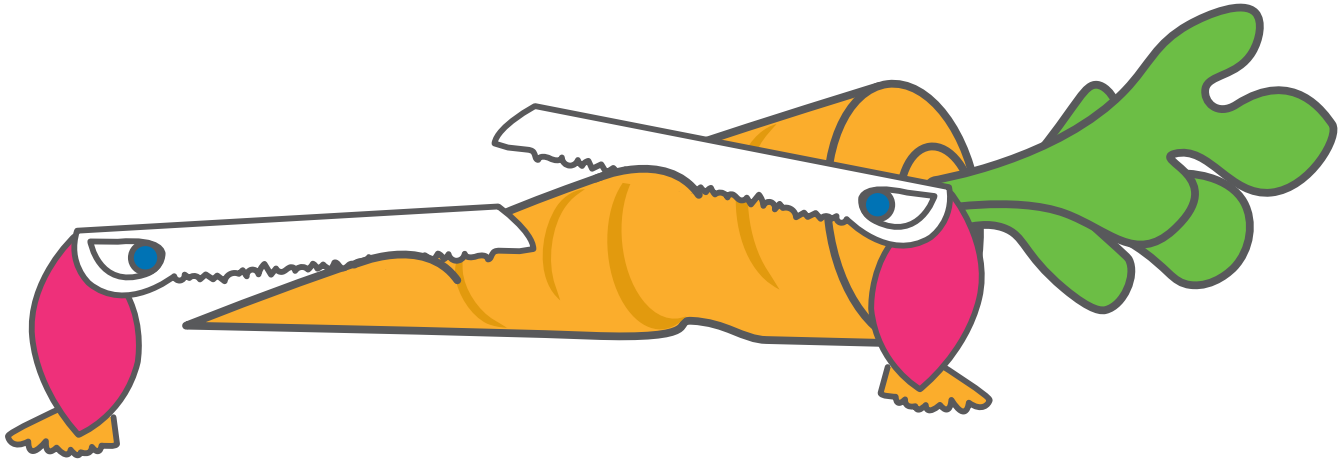


إنزيمات الهضم

أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- وصف مواقع إنتاج وعمل إنزيمات الأميليز، والبروتييز، والليبيز
- شرح أهمية الإنزيمات في تكسير الجزيئات الطويلة في عملية الهضم
- معرفة أن مونومرات البروتينات والليبيدات والكربوهيدرات هي الأحماض الأمينية، والجليسرول والأحماض الدهنية، والسكريات على الترتيب

الإنزيم

الإنزيمات عبارة عن جزيئات بروتينية لها نطاق واسع 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.

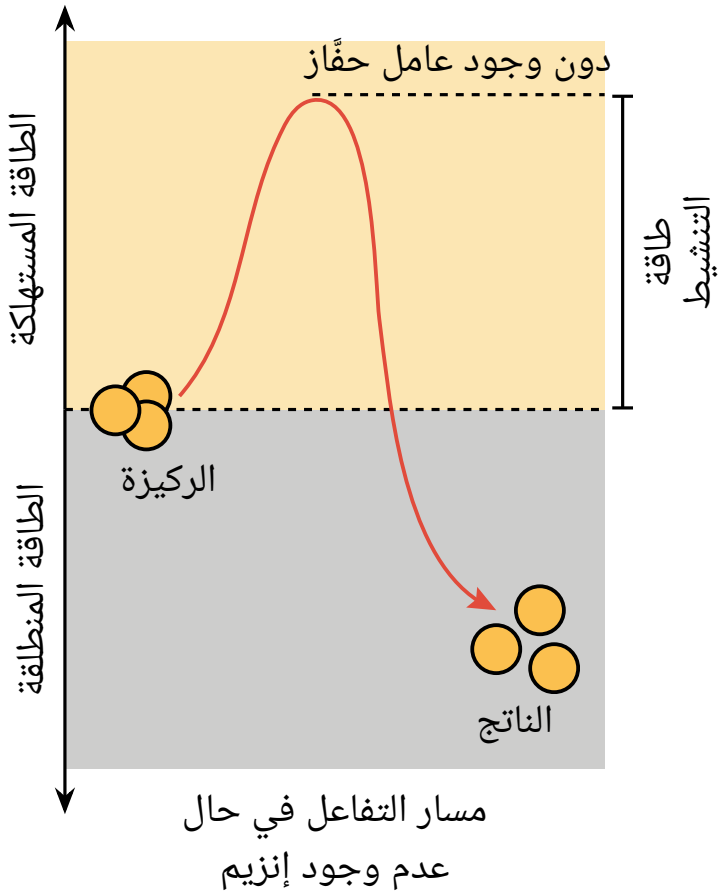
ألهمت إنزيمات الهضم الموجودة داخل أجسام الكائنات الحية العلماء لإنتاج مجموعة كاملة من المنتجات، مثل المنظفات، التي تستفيد من هذه البروتينات الرائعة.

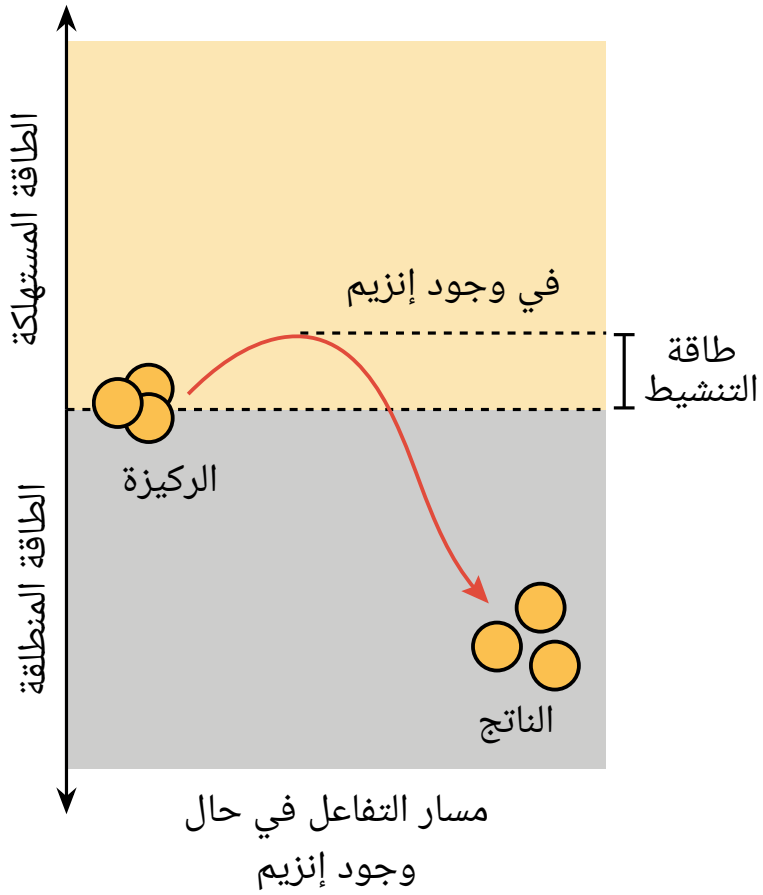
إذا رأيت كلمة «حيوي» في منظف الملابس، فإن هذا يعني أنه يحتوي على إنزيمات تعمل على تكسير الدهون والزيوت الموجودة على ملابسك لتنظيفها.

الإنزيمات (متابعة)

الإنزيمات عبارة عن عوامل حفَّازة حيوية تسرِّع معدل التفاعلات الحيوية دون أن تُستهلَك.

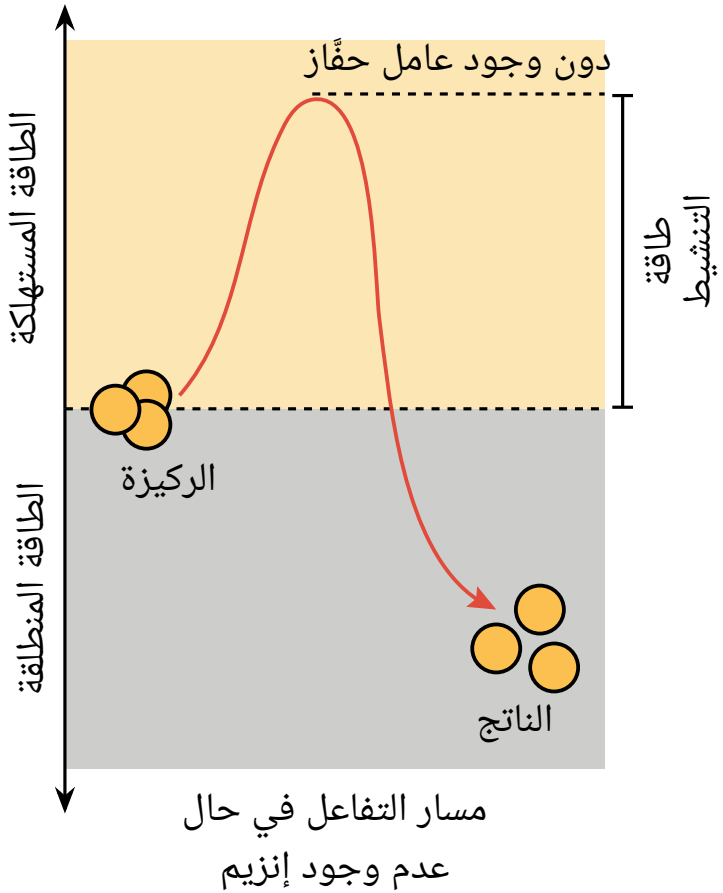
وتؤدي الإنزيمات هذه الوظيفة عن طريق خفض طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل. يعني هذا أن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في وجود إنزيم خلال فترة زمنية محدَّدة أكثر من التفاعلات التي تحدث دون وجوده؛ مما يزيد معدل التفاعل.

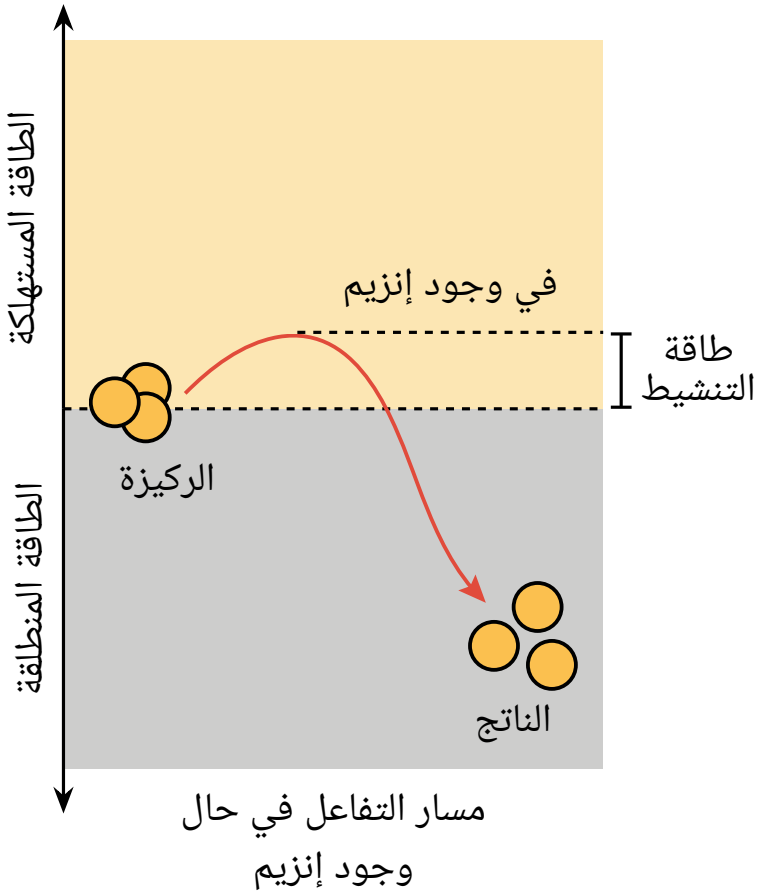




الإنزيمات (متابعة)

نلاحظ في الشكل 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.





تعريفان: الإنزيم والعامل الحفَّاز

الإنزيم

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

العامل الحفَّاز

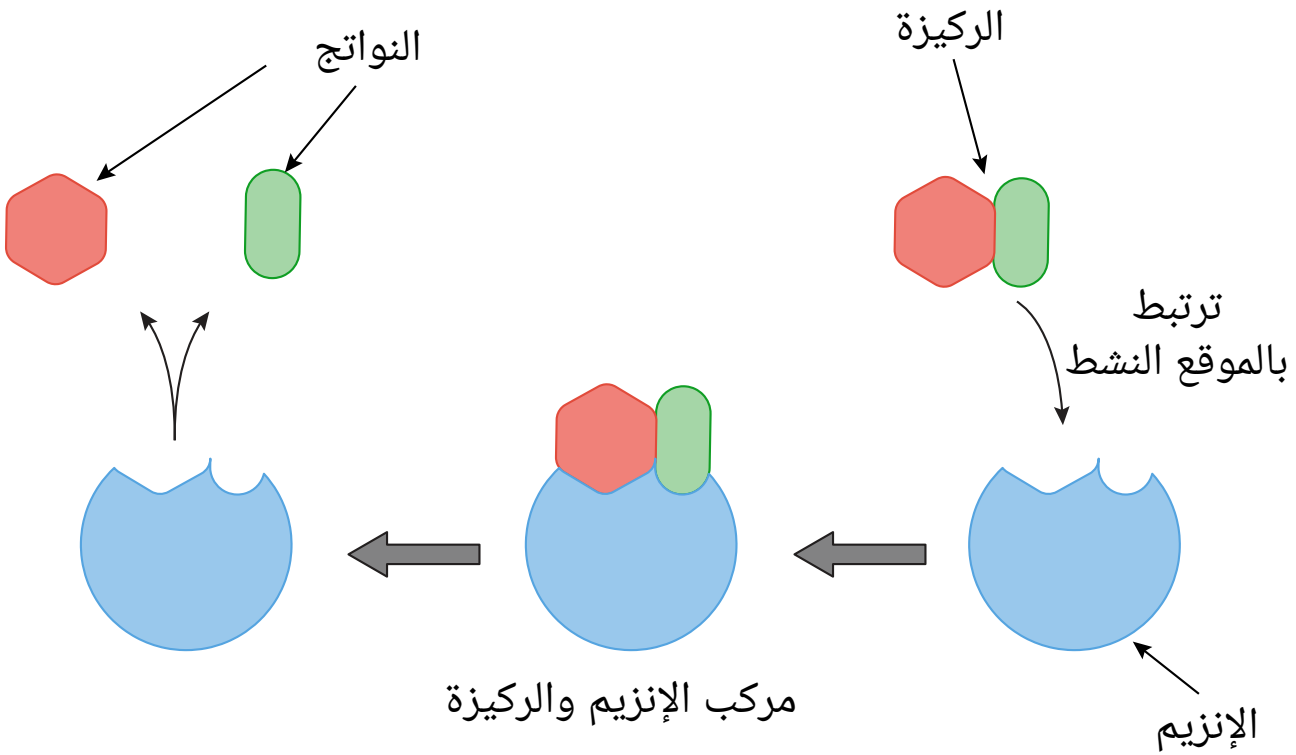
العامل الحفَّاز عبارة عن مادة تقلِّل طاقة التنشيط اللازمة لحدوث تفاعل كيميائي دون أن تُستهلَك خلال التفاعل؛ ومن ثمَّ فإن التفاعل الكلي يحدث بمعدل أسرع.

نموذج القفل والمفتاح

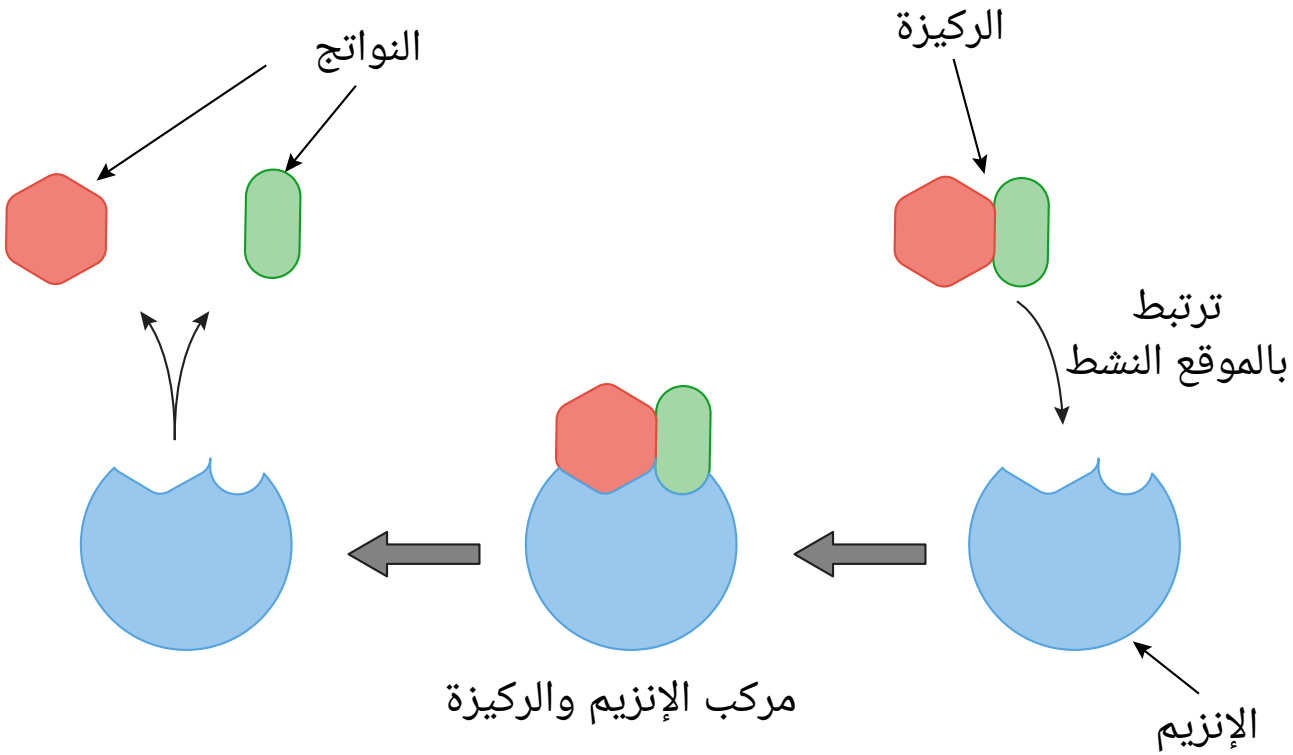
لكل إنزيمٍ موقعٌ نشط مختلف له شكل محدَّد.

ويرجع ذلك إلى أن كل نوع من الإنزيمات يتكامل مع جزيء واحد يرتبط به، ويُسمَّى «الركيزة»، وهذا موضَّح في الشكل.

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.



مركب الإنزيم والركيزة



ترتبط الركيزة بالموقع النشط للإنزيم، وهي المرحلة 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.

إنزيمات الهضم

لا تُستَهلك الإنزيمات في التفاعلات الكيميائية، وهو ما يعني أنه يمكنها أن تستمر في تحفيز التفاعلات حتى بعد حدوث العديد من التفاعلات.

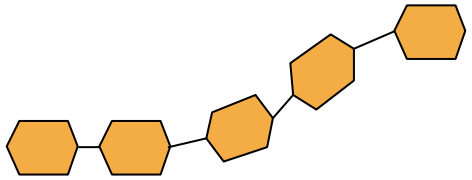
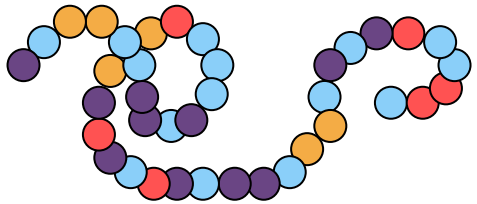
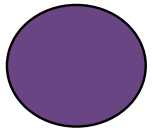
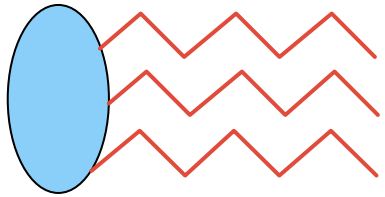
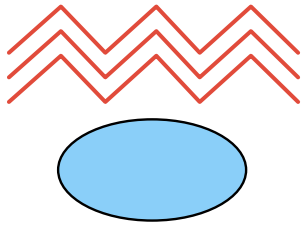
يمكن للإنزيمات، حسب نوعها، إما تكسير جزيئات كبيرة في عملية تُسمَّى «الهضم»، وإما بناء جزيئات حيوية كبيرة من الوحدات الفرعية الصغرى.

وتُعَد عملية الهضم ضرورية في جسم الإنسان؛ فهي الطريقة التي نحوِّل بها الجزيئات الكبيرة الموجودة في الطعام الذي نتناوله إلى جزيئات 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.

الجزيئات الحيوية الكبيرة

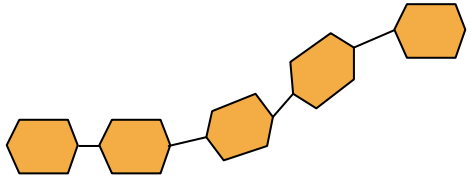
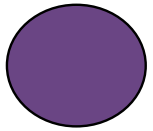
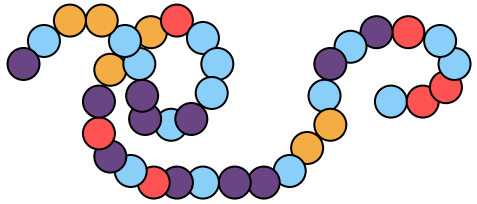
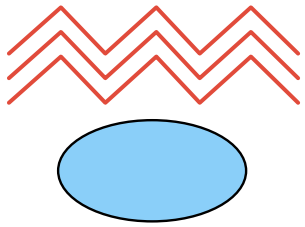
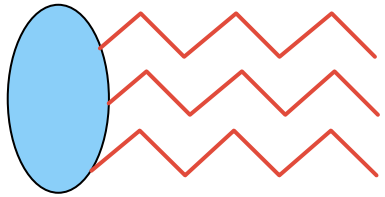
بما أن تركيزنا الأساسي على الإنزيمات الهضمية، فسنتناول أولًا تركيب الجزيئات الحيوية الكبيرة المختلفة التي تشارك في عملية الهضم قبل معرفة الإنزيمات التي يمكن استخدامها لتكسير هذه الجزيئات.

تُستخدَم الإنزيمات المشاركة في عملية الهضم عند الإنسان لتحويل الجزيئات الحيوية الكبيرة، الموضَّحة على اليسار في الشكل، إلى وحدات فرعية أصغر، وهي الموضَّحة على اليمين.

جزيء حيوي كبير	وحدة فرعية
كربوهيدرات معقَّدة (مثل النشا)	سكر بسيط (مثل الجلوكوز)
	
بروتين	حمض أميني
	
ليبيد (مثل ثلاثي الجليسريد)	أحماض دهنية وجليسرول
	

البوليمرات والمونومرات

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

وحدة فرعية	جزيء حيوي كبير
سكر بسيط (مثل الجلوكوز)	كربوهيدرات معقَّدة (مثل النشا)
	
حمض أميني	بروتين
	
أحماض دهنية وجليسرول	ليبيد (مثل ثلاثي الجليسريد)
	

الكربوهيدرات

بوليمرات الكربوهيدرات عبارة عن سلسلة طويلة من مونومرات السكريات البسيطة.

ويُعَد النشا مثالًا على بوليمر من الكربوهيدرات مكوَّن من عدة جزيئات جلوكوز مرتبطة معًا.

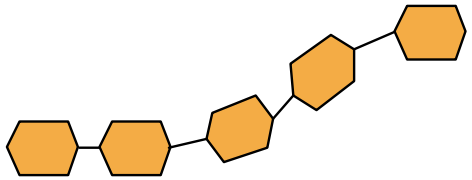
الموز مليء بالنشا؛ لذا يصبح مذاقه سكريًّا أكثر كلما نضج؛ لأن جزيئات النشا الموجودة فيه تتكسَّر إلى سكريات أصغر.

وحدة فرعية

سكر بسيط (مثل الجلوكوز)

جزيء حيوي كبير

كربوهيدرات معقَّدة (مثل النشا)



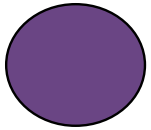
البروتينات والأحماض الأمينية

البروتينات عبارة عن بوليمرات تتكوَّن من مونومرات أحماض أمينية مختلفة مرتبطة معًا عن طريق روابط ببتيدية.

يدخل 20 حمضًا أمينيًّا قياسيًّا في تكوين البروتينات في جسم الإنسان تقريبًا، ويمكن ترتيبها في تركيبات مختلفة لتكوين مجموعة ضخمة من بوليمرات البروتينات المختلفة.

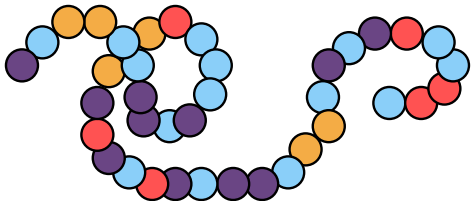
وحدة فرعية

حمض أميني



جزيء حيوي كبير

بروتين



الليبيدات

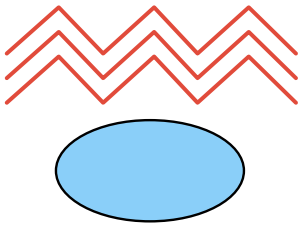
الليبيدات عبارة عن جزيئات كبيرة مكوَّنة من وحدات فرعية من الجليسرول والأحماض الدهنية.

أحد الأمثلة على الدهون جزيء ثلاثي الجليسريد 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.

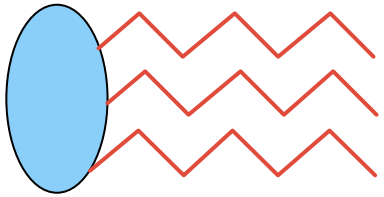
وحدة فرعية

أحماض دهنية وجليسرول



جزيء حيوي كبير

ليبيد (مثل ثلاثي الجليسريد)



مثال ١: شرح لماذا تُعد الكربوهيدرات والبروتينات بوليمرات

أيٌّ من الآتي يفسِّر على أفضل وجه لماذا تُعد الكربوهيدرات والبروتينات 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 العديد)

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

مثال ١ (متابعة)

الحل

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. 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 لا يُعد هذا سببًا.

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

تسمية الإنزيمات

إحدى الطرق المفيدة لتحديد إذا ما كان الموجود أمامنا إنزيمًا أو لا، هي أن الإنزيمات أو مجموعات الإنزيمات غالبًا ما تنتهي بالحرفين «يز».

ويمكننا في بعض الأحيان التعرُّف على البوليمر الذي تُكسِّره هذه الإنزيمات من بداية الكلمة.

من الأمثلة على ذلك

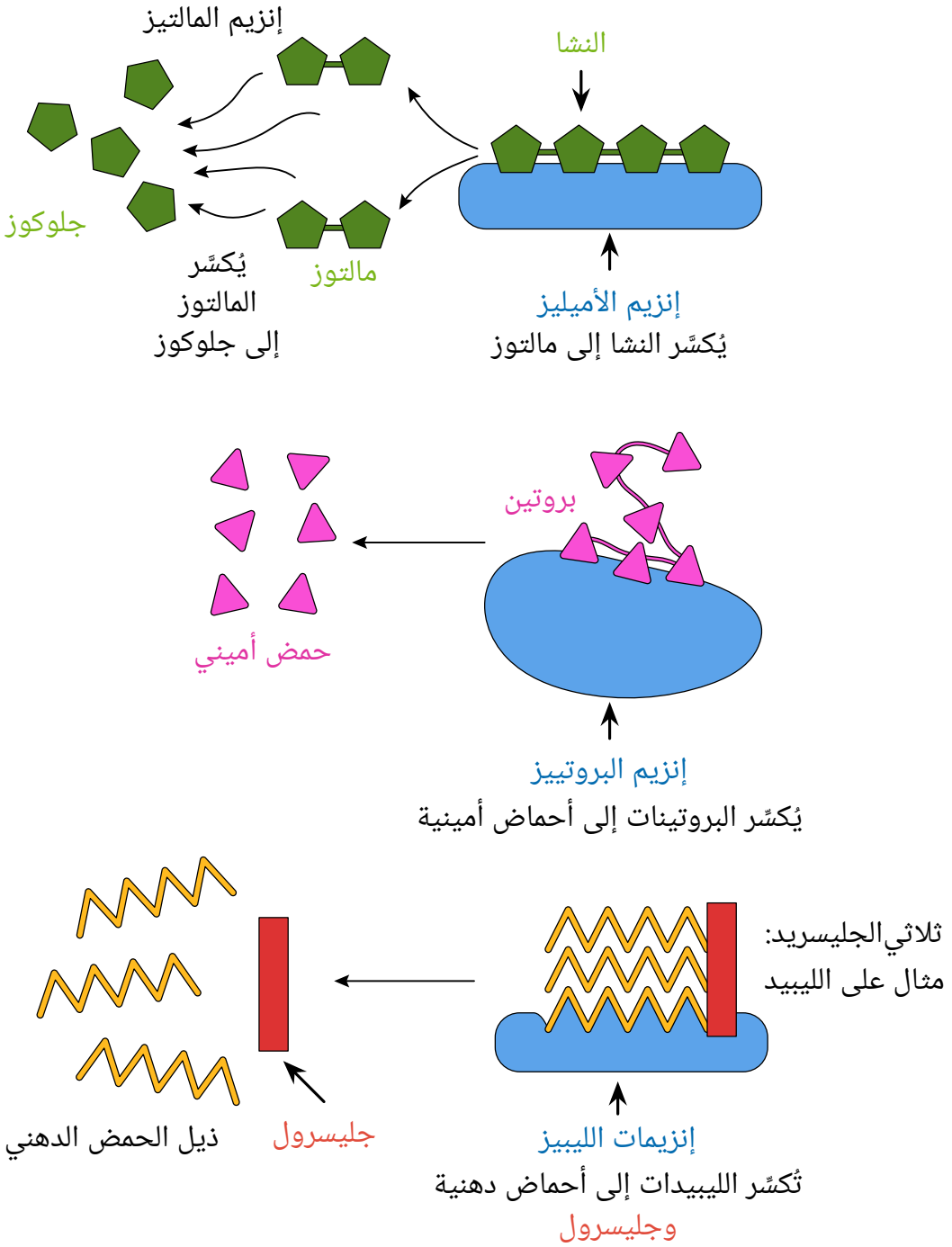
- إنزيمات الكربوهيدريز تكسر الكربوهيدرات.
- إنزيمات البروتييز تكسر البروتينات.
- إنزيمات الليبيز تكسر الليبيدات.

تسمية الإنزيمات (متابعة)

لكن علينا أن ننتبه؛ لأنه ليس بالضرورة أن ينتهي جميع الإنزيمات بالحرفين «يز»، وليس بالضرورة أيضًا أن تتضمَّن أسماء جميع الإنزيمات الركيزة التي تعمل عليها.

فعلى سبيل المثال: يُكسِّر إنزيم الأميليز، الموضَّح هنا النشا إلى مالتوز، وهو يكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز بواسطة إنزيم آخر يُسمَّى «المالتيز».

يوضِّح الشكل إنزيمات الأميليز والبروتييز والليبيز، وهي تعمل على تكسير ركائز البوليمرات الخاصة بها.



مثال ٢: شرح كيف تساعد الإنزيمات على الهضم

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

أ. تُفرَز الإنزيمات بواسطة المرارة لمعادلة حمض المعدة.
ب. تُنظِّم الإنزيمات الأس 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.

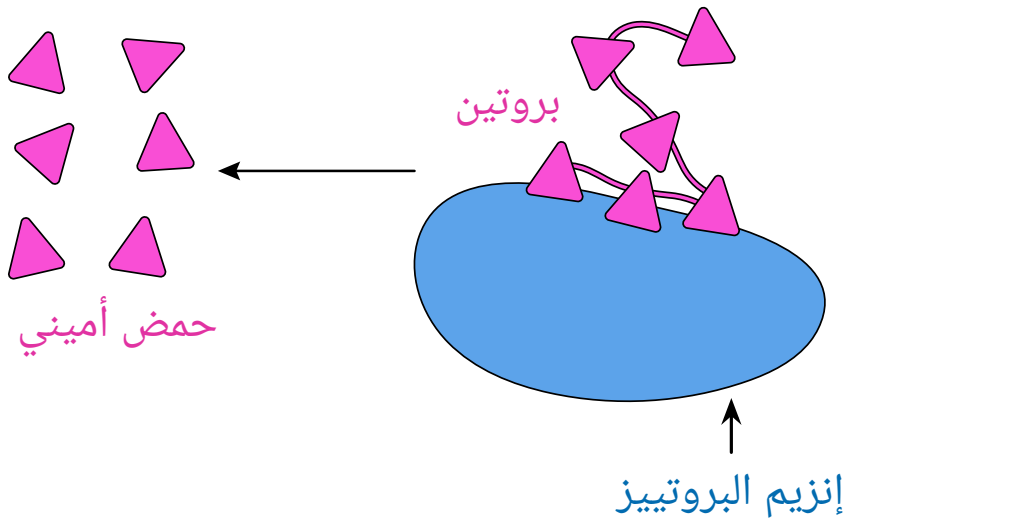
مثال ٢ (متابعة)

الحل

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

الدور الذي تؤديه 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.



مثال ٢ (متابعة)

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 الأس الهيدروجيني أو معادلة الأحماض، على الرغم من أن لها قيمًا مُثلى من الأس 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

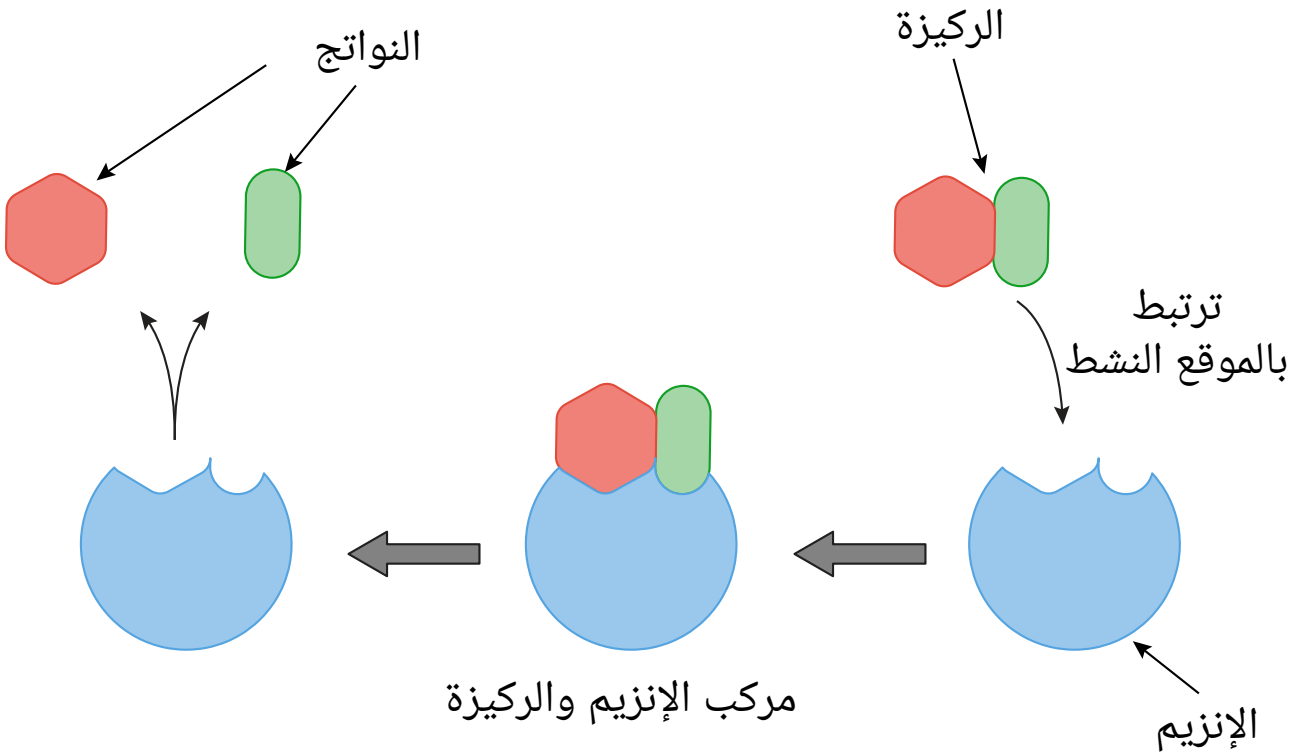
مثال ٣ (متابعة)

الحل

الإنزيمات عبارة عن عوامل حفَّازة حيوية تقلِّل طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل.

لكل إنزيمٍ موقعٌ نشط مختلف له شكل محدَّد. ويرجع ذلك إلى أن كل نوع من الإنزيمات يتكامل مع جزيء واحد يرتبط به، يُسمَّى «الركيزة».

وعندما يحفِّز الإنزيم التفاعل، فإنه يُطلِق النواتج من موقعه النشط، كما هو موضَّح في الشكل:



مثال ٣ (متابعة)

الدور الذي يؤديه 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 محددة ومتكاملة مع تلك الجزيئات. ونجد بعد ذلك أن الوحدات الفرعية الصغيرة الناتجة تُطلَق من الموقع النشط للإنزيم؛ لكي تُمتَص 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

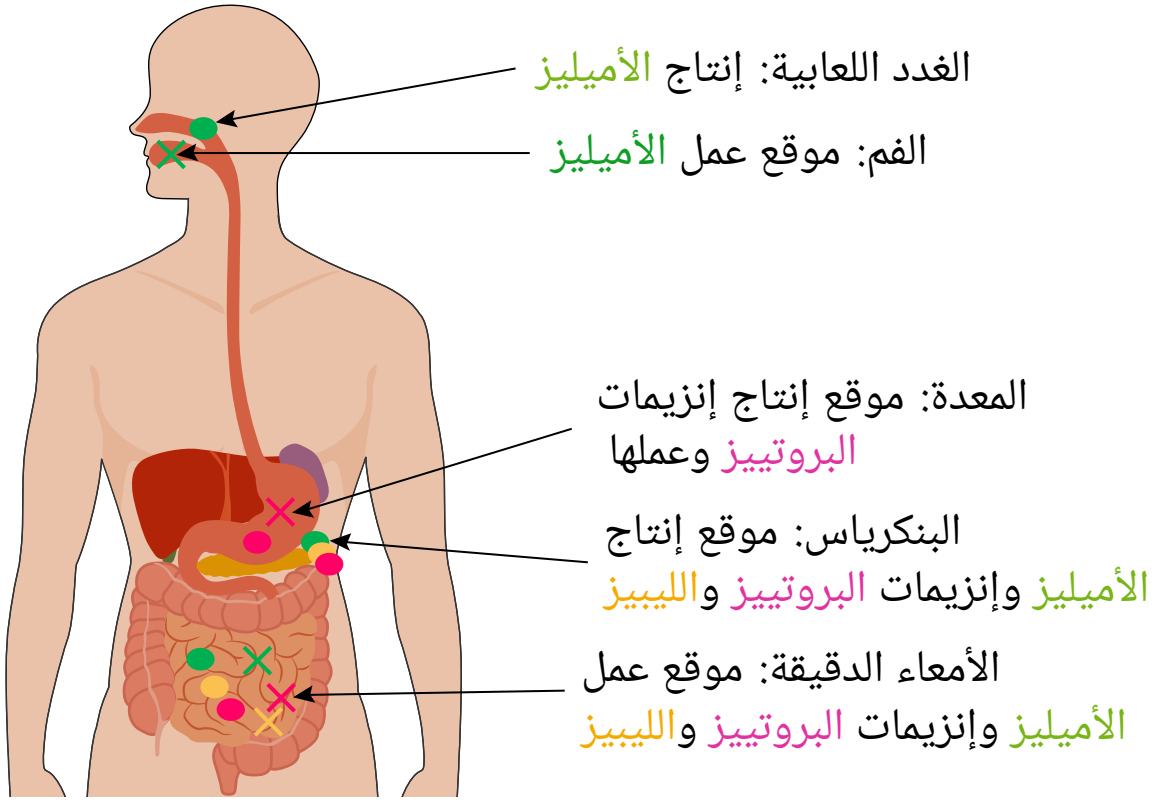
الإنزيمات والهضم

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 الأميليز وإنزيمات الليبيز، 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.



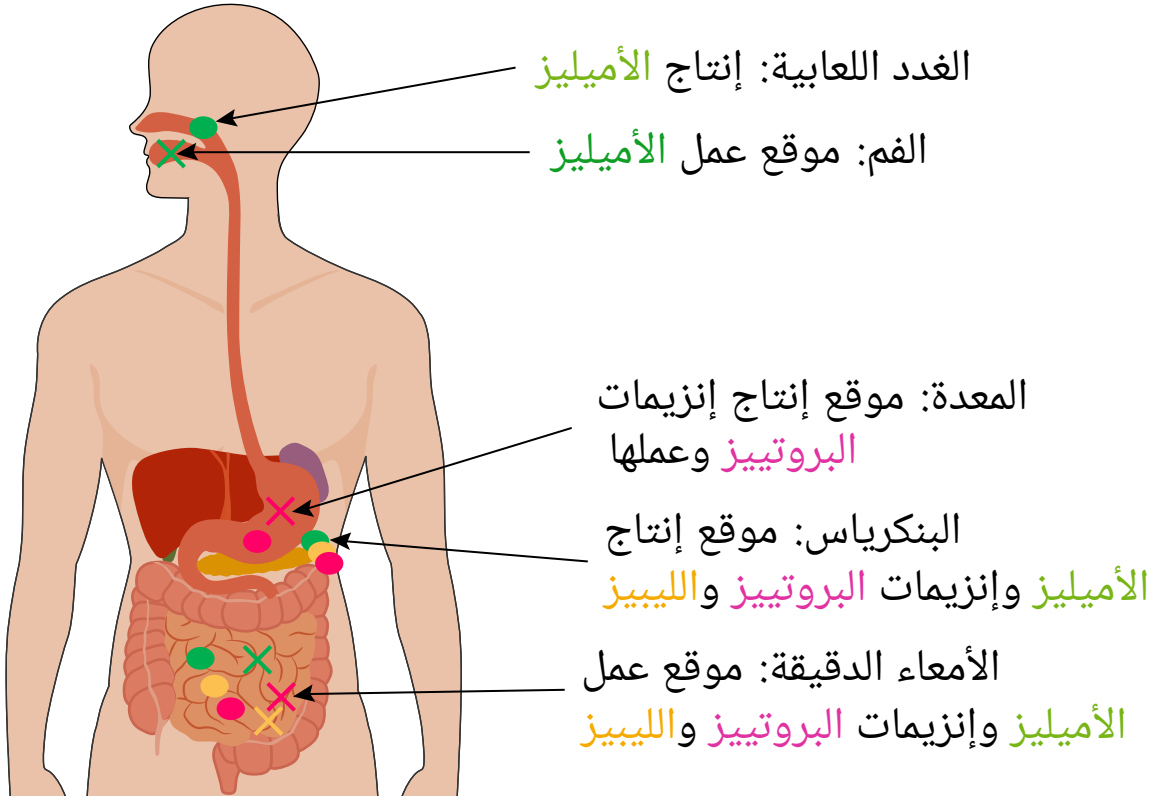
الأميليز

يمكنك أن ترى أماكن الأعضاء الرئيسية في الجهاز الهضمي، مع مواقع الإنتاج (الموضحة بالدوائر) ومواقع العمل (الموضحة بعلامات الزائد) لكل إنزيم مرمَّز بلون مُعيَّن.

- إنزيم الأميليز باللون الأخضر.
- إنزيمات البروتييز باللون الوردي.
- إنزيمات الليبيز باللون البرتقالي.

تُنتج الغدد اللعابية والبنكرياس إنزيم الأميليز، الذي يُكسِّر النشا إلى مالتوز (الذي يُكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز).

ويعمل هذا الإنزيم في الفم، وفي الأمعاء الدقيقة، المُتصلين بالغدد اللعابية والبنكرياس على الترتيب.

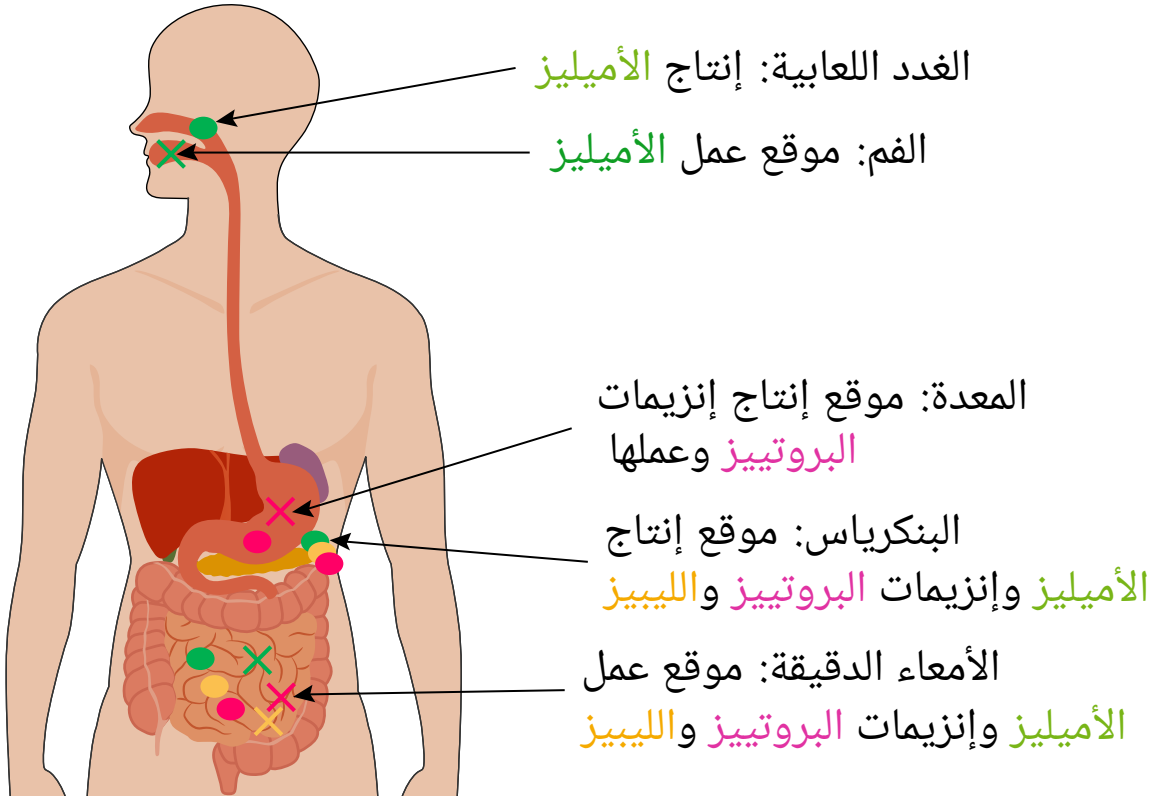


إنزيمات الليبيز والبروتييز

تُنتَج إنزيمات الليبيز، التي تُكسِّر الليبيدات إلى جليسرول وأحماض دهنية، في البنكرياس، وتعمل في الأمعاء الدقيقة.

تُنتَج إنزيمات البروتييز، التي تُكسِّر البروتينات إلى عديدات الببتيد أو الببتيدات أو الأحماض الأمينية، في البنكرياس والأمعاء الدقيقة والمعدة.

وتعمل في الأمعاء الدقيقة والمعدة.



إنزيمات البروتييز

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 بوصفه جزءًا من العصارة المعدية، لحماية باقي أجزاء الجهاز الهضمي من الكائنات الحية الدقيقة المُسببة للأمراض.

لذلك فإن الأس الهيدروجيني الأمثل للببسين منخفض جدًّا (1.5–2.5)؛ ليتمَّكن من العمل بفعالية في هذه الظروف الحمضية.

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

إنزيمات البروتييز (متابعة)

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 الببتيدات وعديدات الببتيد، إلى وحدات فرعية من الأحماض الأمينية.

ويكون الأس الهيدروجيني الأمثل للتربسين (9) أكبر من الأس 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.

مقارنة الببسين والتربسين

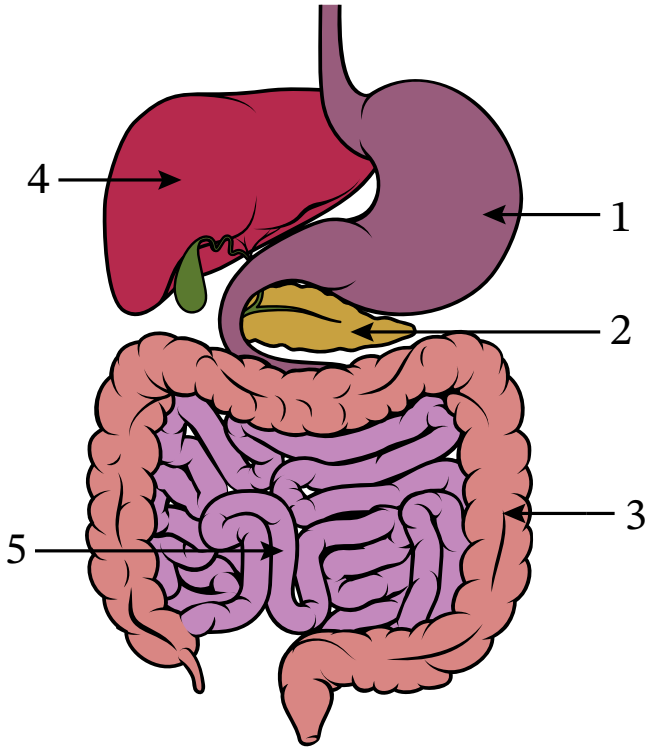
الصورة النشطة	الببسين	التربسين
الصورة غير النشطة	الببسينوجين	التربسينوجين
كيف يتم تنشيط الصورة غير النشطة؟	يتحوَّل إلى ببسين في وجود حمض الهيدروكلوريك في العصارة الهضمية	يتحوَّل إلى تربسين في وجود إنزيم الإنتيروكينيز
موقع الإنتاج	المعدة	يفرز البنكرياس التربسينوجين الذي يتحول إلى تربسين في الأمعاء الدقيقة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

مقارنة الأميليز وإنزيمات البروتييز والليبيز

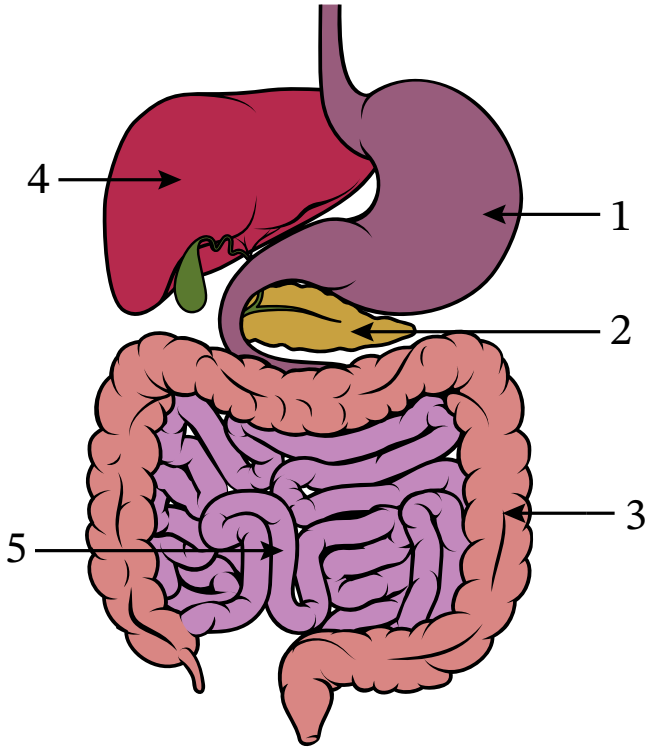
مجموعة الإنزيمات	الركيزة	الناتج	موقع الإنتاج	موقع العمل
الأميليز	النشا	المالتوز (الذي يُكسَّر بعد ذلك إلى جلوكوز بواسطة إنزيمات المالتيز)	الغدد اللعابية والبنكرياس	الفم والأمعاء الدقيقة
إنزيمات البروتييز	البروتينات	عديدات الببتيد أو الأحماض الأمينية	المعدة والبنكرياس والأمعاء الدقيقة	المعدة والأمعاء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



مثال ٤ (متابعة)

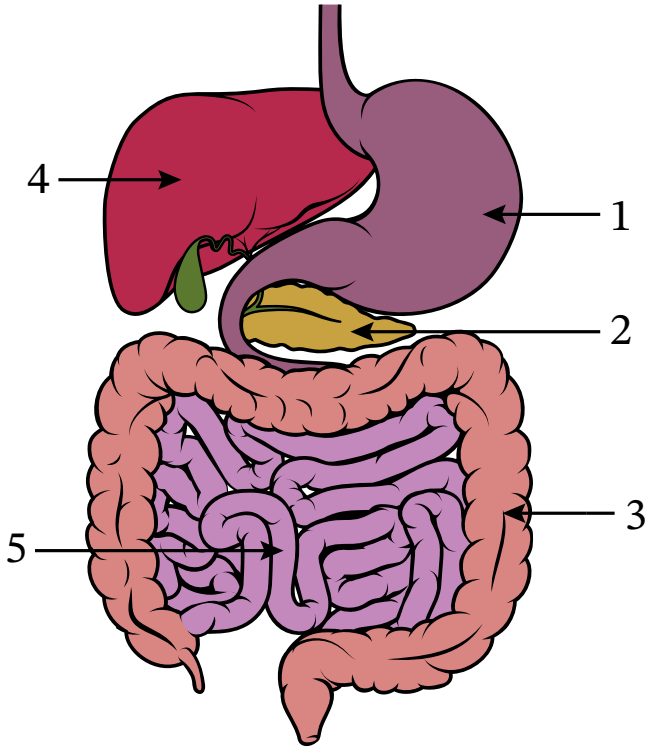


الحل

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 إنزيمات البروتييز والليبيز والأميليز (نوع من إنزيمات الكربوهيدريز). ويُنتج البنكرياس بعض أنواع 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).

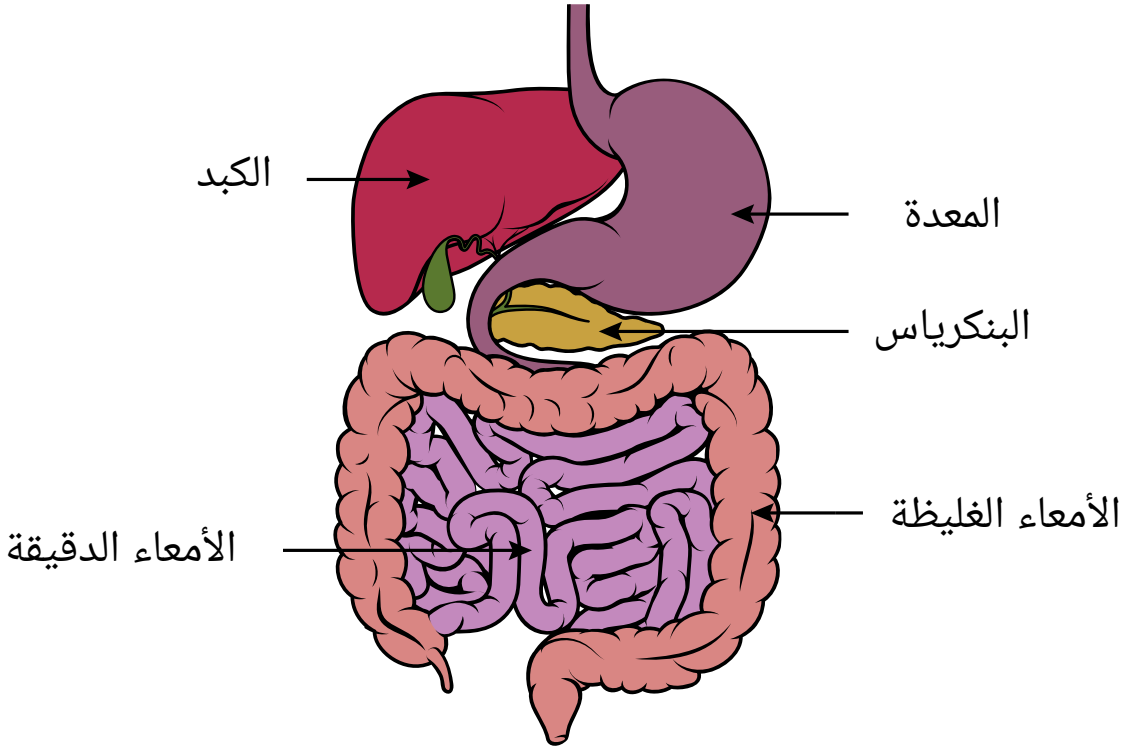
مثال ٤ (متابعة)



يُفرِز البنكرياس إنزيمات الهضم الرئيسية الثلاثة في 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).

مثال ٤ (متابعة)



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

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

النقاط الرئيسية

- مجموعات الإنزيمات الرئيسية المشاركة في عملية الهضم لدى الإنسان هي الأميليز وإنزيمات البروتييز 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.