

التنفس و التّخمر

معلومات شاملة، دقيقة، سهلة الفهم والحفظ
رسومات تعليمية نموذجية لامتحان بكما اليد

07
المعد

علوم الطبيعة والحياة

مجلة المجتهد

مراجعة الأستاذ: بوالريش أحمد

ثانوية: متقن القل - سكيكدة

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى

ثانوية الرائد بعير محمد العربي بعين الملح - المسيلة

التحضير الجيد للبكالوريا

www.dzexamis.com

مقدمة

تلتقط الصانعات الخضراء الطاقة الضوئية وتحولها إلى طاقة كيميائية كامنة في جزيئة الجلوكوز بظاهرة التركيب الضوئي. وعند حاجة الخلية للطاقة القابلة للاستعمال (ATP) في مختلف أنشطتها الحيوية كتركيب البروتين وإفراز الجزيئات الدفاعية والتكاثر...، فإنها تفكك الجلوكوز وتحرر الطاقة الكامنة فيه بظاهرة أخرى تسمى: التنفس الخلوي.

تتم عملية التنفس في ثلاثة مراحل: التحلل السكري، الأكسدة الخلوية والفسفرة التأكسدية.

مخطط الوحدة

مراجعة	01
مقر التنفس	02
التحلل السكري	03
حلقة كريبس	04
الفسفرة التأكسدية	05
الحصيلة الطاقوية للتنفس	06
العلاقة بين مراحل التنفس	07
التخمير	08

1- مراجعة

1- الأيض

هو مجموع التفاعلات التي يتم فيها استعمال وتحويل الطاقة في الخلية، تقسم إلى نوعين:

- تفاعلات البناء الحيوي مثل التركيب الضوئي وتركيب البروتين.

- تفاعلات الهدم مثل التنفس والتخمير.

2- التنفس والتخمير

ظواهر حيوية تقوم بها الخلية لتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة إلى طاقة داخلية قابلة للاستعمال.

التنفس: يحدث في وجود الأكسجين، يتم فيه هدم كلي لمادة الأيض وإنتاج طاقة معتبرة (كبيرة).

التخمير: يحدث في غياب الأكسجين، يتم فيه هدم جزئي لمادة الأيض وإنتاج طاقة ضئيلة (قليلة).

ملاحظة: التركيب الضوئي يميز الخلايا النباتية فقط، أما التنفس فتشارك فيه الخلايا النباتية والحيوانية.

3- تعريف التنفس

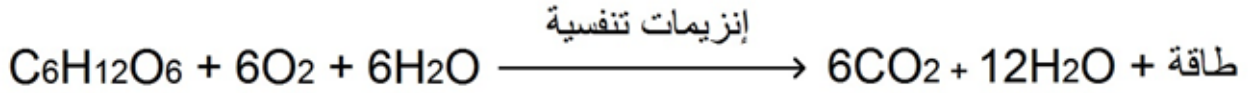
التنفس ظاهرة حيوية يتم فيها هدم كلي للركيزة العضوية (مادة التفاعل) في وجود الأكسجين، وتحويل الطاقة الكيميائية الكامنة في لركيزة إلى مادة أيضية وسطية تتمثل في الـ ATP.

ملاحظة: الـ ATP هي شكل الطاقة القابلة للاستعمال من طرف الخلية.



4- شروط ومظاهر التنفس

نستخرج شروط ومظاهر التنفس من المعادلة الإجمالية للظاهرة:



1- شروط

شروط عملية التنفس أربعة (04) : جلوكوز (الركيزة)، ثاني الأكسجين (O_2)، ماء، إنزيمات تنفسية.

2- مظاهر

مظاهر عملية التنفس أربعة (04) كذلك: امتصاص الـ O_2 ، طرح ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)، هدم مادة الأيض، تحرير طاقة على شكل ATP.

2- مقرر التنفس

1- إظهار مقرر التنفس

تجربة: نضيف أخضر الجانوس لمزرعة مهواة وتحتوي على خميرة الخبز والجلوكوز.

- أخضر الجانوس: كاشف حيوي، يكون لون محلوله شفاف في الحالة المرجعة وأخضر عندما يتأكسد.

ملاحظة: تتلون الميتوكوندري في خلايا خميرة الخبز باللون الأخضر.

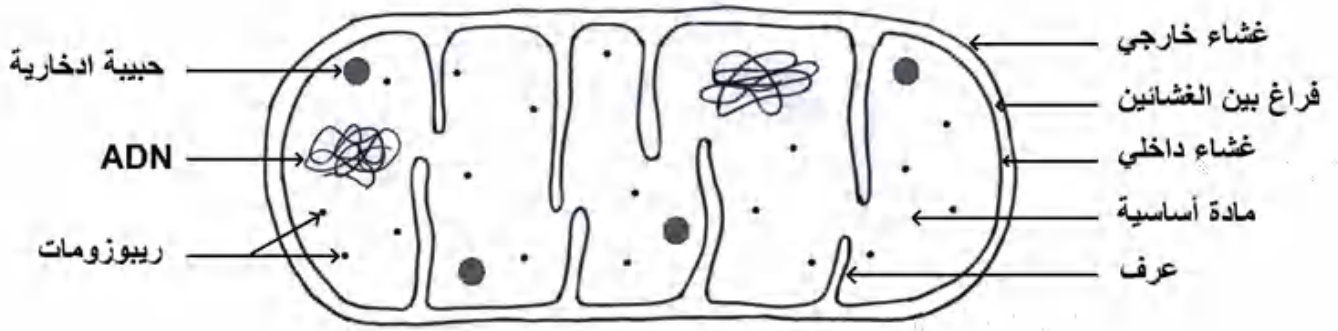
نتيجة: الميتوكوندري مقرر الأكسدة التنفسية.

2- بنية الميتوكوندري

عضية حبيبية متطاولة، يحيط بها غلاف مزدوج يتكون من غشائين خارجي وداخلي يفصل بينهما تجويف. يرسل الغشاء الداخلي نتوءات (امتدادات) تسمى الأعراف. يشغل تجويف الميتوكوندري سائل يسمى المادة الأساسية تحتوي على ADN وريبوزومات.

البنية الحبيبية

تتميز الميتوكوندري ببنية حبيبية لأنها مقسمة إلى تجويفين: تجويف خارجي يتمثل في الفراغ بين الغشائين، وتجويف داخلي يتمثل في الفراغ الذي يحتوي المادة الأساسية.



بنية الميتوكوندري

3- التركيب الكيموي للميتوكوندري

- **الغشاء الخارجي:** يتكون من بروتينات ودهن بنسب متماثلة (50%).

- **الغشاء الداخلي:** يتكون من كمية قليلة من الدهن (20%)، وكمية كبيرة من البروتينات (80%) تتمثل في:

- سلسلة الأكسدة والإرجاع: ناقل الإلكترونات (T_2 و T_4)، ناقل الإلكترونات والبروتونات (T_1 ، T_3 و T_5).

- الإنزيم ATP سنتاز.

- **الحشوة:** تحتوي على:

- الأنزيمات: نازعات الـ CO_2 ونازعات الهيدروجين.

- العوامل المساعدة: NAD^+ و FAD .

- الـ ATP .

4- العلاقة بين التركيب الكيموحيوي والوظيفة

يحتوي الغشاء الداخلي على كمية كبيرة من البروتينات الوظيفية تتمثل في الإنزيمات والنواقل. بينما يحتوي الغشاء الخارجي كمية قليلة من البروتينات.

- نستنتج من هذا نستنتج أن الغشاء الداخلي هو المسؤول عن عملية الأكسدة التنفسية.

يحتوي كل من الغشاء الداخلي والحشوة على عدة بروتينات وظيفية ولكنها مختلفة.

- نستنتج من هذا أن كلا من الغشاء الداخلي والحشوة له وظيفة خاصة (مختلفة) في عملية الأكسدة التنفسية.

3- التحلل السكري (الفلكزة)

تتم عملية التنفس في ثلاثة (03) مراحل: التحلل السكري، الأكسدة التنفسية، الفسفرة التأكسدية.

1- تعريف التحلل السكري

هو أكسدة جزئية الجلوكوز في الهيولى إلى جزيئين من حمض البيروفيك، وينتج عنه ATP و NADPH, H^+ .

ملاحظة: التحلل السكري ظاهرة لا هوائية، أي لا تتطلب الأكسجين.

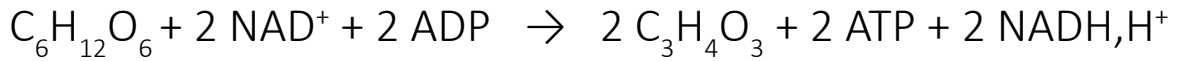
2- آلية التحلل السكري

التحلل السكري سلسلة من عشرة (10) تفاعلات، يتم فيها تحويل الجلوكوز إلى حمض البيروفيك. يحدث خلالها:

- أكسدة الجلوكوز وإرجاع نواقل الهيدروجين (NAD^+) بواسطة إنزيمات نازعات الهيدروجين.

- فسفرة الـ ADP إلى الـ ATP.

حسب المعادلة التالية:



ملاحظة: قد يكون مصدر الجلوكوز من هضم الأغذية ويصل عن طريق الدم إلى الخلية حيث ينفذ إليها بواسطة نواقل غشائية نوعية. وقد يكون مصدره المدخرات الموجودة داخل الخلية: الغليكوجين بالنسبة للخلايا الحيوانية والفطريات، والنشاء في الخلايا النباتية.

3- حصيلة التحلل السكري

انطلاقاً من جزيئة جلوكوز، تنتج ثلاثة مركبات: 2 حمض البيروفيك، $2 \text{NADH}, \text{H}^+$ و 2 ATP.





4- الأكسدة التنفسية

1- مقر الأكسدة التنفسية

يتم هدم حمض البيروفيك الناتج عن التحلل السكري في المادة الأساسية للميتوكوندري.

معلومة: ينفذ حمض البيروفيك إلى المادة الأساسية عن طريق ثقب في الغشاء الخارجي، ثم بواسطة ناقل غشائي نوعي في الغشاء الداخلي.

2- آلية الأكسدة التنفسية

تتم الأكسدة التنفسية في مرحلتين: المرحلة التحضيرية وحلقة كريبس.

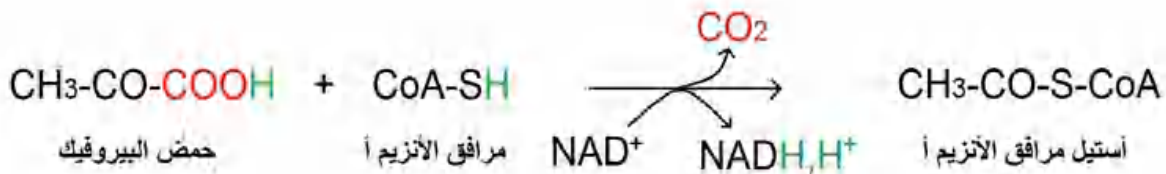
1- المرحلة التحضيرية

يتم فيها هدم حمض البيروفيك إلى مادة أضيئة وسطية تسمى: أستيل مرافق الانزيم أ، وذلك بـ:

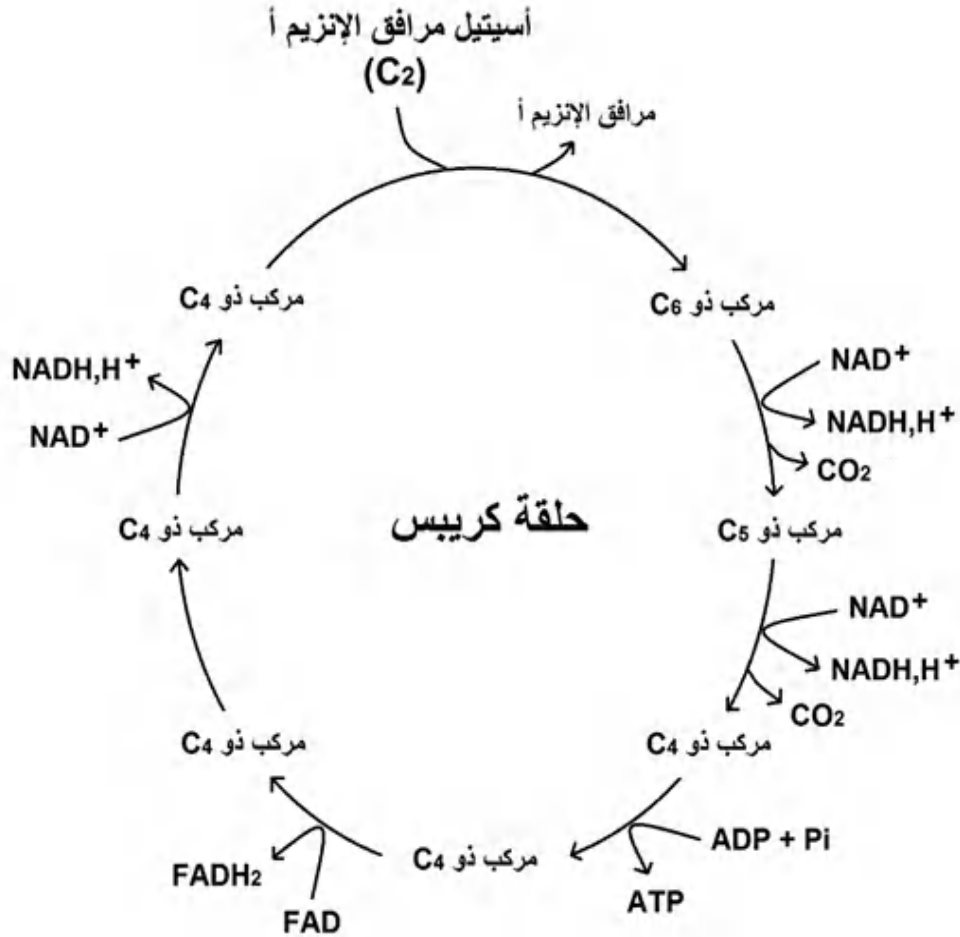
- نزع الـ CO_2 بواسطة أنزيمات نازعات الكربوكسيل.

- نزع الهيدروجين بواسطة أنزيمات نازعات الهيدروجين مع إرجاع ناقل الهيدروجين (NAD^+).

حسب المعادلة التالية:



2 - حلقة كريبس



شرح حلقة كريبس

- يرتبط جذر مرافق الإنزيم أ مع مستقبل رباعي الكربون (C₄) ليعطي مركب سداسي الكربون (C₆).
- يطرأ على المركب C₆ سلسلة من التفاعلات يتم فيها نزع الـ CO₂ ونزع الهيدروجين. نزع الـ CO₂ يؤدي إلى تمعدن الركيزة العضوية، أي تحويلها لـ CO₂ معدني. ونزع الهيدروجين يؤدي إلى إرجاع نواقل الهيدروجين.
- يتجدد المركب (C₄) ويتم فسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفور اللاعضوي (Pi).

ملاحظة: نوع التفاعل الذي يتم فيه تحرير الـ CO_2 وإرجاع مرافق الإنزيم، مثل تفاعل المرحلة التحضيرية، يسمى: نزع كربوكسيل تأكسدية.

- تسمى NAD^+ و FAD بنواقل البروتونات والإلكترونات، وكذلك مرافقات إنزيمية.

معلومات

- تسمى حلقة كريبس نسبة لمكتشفها العالم الألماني هانس أدولف كريبس. سماها في البداية حلقة الأحماض الكربوكسيلية، وسميت بعد ذلك باسمه تكريماً له. حصل على جائزة نوبل في الفيزيولوجيا والطب سنة 1953.

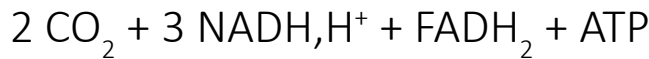
- يمكن للخلية أن تحصل على الطاقة (ATP) من أكسدة الدسم كذلك في المادة الأساسية للميتوكوندري في حلقة من التفاعلات تختلف عن حلقة كريبس.

- الجزيئات العضوية الوسيطة في حلقة كريبس (C_4 ، C_5 ، C_6)، تتركب منها جزيئات عضوية أخرى للخلية، مثل الأحماض الأمينية، الأحماض الدسمة، الهيم، اليخضور...

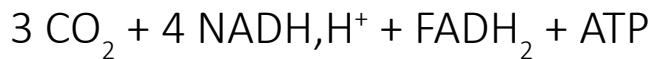
3- الحصيلة الأولية للأكسدة التنفسية

- **حصيلة المرحلة التحضيرية:** ينتج عن جزيئة حمض البيروفيك واحدة: NADH ، H^+ و CO_2 .

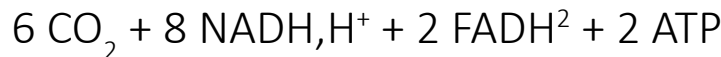
- **حصيلة حلقة كريبس:** ينتج عن جزيئة واحدة من حمض البيروفيك:



- **الحصيلة الإجمالية:** ينتج عن جزيئة واحدة من حمض البيروفيك:



وحصيلة أكسدة جزيئة غلوكوز هي ضعف حصيلة جزيئة حمض البيروفيك، فينتج:



5- الفسفرة التأكسدية

1- تعريف الفسفرة التأكسدية

(فسفرة تأكسدية = فسفرة + أكسدة) هي أكسدة النواقل المرجعة (FADH_2 و NADH, H^+) وانتقال الإلكترونات الناتجة عن طريق السلسلة التنفسية إلى ثاني الأوكسجين (O_2)، مع تركيب الطاقة بفسفرة الـ ADP إلى ATP.

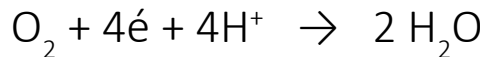
2- مقر الفسفرة التأكسدية

الغشاء الداخلي للميتوكوندري.

3- آلية الفسفرة التأكسدية

(نص) تتأكسد المرافقات الإنزيمية (FADH_2 و NADH, H^+) وتعطي الإلكترونات للسلسلة التنفسية. تنتقل هذه الإلكترونات في النواقل (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5) تلقائياً لأنها مرتبة حسب كمون أكسدة وإرجاع متزايد.

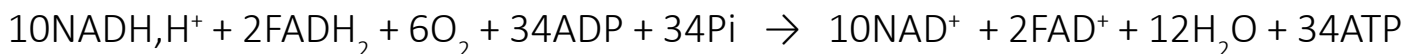
- يستقبل الـ O_2 الإلكترونات فيُرجع ويرتبط مع البروتونات الموجودة في المادة الأساسية لتشكيل الماء وفق المعادلة:

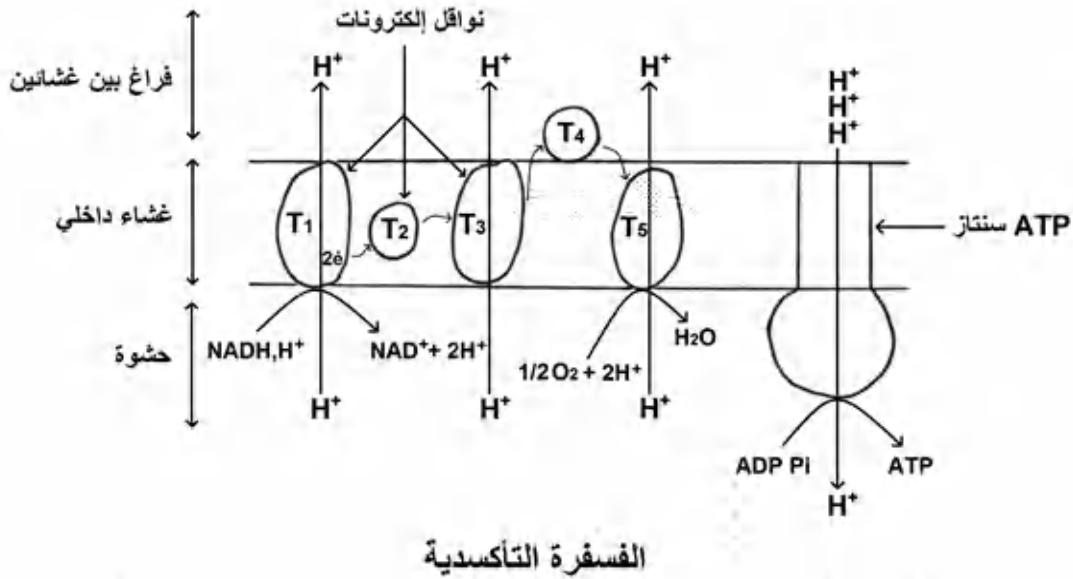


- انتقال الإلكترون عبر النواقل (T_1, T_3, T_5) تتحرر منه طاقة كافية لضخ البروتونات من المادة الأساسية نحو الفراغ بين الغشائين عكس تدرج التركيز، فيتولد تدرج إلكتروكيميائي للبروتونات.

- تنتقل البروتونات المتراكمة في الفراغ بين الغشائية إلى المادة الأساسية عبر الكرية المذبذبة حسب تدرج التركيز (بظاهرة الانتشار). تسمح الطاقة المتحررة من تدفق البروتونات بفسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود (Pi) في مستوى الكرية المذبذبة (سنتاز).

والمعادلة التي تلخص المرحلة كالآتي:





ملاحظات: خلال الفسفرة التأكسدية

- المعطي الأول للإلكترونات هو النواقل: NADH, H^+ و FADH_2 .
- المستقبل الأخير للإلكترونات: ثاني الأكسجين (O_2).
- آلية انتقال الإلكترونات: تنتقل تلقائياً حسب كمون أكسدة وإرجاع متزايد.
- عند تخريب الغشاء الداخلي للميتوكوندري، الأجزاء الناتجة تتحوصل تلقائياً وتشكل حويصلات بحيث يكون الجزء F_1 للأنزيم ATP سنتاز في الخارج، بعكس ما كان في الصانعة الخضراء (في الداخل). تستعمل هذه الحويصلات في تجارب لتحديد شروط تركيب الـ ATP.
- شروط تركيب الـ ATP ثلاثة (03): وجود وسلامة الكرية المذنبية، وجود تدرج في تركيز البروتونات، توفر الـ $\text{ADP} + \text{Pi}$.
- شروط عمل الأنزيم ATP سنتاز اثنان (02): تدرج في تركيز البروتونات، توفر الـ $\text{ADP} + \text{Pi}$.
- ثاني الأوكسجين (O_2) شرط ضروري لحدوث التنفس، يتدخل في المرحلة الأخيرة فقط (الفسفرة التأكسدية) حيث يقوم بدور مستقبل للإلكترونات.

معلومات

- في السلسلة التنفسية، النواقل (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5) عبارة عن بروتينات ترتبط بها أجزاء غير بروتينية: هيم، ذرة نحاس، ذرة حديد... وهو ما يكسبها خاصية الأكسدة والإرجاع.
- النواقل T_2 و T_4 لا تضخ البروتونات لأن انتقال الإلكترون عبرها لا يتحرر عنه طاقة كافية لضخ البروتونات.
- توجد مواد كيميائية تثبط عمل النواقل (T_1, T_2, T_3, T_4, T_5) وتوقف انتقال الإلكترونات. هذه المواد سامة بالنسبة للعضوية لأنها توقف السلسلة التنفسية، أمثلة:
 - روتينون (Roténone) التي تثبط الناقل T_1 .
 - أونتييميسين أ (Antimycine A) المثبطة للنقل T_3 .
 - سيانير (Cyanure): تثبط الناقل T_5 .
- الانزيم ATP سنتاز (الكريّة المُنْدَبَة) في غشاء التيلاكويد وفي الغشاء الداخلي للميتوكوندري متماثل، يوجد اختلاف قليل.
- الانزيم ATP سنتاز يركب 400 جزيئة ATP في الثانية.

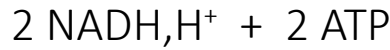


6- الحصيلة الطاقوية للتنفس

ينتج عن أكسدة جزيئة واحدة من NADH, H^+ خلال الفسفرة التأكسدية: ثلاث جزيئات ATP.
وينتج عن أكسدة جزيئة واحدة من FADH_2 : جزيئتين ATP.

1- حصيلة التحلل السكري

الحصيلة الأولية:

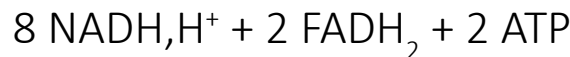


ينتج عنها:

$$2 \times (3 \text{ ATP}) + 2 \text{ ATP} = 8 \text{ ATP}$$

2- حصيلة الأكسدة التنفسية

الحصيلة الأولية:



ينتج عنها:

$$8 \times (3 \text{ ATP}) + 2 \times (2 \text{ ATP}) + 2 \text{ ATP} = 30 \text{ ATP}$$

3- الحصيلة الإجمالية:

$$8 \text{ ATP} + 30 \text{ ATP} = 38 \text{ ATP}$$

7- العلاقة بين مراحل التنفس

1- العلاقة بين مراحل التنفس

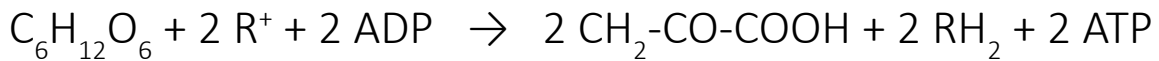
(نص) مراحل التنفس متسلسلة ومرتبطة بحيث توقف أحدها يؤدي إلى توقف العملية:

- التحلل السكري: ينتج عنه حمض البيروفيك الذي يدخل في تفاعلات حلقة كريبس، ويُرجع الناقل $NADH, H^+$ الذي يدخل في تفاعلات الفسفرة التأكسدية.
- حلقة كريبس: يتم فيها إرجاع المرافقات الانزيمية $NADH, H^+$ و $FADH_2$ اللازمة لحدوث الفسفرة التأكسدية.
- الفسفرة التأكسدية: يتم فيها تجديد النواقل NAD^+ و FAD اللازمة لاستمرار التحلل السكري وحلقة كريبس.

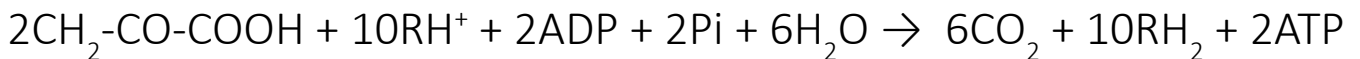
مثال: غياب الـ O_2 (المستقبل الأخير للإلكترونات)، ينتج عنه توقف أكسدة (تجديد) النواقل المُرْجَعة $NADH, H^+$ و $FADH_2$ ، فتتوقف السلسلة التنفسية ولا يتجدد NAD^+ و FAD . وعدم تجديد النواقل المُرْجَعة NAD^+ و FAD يؤدي إلى توقف حلقة كريبس والتحلل السكري. وهكذا لا تنتج الخلية الطاقة اللازمة لنشاطها وتموت.

2- تفاعلات التنفس الخلوي

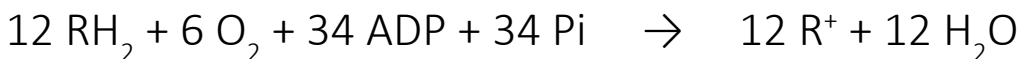
- التحلل السكري

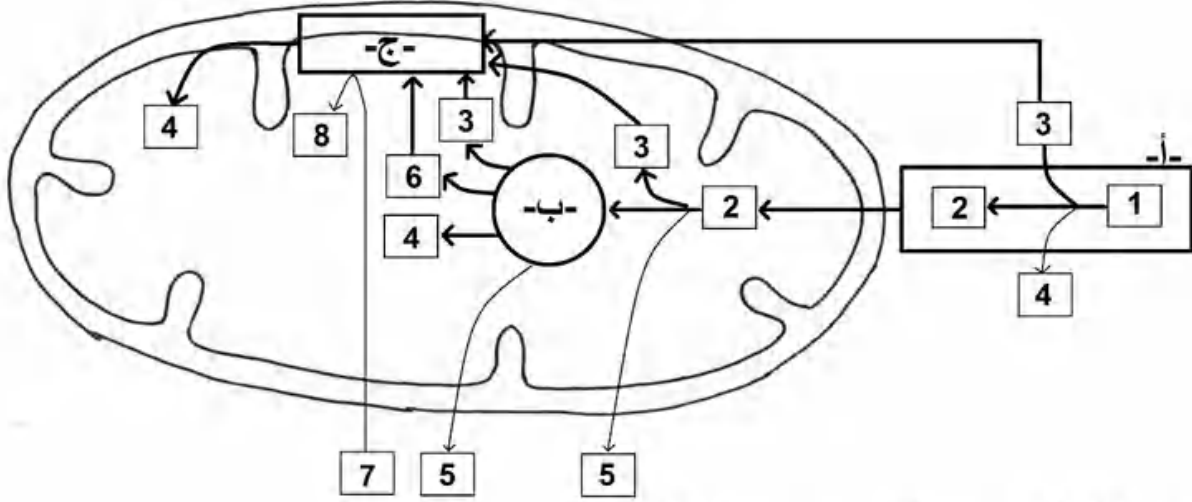


- الأكسدة التنفسية



- الفسفرة التأكسدية





أ- تحليل سكري، ب- حلقة كريبس، ج- فسفرة تأكسدية
1- غلوكوز، 2- حمض البيروفيك، 3- NADH, H^+ ، 4- ATP ، 5- CO_2 ، 6- FADH_2 ، 7- O_2 ، 8- H_2O

مخطط يمثل مراحل التنفس الخلوي

8- التخمر

في غياب ثاني الأوكسجين (O_2)، بعض خلايا العضوية مثل خلايا العضلات الهيكلية، تحتوي إنزيمات تمكنها من إنتاج الطاقة بظاهرة أخرى تسمى: التخمر، تنتج حداً أدنى من الطاقة للحفاظ على حياة الخلية.

1- تعريف

التخمر هدم جزئي لمادة الأيض في غياب الأوكسجين، يتم فيه تحويل جزء ضئيل من الطاقة الكيميائية الكامنة في الركيزة إلى طاقة قابلة للاستعمال.

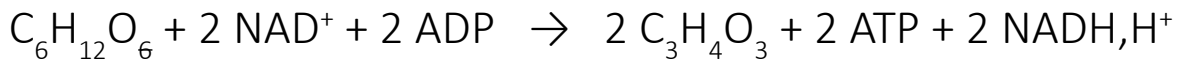
معلومة: توجد خلايا تنتج طاقتها بعملية التنفس أو التخمر فقط، وتوجد خلايا يمكنها إنتاج الطاقة بالعمليتين. وذلك حسب نوع الخلية والإنزيمات التي تحتويها.

الخمائر نوع من الفطريات أحادية الخلية، تتكاثر بالتبرعم، تقوم بعملية التنفس في وجود الأوكسجين والتخمر في غيابه. يوجد منها عدة أنواع بعضها له فوائد اقتصادية كصناعة الخبز والجبن والياوورت...

2- آلية عملية التخمير

(نص): تتم عملية التخمير في مرحلتين: التحلل السكري والتخمير.

التحلل السكري: تشترك عملية التخمير مع عملية التنفس في التحلل السكري. تقوم إنزيمات نازعات الهيدروجين بأكسدة مادة التفاعل (الغلوكوز) وإرجاع نواقل الهيدروجين (NAD^+). كما تتم فسفرة الـ ADP إلى الـ ATP. حسب المعادلة التالية:



التخمير الكحولي: يتم في تفاعلين:

- نزع الـ CO_2 من حمض البيروفيك ليصبح أسيتالدهيد (مركب ذو C_2).

- إرجاع الأسيتالدهيد إلى إيثانول مع أكسدة (تجديد) ناقل $NADH, H^+$ لاستمرار العملية.

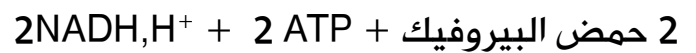
معادلة التخمير الكحولي:



3- حصيلة التخمير

الحصيلة الأولية

التحلل السكري: ينتج عنه:



التخمير: ينتج عنه جزيئتين من الإيثانول.

الحصيلة الإجمالية: 2 إيثانول + 2 ATP + $2NADH, H^+$

الحصيلة الطاقوية: الحصيلة الطاقوية للتخمير هي الحصيلة الطاقوية لمرحلة التحلل السكري فقط، لأن التخمير لا ينتج عنه طاقة وهي: 8ATP

خلاصة

التنفس والتخمير

لتلبية حاجتها من الطاقة القابلة للاستعمال، تقوم الخلية بعملية التنفس في الوسط الهوائي أو التخمير في الوسط اللاهوائي.

خلال عملية التنفس، تهدم الركيزة العضوية كلياً، تحرر منها كل الطاقة الكيميائية الكامنة على شكل طاقة قابلة للاستعمال (ATP).

خلال عملية التخمير، تهدم الركيزة العضوية جزئياً، يحرر جزء من الطاقة الكامنة إلى طاقة قابلة للاستعمال ATP، ويبقى جزء آخر من الطاقة كامن ومخزن في الجزيئة العضوية الناتجة (الكحول).

الحمد لله رب العالمين، وصلى الله وسلم وبرك على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه إلى يوم الدين.

من نفس السلسلة

