الأنزيمات (Enzymes)

تتحقق الظواهر الفيزيولوجية في حياة النبات بواسطة عدد من التفاعلات الكيميائية في الاستقلاب الخلوي، ففي عملية الاستقلاب يتم بناء آلاف المركبات التي تدخل في تركيب الخلية وجسم النبات مثل البروتينات والأحماض النووية والدهون والسيللوز ومركبات أخرى هامة لتنظيم نمو النبات مثل الهرمونات والفيتامينات وغيرها، ولا تستطيع هذه التفاعلات أن تجري إلا بوجود مُحرّضات (مُحفّزات) خاصة وهي الأنزيمات.

- **تعريف الأنزيمات:**

الأنزيمات مواد عضوية ذات طبيعة بروتينية تنتجها الخلايا تقوم بتسريع التفاعلات الكيماوية التي تجري في الكائنات الحية وهي لا تؤثر على التفاعل النهائي بل تعمل على زيادة معدّل التفاعلات، وهي مهمة في الحفاظ على حياة الخلية.

- **النشاط الإنزيمي:**

يُعبَّر عن الفعالية الأنزيمية لنسيج ما أو لأنزيم ما بكمية المادة الناتجة (أي المادة المستهلكة) في واحدة الزمن أو وحدة الكتلة من النسيج الرطب.

- **الخصائص العامة للأنزيمات:**

1. تنشيط وزيادة سرعة التفاعل، ولا تقوم بتخليق تفاعل جديد.
2. لا تُستَهلك في التفاعل وتخرج بعد انتهاء التفاعل دون تغير في خصائصها.
3. تزيد سرعة التفاعل دون تغير في التوازن الكيميائي في نهاية التفاعل ودون أي تغيير في طبيعتها.
4. تعمل على خفض الطاقة التنشيطية، دون تغير في كمية الطاقة الحرة الناتجة من المواد المتفاعلة أو المضاف اليها الأنزيم.
5. تمتاز بتخصصيه على (مادة أو مجموعة معينة).
6. تؤثّر كميات قليلة من الأنزيم على كميات كبيرة من المواد أو مادة التفاعل.
7. لا يُغيّر عمل الأنزيمات من طبيعة الناتج أو النواتج النهائية.
8. قابلية انعكاس التفاعلات الانزيمية.

- **توزّع الإنزيمات داخل الخلية:**

إنَّ معظم الإنزيمات، إن لم تكن جميعها، موجودة في البروتوبلازم Protoplasm (البروتوبلازم: ويسمى المادة الحية ويتميز إلى سيتوبلازم ونواة، فالسيتوبلازم هو المادة الهلامية الموجودة بين الغشاء الخلوي والنواة ويحتوي على تراكيب حية وأخرى غير حية. أي أنَّ السيتوبلازم جزء من البروتوبلازم والجزء الآخر من البروتوبلازم هو النواة)، وقليل جداً إن وجدت في الفجوة أو في جدران الخلية، وعلى ذلك يظهر أنَّ معظم بروتين السيتوبلازم عبارة عن بروتين إنزيمي.

إنَّ كثيراً من الإنزيمات تكون مرتبطة بالأجسام الموجودة في البروتوبلازم فأنزيمات التمثيل الكلوروفيلي (اليخضوري) موجودة في البلاستيدات (الصّانعات) الخضراء، وأنزيم الفوسفوريليز phosphorylase المسؤول عن التنفس يوجد في الميتوكوندريا (المُتقدّرات)، والأنزيمات المسؤولة عن تكوين الأحماض النووية والبروتين النووي موجودة في النواة وهكذا.

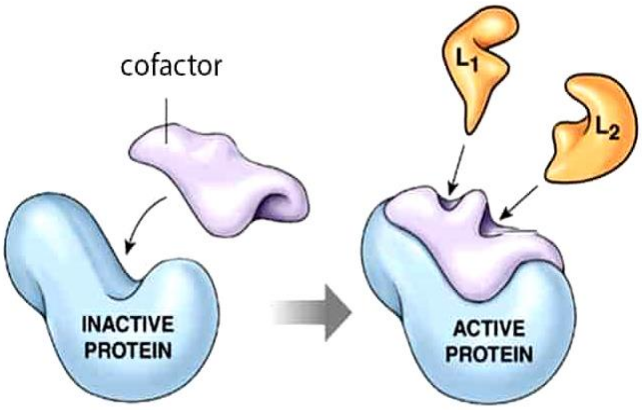
- **تركيب الأنزيمات:** هناك نوعين للأنزيمات:

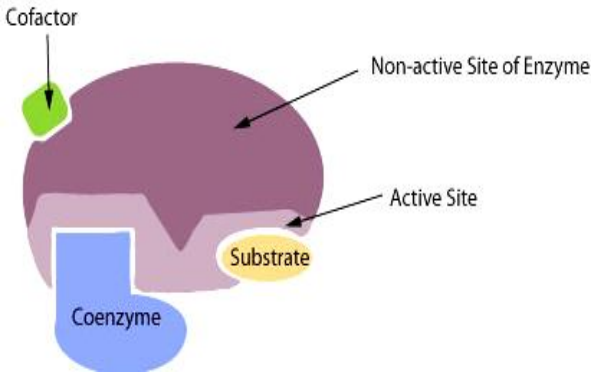
1. **أنزيمات بسيطة:** وهي التي تتكون من بروتينات بسيطة أي أحماض أمينية فقط، مثل الإنزيمات المحللة: إنزيم اليوريز المحلل لليوريا، وإنزيم الأميليز المحلل للنشاء، وإنزيم الببسين الذي يحلل البروتين.
2. **أنزيمات مركبة: تتركب من جزأين هما:**

a. ***جزء بروتيني:*** سلاسل بروتينية.

b. ***جزء غير بروتيني:*** وهي مكونات يحتاجها الأنزيم لفعاليته، وتقسم بدورها إلى:

- مكونات غير بروتينية غير عضوية: تُسمى (عوامل مساعدة co-factors) وتسمى مثل carbonic anhydrase (كاربونيك أنهيدراز) الذي يُحلّل حمض الكربونيك. حيث أنّه وأحياناً يكون المرافق الإنزيمي أحد العناصر المعدنية مثل k^{+}، Fe^{+++}، Zn^{++}، Mg^{++}، Ca^{++}، ويكون مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالجزء البروتيني من الإنزيم المسمى بالأبو–إنزيم (Apo-enzyme)، وإذا نُزِعَ من الإنزيم بقي الجزء البروتيني عاجزاً عن تسريع التفاعل مثال الحديد في إنزيم الكاتليز.
- مكونات غير بروتينية عضوية: تكون بشكل جزيئات عضوية معقدة تسمى مرافقات (قرين) الأنزيم Coenzyme، مثل الفيتامينات (فتامينB)، وهي ترتبط بالجزء البروتيني من الإنزيم وقت التفاعل فقط (مثل Acetyl-CoA) أو مركب (NAD^{+}). وتحتاج بعض الأنزيمات أحياناً لكلا النوعين الأيونات المعدنية والجزيئات العضوية المعقدة.





- **تقسيم الأنزيمات:**

1. أنزيمات الاكسدة والإرجاع (Oxidoreductases): يُقصد بالأكسدة إضافة أوكسجين أو إزالة هيدروجين أو الكترون، أمّا الإرجاع فهي عملية عكسية (الديهيدروجيناز – الأوكسيداز).
2. الإنزيمات الناقلة – نقل المجاميع الفعالة– (Transferases): تنقل المجاميع الفعّالة مثل نقل مجاميع نيتروجينية (آزوتية) أو مجاميع حاوية على الكبريت.
3. الإنزيمات المميّهة –الإنزيمات التي تُحلل تحليلاً مائياً– (Hydrolases): تقوم بتكسير المادة الأساسية بإضافة جزيء ماء مثل أنزيم المالتاز الذي يعمل على تكسير المالتوز (سكر الشعير) إلى مكوناته أي لوحدتين من الغلوكوز (سكر العنب).
4. أنزيمات التماثل في التركيب أو الانزيمات المناظرة (Isomerases): وهي الإنزيمات التي توجد بأشكال مختلفة ولها نفس الفاعلية التحفيزية ونفس التخصص على مادة التفاعل(الهدف) تختلف فيما بينها في خصائصها الكيميائية والفيزيائية والمناعية، وهي ضرورية لتنظيم العمليات الحيوية وكذلك في تكون الأنسجة.
5. أنزيمات الكربكسلة (Carboxylases): تعمل على إضافة أو نزع ثاني أكسيد الكربون Co_2 (مثل أنزيم كربوكسيداز).
6. أنزيمات الفسفرة (Phosphorylases): وهي تُسهّل إدخال زمرة الفوسفات أو نزعها (أنزيم فوسفوريلاز).

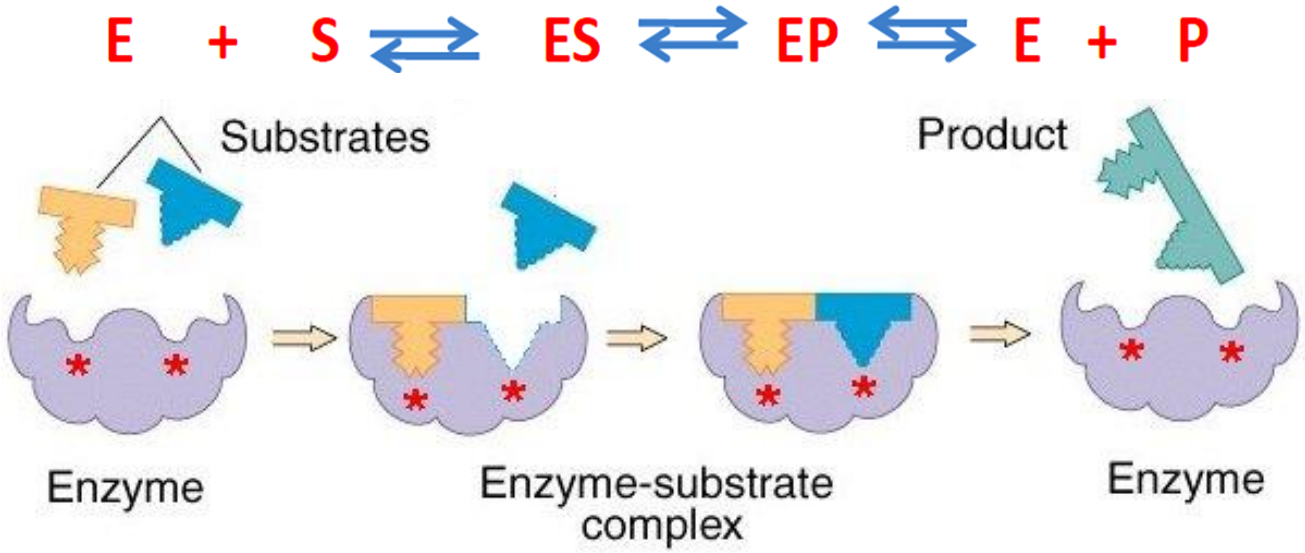
- **آلية عمل الأنزيمات:**

1- في أي تفاعل أنزيمي يرتبط الأنزيم (E) مع المادة الهدف (S) ليكونا معاً معقد (الانزيم-والمادة الهدف) ويتم هذا الارتباط في موقع معين في تركيب الأنزيم يسمى الموقع النشط (الفعال) حسب الشكل التالي:

2- الخطوة التي تلي ارتباط الأنزيم بالمادة الهدف هي: تحول الهدف (S) إلى ناتج (P).

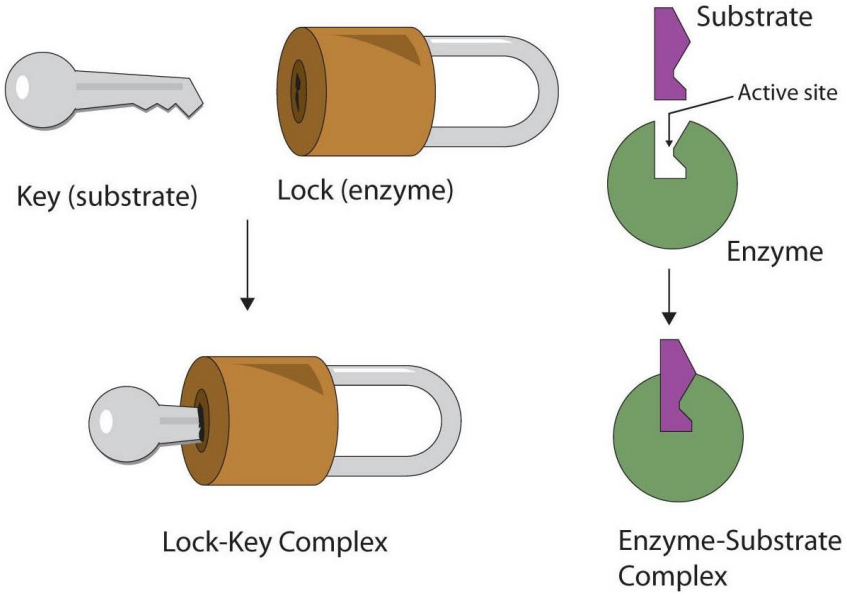
3- الخطوة الأخيرة فهي تفكك ناتج التفاعل (P) عن الأنزيم (E).

هذا ويمكن تلخيص خطوات التفاعل الإنزيمي كما يلي:



- **ويوجد نظريتين لعمل الأنزيمات:**

1-نظرية القفل والمفتاح: كما هو معروف فإنَّ الأنزيمات ذات تخصصية نوعية عالية تجاه مواد تفاعلاتها، وعليه فإنَّ لكل أنزيم شكل خاص ومحدّد يُناسب شكل مادة التفاعل. وبعد تكوين معقد (أنزيم-مادة التفاعل) ينشط هذا الأخير تجاه تكوين نواتج التفاعل التي تميل نحو التحرر عن المواقع الفعال للأنزيم لإتاحة المجال لجزيئات جديدة لاستمرار التفاعل.



2-<u>نظرية التوافق المحرض:</u> تبين وجود أنزيمات تُغيّر شكل المواقع الفعالة (Active Sites) فيها بحسب شكل مادة التفاعل، وعلى هذا عندما ترتبط مادة التفاعل (Substrate) والأنزيم (Enzyme) فإنها تُحرّض على تغيير شكل الأنزيم بحيث تتطابق مع شكل مادة التفاعل.

- **<u>العوامل المؤثرة على سرعة التفاعلات الأنزيمية:</u>**

1-درجة الحرارة:

الأنزيمات حساسة لدرجة الحرارة فعند درجة الصفر يتوقف عمل الأنزيم تماماً، ويمكن أن يستعيد نشاطه مرة أُخرى تدريجياً برفع درجة الحرارة. ويصل نشاط الانزيم إلى ذروته عند درجة الحرارة تتراوح بين 37-40 °م (درجة حرارة الجسم)، وينخفض نشاط الأنزيم برفع درجة الحرارة. كما ينخفض نشاط الانزيم بالتسخين حيث يفقد فاعليته تماماً عند درجة الغليان (100°م) وذلك لتغيُّر طبيعة الأنزيم البروتينية وهي حالة غير قابلة للعكس.

2-تأثير مستوى حموضة الوسط PH:

لكل أنزيم درجة حموضة PH مناسبة يكون نشاطه عندها أكبر ما يمكن، ويقل نشاطه إذا تغيرت درجة الحموضة (PH) ارتفاعاً أو انخفاضاً، وذلك لما يطرأ على الانزيم من تغيُّر وذلك لتغيير شحنة الأحماض الأمينية المكونة لسلسلة البروتين والتي تشارك في ربط المواد المتفاعلة بمركز نشاط الانزيم.

3-تأثير تركيز مادة التفاعل على سرعة التفاعل: تزداد سرعة التفاعل الإنزيمي طردياً بزيادة تركيز المواد المتفاعلة حتى تصل إلى سرعة معينة لا تزيد بعدها سرعة التفاعل مهما زاد تركيز المواد المتفاعلة وتسمى هذه السرعة <u>بالسرعة القصوى</u> نظراً لانشغال كل المراكز الفعالة للجزيئات الأنزيمية.

4-تأثير تركيز الإنزيم على سرعة التفاعل:

هناك علاقة طردية بين سرعة التفاعل وزيادة تركيز الأنزيم بوجود زيادة من المادة المتفاعلة فإن زيادة نسبة الأنزيم يزيد من سرعة التفاعل، وذلك بشكل مطلق طالما وجدت مادة التفاعل.

5-تأثير وجود مثبطات:

يُقصد بالمثبطات مركبات يترتب على وجودها انخفاض في نشاط الأنزيم وفي بعض الاحيان توقف نشاط الأنزيم كلياً. وتنقسم لنوعين:

أولاً: مثبطات ذات تأثير مؤقت على النشاط الإنزيمي: حيث يستعيد الإنزيم نشاطه بعد زوال المثبط.

ثانياً: مثبطات لها تأثير دائم على النشاط الإنزيمي: فلا يستعيد الإنزيم نشاطه بزوال تأثير المثبط.

6-تراكم نواتج التفاعل:

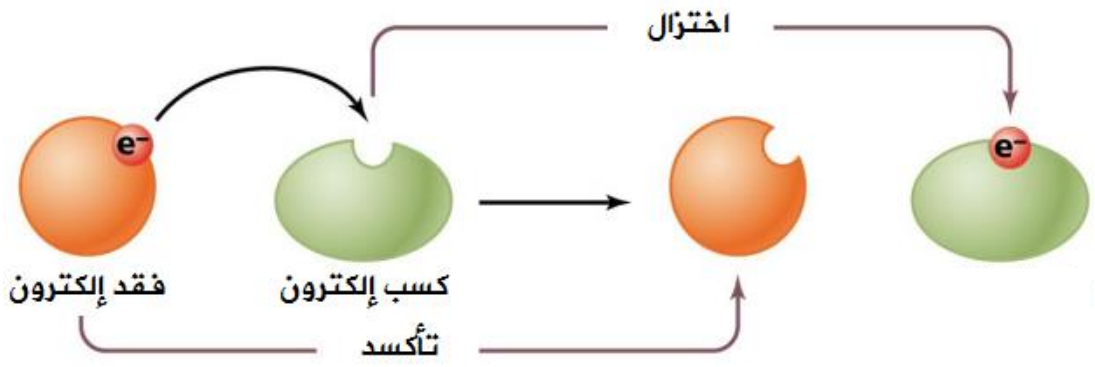
إن تراكم نواتج التفاعل يقلل عادةً من سرعة التفاعل الإنزيمي ويُعزى بطء التفاعل عند تراكم نواتج التفاعل لأسباب عديدة منها: أنَّ زيادة كمية نواتج التفاعل تعمل على إسراع التفاعل العكسي وبذلك تقل سرعة التفاعل الأصلي وقد تسبب نواتج التفاعل تغيير درجة الـ PH لوسط التفاعل وبذلك يُصبح غير مناسب لعمل الأنزيم.

- **الأنزيمات التنفسية (Respiratory Enzymes):**

هناك نوعين من الأنزيمات التنفسية الموجودة في الخلايا النباتية وهي الديهيدروجيناز والأوكسيداز وتتلخص مهمتها في عملية التنفس كما يلي:

1-الديهيدروجيناز(Dehydrogenase): وظيفتها نزع ذرتين من الهيدروجين (شاردتي الهيدروجين والكترونين) من مادة التفاعل وبذلك تؤكسد مادة التفاعل وتنتقل ذرتي الهيدروجين إلى مادة أخرى مثل مرافق أنزيم (كوأنزيم) دي هيدروجيناز الذي يُرجع.

2-الأوكسيداز (Oxidase): تأخذ هذه الأنزيمات الالكترونات من مرافق الأنزيم المرجع وتحرر ذرتي الهيدروجين في الخلية، وفي النهاية تؤدي إلى اتحاد ذرتي الهيدروجين مع الالكترونين ومع الاكسجين الجوي لتكوين الماء، وهذا الأنزيم هو من أكثر الأنزيمات التي تسهل أخذ الأكسجين انتشاراً في النبات، ويوجد في الحيوانات والبكتريا ويعتبر ذو فعالية عالية خاصة في البذور المنتشة والبادرات في النباتات الراقية.



وهناك أنزيمات لا ترتبط بالسلسلة التنفسية للميتوكوندريا حيث تساهم في إنهاء الأكسدة خارج الميتوكوندريا مثل: أنزيم الكاتالاز – أنزيم الأميلاز (يؤكسد النشاء إلى سكر الشعير (المالتوز)) كما يقوم المالتاز بتحليل المالتوز إلى سكر العنب (غلوكوز).

ويتبع لهذه المجموعة مؤكسد الفينولات العديدة وذلك بواسطة الأوكسجين مُعطيةً الكينونات (Quinones)

2 ثنائي الفينول + أكسجين ⟵ 2 كينون + 2 ماء

ويؤكسد أنزيم البيروكسيداز الفينولات العديدة والأمينات العطرية بواسطة فوق أكسيد الهيدروجين:

ثنائي الفينول + فوق أكسيد الهيدروجين(H_2O_2) ⟵ كينون + $2H_2O$

تتحد الكينونات مع بعضها البعض (تتبلمر) لتشكل معقدات لونها بني، وتنشط أكسدة الفينولات العديدة عند جرح النبات أو عند إصابته بعوامل مرضية وهذا ما يفسر تلون الثمار أو الخضار المجروحة أو تلونها بعد تقشيرها.

الكينونات مواد سامة للمتعضية (للكائن الحي) ويمكن أن تكون وسيلة مقاومة للنبات ضد العدوى، وتلعب دوراً هاماً في نقل الالكترونات في عملية التمثيل الضوئي، ولها دور في تكوين الخشبين.

{نهاية الجلسة}