شارح: التمثيل الغذائي

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نُعرِّف مصطلحات الأَيْض والبِناء والهدْم، ونَصِف أمثلة لتفاعلات البناء والهدْم.

يُشير مصطلح التمثيل الغذائي (الأيض) إلى جميع التفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلية أو جسم. تحدث التفاعلات الأيضية في جميع الخلايا طوال الوقت.

مصطلح رئيسي: التمثيل الغذائي (الأيض)

يَصِف التمثيل الغذائي (الأيض) جميع التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل أجسام الكائنات الحية للبقاء على قيد الحياة.

وهناك نوعان من التفاعلات الأيضية: البناء والهدم.

في تفاعلات البناء، تُبنى جزيئات كبيرة من جزيئات أصغر. وتتطلَّب هذه العمليات طاقة في صورة جزيء يُسمَّى ATP. أما تفاعلات الهدم، فهي تكسِّر الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر. وتُطلِق هذه العمليات جزيئات ATP.

مصطلح رئيسي: البناء

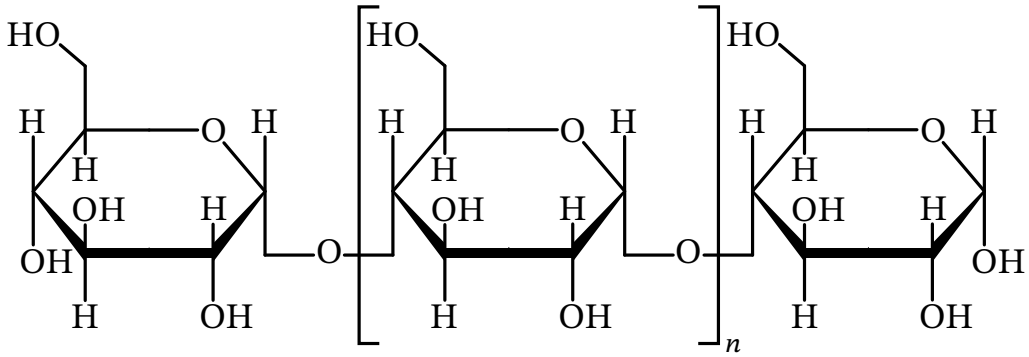
البناء هو عملية تكوين جزيئات من وحدات أصغر خلال التفاعلات الأيضية. وتتطلَّب عملية البناء وجود جزيئات ATP.

مصطلح رئيسي: الهدم

الهدم هو عملية تكسير الجزيئات إلى وحدات أصغر خلال التفاعلات الأيضية. وتُطلِق عملية الهدم جزيئات ATP.

نُلقي نظرةً على بعض أمثلة تفاعلات الهدم.

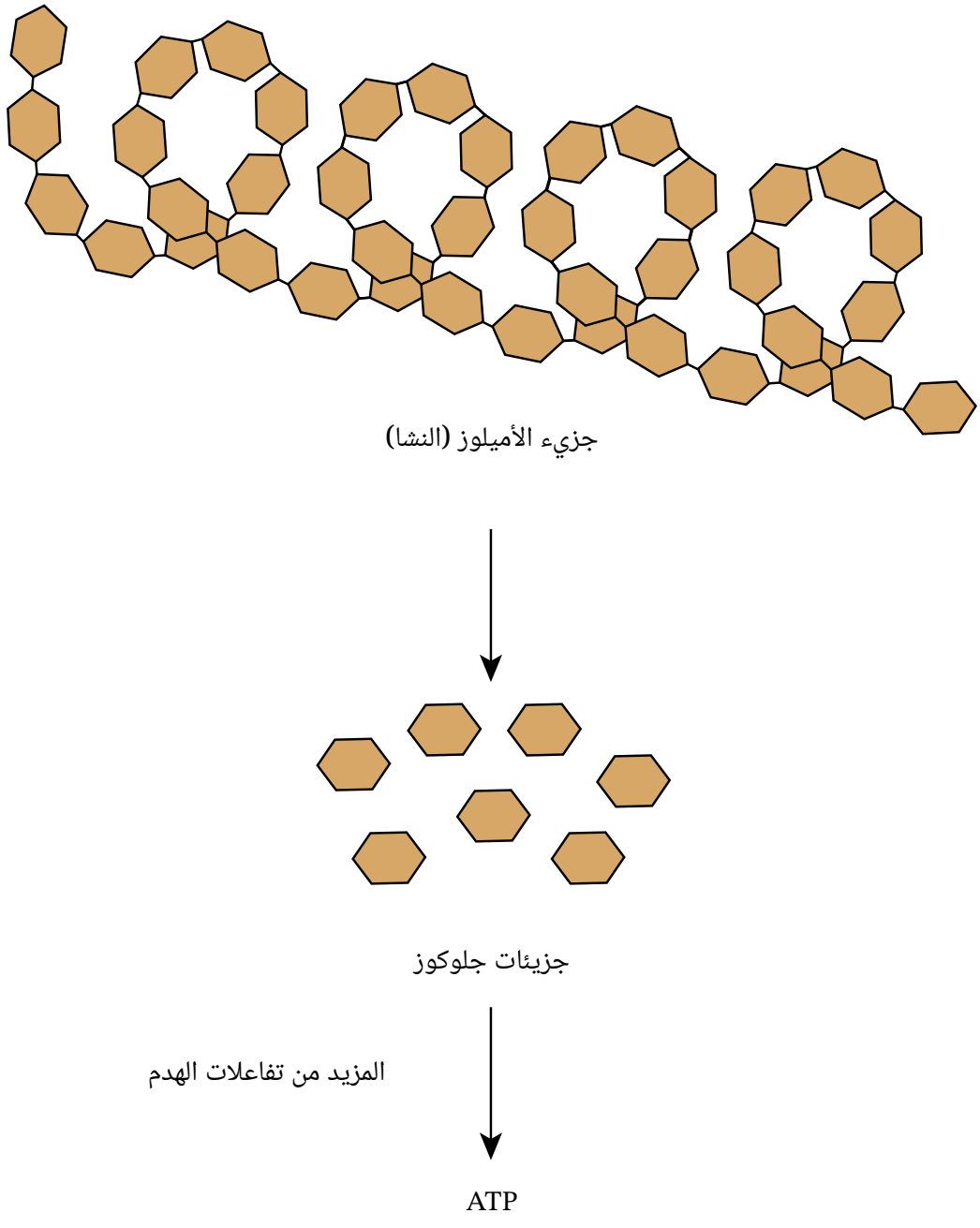
تحتوي المواد الغذائية، مثل الخبز والمكرونة والبطاطس، على الكثير من الجزيئات الحيوية الكبيرة المُسماة بالكربوهيدرات. والنشا أحد الكربوهيدرات التي عادةً ما تكون موجودة في البطاطس. يوضِّح الشكل 1 مخطَّطًا أساسيًّا لتركيب جزء من جزيء النشا.



شكل 1: شكل يوضِّح التركيب الكيميائي لجزء من جزيء النشا (الأميلوز). النشا عبارة عن بوليمر حيوي كبير يتكوَّن من العديد من جزيئات الجلوكوز المتكرِّرة.

في الشكل 1، يمكنك رؤية ثلاثة مونومرات من الجلوكوز تتحد معًا لتكوين النشا. في الواقع، يوجد المئات (أو حتى الآلاف) من مونومرات الجلوكوز في جزيء النشا الواحد. ولفهم هذا المخطَّط بشكل أوضح بصريًّا، أُشيرَ إلى المونومر المركزي الواقع بين القوسين بـ n؛ ليمثِّل عدد مونمرات الجلوكوز التي تقع بين المونومرين الخارجيين.

لا يمكن لأجسامنا الاستفادة من النشا عندما يكون في هذه الصورة. ولكي يكون مفيدًا حقًّا لخلايانا، يجب تكسير النشا إلى وحداته الفرعية أو المونومرات. هذه المونومرات عبارة عن تكرارات متعدِّدة لجلوكوز السكر البسيط. يوضِّح الشكل 2 تكسير النشا إلى جلوكوز، وهو مثال على تفاعل الهدم.



شكل 2: شكل يوضِّح تكسير الأميلوز (شكل من أشكال النشا) إلى جزيئات الجلوكوز المكوِّنة له. تُطلِق هذه العملية الطاقة على شكل ATP، وهي مثال على تفاعل الهدم.

يمكن أن يتعرَّض جزيء الجلوكوز الذي يُنتَج بهذه الطريقة إلى مزيد من تفاعلات الهدم. أثناء عملية التنفس الخلوي، يتكسَّر الجلوكوز ليُطلِق طاقة في صورة جزيئات ATP. يحدث هذا في ظل وجود الأكسجين (التنفس الهوائي) في الميتوكوندريا، أو في السيتوبلازم في حالة عدم وجود الأكسجين (التنفس اللاهوائي).

تفاعل: التنفس الخلوي الهوائي

جلوكوز + أكسجين ⟵ ثاني أكسيد الكربون + ماء + (+ طاقة)

وكما نلاحظ من خلال هذه الأمثلة، تفاعلات الهدم هي تلك التفاعلات التي تكسِّر الجزيئات إلى وحدات أصغر.

مثال ١: تصنيف التفاعلات الأيضية إلى تفاعلات بناء أو هدم

تراكم الأحماض الأمينية قد يكون سامًّا لجسم الإنسان. لتجنُّب ذلك، تُزال مجموعة الأمين من الأحماض الأمينية، التي تُحوَّل بعد ذلك إلى جزيء غير سام نسبيًّا ويتم إخراجها مع الفضلات. هل تُعَد إزالة مجموعة الأمين باعتبارها تفاعلًا أيضيًّا مثالًا على تفاعل بِناء أم تفاعل هدم؟

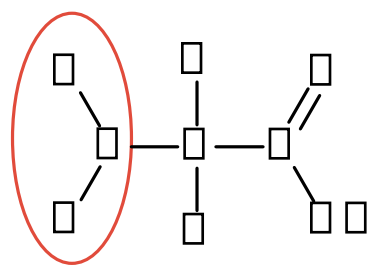
الحل

لمساعدتنا في الإجابة عن هذا السؤال، علينا أولًا أن نفهم بعض المصطلحات الرئيسية. يَصِف التمثيل الغذائي (الأيض)، أو التفاعلات الأيضية، جميع التفاعلات الكيميائية التي تحدث في جسم أو خلية الكائن الحي. وعملية الأيض هذه هي المسئولة عن بقائنا على قيد الحياة ومنح جسدنا القدرة على أداء وظائفه.

يمكن أن نقسِّم التفاعلات الأيضية إلى فئتين: تفاعلات بناء وتفاعلات هدم. تفاعلات البناء هي التي تَبني جزيئات كبيرة من جزيئات أصغر. ومن جهة أخرى، تفاعلات الهدم هي التفاعلات التي تتكسَّر فيها الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر.

نُلقي نظرة الآن على المثال المُعطى في السؤال.

يوضِّح المخطط الآتي تركيب الحمض الأميني البسيط، ومجموعة الأمين محاطة بدائرة.



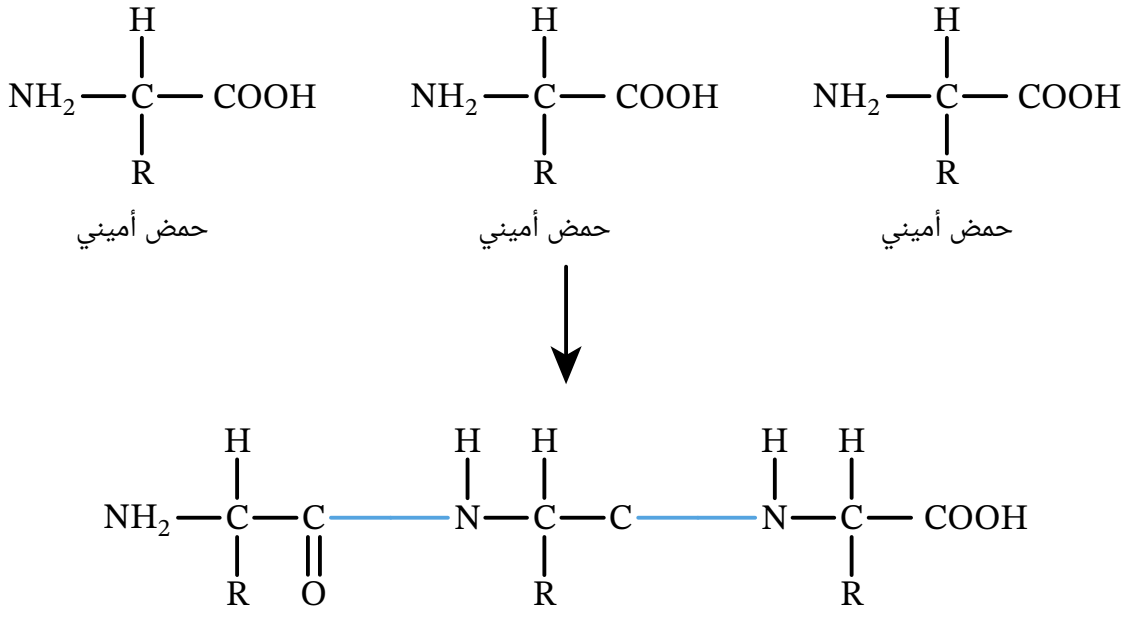
يَصِف السؤال عملية نزع الأمين، وهي إزالة مجموعة الأمين هذه. ولأننا نأخذ جزيئًا ونُزيل أحد مكوِّناته، يمكننا اعتبار أن هذا التفاعل ينتمي إلى فئة التمثيل الغذائي (الأيض) التي تُعنى بتكسير الجزيئات.

لذلك، فإن الإجابة الصحيحة هي الهدم.

لكن ماذا عن تفاعلات البناء؟ نُلقي نظرة على مثال لتفاعل بناء يحدث باستمرار في خلايا جسمك.

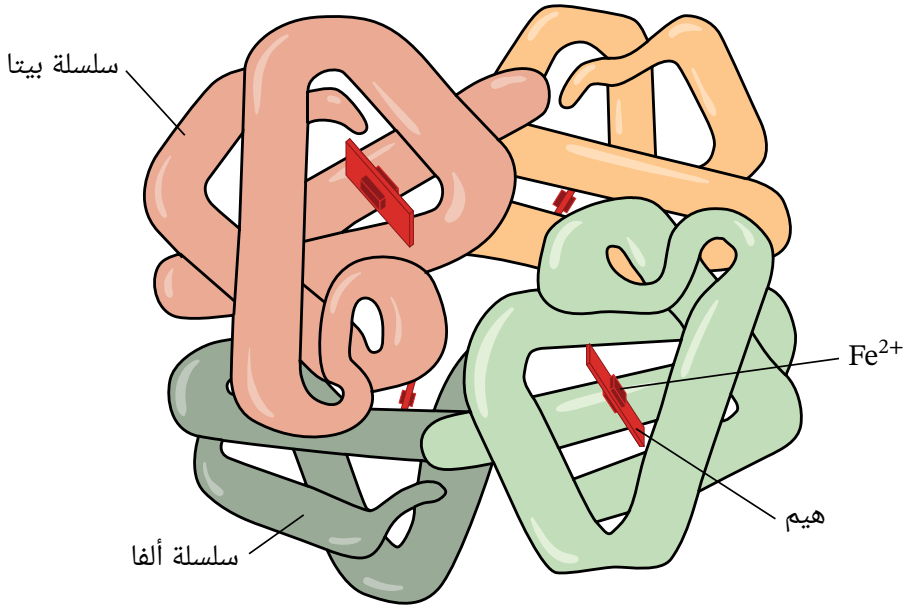
البروتينات عبارة عن جزيئات حيوية كبيرة تتكوَّن من عدة سلاسل، وتتكوَّن هذه السلاسل من العديد من الوحدات الأصغر التي تُسمَّى الأحماض الأمينية. في الخلايا، يمكن «بناء» بعض البروتينات التي نحتاج إليها من خلال ارتباط الأحماض

الأمينية معًا. ويوضِّح الشكل 3 ملخصًا بسيطًا لكيفية تكوين الروابط بين أحماض أمينية منفصلة لتكوين سلسلة عديد الببتيد. وهذا مثال على تفاعل بناء؛ حيث يتكوَّن الجزيء الأكبر من عدة وحدات أصغر.



شكل 3: شكل يوضِّح كيفية تكوين سلسلة عديد الببتيد من خلال ارتباط عدة جزيئات من الأحماض الأمينية. تتكوَّن رابطة بين COOH- لحمض أميني وNH_2- لحمض أميني آخر. وهذا مثال على تفاعل البناء.

يمكن أن تتفاعل سلاسل عديد الببتيد وتكوِّن روابط، وتُنتِج بروتينًا وظيفيًا. ومن أمثلة البروتينات التي تتكوَّن من الكثير من عديدات الببتيد المرتبطة معًا، الهيموجلوبين، ويوضِّح الشكل 4 مخططًا أساسيًا لتركيب الهيموجلوبين.



شكل 4: رسم مبسَّط لجزيء الهيموجلوبين. الهيموجلوبين مثال لبروتين يتكوَّن من عدة سلاسل من عديد الببتيد. هذه السلاسل موضَّحة بأربعة ألوان مختلفة.

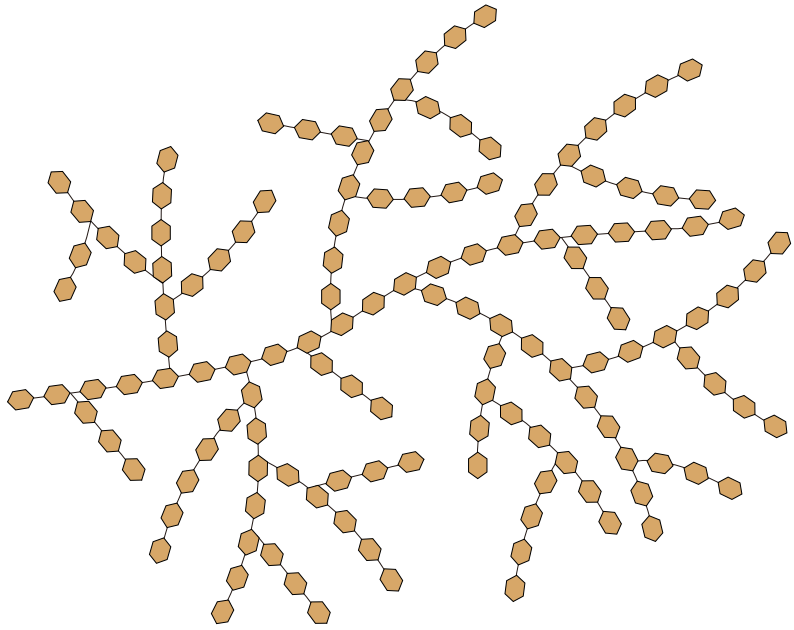
مثال ٢: تصنيف التفاعلات الأيضية باعتبارها تفاعلات بناء أو هدم

عندما يكون مستوى الجلوكوز في الدم عاليًا جدًّا، يُحوَّل الجلوكوز إلى الجليكوجين. الجليكوجين عبارة عن جزيء تخزين كبير مُكوَّن من عدة تكرارات من جزيء الجلوكوز. ما نوع التفاعل الأيضي (البناء أم الهدم) الذي يُعَد هذا مثالًا عليه؟

الحل

يُشير مصطلح «الأيض» إلى جميع التفاعلات الكيميائية التي تحدث في خلايا الجسم. يمكننا تصنيف التفاعلات الأيضية المختلفة إلى تفاعلات بناء وتفاعلات هدم. تفاعلات البناء «تَبني» جزيئات كبيرة من الجزيئات الأصغر، في حين أن تفاعلات الهدم تكسِّر الجزيئات الكبيرة إلى مكوِّنات أصغر.

في هذا المثال، نعلم أن الجلوكوز يتحوَّل إلى جليكوجين عندما تكون مستويات الجلوكوز في الدم مرتفعة. كما نعلم أيضًا أن الجليكوجين عبارة عن جزيء تخزين كبير مكوَّن من عدة تكرارات من جزيء الجلوكوز. فيما يلي مخطط بسيط يوضِّح تركيب الجليكوجين:



يمثِّل كل شكل من الأشكال السداسية الصفراء جزيء جلوكوز واحدًا.

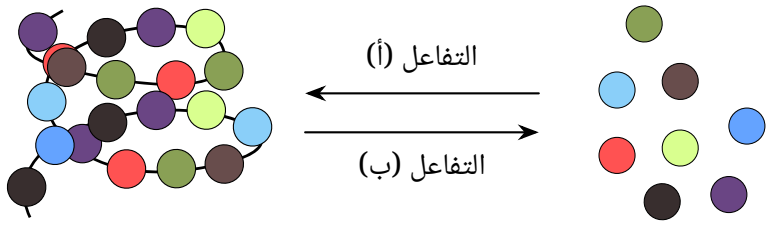
ومن خلال هذه المُعطيات يمكننا افتراض أن التفاعل الذي يتم لتحويل وحدات متعدِّدة من الجلوكوز إلى جزيء الجليكوجين هو تفاعل «يَبني» جزيئًا كبيرًا من العديد من الجزيئات الأصغر المتكررة. وبالنظر مرةً أخرى إلى فئتَي التفاعلات الأيضية المختلفة، نجد أنه علينا تحديد المصطلح الذي يَصِف هذا النوع من التفاعل.

ومن ثَمَّ، فإن الإجابة الصحيحة هي: البناء.

مثال آخر لتفاعل بناء يحدث في جسم الإنسان هو عملية تُسمَّى تكوُّن الجلوكوز (gluconeogenesis)، وهي عملية تحدث في الغالب في خلايا الكبد. وفي الكلمة الإنجليزية تُشير البادئة *gluco* إلى الجلوكوز؛ حيث تحدث هذه العملية باعتبارها جزءًا من استجابة الجسم لانخفاض مستويات الجلوكوز في الدم إلى أقل من المعدل الصحي الطبيعي. أما الجزء *Neo* فأصله الكلمة اليونانية التي تحمل معنى «جديد»، و*genesis* بمعنى «تكوين» أو «إنتاج». وهذا لأن عملية تكوُّن الجلوكوز هي الطريقة التي تُنتِج بها خلايا الكبد الجلوكوز الجديد من البروتينات والدهون التي قامت خلايا الجسم الأخرى بتكسيرها. وترتبط نواتج أيض هذا التكسير، على سبيل المثال الأحماض الأمينية والجليسرول، معًا من خلال مدخلات من الطاقة لتكوين الجلوكوز. ثم ينطلق هذا الجلوكوز في مجرى الدم لرفع نسبة تركيز الجلوكوز في الدم مرةً أخرى إلى المعدل الطبيعي.

مثال ٣: التمييز بين تفاعلات البناء وتفاعلات الهدم المتعلقة بالبروتينات والأحماض الأمينية

يوضِّح الشكل الآتي تحويل الأحماض الأمينية إلى سلسلة عديد الببتيد، وتكسير سلسلة عديد الببتيد إلى أحماض أمينية.



١. أيُّ التفاعلين (أ)، (ب) يمثِّل تفاعلَ بناء؟

٢. أيُّ التفاعلين (أ)، (ب) يمثِّل تفاعلَ هدم؟

الحل

لمساعدتنا في الإجابة عن هذا السؤال، هيا نتذكَّر ما تعنيه المصطلحات الرئيسية.

تفاعلات البناء تفاعلات أيضية تعمل على تخليق جزيئات كبيرة من جزيئات أصغر. وهذا يتضمَّن تكوين روابط بين الجزيئات أو الذرات لتكوين جزيئات أو مركبات أكبر. ومن ناحية أخرى، نجد أن تفاعلات الهدم هي أيضًا عبارة عن تفاعلات أيضية تكسِّر الجزيئات الكبيرة إلى مركبات أصغر عن طريق تكسير الروابط بين الذرات أو الجزيئات.

الجزء الأول

بالنظر مرةً أخرى إلى الشكل، نلاحظ أن التفاعل (أ) يُشير إلى أن العديد من الدوائر — التي تمثِّل في هذه الحالة الأحماض الأمينية المنفردة — يرتبط بعضها ببعض لتكوين سلسلة واحدة، وهذه السلسلة تمثِّل سلسلة عديد الببتيد. وهذا مثال على تخليق جزيء أكبر من العديد من الجزيئات الأصغر؛ ولذلك فهو تفاعل بناء.

وبناءً عليه، يمثِّل التفاعل (أ) تفاعل بناء.

الجزء الثاني

يُشير التفاعل (ب) إلى تكسير سلسلة عديد الببتيد إلى الأجزاء المكوِّنة لها، وهي في هذه الحالة العديد من الأحماض الأمينية المنفردة. وهذا مثال على تفاعل هدم.

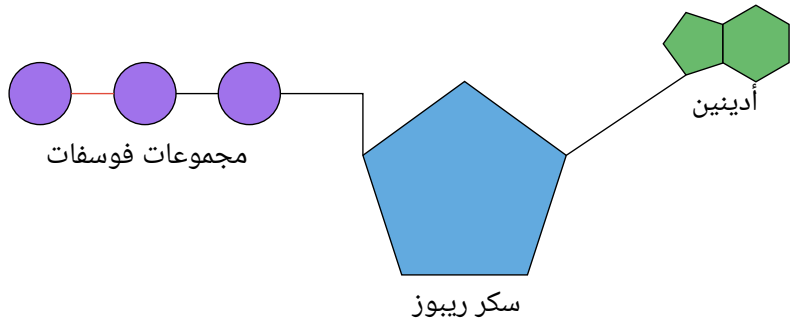
لذلك، فإن التفاعل (ب) يمثِّل تفاعل هدم.

نُلقي نظرة على الطاقة وعلاقتها بتفاعلات البناء والهدم.

بوجهٍ عام، عند تكسير جزيء، وهو ما نعرف أنه مثال لتفاعل هدم، تنطلق الطاقة. وعندما تنطلق هذه الطاقة في خلايا الجسم، تُخزَّن على صورة جزيئات ATP. وجزيء ATP جزيء صغير نسبيًّا، ويختلف عن جزيئات تخزين الطاقة الأخرى، مثل الدهون أو الكربوهيدرات؛ حيث يتكسَّر ليُطلِق الطاقة بمجرد تخزينها تقريبًا. يوضِّح الشكل 5 التركيب العام لجزيء ATP.

مصطلح رئيسي: الأدينوسين الثلاثي الفوسفات (ATP)

جزيء ATP، أو الأدينوسين الثلاثي الفوسفات، هو الجزيء الذي يخزِّن الطاقة الكيميائية في الكائنات الحية.

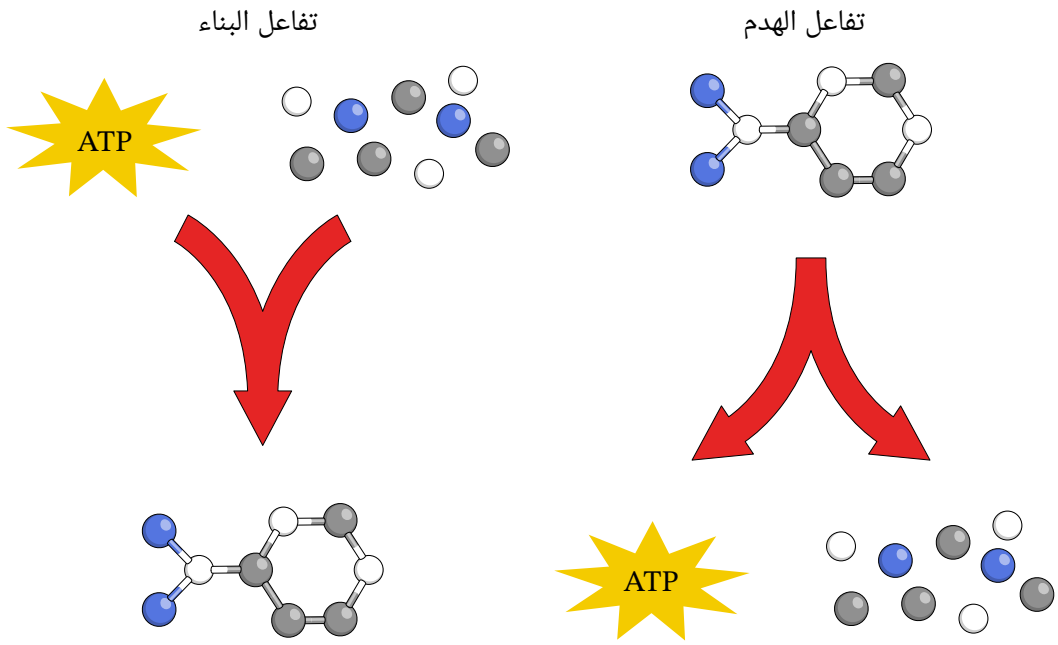


شكل 5: التركيب الأساسي لجزيء ATP. يُشير الخط الأحمر إلى الرابطة التي تُكسَّر لإطلاق الطاقة عند الحاجة في تفاعلات البناء.

يُطلِق تكسير الرابطة — الموضَّحة باللون الأحمر في الشكل 5 — الموجودة بين المجموعتين الخارجيتين للفوسفات في جزيء ATP، الطاقة المخزَّنة في تلك الرابطة. يتكسَّر جزيء ATP بسرعة وسهولة، ويتجدَّد عن طريق الخلايا. وهذا يعني أن الخلايا تحتوي على مصدر طاقة ثابت تستخدمه عند الحاجة.

عندما «تُبنى» الجزيئات — على سبيل المثال، في تفاعلات البناء — عادةً ما يتطلَّب ذلك مدخلات من الطاقة. يمكن للخلايا الآن أن تستخدم جزيئات ATP الناتجة عن تفاعلات الهدم، وتستفيد من هذه الطاقة المخزَّنة في الرابطة بين مجموعتَي الفوسفات لتكوين جزيئات أكبر.

يلخِّص الشكل 6 الآتي العلاقة بين تفاعلات البناء والهدم وعلاقتهما بجزيء ATP.



شكل 6: شكل يوضِّح كيفية إطلاق تفاعلات الهدم لجزيء ATP عند تكسير الجزيئات الكبيرة وكيفية استخدام تفاعلات البناء لجزيء ATP لتخليق الجزيئات الكبيرة.

مثال ٤: التمييز بين تفاعلات البناء والهدم من حيث متطلبات الطاقة

يقرأ أحد الطلاب عن عملية الأيض في البشر. استنتج الطالب أن خلايا البشر تحتاج إلى كميات من الطاقة لتكسير الجزيئات المُعقدة إلى جزيئات أصغر، أكبر من كميات الطاقة التي تحتاج إليها لتخليق جزيئات مُعقَّدة من جزيئات صغيرة.

هل هو على صواب؟

أ. لا؛ لأن تخليق الجزيئات المُعقَّدة يحتاج إلى كمية أكبر نسبيًا من الطاقة.

ب. نعم؛ لأن تكسير الجزيئات المُعقَّدة يحتاج إلى مدخلات أكبر نسبيًا من الطاقة.

الحل

تفاعلات البناء والهدم هما فئتا التفاعلات الأيضية التي تحدث في الكائنات الحية. تفاعلات البناء هي تفاعلات تخليق الجزيئات الكبيرة من جزيئات أصغر، مثل بناء سلسلة عديد الببتيد من خلال الربط بين العديد من الأحماض الأمينية. يمكنك تذكُّر ذلك من خلال إدراك أن «تفاعلات البناء» تعني «الجمع»؛ حيث «نجمع» جزيئات صغيرة معًا لتكوين جزيئات أكبر! أما تفاعلات الهدم فهي تفاعلات تكسير الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر.

هناك اختلاف في متطلبات الطاقة بين تفاعلات البناء وتفاعلات الهدم. عند تخليق جزيئات كبيرة، فهذا يتطلَّب في كثير من الأحيان مدخلات من الطاقة. يمكن استخدام هذه الطاقة لتكوين روابط بين الجزيئات المنفردة. لكن عند تكسير الجزيئات، تنطلق الطاقة. ويرجع ذلك إلى أن الطاقة تكون مخزَّنة في الروابط بين الذرات أو الجزيئات.

وبالرجوع إلى الاستنتاج الذي توصَّل إليه الطالب، يمكننا ملاحظة أنه غير صحيح. يؤدي تكسير الجزيئات المعقدة بوجهٍ عام إلى إطلاق كمية أكبر من الطاقة مقارنةً بما يتطلَّبه تخليق الجزيئات الجديدة.

إذن الإجابة الصحيحة هي الخيار (أ). الطالب ليس على صواب؛ لأن تخليق الجزيئات المعقَّدة يحتاج إلى كمية أكبر نسبيًّا من الطاقة.

نلخِّص بعض النقاط الرئيسية التي تناولناها في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- يَصِف التمثيل الغذائي (الأيض) جميع التفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل أي خلية أو جسم.
- تمثِّل عمليتا البناء والهدم فئتَي التمثيل الغذائي (الأيض).
- تَستخدم تفاعلات البناء الطاقة لتخليق جزيئات كبيرة من عدة جزيئات أصغر.
- تكسِّر تفاعلات الهدم الجزيئات الكبيرة إلى جزيئات أصغر، وهو ما يؤدي إلى إطلاق الطاقة خلال هذه العملية.