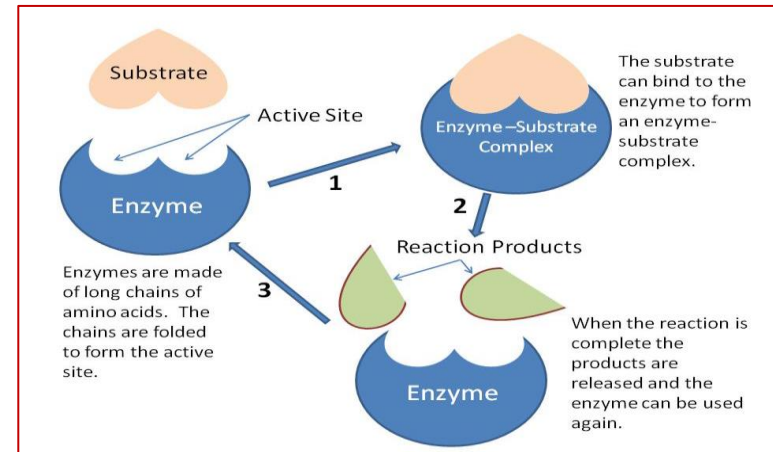


الإنزيمات (Enzymes)

مقرر 101 كيج
محاضرة رقم 12 - 16
إعداد: أ. عاتكة الشمري

T. Atika AL-Shammari



تعريف الإنزيمات

- الإنزيمات عبارة عن مركبات بروتينية ذات صفات محفزة (Catalyst) تعمل على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلك خلال التفاعل.
- كميات قليلة من الإنزيم تكفي لتحفيز تفاعل عدد كبير من المواد المتفاعلة.
- تشترك جميع الإنزيمات في بعض الخواص التركيبية والوظيفية، حيث تحتوي جميع الإنزيمات على موقع فعال يُسمى الموقع النشط (Active Site) من خلاله يتم تحفيز تحول المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة.

خصائص الإنزيمات

- الإنزيمات هي عوامل محفزة للتفاعلات الكيميائية.
- تعمل على تخفيض طاقة التنشيط المطلوبة لبداية التفاعل.
- لا تؤثر على ثابت الاتزان في التفاعل بل تعمل فقط على زيادة معدل التفاعل حتى يصل إلى الاتزان.
- لا تؤثر على تغيرات الطاقة الحرة للتفاعل.
- لا تستهلك أثناء التفاعل.
- تزيد من معدل سرعة التفاعل إلى حوالي 10^{14} .
- بروتينية التركيب.

خصائص الإنزيمات

- الانفراد في الخصوصية (**Specificity**)، فكل إنزيم يحفز أحد التفاعلات الكيميائية ويعتمد هذا على تركيب المادة الأساس وشكل الإنزيم.
- تتميز الإنزيمات بدرجة عالية من الكفاءة (**Efficiency**)، فالجزيء الواحد منها يمكن أن يُحول عدد كبير من جزيئات المادة الأساس في دقيقة واحدة إلى نواتج.
- الإنزيمات لها تأثير عكسي فنفس الإنزيم الذي يُساعد على تكسير جزيء معقد إلى جزيئين أبسط، يستطيع أن يُعيد ربط الجزيئين الصغيرين إلى نفس الجزيء المعقد.
- بعض الإنزيمات تُفرز في صورة غير نشطة مثل إنزيم الببسين والذي يُفرز بواسطة المعدة كمادة غير نشطة هي الببسينوجين التي تتحول في وجود حمض الهيدروكلوريك (HCl) إلى الببسين.

الطبيعة الكيميائية للإنزيمات

- تُعتبر جميع الإنزيمات مركبات بروتينية تعمل على زيادة سرعة التفاعلات الكيميائية في جميع الكائنات الحية.
- هناك مجاميع كيميائية مثل المعادن والمجاميع العطرية تدخل في تركيب بعض الإنزيمات حيث تلعب هذه المجاميع دوراً هاماً في تنشيط تلك الإنزيمات.
- تتباين الإنزيمات في حجمها الجزيئي من عدة آلاف إلى مئات الآلاف من الدالتون (الدالتون هي وحدة قياس للأوزان الجزيئية).

الطبيعة الكيميائية للإنزيمات

- تُعد الإنزيمات مركبات غير ثابتة، أي أنها تتأثر وتفقد فاعليتها عندما ترتفع أو تنخفض درجات الحرارة أو تتغير قيمة الأس الهيدروجيني،
- لذلك تتطلب درجات حرارة مثالية وقيمة pH مثالية لتقوم وبوظائفها التحفيزية.
- توجد مجاميع معينة في تركيب الإنزيم وبصورة متخصصة جداً تعرف **(بالموقع النشط للإنزيم)** وهو المكان الذي ترتبط به مادة التفاعل **(المادة الأساس)**.

العوامل المساعدة

- تتكون الإنزيمات من سلسلة واحدة أو من عدة سلاسل متعددة الببتيد.
- تحتوي معظم الإنزيمات على مواد كيميائية إضافية مرتبطة فيها يحتاجها الإنزيم لفعاليته وتسمى هذه المواد بالعوامل المساعدة (Cofactors).

تصنف العوامل المساعدة إلى نوعين هما:

1. عوامل مساعدة عضوية مثل الفيتامينات وتسمى بالكواإنزيم (Coenzyme).
2. عوامل مساعدة غير عضوية مثل الأيونات المعدنية (مثل Mg^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+}).

العوامل المساعدة

- العوامل المساعدة ترتبط بالإنزيم إرتباط ضعيف عندما يبدأ الإنزيم بتحفيز تفاعله (الخاص به) وتنفصل عنه بعد إنتهاء التفاعل.
- بعض هذه المواد ترتبط بقوة مع الإنزيم ولا تنفصل عنه وتُسمى في هذه الحالة بالمجموعة المرتبطة (**Prosthetic Group**).
- وعندما ترتبط الإنزيمات مع العوامل المساعدة فإن الإنزيم يصبح نشط ويسمى هولوينزيم (**Holoenzyme**).
- أما إذا لم يرتبط العامل المساعد مع الإنزيم فإن الإنزيم يصبح غير نشط ويسمى أبوينزيم (**Apoenzyme**).

Enzyme + cofactor = Active enzyme (Holoenzyme)

Enzyme = Inactive enzyme (Apoenzyme)

تسمية الإنزيمات

في السابق، كانت تسمى الإنزيمات استناداً إلى:

1. اسم المادة الأساس التي يعمل عليها الإنزيم.

مثال: يحفز إنزيم اليوريز التحلل المائي لليوريا ويحفز إنزيم الأرجينيز التحلل المائي للأرجينين.

2. طبيعة التفاعل الذي يحفزه الإنزيم.

مثال: يحفز إنزيم الديكربوكسيليز إزالة مجموعة الكربوكسيل من المادة الأساس.

❖ في بعض الحالات أعطي للإنزيمات أسماء لا تعود إلى طبيعة التفاعل الذي تحفزه، مثل البيبسين والتربسين اللذان يحفزان التحلل المائي للبروتينات.

تصنيف الإنزيمات

- لوجود عدد كبير من الإنزيمات في الكائنات الحية وضع نظام خاص لتسمية الإنزيمات وتم تقسيمها إلى ستة مجموعات مصنفة على حسب وظائف الإنزيمات التحفيزية حيث وضع لكل إنزيم عدد تصنيفي مميز خاص به.
- رقت تلك التقسيمات من **EC1** إلى **EC6**، ثم قسمت كل مجموعة إلى أقسام فرعية مرتبة كالتالي:
- يدل الرقم الأول على القسم (الصنف) الرئيسي **EC1** والرقم الثاني **EC1.1** على المجموعة الكيميائية التي يحفز الإنزيم إضافتها أو إزالتها، والرقم الثالث **EC1.1.1** على العامل المساعد (Cofactor) الخاص بالإنزيم، والرقم الرابع **EC1.1.1.27** على نوع مادة التفاعل التي يحفزها ذلك الإنزيم.

تصنيف الإنزيمات

بالنسبة للإنزيم المصنف بالرقم EC1.1.1.27:

- EC1 هي رتبة الإنزيمات الخاصة بإنزيمات الأكسدة والاختزال.
- 1. هي تحت المجموعة والتي تعمل على إضافة مجموعة ال-CHOH.
- 1. هي ما تحت تحت المجموعة وهي إنزيمات تحتاج ال- NAD^+ كعامل مساعد.
- 27. هي اسم مادة التفاعل (المادة الأساس) الخاصة بالإنزيم وهي في هذا المثال اللاكتيت (Lactate).
- اسم الإنزيم في هذا المثال lactate dehydrogenase

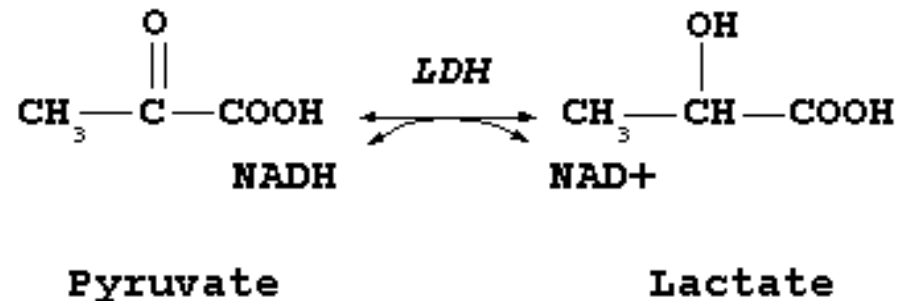
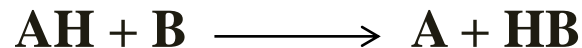
تصنيف الإنزيمات

صُنفت الإنزيمات إلى ستة مجموعات رئيسية:

1. مجموعة إنزيمات الأكسدة والاختزال
2. مجموعة الإنزيمات الناقلة
3. مجموعة إنزيمات التحلل المائي
4. مجموعة الإنزيمات النازعة
5. مجموعة إنزيمات التشابه (التشكل)
6. مجموعة إنزيمات التكوين (بناء الروابط)

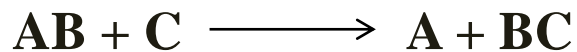
إنزيمات الأكسدة والإختزال (EC1) (Oxidoreductases)

- تشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على تحفيز تفاعلات الأكسدة والإختزال.
- حيث تقوم بنقل الإلكترونات من المادة الأساس إلى مادة أخرى فتؤكسد الأولى وتختزل الثانية.
- من أمثلتها: إنزيمات الأوكسيديز (Oxidases) والديهيدروجينيز (Dehydrogenases).



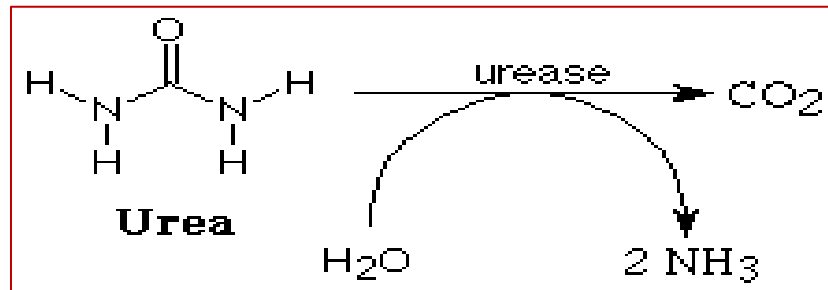
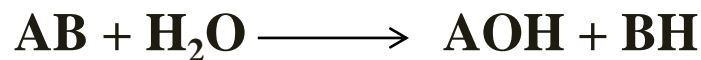
الإنزيمات الناقلة (EC2) (Transferases)

- مجموعة من الإنزيمات التي تحفز عملية نقل مجاميع وظيفية كيميائية من مركب إلى آخر مثل نقل مجموعة كيتونية، ألدهيدية، الميثيل، الأسيل، الأمين، أو الفوسفات.
- من أمثلتها إنزيم الكينيز (kinase) الذي ينقل مجموعة الفوسفات من مركب إلى مركب آخر.
- إنزيم الترانس أمينيز (Transaminase) الذي ينقل مجموعة الأمين من مركب إلى مركب آخر.



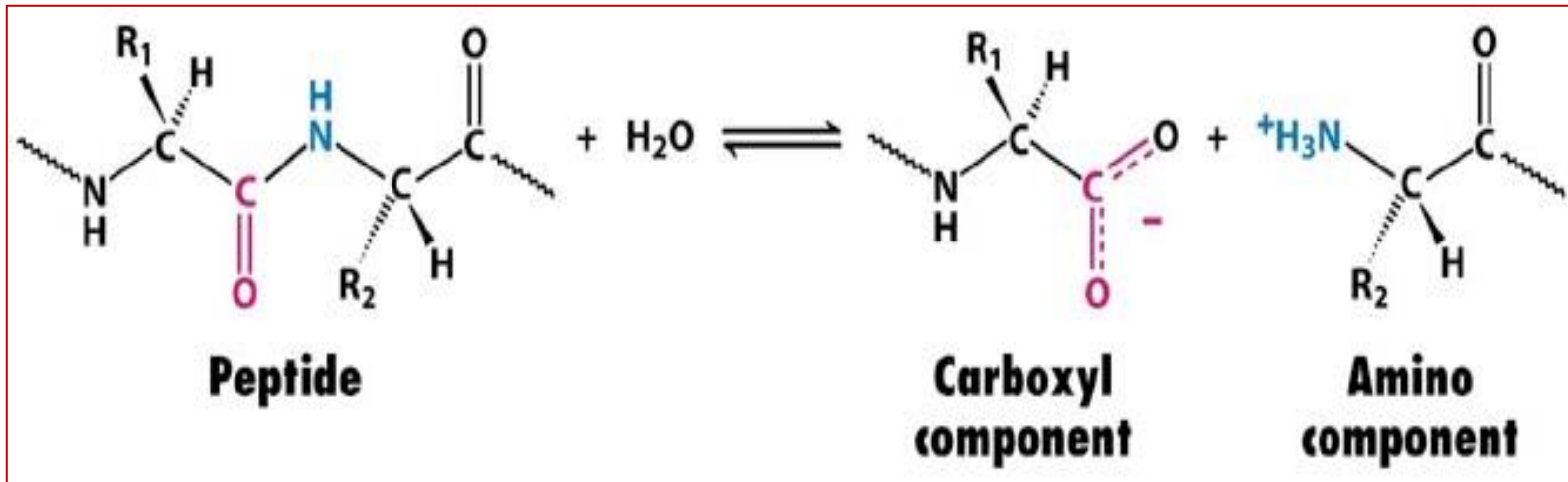
إنزيمات التحلل المائي (EC3) (Hydrolases)

- وهي الإنزيمات التي تحفز التفاعلات الخاصة بتحليل المواد لإنتاج مادتين جديدتين.
- تقوم هذه الإنزيمات بتحطيم بعض الروابط بإضافة جزيء الماء.
- من أهم أمثلتها: إنزيم الليباز (Lipase)، إنزيم الأميليز (Amylase)، إنزيم الببتيديز (Peptidase)، و إنزيم اليوريز (Urease).



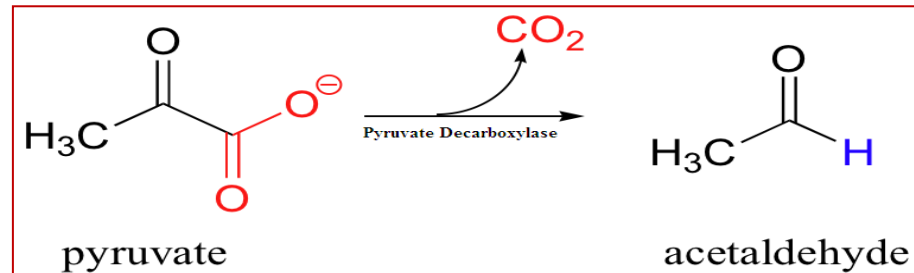
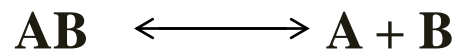
إنزيمات التحلل المائي (EC3) (Hydrolases)

تفاعل إنزيم البروتيز (Protease)



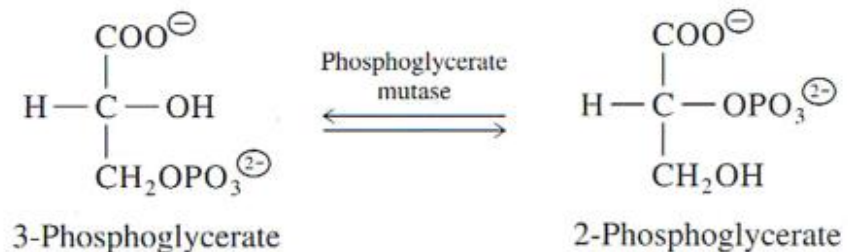
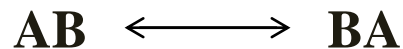
الإنزيمات النازعة (EC4) (Lyases)

- تشمل جميع الإنزيمات التي تحفز كسر الروابط الكيميائية عن طريق إضافة أو إزالة مجاميع كيميائية في مواد التفاعل.
- من أهم الأمثلة عليها: إنزيم الديكربوكسيليز (Decarboxylase) و الفيوماريز (Fumarase).



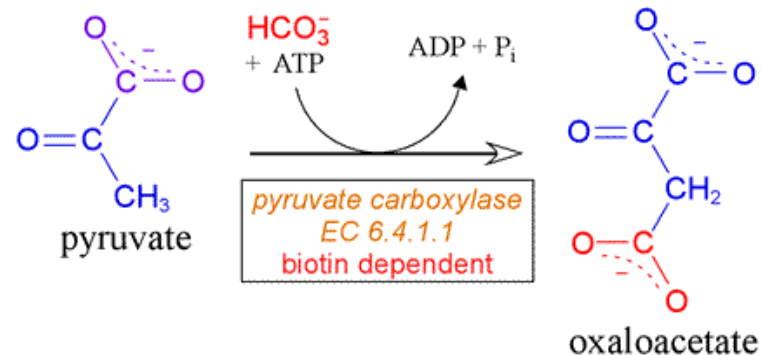
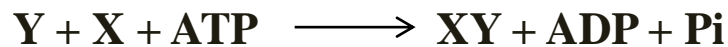
إنزيمات التشابه (التشكل) (EC5) (Isomerases)

- تسمى بإنزيمات التناظر بين المتناظرين cis والمتقابلين trans وهذه المجموعة تشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على تحويل المادة الأساس إلى متشكل آخر.
- من أهم أمثلتها: إنزيمات الميوتيز (Mutase) والأيزوميريز (Isomerase).



إنزيمات التكوين (EC6) (Ligases)

- تشمل جميع الإنزيمات التي تعمل على إنشاء رابطة جديدة بين مركبين مختلفين وتعتمد في ذلك على الطاقة المخزنة في جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP).
- يحفز هذا النوع من الإنزيمات تكوين رابطة بين الـ C-C ، C-N ، C-O ، أو C-S.
- ومن أمثلتها إنزيمات السيثنيتيز (Synthetases).

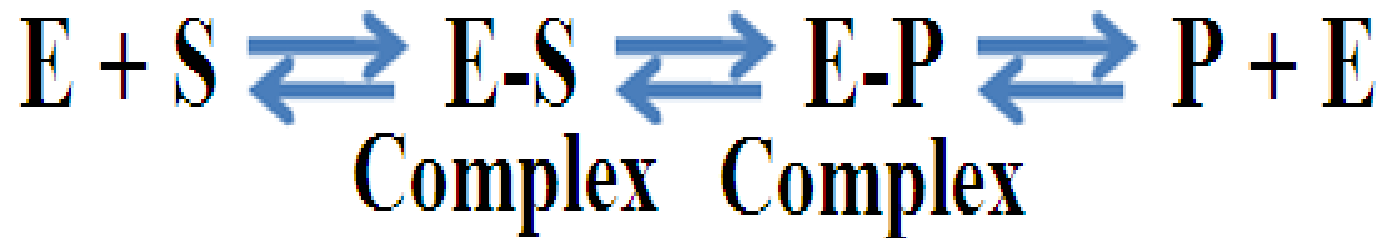


آلية عمل الإنزيمات

- في جميع التفاعلات الإنزيمية يرتبط الإنزيم (E) مع المادة الأساس (S) ليكونا معاً معقد الإنزيم والمادة الأساس (ES Complex).
- يتم هذا الارتباط في موقع معين في تركيب الإنزيم يسمى بالموقع النشط (Active Site).
- الخطوة التي تلي ارتباط الإنزيم بالمادة الأساس (S) هي تحول هذه المادة إلى ناتج (P).
- الخطوة الأخيرة في التفاعل الإنزيمي هي تفكك ناتج التفاعل (P) عن الإنزيم (E).

آلية عمل الإنزيمات

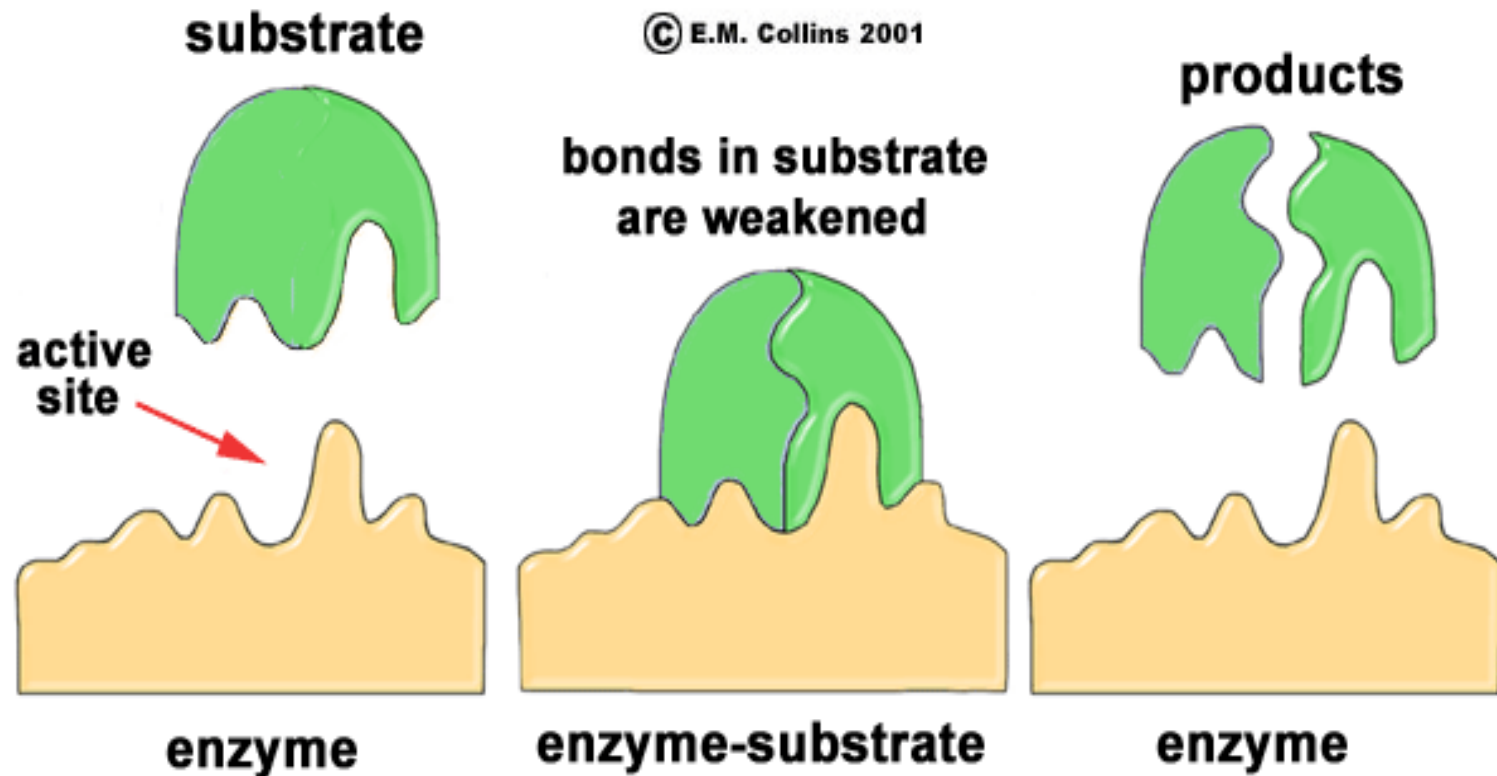
معادلة التفاعل الإنزيمي



آلية عمل الإنزيمات

- المعادلة السابقة قائمة على أساس أن الإنزيم أحد مواد التفاعل وأحد نواتجه ويفسر هذا إمكانية استمرار عمل الإنزيم في تسريع التفاعل لكميات كبيرة من المادة الأساس بواسطة كمية قليلة من الإنزيم.
- جزيء الإنزيم الذي ينتج بعد تحول كل جزيء من جزيئات المادة الأساس إلى ناتج هو إنزيم حر بشكله الطبيعي (لم يتأثر) فإنه يكون قادر على إعادة الكرة ليحول جزيئاً (من المادة الأساس إلى ناتج) ثانياً وثالثاً وهكذا.
- هذه التغيرات تتم في فترة وجيزة لا تتجاوز جزءاً من الثانية.

آلية عمل الإنزيمات



خصوصية المادة الأساس

- بمعنى وجود مادة أساس محددة ترتبط بالإنزيم وهذه الخصوصية عائدة إلى الموقع النشط المكون من أحماض أمينية لها خصائص وترتيب معين أي تتفاعل مع مادة واحدة فقط حتى لو وجد مادة أخرى مشابهة لها.
- تبعا للموقع النشط في الإنزيم، يرتبط الإنزيم بمادة أساس توافق الموقع النشط من ناحية التركيب والشكل.

ويفسر ذلك نظريتين:

- نظرية القفل والمفتاح
- نظرية التطابق المستحث

نظرية القفل والمفتاح

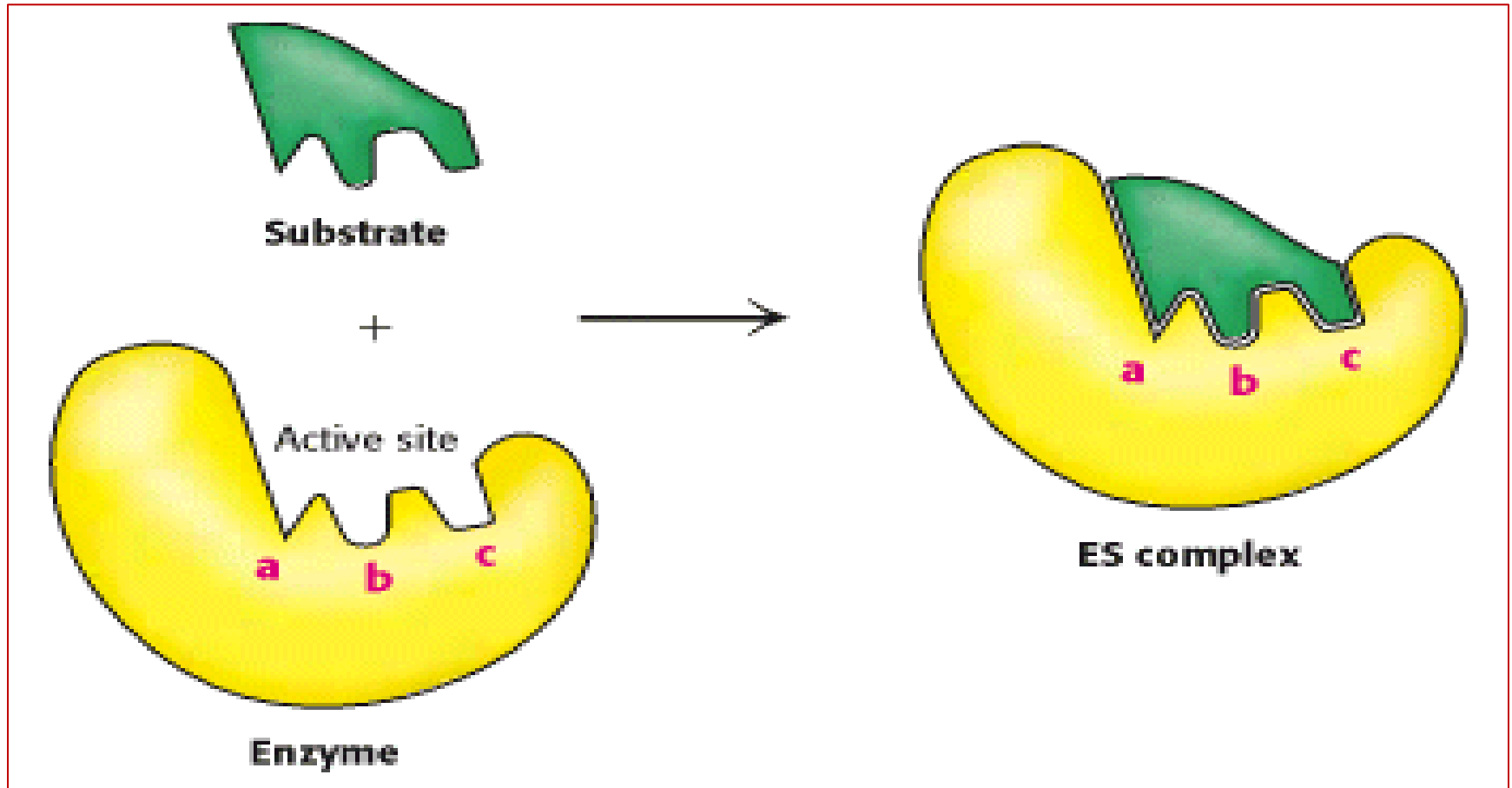
- وضعت هذه الفرضية لتفسير خصوصية الإنزيمات حيث افترض أن موقع الارتباط في الإنزيم (الموقع النشط) يشابه دور القفل الذي لا يفتحه إلا مفتاح مخصص له ينطبق شكله على متطلبات هذا القفل.
- أي أن جزيئات معينة فقط تستطيع الارتباط بالإنزيم في موقع ارتباطه التفاعلي لتخضع للتفاعلات التي ينجزها هذا الإنزيم.
- أي أن شكل كل من المادة الأساس والموقع النشط للإنزيم ثابت وملائم كل منهما للآخر.

نظرية القفل والمفتاح

الموقع النشط:

- لا يشغل سوى حيز بسيط من سطح الإنزيم.
- يتألف من عدد محدود من الأحماض الأمينية المشكلة لجزيء الإنزيم، وليس من الضروري أن تكون الأحماض الأمينية المشكلة للموقع النشط متتابة أو متقاربة في سلسلة عديد الببتيد فغالباً ما يتكون نتيجة إنثناء أو إنحناء السلسلة المتعددة الببتيد فتتقارب لتعطي بناءاً محدوداً يناسب على نحو ما بناء المادة الأساس.

نظرية القفل والمفتاح



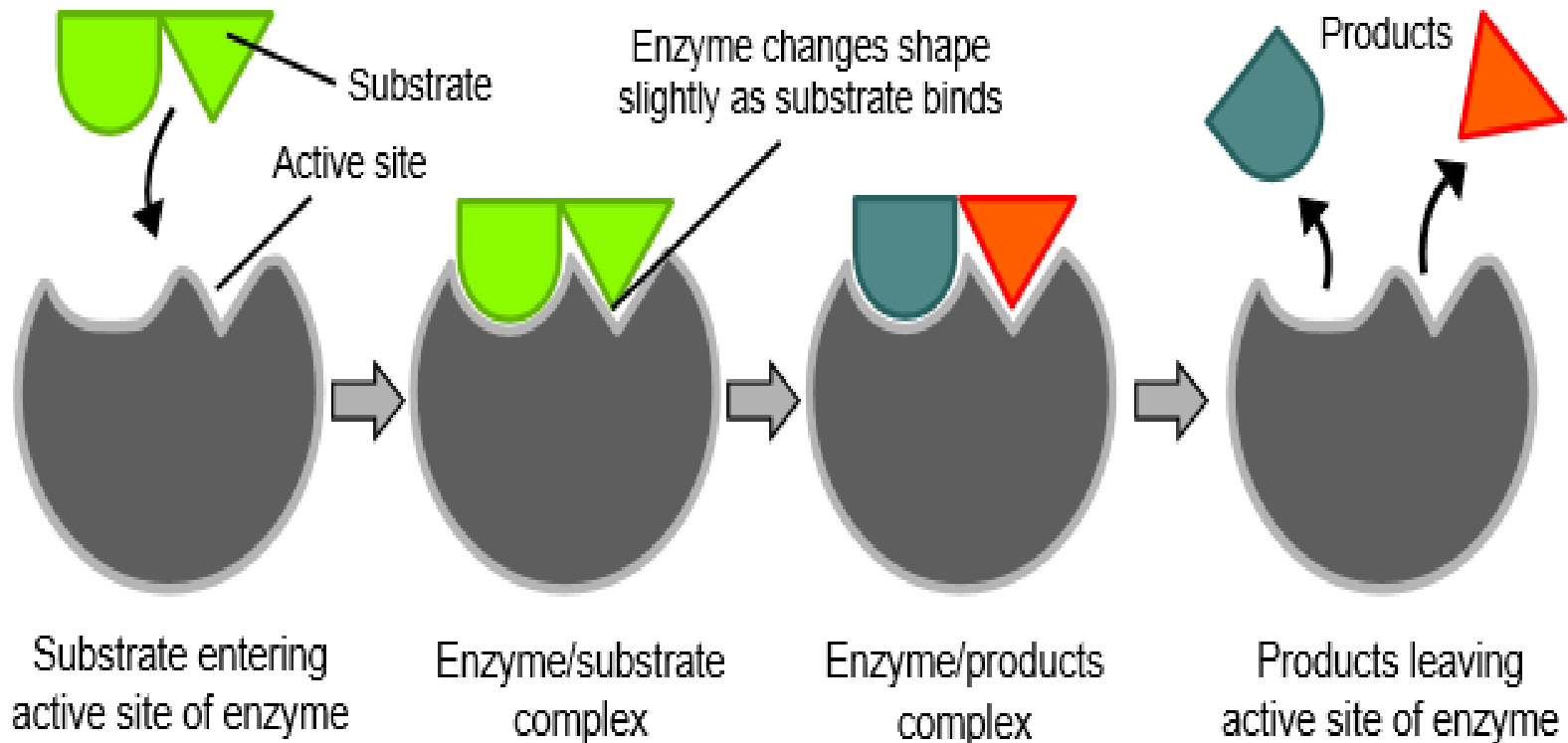
نظرية التطابق المستحث

- حيث يُفترض أن إرتباط المادة الأساس بالإنزيم الخاص بها يُحدث تغيير في شكل التركيب الثلاثي للموقع النشط وبالتالي هناك نوع معين من المادة الأساس الذي يستطيع أن يُحدث تطابق مع نوع معين من الإنزيمات.
- بما أن الإنزيمات عبارة عن مركبات مرنة فإن الموقع النشط للإنزيم سوف يُغير شكله بصورة مستمرة إلى الشكل الذي يناسب شكل المادة الأساس لترتبط به عن طريق روابط ضعيفة بين الإنزيم والمادة الأساس وهذه النظرية تسمى نظرية التطابق المستحث.

نظرية التطابق المستحث

- في الغالب، لا ترتبط المادة الأساس بسهولة مع الموقع النشط الثابت الشكل، أما في هذه النظرية فإن السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية المكونة للموقع النشط للإنزيم سوف تشكل نفسها لتعطي الموقع الصحيح دقيق الشكل الذي يساعد الإنزيم ليؤدي وظيفته المحفزة ويرتبط بالمادة الأساس.
- في بعض الأحيان قد تُغير المادة الأساس من شكلها قليلاً عندما تدخل الموقع النشط لترتبط فيه. ويستمر الموقع النشط بالتغيير حتى تصبح المادة الأساس مرتبطة تماماً به.

نظرية التطابق المستحث



التحفيز بواسطة الإنزيمات

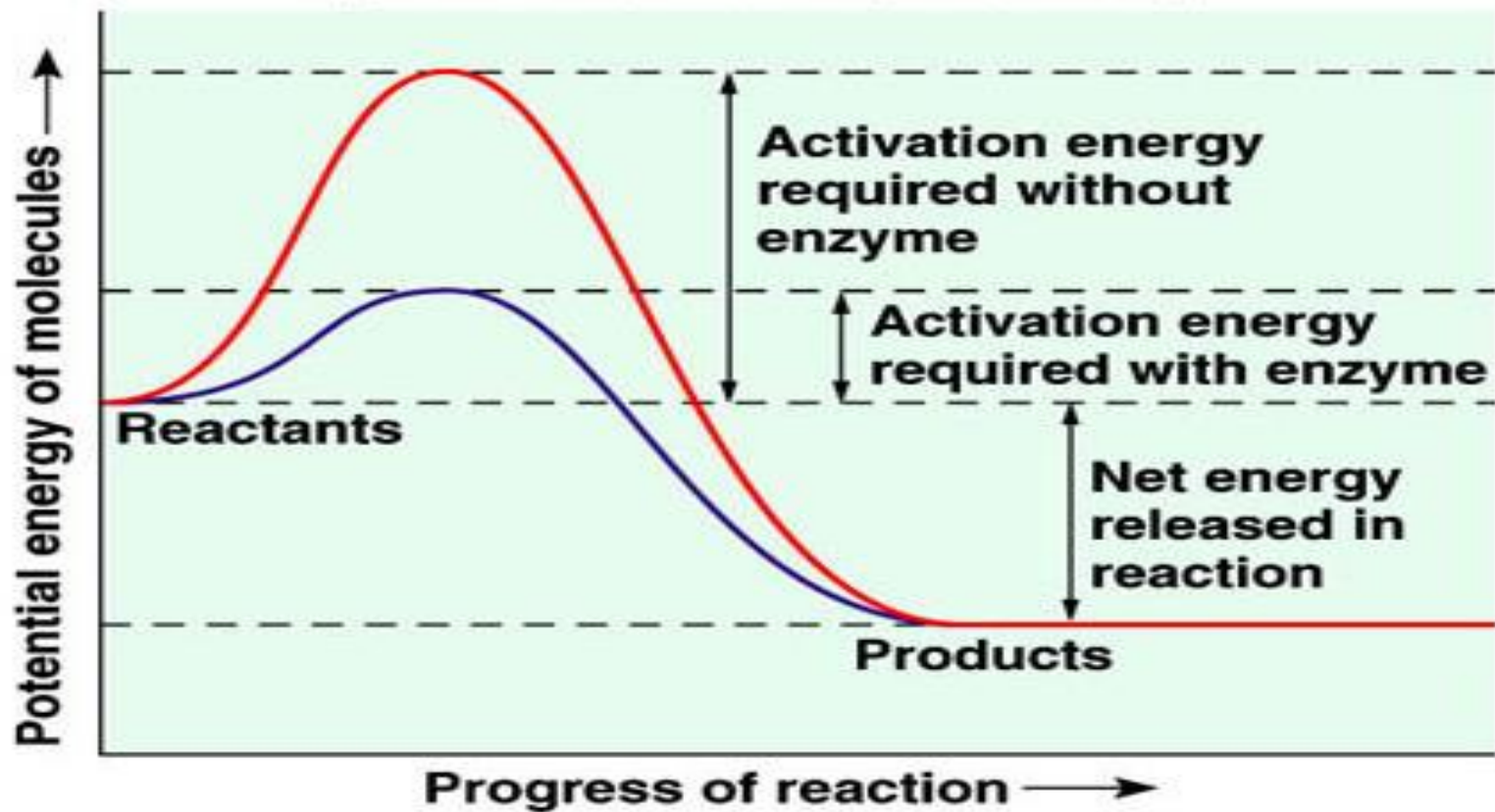
طرق تسريع (تعجيل) التفاعلات الكيميائية:

1. زيادة درجة الحرارة وبالتالي زيادة الطاقة الحرارية وحركة الجزيئات المتفاعلة مما يؤدي إلى زيادة عدد الجزيئات التي تصل إلى الحالة الانتقالية (الحالة التي تسبق تكوين النواتج).
2. إضافة مادة محفزة تُسرّع التفاعلات الكيميائية (عن طريق خفض طاقة التنشيط للفاعل الكيميائي) وذلك عن طريق ارتباط هذا المحفز بالمواد المتفاعلة لتصل بالفاعل (بصورة سريعة) إلى الحالة الانتقالية التي من بعدها تتكون النواتج بصورة سهلة وسريعة. وعندما يتكون الناتج يعاد توليد المادة المحفزة طليقة.

التحفيز بواسطة الإنزيمات

- تحول الإنزيمات التفاعلات الغير تلقائية إلى تفاعلات تلقائية دون أن تُستهلك أثناء التفاعل.
- لا تؤثر الإنزيمات على ثابت الإتزان في التفاعل الذي تُحفزه ولكنها تُسرّع التفاعل للوصول إلى حالة الإتزان بمعدل سريع للغاية.
- لا تؤثر على تغيرات الطاقة الحرة للنواتج.
- لا تغير الإنزيمات الاختلاف في مستوى الطاقة بين المواد المتفاعلة والمواد الناتجة.
- تعمل على تخفيض طاقة التنشيط المطلوبة لبدء التفاعل المُحفز بالإنزيم والوصول به إلى (مرحلة الانتقال).

التحفيز بواسطة الإنزيمات



التحفيز بواسطة الإنزيمات

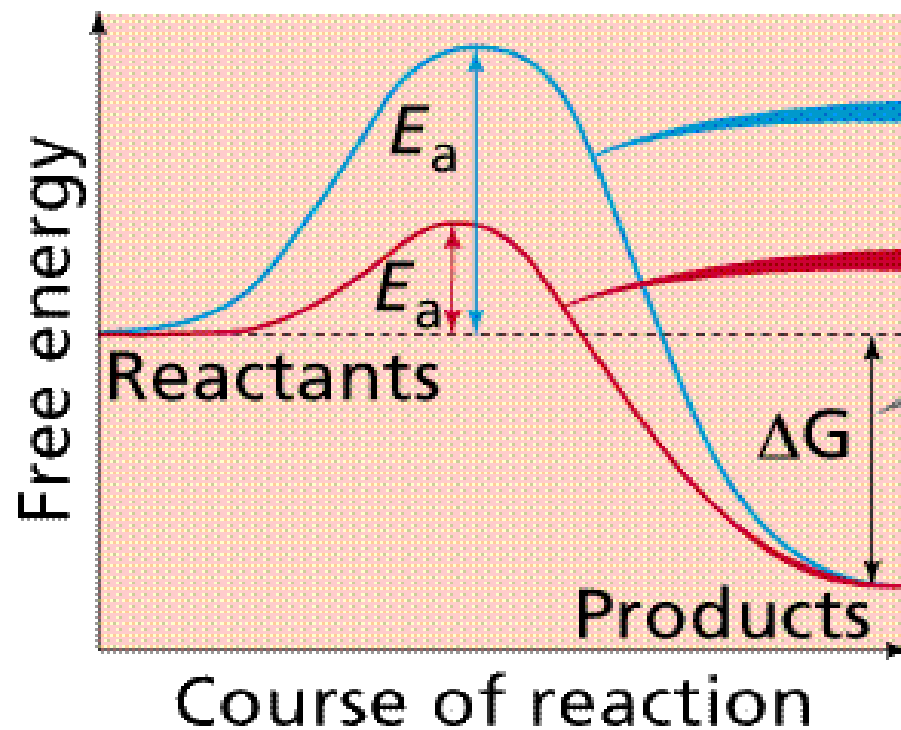
طاقة التنشيط:

- تُعرف على أنها الطاقة اللازمة لبدء التفاعل ونقل المواد المتفاعلة إلى مستوى طاقة يكفي لتحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج. هذا المستوى يعرف **بالحالة الانتقالية المؤقتة**.
- التفاعلات الكيميائية تتطلب هذه الطاقة (طاقة التنشيط) لكسر الروابط القوية وبدء التفاعل.
- آلية عمل الإنزيمات -في تسريعها للتفاعلات الكيميائية- تكون عن طريق تقليل أو خفض طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل.

التحفيز بواسطة الإنزيمات

- التفاعلات التي تحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة جداً تستطيع الإنزيمات تحفيزها عند درجات حرارة منخفضة وذلك عن طريق تقليل طاقة التنشيط.
- تعمل الإنزيمات على تخفيض طاقة التنشيط بواسطة الارتباط المؤقت مع المادة المتفاعلة (S) حيث أنها تعمل على تقليل الطاقة المطلوبة للوصول إلى مرحلة الانتقال أو الوصول إلى طاقة الانتقال والتي بعدها يحدث التفاعل بسرعة عند درجة الحرارة الطبيعية.

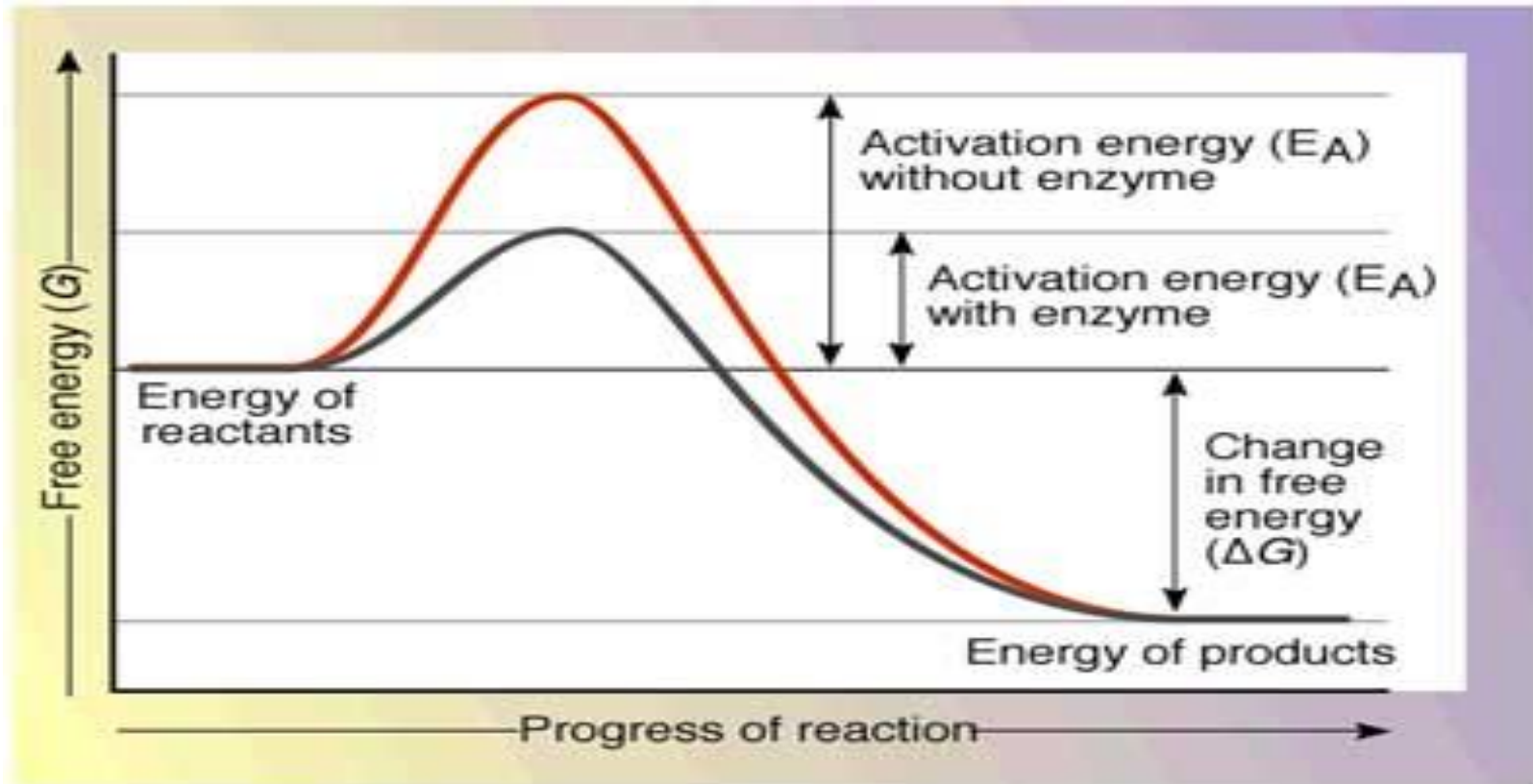
التحفيز بواسطة الإنزيمات



An **uncatalyzed reaction** requires a higher activation energy than does a **catalyzed reaction**

There is no difference in free energy between catalyzed and uncatalyzed reactions

التحفيز بواسطة الإنزيمات



العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الإنزيمي

- تركيز المواد المتفاعلة (المادة الأساس)
- تركيز الإنزيم
- درجة الحرارة
- تركيز أيونات الهيدروجين (الأس الهيدروجيني)
- وجود المثبطات



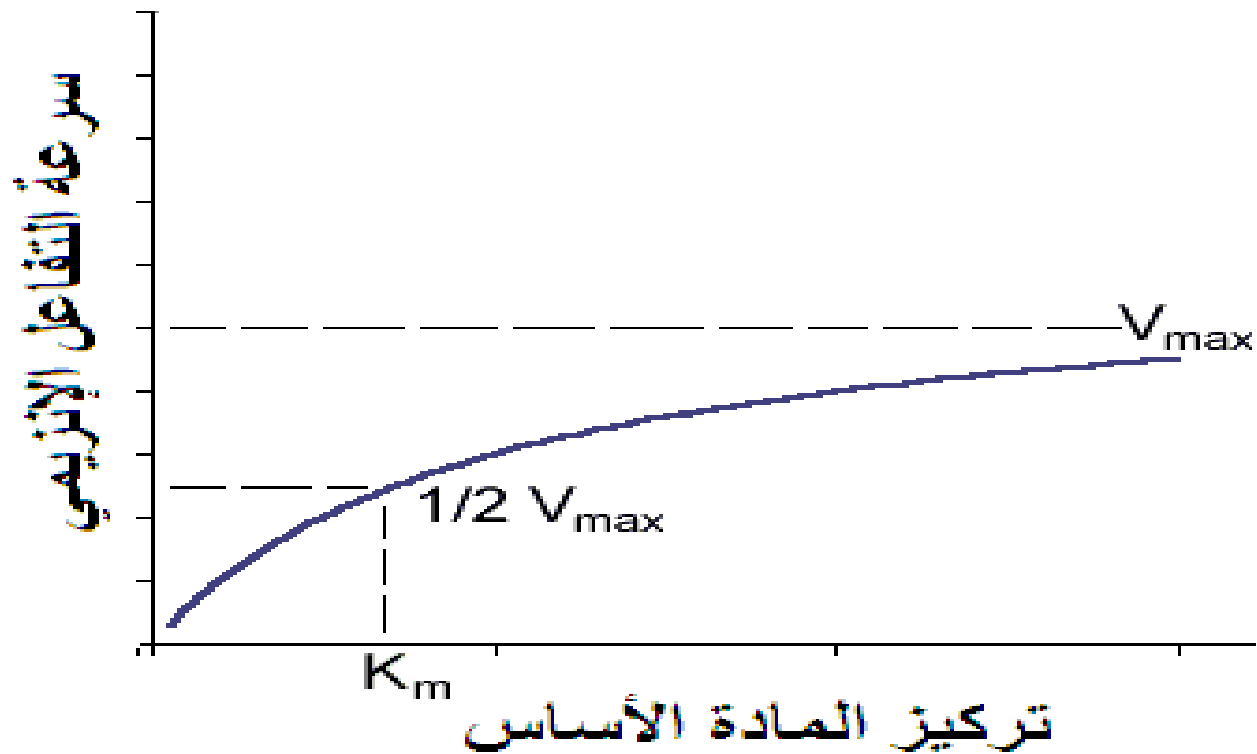
1. تركيز المادة الأساس:

(أ) عندما تكون تراكيز المادة الأساس قليلة، تتناسب زيادة سرعة التفاعل طردياً مع تركيز المادة الأساس (أي أنه كلما زاد تركيز المادة الأساس، زادت سرعة التفاعل الإنزيمي).

(ب) ولكن عندما يزداد تركيز المادة الأساس أكثر وتصبح عالية فعندئذٍ نصل إلى نقطة ثبات لا يحدث بعدها أي زيادة في سرعة التفاعل وتبقى سرعة التفاعل ثابتة بغض النظر عن زيادة التراكيز عن هذه النقطة.

عند هذا المستوى من سرعة التفاعل التي يطلق عليها السرعة القصوى (ويرمز لها بالرمز V_{max}) يكون الإنزيم في حالة تشبع بالمادة الأساس ولا يستطيع أن يزيد سرعة التفاعل أكثر نظراً لعدم توفر إنزيمات حرة لإنجاز مزيد من التفاعلات.

1. تركيز المادة الأساس:



معادلة ميكاليز ومنتن

- تظهر جميع الإنزيمات ظاهرة التشبع بالمادة الأساس وقد أدى ذلك إلى إفتراض نظرية عامة خاصة بفاعلية الإنزيم والتي فُرضت بواسطة العالمان ميكاليز ومنتن (Michaelis and Menten).
- إفتراض ميكلز ومنتن أن الإنزيم (E) يرتبط بصورة عكسية مع المادة الأساس (S) ليكونان مركب معقد من الإنزيم والمادة الأساس (ES)
- ثم يتفكك المركب المعقد (ES) بتفاعل عكسي ثان (أبطأ من التفاعل الأول) ليولد مرة أخرى الإنزيم بصورة طليقة (E) وناتج التفاعل (P).

معادلة ميكاليز ومنتن

- الشكل الخاص لمنحنى تشبع الإنزيم بالمادة الأساس يمكن أن يُعبر عنه حسابياً بواسطة معادلة ميكيلز-منتن والتي تصف إختلاف سرعة التفاعل الإنزيمي بإختلاف تركيز المادة الأساس.

$$V_o = \frac{V_{max} [S]}{K_m + [S]}$$

V_o = سرعة التفاعل الابتدائية
 V_{max} = السرعة القصوى
 K_m = ثابت ميكيلز
 $[S]$ = تركيز المادة الأساس

- تُعتبر هذه المعادلة أساسية وصحيحة لحساب فعالية (قدرة) الإنزيم على تحفيز التفاعلات وإذا كان كل من قيمة الـ K_m و V_{max} معلومة نستطيع حساب سرعة التفاعل لأي تركيز معين للمادة الأساس.
- تُعتبر الـ V_{max} هي السرعة القصوى التي يكون عندها الإنزيم مشبع بالمادة الأساس وعندها لا تتغير سرعة التفاعل.

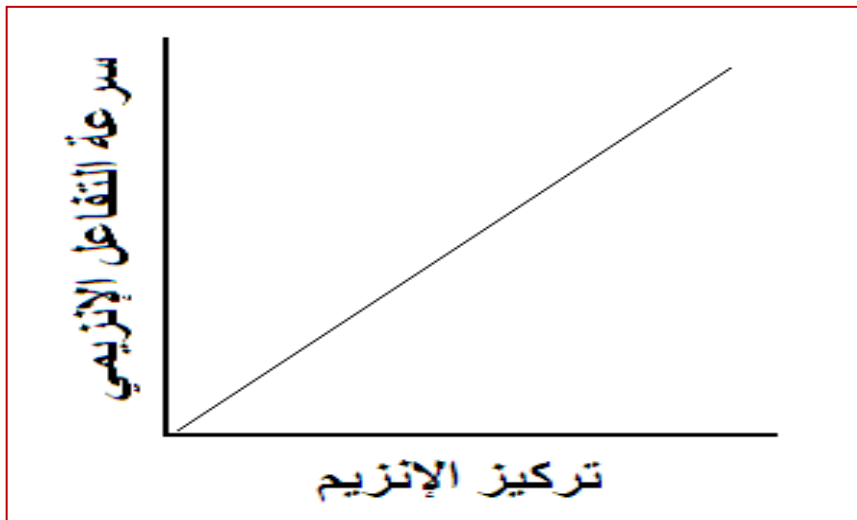
معادلة ميكاليز ومنتن

ثابت ميكاليز (Km):

- يُمثل تركيز المادة الأساس عند نصف السرعة القصوى.
- لكل إنزيم ومادة أساس خاصة به، قيمة لثابت ميكاليز لا تتغير حتى بتغير تركيز الإنزيم.
- هذا الثابت يعكس سهولة أو صعوبة إرتباط الإنزيم بالمادة الأساس، أي يعكس مدى قابلية (ميل) الإنزيم للإرتباط بالمادة الأساس.
- قيمة الـ Km للإنزيم عالية، تعكس ضعف قابلية الإنزيم للإرتباط بالمادة الأساس.
- قيمة الـ Km للإنزيم قليلة، تعكس قوة ميل الإنزيم للإرتباط بالمادة الأساس.

2. تركيز الإنزيم

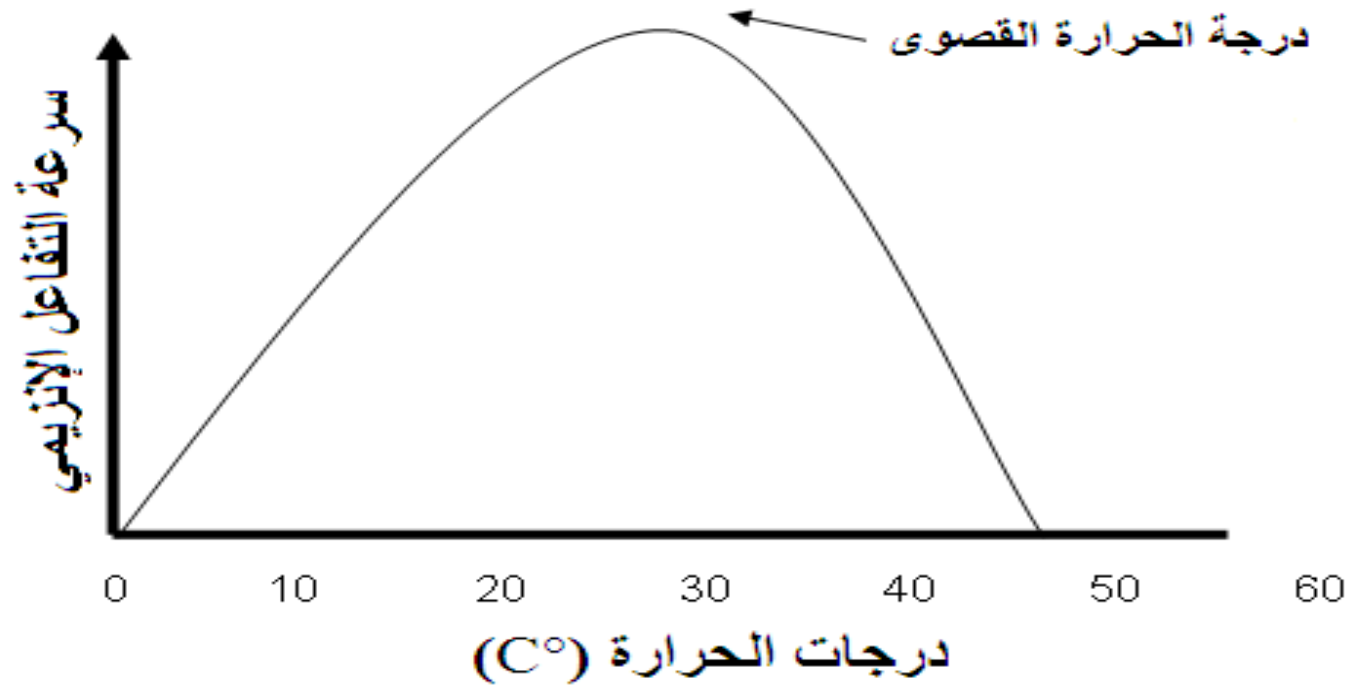
- سرعة التفاعل التحفيزي للإنزيم تتناسب طردياً مع تركيز الإنزيم.
- ففي هذه الحالة يجب أن تكون المادة الأساس متوفرة بكمية مناسبة لكي تكون مرتبطة بجميع الإنزيمات الموجودة (أي أن يكون الموقع النشط شاغراً بالمادة الأساس).



3. درجة الحرارة

- يؤدي إرتفاع درجة الحرارة بصورة عامة إلى تسريع التفاعلات الكيميائية وينطبق هذا إلى حد معين على التفاعلات الإنزيمية.
- يزداد نشاط الإنزيم بزيادة درجة الحرارة حتى حد معين بعدها يبدأ النشاط الإنزيمي بالإنخفاض حتى ينعدم نظراً لتغير التركيب البروتيني للإنزيم بسبب الحرارة العالية (أي يحدث تخثر للإنزيم).
- لكل إنزيم درجة حرارة مثلى يكون نشاط الإنزيم عندها أعلى ما يمكن والتي غالباً ما تكون بين 30-40 درجة مئوية.

3. درجة الحرارة

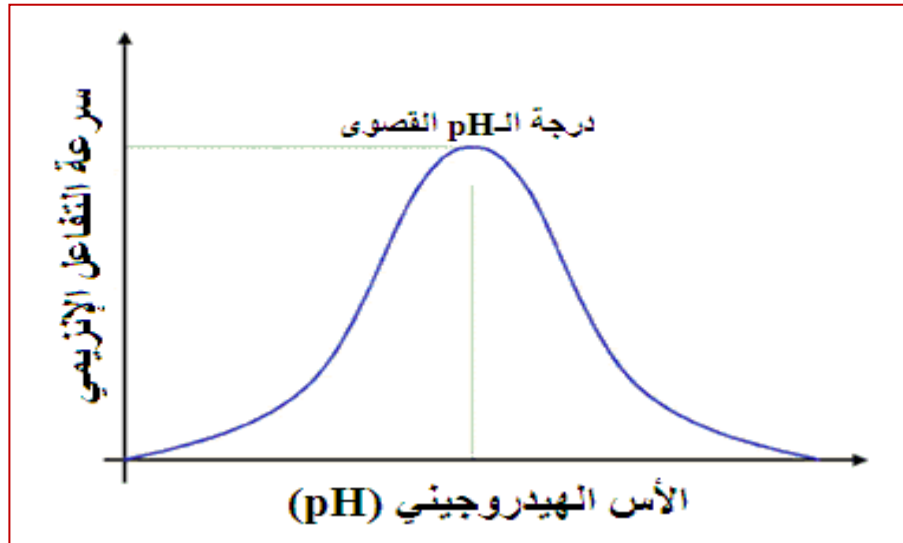


4. الأس الهيدروجيني

- بما أن الأس الهيدروجيني (pH) يؤثر على الحالة الأيونية للسلاسل الجانبية للأحماض الأمينية المكونة للموقع النشط في الإنزيم، فإن معظم الإنزيمات تكون لها سرعة تفاعل (تحفز التفاعل) عندما تتراوح قيمة الـ pH بين 5 و 9.
- لكل إنزيم رقم هيدروجيني عنده يكون نشاط الإنزيم أعلى ما يمكن ويسمى الرقم الهيدروجيني الأمثل.
- إذا حدث تغير في قيمة الـ pH المثلى سواء بالزيادة أو النقص، يقل النشاط الإنزيمي (نظراً لتغير تركيب الإنزيم وتخره).

4. الأس الهيدروجيني

- بعض الإنزيمات تعمل في وسط شديد الحموضة مثل إنزيم الببسين.
- بينما يميل الأس الهيدروجيني الأمثل لبعض الإنزيمات إلى القلوية كما هو الحال مع إنزيم الفوسفاتيز القلوي.



5. وجود المثبطات

- من الممكن أن ترتبط بعض المواد مع الإنزيمات فتمنع ارتباط المادة الأساس بالإنزيم وبالتالي إيقاف التفاعل الكيميائي وتعرف هذه المواد بالمثبطات (Inhibitors).

تنقسم المثبطات إلى نوعين:

1. **المثبطات العكسية (Reversible Inhibitors):**
يكون ارتباطها بالإنزيم ضعيف ويزول تأثيرها بزوال المثبط.
2. **المثبطات الغير عكسية (Irreversible Inhibitors):**
يكون ارتباطها بالإنزيم قوي ولا يزول تأثيرها.

التثبيط التنافسي (Competitive Inhibition)

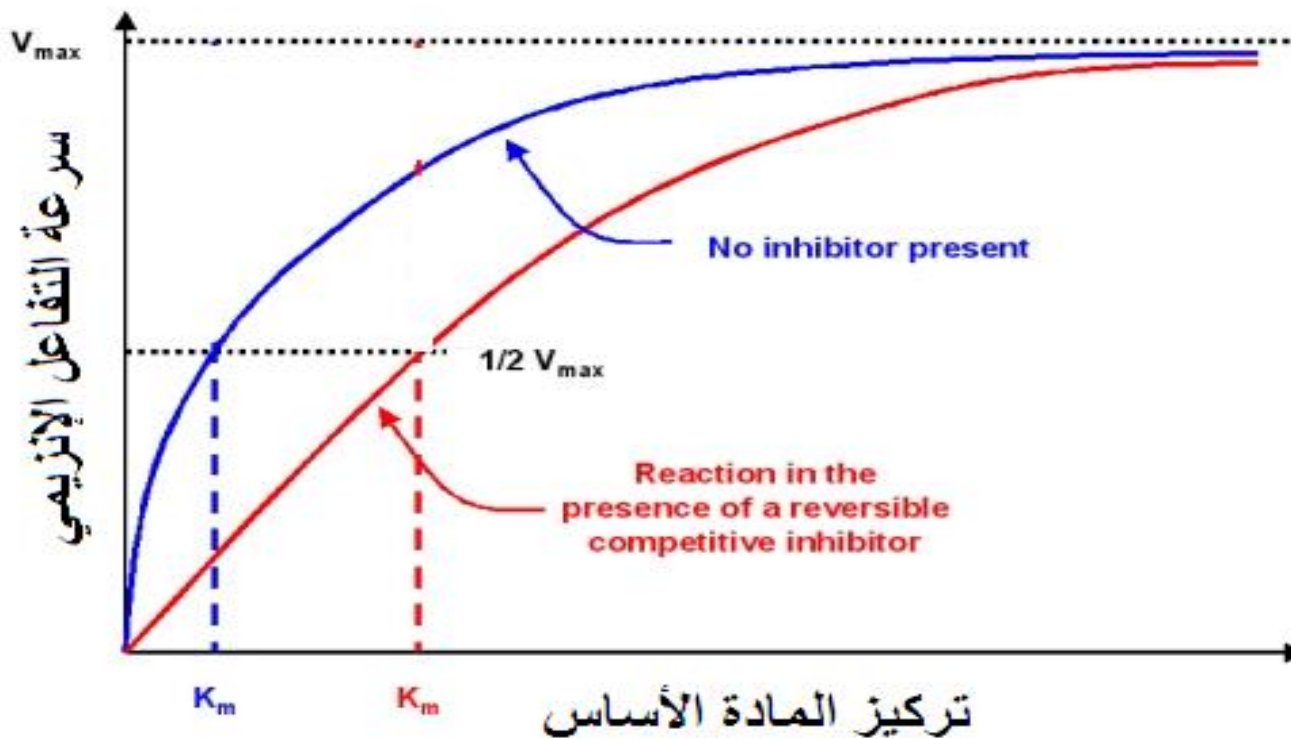
- هو نوع من أنواع التثبيط العكسي، في هذا النوع يكون تركيب المثبط يُشبه تركيب المادة الأساس، لذا فإنه يتنافس مع المادة الأساس ليرتبط بالموقع النشط للإنزيم مانعاً بذلك ارتباط المادة الأساس بالإنزيم.
- يُمكن التغلب على أثر المثبط التنافسي بزيادة عدد جزيئات المادة الأساس بحيث تزداد فرصة ارتباطها مع الإنزيم وبالتالي تقلل من احتمالات ارتباط المثبط بالإنزيم.

التثبيط التنافسي (Competitive Inhibition)

في حالة وجود مثبط تنافسي فإنه:

- لا يؤثر على السرعة القصوى للإنزيم (V_{max}).
- يؤثر على الـ K_m ، ويزيد قيمتها. أي أنه في وجود مثبط تنافسي فإننا نحتاج إلى المزيد من المادة الأساس حتى نصل إلى منتصف السرعة القصوى ($1/2 V_{max}$).

التثبيط التنافسي (Competitive Inhibition)



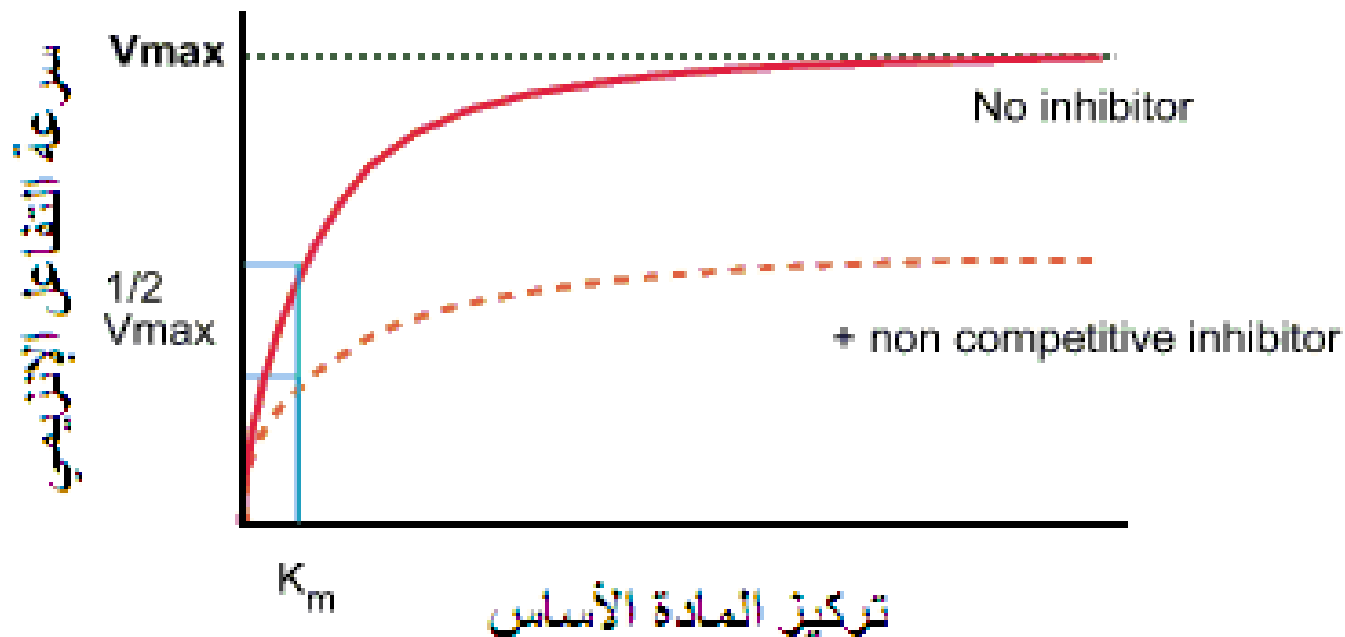
التثبيط اللاتنافسي (Noncompetitive Inhibition)

- نوع آخر من أنواع التثبيط العكسي، في هذا النوع يرتبط المثبط مع الإنزيم من خلال منطقة معينة في الإنزيم ليست بالموقع النشط الذي يرتبط بالمادة الأساس، لذا يمكن أن يرتبط كليهما مع الإنزيم في وقت واحد، إلا أن ارتباط المثبط في هذه الحالة يمنع الإنزيم من إتمام التفاعل.
- بما أن المثبط لا يرتبط بالموقع النشط فبالتالي زيادة تركيز المادة الأساس لن يقلل من تأثير المثبط ولا يمكن تحقيق سرعة قصوى عالية للتفاعل مهما كان تركيز المادة الأساس.

التثبيط اللاتنافسي (Noncompetitive Inhibition)

- المثبطات اللاتنافسية لا تمنع من ارتباط المادة الأساس بالإنزيم وبالتالي يُعطي الإنزيم نفس قيمة الـ K_m سواء بوجود المثبط اللاتنافسي أو بغيابه.
- وبالتالي لا يمكن التغلب على أثر التثبيط اللاتنافسي بزيادة تركيز المادة الأساس ولكن يعمل على تقليل من السرعة القصوى للتفاعل (V_{max}).

التثبيط اللاتنافسي (Noncompetitive Inhibition)



التثبيط الغير تنافسي (Uncompetitive Inhibition)

- في هذا النوع من التثبيط العكسي، يرتبط المثبط بالمادة الأساس بعد ارتباطها بالإنزيم في موقعه النشط (أي أنه يرتبط بعد تكوين معقد الإنزيم والمادة الأساس) وبالتالي يمنع الإنزيم من تحويل مادة التفاعل إلى نواتج.
- يؤثر هذا النوع من التثبيط على كلاً من قيمة الـ K_m وقيمة الـ V_{max} ويقللها.

أثر وجود المثبطات على التفاعل الإنزيمي

- يمكن لإنزيمات الترييسين، والكيمو تريسين، والأستيل كولين إستيريز أن تثبط بمركبات الفسفور، وتُعزى الوفاة عند التسمم بهذه المواد إلى تثبيط إنزيم الأستيل كولين إستيريز، فمن المعروف أن للأستيل كولين دوراً هاماً في نقل السيالات العصبية للعضلات.
- فإذا زاد تركيز هذه المادة الأساس نتيجة تثبيط الإنزيم المسؤول عن تحطيمها أدى ذلك إلى تقلص العضلات بما فيها عضلات التنفس بشكل دائم فتحدث الوفاة نتيجة لتوقف التنفس وتوقف عمل القلب.

*Do you have any
question?*