

# الإنزيمات ENZYMES

# الانزيمات ENZYMES

يمكن تعريف الانزيمات بانها عبارة عن بروتينات او مركبات عضوية تعمل كعوامل مساعدة يكون لها تاثير على سرعة التفاعل ولكنها لا تستعمل في التفاعل ولا تكون ضمن ناتجات التفاعل وتفرز بواسطة خلايا الكائنات الحية ولكن لها القدرة على التفاعل مستقلة عن الخلايا التي تفرزها

وهي تمتاز بخاصية التخصص الشديد ولو امكنا تقدير الانزيمات الموجودة في الانسجة كميا لو وجدنا انها تساوى تقريبا كل البروتينات الذائبة داخل الخلايا. والانزيمات عوامل نشطة وسريعة المفعول حيث ان مقدار قليل جدا منها يكفي للتفاعل متى توافرت الظروف الخاصة بكل انزيم. ومن اهم الصفات التي تتميز بها الانزيمات هي صفة التخصص الشديد highly specific بمعنى ان يكون عمل الانزيم مقصورا على نوع واحد من المركبات او نوع معين من التفاعلات الخاصة.

# تسمية الانزيمات Nomenclature of Enzymes

جرت العادة في تسمية الانزيمات على اساس اعتبارين :-

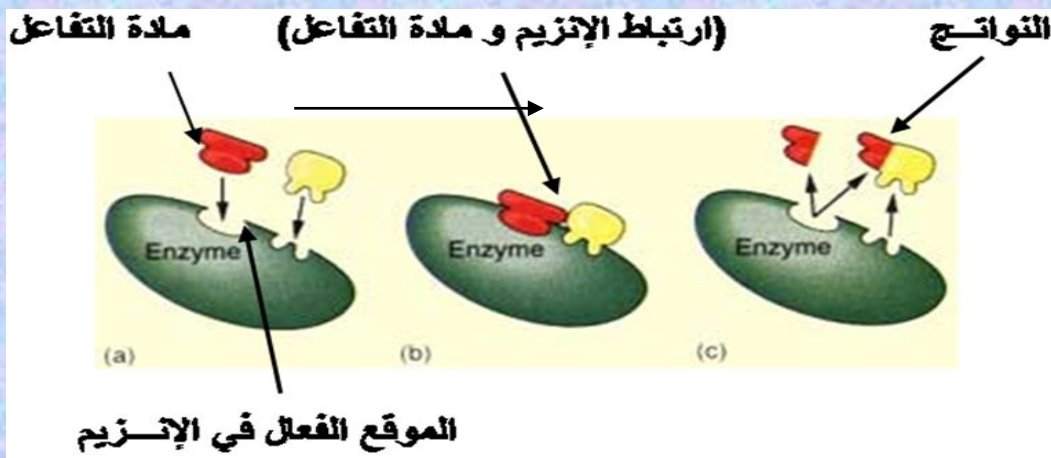
1- عن طريق اسم المادة التي يؤثر عليها الانزيم مضافا اليها المقطع ase – فالانزيم الذي يقوم بالتحليل المائي للسكروز ( سكر القصب ) يطلق عليه sucrase والتحليل المائي لسكر المالتوز يقوم به انزيم يطلق عليه maltase.

2- وهناك حالات خاصة لبعض الانزيمات نجد فيها ان الاسم ليس له علاقة باسم المادة او اسم التفاعل مثل انزيم الـ Pepsin وانزيم الـ Trypsin وهما من انزيمات التحليل المائي للبروتينات التي يطلق عليها اسم Protease.

## ميكانيكية عمل الانزيم :- اجتمعت جميع الاراء على انه يحدث ارتباط بين

المادة المتفاعلة والانزيم لتكوين مركب وقتي يتحلل بعد ذلك الى نواتج التفاعل وتبعاً لنظرية Michaelis فان الانزيم E يرتبط مع المادة المتفاعلة (S) Substrate لتكوين مركب مؤقت نشط ES.

- $(E + S \longleftrightarrow ES)$
- ثم يتحلل هذا المركب المؤقت عن طريق الماء الى نواتج التفاعل (Y, Z) والانزيم E.
- $ES + H_2O \longrightarrow Z + Y + E$
- والانزيمات عبارة عن مادة بروتينية وسطح جزئ البروتين مهياً بمواد غير بروتينية هي مراكز النشاط Active Center الذي يكون مهياً بطريقة خاصة ليلائم Substrate معين ويحدث الارتباط بين الانزيم وال Substrate عند هذا الموضع مكونة المركب المؤقت النشط ونتيجة لذلك يحدث انضغاط في الروابط الموجودة بين مكونات المادة المتفاعلة مما يجعلها تنحل الى مكوناتها وينطلق الانزيم على حالته الاصلية ليعيد حيويته من جديد. ويمكن تمثيل ذلك بالرسم التالي :-



ويؤيد هذه النظرية حالات كثيرة منها انزيم الـ Peroxidase الذي يحلل فوق اكسيد الايدروجين  $H_2O_2$  الى الاكسجين.



وقد وجد انه اذا اضيف الى المادة التي يؤثر عليها وهي  $H_2O_2$  فانه يتكون مركب وسطي نشط اخضر اللون يتكون من اتحاد الانزيم مع فوق اكسيد الايدروجين (الـ substrate) وهذا المركب بدوره يتحلل الى الانزيم ونواتج التفاعل فيزول اللون. وقد وجد ان التحليل المائي للجليكوسيدات بواسطة انزيمات التحليل المائي تتم ايضا بواسطة اتحاد الانزيم مع الـ substrate.

# تركيب الانزيمات Structure of enzymes

- جميع الانزيمات تنتمي في تركيبها الى البروتينات وبعضها قد يرتبط معه او يحتاج الى مركب غير بروتيني لكي يقوم بعملية المساعد وعلى ذلك تقسم الانزيمات من ناحية تركيبها الى :-
- أ- انزيمات يتكون كل منها من نوع من انواع البروتينات فقط ولا يرتبط معها اي جزء غير بروتيني ومن امثلتها انزيمات :  
Lipases , Proteases , Carbohydrases
- ب- انزيمات يتكون كل منها من بروتين ومعه مركب غير بروتيني لابد من وجوده لكي يقوم الانزيم بعمله وهذه المكونات غير البروتينية تسمى العوامل المساعدة **co-factors** وهي:

## • 1- قد تكون مرتبطة مع بروتين الانزيم :-

- ارتباط وثيق وتسمى المجموعة المرتبطة او المقترنة (prothetic group) وهذه تقوم بجميع عملياتها وهي مرتبطة مع نفس بروتين الانزيم بصرف النظر عن الخطوات التي يتم فيها عملها، بحيث اذا فصلت هذه المجموعة يفقد الانزيم حيويته وبالتالي فهي لازمة لعمل الانزيم. وتقوم المرافقات الانزيمية **Co – Factors** في وجود الجزء البروتيني للانزيم بالمساهمة في تفاعلات حيوية مختلفة مثل تنشيط الجزيئات المتفاعلة او بدور المستقبل Acceptor او الناقل Transfer او المعطى Donner لمجموعات الكيميائية من مركب الى مركب اخر.

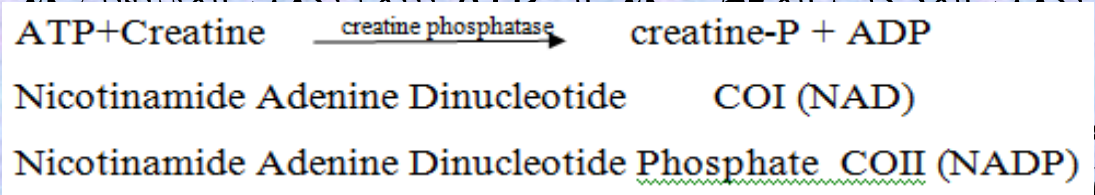
## • 2- او قد تكون غير مرتبطة مع بروتين الانزيم :-

- وتسمى **Co-Enzyme** وهذا النوع من المعاونات يمكنه ان يعمل مع انزيمات مختلفة البروتين، فقد يقوم بجزء من الفعل مع بروتين احد الانزيمات ثم يتم عمله مع بروتين انزيم وادخالها في مركب ثان عن طريق نفس المعاون الانزيمي ولكن في وجود بروتين آخر. والبروتين المكون لكل انزيم له تركيب دقيق خاص ويميزه عن غيره من الانزيمات وفي كل مركز نشط active center او اكثر وهو المسئول عن قيام الانزيم بعمله وهو محور بطريقة خاصة ليلائم substrate معين. ولأهمية الـ CO-Enzymes سنتناولها بشئ من الايضاح المبسط.





ادينوزين ثلاثي الفوسفات (Adenosine Tri Phosphate (ATP) - ويوجد في انسجة العضلات ويعمل Co-Enzyme في التفاعلات التي تتم بواسطة انزيمات التحلل الفوسفوري phosphorylation enzyme ويعمل كمعطي donor لمجموعة الفوسفات في تفاعلات كثيرة ومن امثلة ذلك انه يوجد في انسجة العضلات مركب الكرياتين وتحت ظروف معينة تنتقل مجموعة الفوسفات من ATP الى الكرياتين او العكس حيث يكون المركب المعطى هو ATP بينما يكون المستقبل هو الكرياتين او العكس.

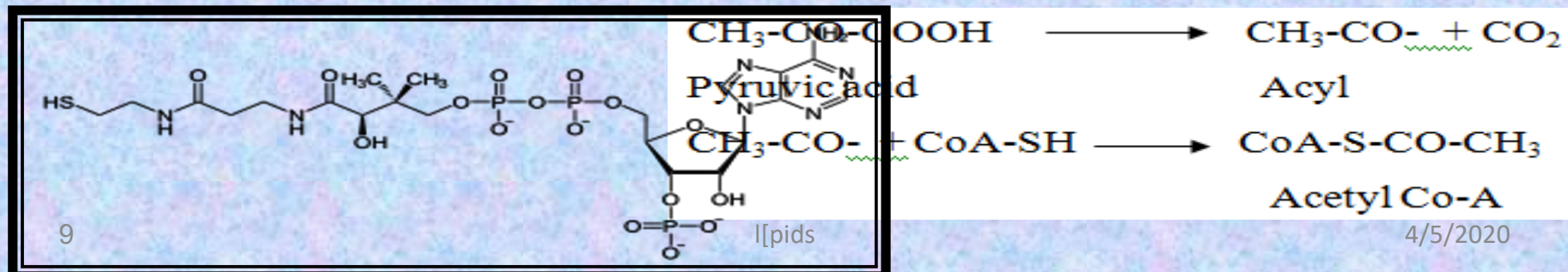


القيام بعملياته

ويصحب انتقال الحيوية المخ

وكلاهما يعمل معاون انزيمي Co-Enzyme في تفاعلات الاكسدة والاختزال الحيوية خاصة الـ dehydrogenase حيث تعمل كمستقبل Acceptor لذرة ايدروجين.

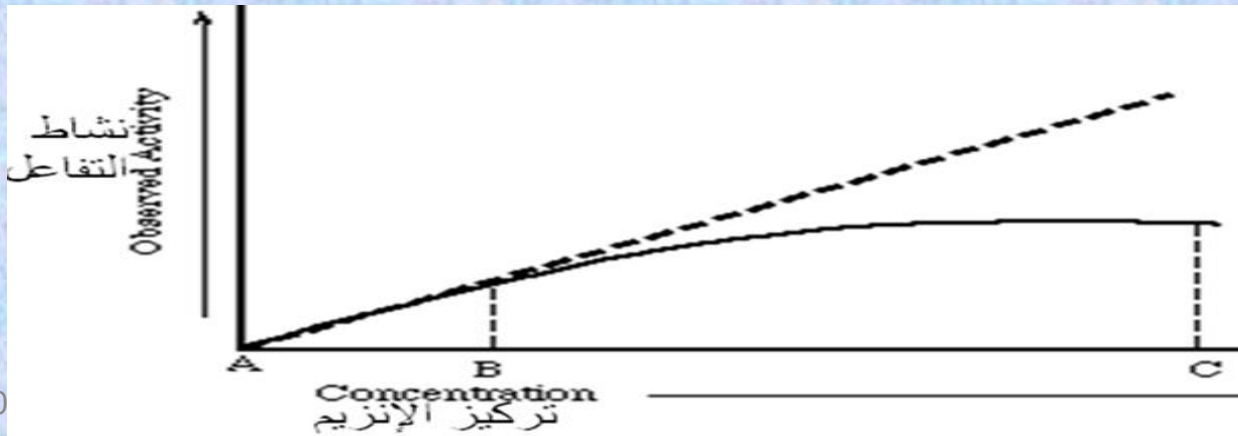
2- معاون انزيم (أ) Co - Enzyme A : يتكون من نيوكليوتيد ادينوزين احادي الفوسفات AMP مرتبط معه حمض بانتوثينيك Pantothenic acid كما يرتبط معه وحدة مركابتوايثانول امين يقوم كمعاون انزيمي للإنزيمات الخاصة بنقل مجموعة خلات من مركب ونقلها لمركب آخر حيث يقوم Co-A باستقبال مجموعة خلات acetyl group من المركبات ونقلها الى مركب ثاني او ربطها مع بعضها في التخليق الحيوى للسلاسل الكربونية للمركبات العضوية.



# العوامل التي تؤثر على التفاعلات الانزيمية

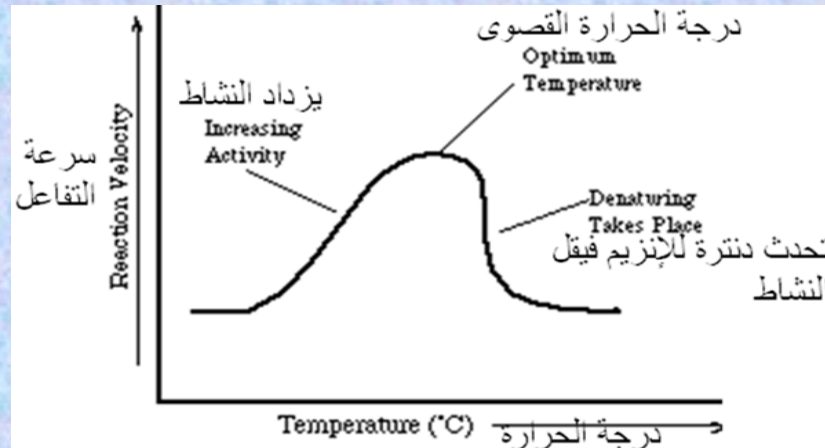
## kinetic of enzymes

من اهم العوامل التي تؤثر على التفاعلات الانزيمية هي الحرارة والاس الايدروجيني (pH) وتركيز كل من substrate والانزيم بالاضافة الى وجود مواد معينة تثبط من سرعة هذه التفاعلات ويطلق عليها المثبطات inhibitors ومواد اخرى تثيرها عكس تاثير المواد السابقة ويطلق عليها المنشطات activators.



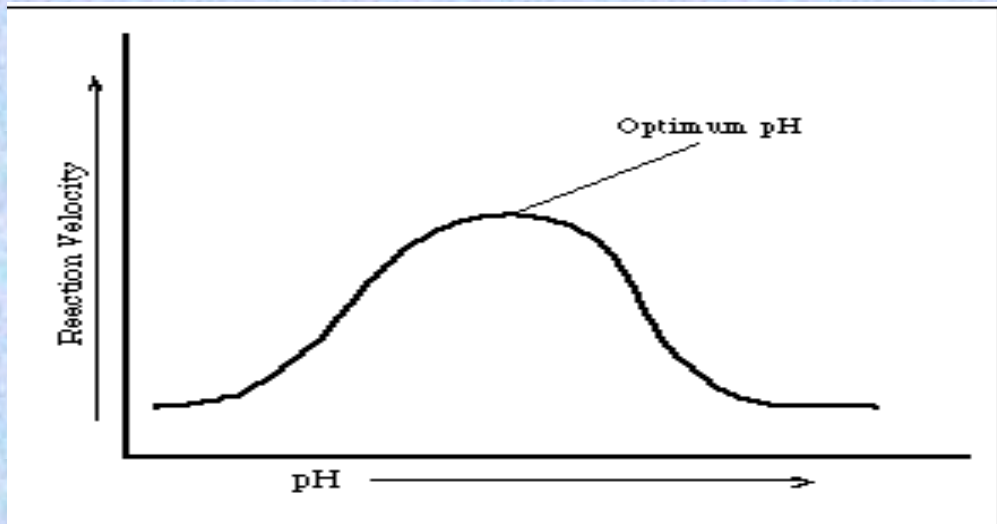
# 1- الحرارة Temperature

- تسلك الانزيمات او التفاعلات الانزيمية الى حد ما مسلك التفاعلات الكيميائية من حيث تاتها بالحرارة فتزيد الحرارة من سرعة التفاعل الى حد معين ثم بعد ذلك تصبح عديمة المفعول وغير نشطة تماما بل يمكن ان تقتل بالحرارة وذلك يرجع الى حدوث تغير في جزيء البروتين المكون للانزيم (عملية الدنترة denaturation).
- عموما تقع الدرجة المثلى optimum temperature لمعظم الانزيمات ما بين 27 - 40<sup>0</sup> م بينما الدرجة التي تؤدي الى توقف عمل الانزيم Thermal inactivation of enzymes تقع بين 70 - 80<sup>0</sup> م.
- والانزيمات عادة تبقى نشيطة اذا خزنت على درجة حرارة منخفضة في الثلاجات او في صورة متجمدة وبعضها امكن الاحتفاظ بحيويتها لمدة طويلة جدا اذا حفظت جافة في درجات حرارة منخفضة.



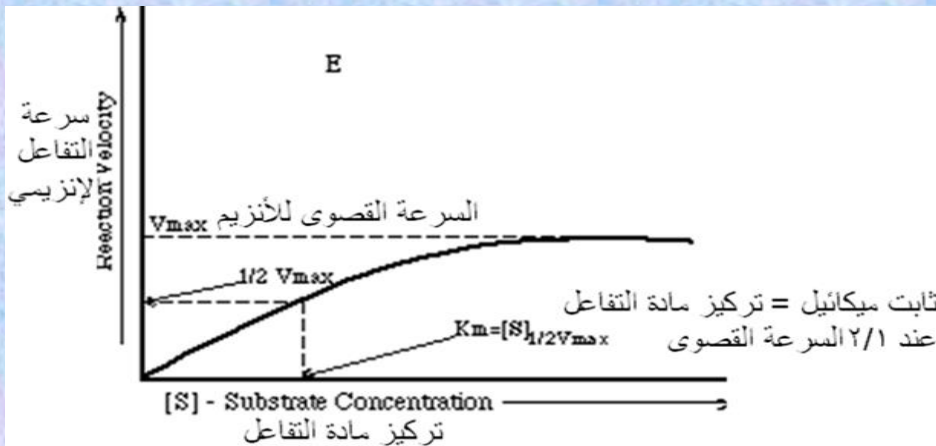
## 2- تأثير الاس الايدروجيني Effect of pH

- تكون حيوية اي انزيم وسرعتة انشط مايمكن عند اس ايدروجيني أمثل optimum pH. وتغير الـ pH في اتجاه الحموضة او القلوية عن الدرجة المثلى في كلا الجانبين يجعل البروتين الموجود في الانزيم يحدث له تجلط coagulation. او تغير في طبيعته الداخلية Denaturation ويصبح عديم الذوبان ولايمكن رجوعه ثانية الى حالته الاصلية. اما في الدرجة المثلى فيبقى الانزيم في حالته الطبيعية وبروتينه يكون في حالة ذوبان وبالتالي يحتفظ بحيويته لمدة طويلة.



# 3- تأثير تركيز الـ Substrate

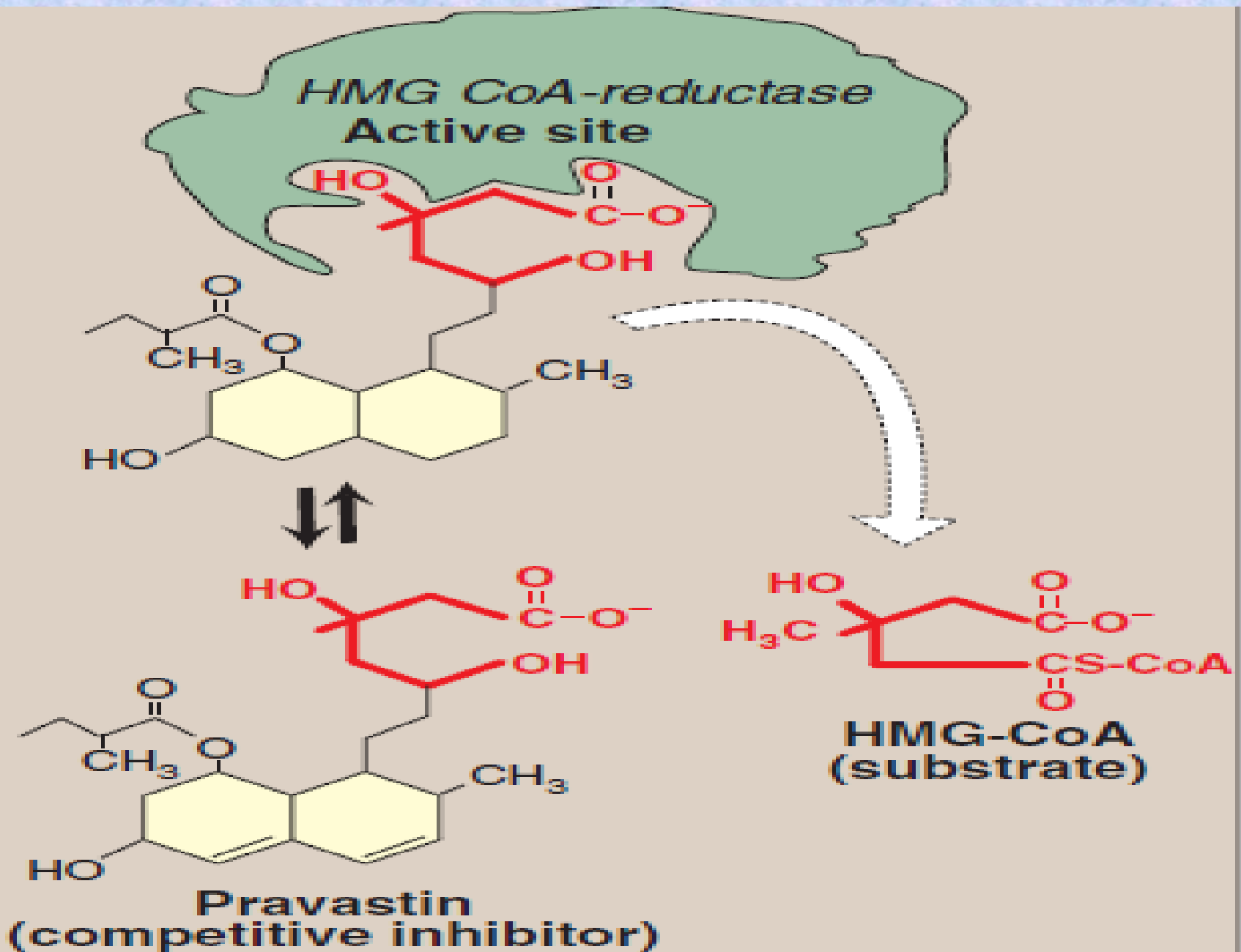
- تتأثر حيوية أي انزيم بتركيز المادة الداخلة في التفاعل substrate فتزداد سرعة التفاعل الانزيمي كلما زادت كمية الـ substrate حتى تقف عند حد معين لاتزيد فيه سرعة التفاعل مهما زادت كمية الـ substrate المضافة. وهذا راجع الى ما سبق ان اوضحناه في طبيعة الانزيمات حول اتحاد الانزيم مع الـ substrate وتكوين مركب وقتي. اذا كانت كمية الـ substrate صغيرة يمكن للانزيم ان يتحد معها كلها ويتكون المركب الجديد الوقتي وهكذا مع استمرار اضافة كميات اخرى من الـ substrate حتى تصل الى الدرجة التي فيها لو اضعفنا كميات من الـ substrate الجديدة فانها لاتجد جزء من مسطح الانزيم ترتبط به لانه اصبح مملوء تماما بالـ substrate المضافة اولا وبالتالي لا يكون هناك اي تأثير للمواد المضافة اخيرا من الـ substrate على سرعة التفاعل



## 4- تأثير المثبطات Inhibitors

- عرفت كثير من الصفات الطبيعية للإنزيمات بواسطة دراسة المواد التي لها تأثير المثبطات على الإنزيم نفسه. فنجد كثير من الإنزيمات يقف نشاطها تماما بواسطة نواتج التفاعل التي تنتجها وبعضها بواسطة بعض المركبات التي تتشابه في تركيبها الكيماوي للمواد التي تتفاعل معها وبعضها يفقد نشاطه اذا فصلت مجموعة فعالة في الإنزيم نفسه. عموما ، يوجد نوعان اساسيان من المثبطات هما :-

- **أ- المثبطات المنافسة Competitive inhibitors:** لهذا النوع من المثبطات تأثير عكسي أي يمكن ان يزول بزوال المثبط. تقوم المواد المثبطة في هذا النوع بدور المنافسة بينها وبين الـ substrate على الاتحاد بسطح الانزيم. ومن امثلة هذا النوع انزيم Succinic acid dehydrogenase الذي يقوم باختزال حمض السكسينيك الى حمض الفيوماريك. ويقف عمل هذا الانزيم باضافة حمض المالونيك الذي يعمل كمثبط منافس Competitive inhibitors لأن تركيبه الكيماوى يشابه تركيب حمض السكسينيك لأن كل منهما حمض ثنائي الكربوكسيل.
- ونجد ان حمض المالونيك يمكن ان يتحد مع الانزيم مثل حمض السكسينيك. ولكن الفرق بينهما في ان المركب المكون من حمض السكسينيك والانزيم يمكنه ان يتحلل ويعطى نواتج التفاعل بينما في حالة المركب من حمض المالونيك والانزيم يبقى كما هو ولا يتحلل وبذلك يصبح الانزيم موجود على حالة مرتبطة غير فعالة وبذلك تقف عملية تحويل حمض السكسينيك الى الفيوماريك. وعموما ، من المعروف ان الانزيم يتحد مع Substrate في موقع معين على سطح الانزيم. فاذا كانت هذه المواقع الخاصة غير حرة لإتحادها مع مركب آخر فان المادة نفسها لا يمكن ان تتحد مع اي موقع آخر على الانزيم، و يقف التفاعل نتيجة لذلك.





## • ب- المثبطات غير المنافسة Non-competitive

inhibitors:- تأثير المثبطات الغير منافسة يكون عن طريق

فصل او ترسيب المجموعة الفعالة الخاصة بالانزيم مثل ما يحدث عند ترسيب مجموعة النحاس الموجودة في انزيم

Ascorbic acid oxidase عن طريق اضافة سيانيد البوتاسيوم

وبالتالى يفقد الانزيم حيويته وهناك امثلة اخرى لهذا النوع من

المثبطات مثل انزيم الارجنيز Arginase الذى يقف نشاطه

باضافة الحمض الامينى Lysine. وبصفة عامة، المثبطات غير

المنافسة يكون تركيبها الكيميائي مختلف عن المادة المتفاعلة

وهناك نوع جديد من المثبطات يطلق عليه uncompetitive

inhibitors وفى هذا النوع يتحد المثبط مع المركب المتكون

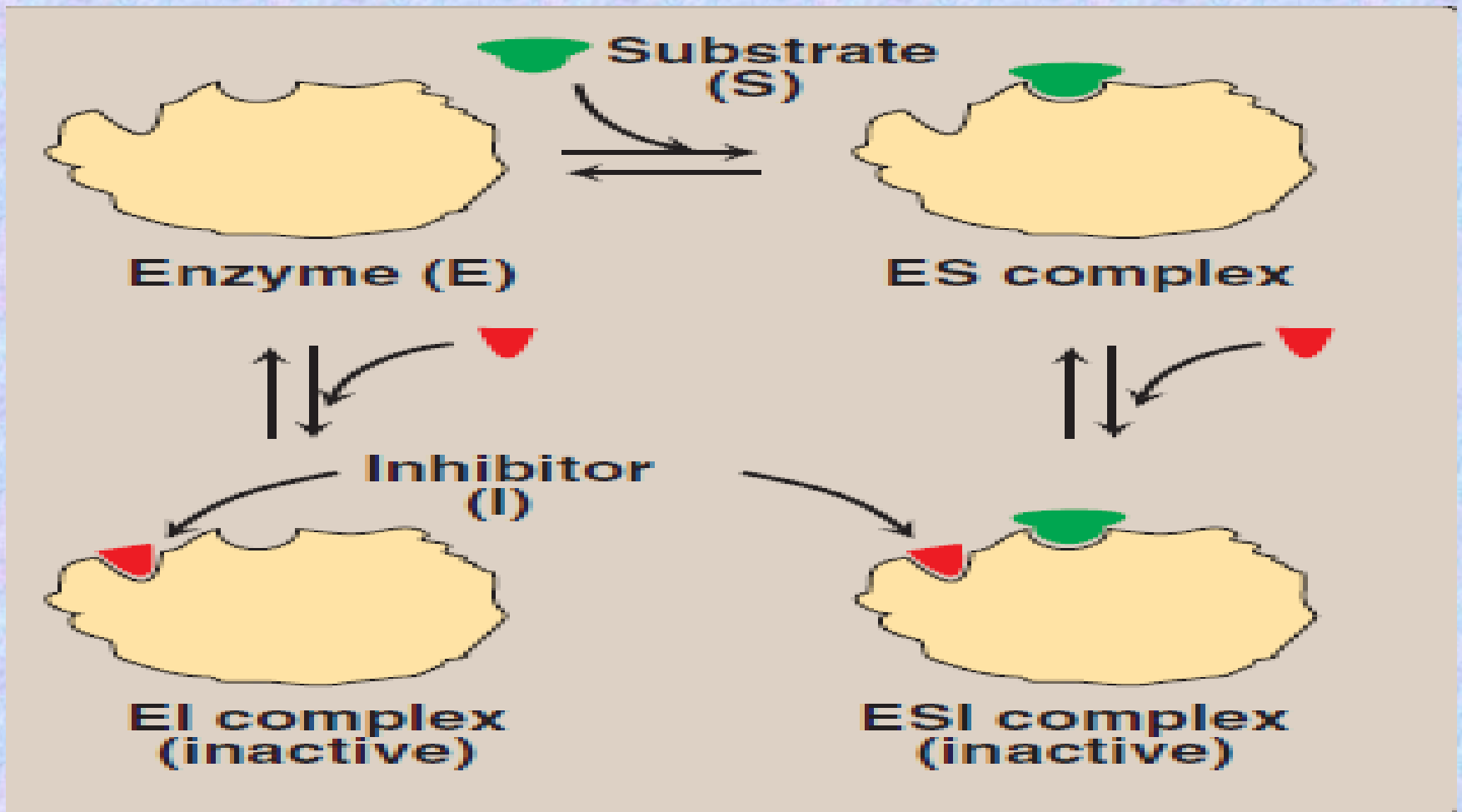
من الانزيم وال Subtarte وليس مع Substrate فقط. فنجد

ان بعد حدوث الاتحاد بين الانزيم والمادة المتفاعلة Substrate

وتكوين المركب الجديد منها يتحد بهذا المركب المتكون الـ

uncompetitive inhibitor ويمنعه من التحلل الى الانزيم

ونواتج التفاعل.



**Figure 5.15**

A noncompetitive inhibitor binding to both free enzyme and enzyme–substrate (ES) complex.

# تأثير المنشطات Effect of Activators

- بعض المركبات الغير عضوية او بعض الايونات المعينة لها صفة التنشيط للنظام الانزيمى وقد تتضاعف سرعة التفاعل بكثير من الانزيمات الى 100% بوجود هذه المنشطات ومن امثلة ذلك ما يحدث عليه تنشيط انزيم البيتالين الموجود فى اللعاب عن طريق اضافة ايونات الكلوريد وكما يحدث عند زيادة فعالية انزيم الفوسفاتيز عن طريق اضافة الماغنسيوم وكذلك تنشيط فعالية انزيم الارجنيز بواسطة ايونات المنجنيز. وهناك نظريات مختلفة تفسر وتشرح تأثير هذه المنشطات.
- **فالنظرية الاولى** تقول ان المنشط قد يساعد على استحلاب المواد الدهنية وبذلك تزداد مساحة اسطحها الملامسة للانزيم مثل ما يحدث فى حالة منشطات انزيمات الـ **Lypases** حيث يكون الانزيم فى حالة الجانب المائى متصلا عن جانب المادة الزيتية.
- **والنظرية الثانية** تعزى المنشط الى تأثيره على المادة المتاثرة بالانزيم ويجعلها اكثر تفاعلا من الانزيم مثل ما يحدث فى حالة فراش (عتة) الملابس التى تفرز انزيم مع منشطه الطبيعى وهما ما يحدثان تحلل الصوف بالرغم من ان الانزيم بمفرده فى غياب المنشط لا يستطيع ان يحلل الصوف.

- وهناك نظرية ثالثة تفسر تأثير المنشطات على اساس انها تقوم بتثبيت او حماية المجموعة الفعالة من الانزيمات واللازمة لتفاعلها مع ال Substrates مثل ما يحدث في حالة إنزيمات التحلل الفوسفورى Phosphorylation فتحتاج الى ايونات المنجنيز التى يكون لها دور هام فى تهيؤ الطريقة المثلى لإتحاد الانزيم بال Substrate حيث نجد فى هذا ان بروتين الانزيم لا يتحد مع ال Substrate الا فى وجود ايونات المنجنيز الذى يعتبر جزئ فعال فى نشاط تكوين المركب الوقتى بين الانزيم وال-substrate.
- والنظرية الرابعة لتفسير دور المنشطات ترجع دورها الى فعلها الواقى للانزيمات من فعل السموم مثل ما يحدث فى قلبة انزيم اليوربيز من المعادن الثقيلة فى الماء المقطر بفعل وجود - البروتينات والاحماض الامينية والشموع وكبريتيد الايدروجين.
- ويمكن زوال التثبيط بازالة المثبط مثل ما يحدث فى حالة انزيم Cytochrome oxidase الذى يقف نشاطه عن طريق تعرضه لأول اكسيد الكربون ويمكن ارجاع نشاط هذا الانزيم مرة اخرى عن طريق زوال المؤثر اى بتعريض الانزيم المثبت الى الضوء فيتحلل المركب مرة ثانية الى اول اكسيد الكربون + الانزيم.

# Classification of enzymes تقسيم الانزيمات

وعلى العموم تقسم الانزيمات الى الاقسام الرئيسية التالية :-

EC 1. Oxidoreductases

1- انزيمات الاكسدة والاختزال

EC 2.

2- انزيمات الناقله

Transferases

EC 3. Hydrolases

3- انزيمات التحلل المائي

EC 4. Lyases

4- انزيمات محللة

EC 5.

5- انزيمات التشابه

Isomerases

EC 6. Ligases

6- انزيمات التكوين

# The Six Main Classes of Enzyme

EC 1.1.1.1

| Class | Name            | Reaction catalyzed  |
|-------|-----------------|---|
| 1.    | Oxidoreductases | $AH_2 + B = A + BH_2$ or<br>$AH_2 + B^+ = A + BH + H^+$                             |
| 2.    | Transferases    | $AX + B = A + BX$   |
| 3.    | Hydrolases      | $A-B + H_2O = AH + BOH$   |
| 4.    | Lyases          | $A-B + X-Y = A-B$<br>$\quad \quad \quad \begin{matrix}   &   \\ X & Y \end{matrix}$ |
| 5.    | Isomerases      | $A = B$   |
| 6.    | Ligases         | $A + B + NTP = A-B + NDP + P$ or<br>$A + B + NTP = A-B + NMP + PP$                  |

# 1- انزيمات الاكسدة والاختزال (EC1-Oxido-reductases)

نجد في تفاعلات الاكسدة والاختزال حدوث اكسدة لمادة ويحدث في نفس الوقت اختزال للمادة الاخرى. والمادة التي يحدث لها اكسدة يطلق عليها المادة المعطية للأيدروجين Hydrogen donor بينما المادة التي يحدث لها اختزال يطلق عليها المادة المستقبلة للأيدروجين Hydrogen acceptor. والانزيمات التي تساعد على حدوث مثل هذه التفاعلات تسمى انزيمات الاكسدة والاختزال.

- وتنقسم هذه الانزيمات بصفة عامة الى قسمين رئيسيين:-
- اولهما عبارة عن انزيمات Oxidases وتقوم بنقل الايدروجين من المادة المؤكسدة الى الاكسجين مباشرة.
- ثانيهما عبارة عن انزيمات Dehydrogenases وتقوم بنقل الايدروجين من المادة المؤكسدة الى مادة اخرى قابلة للاختزال غير الاكسجين.

# اولا:- انزيمات الاكسدة Oxidases enzymes

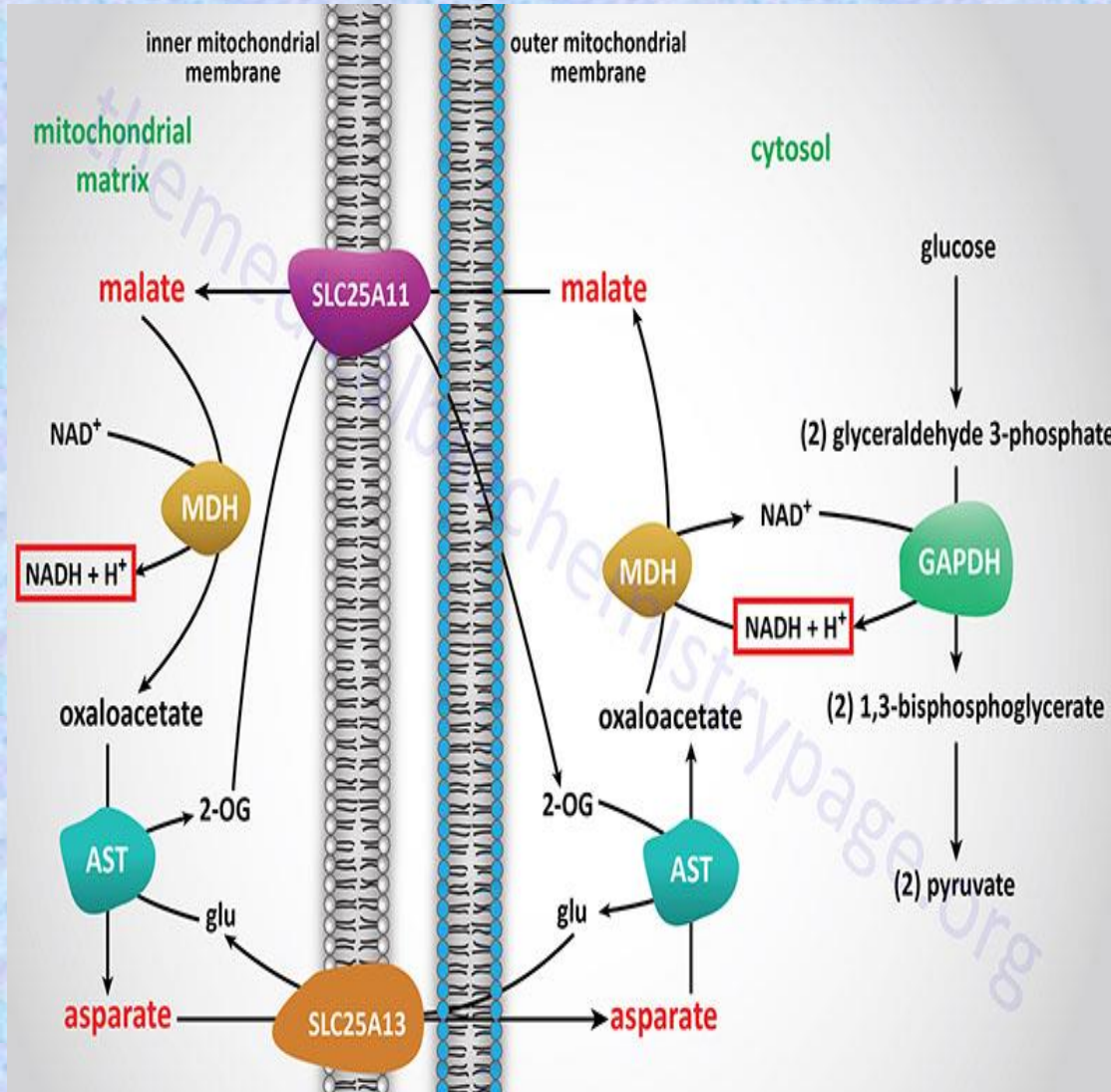
تنقسم بدورها الى قسمين مختلفين

- الاول يساعد على اختزال الاكسجين لتكوين ماء  $H_2O$  ويسمى Aerobic oxidase الثاني يساعد على اختزال الاكسجين لتكوين فوق اكسيد الايدروجين  $H_2O_2$  ويسمى Aerobic dehydrogenase فيمكن فهم ذلك من الرسم التوضيحي التالي :
- أ- انزيمات الـ Aerobic oxidase :-
- تحتوى هذه الانزيمات على مجموعة مكملة Prosthetic Group وهو عبارة عن احد ايونات المعادن كالنحاس او الحديد او الخارصين. من امثلتها انزيم Ascorbic acid oxidase يقوم هذا الانزيم باكسدة حمض الاسكوربيك الى حمض دي هيدرواسكوربيك ويحتوى هذا الانزيم فى تركيبه على النحاس.
- ب- انزيمات الـ Aerobic Dehydrogenase : تحتوى هذه الانزيمات على المعادن السابقة بالاضافة الى المجموعة المكملة مثل Flavin ومن امثلتها انزيم Flavin Adenine Dinucleotide (FAD) حيث يوجد فى الكبد والكلية ويؤثر على المركبات من النوع L ولا يؤثر على المركبات من النوع D. يساعد هذا الانزيم فى عملية اكسدة ونزع مجموعة الامين فى الاحماض الامينية Oxidative Deamination وتحويلها الى احماض كيتونية.
- توجد انزيمات اخرى تابعة لهذه المجموعة ما يسمى بانزيم Scheardinger فى اللبن حيث يساعد على اكسدة الالدهيدات الى احماض.



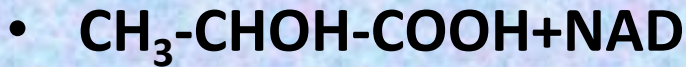
# ثانياً: انزيمات الاختزال Dehydrogenases

تقوم انزيمات هذه المجموعة لنقل الايدروجين من المادة المؤكسدة الى المادة المختزلة غير الاكسجين. اما ان تكون هذه المادة عادة احد المعاونات الانزيمية Co-enzymes او مادة اخرى تاخذ الايدروجين من الانزيم وتمنحه بدورها الى السيتوكروم الذي ينقله بالتالي الى الاكسجين ويتكون في النهاية الماء كما هو موضح في الشكل التالي :



• أ- انزيمات الديهيدروجينيز تحتاج الى معاون انزيمي:-

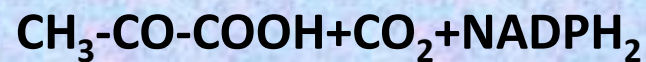
هذه الانزيمات ذات تخصص شديد تجاه المعاون الانزيمي الذي يستقبل الايدروجين فمنها ما يعطي الايدروجين للمعاون الانزيمي I {Co-} enzyme I (NAD ومنها ما يعطي الايدروجين للمعاون الانزيمي II {Co-enzyme II (NADP)}. ومن الانزيمات التي تحتاج الى المعاون NAD في تفاعلاتها باستقبال الايدروجين أنزيم الـ Lactic acid dehydrogenase ويوجد في الانسجة الحيوانية ويقوم بتحويل حمض اللاكتيك الى حمض البيروفيك.



• **Lactic acid**

**Pyruvic acid**

ومن الانزيمات التي تحتاج الى المعاون NADP في تفاعلاتها انزيم maleic acid dehydrogenase الذي يساعد على اكسدة ونزع  $\text{CO}_2$  من حمض المالك و يتكون حمض البيروفيك.

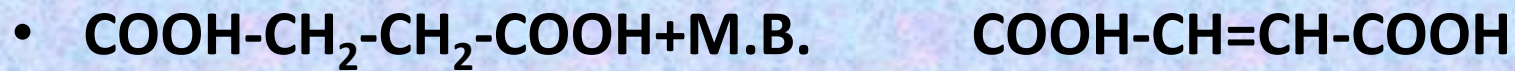


• **Maleic acid**

**Pyruvic acid**

• ب- انزيمات الـ Dehydrogenase لاتحتاج الى معاون انزيمي:

من امثلة هذه الانزيمات انزيم الـ Succinic acid dehydrogenase الذي يساعد على اكسدة حمض السكسينيك الى حمض فيوماريك بالاستعانة بازرق المثلين M.B كمستقبل للأيدروجين وهذا الانزيم شديد التخصص ويحتوى على فلافين ادنين داى نيكليونييد (FAD) مع الحديد ولذلك يطلق عليه الاسم .Metaloflavoprtien



كما ان نشاط هذا الإنزيم يعتمد على وجود مجموعة التثبيط يكون من النوع non-competitive مثل فعل الـ Iodoacetate.

## 2- الانزيمات الناقلة (EC 2-Transferase)

- تقوم بنقل مجاميع كيميائية معينة، فالانزيمات التي تقوم بنقل مجموعة الامين تسمى Transaminases والانزيمات التي تقوم بنقل مجموعة الفوسفات تسمى Transphosphatases وهكذا.....
- ومن امثلة الانزيمات الناقلة لمجموعة الامين التي تقوم بنقلها الى حامض كيتوني ويتكون نتيجة لذلك حامض اميني جديد ، مثل انزيم GPT الذي يقوم بنقل مجموعة امين من الحمض الاميني الجلوتاميك الى الحمض الكيتوني البيروفيك ليتكون الحمض الاميني الجديد ألانين.
- ومن امثلة الانزيمات الناقلة لمجموعه الفوسفات انزيم الـ Phosphoglucomutase وانزيم الـ Phosphoglucokinase
- $\text{glucose} - 6 - \text{phosphate} \xrightarrow{\text{phosphoglucmutase}} \text{glucose-1-phosphate}$
- $\text{glucose} \xrightarrow{\text{phosphoglucokinase}} \text{glucose} - 6 - \text{phosphate}$
- والانزيمات الناقلة لمجاميع الفوسفات هامة جدا من الناحية الحيوية حيث انها تقوم بنقل مجاميع الفوسفات من مركبات الطاقة مثل الـ ATP الى مركبات اخرى مثل الكرياتين عن طريق انزيم Lohman (انزيم Creatine phosphatase ) ويصحب انتقال مجاميع الفوسفات كمية كبيرة من الطاقة يستعملها الجسم فى القيام بعملياته الحيوية المختلفة.
- $\text{ATP} + \text{Creatine} \xrightarrow{\text{phosphatase}} \text{Energy} + \text{ATP} + \text{Creatin-phosphate}$

# 3- انزيمات التحلل المائي EC3-Hydrolase

ويقع تحتها:-

- **أ- انزيمات التحليل المائي للكربوهيدرات Carbohydrases**
- وينقسم هذا النوع الى قسمين :
- **-القسم الاول:** يقوم بتحليل السكريات العديدة وتسمى الانزيمات Polysaccharases ومن امثلتها انزيم الاميليز Polysaccharases Amylases.
- وهى نوعين:- الالفا اميليز  $\alpha$ -amylase (Endo-amylases)
- والبيتا اميليز  $\beta$ - amylase (Exo- amylase)
- ومن الانزيمات التى تحلل السكريات العديدة ايضا انزيم السليوليز Celulase ويقوم بتحليل مادة السليولوز الى سكر جلوكوز.
- **-القسم الثانى:** يعمل على تحليل الجليكوسيدات Glycosides وتسمى انزيمات الـ Glycosidases ويوجد منها انواع الالفا والبيتا جليكوسيديز ومنها انزيم السكراريز Saccharase ويسمى ايضا invertase وهو الذي يقوم بتحليل السكروز الى الجلوكوز والفركتوز الذي يطلق عليه في هذه الحالة اسم السكر المحول invert sugar.

## ب- انزيمات التحلل المائي للبروتينات Proteases

وتقوم هذه الانزيمات بتحليل الروابط الببتيدية الموجودة في جزئ البروتين وعلى ذلك يطلق عليها ايضا الاسم (C-N hydrolases). ويقع تحت هذا النوع من الانزيمات قسمان هما :

**القسم الاول:-** ويشمل الانزيمات التي تحلل البروتين وتحويلها الى ببتيدات ويطلق عليها انزيمات الهضم Protases ويقع تحتها انزيمات كثيرة اهمها:- الببسين Pepsin – الكيموتريبسين Chemotrypsin – التريبسين Trypsin وهي انزيمات داخلية Endopeptidases وكلها تؤثر على الرابطة الببتيدية

نجد ان انزيمي الببسين والكيموتريبسين يتشابهان في ان كل منهما يؤثر على رابطة ببتيدية يشترك فيها حمض اميني فينولي phenolic amino acid (يحتوي على مجموعة فينيل)

{ والفارق بينهما هو ان انزيم الكيموتريبسين يعمل على الطرف الكربوكسيلي للحمض الاميني الفينولي المشترك في تكوين الرابطة الببتيدية، بينما انزيم الببسين يعمل على الطرف الاميني للحمض الاميني الفينولي المشترك في تكوين الرابطة الببتيدية. انزيم التريبسين يعمل على الرابطة الببتيدية التي يشترك في تكوينها مجموعة كربوكسيل حمض اميني قاعدي بحيث تكون احدى مجموعتيه القاعدية حرة غير مرتبطة free amino terminal end. وهناك انزيمات اخرى محللة للبروتينات تتبع المجموعة الـ Endopeptidases وتفرز داخل الخلايا الحية مثل Cathepsin و البابين Papin.

**القسم الثاني:-** يشمل الانزيمات الخارجية Exopeptidases انزيمات تعمل على تحليل البروتينات peptidases تكمل عمل انزيمات endopeptidases وتؤثر على الببتيدات المختلفة. يشمل هذا القسم انزيمات carboxypeptidases والـ Aminopeptidases والـ Dipeptidases وكما في الرسم السابق نجد ان انزيمات الـ Carboxypeptidases تعمل على الروابط الببتيدية الطرفية الموجودة في طرف الجزء القريب من مجموعة الكربوكسيل الطرفية Terminal Carboxyl group. (انزيمات) الـ Carboxypeptidases او الموجودة في طرف الجزء القريب من مجموعة الامين ويكون الناتج احماض امينية.

## ج - انزيمات التحلل المائي للدهون Esterases:

ويقع تحت هذا النوع قسمين ايضا من الانزيمات هما :-

**-القسم الاول:** ويقع تحته الانزيمات التي تقوم بالتحليل المائي لاسترات الاحماض الدهنية

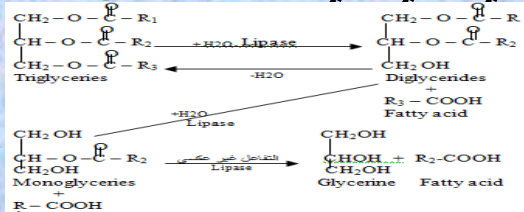
مثل انزيمات الـ Lipases والـ Licithinases. وانزيمات الـ lipases منتشرة في

افرازات الامعاء والبنكرياس في الحيوانات وكذلك في بذور بعض النباتات وفي بعض

الاحيان في الامعاء الدقيقة. وتقوم انزيمات الـ Lipases بالتحليل المائي للروابط

الاستيرية في الدهون وينتج في النهاية الجلسرين والاحماض الدهنية حيث يحدث التفاعل

على مراحل كالآتي :-

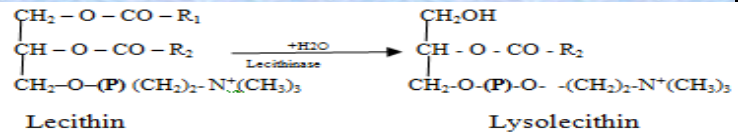


توجد انزيمات Licithinases في سم الثعبان التي ما ان تصل الى الدم تقوم بتحليل

رابطة استر واحدة في مركب Licithin وبالتالي ينفصل حمض عضوى واحد على

حالة منفردة وتسمى المركبات المتبقية LysoLicithins والتي لها القدرة على تحلل كرات

الدم الحمراء Hemolysis وبالتالي يحدث الموت.



ومن الانزيمات التي تحلل الاسترات ايضا انزيم الكولين استريز Choline esterase

ويوجد في الانسجة الحيوانية ويعمل على تحليل مركب الاسيتيل كولين. وتكون النتيجة

انفراد حمض الخليك والكولين. كذلك يوجد انزيم Cholesterol esterase الذى يقوم

بتحليل رابطة الاستر بين الكوليسترول ( على ذرة الكربون رقم 3 ) والحامض الدهنى.

- **القسم الثاني:** يقع تحت هذا القسم انزيمات تحلل الرابطة الاستر فوسفاتية مائيا في الفوسفاتيديات Phosphatide المحتوية على رابطين استر يشترك فيها حمض الفوسفوريك. تشمل هذه المجموعة انزيمات Phosphodiesterases مثل ما يحدث في التحليل المائي لليسيتين.
- اما انزيمات Phosphomonoesterases فتقوم بتحليل رابطة استر عادية بين الجلوسرين وحمض الفوسفوريك وقد يطلق على هذه المجموعة انزيمات الفوسفاتيز Phosphatases.
- وهذه المجموعة من الانزيمات لها اهمية حيوية كبيرة نظرا للدور الهام التي تقوم به داخل الجسم حيث يتحد حمض الفوسفوريك المنفرد مع مركبات الطاقة ويتكون مركبات اكثر غنى في الطاقة الحيوية في صورة روابط استر فوسفات غنية بالطاقة ( $\sim P$ ) يستعملها الكائن الحي في عملياته الحيوية.

- $ADP + H_3PO_4$  ATP
- Adenosine-(P)-(P) +  $H_3PO_4$  Adenosine-(P)-(P)-(P)
- Adenosine Diphosphate Adenosine Triphosphate



## EC 4. Lyases

- EC 4. Lyases – catalyze non-hydrolytic (covered in EC 3) removal of functional groups from substrates, often creating a double bond in the product; *or the reverse reaction, ie, addition of function groups across a double bond.*
- $A-B \rightarrow A=B + X-Y$
- $X Y$
- *Includes decarboxylases and aldolases in the removal direction, and synthases in the addition direction.*

- **-انزيمات تضاف او تنزع مجموعة ( جزئ ماء Adding enzymes (Removing of:** ومنها الانزيمات Aconitase ويدخل في عمليات الاكسدة في الكربوهيدرات وانزيم Enolase ويحول المركب حمض جليسرليك 2- فوسفات الى حمض البيروفيك. وهذا التفاعل هام بالنسبة لعمليات التمثيل الغذائي، وهذا الانزيم يحتاج الى منجنيز لتنشيطه.
- ويقع تحت هذه المجموعة ايضا انزيمات ال- Glyoxalase , Fumarase وغيرها.
- **-انزيمات تضيف او تنزع مجموعة الكربوكسيل Adding Enzyme COOH (removing):** تساعد هذه الانزيمات على عملية تثبيت مجموعة COO في عملية البناء الضوئي 0 ويطلق على هذه الانزيمات اسم Carboxylase. وتحتاج الى معاون انزيمي Co- Carboxylase حيث انه قرين لانزيم احد فيتامينات B.
- ومن هذه الانزيمات: Malic decarboxylase, Oxaloacetic decarboxylase, Oxaloasuccinic decarboxylase.
- **-انزيمات تضيف او تنزع مجموعة الامونيا NH<sub>3</sub> Enzyme adding (removing):** وتشمل انزيم الاسبارتيز Aspartase. يساعد هذا الانزيم على عملية اضافة او نزع مجموعة الامونيا (كما يحدث في عملية التمثيل الغذائي والتخليق الحيوي للحمض الامينية.
- يقوم هذا الانزيم باضافة مجموعة امونيا الى حمض الاسبارتيك فيتكون الاسبارجين (مخزن البروتين) كما هو موضح في المعادلة السابقة.
- **-انزيم الالدوليز Aldolase:** احد انزيمات الاضافة وله دور هام في عمليات التمثيل الغذائي للكربوهيدرات فيقوم بتحويل المركب fructofuranose-1.6-diphosphate الى المركبين glyceraldehyde phosphate و dihydroxy acetone phosphate.

- **EC 5. Isomerases**
- **EC 5. Isomerases – catalyzes isomerization reactions, including racemizations and cis-tran isomerizations.**

- **EC 6. Ligases**
- **EC 6. Ligases -- catalyzes the synthesis of various (mostly C-X) bonds, coupled with the breakdown of energy-containing substrates, *usually ATP***

تقوم بنقل مجاميع كيميائية معينة، فالانزيمات التي تقوم بنقل مجموعة الامين تسمى Transaminases والانزيمات التي تقوم بنقل مجموعة الفوسفات تسمى Transphosphatases وهكذا.....

- ومن امثلة الانزيمات الناقلة لمجموعة الامين التي تقوم بنقلها الى حامض كيتوني ويتكون نتيجة لذلك حامض اميني جديد ، مثل انزيم Glutamic transaminase الذي يقوم بنقل مجموعة امين من الحمض الاميني الجلوتاميك الى الحمض الكيتوني البيروفيك ليتكون الحمض الاميني الجديد ألانين.

- ومن امثلة الانزيمات الناقلة لمجموعه الفوسفات انزيم الـ

Phosphoglucomutase وانزيم الـ Phosphoglucokinase

- $\text{glucose} - 6 - \text{phosphate} \xrightarrow{\text{phosphoglucomutase}} \text{glucose-1-phosphate}$

- $\text{glucose} \xrightarrow{\text{phosphoglucokinase}} \text{glucose} - 6 - \text{phosphate}$

- والانزيمات الناقلة لمجاميع الفوسفات هامة جدا من الناحية الحيوية حيث انها تقوم بنقل مجاميع الفوسفات من مركبات الطاقة مثل الـ ATP الى مركبات اخرى مثل

الكرياتين عن طريق انزيم Lohman (انزيم Creatine phosphatase )  
ويصحب انتقال مجاميع الفوسفات كمية كبيرة من الطاقة يستعملها الجسم في القيام بعملياته الحيوية المختلفة.

- $\text{ATP} + \text{Creatine} \xrightarrow{\text{phosphatase}} \text{Energy} + \text{ATP} + \text{Creatin-phosphate}$

- phosphatase