التنفس و التخمر

العدد 07

معلومات شاملة، دقيقة، سهلة الفهم والحفظ
رسومات تخطيطية نموذجية للامتحان بخط اليد

علوم الطبيعة والحياة

مجلة المجتهد

إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى
ثانوية الرائد بعرير محمد العربي بعين الملح - المسيلة

مراجعة الأستاذ: بوالريش أحمد
ثانوية: متقن القل - سكيكدة

التحضير الجيد للبكالوريا

التنفس والتخمر

مجلة المجتهد

مقدمة

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

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

مخطط الوحدة

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

التنفس والتخمر

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 والتخمر.

2- التنفس والتخمر

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).

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

ملاحظة: التركيب الضوئي يميز الخلايا النباتية فقط، أما التنفس فتشترك 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.

التنفس والتخمر

4- شروط ومظاهر التنفس

نستخرج شروط ومظاهر التنفس من المعادلة الإجمالية للظاهرة:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{إنزيمات تنفسية}} 6CO_2 + 12H_2O + \text{طاقة}$$

1- شروط

شروط عملية التنفس أربعة (04) : غلوكوز (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- مقر التنفس

1- إظهار مقر التنفس

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

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

ملاحظة: تتلون الميتوكوندري في خلايا خميرة الخبز باللون الأخضر.

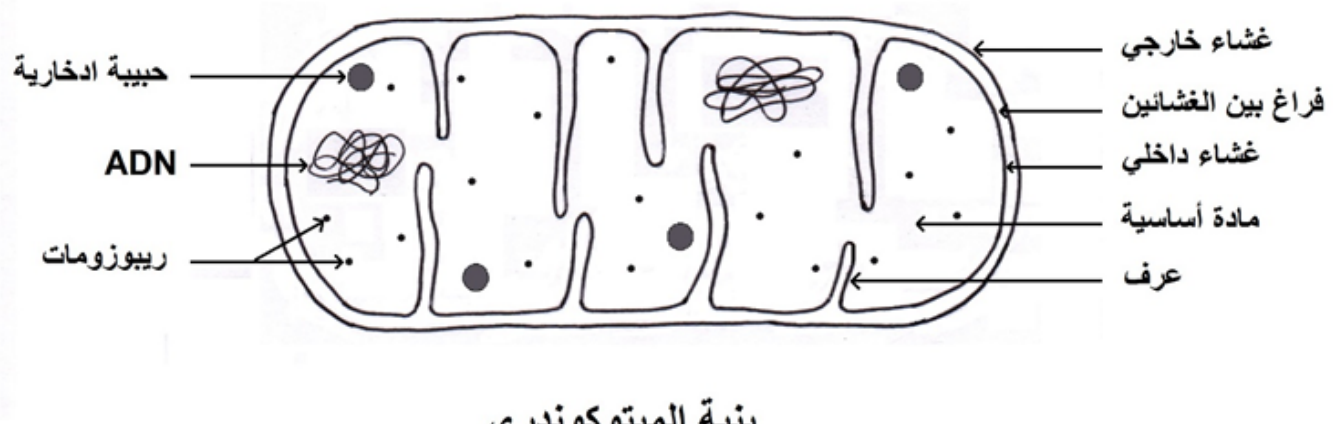
نتيجة: الميتوكوندري مقر الأكسدة التنفسية.

2- بنية الميتوكوندري

عضية حبيبية متطاولة، يحيط بها غلاف مزدوج يتركب 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 الحجيرية

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



بنية الميتوكوندري

3- التركيب الكيموحيوي للميتوكوندري

- **الغشاء الخارجي:** يتركب من بروتينات ودسم بنسب متماثلة (50 ٪).

- **الغشاء الداخلي:** يتركب من كمية قليلة من الدسم (20 ٪)، وكمية كبيرة من البروتينات (80 ٪) تتمثل في:

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

- الإنزيم ATP سنتاز.

- **الحشوة:** تحتوي على:

- الأنزيمات: نازعات الـ CO_2 ونازعات الهيدروجين.

- العوامل المساعدة: NAD^+ وFAD.

- 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 (الغلكزة)

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

1- تعريف التحلل السكري

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

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

2- آلية التحلل السكري

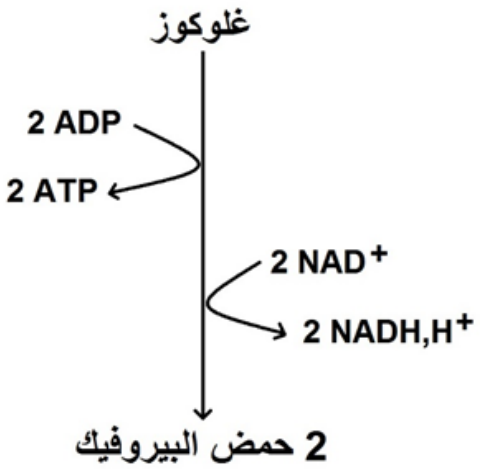
التحلل السكري سلسلة من عشرة (10) تفاعلات، يتم فيها تحويل الغلوكوز إلى حمض البيروفيك. يحدث خلالها:

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

- فسفرة الـ ADP إلى الـ ATP.

حسب المعادلة التالية:

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ NAD^+ + 2\ ADP \rightarrow 2\ C_3H_4O_3 + 2\ ATP + 2\ NADH,H^+$$



التحلل السكري

ملاحظة: قد يكون مصدر الغلوكوز 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

انطلاقا من جزيئة غلوكوز، تنتج ثلاثة مركبات: 2 حمض البيروفيك، 2 ATP و $2NADH,H^+$.

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 ثقوب في الغشاء الخارجي، ثم بواسطة ناقل غشائي نوعي في الغشاء الداخلي.

2- آلية الأكسدة التنفسية

تتم الأكسدة التنفسية في مرحلتين: المرحلة التحضيرية وحلقة كريبس.

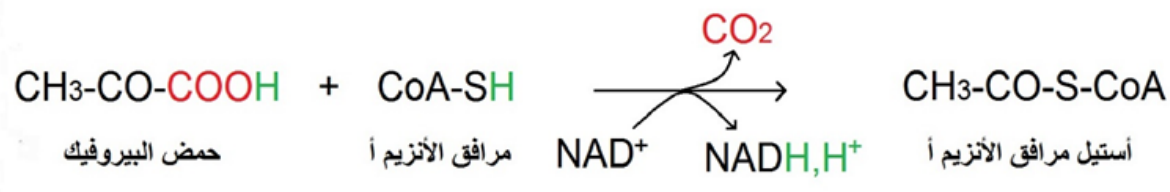
1- المرحلة التحضيرية

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

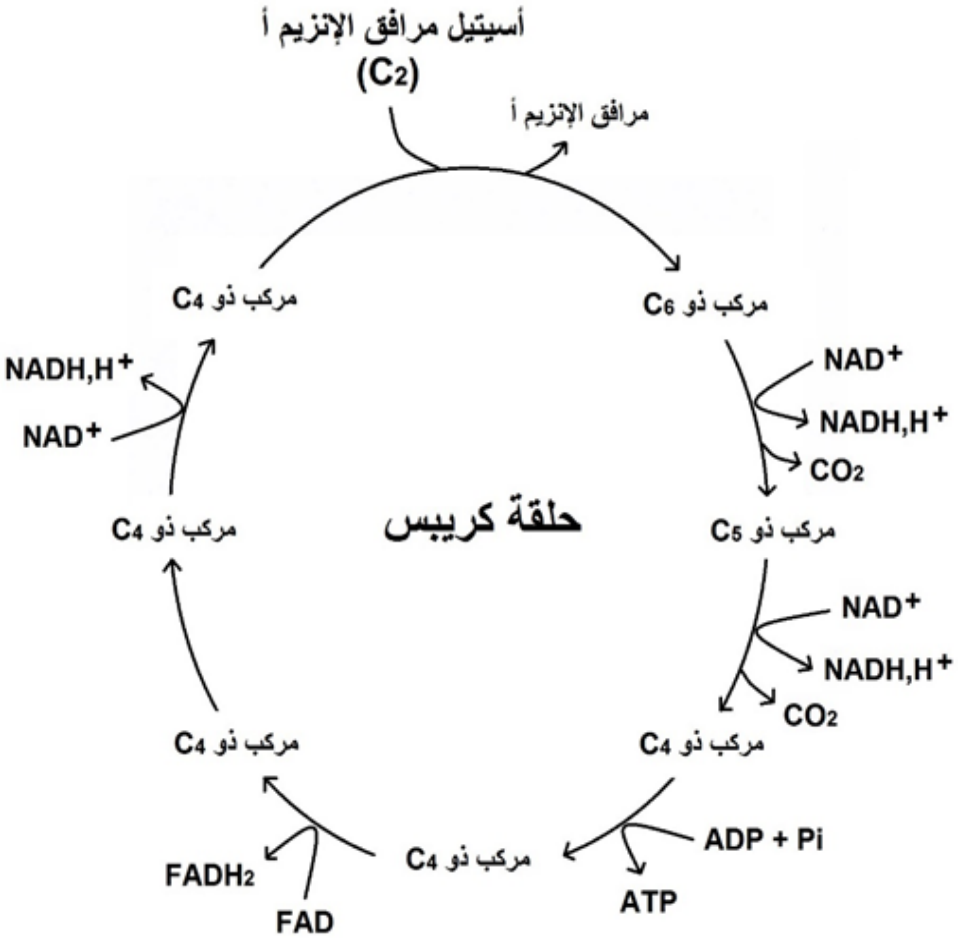
- نزع الـ CO_2 بواسطة أنزيمات نازعات الكربوكسيل.

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

حسب المعادلة التالية:



2 - حلقة كريبس



شرح حلقة كريبس

- يرتبط جذر مرافق الانزيم أ مع مستقبل رباعي الكربون (C_4) ليعطي مركب سداسي الكربون (C_6).

- يطرأ على المركب C_6 سلسلة من التفاعلات يتم فيها نزع الـ CO_2 ونزع الهيدروجين. نزع الـ CO_2 يؤدي إلى تمعدن الركيزة العضوية، أي تحويلها لـ CO_2 معدني. ونزع الهيدروجين يؤدي إلى إرجاع نواقل الهيدروجين.

- يتجدد المركب (C_4) ويتم فسفرة الـ ADP إلى ATP في وجود الفوسفور اللاعضوي (Pi).

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

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

معلومات

- تسمى حلقة كريبس نسبة لمكتشفها العالم الألماني هانس أدولف كريبس. سماها في البداية حلقة الأحماض الكربوكسلية، وسميت بعد ذلك باسمه تكريما 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_6، C_5، C_4)، 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:

$$2\ CO_2 + 3\ NADH,H^+ + FADH_2 + ATP$$

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

$$3\ CO_2 + 4\ NADH,H^+ + FADH_2 + ATP$$

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

$$6\ CO_2 + 8\ NADH,H^+ + 2\ FADH^2 + 2\ ATP$$

5- الفسفرة التأكسدية

1- تعريف الفسفرة التأكسدية

(فسفرة تأكسدية = فسفرة + أكسدة) هي أكسدة النواقل المرجعة ($NADH,H^+$ و $FADH_2$) وانتقال الإلكترونات الناتجة عن طريق السلسلة التنفسية إلى ثاني الأكسجين (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 ($NADH,H^+$ و $FADH_2$) وتعطي الإلكترونات للسلسلة التنفسية. تنتقل هذه الإلكترونات في النواقل (T_1، T_2، T_3، T_4، T_5) تلقائيا لأنها مرتبة حسب كمون أكسدة وإرجاع متزايد.

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

$$O_2 + 4é + 4H^+ \rightarrow 2\,H_2O$$

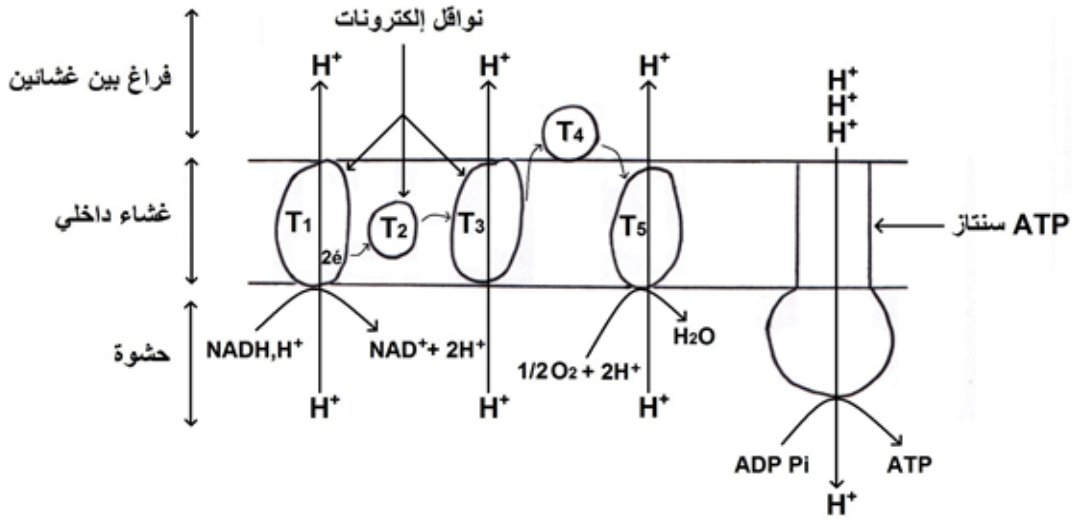
- انتقال الإلكترون عبر النواقل (T_1، T_3، T_5) تتحرر منه طاقة كافية لضخ البروتونات من المادة الأساسية نحو الفراغ بين الغشائين عكس تدرج التركيز، فيتولد تدرج إلكتروكيميائي للبروتونات.

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

والمعادلة التي تلخص المرحلة كالآتي:

$$10NADH,H^+ + 2FADH_2 + 6O_2 + 34ADP + 34Pi \rightarrow 10NAD^+ + 2FAD^+ + 12H_2O + 34ATP$$

التنفس والتخمر



الفسفرة التأكسدية

ملاحظات: خلال الفسفرة التأكسدية

- المعطي الأول للإلكترونات هو النواقل: $NADH,H^+$ و $FADH_2$.

- المستقبل الأخير للإلكترونات: ثاني الأكسجين (O_2).

- آلية انتقال الالكترونات: تنتقل تلقائيا حسب كمون أكسدة وإرجاع متزايد.

- عند تخريب الغشاء الداخلي للميتوكوندري، الأجزاء الناتجة تتحوصل تلقائيا 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 المذنبة، وجود تدرج في تركيز البروتونات، توفر الـ ADP + Pi.

- شروط عمل الانزيم ATP سنتاز اثنان (02): تدرج في تركيز البروتونات، توفر الـ ADP+Pi.

- ثاني الأوكسجين (O_2) شرط ضروري لحدوث التنفس، يتدخل في المرحلة الأخيرة فقط (الفسفرة التأكسدية) حيث يقوم بدور مستقبل للإلكترونات.

التنفس والتخمر

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 وT_4 لا تضخ البروتونات لأن انتقال الالكترون 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 الالكترونات. هذه المواد سامة بالنسبة للعضوية لأنها توقف السلسلة التنفسية، أمثلة:

- روتينون (Roténone) التي تثبط الناقل T_1.

- أونتيميسين أ (Antimycine A) المثبطة للنقال T_3.

- سيانير (Cyanure): تثبط الناقل T_5.

- الانزيم ATP سنتاز (الكرية المُذنّبة) 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:

$$2\ NADH,H^+ + 2\ ATP$$

ينتج عنها:

$$2 \times (3\ ATP) + 2\ ATP = 8\ ATP$$

2- حصيلة الأكسدة التنفسية

الحصيلة الأولية:

$$8\ NADH,H^+ + 2\ FADH_2 + 2\ ATP$$

ينتج عنها:

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

3- الحصيلة الإجمالية:

$$8\ ATP + 30\ ATP = 38\ ATP$$

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، ويُرجِع 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^+ وFAD اللازمة لاستمرار التحلل السكري وحلقة كريبس.

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

2- تفاعلات التنفس الخلوي

- التحلل السكري

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ R^+ + 2\ ADP \rightarrow 2\ CH_2\text{-}CO\text{-}COOH + 2\ RH_2 + 2\ ATP$$

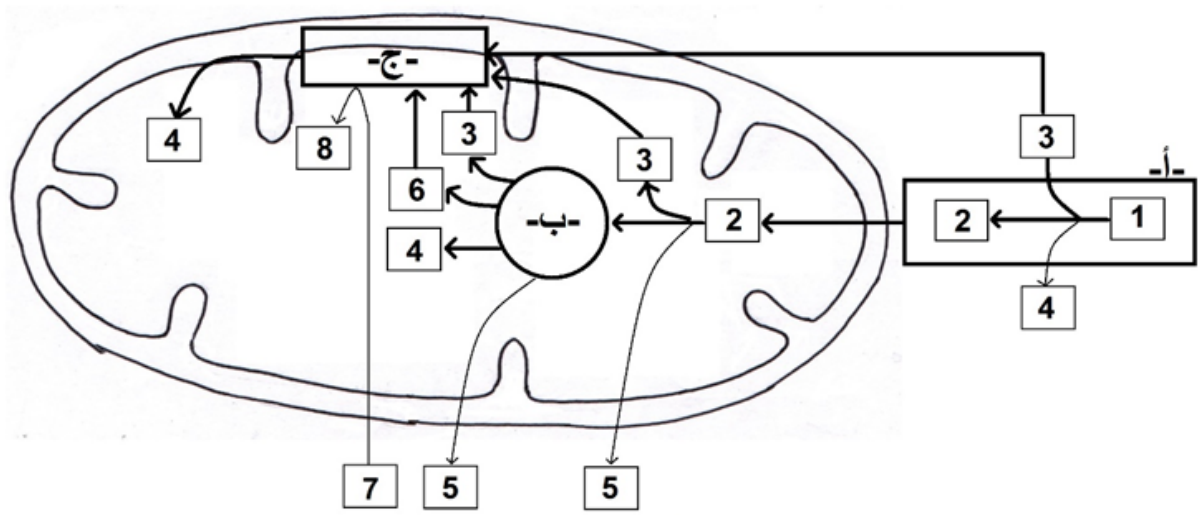
- الأكسدة التنفسية

$$2CH_2\text{-}CO\text{-}COOH + 10RH^+ + 2ADP + 2Pi + 6H_2O \rightarrow 6CO_2 + 10RH_2 + 2ATP$$

- الفسفرة التأكسدية

$$12\ RH_2 + 6\ O_2 + 34\ ADP + 34\ Pi \rightarrow 12\ R^+ + 12\ H_2O$$

التنفس والتخمر



أ- تحلل 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 حدا أدنى من الطاقة للحفاظ على حياة الخلية.

1- تعريف

التخمر هدم جزئي لمادة الأيض في غياب الأكسجين، 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 الأكسجين والتخمر في غيابه. يوجد منها عدة أنواع بعضها له فوائد اقتصادية كصناعة الخبز والجبن والياوورت...

2- آلية عملية التخمر

(نص): تتم عملية التخمر في مرحلتين: التحلل السكري والتخمر.

التحلل السكري: تشترك عملية التخمر 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:

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ NAD^+ + 2\ ADP \rightarrow 2\ C_3H_4O_3 + 2\ ATP + 2\ NADH,H^+$$

التخمر 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 التخمر الكحولي:

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ ADP + 2\ Pi \rightarrow 2\ C_2H_5OH + 2\ ATP + 2\ CO_2$$

3- حصيلة التخمر

الحصيلة الأولية

التحلل السكري: ينتج عنه:

2 حمض البيروفيك + 2 ATP + $2NADH,H^+$

التخمر: ينتج عنه جزيئتين من الإيثانول.

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

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

خلاصة

التنفس والتخمر

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

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

خلال عملية التخمر، تهدم الركيزة العضوية جزئيا، 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 وبارك على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه إلى يوم الدين.

من نفس السلسة

الأستاذ : بن خريف مصطفى
mustapha.benkherif@gmail.com

جميع الحقوق محفوظة

2017/2016

تصميم شبكة الدكتور لعباشي لمين
www.labachi.com