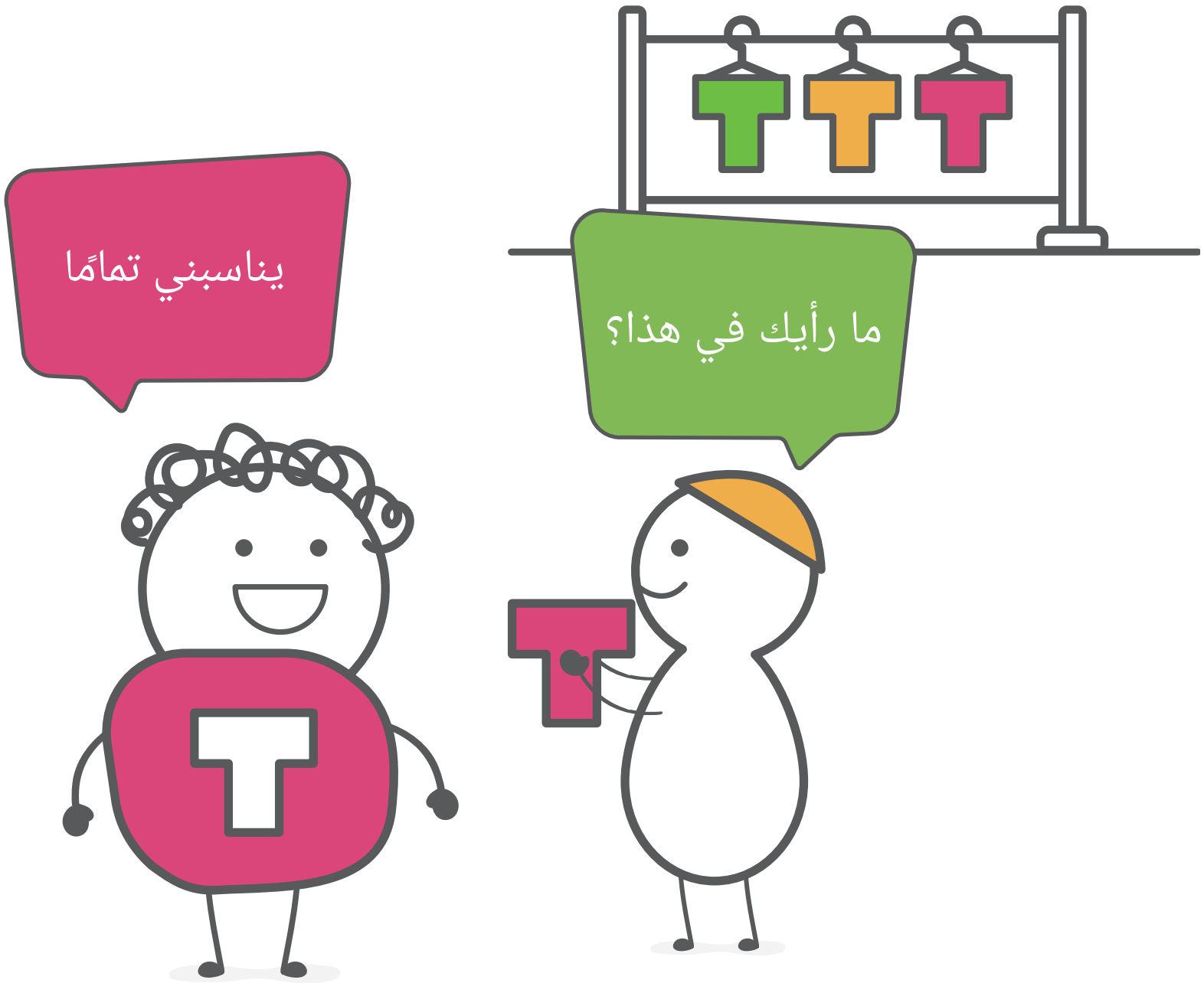
الإنزيمات



أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- تذَكُّر أن الإنزيمات هي عبارة عن بروتينات
- وصف كيف تعمل الإنزيمات باعتبارها عوامل حفازة حيوية في تفاعلات معينة، عادةً ما تكون تفاعلات انعكاسية
- فهم أن الإنزيمات تُحَفِّز تفاعلات معينة فقط نتيجة الحاجة إلى أن يكون للإنزيم وركيزته (أو ركائزه) شكل متكامل
- تَذَكُّر أن بعض الإنزيمات تُفْرَز في صورة غير نَشِطة ويجب تنشيطُها
- تحديد أن الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة يمكن أن يُؤَثِّرا على نشاط الإنزيمات

الإنزيمات باعتبارها مثالًا على البروتينات

البروتينات هي جزيئات حيوية لها العديد من الأنواع المختلفة. يمكن للبروتينات أن تكون هرمونات، تُشارك في تبادل الإشارات بين الخلايا وتنظيم العمليات الحيوية، أو المكونات التركيبية في الخلية المسئولة عن الحفاظ على التراكيب الخلوية في مكانها أو انقباض العضلات. وتُعد الإنزيمات الموجودة في أجسامنا أمثلة على البروتينات أيضًا.

ما الإنزيم؟

الإنزيمات هي بروتينات لها وظيفة العوامل الحفَّازة. والعامل الحفَّاز هو مادة تزيد معدل التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلَك أو تتغير بشكل ملحوظ أثناء التفاعل.

تعريفان: الإنزيم والعامل الحفَّاز

الإنزيم

الإنزيم هو عامل حفَّاز حيوي يعمل على زيادة سرعة معدل التفاعل دون أن يُستهلَك أثناء التفاعل.

العامل الحفَّاز

العامل الحفَّاز هو مادة تقلِّل طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلَك أثناء التفاعل؛ ومن ثمَّ فإن التفاعل الكلي يحدث بمعدل أسرع.

أهمية الإنزيمات للبقاء

من دون تأثير الإنزيمات، ستكون التفاعلات الحيوية داخل خلايا الجسم بطيئة للغاية. على سبيل المثال: إذا لم تعمل الإنزيمات المحفِّزة لعملية التنفس، فلن يتكسر الجلوكوز بالمعدل اللازم لإطلاق الطاقة وهو ما يؤدي إلى إنتاج طاقة أقل من المُعتاد. ولأن العديد من العمليات الحيوية الأساسية يحتاج إلى الطاقة لحدوثه (مثل الهضم)، فلن نتمكن من البقاء!

من الأمثلة على الخلل الذي يمكن أن يحدث في جسم الإنسان نتيجة غياب أحد الإنزيمات مرض الفينيل كيتون يوريا. وهو غياب الإنزيم المحفِّز لعملية تكسير الحمض الأميني الفينيل ألانين، ويتسبب ذلك في تراكمه في الجسم حتى يصل إلى مستويات سامة، وتحديدًا في المخ.

مثال ١: تعريف الإنزيم باعتباره عاملًا حفَّازًا

تعمل الإنزيمات عوامل حفَّازة. ما وظيفة العامل الحفَّاز؟

أ. العامل الحفَّاز يسرِّع معدَّل التفاعل.
ب. العامل الحفَّاز يزيد عدد المتفاعلات في التفاعل.
ج. العامل الحفَّاز يحافظ على ثبات معدَّل التفاعل.
د. العامل الحفَّاز يضمن عدم انتهاء التفاعل.
هـ. العامل الحفَّاز يُبطِّئ معدَّل التفاعل.

مثال ١ (متابعة)

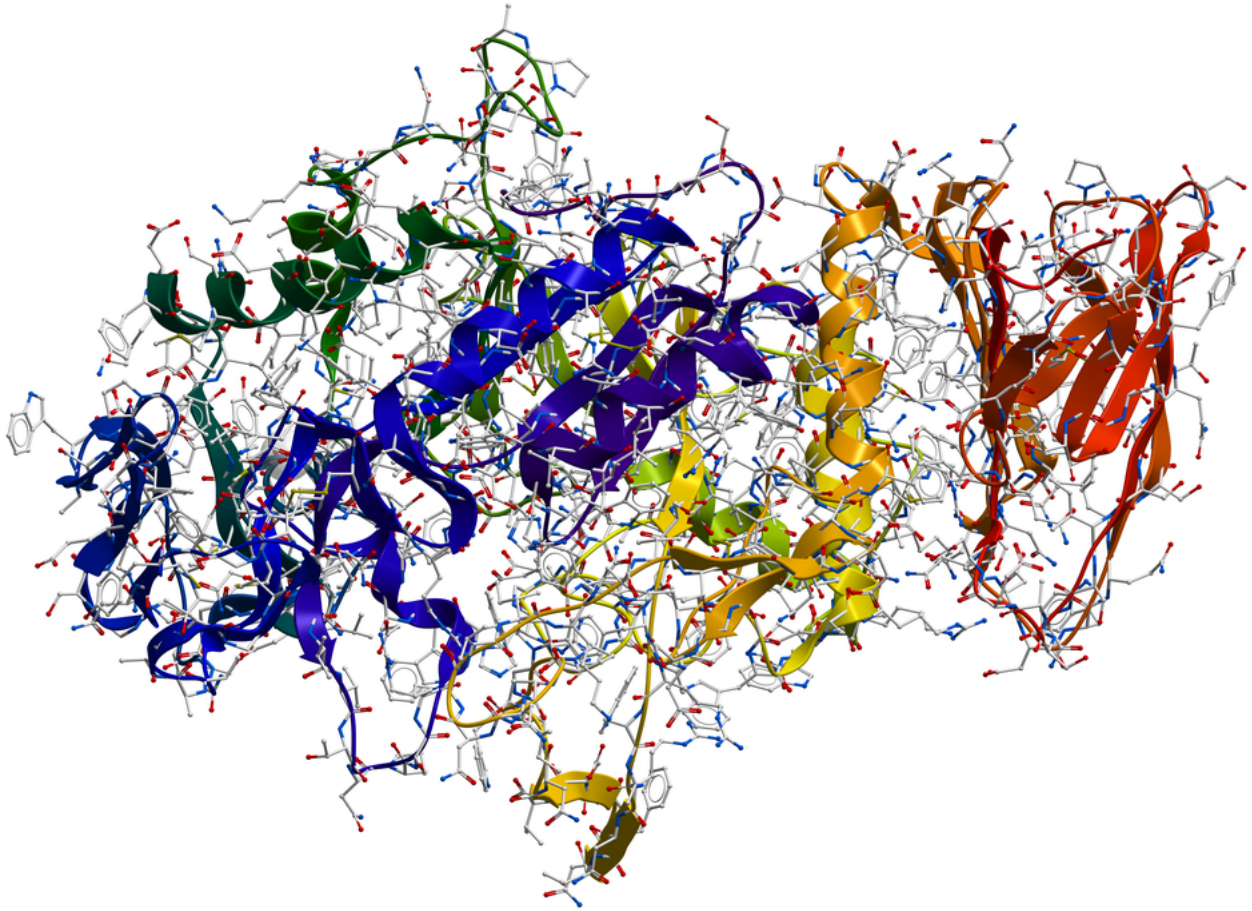
الحل

تُعد الإنزيمات أمثلة على البروتينات التي توجد في جسم الإنسان. وتؤدي الإنزيمات دورًا مهمًّا للغاية في تنفيذ العديد من التفاعلات الحيوية داخل أجسامنا؛ من دون وجود هذه الإنزيمات، تحدث هذه التفاعلات بمعدل بطيء لدرجة تجعل أجسامنا تتوقف عن العمل بشكل طبيعي!

العامل الحفَّاز في الكيمياء هو مادة تزيد معدل التفاعل دون أن تكون أحد المتفاعلات. ولأن الإنزيمات هي جزيئات حيوية تعمل على زيادة سرعة التفاعلات دون أن تُستهلَك أو تتغير أثناء العملية، فعادةً ما تُسمى الإنزيمات «العوامل الحفَّازة الحيوية».

إذن فإن الإجابة الصحيحة هي الخيار أ: العامل الحفَّاز يسرِّع معدَّل التفاعل.

تركيب الإنزيمات



تأخذ الإنزيمات شكل البروتينات الكروية، أي إنها كروية أو دائرية الشكل. تتكون الإنزيمات نتيجة تفاعل العديد من سلاسل عديد الببتيد، ولكل إنزيم تركيب يتناسب مع وظيفته.

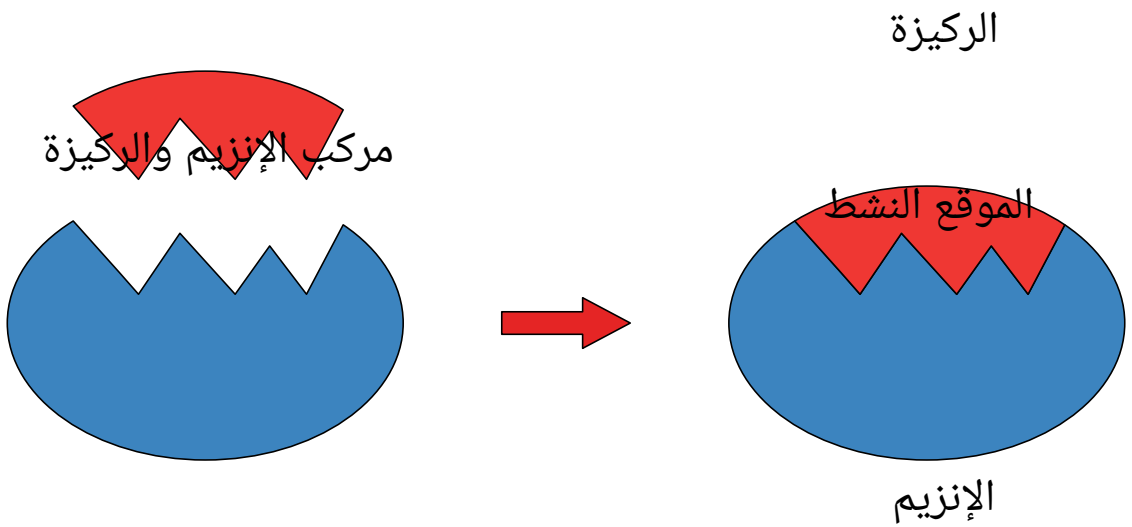
يوضح الشكل الآتي صورة منشأة بالحاسوب للتركيب الجزيئي لإنزيم ألفا أميليز. الألفا أميليز إنزيم موجود في جسم الإنسان لتكسير جزيئات الكربوهيدرات الكبيرة إلى جزيئات أصغر.

تركيب الإنزيمات (متابعة)

تحتوي الإنزيمات على مناطق تسمى المواقع النشطة حيث ترتبط فيه الركائز لبدء النشاط الحفَّاز. عادةً ما توجد المواقع النشطة في تجويف داخل التركيب الثلاثي الأبعاد للإنزيم.

يأخذ الموقع النشط شكلًا يتناسب مع شكل الركيزة، كما هو موضح في الشكل الآتي. ويُسمى ذلك «التكامل». ما يعني أن الإنزيمات لا تحفِّز إلا أحد التفاعلات الكيميائية المحددة، ويشار إلى ذلك بـ «تخصُّص الإنزيم». يوافق النشا الموقع النشط للأميليز، في حين لا تتوافق البروتينات أو الدهون معه. لذا فإن الأميليز لن يحفِّز إلا تكسير النشا؛ أي لن يحفِّز تكسير البروتينات أو الدهون.

وتحتوي بعض الإنزيمات على عدة مواقع نشطة، تعمل على تحفيز تفاعلات مختلفة.



تعريفان: الموقع النشط والركيزة

الموقع النشط

الموقع النشط هو المنطقة الموجودة على سطح جزيء الإنزيم، التي ترتبط بها ركيزة معيَّنة وتخضع لتفاعل كيميائي.

الركيزة

الركيزة هي الجزيء أو مجموعة الجزيئات التي لها شكل محدَّد ومتكامل مع موقع نشط لإنزيم ما.

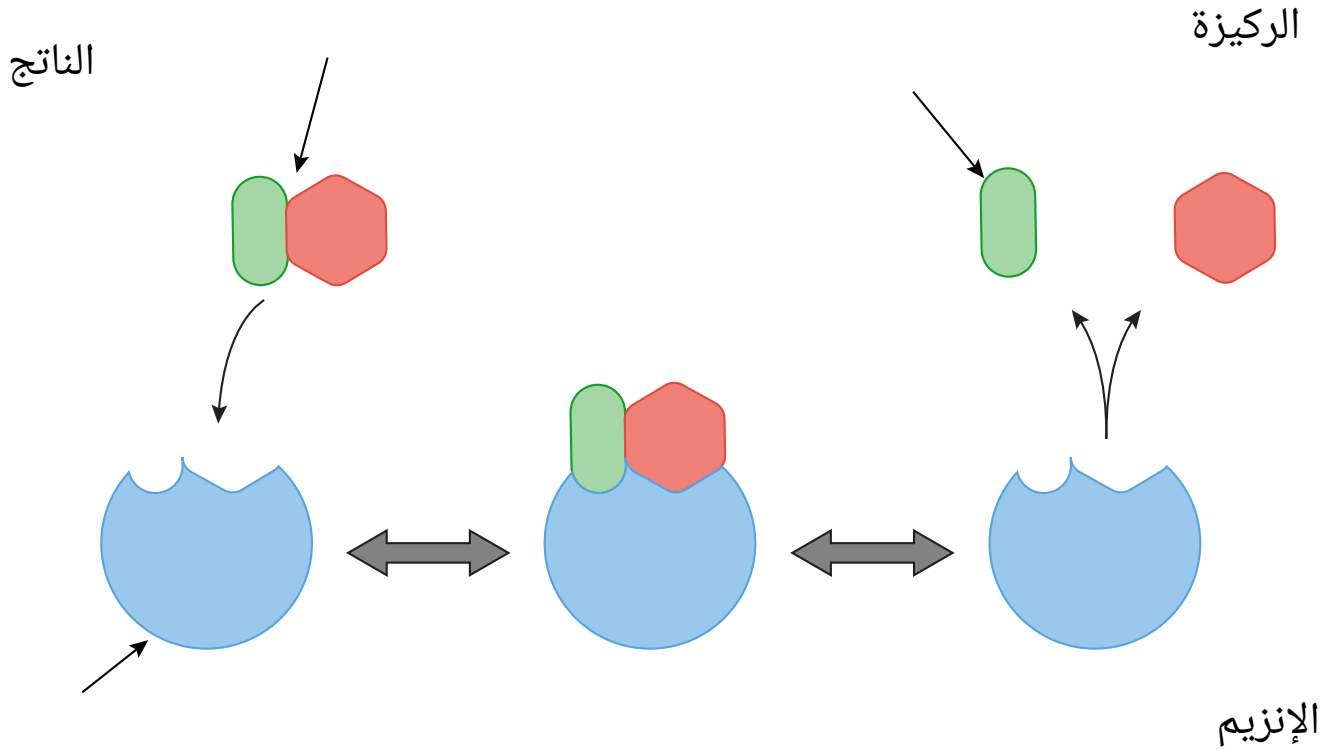
مصطلح رئيسي: التكامل

تكامل شكل الموقع النشط للإنزيم مع شكل جزيء ركيزة معيَّنة يعني أن هذه الركيزة وحدها هي التي يمكن أن تتكامل مع هذا الإنزيم، ولذلك يحفِّز هذا الإنزيم تفاعلًا واحدًا محدَّدًا.

التفاعلات الانعكاسية للإنزيمات

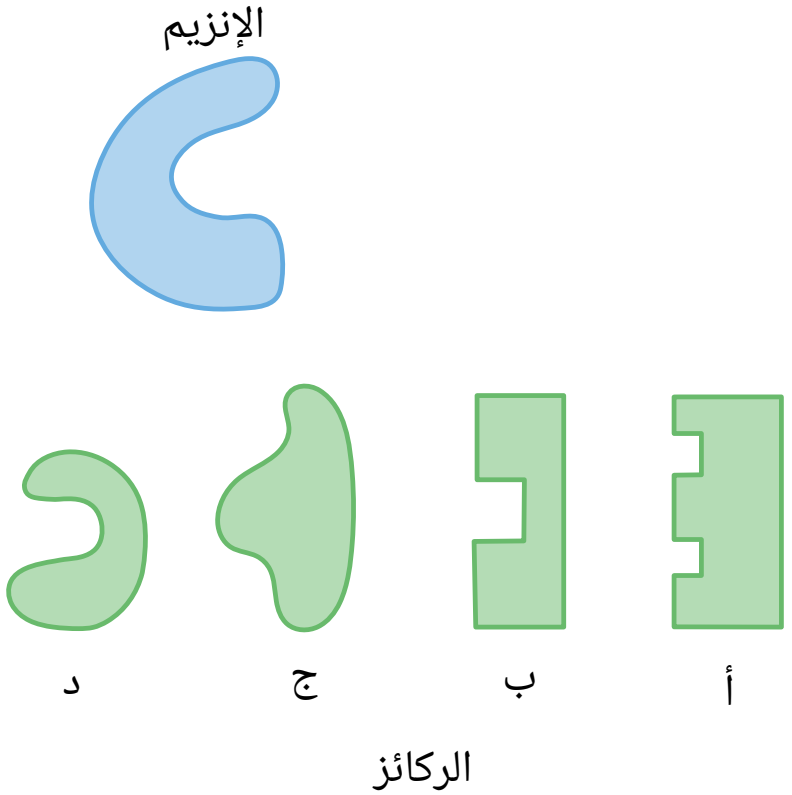
قد تحفِّز الإنزيمات تفاعلات تكسير للجزيئات إلى مكونات أبسط ثم تحفِّز التفاعل الذي يعيد تشكيل الجزيء من هذه المكونات. وتزيد هذه الإنزيمات معدل التفاعل حتى يصل إلى حالة الاتزان.

يُعد إنزيم الكربونيك أنهيدريز أحد الأمثلة على الإنزيمات التي تحفِّز تفاعلًا انعكاسيًّا. يحوِّل هذا الإنزيم أولًا ثاني أكسيد الكربون هذا إلى مادة تُسمى «حمض الكربونيك» و«أيونات البيكربونات». وبمجرد وصول الدم إلى الرئتين، تتحول أيونات البيكربونات مرة أخرى إلى ثاني أكسيد الكربون، الذي يخرج عن طريق عملية الزفير.



مثال ٢: تحديد الإنزيمات والركائز التي تتكامل معها

يوضِّح الشكل الآتي إنزيمًا وبعض الركائز. ما الركيزة التي يرتبط بها الإنزيم؟

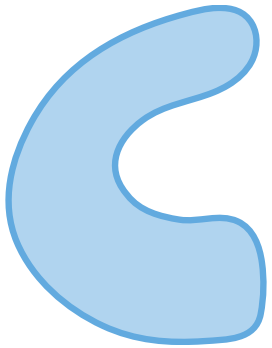


مثال ٢ (متابعة)

الحل

توجد على سطح أي إنزيم منطقة مميزة تُسمى «الموقع النشط»، وهي المنطقة التي يرتبط فيها الإنزيم بالركيزة (أو الركائز). يتكامل شكل الموقع النشط للإنزيم مع شكل الركيزة (أو الركائز). ويعني ذلك أن هذين الشكلين لن يكونا متطابقين، ولكن سيتكامل أحدهما مع الآخر. من المفيد التفكير في ذلك باستخدام نموذج القفل والمفتاح؛ حيث لا يتطابق شكل المفتاح مع شكل القفل، وإنما يكون متكاملًا له، ومن ثَمَّ نجد أن مفتاحًا معينًا فقط يتناسب تمامًا مع قفل محدَّد لفتح أحد الأبواب. دعونا نلقِ نظرة على شكل الإنزيم الذي لدينا.

الإنزيم

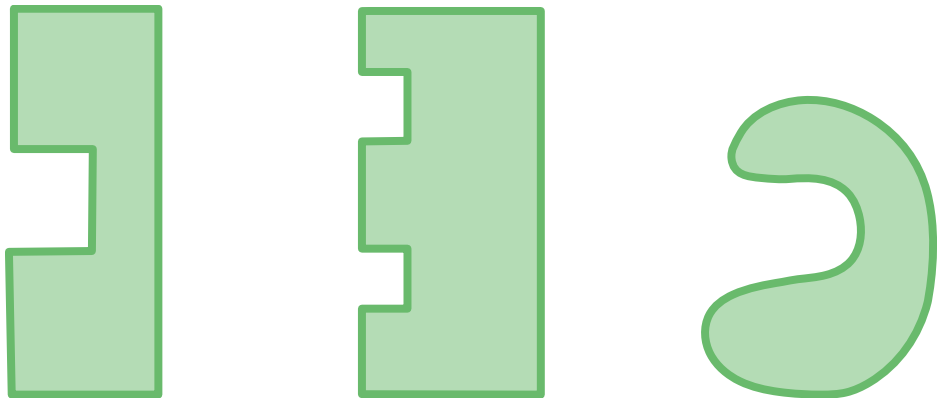


مثال ٢ (متابعة)

نلاحظ أن الموقع النشط له شكل دائري؛ لذا سنبحث عن الركيزة التي يتناسب شكلها تمامًا مع هذا الموقع.

يتطابق شكل الركيزة أ مع شكل الإنزيم. ولعلنا نتذكر أن التكامل لا يعني تطابق شكلَيِ الإنزيم والركيزة. لذا سنستبعد الركيزة أ.

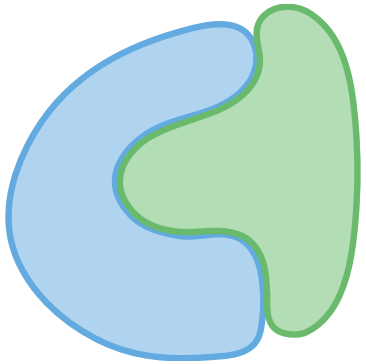
تتكون الركيزتان ج، د من شكلين مستطيلين. لكننا نبحث عن شكل دائري يتكامل مع الموقع النشط. لذا سنستبعد أيضًا الركيزتين ج، د.



أ د ج

مثال ٢ (متابعة)

الركيزة ب دائرية الشكل، ويبدو أنها تناسب الموقع النشط جيدًا. دعونا نضع الشكلين معًا للتحقق من ذلك.

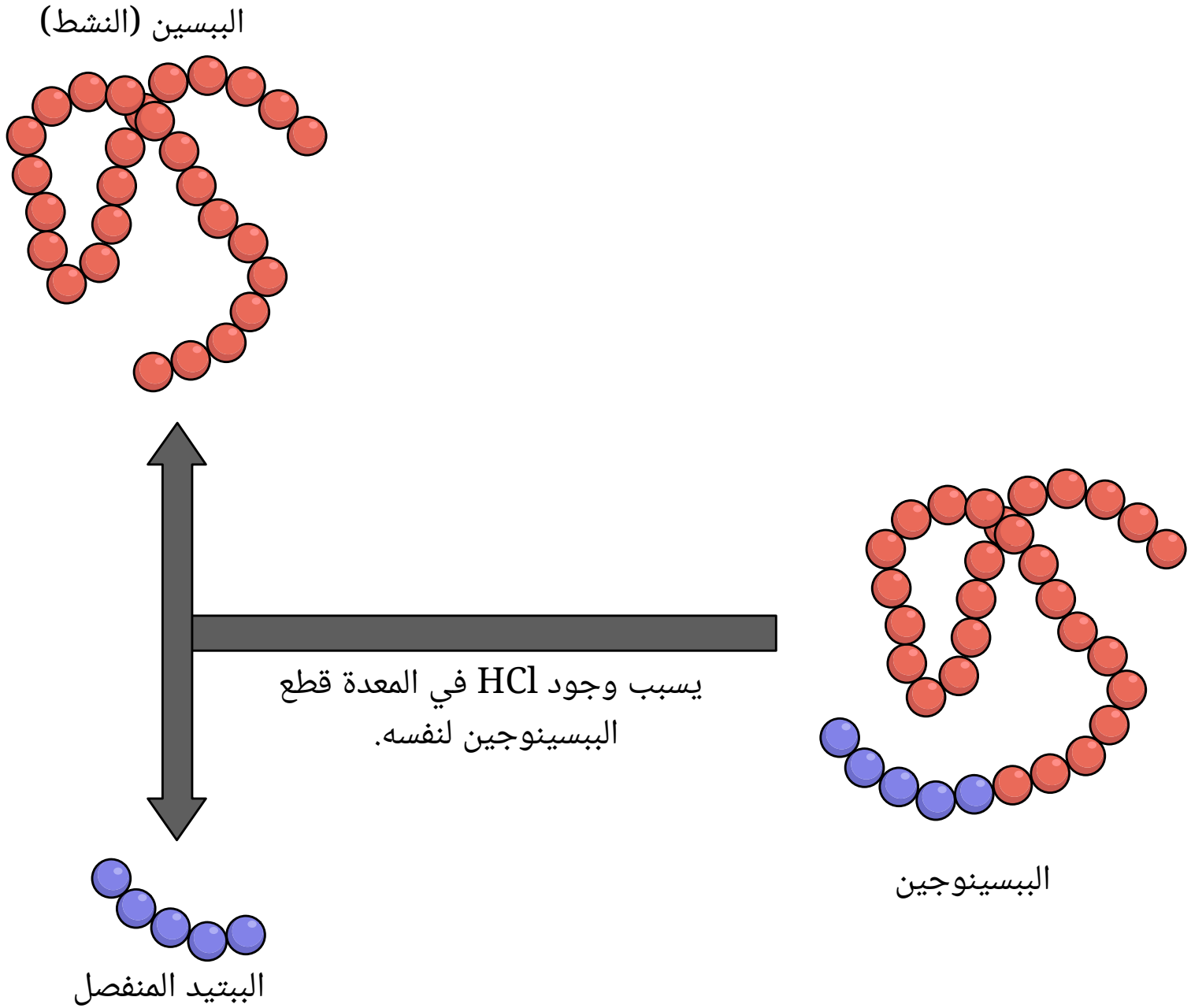


إذن فإن الركيزة التي يرتبط بها الإنزيم هي الركيزة ب.

الصور غير النشطة للإنزيمات

تُفرَز بعض الإنزيمات في حالة غير نشطة تسمى «طليع الإنزيم». تحتاج طلائع الإنزيمات هذه إلى ظروف معينة لتنشط وتتحول إلى إنزيمات نشطة.

ومن الأمثلة على ذلك إنزيم بروتييز، وهو الببسين. تفرز خلايا المعدة الببسين في حالة غير نشطة تسمى «الببسينوجين» حتى لا يهضم البروتينات الموجودة في خلايا المعدة. ويعمل حمض الهيدروكلوريك (HCl) الموجود في المعدة على تنشيط الببسينوجين بالسماح له بقطع جزء من تركيبه أو «يفصله» لينشط. يصبح الببسين جاهزًا الآن لتحفيز التفاعلات في المعدة، التي تُكسِّر البروتينات الموجودة في الطعام الذي نتناوله.



مثال ٣: تذكُّر الظروف اللازمة لإنتاج إنزيم الببسين

الببسين هو إنزيم بروتييز يعمل على تكسير جزيئات البروتينات في المعدة. ويتكون الببسين من خلال تنشيط طليعه «الببسينوجين». ما الظروف اللازم وجودها لإنتاج الببسين؟

أ. أس هيدروجيني منخفض.

ب. درجة حرارة مرتفعة.

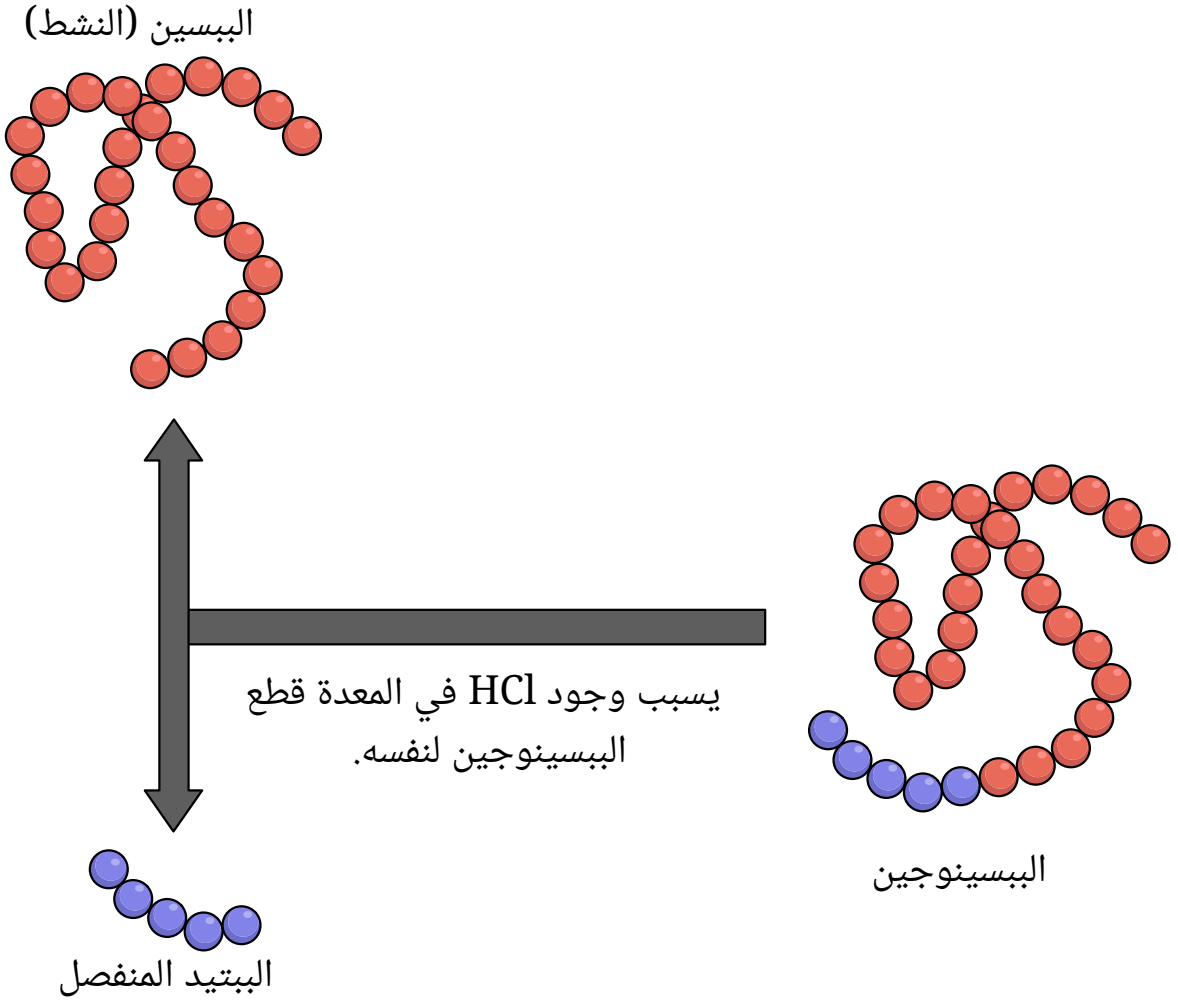
ج. نقص الأكسجين.

د. ارتفاع الملوحة.

مثال ٣ (متابعة)

الحل

توجد بعض الإنزيمات في صورة غير نشطة حيث تحتاج إلى ظروف محددة لتنشط. يُفرَز الببسين في صورة غير نشطة تسمى «الببسينوجين». عندما يتعرض الببسينوجين إلى ظروف حمضية ينقطع جزء منه ليتحول الببسينوجين إلى الصورة النشطة (الببسين).



مثال ٣ (متابعة)

دعونا نلقِ نظرة على خيارات الإجابة التي لدينا لتحديد الخيار الصحيح.

يشير ارتفاع الملوحة إلى وجود منطقة مالحة جدًّا، أو إلى الانخفاض الكبير في محتوى الماء بالنسبة إلى تركيز الأملاح فيها. لا ترتفع ملوحة المعدة كثيرًا عن الأجزاء الأخرى في جسم الإنسان، ولا تقل بها كمية الماء أيضًا بدرجة كبيرة مقارنة بالأجزاء الأخرى؛ لذا يمكننا استبعاد هذه الإجابة.

يمكن أن يتسبب ارتفاع درجة الحرارة ونقص الأكسجين في الإضرار بجسم الإنسان للغاية. تبلغ درجة حرارة الجسم المركزية نحو 37°C، وأي ارتفاع كبير فوق هذه الدرجة يمكن أن يؤدي في النهاية إلى حدوث خلل في بنية جزيئات الإنزيمات وطلائعها، بجانب آثار ضارة أخرى. يمنع نقص الأكسجين داخل الجسم الخلايا من إجراء عملية التنفُّس الهوائي؛ لذا علينا تجنب ذلك.

تنخفض قيمة الأس الهيدروجيني في المعدة للغاية (من 1.5 حتى 3.5) بسبب وجود حمض الهيدروكلوريك؛ ويتسبب انخفاض قيمة الأس الهيدروجيني في تحفيز تحويل الببسينوجين إلى الببسين.

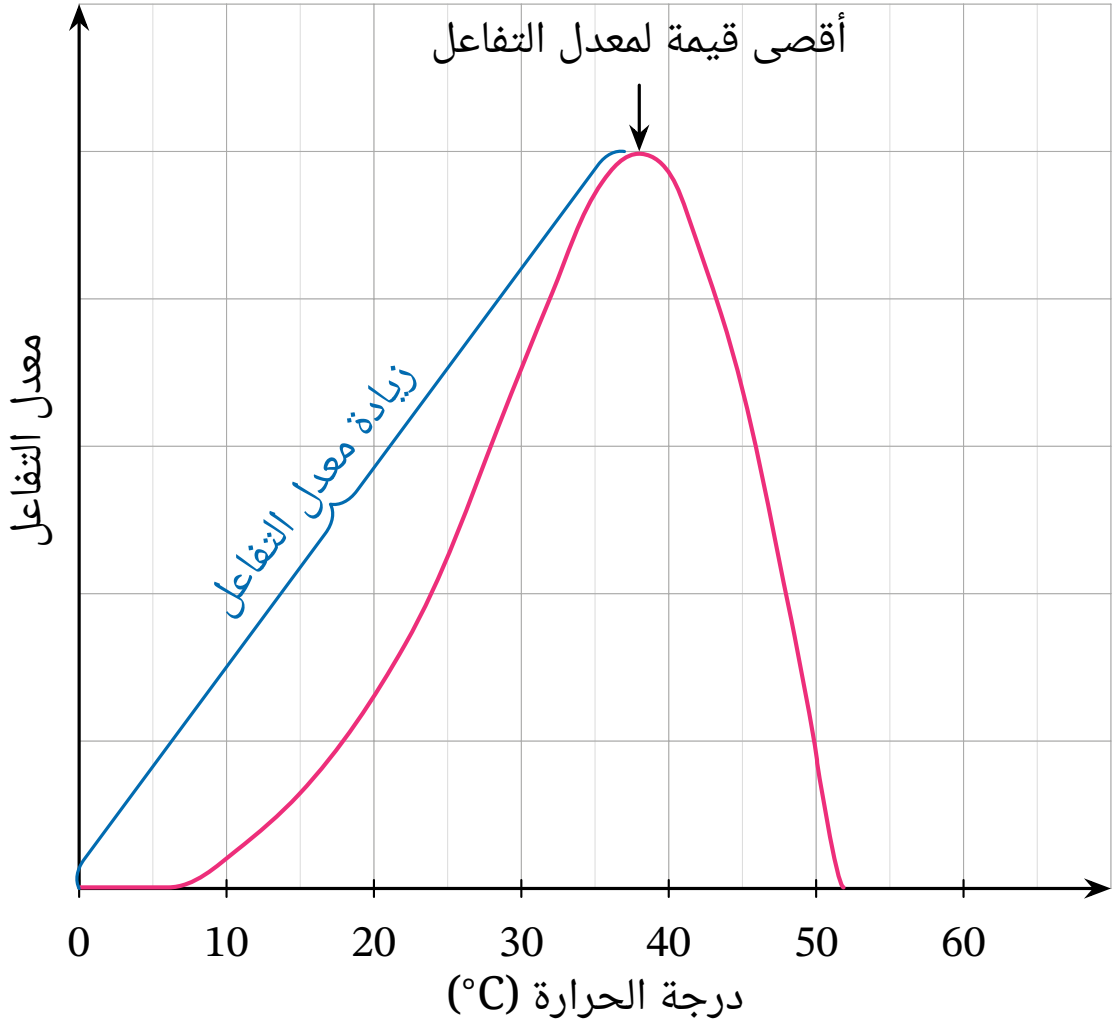
إذن فإن خيار الإجابة الصحيحة هو أ: انخفاض الأس الهيدروجيني.

العوامل المؤثرة على نشاط الإنزيم

قد يتأثر النشاط الحفَّاز للإنزيم بالعوامل الآتية:

- درجة الحرارة
- الأس الهيدروجيني
- تركيز الإنزيم
- تركيز الركيزة

تأثير درجة الحرارة على نشاط الإنزيم



لكي تحفِّز الإنزيمات أي تفاعل، يجب أولًا أن ترتبط بالركيزة. ويحدث هذا الارتباط نتيجة للتصادم بين الإنزيم والركيزة.

تذكر أنه يمكن للطاقة أن تتحول من صورة إلى أخرى. يمكننا القول إن الطاقة الحرارية يمكن أن تتحول إلى طاقة حركية. فستزداد احتمالية اصطدام الإنزيمات بالركائز لبدء التفاعل. ويظهر ذلك في صورة زيادة في معدل التفاعل كما هو موضح في الشكل الآتي.

تأثير درجة الحرارة على نشاط الإنزيم (متابعة)

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل التفاعل إلى حد معين. فإذا ارتفعت درجة الحرارة أكثر من اللازم، يمكن أن يتشوَّه الإنزيم.

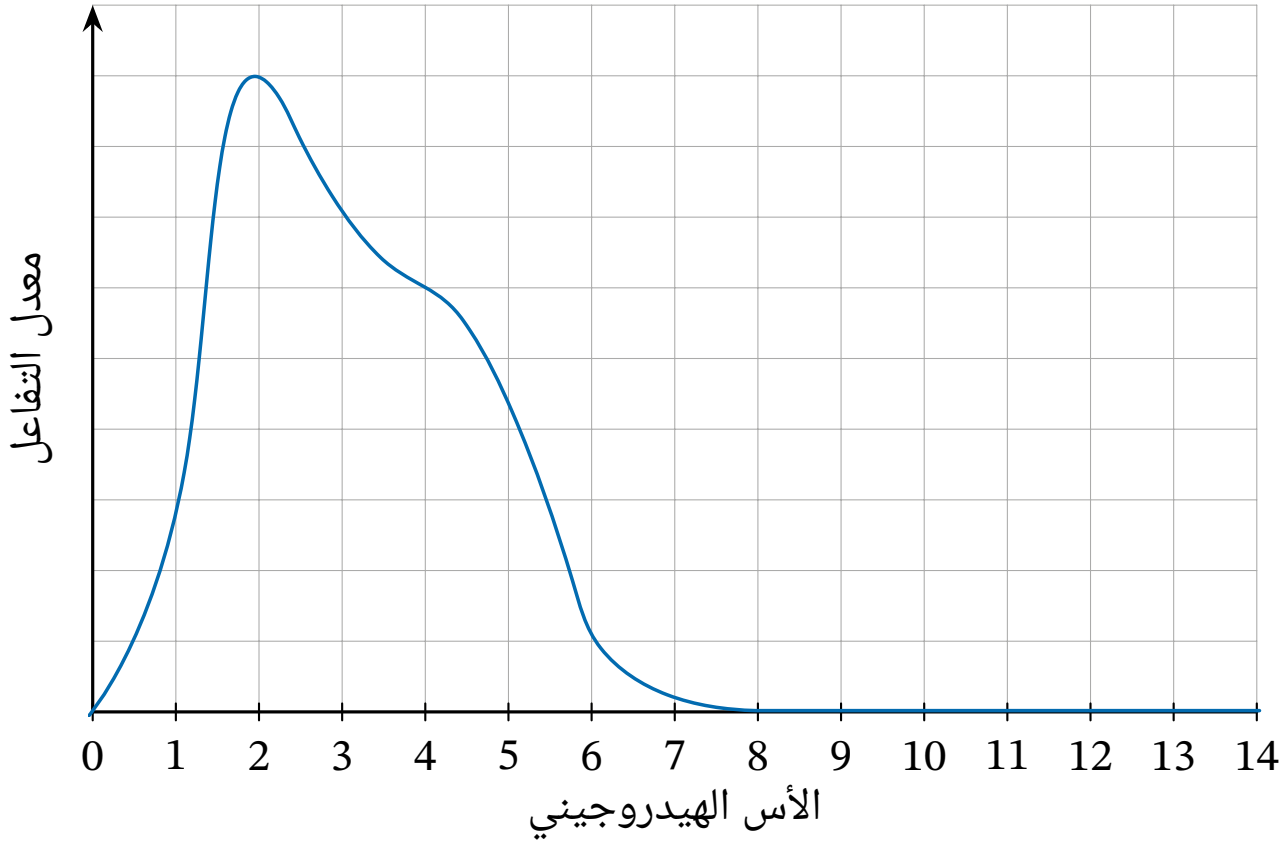
يحدث التشوُّه عندما تكون الظروف غير ملائمة لإنزيم ما؛ فتتغير بنية البروتين، وغالبًا ما يكون هذا التغير غير انعكاسي.

يعني هذا أن شكل الموقع النشط قد تغير. وفي حالة حدوث ذلك، لا يمكن أن ترتبط الركيزة المتكاملة بالإنزيم؛ ومن ثَمَّ فلا يمكن أن يستمر التفاعل الذي يحفزه الإنزيم.

تعريف: التشوُّه

يحدث التشوُّه عندما يتغير شكل الموقع النشط لإنزيم ما، لدرجة أنه لم يَعُد متكاملًا مع شكل جزيء الركيزة الخاصة به.

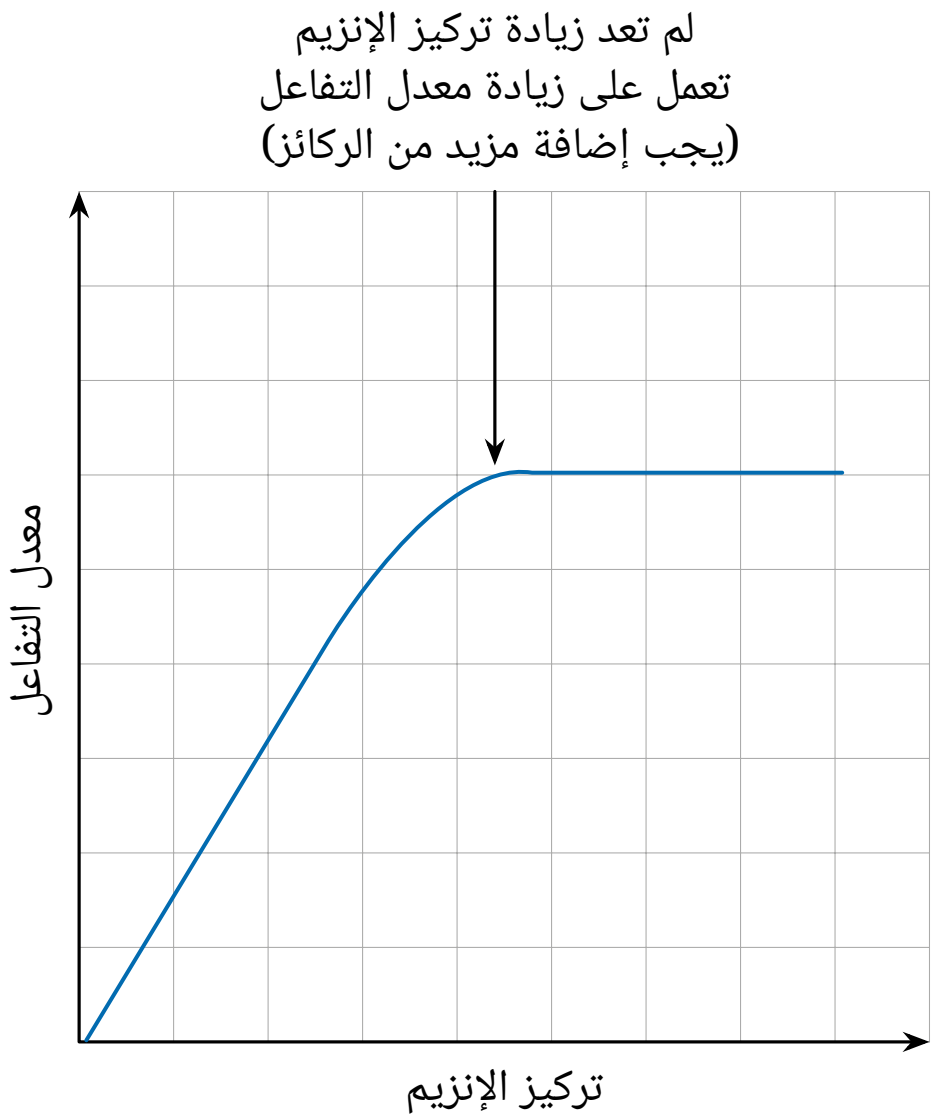
تأثير الأس الهيدروجيني على نشاط الإنزيم



لكل إنزيم مدى مثالي للأس الهيدروجيني، وهو الذي تعمل عنده الإنزيمات على أفضل وجه. وباقتراب الأس الهيدروجيني لمحلول من المدى المثالي للأس الهيدروجيني لإنزيم معين، فإن معدل التفاعل يزداد. إلا أنه إذا تخطى الأس الهيدروجيني لمحلول المدى المثالي للأس الهيدروجيني لإنزيم، فإن معدل التفاعل سيقل نتيجةً لتشوُّه الإنزيم.

نرى في الشكل الآتي أن معدل التفاعل يصل إلى أقصى قيمة له عندما يساوي الأس الهيدروجيني 2 تقريبًا. ويشير ذلك إلى أن هذا الإنزيم يعمل على أفضل وجه في البيئات الحمضية.

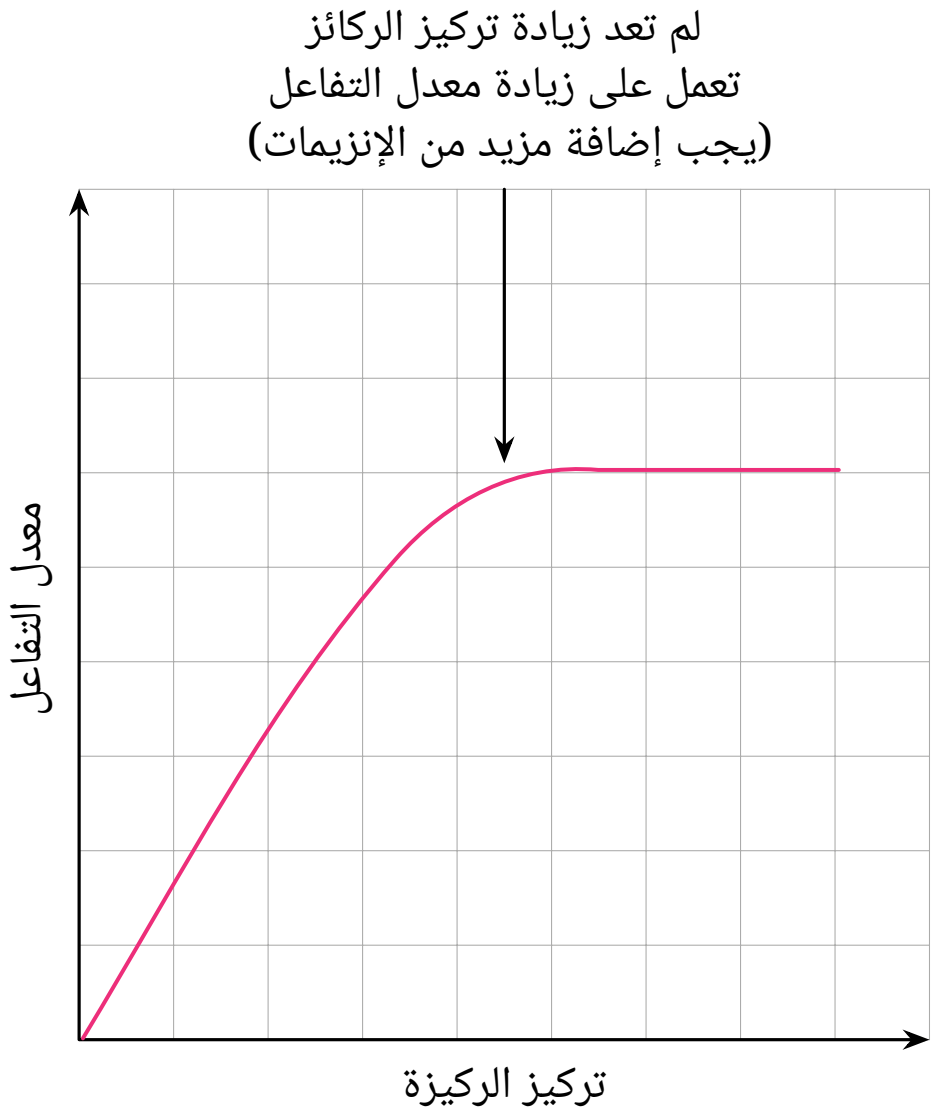
تأثير تركيز الإنزيم على نشاطه



زيادة تركيز الإنزيمات في تفاعل تعني وجود مزيد من المواقع النشطة التي يمكن أن ترتبط بها الركائز. وإذا زاد ارتباط الركائز بالإنزيمات، يتكون عدد أكبر من النواتج خلال فترة زمنية معينة (أي يزداد معدل التفاعل).

إلا أن زيادة تركيز الإنزيم لن يزيد معدل التفاعل إلا إلى نقطة محدَّدة لأن الركائز كلها ستكون قد استُهلِكت. ولاستمرار زيادة معدل التفاعل بعد هذه النقطة، يجب إضافة مزيد من الركائز.

تأثير تركيز الركيزة على نشاط الإنزيم



مثلما تؤثر زيادة تركيز الإنزيم على نشاطه، ستؤدي زيادة تركيز الركائز إلى زيادة معدل التفاعل في أوله نتيجة لزيادة احتمال تصادم الإنزيمات مع هذه الركائز.

إلا أن هذه الزيادة ستقف عند حد معين حيث سوف تمتلئ جميع المواقع النشطة بالركائز ولن تتوافر أية إنزيمات أخرى لترتبط بها هذه الركائز. وتكون الطريقة الوحيدة لزيادة معدل التفاعل هي إضافة مزيد من الإنزيمات.

مثال ٤: تطبيق معرفتنا بالتفاعلات المحكومة بالإنزيمات على تجربة كمثال

يُجري أحد الطلاب تجربة لدراسة المعدل الذي يعمل عنده التربسين، وهو أحد الإنزيمات الموجودة في جسم الإنسان، على تكسير البروتينات الموجودة في كأس زجاجية من الحليب. يُجري الطالب هذه التجربة عند 20°C، باستخدام محلول منظم للأس الهيدروجيني، قيمة الأس الهيدروجيني له 9.

أي تغيُّر في الظروف يمكنه زيادة سرعة معدل التفاعل؟

أ. زيادة الأس الهيدروجيني إلى 14

ب. انخفاض تركيز التربسين.

ج. انخفاض كمية الضوء التي يتعرض لها التفاعل.

د. ارتفاع درجة الحرارة إلى 37°C

مثال ٤ (متابعة)

الحل

نعلم من هذا السؤال أن التربسين يُكسِّر البروتينات الموجودة في الحليب، وأنه إنزيم يوجد بشكل طبيعي في جسم الإنسان. ومن المهم أيضًا ملاحظة ظرفَي التجربة في البداية، وهما الأس الهيدروجيني 9 ودرجة الحرارة 20°C.

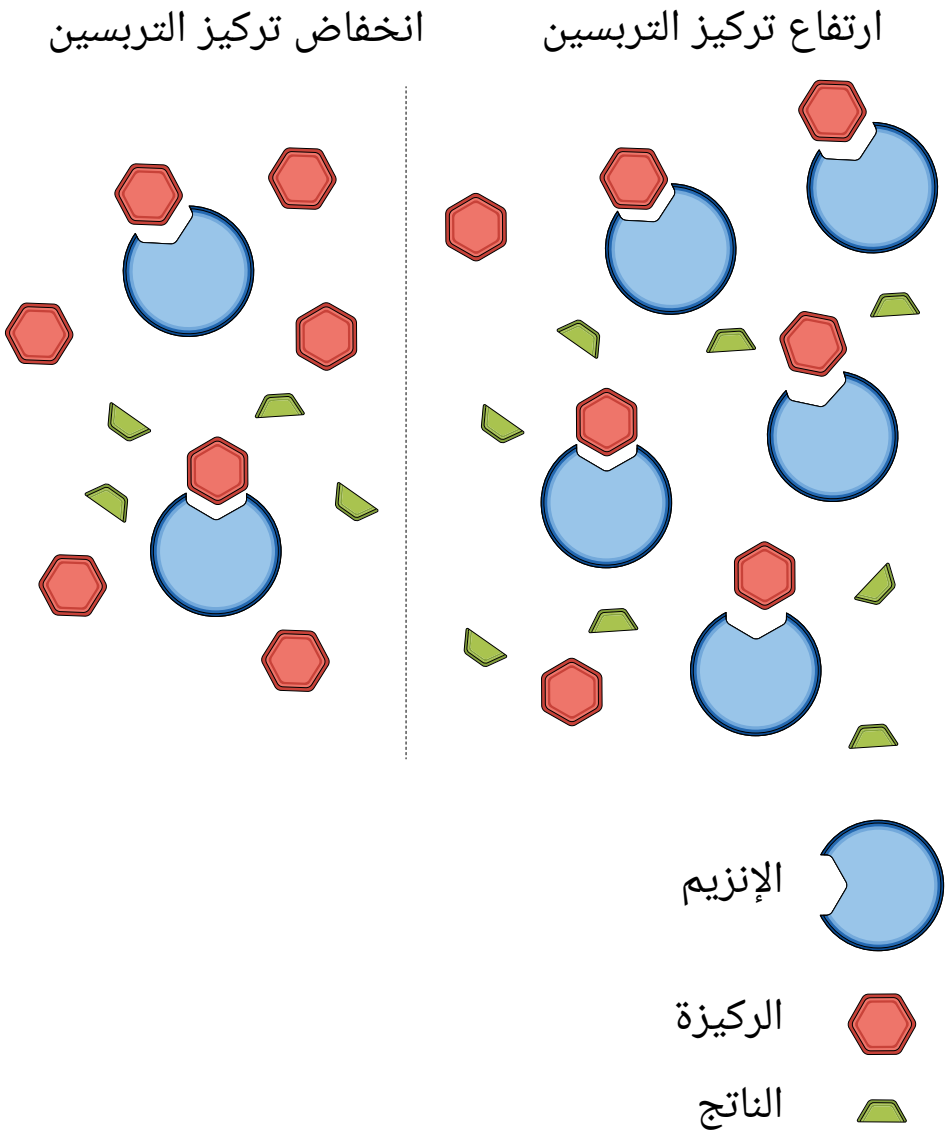
دعونا نلقِ نظرة على كل خيار من هذه الخيارات، واحدًا تلو الآخر؛ لتحديد إذا ما كان سيزيد معدل التفاعل أم لا.

تمثل زيادة الأس الهيدروجيني إلى 14 تغيُّرًا كبيرًا في الأس الهيدروجيني. ويعد الأس الهيدروجيني 14 أعلى أس هيدروجيني على مقياس الأس الهيدروجيني، وهو قلوي للغاية مقارنة بالأس الهيدروجيني الحالي في التجربة (9). وبما أن الإنزيمات عبارة عن بروتينات؛ إذن يمكن أن يؤدي حدوث تغير كبير في الأس الهيدروجيني إلى حدوث خلل في بنية الجزيئات وتغير شكلها بدرجة كبيرة، وهو ما يعني أنها لم تعد قادرة على العمل. لذا لا يمكن أن يؤدي هذا التغير إلى زيادة معدل التفاعل، ويمكن في الحقيقة أن يتسبب في توقف التفاعل تمامًا.

مثال ٤ (متابعة)

يمكن أن يؤدي انخفاض كمية التربسين إلى انخفاض معدل التفاعل. فإذا قَلَّ عدد إنزيمات التربسين، فسيقل أيضًا عدد البروتينات التي يتم تكسيرها. وتساعدنا الصورة المقابلة على توضيح ذلك.

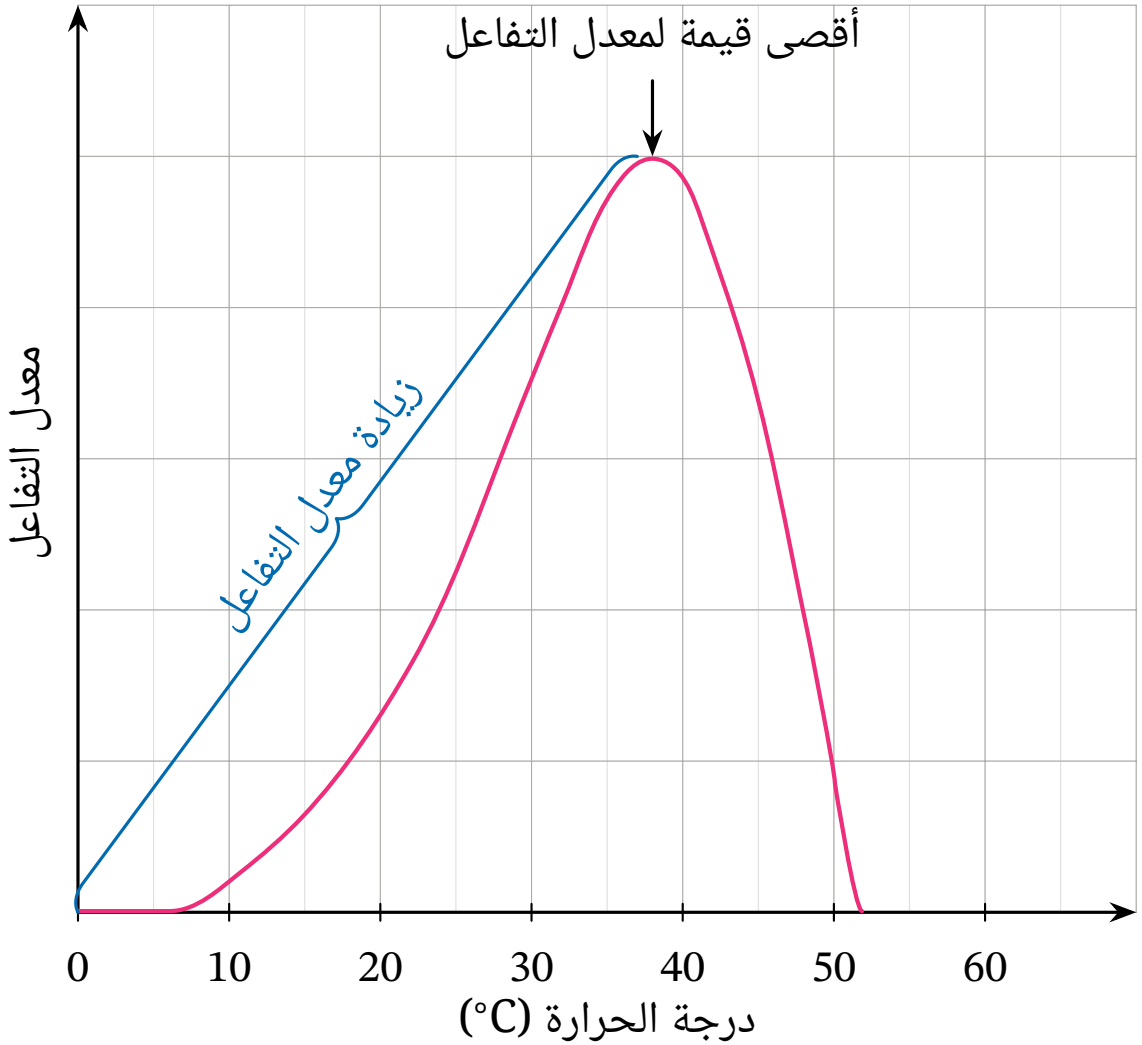
عند ارتفاع تركيز التربسين، يمكن أن يرتبط عدد أكبر من الركائز بالإنزيمات؛ ومن ثَمَّ تتكسر إلى نواتجها، وهو ما يزيد معدل التفاعل. أما عند انخفاض تركيز التربسين، يقل عدد المواقع النشطة المتاحة لترتبط بها الركائز. وعليه يتكون عدد أقل من النواتج وتقل سرعة معدل التفاعل.



مثال ٤ (متابعة)

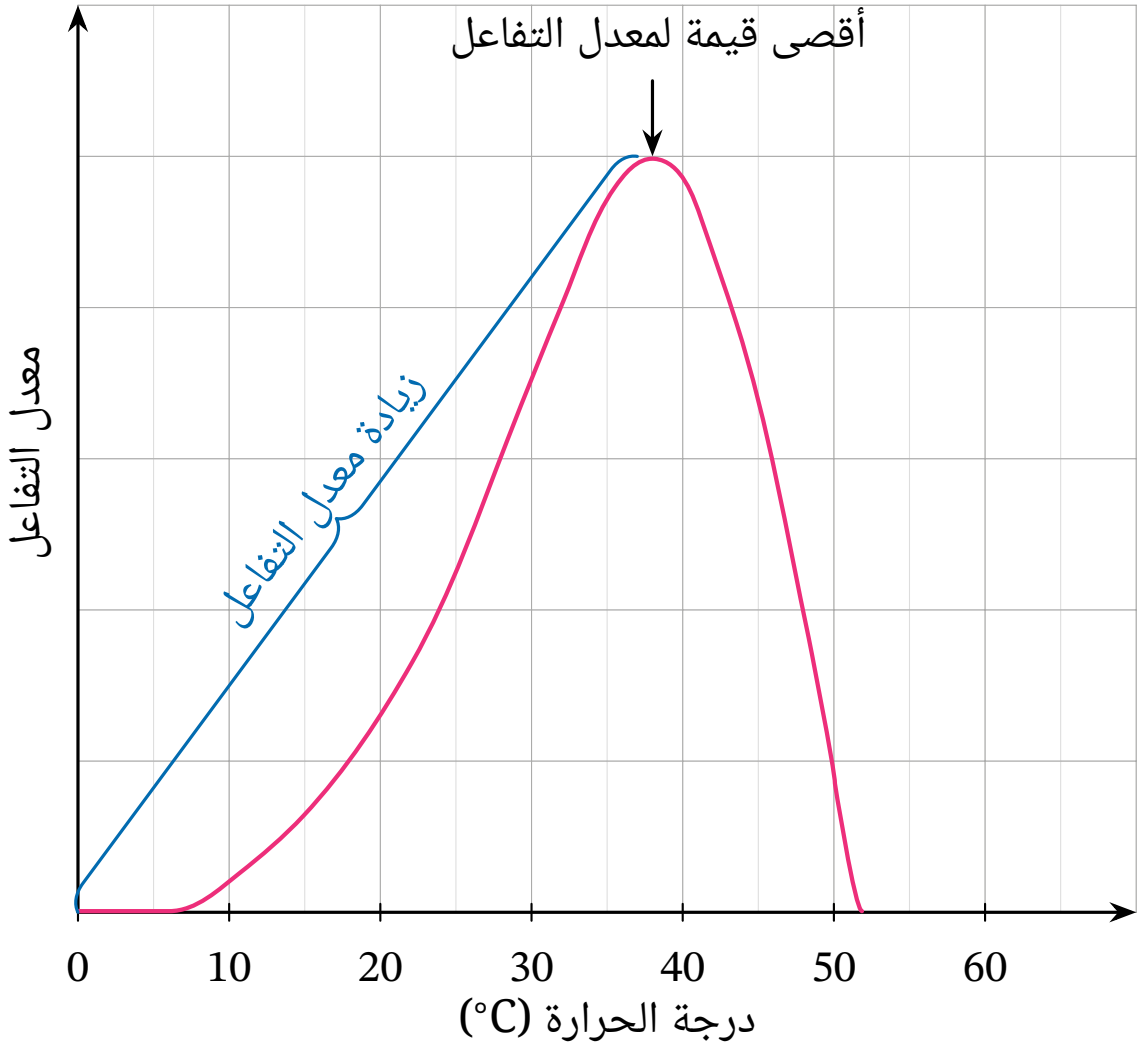
نحن نعلم أن إنزيم التربسين يكون نشطًا في جسم الإنسان. ولا تتعرض الأعضاء والأنسجة الداخلية في جسم الإنسان إلى الضوء؛ لذا فإن تقليل تعرض هذا التفاعل للضوء لن يؤثر بشكل كبير على معدل التفاعل.

مثال ٤ (متابعة)



درجة حرارة الجسم المركزية الداخلية للإنسان هي نحو 37°C. فإذا ارتفعت درجة حرارة التفاعل الموضح في السؤال من 20°C إلى 37°C، فمن المتوقع أن نرى زيادة في معدل التفاعل. هذا لأنه كلما ارتفعت درجة حرارة تفاعل محكوم بالإنزيم، زادت طاقة حركة كلٍّ من الإنزيمات والركائز. وإذا زادت طاقة حركة هذه الجزيئات، زادت احتمالية اصطدام بعضها ببعضٍ وارتباطها معًا. يعني هذا أنه يمكن حدوث مزيد من التفاعلات خلال فترة زمنية محدَّدة، وتكوين عدد أكبر من النواتج. دعونا نُلقِ نظرة الآن على تمثيل بياني يوضح ذلك.

مثال ٤ (متابعة)



مع ارتفاع درجة الحرارة من 0°C إلى نحو 37°C، نلاحظ أن معدل التفاعل يزداد أيضًا. وتحدث هذه الزيادة حتى نقطة معينة؛ حيث يمكن أن يؤدي الارتفاع الكبير في درجة الحرارة، الذي يشبه كثيرًا تأثير التغير الكبير في الأس الهيدروجيني، إلى حدوث خلل في بنية الإنزيم وتوقفه عن العمل.

ومن ثَمَّ نجد أن الإجابة الصحيحة هي الخيار د: ارتفاع درجة الحرارة إلى 37°C يمكنه زيادة معدل هذا التفاعل.

النقاط الرئيسية

- الإنزيمات هي أمثلة على البروتينات الكروية.
- الإنزيمات هي عوامل حفَّازة حيوية تزيد من سرعة معدل التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلَك أثناء التفاعل.
- لكل إنزيم موقع نشط له شكل محدَّد ومُتكامل مع ركيزة محدَّدة.
- يجب «تنشيط» بعض الإنزيمات. على سبيل المثال: يتكون إنزيم الببسين من خلال تنشيط طليعه «الببسينوجين»؛ نظرًا لوجود HCl في المعدة.
- ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة معدل التفاعل المحكوم بالإنزيم حتى النقطة التي يتشوَّه عندها الإنزيم.
- يمكن أن يتأثر معدل التفاعلات المحكومة بالإنزيم أيضًا بالتغيرات التي قد تحدث في الأس الهيدروجيني وتركيزات الركائز وتركيزات الإنزيم.