# الفصل السابع

# الإنزيمات

# *Enzymes*

obeikan.com

obeikan.com

**مقدمة :**

إن من أهم مظاهر الحياة فى النبات بناء مركبات معقدة من مواد بسيطة أوالعكس أى تفتيت المركبات المعقدة الى مواد أبسط منها ومن المعروف أن الخلايا التى تحوى البلاستيدات الخضراء تنفرد بتكوين المواد الكربوايدراتية من مواد بسيطة بينما يبدوا أن كل خلية نباتية لها القدرة على تكوين مواد عضوية معقدة من آخرى أقل تركيباً وعلية فكل خلية اذن مركزا لعدد كبير من التفاعلات الكيميائية يتحكم فى سرعتها واتجاهها وتنظيمها جهاز خاص يؤدى التفاعلات طبقا لبرنامج معين يعرف الانزيم بانه عامل مساعد عضوى حيوي ذو وزن جزئيئ كبير شديد الحساسية لدرجات الحرارة المرتفعة ويختص كل انزيم بتنشيط تفاعل او اكثر دون ان يتاثر بذلك التفاعل.

**الصفات الطبيعية للانزيمات :**

لقد أظهرت الدراسات الاولى للأنزيمات أنها تشترك مع البروتينات فى كثير من الخواص وقد فشل الباحثون الأوائل فى عزل الإنزيمات حتى أمكن من عزل إنزيم اليوربيز على شكل بللورات نقية وأثبت أنها عبارة عن بروتين ومنذ ذلك الحين أمكن عزل عدد من الإنزيمات من النباتات وقد أثبت دراستها أنها بروتينات بالرغم من أن كثيراً منها يحتوى على مجموعات غير بروتينية مرتبطة بجزئيات البروتين .

وبروتينات الإنزيمات ذات وزن جزئيى كبير فإنزيم البيرواكسيديز الذى يعتبر من أصغر الإنزيمات وزنه الجزئيى حوالى ٤٠٠٠٠ بينما إنزيم الكاتاليز وزنه الجزيئي يبلغ ٢٤٨٠٠٠ وإنزيم اليوربيز وزنه الجزيئي ٤٨٣٠٠٠٠ . تشترك الإنزيمات البروتينات الأخرى فى تأثرها بالحرارة المرتفعة فإذا ما ارتفعت درجة الحرارة للغليان ولو لفترة وجيزة تخثر البروتين ورسب وبذلك يفقد الإنزيم نشاطه . وهناك مواد تؤثر ايضا فى البروتينات والإنزيمات تأثيرا مشابها لتأثير الحرارة المرتفعة ومن هذه المواد أيونات المعادن مثل الرصاص والزئبق والفضة وكذلك الأحماض والقواعد والأشعة فوق البنفسجية.

تتميز البروتينات وهى المادة الأساسية فى تكوين الإنزيمات بانها ذات طبيعة مزدوجة أى أنها تتأين إما كحامض أو كقلوى ويتوقف ذلك على درجة تركيز أيون الإيدروجين فى الوسط الخارجى ، وعند درجة تركيز خاصة لأيون الإيدروجين يحتوى جزئ البروتين على عدد متساوى من كل من الشقين الحامضى والقلوى ، ولذلك يكون الأيون متعادلا من حيث الشحنات الكهربائية ، وتعرف هذه الدرجة بنقطة التعادل وهى نقطة مميزة لكل نوع من أنواع البروتينات ، ترجع أهمية تلك الظاهرة بالنسبة للأنزيمات إلى أن حيوية كل إنزيم تتوقف على طبيعة تأين جزئ البروتين المكون له ، وبعبارة أخرى تتوقف حيوية الإنزيم على درجة تركيز أيون الإيدروجين فى وسط التفاعل ولذلك فقد وجد لكل إنزيم درجة مثلى لأيون الإيدروجين pH يبلغ تأثيره عندها حده الاقصى.

**التركيب الكيميائى للإنزيمات :**

إن التقدم فى دراسة خواص الإنزيمات قد مكن الباحثين من تقسيم الإنزيمات من حيث تكوينها ، إلى القسمين الآتين :

١- الإنزيمات التى تتكون من البروتينات البسيطة : وتشمل عدد من الإنزيمات المحللة مثل إنزيم اليورييز وإنزيم الأميليز وهذه الإنزيمات تتكون كليا من أحماض أمينية .

٢- الإنزيمات التى تتكون من شقين: أحدهما بروتينى والآخر غير بروتينى يتكون من ذرة معدنية أو جزئ عضوى ، ويعرف هذا الشق باسم المجموعة الغير بروتينية . ولاشك أن المجموعات الغير بروتينة هى جزء من المركز الفعال لجزئ الإنزيم . وقد دلت الابحاث على أنه يمكن فصل المجموعة الغير بيروتينية عن الشق البروتينى فى بعض الإنزيمات فى حين لا يمكن حدوث ذلك فى البعض الآخر نظرالأرتباط الشقين .

من الملاحظ أن عزل إنزيم ما ، بإستعمال طريقة الفصل الغشائى للذائبات ، غالبا ما يؤدى إلى تغير حدث فى طبيعة الإنزيم ، ولكن يرجع إلى إزالة بعض المواد

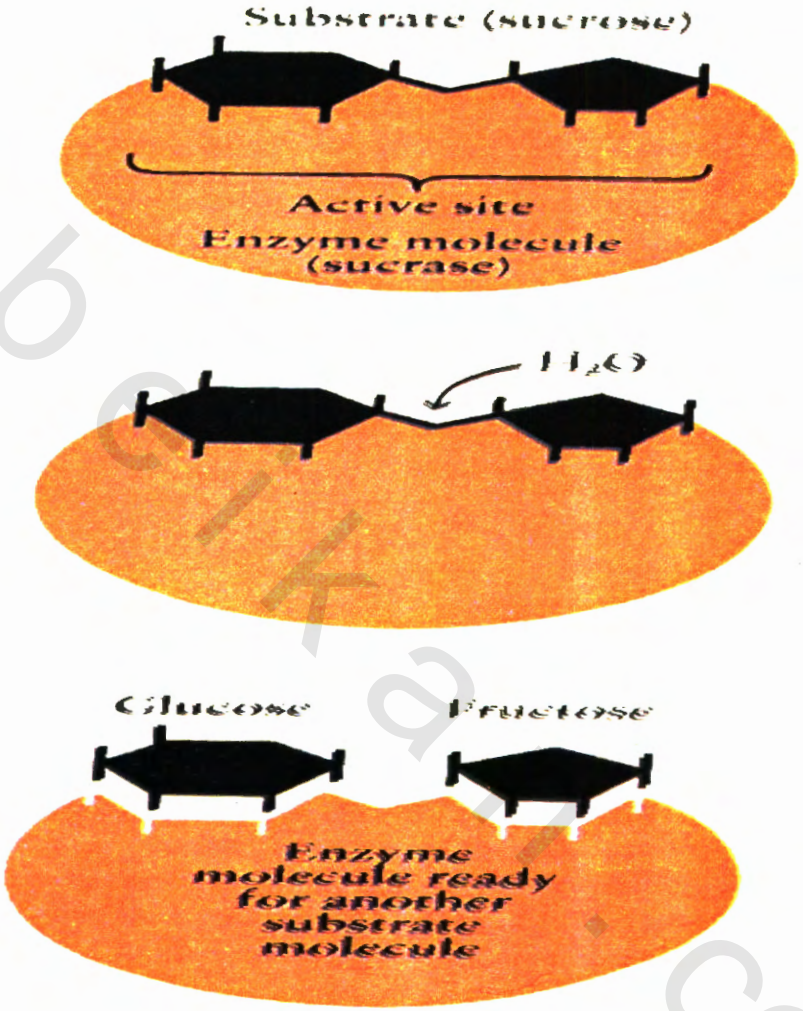
النابلة للفصل الغشائى والتى تعرف فى هذه الحالة باسم قرين الإنزيم او المرافق الانزيمى Co-enzyme وكذلك العامل المعاون Co-factor وهذه المواد لازمة لنشاط الانزيم ويسمى الشق البروتينى بأصل الإنزيم أى ان الإنزيم فى هذه الحالة يتكون من أصل الإنزيم + قرين الإنزيم او العامل المعاون · وقرين الإنزيم أو العامل المعاون عادة لا يتاثر بالحرارة بعكس أصل الإنزيم كما أنه يعتبر جزء متمم للانزيم الخاص به·

أشارت الدراسات الأنزيمية الى أنة يلزم لكى يقوم الأنزيم بعملة على أى مادة تفاعل Substrate من الناحية الكيميائية وجود التالى:

- لابد من وجود مواقع مقابلة من الأنزيم والمادة المتفاعلة ولا يقل عادة عن ثلاثة مواقع ·

ب- نشاط الثلاثة مواقع للأنزيم تكون مختلفة أو غير متناظرة ·

ج - يجب أن تحتوى المادة على مجموعتين مماثلة للإنزيم مع مجموعتين آخرتين غير متماثلة وتكون المجموعات الأربعة متصلة بذرة كربون كما بالشكل ١٨ يوضح أنة يلزم لكى يقوم الأنزيم بعملة على آى مادة تفاعل من وجود مواقع مقابلة من الأنزيم والمادة المتفاعلة ولا يقل عادة عن ثلاثة مواقع ، ويجب أن تكون المواقع للأنزيم مختلفة أو غير متناظرة كما يجب أن تحتوى المادة على مجموعتين مماثلة للأنزيم مع مجموعتين آخرتين غير متماثلة وتكون المجموعات الأربعة متصلة بذرة كربون·



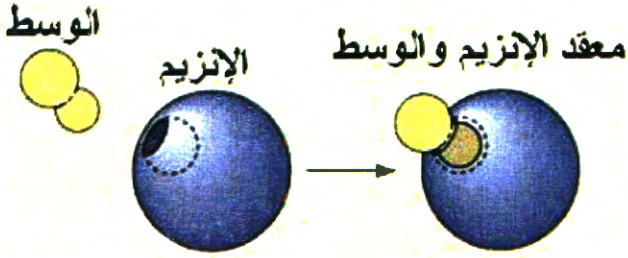

( **الشكل١٨** ): يوضح انة يلزم لكى يقوم الأنزيم بعملة على آى مادة تفاعل من وجود مواقع مقابلة من الأنزيم والمادة المتفاعلة ولا يقل عادة عن ثلاثة مواقع ، ويجب أن تكون المواقع للأنزيم مختلفة أو غير متناظرة كما يجب أن تحتوى المادة على مجموعتين مماثلة للنزيم مع مجموعتين آخرتين غير متماثلة وتكون المجموعات الأربعة متصلة بذرة كربون .

**طبيعة عمل الإنزيم** The nature of enzyme action :

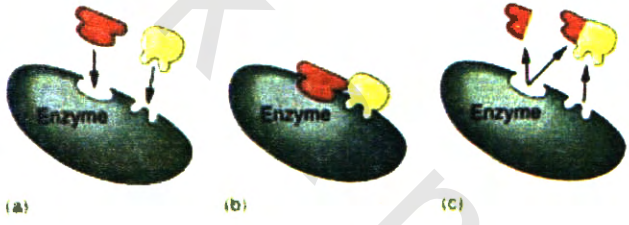
- قد كان يعتقد أن الإنزيم لا يتحد مطلقاً من مادة التفاعل Substrate وإنما يهيئ وسطاً صالحاً لحدوث التفاعل إذ أن جزيئات مادة أو مواد التفاعل تتجمع تجمعا سطحياً حول دقائق الإنزيم الغروية حيث تتلامس هذه الجزيئات ويتم التفاعل بينها ثم تنتشر المنتجات النهائية وتحل محلها جزيئات جديدة تتفاعل وهكذا.

- وهناك رأى آخر يقول أن التفاعل الإنزيمى يحدث نتيجة لإتحاد المادة إتحادا فعليا بالإنزيم مكوناً مركباً ما وهذا الاتحاد مؤقت إذ ينحل هذا المركب سريعا بعد احداث تغيير فى مادة التفاعل إلى الإنزيم الاصلى ونواتج التفاعل ثم يتحد الإنزيم من جديد بكمية أخرى من مادة التفاعل.

- إن جزيئات مادة التفاعل ( أ ) فى محلول ما تحتوى على كمية من الطاقة لذلك فهى دائمة الحركة والتصادم بعضها ببعض ، فإذا ما إكتسبت تلك الجزيئات كمية طاقة كافية لبدء التفاعل مع جزئ مادة ثانية ( ب ) فأن نتيجة لتصادمها فإنها تصبح قادرة على التفاعل والتحول إلى المادة جديدة ( أب أو ج ) . لذلك تعرف كمية الطاقة التى يجب لجزيئات المادة أن تكتسبها حتى تتفاعل بطاقة التنشيط Energy of activation وبتتبع تأثير الإنزيم فى مثل هذه التفاعلات فقد وجد أن الإنزيم يسبب نقص كمية طاقة التنشيط اللازمة لاتمام التفاعل لجزئ المادة أ لتتحول إلى المادة ج ، وينتج عن ذلك أن عدداً أكبر من جزيئات المادة سوف يصل لمستوى طاقة التنشيط اللازمة فى وحدة الزمن وبذلك تزيد سرعة التفاعل ، وقد قدرت طاقة التنشيط اللازمة للتحليل الحامضى لجزئ السكروز على ٢٥°م بمقدار ٢٥٥٦٠ كالورى ، بينما طاقة التنشيط اللازمة لتحليل جزئ السكروز فى وجود إنزيم السكريز على درجة ٢٥°م تساوى ٨٧٠٠ سعراً .




• لذلك فمن المعتقد أن الإنزيم يقلل من طاقة التنشيط اللازمة لجزئ المادة المتفاعلة اى توصيل طاقة المادة الى طاقة التنشيط لكى تتفاعل وذلك عن طريق اتحاده معها فيكون معقد انزيمى ذو طاقة تنشيط أقل آى أن الأنزيم يخفض طاقة التنشيط اللازمة لأتمام التفاعل ·




**تخصص الإنزيمات** Specificity of enzymes :

• إن التخصص من أهم مميزات الإنزيمات ويقصد بالتخصص أن لكل إنزيم مادة معينة أو مجموعة مواد متشابهة كيماوياً يستطيع أن يؤثر فيها دون غيرها ولتخصص الإنزيمات درجات متفاوتة ·

• فهناك إنزيمات تتخصص فى التاثير على المواد ذات التشابه الفراغى ويعرف هذا التخصص بإسم تخصص التشابه الفراغى Stereo-chemical Specificity فالمعروف أن معظم المواد الكيماوية التى تتكون أثناء عمليات الهدم والبناء داخل الخلايا الحية ذات التشابه فراغى أى أن منها المركبات اليمينية والمركبات اليسارية ولقد بلغت معظم الإنزيمات درجة كبيرة فى تخصصها بحيث أنها تؤثر فقط فى

المركب اليمينى مثلا دون شبيه اليسارى · ومثال ذلك إنزيم Lactic dehydrogenase الذى يؤثر فقط فى حامض اللكتيك اليسارى ويعطى حامض البيروفيك ويمكن لهذا الإنزيم أن يؤثر فى حامض اللكتيك اليمينى ·

• ويمكن تمييز أنواع أخرى من الإنزيمات تختلف درجة التخصص فيها طبقاً للتركيب الكيميائى للمواد المتفاعلة · فهناك الإنزيمات ذات التخصص المنخفض Low Specificity وتتخصص هذه الإنزيمات طبقاً لنوع الرابطة التى تربط شقى جزئ المادة المتفاعلة · فمثلا يجب أن يكون هذه الرابطة رابطة استر فى حالة الليبز Lipase ورابطة بيتيد فى حالة بيتيديز Peptidase ورابطة جليكوسيد فى حالة جليكوسيديز Glucosidase .

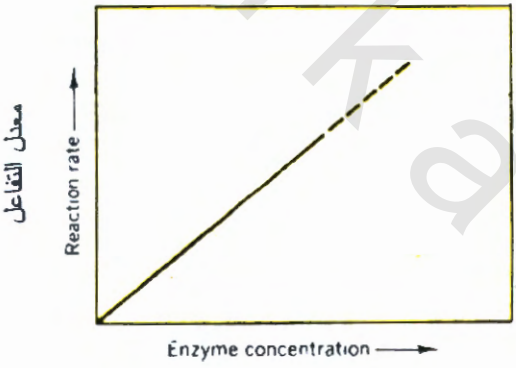
• وهنالك نوع أخر من الإنزيمات يكون فيها التخصص تخصص مجموعة Group Specificity وهو واسع الانتشار فى الإنزيمات التى تؤثر فى المواد الكربوايراتية .

• وهناك تخصص للإنزيمات يعرف بالتخصص المطلق Absolute Specificity ومثال بأن يقوم الأنزيم بالتفاعل مع تركيب معين كأن يقوم انزيم الكينيز Kinase بأدخال مجموعة الفوسفات على الالدوزات فى وجود ATP فأذا قام الانزيم بذلك التفاعل على الجلوكوز فقط دون غيرة من السكريدات سمى أن تخصص الانزيم مطلق وسمى بأسمه Glucokinase وكما فى إنزيم المالتيز فهو لا يؤثر إلا فى سكر المالتوز فقط ، ولا يؤثر فى المركبات الاخرى التى تحتوى على رابطة الالفاجليكوسيدات ، اما اذا كان للأنزيم تأثير على محموعة الالدوزات جميعها بأن ينقل لها مجموعة الفوسفات من ATP او يحلل الرابطة الجلوكوزيدية فأن ذلك الأزيم يكون متخصص تخصص نسبى Relative Specificity .

## العوامل التى تؤثر سرعة عمل الإنزيم :

### أولاً : تركيز الإنزيم Enzyme Concentration :

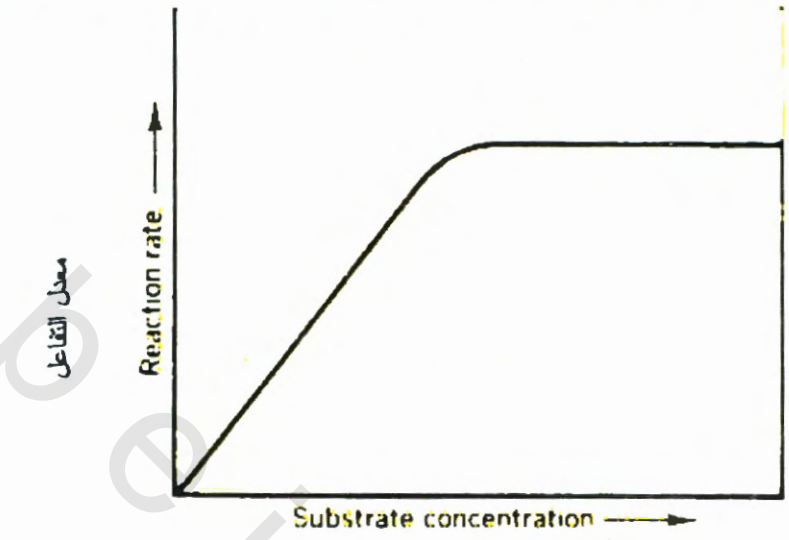
دلت الابحاث الخاصة بدراسة قوة تنشيط الإنزيمات خارج الخلايا الحية *In vitro* أن سرعة التفاعل تتناسب بوجه عام مع كمية الإنزيم المضافة هذه العلاقة صحيحة خصوصاً خلال الفترات الأولى للتفاعل حيث تكون كمية مادة التفاعل كبيرة نسبياً ، وبتقديم التفاعل ينخفض تركيز مادة التفاعل بينما تتراكم نواتج هذا التفاعل ، ولذلك لن تستمر سرعة التفاعل الا اذا تم المحافظة على وجود مادة التفاعل بكمية أكبرمن تركيز الأنزيم فأن سرعة التفاعل سوف تتناسب طرديا مع زيادة تركيز الأنزيم .




فى وجود تركيز من مادة التفاعل أكبر من تركيز الأنزيم فأن سرعة التفاعل الأنزيمى تتناسب طرديا مع تركيز الأنزيم كما بالرسم البيانى

### ثانيا : تركيز مادة التفاعل Substrate Concentration :

عند المحافظة على تركيز ثابت من الأنزيم وتغير تركيز المادة المتفاعلة فيمكن وصف التغير فى سرعة التفاعل النزيمى بالمنحنى التالى :




فعند افتراض بأن جزيئات الأنزيم تتحد بالمادة المتفاعلة فأنه عند التركيزات المنخفضة من المادة المتفاعلة تكون جزيئات الأنزيم ليست جميعها متحدة مع جزيئات المادة المتفاعلة ، وباضافة مادة متفاعلة جديدة يرتبط جزئ أكبر من جزيئات الأنزيم به ويزداد معدل التفاعل حتى تصبح كل الجزيئات الأنزيمية مشبعة ولا تتأثر بالزيادة فى تركيز المادة المتفاعلة عندئذ فأن معدل التفاعل الانزيمى سوف يثبت على ذلك.

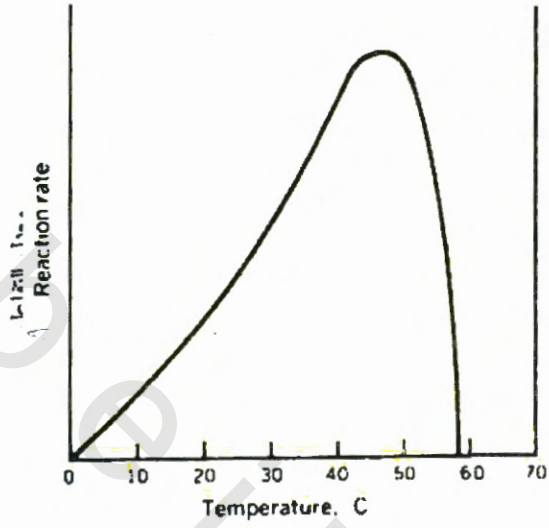
**ثالثا : تأثير درجة الحرارة Temperature Effect:**

تختلف الإنزيمات عن العوامل المساعدة الغير عضوية فى أن الأولى تفقد قوة تنشيطها أو تتلف عند درجات حرارة قريبة من درجة غليان الماء بل يقف مفعول معظم الإنزيمات فى الوسط السائل عند درجات أعلى من ٥٠ °م ، بينما تتلف تماماً بين درجتى ٦٠ – ٧٠ °م ويرجع تلف الإنزيم عند درجات الحرارة المرتفعة إلى ظاهرة التجلط (التجمع Coagulation) والتى تحدث للبروتينات عموما بإرتفاع درجة حرارتها حيث تتغير طبيعة البروتين الإنزيمى لفقد الروابط الخمس السابق

ذكرها والتى تحافظ على التوزيع الفراغى والطى البروتينى نظرا لان تلك الروابط روابط ضعيفة.

توجد عدة عوامل تزيد من قدرة الإنزيمات على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، منها درجة الجفاف النسبى للوسط الموجود فيه الإنزيمات ، فقد وجد أن الإنزيمات الموجودة فى البذور تتحمل درجات الحرارة مرتفعة قد تصل إلى ١٣٠م أو أكثر ، وتتوقف درجة الحرارة التى تتلف عندها الإنزيمات على بعض صفات وسط الأنتشار . فقد وجد مثلا أن درجة تركيز أيون الأيدروجين pH لها تأثير واضح على درجة تأثير الإنزيمات بالحرارة ووجود المادة المتفاعلة أو محلول التفاعل فى وسط الأنتشار يؤخر كثيراً او قد يمنع كليا الأثر الضار الذى قد تسببه درجة حرارة معينة فى حالة عدم وجود تلك المواد ، وسرعة التفاعل الإنزيمى لا تتاثر بدرجة الحرارة فقط بل وكذلك بطول الفترة التى يحدث فيها التفاعل عند درجة الحرارة المعينة ، لذلك تتضح أهمية إعتبار عامل الوقت عند دراسة أثر الحرارة على التفاعل الانزيمى.

إن تأثير الأنزيم بالحرارة يكون فى مدى ضيق من درجات الحرارة فأرتفاع درجة الحرارة يسبب إزدياد سرعة التفاعل فعند درجة الصفر المئوى تكون سرعة التفاعل الأنزيمى تساوى صفرا وتزداد تدريجيا مع زيادة درجة الحرارة إلى أن يصل إلى درجة الحرارة المثلى التى تعتبر أنسب درجات حرارة لعمل الإنزيم ، يمكن حفظ التفاعل عند سرعة ثابتة لوقت طويل عند درجة الحرارة أقل من الدرجة المثلى ولكن تقل السرعة عند درجات الحرارة أعلى بمرور الوقت . تقع درجة الحرارة المثلى لإنزيم ما تبعاً لاختلاف درجة التركيز أيون الايدروجين لوسط التفاعل وكذلك تبعاً للنسبة بين تركيزى الإنزيم ومادة التفاعل .ثم يبدأ التاثير الهادم للحرارة على معظم الإنزيمات الذاتية إذا ما ارتفعت عن ٤٠° م ، درجة الحرارة المثلى هى الدرجة التى تتعادل عندها الزيادة فى سرعة التفاعل مع الفعل الهادم لتلك الدرجة على الإنزيم.




تركيز الوسط

ويكون معدل الزيادة فى سرعة التفاعل الأنزيمى بمعدل ٢،٥ مرة كل ارتفاع قدرة عشر درجات مئوية فوق الصفر حتى تصل للدرجة المثلى والتى فى الغالب تتراوح بين ٢٥-٢٧ °م ثم يقل التفاعل ليصبح صفرا عند ٦٠ °م

ويُرجع البعض تأثير درجة الحرارة على زيادة معدل التفاعلات الإنزيمية وحتى الدرجة المثلى الى :

أ - التأثير على ثابت الإنزيم Enzyme Stability وزيادة الطاقة الحركية ·

ب - تأثيرها على جاذبية الإنزيم للمادة المتفاعلة ·

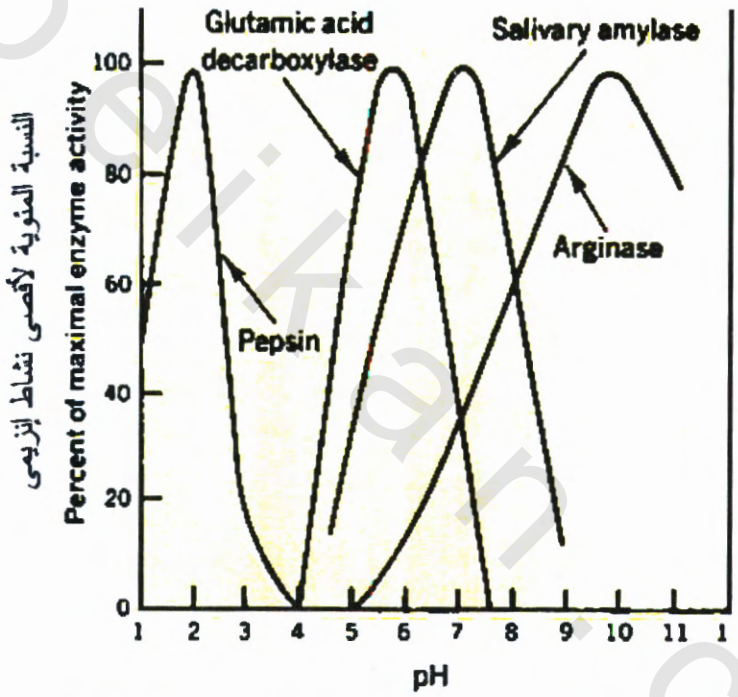
ج - تأثيرها على درجة تأين مكونات التفاعل وهى محددة بحرارة التأين ·

**رابعا: تأثير درجة تركيز أيون الايدروجين Hydrogen ion concentration pH :**

تعتبر درجة تركيز أيون الايدروجين فى وسط التفاعل من أهم العوامل التى تؤثر على سرعة عمل الإنزيم · ولكل إنزيم درجة مثلى لتركيز أيون الايدروجين يبلغ عندها الإنزيم أقصى نشاطه ، ويقل هذا النشاط كثيراً خارج حدود تلك الدرجة ·

وتختلف الدرجة المثلى لإنزيم ما طبقاً لعدة عوامل منها مصدر الإنزيم ودرجة الحرارة التفاعل وكذلك مدة حفظ الإنزيم تحت ظروف معينة ٠

تنحصر الدرجة المثلى لأيون الايدروجين لمعظم الإنزيمات المحللة بين pH 7- 4 وتحفظ أنزيمات التأكسد والاختزال بأقصى نشاطها فى المحاليل المتعادلة أو القلوية نوعاً ما٠




**خامسا : تأثير المنشطات والمثبطات Activators and Inhibitors:**

وجد أن الأملاح وغيرها من المواد الذائبة تؤثر على نشاط الإنزيمات، فبينما يسبب بعضها تنشيطاً للتفاعلات الإنزيمية يسبب البعض الاخر تثبيطا وسبب التنشيط غير معروف ولكن يحتمل أن بعضاً من هذه الأملاح تعمل كعامل معاون للإنزيم ٠

أما المثبطات فقد يرجع التاثير المثبط للادمصاص أو التجمع السطحى للمواد المثبطة على المراكز الفعالة بالإنزيم ٠ أو يرجع التثبيط لتفاعل المثبطات مع مادة

التفاعل أو للتأثير السام للمثبطات على بروتينات الإنزيم كما فى حالة أول أوكسيد الكربون والسيانيد وكبريتات الكربامات وذلك لتقاربها مع المعادن الثقيلة والمثبطات أما تكون مواد غير عضوية أومواد العضوية مثل الكلوروفوم وقد يرجع تثبيط أكسيديز السيتوكروم بواسطة ( CO ) أو ( CN ) يرجع لأن كلا منهما يرتبط بحديد المجموعة الغير بروتينية وكذلك تقارب ثنائى كبريتات الكربامات للنحاس يجعله مثبطاً قويا لأكسيديز حامض اسكوربيك · ومن الملاحظ أن بعض المثبطات ذات تاثير مؤقت أى يعاود الإنزيم نشاطه بزوال المادة المثبطه بينما البعض الاخر ذات تاثير مستديم ·

هناك أيضا تثبيط بالتنافس وهو يطلق على الحالات التى يكون فيها المادة المثبطة مشابة فى تركيبها للمادة المتفاعلة حيث تتنافس معها على المراكز النشطة بالإنزيم بما يؤدى الى زيادة تركيز المادة المتفاعلة ، كما ان هناك أيضا تثبيط غير متنافس راجع لخفض التركيز الفعال للإنزيم ·

**سادسا : تراكم نواتج التفاعل :**

إن تراكم نواتج التفاعل يقلل عادة من سرعة التفاعل الانزيمى ومثلة فى ذلك مثل التفاعلات الكيميائية العاديه ويعزى بطء التفاعل عند تراكم نواتجه لعدة أسباب منها أن زيادة كمية النواتج تعمل على اسراع التفاعل العكسى وبذلك تقل سرعة التفاعل الأصلى وقد تتراكم نواتج التفاعل على المراكز الفعالة للإنزيم فتقلل من قوة تنشيطه وقد تسبب نواتج التفاعل تغيير درجة تركيز أيون الايدروجين لوسط التفاعل وبذلك يصبح غير مناسب لعمل الإنزيم فمثلا ينتج عن تحليل الدهون جليسرول وأحماض دهنيه وتسبب الأخيرة انحراف درجة أيون الايدروجين فى وسط التفاعل للناحيه الحمضية وينتج عند تحلل اليوريا الى ثانى اكسيد الكربون والنشادر التى تسبب انحراف درجة تركيز أيون الايدروجين للناحية القلوية ·

سابعاً: الماء :

لما كان الماء يدخل فى عمليات التحليل المائى لذلك لا يتم مثل هذا التحلل بدون وجود الماء فاذا بدأنا بمادة جافة بالتفاعل نلاحظ أن زيادة نسبة الماء تسبب زيادة فى سرعة التحلل نتيجة لنقص لزوجة وسط التفاعل وازدياد نتشار مادة التفاعل والإنزيمات والنواتج . يتضح تاثير زيادة الماء فى تنشيط الإنزيمات فى النسيج النباتى اثناء انبات البذور فنشاط الإنزيمات الموجودة فى البذور الجافة غير ملحوظ تقريبا فاذا ما امتصت البذور الماء ازداد نشاط الإنزيمات زيادة كبيرة بازدياد كمية الماء الممتص.

## توزيع الإنزيمات داخل الخلية :

إن معظم الإنزيمات ، إن لم تكن جميعاً موجودة فى البروتوبلازم وقليل جداً ان وجدت فى الفجوة أو فى جدران الخلية وعلى ذلك يظهر أن معظم بروتين السيتوبلازم عبارة عن بروتين إنزيمى . كثير من الإنزيمات مرتبطة بالاجسام الموجودة فى البروتوبلازم فانزيمات التمثيل الكلوروفيللى موجودة فى البلاستيدات الخضراء و انزيم الفوسفوريليز المسئول عن التنفس يوجد فى الميتوكوندريا والأنزيمات المسئولة عن تكوين الأحماض النووية والبروتين النووى موجودة فى النواة وهكذا .

## تسمية وتقسيم الإنزيمات :

تسمى الإنزيمات وتقسم عادة طبقا للتفاعل أو للتفاعلات التى تقوم بتنشيطها ويسمى الإنزيم عادة باسم التفاعل مضافاً اليه المقطع ase بعد حذف المقطع الأخير من اسم مادة التفاعل فمثلا يسمى الإنزيم الذى يحلل سكر المالتوز باسم انزيم المالتيز maltase وقد يسمى الإنزيم باضافة المقطع ase مباشرة إلى اسم مادة التفاعل مثل إنزيم dextrinase الذى يحلل الدكسترين dextrin إلى سكر المالتوز.

وتقسم الإنزيمات الى الاقسام التالية:

١- الإنزيمات الهاضمة

٢- إنزيمات التأكسد والاختزال

٣- إنزيمات الاضافة

٤- إنزيمات النقل

٥- إنزيمات التشابه

٦- إنزيمات الربط

**اولا : الإنزيمات الهاضمة Digestive enzymes :**

ينقسم هذا القسم من الإنزيمات ألى المجموعات التالية :

أ- إنزيمات التحلل المائى Hydrolases

تنشط إنزيمات هذه المجموعة التحليل المائى لمواد التفاعل الخاصة بها وذلك باستعمال الماء وتنقسم إنزيمات هذه المجموعة إلى:

- إنزيمات تحلل المركبات الازوتية ومن هذه الإنزيمات البيسين pepsin والتربيسين trypsin وهى تحلل البروتينات الى مركبات أبسط نتها ومنها كذلك البيتديزات peptidases وهى تحلل البيتيدات إلى احماض أمينية.
- إنزيمات تحلل المواد الكربوايدراتية وتشمل الإنزيمات التى تحلل المواد الكربوهيدراتية مثل الاميليز الذى يحلل النشا الى سكر وكذلك إنزيم السيليوليز الذى يحلل السيلولوز إلى سيللوبيوز - وكذلك المالتيز الذى يحلل سكر المالتوز الى سكر جلوكوز وإنزيم Cellobiase الذى يحلل السللوبيوز إلى

جلوكوز – وإنزيم السكريز sucrase الذى يحلل السكروز إلى جلوكوز وفركتوز ·

- إنزيمات تحلل المركبات الدهنية أو الأستيرايزات Esterases وتشمل هذه المجموعة الإنزيمات التى تنشط التحليل المائى للسترات لمكونة من اتحاد الكحولات مع الأحماض العضوية أو الأحماض الغير عضوية مثل الليبيزات Lipases

ب – إنزيمات التحلل الفسفورى Phosphorylases :

الفوسفوريليزات هى المجموعة تنشط تحليل المواد المتفاعلة باستعمال حامض الفوسفوريك وتسمى هذه العملية بالفسفرة ومثل هذه الإنزيمات إنزيم Starch phosphorylase الذى يحلل النشا فى وجود حامض الفوسفوريك إلى الفا جلوكوز – ١– فوسفات · و إنزيمات الفوسفاتيزات وهى الإنزيمات التى تحلل الأستيرات المكونة من اتحاد الكحولات مع حامض فوسفوريك وينتج من تحليل هذه الأستيرات الكحول و حمض الفوسفوريك ·

**ثانيا : إ نزيمات التأكسدة والاختزال Oxido-reductase enzymes**

الأكسدة كما هو معروف هى عملية اضافة أوكسجين أو فقد أيدروجين أو فقد الكترون آى زيادة الشحنة الموجبة الى المادة· يصحب عملية الأكسدة عادة عملية اختزال ناتجة عن فقد الأكسجين من مركب ما أو اكتسابه اما أيدروجين او الكترون وتنقسم إنزيمات هذا القسم الى المجموعات التالية :

- إنزيمات الأكسدة بنزع الأيدروجين Dehydrogenases

تقوم إنزيمات هذه المجموعة باكسدة المركبات بانتزاع ذرتي أيدروجين منها واضافتها لمركب اخر مسببة بذلك اختزاله ويسمى المركب الأول الذي يعطي الأيدروجين بالمختزل reductant أومانح الأيدروجين Hydrogen donator أما

المركب الثاني فيأخذ الأيدروجين ويعرف بالمؤكسد Oxidant أو قابل الأيدروجين Hydrogen acceptor وقد دلت الأبحاث الحديثة انه من الضروري وجود مرافقات او قرائن إنزيمية لإنزيمات هذه المجموعة لتستطيع أداء عملها كما وجد أن المرافقات الأنزيمية التي تأخذ ذرتين الأيدروجين وتختزل وقد امكن حتى الأن تمييز مرافقي إنزيمين وهما المرافق الانزيمي NAD1 والمرافق الانزيمي NADP2

• إنزيمات الأكسدة بنزع الكترون الحديد Iron oxidases

تحتوي أنسجة النباتات على مجموعة من الإنزيمات تحتوي مجموعاتها المعدنية على الحديد مكونه مركب الهيمانين ومن هذه الإنزيمات ما يلي :

١- الكاتاليز Catalase في جميع النباتات الراقية وهذا الإنزيم لا يؤثر الا في مركب فوق اكسيد الايدروجين فيحلله الى ماء واكسجين ويحتمل ان يقوم هذا الانزيم بالتخلص من فوق اكسيد الايدروجين الذي يتكون اثناء التفاعلات الحيوية داخل الخلايا الحية والذي قد يسبب تراكمه اضراراً لتلك الخلايا ·

٢- البيرواكيديز Peroxidas ويوجد هذا الانزيم في جميع انسجة النباتات تقريبا وهو يقوم بعمله في وجود فوق أكسيد الايدروجين ويسبب أكسدة مركبات كثيرة مثل مركبات الفينول والكريزول والهيدروكوينون·

• إنزيمات الأكسدة بنزع الكترون النحاس Copper oxidases

وتتميز إنزيمات هذه المجموعة باحتواء مجموعاتها الغير بروتينية على النحاس ومن امثلتها ما يلى :

١- اكسيديز احادي الفينول Mono phenol oxidase ويؤكسد المواد أحادية الفينولات مثل الكريزول فيعطي مركبات ثنائية الفينولات المناسبة ·

٢- اكسيديزات عديدة الفينولات Poly phenol oxidase لا تؤثر ال في المواد ثنائية الفينولات مثل الكاتيكول مكونة المركب المناسب من الأرثيوكينون وتؤثر هذه الأنزيمات أيضا على المواد ثلاثية الفينولات مثال بيروجالول ويلاحظ أن هذه المجموعة من الأنزيمات هي المسؤلة عن تلون الأنسجة المقطوعة والمعرضة للجو اذ انها هوائية لا تعمل الا في وجود الاكسجين ٠

**ثالثا : انزيمات الاضافة Adding enzymes**

يحوى هذا القسم انزيمات تستطيع تكوين مركبات جديدة وذلك باضافة مادة الى مركب معين ومن هذه الانزيمات ما يستطيع اضافة الماء او النشادر أو مواد اخري ومن أمثلة إنزيمات هذا القسم :

١- فيوماريز Fumarase وهو الأنزيم الذي يساعد تكوين حامض الماليك باضافة الماء الى حامض فيوماريك ٠

٢- أسبارتيز Aspartase ويساعد على تكوين حامض الأسبارتيك وذلك باضافة النشا الى حامض الفيوماريك ٠

**رابعا : إنزيمات النقل Transferring enzymes**

تستطيع نقل مجموعة أو شق من جزئ مادة الى جزئ مادة أخري ومن أمثلة هذه الإنزيمات إنزيم Hexokinase الذي يساعد نقل شق الفوسفات من مركب أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP الى الجلوكوز مكونا جلوكوز-٦-فوسفات ٠

**خامسا : انزيمات التشابهة Isomerising enzymes**

تستطيع إنزيمات التشابه تكوين المواد المتشابهه ومن أمثلتها :

١- انزيمات التشابة الأيزوميرى مثل Phosphotriose isomerase الذى يساعد على تحول كل من فو- ثنائى هيدروكسى اسيتون و فو-جليسرالدهيد الى الاخر ٠

٢- انزيمات التشابة الميوتيزى مثل فوسفوجلوكوميوتيز Phosphoglucomutase ويختص بتحويل الفاجلوكوز ١- فوسفات الى جلوكوز ٦- فوسفات وبالعكس.

**سادسا : إنزيمات الاتصال Linking enzymes**

وهى إنزيمات تساعد على عملية اتصال جزئين مع بعضهما ويصاحب هذا التفاعل كسر رابطة بيروفوسفاتية ويحتمل اشتراك نيوكليوتيد ثلاثي الفوسفات ATP في التفاعل ومن أمثلة إنزيمات الاتصال الانزيم المسمى ثيوكاينيز Thiokinase الذي يساعد اتصال جزئ الخلات acetate مع جزئ قرين الانزيم Co ~ A SH وذلك باشتراك أدينوسين ثلاثي الفوسفاتATP ويتكون مركب acetyl Co ~ A و أدينوسين أحادي الفوسفات AMP وينفرد ذرتين فسفور.

## مراجع مختارة :


1- Bohinski, R.C. (1979): Modern Cocepts in Biochemistry, 3rd ed. Boston: Allyn and Bacon.

2- Goodwin, T.W. and Meercer, E.I. (1973): Introduction to plant Biochemistry. New York: Pergamon Press.

3- Lehninger, A.L. (1982): Principles of Biochemistry, New York: Worth.

4- McGilvery, R.W. and Goldstein, G. (1979): Biochemistry: A Functional Approoach. Philadelphia: Saunders.

5- Metzler, E.D. (1979): Biochemistry, New York: Academic Press.

6- Phillips, D.A.; Daniel, R.M; Appleby, C.A. and Evans, H.J. (1973): Isolation from Rhizobium of factors which transfer elecrons to soybean nitrogenase. Plant Physiol 51: 136- 141.

7- Preiss, J. and Kosuge, T. (1976): Regulation of enzyme activity in metabolic pathways. In J. Bonner and J.E. Varner, eds., Plant Biochemistry, 3rd ed. New York Academic Press.

8- Smith, H., ed. (1979): The Molecular Biology of Plant Cells. BerKeley: University of California Press.

9- Stryer, L. (1981) Biochemistry, 2nd ed. San Fracisco: Freeman.