كلية العلوم

القسم : علم الحياة

السنة : الرابعة

المادة : التنفس النباتي

المحاضرة : الثالثة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

2026

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960

المحاضرة الثالثة د سومررجب شعبان

التنفس الخلوي

التنفس الخلوي:

التنفس الخلوي هو العملية التي يتم من خلالها استخلاص الطاقة من روابط جزيئات الطعام التي تصنعها النباتات أو تاكلها الحيوانات.

يتم استخدام الطاقة المنطلقة في توليد جزيئات ATP.

أهمية الجلوكوز في التنفس الخلوي:

تعتبر الكربوهيدرات، وخاصة الجلوكوز، أحد أشكال الطاقة المخزنة التي يمكن نقلها من خلية إلى أخرى ومن كائن حي إلى آخر.

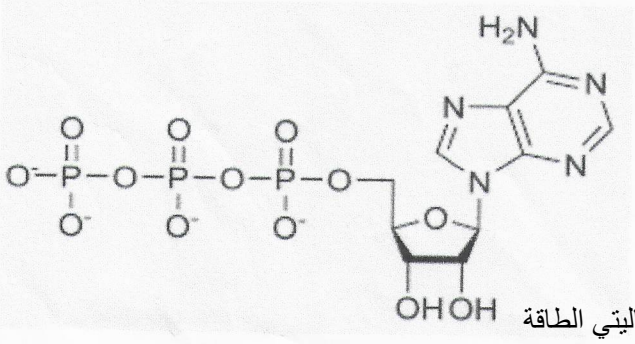
ويعتبر جزيء الجلوكوز مثالا ممتازا لدراسة خطوات تحطيم جزيئات الغذاء، فهو الجزيء الذي تستخدمه أغلبية الكائنات الحية عادة لإنتاج الطاقة أكثر من أي جزيء من المواد الغذائية المتوفرة.

جزيئات ATP:

أي طاقة تحتاجها الخلية تحتاج إلى جزيئات ATP.

يعتبر ATP بمثابة العملة الصغيرة للطاقة.

يتكون جزيء ATP من 3 وحدات فرعية:



- الأدينين: قاعدة نيتروجينية
- الريبوز: سكر 5 كربونات
- ثلاث مجموعات فوسفات: ترتبط ببعضها البعض بواسطة رابطتين

التنفس الخلوي

يتم التنفس الخلوي على ثلاث مراحل رئيسية:

1. **انشطار الجلوكوز:**
   يحدث ذلك في الجزء غير العضوي من السيتوبلازم (السيتوسول) في الخلية.

2. **دورة كربس:**

3. **سلسلة نقل الإلكترون:**
   تحدث تلك داخل الميتوكوندريا، حيث توجد إنزيمات الجهاز التنفسي، والماء، ومجموعات الفوسفات، والإنزيمات المساعدة، و الجزيئات الحاملة للإلكترون (السيتوكرومات).

معادلة التنفس الخلوي:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38ATP$$

معادلة التنفس الخلوي:

اثناء تحلل الجلوكوز (تكسير الجلوكوز)، ودورة كربس، تتم إزالة ذرات الهيدروجين من الهيكل الكربوني لجزيء الجلوكوز الذي يمر إلى الإنزيمات المساعدة (NAD^+ وFAD) التي تعمل كحاملات للهيدروجين:

$$NAD^+ + H_2 \longrightarrow NADH + H^+$$

$$FAD + H_2 \longrightarrow FADH_2$$

التنفس الخلوي

انشطار الجلوكوز:

يحدث تحلل السكر في كل من التنفس الهوائي واللاهوائي لإنتاج الطاقة. في عملية تحلل السكر، يتحلل جزيء واحد من الجلوكوز مكونًا جزيئين من حمض البيروفيك (3-كربون)، وجزيئين من ATP، وجزيئين من NADH و H^+، مرورًا بمجموعة من التفاعلات التي يتم من خلالها تحويل الجلوكوز إلى:

- جلوكوز 6 فوسفات (6 كربون)
- فركتوز 6 فوسفات (6 كربون)
- الفركتوز 1-6 ثنائي الفوسفات (6-كربون)
- جزيئين من PGAL وهو (3 كربون) موسفوغليسرالدهيد
- جزيئين من حمض البيروفيك (3-كربون).

لذلك، فإن أكسدة جزيء الجلوكوز إلى جزيئين من حمض البيروفيك يصاحبها:

- اختزال جزيئين من NAD^+ إلى جزيئين $NADH + H^+$
- انتاج جزيئين من ATP في العصارة الخلوية للخلية.

وتحدث جميع هذه التفاعلات في غياب الأكسجين، ولذلك تسمى بالتنفس اللاهوائي. والطاقة الناتجة لا تكفي للقيام بجميع الأنشطة الحيوية للكائنات الحية.

معادلة انشطار الجلوكوز:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_3H_6O_3 + 2ATP$$

التنفس الخلوي

2. دورة كربس:

تتم دورة كريبس على مرحلتين:

المرحلة الأولى:

يتأكسد كل جزيء من جزيئي حمض البيروفيك (3-كربون) في وجود الإنزيم المساعد-A إلى أسيتيل (Co-A) وهو (2 -كربون) الذي ينضم إلى دورة كريبس. وفي هذا التفاعل:

- يتم إنتاج جزيئين من NADH و H^+.
- يتم إنتاج جزيئين من ثاني أكسيد الكربون.

يتم انتاج 2 حمض البيروفيك + 2 Co-A بجانب 2 أسيتيل Co-A بجانب 2 CO_2

المرحلة الثانية:

ينضم كل جزيء من Acetyl Co-A إلى دورة كربس حيث ينقسم Co-A الخاص به ليكرر دوره. وفي الوقت نفسه، تتحد مجموعة الأسيتيل (2-كربون) مع حمض أوكسالوسيتيك (4-كربون) لتكوين حمض الستريك (6-كربون)

يمر حامض الستريك عبر ثلاثة مركبات وسيطة ليشكل حمض الستريك مرة أخرى.

- حمض الكيتوجلوتاريك
- حمض الساكسينيك
- حمض الماليك

التنفس الخلوي

2. دورة كربس:

تسمى أيضاً دورة حمض الستريك، لأن حمض الستريك (6-كربون) هو أول مركب يتكون خلال هذه الدورة بسبب اتحاد الأستيل مرافق الإنزيم (2-كربون) مع حمض الأوكسالوسيتيك (4-كربون) لتكوين حمض الستريك (6- الكربون).

الأكسدة خلال دورة كربس:

لا تحتاج إلى الأكسجين ، حيث تتم إزالة جميع الإلكترونات والبروتونات من الهيكل الكربوني اثناء أكسدة ذرات الكربون ويتم استقبلها بواسطة NAD^+ و FAD التي يتم اختزالها إلى NADH و H^+ و $FADH_2$

في مسار دورة كربس:

- يتم إنتاج جزيئين من ثاني أكسيد الكربون.
- يتم إنتاج 1 جزيء من ATP.
- يتم إنتاج 3 جزيئات من NADH و H^+.
- يتم إنتاج جزيء واحد من $FADH_2$.

تتكرر دورة كريبس مرتين لكل جزيء جلوكوز.

ملحوظة:

يمكن لمجموعات الأستيل الناتجة عن تحطيم جزيئات الدهون أو جزيئات البروتين أن تتحد مع مرافق الإنزيم للانضمام إلى دورة كربس.

التنفس الخلوي

3. سلسلة نقل الالكترون:

في نهاية دورة كريبس، يتم نقل الهيدروجين الذي يحتوي على إلكترونات عالية الطاقة تحملها NADH + H + وFADH2 بواسطة سلسلة من مرافقات الإنزيم تسمى السيتوكرومات (حاملات الإلكترون) الموجودة في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا.

تحمل هذه السيتوكرومات الالكترونات بمستويات طاقة مختلفة. تنتقل هذه الإلكترونات عالية الطاقة من سيتوكروم إلى آخر، وفي الوقت نفسه تنحدر من مستويات الطاقة الأعلى إلى مستويات أقل. خلال ذلك، يتم إطلاق الطاقة لتكوين ATP من مجموعة ADP + A الفوسفات. وتسمى هذه العملية الفسفرة التاكسدية:

$$ADP + P + \text{طاقة} \longrightarrow ATP$$

يعتبر الأكسجين هو المستقبل الأخير للهيدروجين في سلسلة نقل الإلكترون، حيث يتحد الإلكترونين مع البروتونين وذرة أكسجين واحدة لتكوين جزيء الماء. على النحو التالي:

$$2\,e^- + 2\,H^+ + \tfrac{1}{2}\,O_2 \longrightarrow H_2O$$

يطلق كل جزيء NADH و H^+ طاقة كافية لتكوين 3 جزيئات ATP. بينما يطلق كل جزيء $FADH_2$ طاقة كافية لتكوين 2ATP.

وبناءً على ذلك، أثناء التنفس الهوائي، ينتج كل جزيء من الجلوكوز 38 جزيء ATP، يتم انتاج اثنين منها في سيتوبلازم الخلية أثناء تحلل السكر، ويتم إنتاج 36 جزيء ATP داخل الميتوكوندريا.

التنفس الخلوي

التنفس اللاهوائي:

عند نقص الأكسجين أو نقصه، تتنفس الكائنات الحية مثل البكتيريا والفطريات عن طرق التنفس اللاهوائي.

قد تتنفس بعض الخلايا النباتية والحيوانية أيضًا لاهوائيًا عند عدم توفر الأكسجين. وهذا ما يسمى أيضًا بالتخمر، وهو لا يحتاج إلى الأكسجين، ولكنه يحدث بوجود بعض الإنزيمات الخاصة.

يبدأ التنفس اللاهوائي بنفس بداية التنفس الهوائي. يتحلل جزيء الجلوكوز إلى جزيئين من حمض البيروفيك، مع تكوين جزيئين من NADH و H^+ وكمية قليلة من الطاقة (2 جزيئات ATP).

يتم تحويل حمض البيروفيك حسب نوع الخلية التي يتكون فيها:

- في حالة الخلايا الحيوانية، وخاصة الألياف العضلية، عندما تبذل العضلات مجهوداً أو تمرينات قوية، فإنها تستهلك معظم الاكسجين الموجود في خلاياها وتميل إلى تحويل حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك بعد اختزاله عن طريق الاتحاد مع الهيدروجين على NADH و H^+.

وهذا ما يُعرف بالتعب العضلي. إذا توفر الأكسجين، يتحول حمض اللاكتيك إلى حمض البيروفيك مرة أخرى ومن ثم إلى أسيتيل مرافق الإنزيم.

التنفس الخلوي

التنفس اللاهوائي:

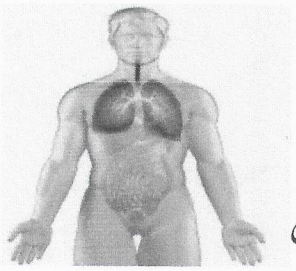
- في حالة البكتيريا، يتحول حمض البيروفيك إلى حمض اللاكتيك.

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{التخمر الحمضي}} 2C_3H_6O_3 + 2ATP$$

- في حالة فطر الخميرة، أو في بعض الخلايا النباتية، يتم اختزال حمض البيروفيك إلى كحول إيثيلي وثاني أكسيد الكربون. وتسمى هذه العملية بالتخمر الكحولي، وتستخدم في صناعة بعض المنتجات.

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{التخمر الكحولي}} 2C_5H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$$

التنفس في الكائنات الحية



التنفس في الإنسان:

1. الأنف:

يدخل الهواء الجسم عن طريق الأنف أو الفم. ويفضل من الأنف للأسباب التالية:

- هذا الممر دافئ لأنه مبطن بالعديد من الشعيرات الدموية.
- هذا الممر رطب، لأنه يفرز مخاطا.
- يعمل هذا المقطع بمثابة مرشح، لأنه يحتوي على شعيرات تعمل بمثابة مرشح.

2. البلعوم:

البلعوم هو ممر مشترك للهواء و الغذاء.

3. الحنجرة:

تُعرف الحنجرة باسم صندوق الصوت.

4. القصبة الهوائية:

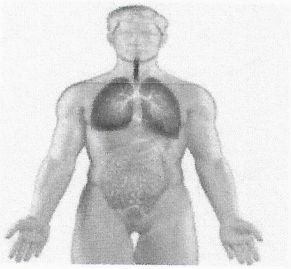
يدخل الهواء إلى القصبة الهوائية من خلال الحنجرة.

يحتوي جدار القصبة الهوائية على سلسلة من الحلقات الغضروفية التي تمنع جدار القصبة الهوائية من الانهيار، وبالتالي تحافظ على ممر مفتوح للهواء.

السطح الداخلي للقصبة الهوائية مبطن بأهداب تنبض للأعلى لتكوين تيارات هوائية ومخاطية. مما يعيق دخول الأجسام الغريبة الصغيرة وينقلها إلى البلعوم حيث يمكن ابتلاعها

تنقسم القصبة الهوائية في نهايتها السفلية إلى قصبتين هوائيتين.

التنفس في الكائنات الحية



التنفس في الإنسان:

5. الرئتان:

تدخل كل قصبة هوائية إلى الرئة، حيث تنقسم إلى قصيبات أصغر وأصغر تدريجيًا.

تنفتح كل قصبة في النهاية على واحدة من الحويصلات الهوائية العديدة (الأكياس الهوائية)، والتي وجد منها حوالي 600 مليون في كل رئة.

- تشكل الرئة مجموعة كاملة من الحويصلات الهوائية والقصبات الهوائية المرتبطة بها، بالإضافة إلى شبكة ضخمة من الشعيرات الدموية. لكل حيوان، وكذلك الإنسان، رئتان، الرئة اليمنى والرئة اليسرى.

التنفس في الكائنات الحية

التنفس في النبات:

يمتص النبات الأخضر الطاقة الضوئية من الشمس ويحولها إلى طاقة كيميائية من خلال عملية التمثيل الضوئي لتخزينها على شكل جزيئات عضوية معقدة عالية الطاقة (الجلوكوز).

كلما احتاج النبات إلى الطاقة للقيام بأحد انشطته الحيوية، فإنه يطلق هذه الطاقة ببطء في سلسلة من التفاعلات التي تشمل تكسير الروابط الكربونية للمواد العضوية.

هذه هي عملية التنفس في النبات . في حالة وجود الأكسجين، يحدث التنفس الهوائي، وإذا غاب الاكسجين يسمى التنفس اللاهوائي

التبادل الغازي:

1. في معظم النباتات:

كل خلية حية على اتصال مباشر مع البيئة الخارجية وبالتالي يكون تبادل الغازات سهلا.

ينتشر غاز الاكسجين إلى داخل الخلية، بينما ينطلق ثاني أكسيد الكربون إلى خارج الخلية.

التنفس في الكائنات الحية

التبادل الغازي:

2. في النباتات الوعائية:

التي هي معقدة في البنية، يصل الاكسجين إلى الخلايا عبر طرق مرور مختلفة:

الثغور:

حيث ينتشر الهواء عبر الثغور إلى الغرف الهوائية، ثم إلى جميع الفراغات بين الخلايا في أجزاء النبات المختلفة. ثم ينتشر الاكسجين عبر أغشية الخلايا ويذوب في ماء الخلية.

اللحاء:

حيث يتم نقل بعض الاكسجين إلى اللحاء المذاب في الماء، فيصل إلى أنسجة الساق والجذر.

الجذور:

يدخل الاكسجين إلى النبات من خلال الجذور، وهو قابل للذوبان في الماء في محلول التربة الذي تمتصه شعيرات الجذر أو يتشربه جدار الخلية.

إذا كان الساق أخضر:

ينتشر الاكسجين إلى الأنسجة الجذعية من خلال الثغور التي تنتشر على سطحها.

إذا كان الساق خشبيًا:

ينتشر الاكسجين إلى أنسجة الجذع من خلال العدس أو أي شقوق في اللحاء. بمثابة مدخل للاكسجين.

التنفس في الكائنات الحية

التخلص من ثاني أكسيد الكربون بالنبات :

1. **عن طريق الانتشار المباشر:**
عن طريق الخلايا النباتية التي تتعرض مباشرة للبيئة الخارجية حيث ينتشر ثاني أكسيد الكربون في الهواء أو التربة.

2. **الخلايا الموجودة في عمق النبات:**
يتم تمرير ثاني أكسيد الكربون إلى أنسجة الخشب أو اللحاء، ثم تقوم هذه الأنسجة بحمل ثاني أكسيد الكربون بدورها إلى الثغور وفي النهاية إلى الخارج.

يتم طرد ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تنفس النبات إلى البيئة الخارجية عن طريق الانتشار المباشر من الخلايا النباتية المعرضة مباشرة للبيئة الخارجية.

بينما في الخلايا عميقة الجذور، يحدث التبادل الغازي عن طريق الانتشار المتبادل لثاني أكسيد الكربون مقابل نسيج الخشب والأوعية أو أنسجة اللحاء التي تمر ثاني أكسيد الكربون مقابل الثغور، ثم إلى الغلاف الجوي الخارجي.

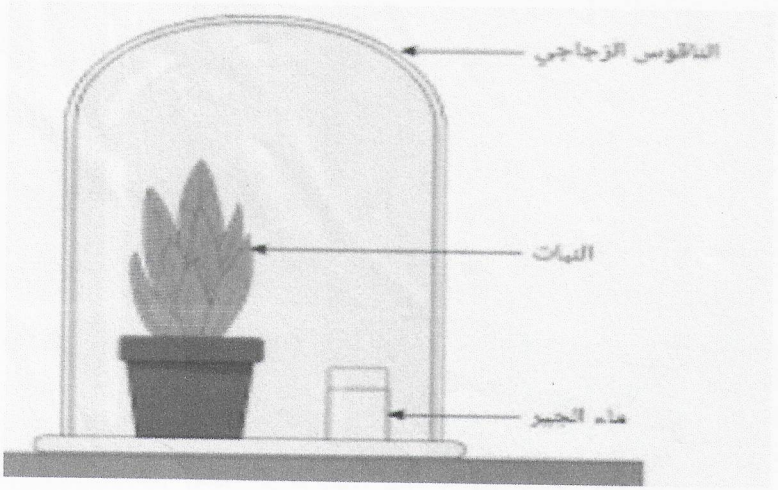
التنفس في الكائنات الحية

التجربة:

التنفس في الأجزاء النباتية الخضراء:

1. الخطوات:

- خذ نباتًا أخضر محفوظًا في أصيص وضعه على طبق زجاجي مع كوب صغير يحتوي على ماء الليمون الصافي. اقلب الجرس الزجاجي فوق الاثنين. ثم قم بتغطية الجرة بقطعة قماش سوداء.
- قم باعداد جهاز مماثل، مع وعاء فارغ من أي نبات مزروع.
- ضع بعض ماء الليمون الصافي في كوب صغير، واتركه معرضاً للهواء الجوي.
- اترك الجهازين والكأس التي بينهما لبعض الوقت.



2. الملاحظة:

يتعكر ماء الجير
في الخطوة 1 فقط.

3. التفسير:

في (1)، يتنفس النبات الأخضر الموجود في الوعاء وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون، مما يسبب تعكر ماء الجير في الدورق. تم تغطية الجرس بقطعة قماش سوداء وذلك لإبعاد الضوء عن النبات ولإيقاف عملية التمثيل الضوئي

مكتبة A to Z