاما من المعقد  $F_0$  نسبة إلى المعقد السداسي  $F_1$  إلى تحول الموقع الرابط للكلبيوتيد في  $F_1$  بين ثلاثة أشكال:
    1. الشكل (Open) O: الذي يرتبط بالـ ATP بشكل سيئ وبـ ADP و Pi بشكل ضعيف.
    2. الشكل (Low) L: يرتبط بقوة أكثر مع ADP و Pi.
    3. الشكل (Tight) T: الذي يرتبط بـ ADP و Pi بشكل قوي جداً بحيث ينتجان ATP الذي يرتبط بالشكل T أيضاً بقوة.

تتحكم قوة تحفيز البروتون PMF بتبادل ATP و ADP عبر الغشاء الداخلي للمتقدرات:

1. تعرض PMF تبادل الـ ATP المتشكل عبر الفسفرة التأكسدية داخل المطرس مع ADP و Pi الموجودين في الفراغ بين الغشاءين.
2. يعد هذا التبادل ضروري لاستمرار الفسفرة التأكسدية وهو متواسط من قبل بروتينين هما ناقل متعاكس للفوسفات والهيدروكسيل وناقل عكسي للـ ATP و ADP.

تستخدم المتقدرات والصناعات الخضر والجراثيم نفس الآليات لإنتاج الطاقة:

1. تستخدم المتقدرات والصناعات الخضر والجراثيم نفس النمط من البروتينات الغشائية تشكل في مجموعها معقد  $F_0F_1$ .
2. يتوضع ATP synthase على الغشاء بحيث يكون الجزء  $F_1$  منه (والذي يحفز إنتاج ATP) على الوجه السيتوبلازمي للغشاء (المطرس بالنسبة للمتقدرات والسدى بالنسبة للصناعات الخضراء).
3. يصطنع الـ ATP دائماً على الوجه السيتوبلازمي للغشاء حيث تتدفق البروتونات خلال معقد ATP synthase من الوجه المقابل للغشاء إلى الوجه السيتوبلازمي مدفوعة:
  - بمدروج تركيز البروتونات: يكون تركيز البروتونات في الوجه غير السيتوبلازمي أعلى منه في الوجه السيتوبلازمي للغشاء.
  - الكمون الكهربائي للغشاء: يكون الوجه غير السيتوبلازمي موجباً بالنسبة للوجه السيتوبلازمي الذي يكون أكثر سلبية.
4. في الصناعات الخضراء تتحرك الإلكترونات خلال سلسلة نقل الإلكترون إلى المستقبل النهائي  $NADP^+$  الذي يُرجع إلى NADPH.
5. يقترن نقل الإلكترونات في الصناعات الخضراء بحركة البروتونات من السدى إلى لعة التالكوثيدات.

6. يجري في الجراثيم نقل الإلكترونات عبر سلسلة نواقل متوضعة على الغشاء السيتوبلازمي بحيث يكون مدرج تركيز البروتونات خارج الخلية الجرثومية أعلى من داخلها ويكون بذلك كمون الغشاء السيتوبلازمي أكثر إيجابية خارج الخلية من داخلها.

## فرضية التعايش الداخلي

- ❖ يقترح هذا التشابه الكبير بين المتقدرات والصانعات الخضراء والجراثيم وجود أصل تطوري مشترك لهذه العضيات والكاثات.
- ❖ في بعض الجراثيم القادرة على التركيب الضوئي، يحدث التركيب الضوئي والفسفرة التأكسدية على نفس الغشاء.
- ❖ أدى تحليل تتاليات الدنا لكل من المتقدرات والصانعات إلى اقتراح فرضية التعايش الداخلي.
- ❖ تقول فرضية التعايش الداخلي إن المتقدرات والصانعات الخضراء قد ظهرتنا باكراً خلال تطور خلايا حقيقيات النوى عبر إدخال جراثيم إلى الخلية قادرة على القيام بالفسفرة التأكسدية والتركيب الضوئي على الترتيب.
- ❖ تبعاً للفرضية قد نشأ الغشاء الداخلي للمتقدرات من الغشاء البلازمي للجراثيم مع كون الجزء  $F_1$  من ATP synthase متوجه نحو مطرس المتقدرات.
- ❖ بشكل مماثل، يكون  $F_1$  على الوجه السيتوبلازمي للغشاء التالوكويدي متوجهاً نحو سدى الصانعات.

### التجارب الداعمة:

**التجربة الأولى:** تغير درجة حموضة الوسط بعد ضخ الأكسجين إلى متقدرات معزولة:

1. تنخفض درجة pH الوسط الذي توجد فيه متقدرات معزولة بشكل سريع (أي ارتفعت تراكيز أيونات الهيدروجين) عند إضافة الأكسجين بسبب حركة البروتونات من المطرس إلى الفراغ البيني ومن ثم إلى خارج المتقدرات عبر المسام، ثم خلال أقل من دقيقة يعود تركيز أيونات الهيدروجين إلى الانخفاض ليصل إلى مستواه قبل ضخ الأكسجين.
2. يبين التغير في درجة الحموضة أن نحو (10) بروتونات تنتقل من المطرس لكل شفق من الإلكترونات ينتقل من NADH إلى الأكسجين.

**التجربة الثانية:** تحريض اصطناع الـ ATP عبر تغيير تراكيز البروتونات:

1. قام العالم peter Mitchell بعزل حويصلات من ثالوكوييدات الصانعات الخضراء في النبات.
2. قام بحضنها في وسط pH له 7.5 ثم وسط pH له 4 ثم وسط pH له 8 مع إضافة ADP و Pi.
3. نتج عن التجربة تكون ATP وظهرت لأول مرة نظرية التناضح الكيميائي التي فسرت اعتماد ATP synthase بعمله على تشكل مدرج بروتونات التي تسبب تغير في شكل الإنزيم وتحرض فعاليته.

## التحكم في معدل الفسفرة التأكسدية

- ❖ تعتمد سرعة الأكسدة في المتقدرات على مستويات الـ ADP:
- يمكن للمتقدرات أن تؤكسد  $FADH_2$  و NADH طالما كان هنالك مصدر لـ ADP و Pi لتوليد ATP بعملية تعرف بالتحكم بالتنفس.

- عندما تكون مستويات الطاقة كافية كما في حال غياب النشاط العضلي والذهني والنوم تنخفض مستويات الـ ADP بشكل كبير نتيجة قلة صرف الطاقة وتوليد ADP من ATP.
  - النتيجة المباشرة لذلك تكون في توقف اصطناع الـ ATP ويغلق الطريق أمام البروتونات وتتراكم في الفراغ البيني وتتشبث حلقة كربيس وأخيراً تتشبث أكسدة الغلوكوز.
  - النتيجة غير المباشرة لذلك تراكم السكاكر والدسم غير المستقلب والذي ينعكس بالبدانة في حال الغياب الطويل للنشاط الفيزيائي والذهني.
- الخلاصة: تتحسس المتقدرات حاجة الخلية من الطاقة فتعمل على أكسدة السكاكر والدسم طالما هناك نشاط خلوي متطلب للـ ATP ومنتج للـ ADP، بينما تتوقف أكسدة الجزيئات الكبيرة حين توفر الحد الكافي من الطاقة.

## مزيلات الاقتران

- ❖ تؤدي بعض السموم المسماة مزيلات اقتران إلى جعل الغشاء الداخلي للمتقدرات نفوذاً للبروتونات.
  - ❖ يعد الـ (DNP)، وهو مركب منححل بالدسم، من مزيلات الاقتران ويمكنه الارتباط العكوس وتحرير البروتونات ونقلها عبر الغشاء الداخلي من الفراغ البيني إلى المطرس.
  - ❖ يبدد DNP قوة تحفيز البروتون بتحطيم مدرج تراكيز البروتونات والكمون الكهربائي على طرفي الغشاء الداخلي للمتقدرات.
  - ❖ تلغي مزيلات الاقتران مثل DNP اصطناع الـ ATP وتسمح لأكسدة NADH بالحدوث بغض النظر عن مستويات الـ ADP حيث يستفاد منها في برامج الحماية.
- تحتوي متقدرات النسيج الشحمية السمراء على مزيل اقتران طبيعي للفسفرة التأكسدية:
1. تتخصص النسيج الشحمية السمراء التي يكون لونها يميل للسمرّة لكثرة محتواها من المتقدرات في إنتاج الحرارة.
  2. تتخصص النسيج الشحمية البيضاء في خزن الشحوم وتحتوي نسبياً عدداً قليلاً من المتقدرات.
  3. يحتوي الغشاء الداخلي للنسيج الشحمية السمراء على بروتين يدعى الثرموجنين Thermogenin يقوم بوظيفة مزيل اقتران طبيعي للفسفرة التأكسدية.
  4. يبدد الثرموجنين قوة تحفيز البروتون محولاً الطاقة الناتجة عن أكسدة NADH إلى حرارة.
  5. خلال تكيف الجردان للبرد، تزداد قدرتها على إنتاج الحرارة عبر تحريض اصطناع بروتين الثرموجنين. في الحيوانات المتكيفة مع البرد، يشكل الثرموجنين 15% من المجموع الكلي للبروتينات في الغشاء الداخلي للمتقدرات.
  6. يمتلك الإنسان البالغ مقداراً قليلاً من النسيج الشحمية السمراء ويمتلك الرضع نسب مرتفعة جداً.
  7. الثرموجنين ضروري للحيوانات التي تعيش السبات الشتوي، وفي حيوانات تلامت مع الطقس البارد كالفقمة تحوي متقدرات الخلايا العضلية أيضاً بروتين الثرموجنين، لذلك فإن معظم قوة تحفيز البروتون تستخدم للحفاظ على درجة حرارة الجسم.
  7. الدب الأسود الأمريكي والخفاش مثالان عن ثدييات تدخل في الإشتاء:
- يستطيع بعض الدببة البقاء لمدة 100 يوم دون طعام أو شراب وينخفض خلالها نبض الدببة من نحو (50) إلى (8) في الدقيقة.
  - تبقى الخفافيش في الشتاء لمدة 344 يوماً دون الحاجة للطعام ولكنها تستطيع لتتبرق للماء وينخفض عدد ضربات القلب لديها من (1000) إلى (25) ضربة في الدقيقة وتتنفس كل ساعتين مرة فقط.

# أسئلة طاقة الخلية

## أشكال ومصادر الطاقة

1

1. ما يلي من النواقل الإلكترونية عدا:  
A.  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ . B. ATP/ADP.  
C.  $O^-/O$ . D. FADH<sub>2</sub>/FAD.
2. تنتج أكسدة جزيء حمض الدسم المؤلف من 18 ذرة كربون:  
A. 144 جزيء ATP. B. 140 جزيء ATP.  
C. A+B معاً. D. لا شيء مما سبق.
3. مايلي من مصادر الطاقة طويلة الأمد عدا:  
A. الشحوم. B. عديدات السكاريد.  
C. ATP. D. البروتينات.
4. تُنتج الفسفرة الناتجة عن تفكك الجلوكوز:  
A. 15 جزيئة NADH.  
B. 10 جزيئات NADH.  
C. 5 جزيئات NADH.  
D. 10 جزيئات FADH<sub>2</sub>.
5. C-C هي:  
A. من أقوى الروابط وأكثرها خزاناً للطاقة.  
B. من أقوى الروابط وأقلها خزاناً للطاقة.  
C. رابطة ضعيفة جداً.  
D. لا شيء مما سبق.
6. تخزن الطاقة الكامنة في مدروج الشحنات الكهربائية ويعبر عنها:  
A. بالكمون الكهربائي. B. بالمدرج الكيميائي الكهربائي.  
C. بالمدرج الكيميائي. D. بالانتروبية.
7. مقابل احتراق كل جزيء غلوكوز نحصل على عدد من جزيئات ATP تقدر ب:  
A. 36 جزيء. B. 144 جزيء.  
C. 80 جزيء. D. 40 جزيء.
8. طاقة المواد الطبيعية في التفاعلات المحررة للطاقة بالنسبة لطاقة نواتج التفاعلات هي:  
A. أعلى. B. أدنى.  
C. مساوية لها. D. حرارية.
9. تخزن الطاقة الزائدة عن استطاعة الكبد لاستيعابها أولاً في:  
A. النشاء. B. البروتينات.  
C. النسج الشحمية. D. الأحماض الأمينية.
- التعليق: يشكّل الغلوكوز المخزن الأول والأسهل للطاقة. فبمقابل أكسدة كل جزيء غلوكوز نحصل على 36 جزيء ATP، بينما تشكل الدسم عادة المصدر الثاني كمخزن للطاقة. فبمقابل أكسدة كل جزيء حمض دسم مؤلف من 18 كربون نحصل على 144 جزيء ATP.
- التعليق: قد تُخزن الطاقة الكامنة في مدروج للشحنات الكهربائية ويعبر عنها بالكمون الكهربائي وهو يشير إلى كمية الطاقة الكهربائية المخزنة كطاقة كامنة على جانبي الغشاء وتقاس بالفولط.
- التعليق: مصادر الطاقة طويلة الأمد: هي الجزيئات الكبيرة (شحوم - سكريات - بروتينات). أما ATP فهو من مصادر الطاقة قصيرة الأجل.
- التعليق: إن تحول كل جزيء غلوكوز إلى CO<sub>2</sub> عبر تحلل الجلوكوز في السيتوبلازما واحتراق البيروفات في حلقة كريبس يُنتج:  
أ- 10 جزيئات NADH.  
ب- جزيئين FADH<sub>2</sub>.  
ج- 613 كيلو حريرة.

13. تعمل على بناء المدرج الأيوني هي:

- A. بروتينات غشائية (مضخات غشائية).  
B. بروتينات غشائية (قنوات غشائية).  
C. A+B.  
D. كل ما سبق خطأ.

الجواب: A

التعليق: تقوم المضخات الغشائية ببناء/تشكيل المدرج الأيوني، بينما تقوم القنوات الغشائية بتبديد/تشتيت المدرج الأيوني.

14. يتكون ATP من:

- A. الأدينين ومجموعتي ارتباط فوسفاتية.  
B. الأدينين وثلاث مجموعات ارتباط فوسفاتية.  
C. التيمين وثلاث مجموعات ارتباط فوسفاتية.  
D. التيمين ومجموعتي ارتباط فوسفاتية.

الجواب: B

15. الذي يمتلك مقداراً مرتفعاً جداً من

Brown fat هو:

- A. الإنسان البالغ.  
B. الرضع.  
C. النساء.  
D. ليس أيّاً مما سبق.

الجواب: B

التعليق: يمتلك الإنسان البالغ مقداراً قليلاً من النسيج الشحمية السمراء، بينما يمتلك الرضع مقادير مرتفعة جداً.

10. إن التدرج في تركيز الأيونات عبر الأغشية

الخلوية ضروري لتخزين:

- A. السكاكر.  
B. الطاقة.  
C. الشحوم.  
D. البروتينات.

الجواب: B

التعليق: تعد المدرجات الأيونية أكثر وأسهل الأشكال وصولاً للطاقة.

11. ما يلي من مصادر الطاقة طويلة الأجل عدا:

- A. الشحوم.  
B. عديدات السكاكر.  
C. ATP.  
D. البروتينات.

الجواب: C

12. يقود كل من مدرج تراكيز البروتونات

والكمون الكهربائي عبر الأغشية إلى:

- A. قوة تحفيز البروتون.  
B. تشكل NADH.  
C. تبديد المدرج.  
D. تفكيك الماء.

الجواب: A

التعليق: يقود كل من مدرج تراكيز البروتونات والكمون الكهربائي عبر الأغشية عمليات اصطناع جزيئات ATP، ويطلق على مجموع العمليتين مصطلح قوة تحفيز البروتون PMF.

## الصناعات الخضراء وتفاعلات التركيب الضوئي

2

4. يوجد اليخضور في:

- A. السدى.  
B. النواة.  
C. الغشاء التالكوئيدي.  
D. على غشاء الخلية من الخارج.

الجواب: C

5. ينتج عن التركيب الضوئي:

- A. تثبيت CO<sub>2</sub>.  
B. تثبيت O<sub>2</sub>.  
C. تحرير CO<sub>2</sub>.  
D. كل ما سبق صحيح.

الجواب: A

التعليق: تحويل CO<sub>2</sub> إلى سكاكر هو ذاته تثبيت الكربون Carbon Fixation.

1. يتلقى الإلكترونات في أماكن تحول الطاقة

الشمسية:

- A. NADP.  
B. FAD.  
C. A+B.  
D. لا شيء مما سبق.

الجواب: A

2. تحدث تفاعلات الظلام في:

- A. الغشاء التالكوئيدي.  
B. سدى الصناعات.  
C. A+B.  
D. لا شيء مما سبق.

الجواب: B

3. الإرجاع هو:

- A. اكتساب إلكترونات.  
B. فقدان إلكترونات.  
C. اكتساب بروتون أو أكثر.  
D. كل ما سبق خاطئ.

الجواب: A

التعليق: الأكسدة هي فقدان إلكترون أو أكثر. الإرجاع هو اكتساب إلكترون أو أكثر.

9. تفاعلات الإرجاع في التركيب الضوئي تنتقل فيها ذرات الهيدروجين من الماء إلى غاز الكربون بواسطة:

- A. NADP .B. FAD .C. O .D. Fe+3

الجواب: A

10. تتوضع الأنزيمات اللازمة لتصنيع السكروز من السكاكر الثلاثية في:

- A. الصانعات الخضراء.  
B. المتقدرات.  
C. سيتوبلازما الخلية النباتية.  
D. ليس أيّاً مما سبق.

الجواب: C

11. الوجه السيتوبلازمي بالنسبة للصانعات الخضراء هو:

- A. لمعة الكيس.  
B. السدى.  
C. باتجاه جدار الخلية.  
D. ليس أيّاً مما سبق.

الجواب: B

6. يقوم اليخضور بامتصاص طاقة الشمس ويستخدمها في تنشيط إلكترونات جزيء:

- A. الغلوكوز.  
B. الماء.  
C. CO2 .D. الفوسفور.

الجواب: B

7. تقسم عملية التركيب الضوئي إلى المراحل التالية: (اختر الإجابة الخاطئة)

- A. امتصاص الضوء.  
B. تفكيك ATP.  
C. تشكيل NADPH .D. تثبيت الكربون.

الجواب: B

8. تفاعلات التركيب الضوئي هي تفاعلات:

- A. أكسدة.  
B. إرجاع.  
C. A+B .D. ليس أيّاً مما سبق.

الجواب: B

التعليق: إن تفاعلات التركيب الضوئي هي بصورة عامة تفاعلات إرجاع تنتقل فيها ذرات (الإلكترونات) الهيدروجين من الماء إلى غاز الكربون عبر وسيط هو NADP، مع أكسدة الماء وتحرير الأوكسجين وتشكيل السكر (CH<sub>2</sub>O).

## المتقدرات وتفاعلات الفسفرة التأكسدية

## 3

3. توجد مجموعات أنزيمات ATP سينثاز في الغشاء:

- A. الداخلي للمتقدرة.  
B. الخارجي للصانعة الخضراء.  
C. الجسيم الدقيق.  
D. الجسيم الحال.

الجواب: A

4. تنتج الكمية الأكبر من الطاقة في حقيقيات النوى في:

- A. المتقدرات.  
B. سيتوبلازما الخلية.  
C. A+B .D. ليس أيّاً مما سبق.

الجواب: A

5. المستقبل النهائي للإلكترونات الناتجة عن إرجاع FAD هو:

- A. الهيدروجين.  
B. الأوكسجين.  
C. NADH .D. غليسيريل ألدهيد.

الجواب: B

1. كل مما يلي صحيح عن خطوات التنفس الخلوي ما عدا:

- A. أكسدة البيروفات والأحماض الدسمة إلى CO<sub>2</sub>.  
B. يتم اصطناع السكر من الماء و CO<sub>2</sub>.  
C. جمع الطاقة المخزنة في مدروج تركيز.  
D. توليد الشكل المؤكسد لكل من NAD<sup>+</sup> و FAD.

الجواب: B

التعليق: يمكن تقسيم خطوات التنفس الخلوي إلى: أكسدة البيروفات والأحماض الدسمة إلى CO<sub>2</sub>. نقل الإلكترونات من NADH و FADH<sub>2</sub> إلى الأوكسجين، وإعادة توليد الشكل المؤكسد لكل منهما. جمع الطاقة المخزنة في مدروج تراكيز البروتونات الكيميائي الكهربائي لاصطناع ATP.

2. لا يحتاج تحلل الغلوكوز في سيتوبلازما الخلية للأوكسجين وينتج عنه:

- A. 36 جزيء ATP .B. البيروفات.  
C. CO<sub>2</sub> .D. الماء.

الجواب: B

التعليق: تحدث الخطوة الأولى لتحطيم الغلوكوز والتي تدعى تحلل الغلوكوز في سيتوبلازما الخلية وينتج عنها البيروفات التي تدخل حلقة كريبس في المتقدرات.

9. عبر تحليل الغلوكوز في السيتوبلازما واحتراق البيروفات في حلقة كريبس يعطي:

A. 10 NADH

B. 2 FADH<sub>2</sub>

C. A+B

D. ليس أي مما سبق.

الجواب: C.

10. يتشكل ATP في:

A. مطرس المتقدرات. B. الفراغ البيني.

C. A+B. D. ليس أي مما سبق.

الجواب: A.

التعليق: يتم تبادل الـ ATP المتشكل عبر الفسفرة التأكسدية داخل مطرس المتقدرات مع ADP و Pi الموجودين في الفراغ بين الغشاءين.

11. PMF يقوم بـ:

A. تحفيز اصطناع ATP.

B. نقل الجزيئات الصغيرة عبر الغشاء بشكل يعاكس مدروج التركيز.

C. تحفيز دوران السوط لدى الجراثيم.

D. كل مما سبق صحيح.

الجواب: D.

التعليق: بالإضافة إلى تحفيز اصطناع الـ ATP، يمكن لقوة تحفيز البروتون PMF Proton Motive Force أن تزود بالطاقة اللازمة لنقل الجزيئات الصغيرة عبر الغشاء بشكل يعاكس المدروج (نقل فعال)، كما تحفز دوران السوط لدى الجراثيم.

6. يتم أكسدة البيروفات في حلقة كريبس ضمن:

A. السيتوبلازما.

B. مطرس المتقدرة.

C. الغشاء الداخلي للمتقدرة.

D. مطرس الصانعة.

الجواب: B.

7. يتلقى الإلكترونات والهيدروجين في المتقدرة:

A. NAD. B. NADP.

C. FMN. D. Fe.

الجواب: A.

التعليق: يتلقى الإلكترونات والهيدروجين في المتقدرة NAD و FAD.

8. تحتوي المتقدرات في خلايا العضلات الهيكلية وعضلة القلب:

A. 3 أضعاف عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد.

B. نفس عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد.

C. ضعف عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد.

D. 15 ضعف عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد.

الجواب: A.

التعليق: تحتوي المتقدرات في خلايا العضلات الهيكلية وعضلة القلب على 3 أضعاف عدد الأعراف الموجودة في متقدرات خلايا الكبد.

## الطاقة بنية أنزيم اصطناع الـ ATP

4

C. مكون من 5 عديدات ببتيد.

D. B+C.

الجواب: D.

التعليق: المعقد السداسي F<sub>1</sub> منحل بالماء ويحوي 5 عديدات ببتيد.

3. يدور الجزء من المعقد F<sub>0</sub> بزواوية:

A. 180.

B. 120.

C. 60.

D. 100.

الجواب: B.

1. كل مما يلي صحيح عن معقد ATP Synthase ما عدا:

A. F<sub>1</sub>-F<sub>0</sub> يحتوي على بروتينات متعددة.

B. F<sub>0</sub> يحتوي ثلاث أنماط من البروتينات.

C. F<sub>1</sub> يكون منحللاً بالماء.

D. الجزء F<sub>0</sub> ينحل بالماء.

الجواب: D.

2. يكون المعقد السداسي F<sub>1</sub> في أنزيم ATP Synthase:

A. غير منحل بالماء.

B. يحتوي على بروتينات متعددة.

## أسئلة متنوعة

5

1. توجد الإلكترونات عادة في:

- A. الماء و  $CO_2$ .
- B. في المركبات العضوية (في الروابط الكيميائية التساهمية).
- C. الروابط الفوسفورية.
- D. كل ما سبق صحيح.

الجواب: D

التعليق: توجد الإلكترونات في جزيئات الطعام (الروابط التساهمية بين ذرات المواد العضوية) والجزيئات الحاملة للطاقة وفي الروابط الفوسفورية وفي الماء و  $CO_2$ .

2. يمكن للغليسير ألدهيد 3 فوسفات G3P أن يتحول إلى المركبات العضوية التالية: (اختر الإجابة الخاطئة)

- A. الأحماض الدسمة.
- B. الأحماض الأمينية.
- C. الغليسيرول.
- D. ATP.

الجواب: D

التعليق: ويتحول G3P إلى:

- a. غلوكوز فسفات.
- b. أحماض دسمة و غليسيرول.
- c. أحماض أمينية (بإضافة آزوت).

3. يتحول غليسير ألدهيد 3 فوسفات إلى غلوكوز ضمن الخلية النباتية في:

- A. سدى الصانعة.
- B. غشاء الثالاقوتيد.
- C. سيتوبلازما الخلية.
- D. مطرس المتقدرات.

الجواب: C

التعليق: يتم إنتاج G3P ضمن سدى الصانعات، ولكن يمكن تحويله لاحقاً في سيتوبلازما الخلية النباتية إلى العديد من المركبات العضوية منها الغلوكوز فوسفات.

4. لا يحتاج تحلل الغلوكوز في سيتوبلازما الخلية الأكسجين وينتج عنه:

- A. 36 جزيء ATP.
- B. البيروفات.
- C.  $CO_2$ .
- D. الماء.

الجواب: B