

الانزيمات

استعراض الشرائح

تصنيف وتسمية الأنزيمات

التحفيز و طاقة التنشيط

تعريفات لطاقة التنشيط

طاقة التنشيط

التحفيز طاقة التنشيط

تعريف الأنزيمات

وظيفة الأنزيم

خصائص الأنزيمات

وظائف الأنزيمات

الصفات العامة للأنزيمات

العوامل المساعدة التي يحتاجها الأنزيم لفاعليته





تعريف الأنزيمات

□ **الأنزيمات** محفزات بيوكيميائية (كيميائية حيوية) ذات تركيب بروتيني عالي الوزن الجزيئي، وكغيره من البروتينات يتألف الأنزيم من عدد كبير من الأحماض الأمينية يوجد فيما بينها روابط بيبتيدية و تكون هذه الأحماض الأمينية سلسلة أو أكثر من سلاسل عديدة البيبتيد .





وظيفة الأنزيم

تعمل الأنزيمات كمواد عضوية محفزة أي مسرعة (Catalyst) لتفاعلات كيميائية معينة ، محولة مجموعة محددة من المواد المتفاعلة (Substrates) إلى نواتج محددة عند درجة حرارة الجسم .

تزيد الأنزيمات من معدل سرعة التفاعل الكيميائي الذي تحفزه إلى حوالي 10¹⁴ .

إذا قامت الأنزيمات بتسريع تفاعل ما فإنها لا تتأثر بهذا التفاعل ولا يتغير تركيبها أثناء التحفيز لذلك تسمى الأنزيمات

بالعوامل المحفزة .



خصائص الأنزيمات

- ✿ الأنزيمات مواد بروتينية يمكن أن يحدث لها تخرن ، لذلك هي تتطلب درجة حرارة مثالية و pH مثالية لتقوم بوظيفتها .
- ✿ أي عامل يستطيع تحطيم تركيب البروتين الطبيعي للأنزيم مثل (التسخين الشديد ، معاملة الأنزيم بأحماض أو قواعد قوية) سوف يفقد الأنزيم تركيبه الثانوي والثلاثي والرباعي (إن وجد) مما يؤدي إلى تحطيم تركيبه و تعطيل صفاته الطبيعية وبذلك يفقد الأنزيم فعاليته المحفزة.



ماذا يحدث للأنزيم أثناء التفاعل الذي يحفزُه؟

- ❖ لا تستهلك أثناء التفاعل الذي تحفزه .
- ❖ كميات قليلة من الأنزيم تكفي لتحفيز التفاعلات لعدد كبير من المواد المتفاعلة.

خصوصية الأنزيمات

تجاه

المادة الأساس

• الأنزيمات مواد متخصصة ، فتقريباً معظم الأنزيمات

تقوم بتحفيز تفاعل مادة معينة يرتبط معها الأنزيم

بصورة خاصة ولا يرتبط مع غيرها من المواد ، أي أن

الأنزيم الذي يحفز تفاعل ما قد لا يحفز تفاعل آخر

بمواد متفاعلة مختلفة .

وظائف الأنزيمات

ما هي المادة الأساس؟

■ المادة الأساس أو المادة الهدف (Substrate) هو المصطلح الذي يستخدم للتعبير عن المادة الخاصة التي يعمل عليها الأنزيم ، يرتبط معها و يسرع تفاعلها.

■ توجد الأحماض الأمينية في سلاسل الأنزيمات متعددة الببتيد وفق تتابع معين خاص بكل أنزيم مما يؤدي في النهاية إلى تركيب فراغي محدد يمكن الأنزيم من القدرة على الارتباط بمادة معينة وتسريع حدوث تفاعلها الداخلي فيه .

الصفات العامة للإنزيمات

تركيب الإنزيمات

1. تتكون الإنزيمات من سلسلة واحدة أو من عدة سلاسل متعددة الببتيد.

العوامل المساعدة

2. تحتوي بعض الإنزيمات على مواد كيميائية إضافية مرتبطة فيها يحتاجها الأنزيم لفعاليته وتسمى هذه المواد بالعوامل المساعدة (Co-Factors).

العوامل المساعدة للإنزيمات

Co-Factors

■ العوامل المساعدة (**Co-Factors**) هي مواد غير بروتينية تكون مرتبطة ببعض الإنزيمات و تكون مطلوبة لنشاط هذه الإنزيمات.

■ العوامل المساعدة:

1- معادن

2- جزيئات عضوية (مشتقات من الفيتامينات) وتسمى بالكوإنزيم (**Coenzymes**).

الصفات العامة للإنزيمات

□ العوامل المساعدة (Co-Factors) التي يحتاجها الأنزيم
لفاعليته :

العوامل المساعدة

■ على شكل جزيئات
عضوية

تسمى بمساعدات الأنزيم
العضوية

Co-Enzymes

■ على شكل معادن معقدة
مثل:

(1) Mg (المغنسيوم)

(2) Mn (المنجنيز)

(3) Zn (الزنك)

(4) Fe (الحديد)

العوامل المساعدة التي يحتاجها الأنزيم لفاعليته

❖ بعض الأنزيمات تحتاج إلى كلا النوعين

مساعدات الأنزيم العضوية

(Coenzymes)

الأيونات المعدنية

■ أحياناً ترتبط العوامل المساعدة مع الجزء البروتيني من الأنزيم بقوة وفي مثل هذه الحالة يطلق على العوامل المساعدة بالمجموعة المترابطة.

■ هذه العوامل المساعدة تكون ثابتة عند التسخين بينما يتأثر الجزء

البروتيني المكون للإنزيم بالتسخين .

العوامل المساعدة للإنزيمات

Co-factors

- الهولو إنزيم (Holoenzyme) يتكون من الأنزيم و العوامل المساعدة، الكوفاكتر (Co-factor).
- الأبو إنزيم (Apoenzyme) عبارة عن القسم البروتيني من الهولو إنزيم.

أبو إنزيم + عوامل مساعدة ← هولو إنزيم

يوجد عامل
مساعد مرتبط

لا يوجد عامل
مساعد



العوامل المساعدة التي يحتاجها الأنزيم لفاعليته

❖ بعض الكوفاكترز (Co-Factors) :

العوامل المساعدة ترتبط بالأنزيم ارتباط ضعيف ترتبط مع الأنزيم عندما يبدأ الأنزيم بتحفيز تفاعله (الخاص به) و تنفصل عنه بعد إنتهاء الأنزيم من تحفيزه للتفاعل، في هذه الحالة لا يطلق على مثل هذه العوامل بالمجموعة المترابطة.

العوامل المساعدة للإنزيمات

Co-Factors

- في غياب الكوفاكتر المطلوب للإنزيم فإن الأبوإنزيم تكون وظيفته التحفيزية معطلة.
- **المجموعة المترابطة (البروستيثيك جروب) :** عبارة عن **كوفاكتر (Co-Factor)** : كواإنزيم (Coenzyme) أو معدن مرتبط بقوة مع الأنزيم ولا ينفصل عنه.

تسمية الأنزيمات

□ في السابق، كانت تسمى الأنزيمات:

1. استناداً إلى اسم المادة التي يعمل عليها الإنزيم والمسماة

المادة الأساس (Substrate)

■ مثل: يحفز أنزيم اليوريز التحلل المائي لليوريا ويحفز أنزيم الأرجينيز التحلل المائي للأرجينين.

2. أو استناداً إلى طبيعة التفاعل الذي تحفزه .

مثل: يحفز أنزيم الديكربوكسيليز إزالة مجموعة الكربوكسيل من المادة الأساس.

تسمية الأنزيمات

❖ في بعض الحالات أعطي للأنزيمات أسماء لا تعود إلى طبيعة التفاعل الذي تحفزه: مثل البيبسين والتربسين التي تحفز التحلل المائي للبروتينات .

تصنيف الأنزيمات

سابقاً لم يكن هناك تصنيف نظامي للأنزيمات أما حالياً فهناك تصنيف نظامي علمي يسهل دراسة الأنزيمات و التفاعلات التي تحفزها

- ❖ في الوقت الحاضر يستعمل تصنيف نظامي خاص للأنزيمات .
- ❖ وضعت الأنزيمات في مجموعات أي قسمت إلى ستة أصناف استناداً إلى نوع التفاعل الذي تحفزه ، كذلك وضعوا لكل أنزيم عدد تصنيفي مميز خاص بهذا الأنزيم فقط .

تصنيف الأنزيمات الحديث

□ مثال على العدد التصنيفي المميز لأنزيم ما و ما يعنى

هذا التصنيف:

■ E.C 1.2.1.7 يدل الرقم الأول على النوع الرئيسي للتفاعل

بينما يدل الرقم الثاني على النوع الفرعي ، و يدل الرقم

الثالث على النوع الفرعي - الفرعي ، و يدل الرقم الرابع

على الإنزيم نفسه.

تصنيف الأنزيمات

■ فمثلا إنزيم الليبيز رقمه (ES 3.1.1.3) فالرقم الأول وهو [3]

يدل على القسم الذي ينتمي له هذا الأنزيم (3) وهو أنزيمات التحلل المائي

والرقم [1] يدل على تحت القسم (subclass) حيث يعمل هذا الأنزيم

على تحليل روابط الإستر (3.1) والرقم الثالث [1] يدل على تحت –

تحت القسم (sub-subclasses) أي أن الروابط الأستر التي يحللها

هذا الأنزيم هي روابط أستر كربوكسيلييه (3.1.1) والرقم الأخير [3]

يدل على الرقم المسلسل الخاص بالليبيز من ضمن الأنزيمات التي تحلل

الأستر الكربوكسيلي (3.1.1.3).

تصنيف الأنزيمات

تصنيف الأنزيمات إلى ستة أنواع رئيسية:

1. أنزيمات النقل **Transferases**
2. أنزيمات الأكسدة و الإختزال **Oxidoreductases**
3. أنزيمات التميؤ **Hydrolases**
4. إنزيمات الفصل **Lyases**
5. أنزيمات التشكل **Isomerases**
6. أنزيمات الارتباط **Ligases**

تصنيف الأنزيمات

□ تصنيف الأنزيمات إلى ستة أنواع رئيسية:

1. أنزيمات النقل **Transferases**

و تشمل جميع الإنزيمات التي تعمل في التفاعلات الخاصة بنقل المجموعات من مركب إلى آخر . فهي تقوم بنقل مجموعة كيميائية من مادة هدف إلى أخرى ، و من أمثلتها الإنزيم الذي ينقل مجموعة الفوسفات من مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات (ATP) إلى جلوكوز: أنزيم الـ **Hexokinases** أو الذي ينقل الجلوكوز إلى الجليكوجين: أنزيم الـ **Glycogen Synthase** ، و منها أنزيمات :

Transmethylnses و **Transaminases**

تصنيف الأنزيمات

2. أنزيمات الأكسدة و الإختزال Oxidoreductases

□ وتشمل جميع الأنزيمات التي تعمل في تفاعلات الأكسدة والإختزال ، و هي تقوم بنقل الإلكترونات من مادة الهدف إلى أخرى فتؤكسد الأولى و تختزل الثانية ، و منها إنزيمات :

Oxidases و Peroxidases و Hydrases

و Dehydrogenases.

تصنيف الأنزيمات

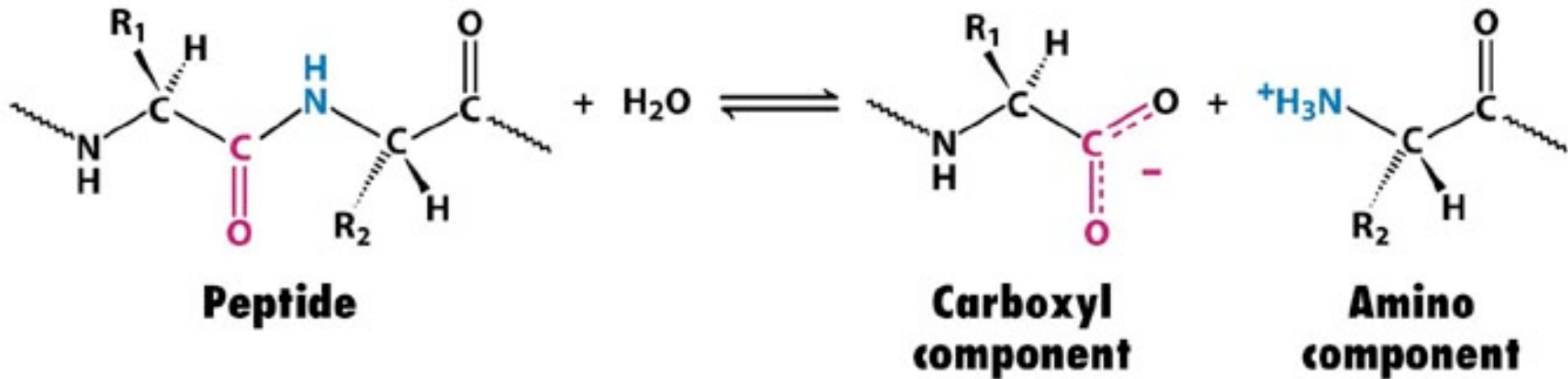
3. أنزيمات التميؤ Hydrolases

□ و تشمل جميع الأنزيمات التي تعمل في تفاعلات التحلل المائي ، و هي تقوم بتحطيم بعض الروابط بإضافة الماء ، و منها الإنزيمات التي تعمل على تميؤ الروابط الجلايكوسيدية و الإسترية و البيبتيدية. أمثلة:

Sucrase, Proteases , Amylase

(Proteases) : تكسر الروابط البيبتيدية بإضافة الماء

عمل الأنزيمات البروتيزز (Proteases)



تصنيف الأنزيمات

4. إنزيمات الفصل Lyases

□ و تشمل جميع الأنزيمات التي تعمل على نزع مجموعة كيميائية

من المادة الهدف دون إضافة الماء ، حيث يحل محل ذرات

المجموعة المنزوعة رابطة مزدوجة مثل فصل مجموعة الأمين

(NH_2) في صورة أمونيا (NH_3) و منها إنزيمات :

Deaminases و **Decarboxylases** و **Aldolases**.

تصنيف الأنزيمات

5. أنزيمات التشكل Isomerases

□ تشمل جميع الأنزيمات التي تعمل على تحويل المادة الهدف إلى متشكل آخر ، و منها : أنزيمات

Cis- Transisomerases

Intramolecular Transferases و

تصنيف الأنزيمات

6. أنزيمات الارتباط Ligases

□ تشمل جميع الأنزيمات التي تعمل على إنشاء رابطة جديدة

بين مركبين مختلفين ، و تعتمد في ذلك على الطاقة

المخزنة في جزيء أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP.

■ و منها أنزيم RNA Ligase

الذي يشارك في عمليات بناء البروتين في الخلية .

الأنزيمات

**تحول التفاعلات
الغير تلقائية إلى
تفاعلات تلقائية**

ميكانيكية عمل الأنزيمات

❖ لا تؤثر الأنزيمات على ثابت الإتزان في التفاعل الذي تحفزه ولكنها تسرع التفاعل للوصول إلى حالة الإتزان بمعدل سريع للغاية .

ميكانيكية عمل الأنزيمات

Enzymes do not:

Change the equilibrium constant for a reaction. K_{eq} depends only on the difference in energy level between reactants and products.

Change ΔG for a reaction. As shown in the graphs above, enzymes only lower activation energy, but do not change the difference in energy levels between reactants and products.



ميكانيكية عمل الأنزيمات

❁ لا تؤثر على تغيرات الطاقة الحرة للتفاعل .

❁ لا تغير الإختلاف في مستوى الطاقة بين المواد

المتفاعلة و المواد الناتجة.

❁ تعمل على تخفيض طاقة التنشيط المطلوبة لبدء التفاعل

المحفز بالأنزيم و الوصول به إلى “ مرحلة الإنتقال ” .

تعريف طاقة التنشيط

■ طاقة التنشيط : هي الطاقة اللازمة لبدء التفاعل و نقل المواد المتفاعلة إلى مستوى طاقة يكفي لتحويل المواد المتفاعلة إلى نواتج هذا المستوى يعرف "بالحالة الانتقالية المؤقتة".



التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

□ آلية عمل الأنزيمات (في تسريعها للتفاعلات

الكيميائية) تكون عن طريق تقليل أو خفض طاقة

التنشيط اللازمة للتفاعل .





التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

□ هناك طريقتان رئيسيتان لتعجيل التفاعل الكيميائي،

إحداهما:

(1) زيادة درجة الحرارة والتي تزيد الحركة الحرارية والطاقة للجزيئات

المتفاعلة و بذلك تؤدي إلى زيادة عدد الجزيئات التي تصل إلى حالة

الانتقال (الحالة التي تسبق تكوين النواتج).

■ عادة تتضاعف سرعة التفاعل عند رفع درجة الحرارة 15 درجة مئوية.



التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

❖ بواسطة الأنزيمات: نستطيع القول بأن التفاعل الذي يحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة جداً يحدث تستطيع الأنزيمات تحفيزه عند درجات حرارة منخفضة, و ذلك أيضا عن طريق تقليل “طاقة التنشيط” .

❖ التفاعلات الكيميائية تتطلب هذه الطاقة “ طاقة التنشيط ” التي يحفزها الأنزيم لتكسير الروابط التساهمية وبدء التفاعل .

التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

❖ الأنزيمات تخفض العوائق التي طبيعياً تمنع التفاعل الكيميائي من البدء (أو تبطئه) عن طريق تقليل "طاقة التنشيط" المطلوبة .

❖ كلما قلت طاقة التنشيط كلما زادت سرعة التفاعل.



التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

□ هناك طريقتان رئيسيتان لتعجيل التفاعل الكيميائي، ثانيهما:

(2) تتضمن الطريقة الثانية إضافة مادة محفزة تعجل التفاعلات الكيميائية

بخفض طاقة التنشيط لها و ذلك عن طريق الإتحاد مع المواد المتفاعلة

لتصل بالتفاعل بصورة سريعة إلى "حالة الإنتقال" الخاصة بالتفاعل

المحفز التي من بعدها تتكون النواتج بسهولة و بسرعة.

❖ وعندما يتكون الناتج يعاد توليد المادة المحفزة طليقة.



التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

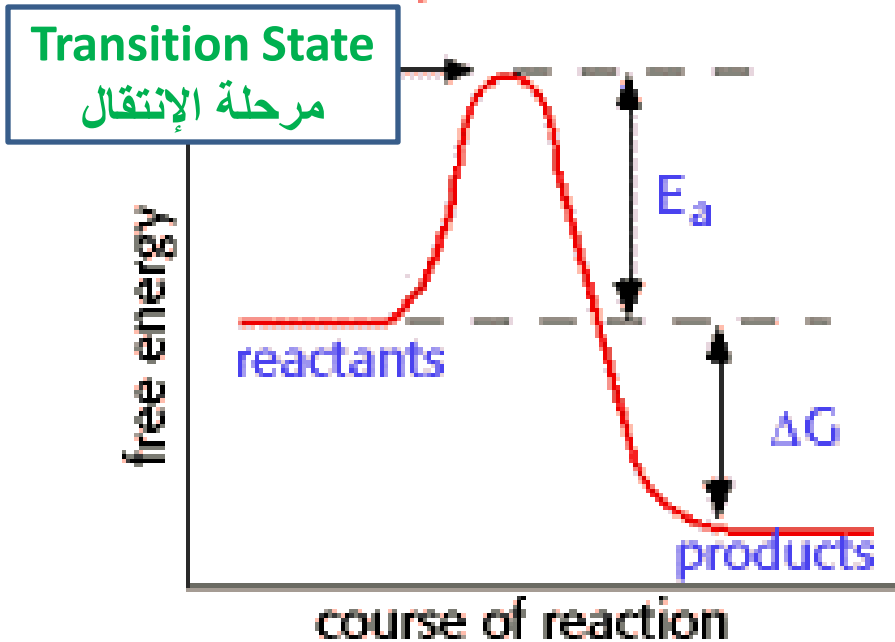
- ❖ بواسطة الأنزيمات: نستطيع القول بأن التفاعل الذي يحتاج إلى درجات حرارة مرتفعة جداً ليحدث تستطيع الأنزيمات تحفيزه عند درجات حرارة منخفضة, و ذلك أيضا عن طريق تقليل طاقة التنشيط .
- ❖ التفاعلات الكيميائية تتطلب هذه الطاقة “ طاقة التنشيط ” التي يحفزها الأنزيم لتكسير الروابط التساهمية وبدء التفاعل .

التحفيز بواسطة الأنزيمات

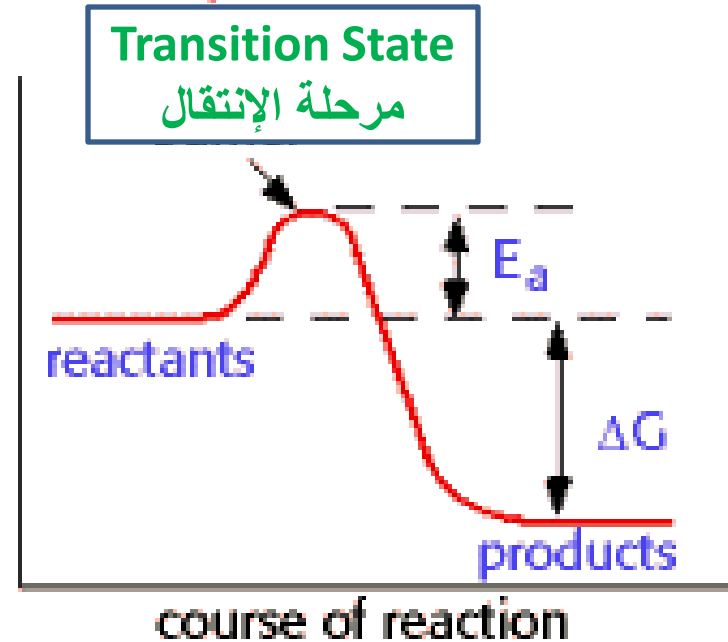
طاقة التنشيط

■ تعمل الأنزيمات على تخفيض طاقة التنشيط بواسطة الارتباط المؤقت مع المواد المتفاعلة (Substrate) حيث أنها تعمل على تقليل الطاقة المطلوبة للوصول إلى مرحلة الإنتقال (أو الوصول إلى طاقة الإنتقال) التي بعدها يحدث التفاعل بسرعة عند درجة الحرارة الطبيعية.

Uncatalyzed Reaction

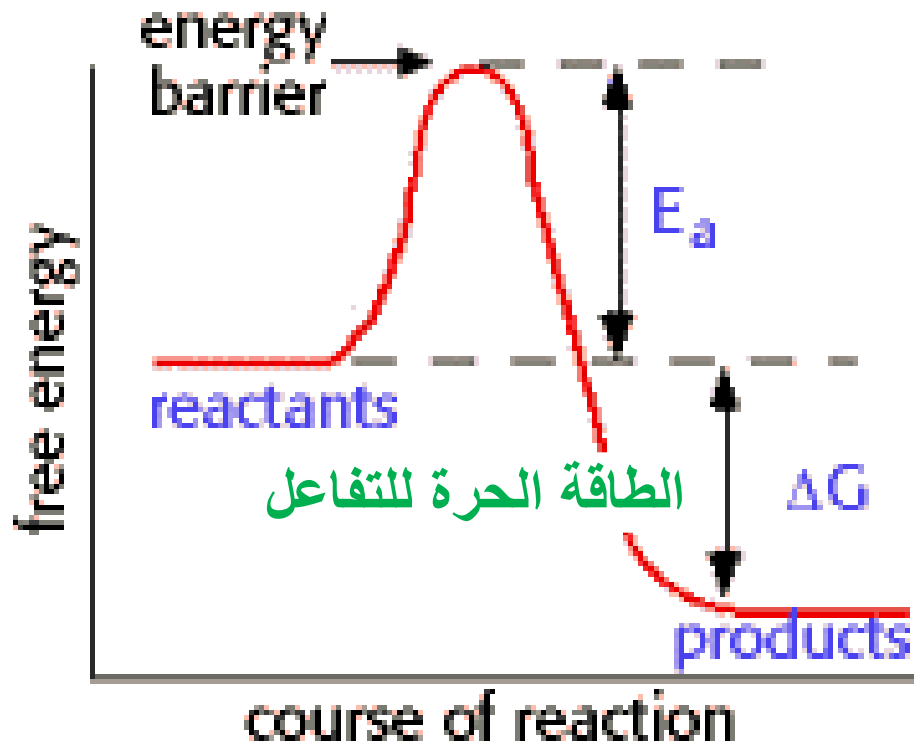


Catalyzed Reaction

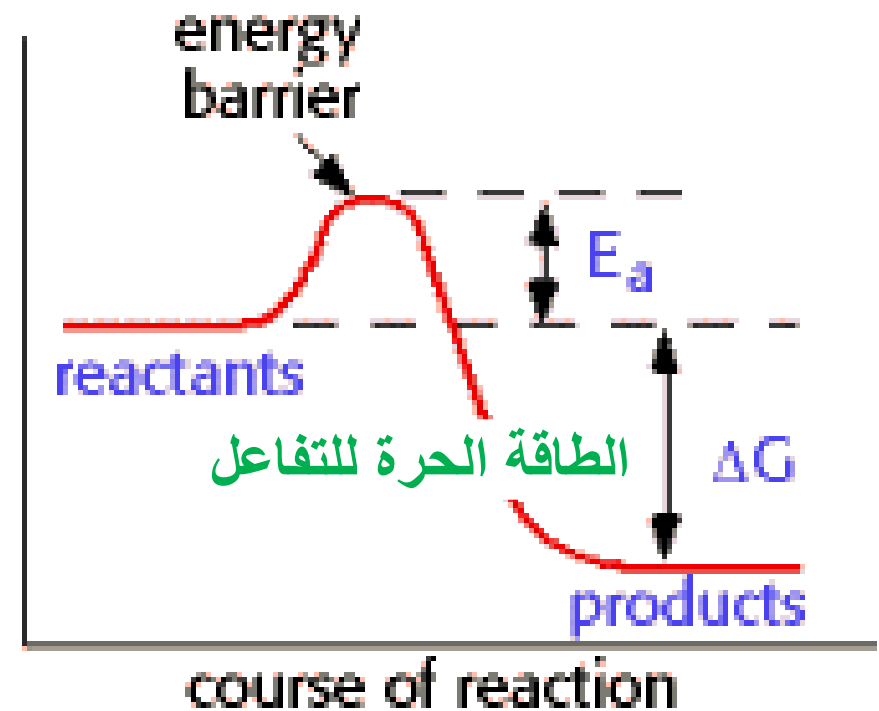


الأنزيمات لا تغير الطاقة الحرة للتفاعل

Uncatalyzed Reaction



Catalyzed Reaction

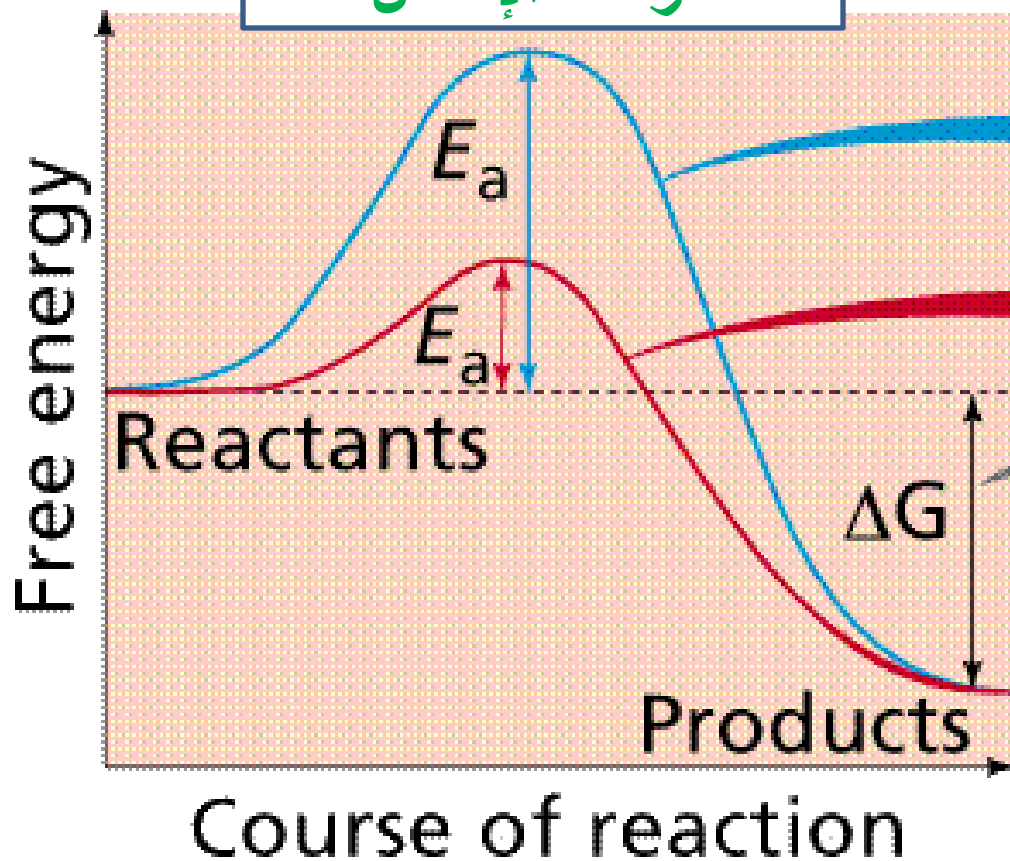


التحفيز بواسطة الأنزيمات

طاقة التنشيط

Transition State

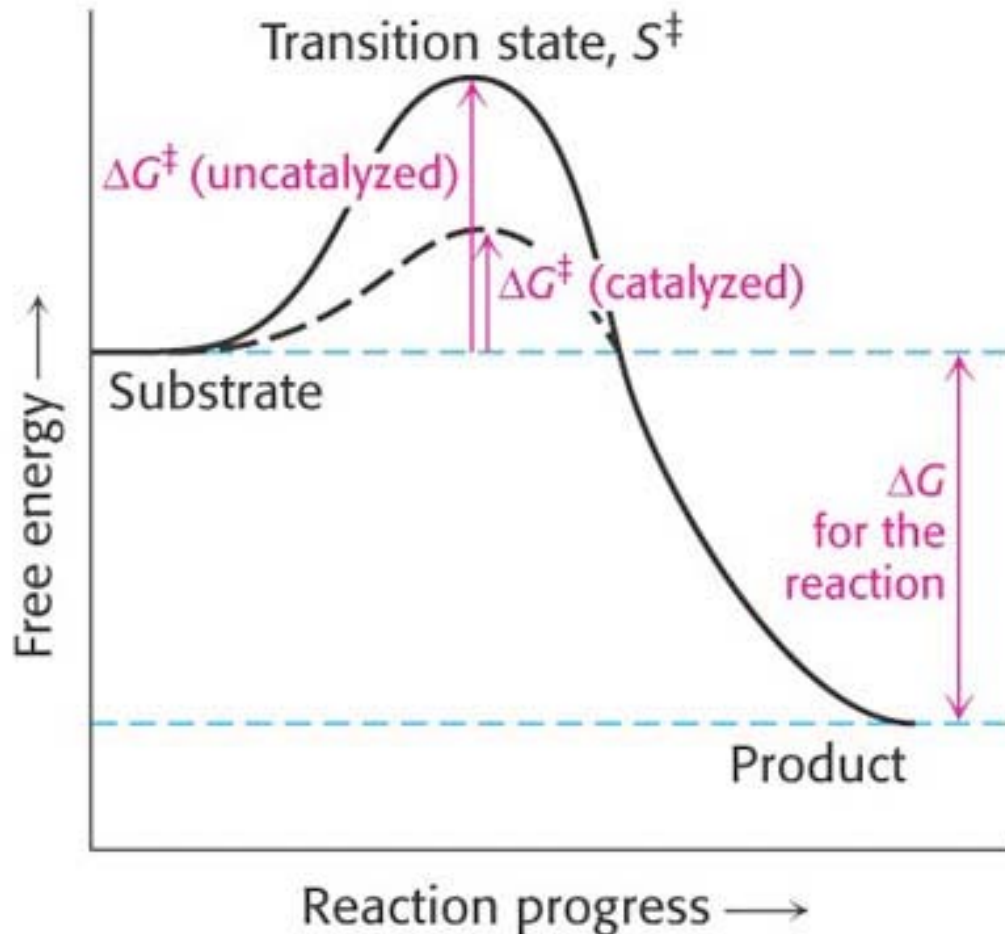
مرحلة الإنتقال



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

FREE ENERGY DIAGRAM FOR THE REACTION $S \longrightarrow P$



- free energy G vs. progress of reaction (i.e., the "reaction coordinate")
 - Enzymes decrease activation energy (ΔG^\ddagger) for reactions they catalyze.
- ΔG = overall difference in free energy between final (P) and starting (S), not affected by enzyme.
- RATE of reaction IS affected by enzyme. **RATE depends on ΔG^\ddagger , the Arrhenius activation energy** (i.e., the **free energy of activation** for the reaction).

Berg et

آلية عمل الأنزيمات

□ في أي تفاعل أنزيمي يرتبط الأنزيم (E) مع المادة الهدف (S) ليكونا معا معقد الأنزيم و المادة الهدف

(ES Complex)



هكذا :-

■ و يتم هذا الارتباط في موقع معين في تركيب الإنزيم يسمى **بالموقع النشط (Active Site)**.

آلية عمل الإنزيمات

- الخطوة التي تلي ارتباط الإنزيم بالمادة الهدف هي تحول الهدف (S) إلى ناتج (P).
- أما الخطوة الأخيرة فهي تفكك ناتج التفاعل (P) عن الإنزيم (E).
- هذا و يمكن تلخيص خطوات التفاعل الإنزيمي كما يلي:



آلية عمل الأنزيمات

□ تصور أن المعادلة السابقة قائمة على أساس أن الأنزيم أحد مواد التفاعل و أحد نواتجه ، حيث يفسر هذا إمكانية استمرار عمل الأنزيم في تسريع التفاعل لكميات كبيرة من المادة الهدف بواسطة حتى كمية قليلة من الأنزيم ، فجزء الإنزيم الذي ينتج بعد تحول كل جزيء من جزيئات المادة الهدف إلى ناتج هو أنزيم حر بشكله الطبيعي لم يتأثر فإنه يكون قادر على إعادة الكرة ليحول جزيئاً (من مادة متفاعلة إلى ناتج) ثانياً و ثالثاً و هكذا.

■ هذه التغيرات تتم في فترة وجيزة لا تتجاوز جزءاً من الثانية .

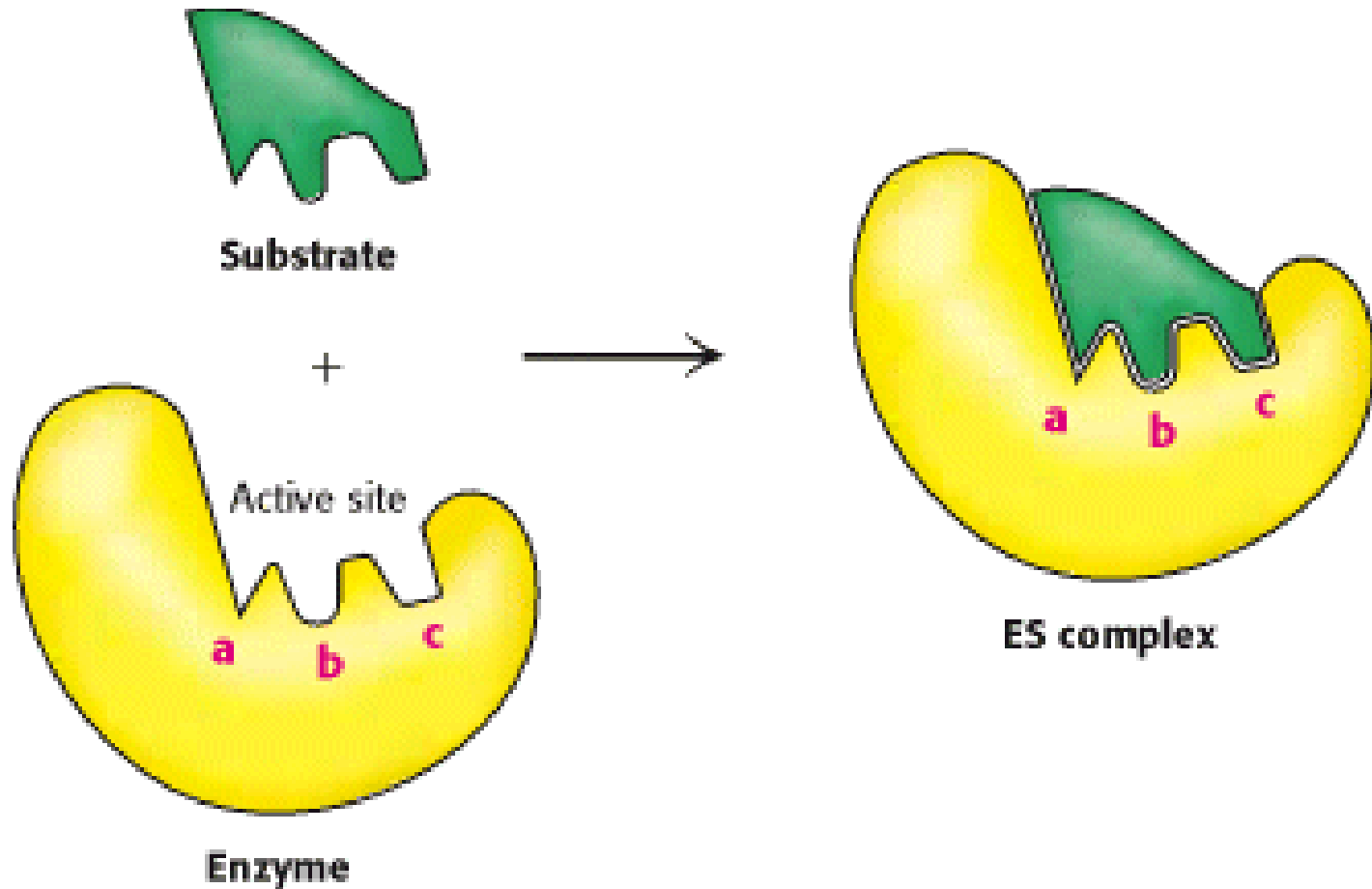
آلية عمل الأنزيمات

نظرية القفل و المفتاح

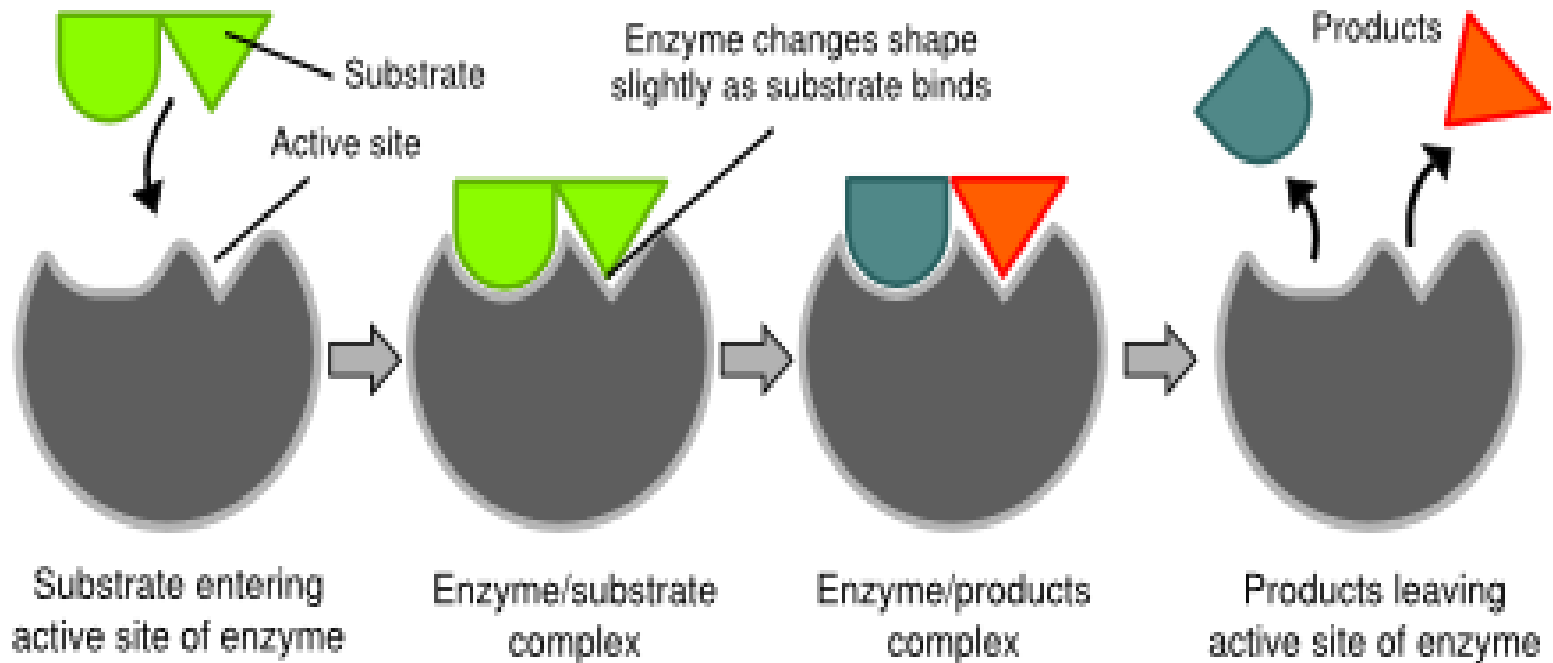
□ الموقع النشط:

- لا يشغل سوى حيز بسيط من سطح الإنزيم.
- يتألف من عدد محدود من الأحماض الأمينية المشكلة لجزيء الإنزيم ،
و ليس من الضروري أن تكون الأحماض الأمينية المشكلة للموقع النشط
متتابعة أو متقاربة في سلسلة عديد الببتيد ، بل هي غالبا تتكون من
انثناءات السلسلة المتعددة الببتيد أو انحنائاتها ، فتتقارب لتعطي بناءا
محدودا يناسب على نحو ما بناء المادة الهدف . و تشبه ملائمة أي أنزيم
للمادة الهدف الخاصة به **بملائمة المفتاح للقفل** الذي صمم له .

آلية عمل الأنزيمات نظرية القفل و المفتاح



نظرية القفل و المفتاح



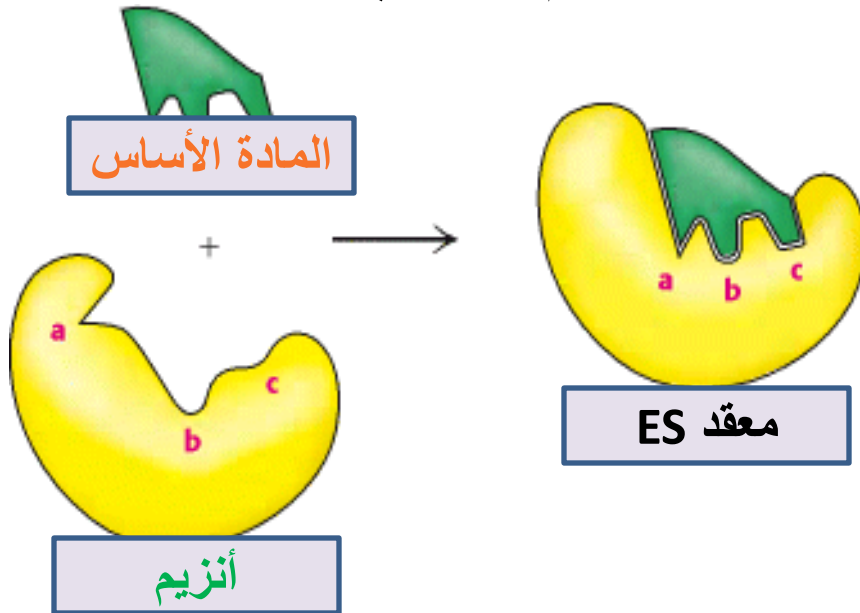
آلية عمل الأنزيمات

نظرية التوافق المستحث

- بما أن الأنزيمات عبارة عن مركبات مرنة فإن الموقع النشط للأنزيم سوف يغير شكله بصورة مستمرة إلى الشكل الذي يناسب شكل المادة الأساس لترتبط به عن طريق تفاعلات أو روابط ضعيفة بين الأنزيم و المادة الأساس. هذه النظرية تسمى **نظرية التوافق المستحث**.

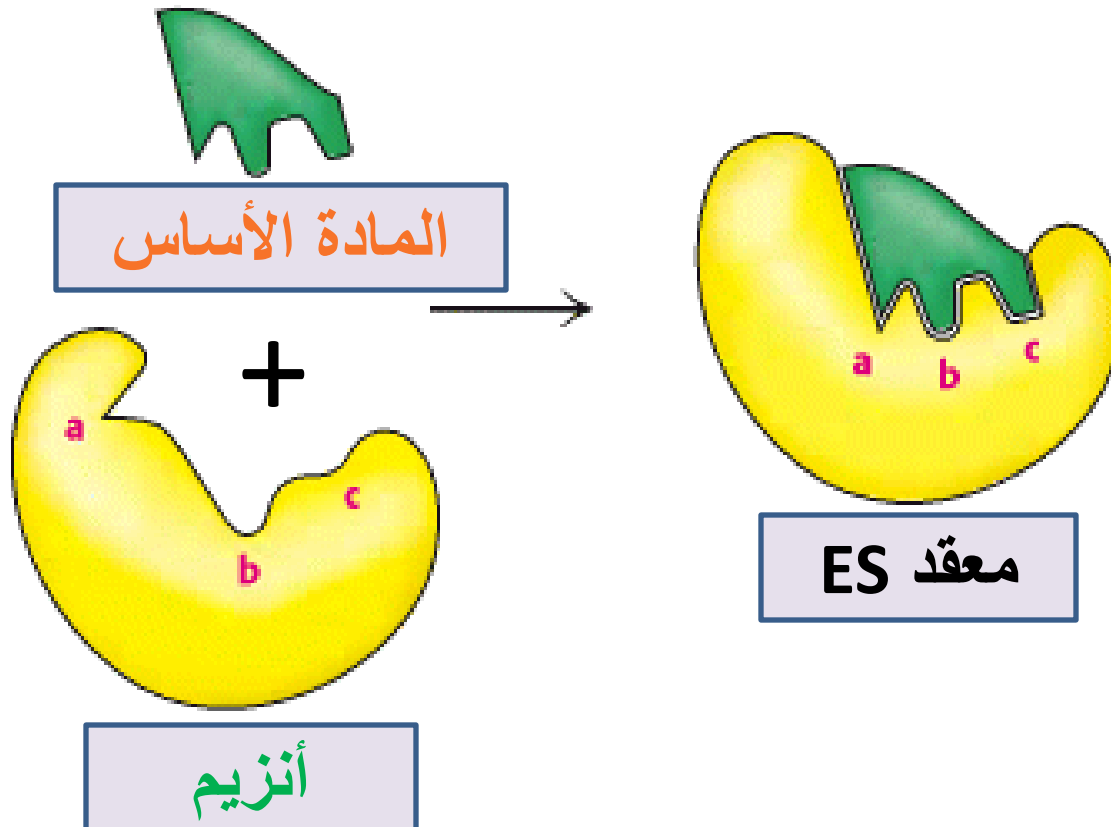
نظرية التوافق المستحث

- هذه النظرية تقول بأن المادة الأساس لا ترتبط بسهولة مع الموقع النشط الثابت الشكل، فالسلاسل الجانبية للأحماض الأمينية المكونة للموقع النشط للأنزيم سوف تشكل نفسها لتعطي الموقع الصحيح دقيق الشكل الذي يساعد الأنزيم ليؤدي وظيفته المحفزة و يرتبط بالمادة الأساس.



نظرية التوافق المستحث

- في بعض الأحيان المادة الهدف أيضا تغير من شكلها قليلا عندما تدخل الموقع النشط لترتبط فيه. الموقع النشط يستمر



بالتغيير حتى

تصبح المادة الأساس

مرتبط تماما به.

العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الأنزيمي

1- تركيز المواد المتفاعلة (المادة الأساس)

2- تركيز الأنزيم

3- درجة الحرارة

4- الأس الهيدروجيني (تركيز أيونات الهيدروجين)

5- وجود مثبطات

إنزيم + مواد متفاعلة \leftarrow إنزيم + مواد ناتجة