

## الحلول

## استرداد منظم للمعارف

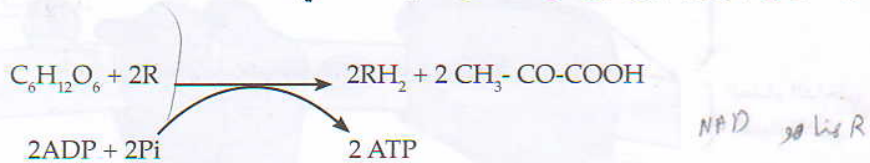
## حل التمرين 1

تعتبر جزيئة الكليكوذ المُستقلَب الطاقوي الرئيسي لجميع الخلايا التي تعمل على هدمه لاستخراج الطاقة الكامنة به حسب مسلكين استقلابيين مختلفين : التنفس والتخمير. يحدث التنفس في وسط يسود فيه الأوكسجين (وسط حي هوائي). أما التخمر فلا يحتاج إلى  $O_2$  (وسط حي لاهوائي). هناك أنواع عديدة من التخمرات أهمها : التخمر الكحولي الذي ينتج الإيثانول و  $CO_2$  والتخمر اللبني الذي يعطي الحمض اللبني.

## 1 - انحلال الكليكوذ على مستوى الجبلة الشفافة : مرحلة مشتركة بين التنفس والتخمير

هو عبارة عن مجموعة من التفاعلات الكيميائية تتم على مستوى الجبلة الشفافة، وتتطلب أنزيمات نوعية. تتحول خلال هذه الظاهرة جزيئة من الكليكوذ فوسفات إلى جزيئتين من حمض البيروفيك.

تتم أولى مراحل هدم الكليكوذ في الجبلة الشفافة، وتسمى انحلال الكليكوذ. فخلال هذا الانحلال يتعرض الكليكوذ لسلسلة من التفاعلات الحيوكيميائية المحفزة من قبل أنزيمات خاصة، تؤدي إلى انشطاره إلى جزيئتين من حمض البيروفيك. ويقترن انحلال الكليكوذ بتركيب جزيئتين من ATP. وحصيلته كالتالي :



إن انحلال الكليكوذ عبارة عن تفاعل أكسدة - اختزال محرر للطاقة (أكسدة الكليكوذ واختزال R). وتعتبر جزيئة ATP و  $RH_2$  الناتجتان عن هذا الانحلال جزيئتين غنيتين بالطاقة.

## 2 - التأكسدة التنفسية على مستوى الميتوكوندريات

تتم هذه التأكسدة في ثلاث مراحل :

## ■ المرحلة الأولى : تكون الأستيل كوانزيم A في الماتريس.

يؤدي تأثير أنزيمات مُزيلة للهيدروجين وأنزيمات مُزيلة لثاني أوكسيد الكربون إلى انتزاع ذرة الهيدروجين وانتزاع جزيئة ثاني أوكسيد الكربون من حمض البيروفيك ( $CH_3 - CO - COOH$ )، ويرتبط الشق أستيل ( $CH_3 - CO$ ) المتبقي عن هذا التفكك بجزيئة صغيرة تدعى كوانزيم A ( $Co - A$ )، فيتكون أستيل كوانزيم A.

## ■ المرحلة الثانية : دورة KREBS في الماتريس.

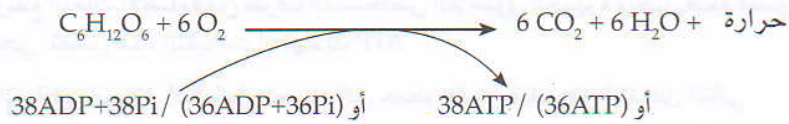
يثبت الشق أستيل على حمض أوكسالو أستيك ( $C_4$ ) فينتج عنه حمض الستريك ( $C_6$ ). أما الكوانزيم A فيتحرر قصد تثبيت شق أستيل جديد.

بمجرد تشكل حمض الستريك تنطلق دورة KREBS.

■ المرحلة الثالثة : اختزال الأكسجين والتفسفر المؤكسد.

يتم على مستوى الغشاء الداخلي للميتوكوندري، إعادة أكسدة متقبلات الإلكترونات والبروتونات ( $FADH_2$  و  $NADH_2$ ) التي اختزلت خلال انحلال الكليكوز وتفكك حمض البيروفيك خلال دورة KREBS. تسترجع هذه المتقبلات حالتها المؤكسدة بتسليمها البروتونات والإلكترونات إلى سلسلة من جزيئات مرصعة في الغشاء الداخلي للميتوكوندري تسمى السلسلة التنفسية. تساهم السلسلة التنفسية في تفاعلات أكسدة واختزال وهي مسؤولة عن تدفق الإلكترونات والبروتونات انطلاقاً من المعطي الأولي : الزوج  $NAD^+ / NADH_2$  إلى المتقبل النهائي: الزوج  $O_2 / H_2O$ ، وتدعى عملية التدفق هذه الأكسدة التنفسية.

يمكن تمثيل المعادلة العامة للتنفس بالنسبة للكليكوز كنموذج على الشكل التالي :



3 - التخمر الكحولي

في غياب الأكسجين يقوم حمض البيروفيك بدور المتقبل للهيدروجين، ينتج عن هذا التفاعل تكون الإيثانول وإعادة أكسدة  $NADH_2$ .



2 حمض البيروفيك  $\longrightarrow$  2 إيثانول

يحدث هذا التفاعل على مستوى الجبلة الشفافة

4 - مقارنة الحويلة الطاقية للتنفس والتخمر

| التخمر   | التنفس   |
|--|--|
| - التنفس والتخمر طريقتان لهدم المستقلبات وتحويل جزء من الطاقة الكامنة في هذه الأخيرة إلى ATP ويحزر الجزء الآخر في الوسط على شكل حرارة.<br>- التنفس والتخمر يبتدئان دائماً بمرحلة مشتركة تتم داخل الجبلة الشفافة وهي انحلال الكليكوز. | - التنفس والتخمر طريقتان لهدم المستقلبات وتحويل جزء من الطاقة الكامنة في هذه الأخيرة إلى ATP ويحزر الجزء الآخر في الوسط على شكل حرارة.<br>- التنفس والتخمر يبتدئان دائماً بمرحلة مشتركة تتم داخل الجبلة الشفافة وهي انحلال الكليكوز. |
| - انطلاقاً من مول من الكليكوز تنتج الخلية 36 إلى 38 ATP : كمية الطاقة كبيرة.   | - انطلاقاً من مول من الكليكوز تنتج الخلية 36 إلى 38 ATP : كمية الطاقة كبيرة.   |
| - الطاقة المستخرجة من مول من الكليكوز خلال التخمر الكحولي.   | - الطاقة الإجمالية التي يمكن استخراجها من مول من الكليكوز خلال التنفس.   |
| $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2(CH_3 - CH_2OH) + 2CO_2$ [61kJ]   | $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \longrightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ [1098kJ]  |
| - هدم جزئي لجزيئة الكليكوز ناتج عن التخمر الكحولي، حيث أن الكحول الايثلي مازال يحتوي على طاقة.   | - هدم كامل لجزيئة الكليكوز وتحرير كل الطاقة الكامنة فيها.  |
| - استهلاك مول من الكليكوز يُنتج 61 kJ.   | - علماً بأن مول من ATP تحرر 30,5 kJ، إذن استهلاك مول من الكليكوز ينتج 1098 kJ إلى 1160 kJ.   |
| - المرودية الطاقية :   | - المرودية الطاقية : 38,4% إلى 40,5%.  |
| $\frac{61 \times 100}{2840} = 2,1\%$   | $\frac{1098 \times 100}{2840} = 38,4\%$ ، $\frac{1159 \times 100}{2840} = 40,5\%$  |

ملحوظة : تُعطي الأكسدة الكيميائية لمول من الكليكوز 2840 kJ.



## استثمار المعارف وتوظيف القدرات

### حل التمرين 1

1 - في التجربة 1: بعد إضافة الكليكوز للمحتوى السيتوبلازمي لخلايا الخميرة، يختفي هذا المستقلب ويظهر حمض البيروفيك، كما يتغير لون أزرق الميثيلين من أزرق إلى عديم اللون (اختزال أزرق الميثيلين).

يُعرض الكليكوز للأكسدة داخل المحتوى السيتوبلازمي.

في التجربة 2: يرتفع انبعاث الإضاءة من طرف المستخلص اللاخوي للخميرة ويصل قيمة قصوى بعد 2s ثم ينخفض انبعاث إضاءة بشكل تدريجي. تعكس هذه التغيرات استهلاك ATP.

تتمثل المرحلة الاستقلابية في انحلال الكليكوز وتحويله إلى حمض البيروفيك وفق التفاعل التالي:



تحدث هذه التفاعلات داخل الجبلة الشفافة.

2 - حجم اللامت كبير لدى سلالة الخميرة العادية G مقارنة مع سلالة الخميرة الطافرة P.

خلايا الخميرة من السلالة G لها حجم كبير (5µm) وتتوفر على ميتوكوندريات نامية وبأعداد كبيرة مقارنة مع خلايا السلالة P (3µm).

تبين تغيرات شدة امتصاص الضوء لدى بروتينات ماتريس ميتوكوندريات السلالة G عدة قيم وهو ما يعني تدخل عدة أنزيمات (خمسة) في نشاط الميتوكوندري لدى السلالة G، بينما تبين تغيرات شدة امتصاص الضوء لدى بروتينات ماتريس ميتوكوندريات السلالة الطافرة P قمتان وهو ما يعني تدخل عدد قليل من الأنزيمات في نشاط الميتوكوندري لدى هذه السلالة.

كل سلالة تتخذ مسلكاً محدداً لاستخلاص الطاقة:

السلالة G: بوجود عدد كبير من الأنزيمات، تستطيع هدم حمض البيروفيك كلياً ضمن تفاعلات حلقة krebs والأكسدة التنفسية والتفسفر المؤكسد. هناك ربح كبير للطاقة يستعمل للنمو والتكاثر وهو ما يعكس خلايا خميرة نامية وبأعداد كبيرة (لمت كبيرة).

السلالة P: بوجود عدد قليل من الأنزيمات، لا تستطيع هذه الخلايا هدم حمض البيروفيك كلياً وتلجأ للتخمر الكحولي ويتحول حمض البيروفيك إلى حاتلة عضوية: الإيثانول. يتميز التخمر الكحولي بإنتاج ضئيل للطاقة يعكسه ضمور الميتوكوندريات وصغر حجم الخلايا وظهور لامت صغيرة.

### حل التمرين 2

#### ■ الوثيقة 1 :

تحتوي الميتوكوندري على غشائين: غشاء خارجي وغشاء داخلي متعرج داخل الماتريس مشكلاً أعرافاً. تبين الملاحظة الإلكترونية أن الأعراف تحتوي على بنيات كروية موجهة نحو الماتريس ومرصعة في الغشاء بواسطة شمراخ. تسمى الكرات ذات الشمراخ المركب  $F_1 - F_0$  أو ATP سانتيتاز.

#### ■ الوثيقة 2 :

• في التجربة 1 حيث يتساوى pH في الوسطين (pH = 7)، الوسط «أ» (الوسط الخارجي للحوصلة) والوسط «ب» (الوسط الداخلي للحوصلة)، لا يتم تركيب ATP.

• في التجربة 2 حيث pH الوسط الخارجي مرتفع (pH = 7)، و pH الوسط الداخلي منخفض (pH = 4) يتم تركيب ATP.

- في التجربة 3 حيث توجد مادة oligomycin في الوسط الخارجي والتي تكبح النشاط الأنزيمي للمركب  $F_1 - F_0$  ورغم أن pH هذا الوسط أكبر من pH الوسط الداخلي، فإنه لا يتم تركيب ATP  $\leftarrow$  يتطلب تركيب ATP نشاط المركب  $F_1 - F_0$ .
  - في التجربة 4، حيث لا يوجد Pi و ADP ورغم أن pH الوسط الخارجي أكبر من pH الوسط الداخلي، فإنه لا يتم تركيب ATP  $\leftarrow$  يتطلب تركيب ATP وجود Pi و ADP.
  - في التجربة 5، حيث توجد مادة FCCP في الوسط الخارجي تسمح بتدفق البروتونات  $H^+$  من الوسط الداخلي (pH منخفض) إلى الوسط الخارجي (pH مرتفع)، لا يتم تركيب ATP  $\leftarrow$  يتطلب تركيب ATP فارق تركيز  $H^+$  بين الوسطين.
- يمثل الوسط «أ» أي خارج الحويصلة الماتريس داخل الميتوكوندري، أما الوسط «ب» داخل الحويصلة فهو المرادف للحيز البيغشائي.

### ■ الوثيقة 3 :

تتكون السلسلة التنفسية من ثلاثة مركبات أنزيمية كبيرة ( $C_I, C_{II}, C_{III}$ ) مرصعة في الغشاء الداخلي للميتوكوندري، كل مركب بمثابة مضخة للبروتونات  $H^+$  يغذيها تدفق الإلكترونات  $e^-$ .  
 يحرر ( $NADH, H^+$ ) إلكترونات وبروتونات. تنتقل الإلكترونات بين المركبات الثلاث بواسطة جزيئة Q (Ubiquinone) وجزيئة C (Cytochrome C) التي تمثل ناقلات متحركة داخل الغشاء الداخلي للميتوكوندري.  
 يصاحب تنقل الإلكترونات عبر السلسلة التنفسية تحرير للطاقة تستعمله المركبات  $C_I$  و  $C_{II}$  و  $C_{III}$  لضخ البروتونات من الماتريس في اتجاه الحيز البيغشائي. ينتهي تنقل الإلكترونات بالوصول إلى المتقبل النهائي  $O_2$  الذي يتحول إلى ماء.  
 يترتب عن ضخ البروتونات إلى الحيز البيغشائي نشوء ممال  $H^+$  من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكوندري.



$\leftarrow$  ظهور فرق جهد بين الحيز البيغشائي والماتريس

يستغل المركب ATP سانتيماز الطاقة الناتجة عن وجود فرق جهد  $H^+$  في تركيب ATP انطلاقاً من ADP و Pi وعودة أيونات  $H^+$  إلى الماتريس عبر هذا المركب : إنها ظاهرة التفسفر المؤكسد.

