

## ملخص درس النشاط الإنزيمي للبروتينات

تؤدي الإنزيمات دورا فعالا في حياة الكائنات الحية نظرا للوظائف العديدة التي تقوم بها، وتختلف أدوارها باختلاف المواد التي تؤثر فيها.

### 1. مفهوم الإنزيم وأهميته:

يتناول الإنسان الأغذية عن طريق الفم في صورة معقدة عادة، بينما يتم امتصاصها على مستوى الأمعاء في صورة بسيطة. يتم تبسيط المواد الغذائية بواسطة إنزيمات هاضمة متواجدة في الأنبوب الهضمي ابتداء من الفم فالمعدة ثم الأمعاء الدقيقة. تقوم الإنزيمات الهاضمة بتسريع التفاعلات الكيميائية لتبسيط الغذاء.

الإنزيم هو عبارة عن بروتين يصنع داخل الخلية، يساهم في تسريع التفاعلات الحيوية مثل هدم النشاء باللعايبين (الأميلاز اللعابي)، ويشبه في عمله هذا عمل الوسائط مثل حمض كلور الماء HCl الذي يستعمل لتسريع التفاعلات العادية في المخبر.

من خلال التجريب المدعم بالحاسوب، تمكنا من استنتاج أن التفاعل يتم بسرعة كبيرة في وجود الإنزيم بينما يتم ببطء شديد أو لا يتم تماما في غياب الإنزيم. كما يعمل الإنزيم غالبا على نوع واحد من مادة التفاعل، كما أن الإنزيمات تقوم بعملها دون أن تتأثر أو تستهلك أثناء التفاعل.

❖ الأنزيمات هي بروتينات تركيبها الخلايا الحية لتحقيق مختلف أنشطتها، وتستطيع أن تعمل بصورة مستقلة خارج الخلية الحية.

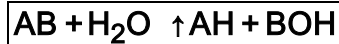
❖ تحوي الخلية الحية ما يقارب 1000 من الأنزيمات المختلفة تعمل بدرجة عالية من التخصص على جزيء معين أو على مجموعة جزيئات تنتمي لعائلة واحدة. مثلا: أنزيم الأميلاز يؤثر على النشاء، وأنزيم التربسين يؤثر على البروتين.

❖ تتدخل الأنزيمات لتحويل المواد الغذائية المعقدة إلى مواد بسيطة، كما أنها تتدخل لتحويل المواد العضوية وتركيب المواد المعقدة انطلاقا من المواد البسيطة. كما أن أكسدة المادة العضوية بالخلايا يتم عن طريق عمل الأنزيمات (الوثيقة 1 ص 58 من الكتاب المدرسي).

### II. النشاط الإنزيمي:

#### 1. مفهوم حلمأة جزيئة عضوية:

الحلمأة هي تكسير لبعض روابط المادة مع تثبيت جزيئات الماء. ويؤدي هذا التفاعل إلى الاتصال بين جزيئات المادة المحلمأة من جهة، وبين الأيونات  $H^+$  و  $OH^-$  للماء حسب المعادلة التالية:



ويمكن لهذا التفاعل أن يتم عن طريق الحلمأة الكيميائية أو الحلمأة الأنزيمية.

❖ حلمأة النشاء بـحمض كلور الماء HCl (حلمأة كيميائية): حيث يختفي النشاء ( $C_6H_{10}O_5$ ) تدريجيا لتظهر

جزيئات سكر المالتوز ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ )، وفي الأخير نحصل على الغلوكوز ( $C_6H_{12}O_6$ ) وهو سكر مختزل.

❖ تحليل النشاء باللعاب (حلمأة أنزيمية): يحتوي اللعاب على الأميلاز وهو أنزيم محلل للنشاء، يفك النشاء، بوجود جزيئات الماء، إلى سكر المالتوز (سكر شعير).

**2. تحليل البروتينات في الجهاز الهضمي:**

- ❖ حلمأة البروتينات بـ الببسين (وهو إنزيم موجود في المعدة) عبارة عن تفكيك الروابط الببتيدية المنتمية إلى الأحماض الأمينية العطرية كـ التيروسين (Tyr) والفنيل ألانين (Phe) لنحصل على متعدد ببتيد.
- ❖ التريبسين والكيموتريبسين (وهو إنزيم موجود في البنكرياس) تتم عمل الببسين بتفكيك متعدد الببتيد والبروتينات إلى ببتيدات صغيرة وأحماض أمينية.

**3. عواقب غياب أو نقص إنزيم على النشاطات الأيضية:**

- ❖ نقص أو غياب أنزيم فنيل ألانين هيدروكسيدياز (PAH)، وهو إنزيم يحول الفنيل ألانين إلى تيروزين، يسبب أعراض مرضية تتمثل في اضطرابات في الجهاز العصبي نتيجة تراكم الفنيل ألانين في الدم.
- ❖ غياب نشاط إنزيم Glucose-6-phosphatase، وهو إنزيم أساسي في تحويل الجلوكوز -6- فوسفات إلى جلوكوز داخل خلايا الكبد، وهذا التحويل ضروري لخروج الجلوكوز من الكبد لنقله إلى الأعضاء الأخرى. غياب هذا الإنزيم يسبب أعراض مرضية تتمثل في تضخم الكبد، بسبب تراكم الغليكوجين داخل الكبد، وزيادة حجم الكلى ونقص السكر في الدم.

**III. نوعيات الأنزيمات:**

إن عمل الإنزيم نوعي اتجاه المادة المتفاعلة ونوع التفاعل الكيميائي:

**1. نوعية الأنزيمات اتجاه المادة المتفاعلة:**

- ❖ كل إنزيم يتفاعل مع مادة معينة أو عددا من المواد ذات التركيب الجزيئي المتقارب، فمثلا: إنزيم الأميلاز يتفاعل مع النشاء.
- ❖ تمتلك بعض الأنزيمات نوعية محدودة، مثل إنزيم السكراز لا يتفاعل إلا مع السكروز، بينما تمتلك إنزيمات أخرى نوعية غير محدودة، مثل إنزيم الليباز الذي يتفاعل مع أغلب الغليسيريدات: حيث يحلمئ غليسيريد ثلاثي بوجود الماء إلى غليسيريد ثنائي + حمض النخلين، بينما يحلمئ غليسيريد ثنائي بوجود الماء إلى غليسيريد أحادي + حمض الستياريك.
- ❖ بنفس المادة المتفاعلة قد تكون نتائج التفاعل الكيميائي مختلفة، وهذا لاختلاف نوع الإنزيم: حيث أن الجلوكوز يتفاعل مع إنزيم جلوكوز سنتيتاز ليعطينا الغليكوجين، بينما يتفاعل مع إنزيم جلوكوز أوكسيداز ليعطينا حمض جلوكونيك + ماء أكسجيني.

**2. نوعية الأنزيمات اتجاه التفاعل الكيميائي:**

يختلف التفاعل الكيميائي حسب نوع الإنزيم والمادة المتفاعلة:

- ❖ إنزيم جلوكوز أوكسيداز يؤثر على الجلوكوز عن طريق الأكسدة.
- ❖ إنزيم جلوكوز سنتيتاز يؤثر على الجلوكوز عن طريق التركيب.
- ❖ إنزيم المالتاز يؤثر على المالتوز عن طريق الحلمأة.



IV. النشاط الإنزيمي وعلاقته ببنية الأنزيم:

يحدد نشاط الإنزيم من خلال قياس انخفاض تركيز مادة التفاعل S المتحولة إلى ناتج P، أو قياس زيادة تركيز الناتج P.

1. دراسة سرعة التفاعل الإنزيمي بدلالة كمية الإنزيم وكمية المادة المتفاعلة:

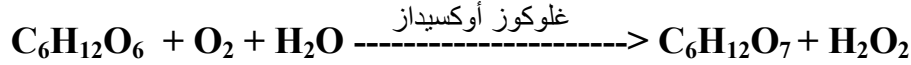
لدراسة سرعة التفاعل الإنزيمي نقوم بتجربة يتم خلالها تغيير في كمية المادة المتفاعلة وترك كمية الإنزيم ثابتة، ونقيس في كل مرة كمية المادة المركبة أو المتحولة في زمن معين. نلاحظ مرحلتين مختلفتين في هذه التجربة:

❖ المرحلة الأولى: تزداد فيها سرعة التفاعل بازدياد تركيز المادة المتفاعلة في الوسط إلى أن تصل إلى قيمة قصوى  $V_{max}$ ، أي أنه في هذه المرحلة تركيز المادة المتفاعلة هو العامل المحدد لسرعة التفاعل لأن كمية المادة أقل من كمية الإنزيم في الوسط.

❖ المرحلة الثانية: تصبح سرعة التفاعل ثابتة ( $V_{max}$ )، أي أن كمية الإنزيم في الوسط هي العامل المحدد لسرعة التفاعل، وبما أن كمية المادة المتفاعلة تصبح أكثر من كمية الإنزيم فإن جميع الأنزيمات تكون منشغلة، لذلك يجب زيادة كمية الإنزيم لتركيب أو تحويل المادة المتفاعلة الزائدة وبالتالي زيادة سرعة التفاعل.

2. دراسة سرعة التفاعل بدلالة وجود أو غياب الإنزيم:

لتحقيق هذه الدراسة نقوم بدراسة تأثير إنزيم غلوكوز أوكسيداز على الغلوكوز، حيث يتم تفكيك الغلوكوز بوجود الماء والأكسجين ليعطي حمض الغلوكونيك و الماء الأكسجيني حسب المعادلة التالية:



في مفاعل حيوي يحتوي على الغلوكوز بتركيز معين وفي درجة حرارة 37°م و  $\text{PH} = 7$ ،

يتم حساب تركيز أكسجين الوسط في أزمنة معينة. بعد مرور 20 ثا يحقن 0,1 مل من محلول غلوكوز أوكسيداز. وفي هذه التجربة أيضا نلاحظ مرحلتين مختلفتين:

❖ المرحلة الأولى: انخفاض تركيز الأكسجين ببطيء ويكاد يكون منعدما أي أن التفاعل يتم فيها ببطء شديد (أو لا يتم) لغياب الأنزيم الفعال.

❖ المرحلة الثانية: نلاحظ انخفاض سريع في تركيز الأكسجين. يدل هذا الانخفاض على حدوث التفاعل المبين في المعادلة السابقة. أي أنه في وجود الإنزيم تزداد سرعة التفاعل.

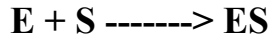
3. تأثير إنزيم غلوكوز أوكسيداز على ثلاث جزيئات سكرية مختلفة:

في هذه التجربة، نضيف إنزيم غلوكوز أوكسيداز إلى 3 أوساط تحتوي على سكريات سداسية مختلفة (غلوكوز، غلاكتوز، فركتوز)، ولهذه السكريات نفس الصيغة الكيميائية  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  لكنها لا تملك نفس البنية. نعاير كمية الأكسجين المستهلكة فنلاحظ استهلاكه فقط في الوسط الذي يحتوي على الغلوكوز، وهذا دليل على أن التفاعل الإنزيمي لم يحدث في الأوساط الأخرى.

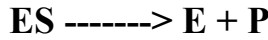
نستنتج من هذه التجربة أن عمل الإنزيم نوعي، أو بصفة أخرى يمكننا القول أنه يوجد تخصص وظيفي للأنزيمات، وهذا التخصص من أهم مميزات الأنزيمات.

V. التفاعل الإنزيمي:

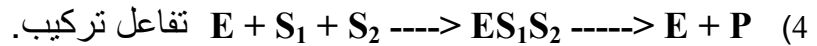
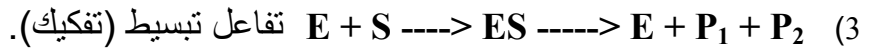
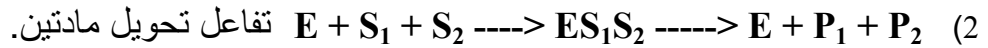
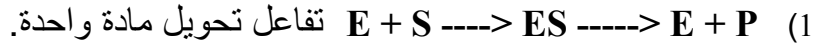
- ❖ الأنزيمات هي بروتينات ضخمة تتكون من تسلسل عدد وترتيب معين من الأحماض الأمينية مرتبطة مع بعضها البعض بروابط ببتيدية.
- ❖ لكل إنزيم موقع فعال يوافق تماما مادة التفاعل الخاصة به، وهذا الموقع الفعال يوجد على سطح الإنزيم ويمتد نحو الداخل ضمن منطقة ذات شكل هندسي معين وثابت.
- ❖ يوجد توافق بين الموقع الفعال للإنزيم ومادة التفاعل يشبه توافق القفل والمفتاح.
- ❖ نتيجة التكامل البنيوي بين الموقع الفعال ومادة التفاعل، يتفاعل الإنزيم E مع مادة التفاعل S، فيتشكل مركب إنزيم-مادة التفاعل ES:



- ❖ يؤثر الإنزيم على مادة التفاعل فتتحول أو تتبسط ويتم تحرير المادة الناتجة P وعودة الإنزيم إلى بنيته السابقة E (الوثيقة 7 ص 65):



- ❖ رغم أن الأنزيمات تنشط أنواع مختلفة من التفاعلات، إلا أن جميعها يعتمد تأثيره على تشكل معقد إنزيم-مادة التفاعل ES حسب الأشكال التالية:

VI. العوامل المؤثرة في التفاعل الإنزيمي:1. درجة الحرارة:

- ❖ تؤثر درجة الحرارة على نشاط الإنزيم، فلكل إنزيم درجة حرارة مثلى يبلغ عندها نشاطه الأقصى (37°م عند الإنسان)، ولكي يتم التفاعل بسرعة يلزم أن يكون هناك عدد كاف من الاصطدامات الجزيئية بين جزيئات المادة وأيونات الماء، وكلما ارتفعت درجة الحرارة ازداد عدد الاصطدامات.

❖ عند 0°م يتوقف عمل الإنزيم (نتيجة توقف الاصطدامات).

- ❖ كلما ارتفعت (أو انخفضت) درجة الحرارة عن الدرجة المثلى، انخفض تدريجيا النشاط الإنزيمي.
- ❖ عند مجال حرارة مرتفع (يختلف باختلاف الإنزيم) يتخرب الإنزيم تخريبا غير عكسي نتيجة انكسار بعض الروابط التي تشكل تطوره الثلاثي الأبعاد، وبالتالي يفقد الإنزيم فعاليته.

2. درجة PH الوسط:

- ❖ تؤثر درجة حموضة الوسط على شحنة السلاسل الجانبية للأحماض الأمينية وخاصة تلك الموجودة في الموقع الفعال للإنزيم فتتغير بنيته مما يمنع حدوث التكامل البنيوي بين المجموعات الكيميائية للإنزيم في الموقع الفعال والمجموعات الكيميائية لمادة التفاعل (الوثيقة 2 ص 68).

- ❖ لكل إنزيم درجة PH مثلى يبلغ عندها نشاطه الأقصى (تختلف من إنزيم لآخر).
- ❖ تنخفض فعالية الإنزيم كلما زادت (أو قلت) حموضة الوسط عن القيمة المثلى.



**VII. مكونات الإنزيمات:**

- ❖ الأنزيمات مواد بروتينية تتكون من سلسلة أو عدة سلاسل بروتينية.
- ❖ بعض الأنزيمات ترتبط بمكونات أخرى غير بروتينية لتتمكن من أداء عملها، وتسمى هذه المكونات بـ "العوامل المرافقة".
- ❖ بعض هذه العوامل توجد على شكل أيونات مثل: الحديد، المغنسيوم والنحاس. وهي تقوم بربط الإنزيم بالمادة المتفاعلة لتشكيل المعقد إنزيم-مادة التفاعل ES. والأخرى توجد بشكل مواد عضوية معقدة تسمى "مرافقات الإنزيم" وهي إنزيمات مساعدة.
- ❖ يتكون العديد من هذه الأنزيمات المساعدة من فيتامينات وخاصة فيتامينات B.

