

Ecosystems & Ecophysiology – Lecture 7

Metabolism

الأيض

الأيض أو عملية التمثيل الغذائي هي مجموعة من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الكائنات الحية على المواد الغذائية المختلفة بواسطة العوامل الإنزيمية بغرض الحصول على الطاقة أو بناء الأنسجة . فبالغذاء توفر الكائنات الحية لنفسها المركبات التي تبني منها مادتها الحية، وتعوض بها التالف أو المستنفد منها كما تتم الاستفادة من المواد الغذائية في الحصول على الطاقة اللازمة للقيام بالأنشطة الحيوية المختلفة سواء كانت هذه الكائنات ذاتية التغذية (Autotrophs) كالنباتات، أو عضوية التغذية (Heterotrophs) كالإنسان والحيوانات. فالنباتات تقوم بعملية البناء الضوئي (Photosynthesis) باستخدام ثاني أكسيد الكربون والماء و الطاقة الضوئية منتجة الأوكسجين الذي يتصاعد إلى الجو ومركب عضوي بسيط سرعان ما يتحول إلى كلوكوز.

وينقسم التمثيل الغذائي إلى:

1- **التفويض أو الأيض الهدمي Catabolism** : حيث يتم تكسير المواد الغذائية الرئيسية سواء

كانت كربوهيدرات أو بروتينات أو دهون خلال طرق مختلفة من التفاعلات الحيوية إلى جزيئات بسيطة ويتم خلال ذلك الحصول على الطاقة.

2- **الابتناء أو الأيض البنائي Anabolism** : الجزيئات البسيطة الناتجة من عملية الهدم

يمكن استخدامها كنواة لبناء مواد أكثر تعقيدا سواء كانت بروتينية أو أحماض نووية من خلال سلسلة من التفاعلات وذلك لبناء الأنسجة وتستهلك الطاقة في تلك التفاعلات.

تأخذ عمليات البناء والهدم مسارات مختلفة من ناحية التفاعلات الحيوية داخل جسم الكائن الحي، يتم فيها تحويل المواد الكيميائية عن طريق سلسلة من الأنزيمات. هذه الأنزيمات هي حاسمة لعملية التمثيل الغذائي حيث تعمل كمحفزات للسماح لهذه التفاعلات على المضي قدما بسرعة وكفاءة. أحد السمات البارزة في عملية الأيض هو التشابه في المسارات الأيضية الأساسية بين كائنات تختلف اختلافا شاسعا عن بعضها البعض. معظم الهياكل التي تشكل الحيوانات والنباتات والميكروبات مصنوعة من **ثلاث فئات أساسية من الجزيئات** : الأحماض الأمينية، الكربوهيدرات، والدهون. وتتركز وظيفة التمثيل الغذائي في استخدام هذه الجزيئات في بناء

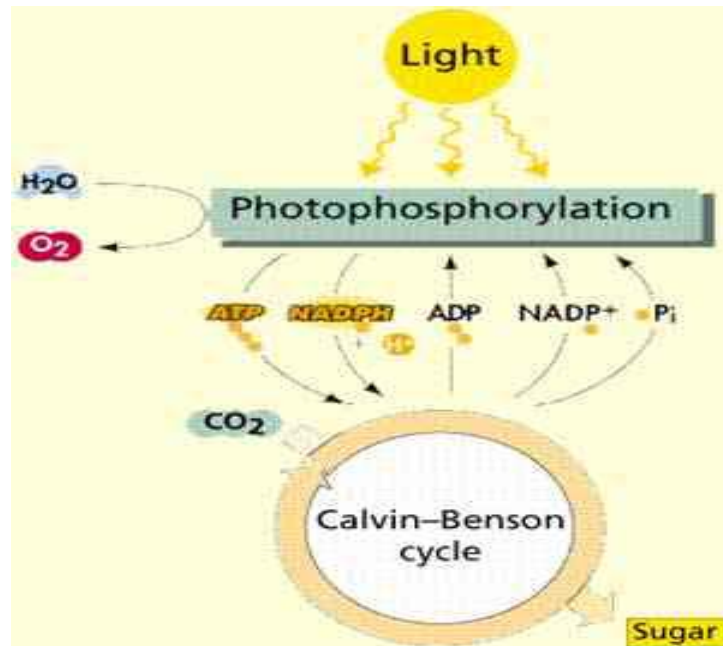
الخلايا والأنسجة، أو تقسيمها واستخدامها كمصدر للطاقة. ويمكن أن تجتمع هذه المواد الكيميائية لتشكيل بوليمرات مثل الحمض النووي والبروتينات.

١ - الإبتناء أو الأيض البنائي (Anabolism)

تبدأ عمليات الأيض البنائي في الكائنات ذاتية التغذية مثل النبات الأخضر بعملية البناء الضوئي التي توفر المركبات التي تؤدي إلى بناء الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والأحماض النووية والفيتامينات. أما في الكائنات عضوية التغذية فبتغذيتها على الكائنات ذاتية التغذية وحصولها على هذه المركبات فإنها تقوم بهضمها وأمتصاص نواتج الهضم لتقوم بعد ذلك ببناء ما تحتاجه من كربوهيدرات ودهون وبروتينات وأحماض نووية. وبالتالي فإن عمليات الإبتناء تشمل ما يلي:

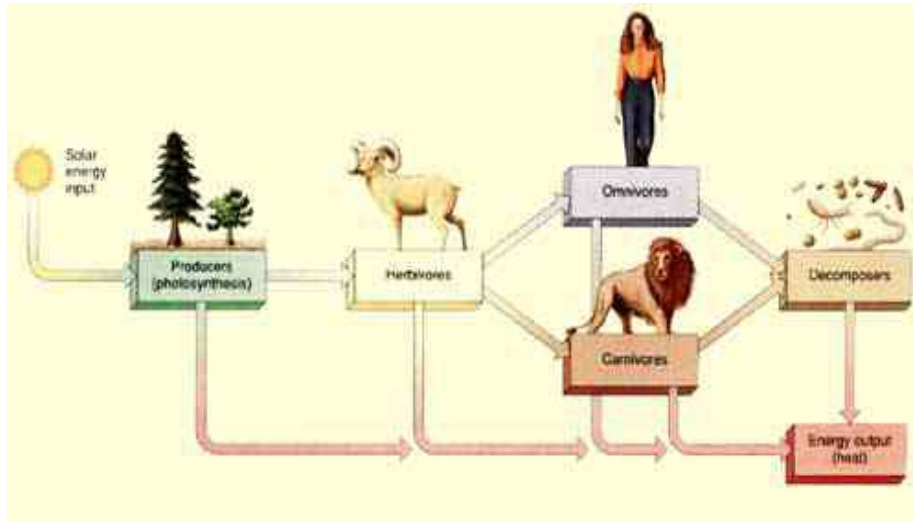
• البناء الضوئي (Photosynthesis)

بناء المواد الكاربوهيدراتية carbohydrate synthesis أو البناء الضوئي photosynthesis عبارة عن العملية التي تبنى فيها الخلايا النباتية الخضراء مواد كاربوهيدراتية معينة من ثاني أكسيد الكربون والماء في وجود الطاقة الضوئية وفيها يتصاعد الأوكسجين كناتج ثانوي هذا ويمكن تعريف البناء الضوئي أيضا بأنها عملية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية تستغل في بناء المواد كاربوهيدراتية.



أهميتها

أن معظم الكائنات الحية تعيش علي حساب الثروة المادية والطاقة علي الأرض في كل صورها ومصدرها الوحيد هو الشمس . وأهم مصنع يستطيع تحويل الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس الي طاقة كيميائية هو النبات الأخضر و الذي يقوم بتخزين الطاقة في صورة مركبات عضوية معقدة يتكون منها تركيبية الخلي و كذلك يستغل تلك المركبات العضوية في بناء جسم الحيوانات و الذي يقوم الأخير بأكسديتها و تحويلها الي طاقة حركية و طاقة تستغل في النشاط الحيوي لهذه الكائنات الحية والتي تنتهي جميعها بالموت والتحلل المايكروبي الي العناصر الأساسية التي يمتصها النبات مرة أخرى ليعيد بناء المركبات العضوية من المواد البسيطة الممتصة من التربة بالاضافة للمتكونة من عملية البناء الضوئي.



• تكوين الكربوهيدرات: (Carbohydrate Synthesis)

يتم تكوين الكربوهيدرات المختلفة في أي كائن بواسطة الكلوكوز. يعتمد الحيوان على النباتات في توفير الغذاء اللازم لنفسه فإنه يحصل على الكلوكوز بطريق مباشر أو غير مباشر من النبات . يبدأ بناء الكربوهيدرات مع امتصاص الكلوكوز عبر جدران الامعاء الي الدم فيحمل البعض منه الي مختلف أنحاء الجسم حيث يتم بناءه، في حين يتم تخزين البعض الآخر في الكبد والعضلات علي شكل سكر أو كلايوجين وتتفكك بعض ذلك عند الحاجة . يتفسر الكلوكوز بمجرد دخوله الخلايا ويتحول بعد ذلك بتفاعله مع ثلاثي فوسفات اليورادين (UDP) مركب يشبه ATP من حيث الوظيفة الي ثلاثي فوسفات اليورادين- الكلوكوز. (Glucose-UDP). يؤدي UDP-الكلوكوز بعد ذلك الي تكوين كل أنواع الكربوهيدرات التي يحتاجها الكائن.

عندما يقل معدل الجلوكوز في الدم كنتيجة لمختلف النشاطات الحيوية فان الكبد يقوم بالخطوة التالية:



وعندما يرتفع معدل الجلوكوز في الدم كنتيجة تناول الطعام فانه يحدث العكس كما في الخطوة التالية.



يحول الفائض من الكربوهيدرات إلى دهون (Fats). كما يمكن تحويل الدهون إلى كربوهيدرات في حالة تناقص المخزون من النشا الحيواني.

• تكوين الدهون (Lipids Synthesis):

المركب الذي يبدأ به تكوين الدهون هو أسيتيل مرافق الإنزيم (Acetyl-CoA). وهناك بعض الأحماض الدهنية التي تعرف بالأحماض الدهنية الضرورية التي لا يستطيع الحيوان تكوينها بهذه الطريقة بل يعتمد على النبات في توفيرها له.

• تكوين البروتين (Protein Synthesis):

تتكون كل البروتينات كما هو معروف من أحماض أمينية. يتم تكوين الأحماض الأمينية في الخلية عن طريق النقل الأميني. حيث تتفاعل مجموعة أمين (NH_2) مع حامض كيتوني ويكون مصدر مجموعة الأمين NH_2 في النبات هي مجموعة النترات، أما الحيوان فيكون مصدرها الأحماض الأمينية. هناك بعض الأحماض الأمينية التي لا يمكن للحيوان أن يكونها، تعرف هذه الأحماض بالأحماض الأمينية الضرورية ولذا يجب توافرها في غذائه والذي يكون مصدرها النبات بطريق مباشر أو غير مباشر.

2- الانتقاض أو الأيض الهدمي (Catabolism)

هو تحليل الكائنات الحية للجزيئات العضوية المعقدة مثل النشا والبروتين والدهون إلى جزيئات بسيطة لإنتاج الطاقة (ATP) المختزنة في هذه المركبات المعقدة.

1-انتقاض الكربوهيدرات:

تعتبر الكربوهيدرات المصدر الرئيسي للطاقة في جميع الكائنات الحية. ويعتبر سكر الكلوكوز من ابسط الجزيئات الذي تحصل منه الخلايا على الطاقة اللازمة لإتمام نشاطاتها الحيوية المختلفة. وتعرف عملية أكسدة الكلوكوز وهدمه إلى جزيئات بسيطة و إنتاج الطاقة بعملية التنفس الخلوي (Cellular respiration). وتتوقف طريقة إنتاج الطاقة وكميتها من الكربوهيدرات على طريقة التنفس المتبعة في الكائن الحي. وهناك طريقتين للتنفس وهما:
-التنفس اللاهوائي (التخمير) الكائنات الدقيقة ، العضلات وهو يتم بدون الأوكسجين .
-التنفس الهوائي جميع الكائنات الراقية ، وهو يتطلب وجود أوكسجين.

ويمر تقويض الكلوكوز بمرحلتين:

الأولى : تدعى تحلل السكر وتتم بدون الأوكسجين. وفي تحلل السكر يتحطم الكلوكوز إلى حمض البيروفيك ويطلق كمية بسيطة من الطاقة. أما إذا كان الأوكسجين موجوداً فإن حامض البيروفيك يتم تحويله إلى مركب يُدعى أسيتيل مرافق الإنزيم . وتبدأ المرحلة الثانية من عملية تقويض الكلوكوز، التي تدعى دورة كربس. وفي دورة كربس تحدث سلسلة من التفاعلات الكيميائية، التي تقوم بدمج أسيتيل مرافق الإنزيم مع الأوكسجين لإنتاج ثاني أكسيد الكاربون والماء، والحصول على الطاقة.

ولحساب الطاقة:

عند انتقاض جزيئة كلوكوز يكون ناتج الطاقة = أربعة جزيئات من ATP يستهلك جزيئين ويبقى الصافي جزيئين ATP

عند انتقاض النشا الحيواني فيتم أستهلاك جزيئة واحدة ATP ويبقى محصول الصافي ثلاثة جزيئات من ATP

يتم أكسدة $NADH_2$ إلى NAD عند تحول حامض البايروفيك إلى الحامض اللبني أو إلى CO_2 و كحول .

2-انتقاض الدهون

تشتمل عملية تحطيم الحوامض الدهنية على مرحلتين أيضاً.

تقوم الخمائر بتحويل الحوامض الدهنية إلى أسيتيل مرافق الإنزيم ، الذي يدخل بعد ذلك إلى دورة كربس . ومع أن الحوامض الأمينية تُستخدم بشكل عام كقواطع لبناء البروتينات الجديدة،

إلا أنَّ الجسم قد يَسْتَعْمِد كميَّة زائدة عن الحاجة من الحوامض الأمينية كمصدر للطاقة. ويجب تغيير هذه الحوامض الأمينية بشكل كيميائي في الكبد والأنسجة الأخرى قبل أن يتم تحطيمها، و بعد ذلك يمكنها أن تُدخَلَ دورة كربس. وتتخذ 60% من الطاقة المطلقة أثناء عملية التقويض شكل الحرارة، أمَّا الطاقة المتبقية فيتم تخزينها في الروابط الكيميائية التي تربط ما بين الذرات في مركب يدعى ثالث فوسفات الأدينوسين أو (ATP). وعندما يحتاج الجسم إلى هذه الطاقة تقوم الإنزيمات بتحطيم الروابط وتحرير الطاقة.

ضبط الأيض

تتحكم الهرمونات في معدل و اتجاه الأيض. ويحدد هورمون تفرزه الغدة الدرقية معدل الأيض. أما الهرمونات التي تفرزها خلايا خاصة في البنكرياس فإنها تحدّد ما إذا كان معظم النشاط الأيضي للجسم سيكون بنائياً أو هدمياً. ويقوم الجسم بأنشطة بنائية أكثر منها هدمية، بعد تناول كل وجبة. فالأكل يزيد من نسبة الكلوكوز في الدم، فيقوم البنكرياس بالاستجابة لهذا الارتفاع، بإفراز هورمون الإنسولين. ويقوم الإنسولين بتحفيز الخلايا للبدء بعملية البناء. وعندما تكون نسبة الكلوكوز في الدم منخفضة - عند الإنسان الصائم على سبيل المثال - فإن البنكرياس يفرز هورمون الكلوكاجين. ويحفز هذا الهرمون الخلايا للقيام بالمزيد من عمليات الهدم.

يُدعى معدل الأيض Metabolic rate في حالة الشخص السليم معدل الأيض الأساسي basal metabolism rate (BMR)، وهو مقياس الحرارة التي ينتجها الأيض أو السرعة التي يحرق بها الجسم الطاقة من أجل القيام بالوظائف الحيوية الأساسية. ويختلف هذا المعدل من شخص لآخر تبعاً للجنس والعمر وحجم الجسم. ويقوم علماء الغذاء بمعدل الأيض الأساسي، لتحديد حاجة الشخص من السعرات الحرارية. وقد استخدم الأطباء في وقت من الأوقات معدل الأيض الأساسي، لاكتشاف زيادة أو نقص إفراز الغدة الدرقية. ومنذ السبعينيات من القرن العشرين، تمكّن الأطباء - بشكل عام - من تشخيص هذه الاختلالات، بواسطة فحوص تقيس مستوى هورمونات الغدة الدرقية في الدم. والمعروف ان الجسم يقوم بحرق الجزء الأكبر من الوحدات الحرارية دون القيام بالتحرك. أما إذا كنا نحتاج إلى تحريك عضلاتنا والقيام بمجهود عضلي وتمارين رياضية أساسية فإن أجسامنا تحتاج إلى طاقة إضافية، وتختلف كمية هذه الطاقة باختلاف درجة نشاطنا.

هناك عوامل كثيرة تحدد من خلالها سرعة الأيض، ومن هذه العوامل ما يأتي :

1- حجم الجسم وحجم العضلات فيه.

2- عمر الإنسان

3-الجنس.

4- مستوى النشاط.

5- حرارة الجسم والنخاع.

وغالبا ما يكون الأيض الأساسي أسرع لدى الشباب منه لدى المتقدمين في السن. ولدى الأشخاص الذين يمارسون الرياضة أكثر من الأشخاص الذين لا يمارسون الرياضة.

أهمية الرياضة في عملية تسريع الأيض

تلعب الرياضة (بمختلف أنواعها) دورا فعالا ومهما في عملية تسريع الأيض. فحالما نقوم بممارسة الرياضة فإننا نؤدي إلى زيادة عملية نبضات القلب، فبذلك نقوم بحرق الوحدات الحرارية، وذا مارسنا الرياضة لمدة تتراوح ما بين 20 و 30 دقيقة فإننا نجد صعوبة في الكلام والتحدث براحة فإن سرعة الأيض ستضل مرتفعة لمدة ساعات حتى بعد الانتهاء من أداء التمارين.

كما بينت دراسة علمية في الولايات المتحدة بأن الأشخاص الذين يمارسون أو يكثرون من عملية الحركة والتنقل يحرقون يوميا ما يعادل 400 وحدة حرارية. وذلك عن طريق المشي في المنتزهات والمزارع أو الأماكن الطبيعية من اجل حرق وزيادة سرعة الأيض مما يجعلنا نحرق وحدات حرارية أكثر.

Heat Production (HP)

أنتاج الحرارة

من المعروف أن الحيوان لا يخزن الحرارة داخل الجسم ، وسبق أن عرفنا أن هناك كمية من الحرارة ينتجها الحيوان أثناء قيامه بالعمليات الحيوية في الجسم وهو النشاط اللاإرادي (دورة دموية ، تنفس) هذه الحرارة يفقدها الحيوان خارج الجسم بالطرق المعروفة ، وهذه الحرارة أو الطاقة من الناحية العلمية يفقدها الحيوان من طاقة الغذاء الممتلئة (ME) metabolic energy ونحصل بعد ذلك على الطاقة الصافية (NE) net energy والتي سوف يستفيد منها الحيوان في

تغطية احتياجاته المختلفة. ويمكن تقدير معدل الايض الاساسي بالسعرات الحرارية أي كمية الحرارة المنبعثة من الجسم اما مباشرة او بصورة غير مباشرة بإحدى الطرق التالية :

Calorimetry Direct

1- التسعير المباشر

ويستعمل في ذلك المسعر الحيواني **Animal Calorimeter** وهو عبارة عن غرفة ذات جدران معزولة ومزودة بأجهزة دقيقة تسجل أى تغيير في درجة الحرارة حول الحيوان، وفكرة التقدير تعتمد على أن كل الحرارة الخارجة من الحيوان بالطرق المختلفة (ملامسة ، إشعاع ، تبخير) تسجل بواسطة تلك الأجهزة الدقيقة .
هذه الحرارة Heat التي تم تسجيلها تعبر عن كمية الإنتاج الحراري للحيوان وبخصم قيمتها من قيمة الطاقة القابلة للتمثيل ME الخاصة بالغذاء الذي تناوله الحيوان نحصل على قيمة الطاقة الصافية (النافعة) NE للغذاء .

2- التسعير غير المباشرة Indirect Calorimetry

أن المركبات الغذائية التي يحصل عليها الحيوان من غذائه ومن ثم يقوم بأكسدتها داخل الجسم للحصول على الطاقة اللازمة له هي عبارة عن المركبات العضوية المعروفة (كربوهيدرات ، دهون ، بروتين). وتمثل التسعير غير المباشرة حساب كمية الحرارة المنبعثة من الجسم بواسطة قياس كمية الاوكسجين المستهلك لان الاوكسجين يستعمل جميعه لحرق المواد الغذائية وتحرر الطاقة وهناك أجهزة مختلفة للتسعير غير المباشر على درجات متباينة من التعقيد والدقة وابطسها جهاز قياس معدل استهلاك الاوكسجين oxygen consumption apparatus ، وهو يستعمل لقياس معدل التمثيل الغذائي للحيوانات الصغيرة .

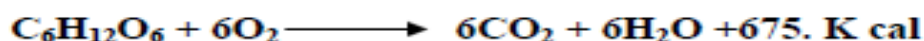
معامل التنفس (RQ) Respiratory quotient

يعرف معامل التنفس علي أنه النسبة بين حجم CO₂ المنطلق من عملية التنفس إلي حجم الأوكسجين O₂ المستهلك في العملية . ويلاحظ اختلاف معامل التنفس

$$RQ = \frac{\text{Volume of CO}_2 \text{ evolved}}{\text{Volume of O}_2 \text{ Consumed}}$$

باختلاف المادة الأساسية المستهلكة أثناء عملية التنفس كما هو واضح من الأمثلة التالية:

في حالة استخدام المواد الكربوهيدراتية كمادة للتنفس . يلاحظ أن معامل التنفس يساوي 1 أي أن كمية CO_2 المنطلقة تساوي كمية O_2 المستهلكة في عملية التنفس وذلك عند حدوث الأكسدة الكاملة.



$$RQ = \frac{6 CO_2}{6O_2} \quad (1)$$

يلاحظ أن النسبة بين الكربون والأوكسجين في جزيئة الكلوكونز 1:1

في حالة استخدام الدهون كمادة للتنفس فإن معامل التنفس يكون أقل من الوحدة حيث أن جزيئة الدهن يحتوي علي نسبة عالية من الكربون ونسبة ضئيلة من O_2 وعلي ذلك فإنه يحتاج إلي كمية كبيرة من O_2 لإتمام عملية الأكسدة.



$$RQ = \frac{51CO_2}{72.5O_2} = 0.7$$

ولذلك فإنها تحتاج إلي قدر ضئيل من O_2 الخارجي لإتمام عملية الأكسدة ويزداد معامل التنفس عن الوحدة كما في حامض المالك



$$RQ = \frac{4CO_2}{3O_2} = 1.33$$