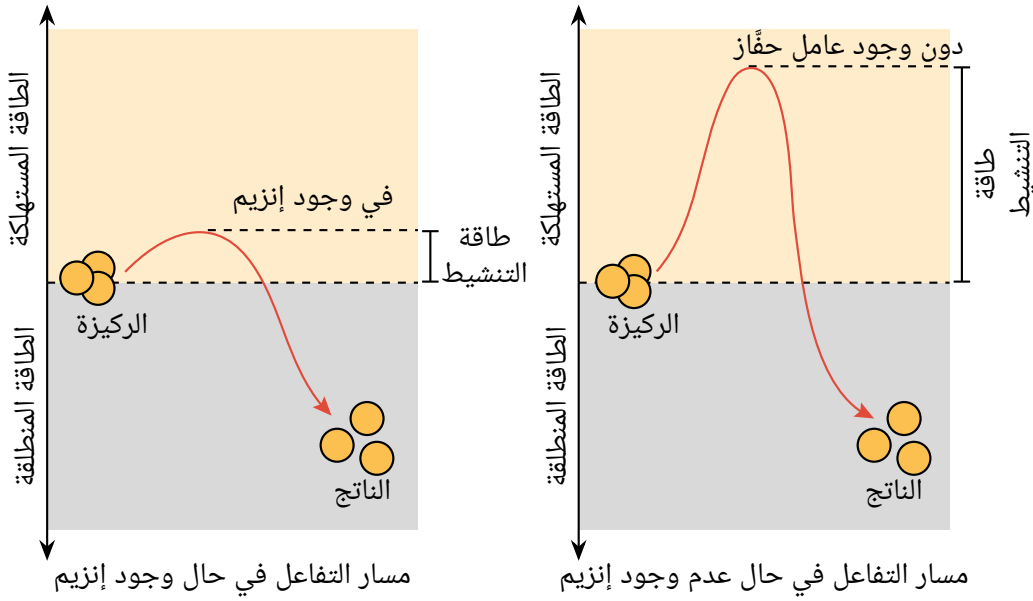
شارح: إنزيمات الهضم

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نشرح عمل إنزيمات الهضم وأهميتها.

الإنزيمات عبارة عن جزيئات بروتينات لها مجموعة كبيرة من الوظائف المفيدة داخل أجسام الكائنات الحية. نحن نحصل على بعض الإنزيمات من الطعام الذي نتناوله، ولكن إنزيمات كثيرة من التي نحتاج إليها تُنتَج داخل أجسامنا نفسها. ألهمت إنزيمات الهضم الموجودة داخل أجسام الكائنات الحية العلماء لإنتاج مجموعة كاملة من المنتجات، مثل المنظفات، التي تستفيد من هذه البروتينات الرائعة. إذا رأيت كلمة «حيوي» في منظف الملابس، فإن هذا يعني أنه يحتوي على إنزيمات تعمل على تكسير الدهون والزيوت الموجودة على ملابسك لتنظيفها.

الإنزيمات عبارة عن عوامل حفَّازة حيوية تسرِّع معدل التفاعلات الحيوية دون أن تُستهلَك. وتؤدي الإنزيمات هذه الوظيفة عن طريق خفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل. يعني هذا أن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في وجود إنزيم خلال فترة زمنية محدَّدة تزيد على التفاعلات التي تحدث دون وجوده؛ فهو يزيد من معدل التفاعل. نلاحظ في الشكل 1 كيف تكون الطاقة اللازمة لحدوث تفاعل دون وجود الإنزيم أكبر بكثير من الطاقة اللازمة عند وجود الإنزيم. إذا تخيَّلنا أن هذا التفاعل الواحد يحدث آلاف المرات، فسنفهم أهمية استخدام الإنزيم في التفاعلات الحيوية لتوفير كمية كبيرة من الطاقة.



الشكل 1: شكلان يوضِّحان طاقة التنشيط اللازمة في حال وجود إنزيم وفي حال عدم وجوده.

في وجود الإنزيم، تُصبح طاقة التنشيط أقل بكثير؛ ومن ثمَّ،

يمكن أن يحدث التفاعل بمعدل أسرع.

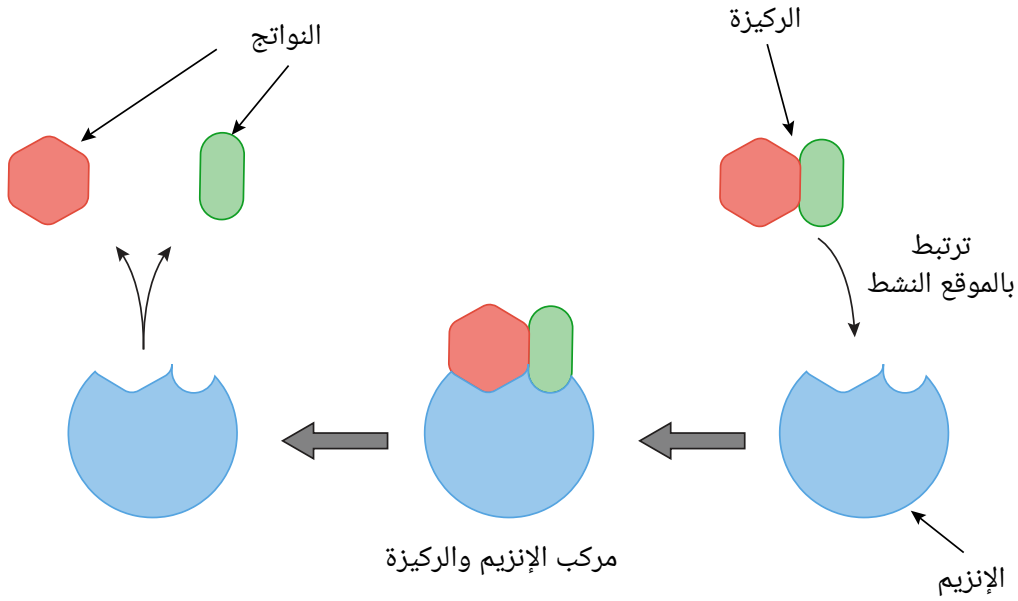
تعريف: الإنزيم

الإنزيم عبارة عن عامل حفَّاز حيوي يسرِّع معدل التفاعل دون أن يُستهلَك.

تعريف: العامل الحفَّاز

العامل الحفَّاز عبارة عن مادة تقلِّل من طاقة التنشيط اللازمة لحدوث تفاعل كيمائي دون أن تُستهلَك خلال التفاعل؛ ومن ثمَّ، فإن التفاعل الكلي يحدث بمعدل أسرع.

لكل إنزيمٍ موقعٌ نشط مختلف له شكل محدَّد. ويرجع ذلك إلى أن كل نوع من الإنزيمات يُكمِّل جزيئًا واحدًا يرتبط به، ويُسمَّى «الركيزة»، وهذا موضَّح في الشكل 2 الآتي. يُسمَّى هذا عادةً «نموذج القفل والمفتاح»؛ حيث تتكامل ركيزة محدَّدة مع موقع نشط محدَّد لإنزيم ما، وهذا يشبه كثيرًا الطريقة التي يتكامل بها شكل المفتاح مع القفل الخاص به.



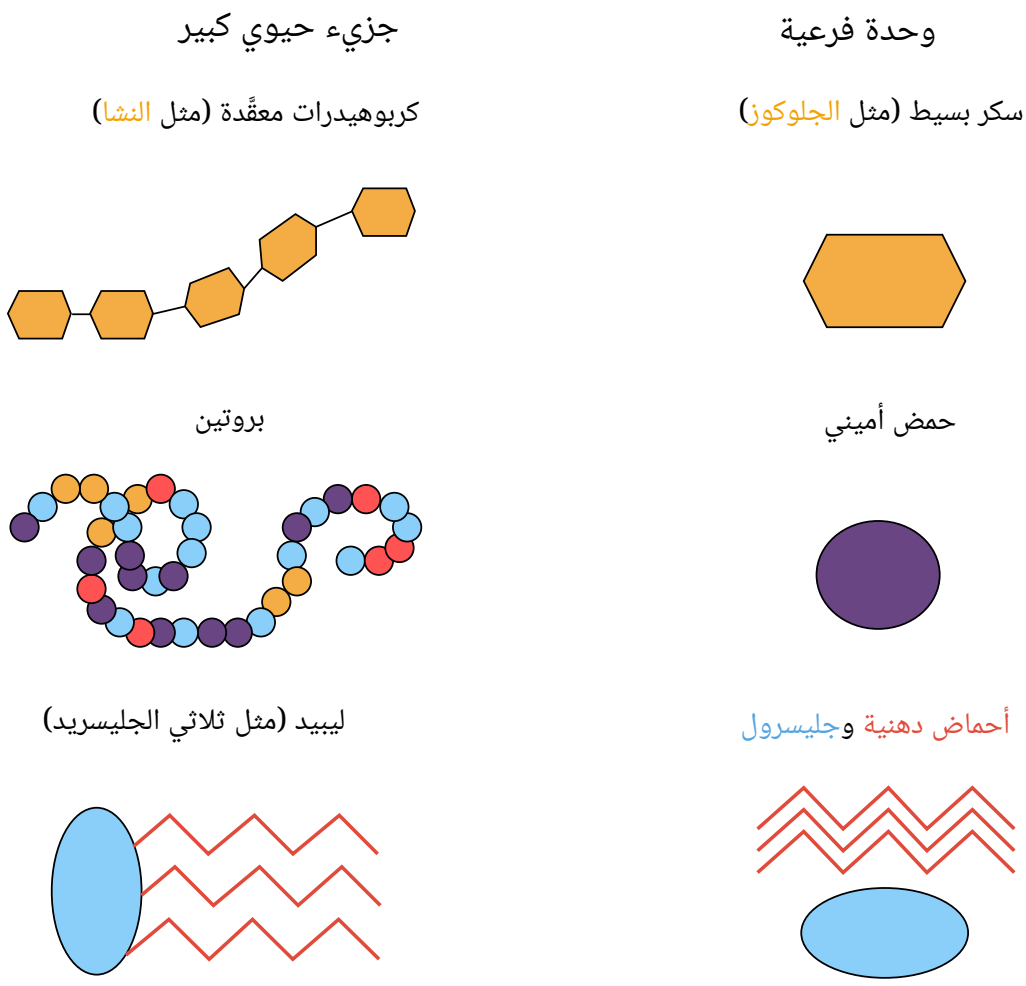
الشكل 2: شكل يوضِّح تركيب أحد الإنزيمات، ويتضمَّن موقعه النشط الذي يرتبط به جزيء ركيزة لتكوين مركب الإنزيم والركيزة.
وعندما يحدث التفاعل، تُطلَق النواتج من الموقع النشط.

نلاحظ في الشكل 2 أن الركيزة ترتبط بالموقع النشط للإنزيم، وهي النقطة التي يُسمَّى عندها التركيب بأكمله «مركب الإنزيم والركيزة». بعد انتهاء الإنزيم من عمله، فإنه يُطلِق الجزيئات (التي تُسمَّى الآن «النواتج») من موقعه النشط. وبذلك يصبح الموقع النشط للإنزيم فارغًا ليرتبط به مزيد من جزيئات الركائز. لا تُستَهلك الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية، وهو ما يعني أنه يمكنها أن تستمر في تحفيز التفاعلات حتى بعد حدوث العديد من التفاعلات.

يمكن للإنزيمات، حسب نوعها، إما تكسير جزيئات كبيرة في عملية تُسمَّى «الهضم»، وإما بناء جزيئات حيوية كبيرة من الوحدات الفرعية الصغرى. وتُعد عملية الهضم ضرورية في جسم الإنسان؛ فهي الطريقة التي نحوِّل بها الجزيئات الكبيرة

الموجودة في الطعام الذي نتناوله إلى صورة صغيرة بما يكفي لامتصاصها في مجرى الدم. بعد ذلك، ينقل الدم هذه المغذِّيات الصغرى إلى خلايا الجسم التي تستخدمها لبناء مجموعة متنوعة من الكربوهيدرات والليبيدات والبروتينات.

بما أن تركيزنا الأساسي في هذا الشارح على إنزيمات الهضم، فسنتناول أولًا تركيب الجزيئات الحيوية الكبيرة المختلفة التي تشارك في عملية الهضم، الموضَّحة في الشكل 3، قبل معرفة الإنزيمات التي يمكن استخدامها لتكسير هذه الجزيئات. تُستخدَم الإنزيمات المشاركة في عملية الهضم عند الإنسان لتحويل الجزيئات الحيوية الكبيرة، الموضَّحة على اليسار في الشكل 3، إلى وحدات فرعية أصغر، وهي الموضَّحة على اليمين.



الشكل 3: شكل يوضِّح الوحدات الفرعية المختلفة التي تتكوَّن منها الجزيئات الحيوية الكبيرة مثل الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات.

يُعَد مصطلح «بوليمر» مصطلحًا واسعًا يُشير إلى جزيء طويل السلسلة، مثل الجزيئات الحيوية الموضَّحة على اليسار في الشكل 3. وتتكوَّن هذه الجزيئات بوجه عام من جزيئات أصغر تُسمَّى «المونومرات»، ترتبط معًا بواسطة روابط كيميائية.

نلاحظ في الشكل 3 أن بوليمرات الكربوهيدرات عبارة عن سلسلة طويلة من مونومرات السكريات البسيطة. ويُعَد النشا مثالًا على بوليمر كربوهيدرات مكوَّن من عدة جزيئات جلوكوز مرتبطة معًا. الموز مليء بالنشا؛ لذا يصبح مذاقه سكريًّا أكثر كلما نضج؛ لأن جزيئات النشا الموجودة فيه تتكسَّر إلى سكريات أصغر.

البروتينات عبارة عن بوليمرات تتكوَّن من مونومرات أحماض أمينية مختلفة مرتبطة معًا عن طريق روابط ببتيدية. يدخل 20 حمضًا أمينيًّا تقريبًا في تكوين البروتينات في جسم الإنسان، ويمكن ترتيبها في تشكيلات مختلفة لتكوين مجموعة ضخمة من بوليمرات البروتينات المختلفة.

الليبيدات عبارة عن جزيئات كبيرة مكوَّنة من وحدات فرعية من الجليسرول والأحماض الدهنية. أحد الأمثلة على الدهون جزيء ثلاثي الجليسريد الموضَّح في الشكل 3، الذي يتكوَّن من جزيء جليسرول واحد وثلاثة ذيول من الأحماض الدهنية. وكما هو الحال مع الكربوهيدرات والبروتينات، يوجد العديد من الدهون المختلفة التي تحتوي على تركيبات مختلفة من الجليسرول والأحماض الدهنية.

مثال ١: شرح سبب تصنيف الكربوهيدرات والبروتينات إلى بوليمرات

أيٌّ من الآتي يفسِّر على أفضل وجه لماذا تُصنَّف الكربوهيدرات والبروتينات على أنها بوليمرات؟

أ. لأنها ترتبط بجزيئات حيوية أخرى

ب. لأنها تتكوَّن من العديد من الوحدات الكبيرة المختلفة (المونومرات)

ج. لأن هناك العديد من نُسَخ الكربوهيدرات والبروتينات داخل جسم الإنسان («بولي» تعني الكثير)

د. لأنها تتكوَّن من العديد من الوحدات الصغيرة المتماثلة (المونومرات)

الحل

علينا الانتباه عند الإجابة عن الأسئلة المطلوب فيها اختيار أفضل تفسير. وذلك لأنه على الرغم من أنها أسئلة اختيار من متعدد، فهي ليست سهلة؛ إذ يمكن أن يكون لدينا أكثر من إجابة واحدة صحيحة علميًّا.

البوليمر عبارة عن جزيء كبير يتكوَّن من العديد من جزيئات مونومر أصغر مرتبطة معًا. الكربوهيدرات، مثل النشا، عبارة عن بوليمرات مكوَّنة من عدة مونومرات جلوكوز مرتبطة معًا في سلسلة واحدة. والبروتينات عبارة عن بوليمرات مكوَّنة من العديد من مونومرات أحماض أمينية مرتبطة معًا ومطوية.

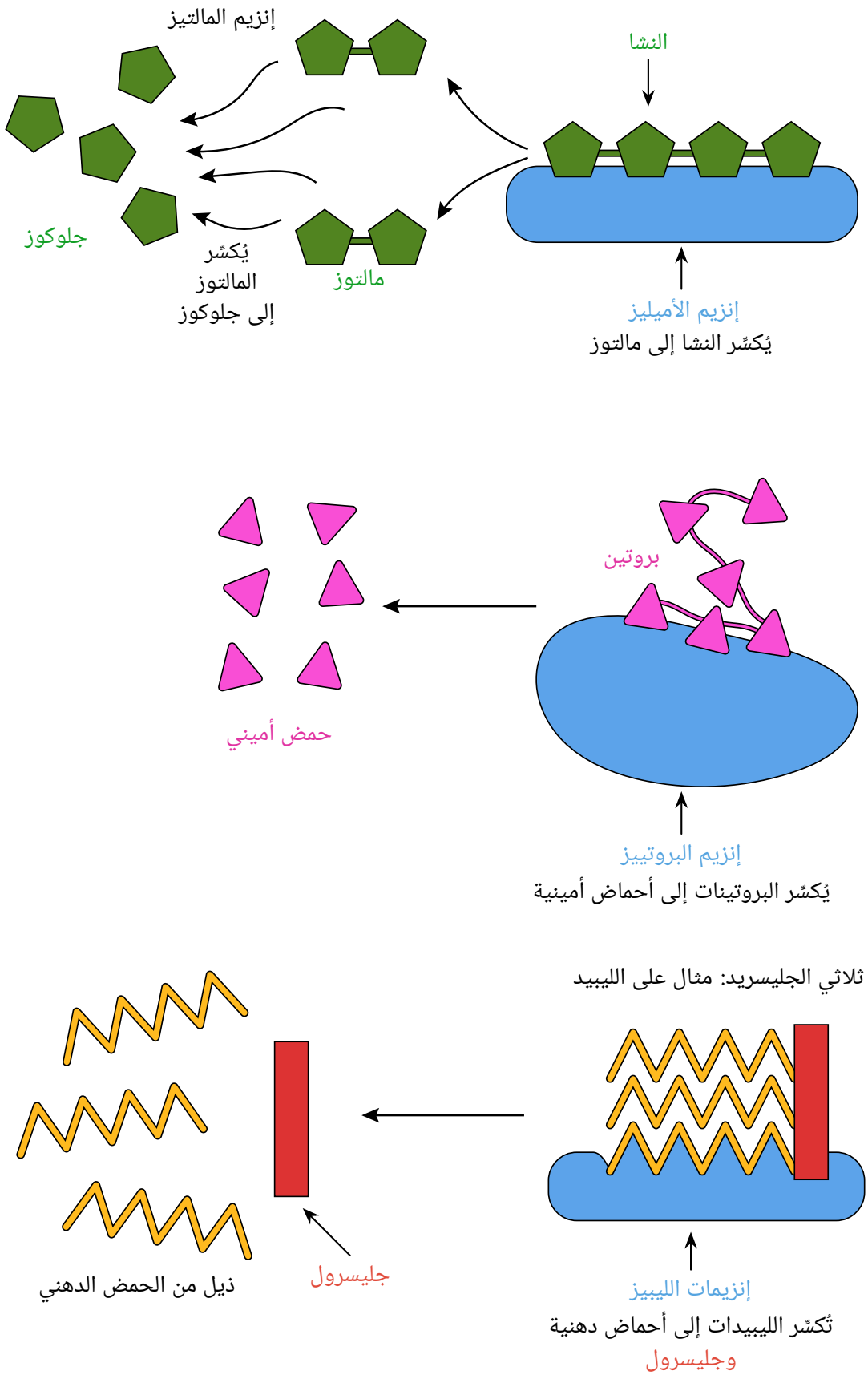
وعلى الرغم من وجود العديد من الكربوهيدرات والبروتينات المختلفة داخل جسم الإنسان، فإن ذلك لا يُعَد سببًا لتصنيفها بوليمرات. البوليمرات يمكن أن ترتبط بجزيئات حيوية أخرى، ولكن مرةً أخرى هذه الجزيئات الحيوية لا تُعرِّف البوليمرات.

إذن الإجابة الصحيحة هي «لأنها تتكوَّن من العديد من الوحدات الصغيرة المتماثلة (المونومرات)».

إحدى الطرق المفيدة لتحديد إذا ما كان الموجود أمامنا إنزيمًا أو لا، هي أن الإنزيمات أو مجموعات الإنزيمات غالبًا ما تنتهي بحرفَي الياء والزاي. ويمكننا في بعض الأحيان التعرُّف على البوليمر الذي تُكسِّره هذه الإنزيمات من بداية الكلمة. على سبيل المثال، تُكسِّر إنزيمات الكربوهيدريز الكربوهيدرات، وتُكسِّر إنزيمات البروتييز البروتينات، وتُكسِّر إنزيمات الليبيز الليبيدات.

لكن علينا أن ننتبه؛ لأنه ليس بالضرورة أن ينتهي جميع الإنزيمات بحرفَي الياء والزاي، وليس بالضرورة أيضًا أن تتضمَّن أسماء جميع الإنزيمات الركيزة التي تعمل عليها. فعلى سبيل المثال، يُكسِّر إنزيم الأميليز، الموضَّح في الشكل 4، النشا إلى

مالتوز، الذي يكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز بواسطة إنزيم آخر يُسمَّى «المالتيز». يوضِّح الشكل 4 إنزيمات الأميليز والبروتييز والليبيز وهي تعمل على تكسير ركائز البوليمرات الخاصة بها.



الشكل 4: شكل يوضِّح الإنزيمات الرئيسية الثلاثة المشاركة في عملية الهضم، وهي تُكسِّر ثلاثة بوليمرات كبيرة إلى وحدات المونومر الفرعية الخاصة بها.

مثال ٢: شرح كيف تساعد الإنزيمات على الهضم

أيٌّ من الآتي يفسّر على أفضل وجه كيف تساعد الإنزيمات على الهضم؟

أ. تُفرَز الإنزيمات بواسطة المرارة لمعادلة حمض المعدة.

ب. تُنظِّم الإنزيمات الرقم الهيدروجيني في الجهاز الهضمي للتأكُّد من بقائه في المستوى الأمثل.

ج. تُبطِّئ الإنزيمات معدَّل الهضم؛ ومن ثَمَّ، لا يحتاج إلى الكثير من الطاقة.

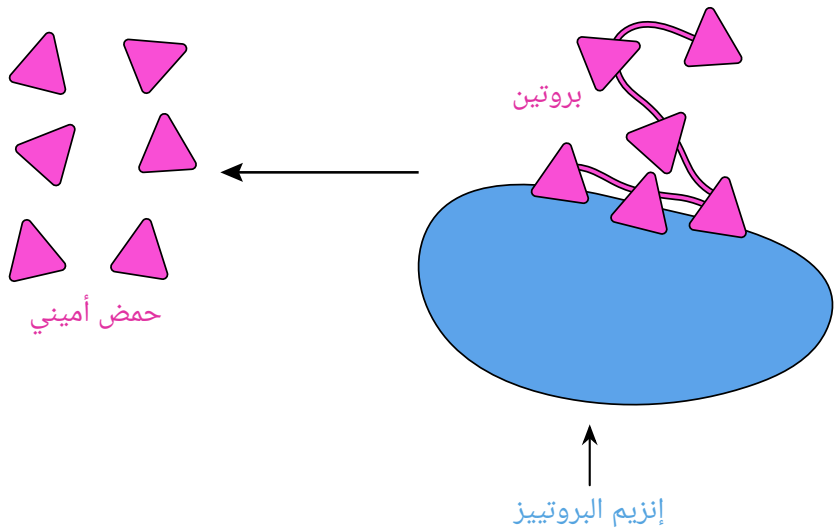
د. تُكسِّر الإنزيمات جزيئات الطعام الكبيرة والمعقَّدة إلى جزيئات أصغر يمكن امتصاصها.

هـ. تُطلِق الإنزيمات الطاقة لمساعدة العمليات الفيزيائية للهضم، مثل المضغ.

الحل

علينا الانتباه عند الإجابة عن الأسئلة المطلوب فيها اختيار أفضل تفسير. وذلك لأنه على الرغم من أنها أسئلة اختيار من متعدِّد، فهي ليست سهلة؛ إذ يمكن أن يكون لدينا أكثر من إجابة واحدة صحيحة علميًّا.

الإنزيمات عبارة عن عوامل حفَّازة حيوية تقلِّل من طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل. ويعني هذا أنه يمكن حدوث مزيد من التفاعلات خلال فترة زمنية محدَّدة، وبذلك تزيد الإنزيمات من معدل التفاعل. الدور الذي تلعبه الإنزيمات هو تكسير البوليمرات الكبيرة إلى مونومرات أصغر. ويوجد العديد من الأمثلة على هذا الدور في الجهاز الهضمي بجسم الإنسان. على سبيل المثال، تُكسِّر إنزيمات البروتييز البروتينات الموجودة في الطعام إلى أحماض أمينية أصغر. ويُعَد هذا مفيدًا؛ لأن امتصاص الجزيئات الأصغر من الجهاز الهضمي إلى مجرى الدم أكثر سهولةً. بعد ذلك، ينقل الدم هذه الجزيئات الصغرى إلى خلايا الجسم التي تحتاج إليها.



يُكسِّر البروتينات إلى أحماض أمينية

الهضم الميكانيكي هو العملية التي يتكسَّر فيها الطعام إلى أجزاء أصغر لزيادة مساحة السطح المتاحة للإنزيمات للعمل عليها. هذا يعني أن هذه الإنزيمات يمكنها هضم المغذِّيات الموجودة في الطعام بفعالية أكبر. ويتولَّى بعض أعضاء الجسم

عملية الهضم الميكانيكي، مثل الأسنان، والمعدة التي تدفع الطعام. لا تؤثِّر الإنزيمات على تنظيم الرقم الهيدروجيني أو معادلة الأحماض، على الرغم من أن لها قيمًا مُثلى من الرقم الهيدروجيني ودرجات الحرارة يعمل عندها كل إنزيم بكفاءة أكبر.

إذن الإجابة الصحيحة هي «تُكسِّر الإنزيمات جزيئات الطعام الكبيرة والمعقَّدة إلى جزيئات أصغر يمكن امتصاصها».

مثال ٣: التعرُّف على الإنزيمات وركائزها ونواتجها

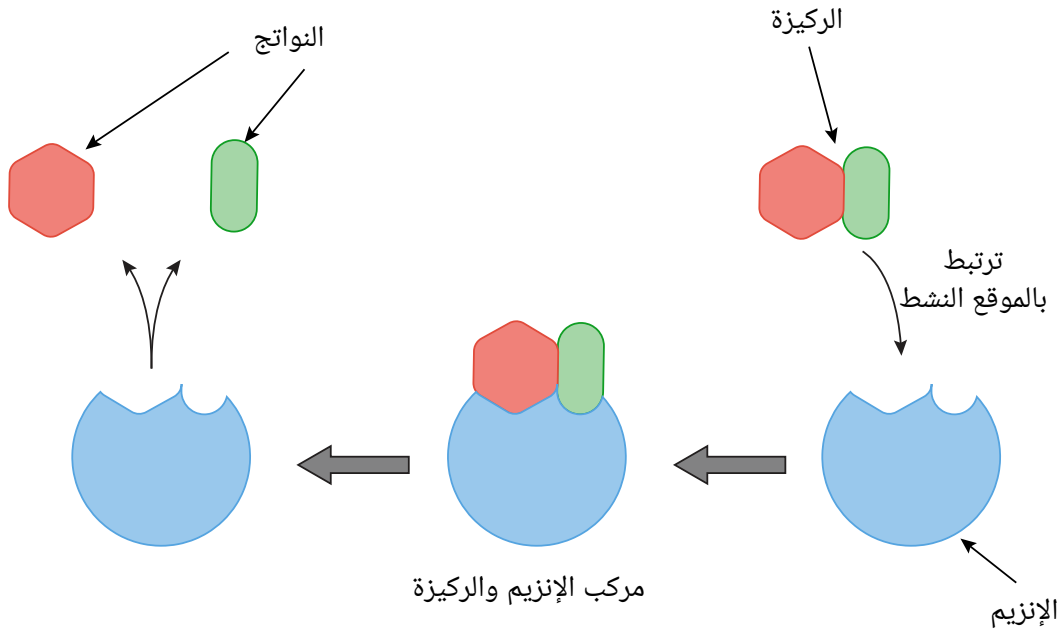
أكمل الجدول الآتي لتوضيح الإنزيم والركيزة والناتج (أو النواتج).

الإنزيم	الركيزة	الناتج
البروتييز	بروتينات	1
2	نشا	جلوكوز
الليبيز	3	جليسرول وأحماض دهنية

الحل

الإنزيمات عبارة عن عوامل حفَّازة حيوية تقلِّل من طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل. يعني هذا أنه يمكن حدوث مزيد من التفاعلات خلال فترة زمنية محدَّدة، وبذلك تزيد الإنزيمات من معدل التفاعل.

لكل إنزيم موقعٌ نشط مختلف له شكل محدَّد. ويرجع ذلك إلى أن كل نوع من الإنزيمات يُكمِّل جزيئًا واحدًا يرتبط به، يُسمَّى «الركيزة». وعندما يحفِّز الإنزيم التفاعل، فإنه يُطلِق النواتج من موقعه النشط، كما هو موضَّح في الصورة الآتية:



الدور الذي يلعبه بعض الإنزيمات هو تكسير ركائز الجزيئات الكبيرة إلى وحدات فرعية أصغر. هناك العديد من الأمثلة على ذلك في الجهاز الهضمي للإنسان؛ حيث ترتبط الجزيئات الكبيرة الموجودة في طعامنا بالمواقع النشطة للإنزيم الخاص بها؛ وتكون هذه المواقع مُكمِّلة ومناسبة لتلك الجزيئات. ونجد بعد ذلك أن الوحدات الفرعية الصغيرة الناتجة تنطلق من الموقع النشط للإنزيم لامتصاصها في مجرى الدم.

تُكسِّر إنزيمات البروتييز البروتينات الموجودة في الطعام إلى أحماض أمينية أصغر. تُكسِّر إنزيمات الليبيز الليبيدات إلى جليسرول وأحماض دهنية. تُكسِّر إنزيمات الأميليز النشا إلى مالتوز، وهو ما يُكسَّر بعد ذلك إلى مونومرات جلوكوز.

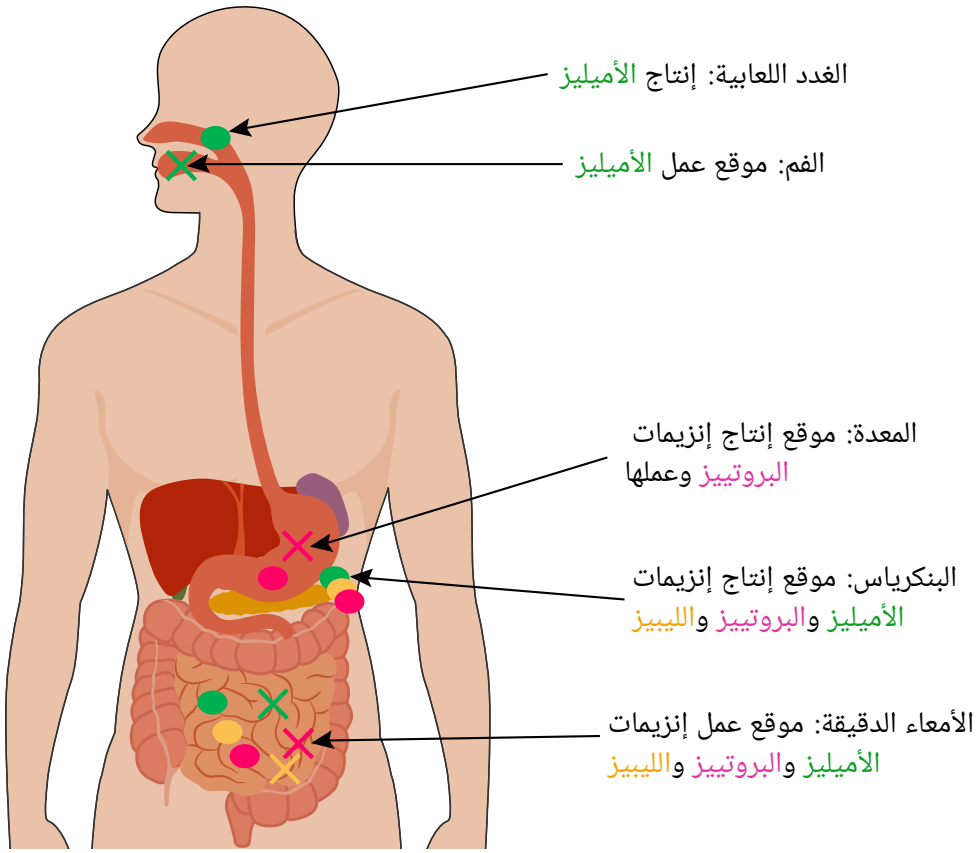
ومن ثمَّ، فإن الإجابات الصحيحة هي:

١. أحماض أمينية
٢. الأميليز
٣. ليبيدات

هيا نرَ الآن أين تُنتَج هذه الإنزيمات المختلفة وأين تعمل.

يحدث معظم عمليات الهضم الكيميائي للجزيئات باستخدام الإنزيمات في الأمعاء الدقيقة، ويُنتِج البنكرياس معظم الإنزيمات المشارِكة في عملية الهضم في جسم الإنسان. يتصل البنكرياس بالأمعاء الدقيقة التي يفرِز فيها إنزيمَي الأميليز والليبيز، وإنزيم بروتييز يُسمَّى «التربسينوجين». يتحوَّل التربسينوجين إلى صورته النشطة، وهي التربسين، عن طريق إنزيم آخر يُسمَّى «الإنتيروكينيز»، تفرِزه الأمعاء الدقيقة. ويُعَد البنكرياس عضوًا ملحقًا؛ لأنه على الرغم من أهميته في عملية الهضم، فإن الطعام لا يمر به؛ فهو يقع خلف المعدة مباشرةً.

يوضِّح الشكل 5 أماكن الأعضاء الرئيسية في الجهاز الهضمي، مع تمييز مواقع إنتاج كل إنزيم ومواقع عمله بألوان مختلفة.



الشكل 5: شكل يوضِّح الأعضاء الرئيسية للجهاز الهضمي في جسم الإنسان؛ حيث توجد مواقع الإنتاج (الموضَّحة بالدوائر)، ومواقع العمل (الموضَّحة بالعلامة ×) لإنزيمات الأميليز باللون الأخضر، وإنزيمات البروتييز باللون الوردي، وإنزيمات اللايبيز باللون البرتقالي.

تُنتج الغدد اللعابية والبنكرياس إنزيم الأميليز، الذي يُكسِّر النشا إلى مالتوز (الذي يُكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز). ويعمل هذا الإنزيم في الفم، المتصل بالغدد اللعابية، وفي الأمعاء الدقيقة. وهذا موضَّح باللون الأخضر في الشكل 5.

تُنتَج إنزيمات الليبيز، التي تُكسِّر الليبيدات إلى جليسرول وأحماض دهنية، في البنكرياس، وتعمل في الأمعاء الدقيقة. تظهر إنزيمات الليبيز في الشكل 5 باللون البرتقالي.

تُنتَج إنزيمات البروتييز، التي تُكسِّر البروتينات إلى عديدات الببتيد أو الببتيدات أو الأحماض الأمينية، في البنكرياس أو الأمعاء الدقيقة أو المعدة، وتعمل في الأمعاء الدقيقة والمعدة. وهذا موضَّح باللون الوردي في الشكل 5.

أحد الأمثلة على إنزيمات البروتييز هو الببسين، الذي يعمل في المعدة لتكسير البروتينات إلى وحدات أصغر تُسمَّى «الببتيدات». الببسين أحد الإنزيمات القليلة جدًّا التي يمكن أن تنجو في المعدة المليئة بحمض الهيدروكلوريك الذي تفرزه بطانة المعدة كجزء من العصارة الهضمية، لحماية باقي أجزاء الجهاز الهضمي من الكائنات الحية الدقيقة التي تُسبِّب الأمراض. لذلك فإن الرقم الهيدروجيني الأمثل للببسين منخفض جدًّا (1.5–2.5) ليتمكَّن من العمل بفعالية في هذه

الظروف الحمضية. في الواقع، تفرز بطانة المعدة الببسينوجين، الذي لا ينشَّط أو يتحوَّل إلى ببسين إلا في الظروف الحمضية التي يوفِّرها حمض الهيدروكلوريك.

مثال آخر على إنزيم البروتييز هو إنزيم التربسين، وكما ذكرنا سابقًا، فإنه يُنتَج عن طريق تحويل التربسينوجين من خلال إنزيم الإنتيروكينيز في الأمعاء الدقيقة. يواصل التربسين عمل الببسين، بتكسير البتيدات وعديدات البتيد، إلى وحدات فرعية من الأحماض الأمينية. ويكون الرقم الهيدروجيني الأمثل للتربسين (9) أكبر من الرقم الهيدروجيني الأمثل للببسين. تتوافر هذه الظروف القلوية في الأمعاء الدقيقة من خلال إفرازات عصارة البنكرياس، التي تحتوي على بيكربونات الصوديوم، وتُعادل حموضة أي مادة تدخل إلى الأمعاء الدقيقة من المعدة. يقارن الجدول 1 بين إنزيمَي البروتييز هذين.

الجدول 1: جدول يقارن بين الركائز والنواتج والصور غير النشطة ومواقع الإنتاج ومواقع العمل لإنزيمَي البروتييز «الببسين» و«التربسين».

الصورة النشطة	الببسين	التربسين
الصورة غير النشطة	الببسينوجين	التربسينوجين
كيف يتم تنشيط الصورة غير النشطة؟	يتحوَّل إلى ببسين في وجود حمض الهيدروكلوريك في العصارة الهضمية	يتحوَّل إلى تربسين في وجود إنزيم الإنتيروكينيز
موقع الإنتاج	المعدة	يفرز البنكرياس التربسينوجين الذي يتحوَّل في الأمعاء الدقيقة إلى تربسين
موقع العمل	المعدة	الأمعاء الدقيقة
الركيزة	البروتينات	البتيدات/عديدات البتيد
الناتج	البتيدات/عديدات البتيد	الأحماض الأمينية
الرقم الهيدروجيني الأمثل	1.5–2.5	9 تقريبًا

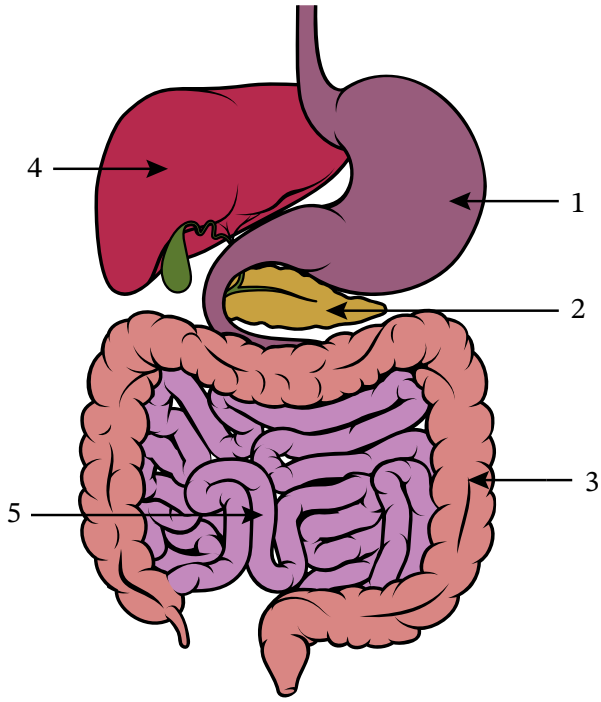
يقدِّم الجدول 2 الآتي ملخصًا للركائز والنواتج ومواقع الإنتاج ومواقع العمل لكل مجموعة من الإنزيمات.

الجدول 2: جدول يلخِّص الركائز والنواتج ومواقع الإنتاج ومواقع العمل لإنزيمات الأميليز (باللون الأخضر) والبروتييز (باللون الوردي) والليبيز (باللون البرتقالي).

مجموعة الإنزيمات	الركيزة	الناتج	موقع الإنتاج	موقع العمل
الأميليز	النشا	المالتوز (الذي يُكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز بواسطة إنزيمات المالتيز)	الغدد اللعابية والبنكرياس	الفم والأمعاء الدقيقة
البروتييز	البروتينات	عديدات الببتيد أو الأحماض الأمينية	المعدة والبنكرياس والأمعاء الدقيقة	المعدة والأمعاء الدقيقة
الليبيز	الليبيدات	الجليسرول والأحماض الدهنية	البنكرياس	الأمعاء الدقيقة

مثال ٤: تحديد مصدر إنزيمات الهضم

يوضِّح الشكل المُبيَّن المخطَّط الأساسي للجهاز الهضمي في الإنسان. يُنتج البنكرياس كمية كبيرة من إنزيمات الهضم ويفرزها. ما الرقم الذي يُشير إلى البنكرياس في الشكل؟



الحل

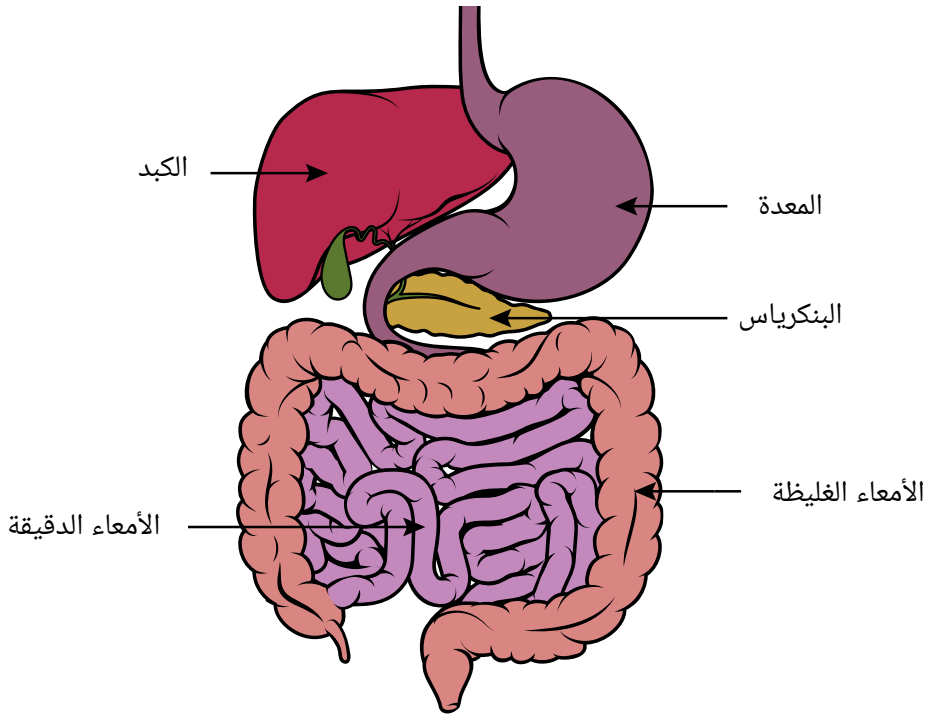
عندما يمر الطعام عبر الجهاز الهضمي من الفم والمريء، فإنه يتحرَّك إلى المعدة أولًا (العلامة 1) ثم إلى الأمعاء الدقيقة (العلامة 5)، قبل أن يمر بالأمعاء الغليظة (العلامة 3) ثم يخرج من الجسم.

تتضمَّن إنزيمات الهضم كلًّا من البروتييز والليبيز والأميليز (نوع من الكربوهيدريز). ويُنتج البنكرياس هذه الإنزيمات الثلاثة. لا يمر الطعام عبر البنكرياس. لذا، يُوصَف البنكرياس بأنه عضو ملحق، ومن السهل ملاحظة أنه على الرغم من كونه أحد الأعضاء التي لا يمر بها الطعام مباشرةً، فهو لا يزال ضروريًّا في عملية الهضم. فهو يقع خلف المعدة مباشرةً (العلامة 2).

يُفرِز البنكرياس إنزيمات الهضم الرئيسية الثلاثة التي تصل إلى الجزء العلوي من الأمعاء الدقيقة؛ حيث تعمل على تكسير جزيئات الطعام الكبيرة إلى مغذِّيات أصغر لامتصاصها في مجرى الدم.

يُعَد الكبد أيضًا عضوًا ملحقًا، ولكنه أكبر بكثير من البنكرياس، ويتصل به عضو آخر صغير يُسمَّى «المرارة» (العلامة 4).

يوضِّح الشكل الآتي أعضاء الجسم، مع وضع اسم كل عضو عند العلامة الخاصة به.



إذن الرقم الذي يُشير إلى البنكرياس في الشكل الأصلي هو 2.

هيا نلخِّص الآن بعض النقاط الرئيسية التي تناولناها في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- مجموعات الإنزيمات الرئيسية المشاركة في عملية الهضم لدى الإنسان هي الأميليز والبروتييز والليبيز.
- تُنتَج إنزيمات الأميليز في الغدد اللعابية والبنكرياس، وتُكسِّر النشا إلى مالتوز (الذي يُكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز).
- تُنتَج إنزيمات البروتييز في المعدة والبنكرياس والأمعاء الدقيقة، وتُكسِّر البروتينات إلى أحماض أمينية.
- تُنتَج إنزيمات الليبيز في البنكرياس، وتُكسِّر الليبيدات إلى جليسرول وأحماض دهنية.