



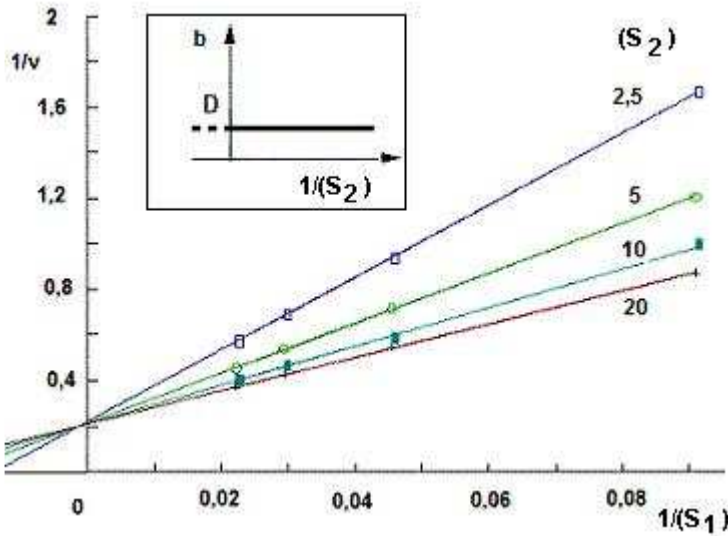
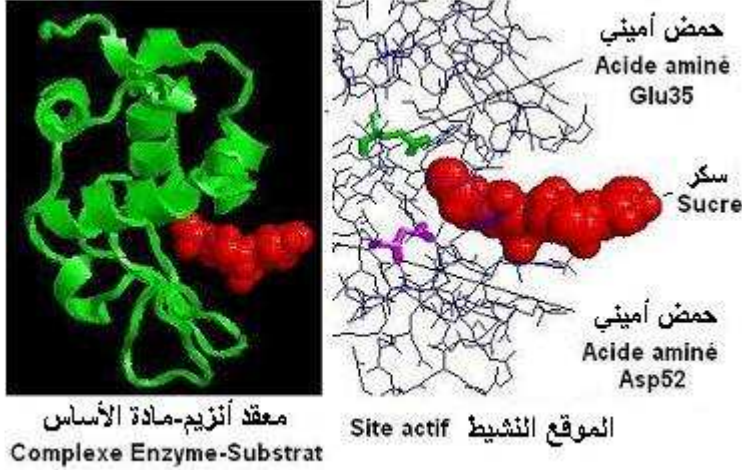
تكوين

الأنزيمات كبروتينات وظيفية Les enzymes comme protéines fonctionnelles

مقتطف من كتاب بروتينات و أنزيمات، م. بعزیز، 2013

Extrait du livre 'Protéines et Enzymes', M. Baaziz, 2013

<https://www.takween.com/transition-secondaire-superieur/protéines-enzymes-sommaire.html>



الأنزيمات (إنزيمات، خمائر) مركبات ذات طبيعة بروتينية تتوسط لتسريع التفاعلات الكيميائية. كلمة أنزيم مشتقة من اليونانية (en داخل و zyme خميرة). حتى اليوم، تم اكتشاف آلاف الأنزيمات استخلصت من كائنات حية مختلفة ذات مصادر نباتية وحيوانية وأحياء دقيقة. قد تحتوي خلية حية واحدة على نحو 1000 أنزيم مختلف، غالبا ما يختص كل واحد منها في تسريع تفاعل كيميائي معين. في المجال الصحي، تكمن أهمية الأنزيمات في كون أن خلايا في أنزيم ما بالجسم قد يتسبب في مرض عضال و للأنزيمات أهمية اقتصادية كبيرة لدخولها في كثير من الصناعات الغذائية وصناعات الأدوية.

الأنزيمات، محفزات بيولوجية.

مقارنة مع المحفزات الكيميائية (Catalyseurs chimiques) مثل عناصر النيكل (Nickel) والفضة (Argent) التي يستعملها الكيميائي في الدفع بانطلاق التفاعلات الكيميائية، تعتبر الأنزيمات

محفزات بيولوجية (catalyseurs biologiques) تلعب دورا طلائعيا في التفاعلات البيولوجية التي تقع على صعيد الخلية، بدون أن تندثر أو تدمج في نواتج التفاعلات (Produits des réactions)، إذ تبقى بدون أي تغير في نهاية التحفيز لتتدخل مرات عديدة متتالية. و تسمى المادة التي يشتغل عليها الأنزيم بالمادة الأساس (Substrat) التي تنجذب للأنزيم لتعطي مركبا منتجا (Complexe productif) لا يلبث أن يفرز نواتج التفاعل.

كملاحظة، تعمل بعض الأحماض النووية الريبوزية (ARN) كمحفزات بيولوجية وتلقب ب الريبوزيمات (Ribozymes)، تتدخل في تشكيل الروابط البيبتيدية. يعتقد أن الريبوزومات (Ribosomes) هي ريبوزيمات كبيرة تضم بعض البروتينات.

تختلف الأنزيمات كمحفزات بيولوجية كثيراً عن المحفزات الكيميائية بعدة صفات، مع العلم أن كلا النوعين يعمل على تسريع التفاعلات و إيصالها إلى حالة التوازن. هكذا، تعمل الأنزيمات في ظروف لطيفة جدا (درجة حرارة منخفضة، ضغط عادي). وبمردودية كبيرة. مثلا، لا يستغرق تفكك البروتينات إلى الأحماض الأمينية بوجود الأنزيمات إلا عشرات الدقائق في درجة حرارة 30 - 40 درجة مئوية، بينما يتطلب تفككها بالمحفزات الكيميائية (أحماض قوية) درجة حرارة تزيد على 100 درجة مئوية لمدة تتراوح بين 24 و 48 ساعة. كذلك، تتميز الأنزيمات عن المحفزات الكيميائية بكون الأنزيم الواحد يتوسط تسريع تفاعل كيميائي واحد، أو زمرة من التفاعلات المتشابهة، عند الاقتضاء. يوجد في جسم الكائن الحي آلاف الأنزيمات، لكل منها مادة خاضعة خاصة تتناسب معها تماما (مادة الأساس). لذلك، يمكن لجزئ أنزيم واحد أن يؤدي عمله كاملا مليون مرة في الدقيقة ويحدث التفاعل بوجود الأنزيم بسرعه تفوق سرعه حدوثه بدون الأنزيم بألاف بل ملايين المرات.

حتى يمكن إعطاء تسمية لكل الأنزيمات التي يتم استخلاصها و اكتشافها، قرر اشتقاق معظم أسمائها من أسماء مواد الأساس (Substrats) التي تتفاعل معها مع إضافة لاحقة ase. هكذا، سمي الأنزيم الذي يحلل النشا من خلال الحلمأة، بالنشواز أو الأميلاز (Amylase) و الأنزيم الذي يقوم بحلمأة البروتينات بالبروتياز (Protéase) و الذي يحلل الدهون تحليلا مائيا بالليباز (Lipase).

أقسام الأنزيمات، انطلاقا من بنيتها

إنطلاقا من بنيتها، تقسم الأنزيمات إلى قسمين:

- أنزيمات بسيطة تتشكل من أحماض أمينية فقط، مثل العديد من أنزيمات الحلمأة (Hydrolyse).
- أنزيمات مزيجة أو مركبة، مؤلفة من جزء بروتيني ومن أطراف إضافية غير بروتينية يطلق عليها إسم 'مجموعة ضميمية' (Groupement prosthétique) و تعرف كذلك بمرافق الأنزيم أو 'تميم الأنزيم' (Coenzyme)، بينما يسمى الطرف البروتيني ب 'ضميم الأنزيم' (Apoenzyme). يجب التذكير أن العديد من مرافقات الأنزيم تتكون من الفيتامينات (فيتامين B، على الخصوص) و نكليوتيدات ريبية معدلة مثل ثنائي النكليوتيد نيكوتيناميد أدنين (Nicotinamide adénine dinucléotide, NAD) و ثنائي النكليوتيد فلافين أدنين (Flavine adénine dinucléotide, FAD). قد يوجد تميم الأنزيم في حالتين، إما مرتبطا تماما بالأنزيم أو ذو قابلية للتفكك عن الأنزيم. في بعض الحالات، تضم الأنزيمات، فلزات (Métaux) مثل المغنيزيوم (Mg) و الحديد (Fe) و النحاس (Cu) و غيرها، كعوامل مرافقة (cofacteurs). عند التسخين المرتفع للأنزيم، يتأثر الجزء البروتيني و تبقى العوامل المرافقة ثابتة.

كمثل للأنزيمات المركبة، نذكر البيروكسيداز (Peroxydase) التي تقوم بأكسدة العديد من المواد بحضور بيروكسيد الهيدروجين (Peroxyde d'hydrogène, H₂O₂). تتكون البيروكسيداز من طرف بروتيني و مجموعة ضميمية غير بروتينية تضم في وسطها ذرة من الحديد (Fe) و تسمى 'هيم' (Hème).

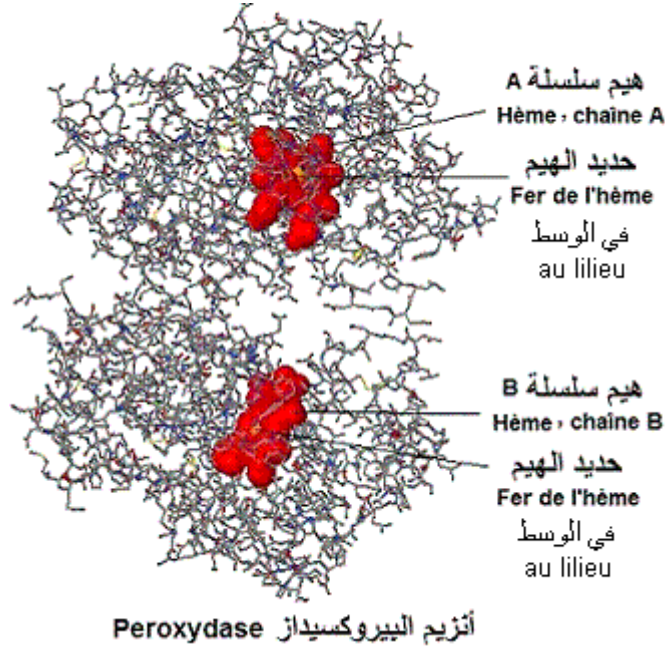
هناك العديد من الأنزيمات تفرز و تشتغل داخل الخلية و هي 'أنزيمات داخل خلوية' (Enzymes intracellulaires) و أخرى تطرح خارج الخلية و تشتغل خارجها و تلقب ب 'أنزيمات خارج خلوية' (Enzymes extracellulaires) مثل أنزيمات الهضم. توجد بعض الأنزيمات على هيئة طلائع عاطلة تدعى مولدات الأنزيم (Zymogènes) أو أنزيمات أولية (Proenzymes)، لا تغدو فعالة إلا عندما يتم تنشيطها بقطع أطراف من سلسلتها البروتينية كما يحدث للعديد من مولدات أنزيمات الهضم مثل الببسينوجين (Pepsinogène) الذي يتحول إلى ببسين (Pepsine) بحلمأة حمضية (حضور حمض الكلورهدري، HCl) في المعدة والبروكاربوبيبتيداز (Procarboxypeptidase) التي تعطي الكاربوبيبتيداز (Carboxypeptidase) في البانكرياس و التريپسينوجين (Trypsinogène) الذي يتحول إلى تريپسين (Trypsine) في البانكرياس، كما هي حالة الكيموتريپسينوجين (Chymotrypsinogène) الذي يعطي الكيموتريپسين (Chymotrypsine).

الموقع النشط (Site actif) في الأنزيم

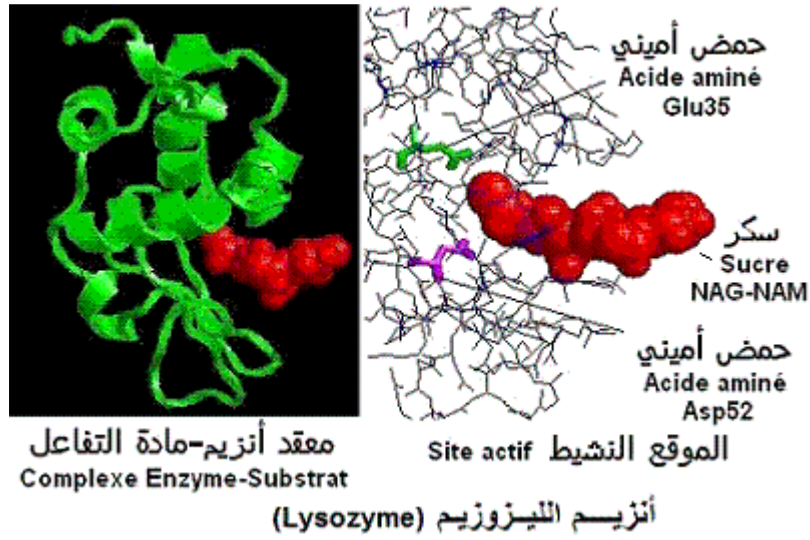
تحتوي الأنزيمات على موقع فعال يسمى الموقع النشط (Substrat) يوافق تماما الجزيئ الذي يشتغل عليه الأنزيم (المادة الأساس أو مادة تشبهها) توافقا يشبه توافق القفل و المفتاح (Complémentarité clé-serrure). يتكون الموقع النشط من عدد قليل من الأحماض الأمينية (غالبا، 2-4) التي تدخل مباشرة في التفاعل مع المادة الأساس. يلعب طي (Repliement) البروتين دورا رئيسيا في تشكيل الموقع النشط للأنزيم، حيث يقرب الأحماض الأمينية بعضها لبعض. كل هذا يظهر أن نشاط الأنزيمات لا يستدعي بالضرورة تدخل الطرف الأنزيمي بأكمله. قد يزكي هذا المعطى تنشيط العديد من أنزيمات الهضم بقطع أطراف منها بالحلمأة داخل الجسم، زيادة عن الحجم الصغير لمادة الأساس التي تدخل في الارتباط مع الأنزيم الذي يعتبر جزيئا كبيرا أو 'ماكرو جزيئ' (Macromolécule).

كمثل يجسد هذا الوضع نذكر أنزيم الليزوزيم (Lysozyme) الموجود بإفرازات الأنف و الدموع و اللعاب. يقوم الليزوزيم بحلمأة (Hydrolyse) الروابط الجليكوزيدية (Liaisons glycosidiques) في السكريات الموجودة بجدار الخلايا البكتيرية. يتكون الأنزيم من 129 حمض أميني، يأخذ بعد طي البروتين، شكل 'حبة قمح منتفخة'. تلعب البنية الثلاثية للأنزيم دورا هاما في تشكيل الموقع النشط بتقريب الحمض الأميني Glu35 (حمض الجلوتاميك) من الحمض الأميني Asp52 (حمض الأسبارتيك) بمسافة 0,30 nm فقط و جعلهم يتفاعلا مع مادة الأساس (سكر NAG-NAM). يبين الرسم الموالي هذه التفاصيل، كما يمكن استخراج معلومات أخرى بتحميل جزيئ الليزوزيم و دراسته ببرنامج Rastop أو JMOL. مقارنة مع أنزيم البيروكسيداز الذي يلعب فيه الحديد دورا هاما في التحفيز، لا يتطلب الليزوزيم عناصر من هذا القبيل (أنظر الصورتين للمقارنة).

تدقيقا في تركيبة الموقع النشط، للأنزيمات، أظهرت الدراسات أن هذا الأخير يتشكل من موقع للتعرف على مادة الأساس يسمى 'موقع التعرف' (Site de reconnaissance) أو موقع الارتباط (Site de fixation) و موقع آخر يتدخل مباشرة في التحفيز و يلقب الموقع التحفيزي (Site catalytique).



سلسلتي A و B لبيروكسيداز الفجل (Raifort) مع مجموعة الهيم لكل سلسلة تضم ذرة الحديد (Fe^{3+}).



الموقع النشط لأنزيم الليزوزيم يظهر حمض Glu35 و حمض Asp52 بجوار السكر NAG-NAM (مادة الأساس).

الأصناف الرئيسية للأنزيمات

تصنف الأنزيمات إلى ستة أصناف رئيسية:

- صنف EC1: أنزيمات الأكسدة و الاختزال (Oxydo-réductases). الأكسدة تعني إضافة أكسجين أو فقدان هيدروجين أو إلكترون.
- صنف EC2: أنزيمات النقل (Transférases). تقوم بنقل المجموعات الفعالة كمجموعات الأزوت و الكبريت و الفسفور.
- صنف EC3: أنزيمات الحلمأة (Hydrolases). تقوم بهدم مادة الأساس بإضافة جزيئ ماء،

- مثل تحليل المالتوز (Maltose) إلى وحدتين من الجليكوز.
- صنف EC4: أنزيمات الربط (Lyases). تقوم بكسر الروابط الكيميائية (مثل رابطة C-O) بطرق مغايرة للحلماة أو الأكسدة.
 - صنف EC5: أنزيمات التماثل في التركيب أو الأنزيمات المناظرة (Isomérasés). تحفز تفاعلات تؤدي إلى التناظر.
 - صنف EC6: أنزيمات التكوين أو الإصطناع (Ligases) مثل الأنزيمات التي تبني الروابط من نوع C-O أو C-N أو C-C.

Liens utiles روابط :

- Enzymes, Enzymologie. QCM :
- <https://www.takween.com/qcm-enzymes-enzymologie.html>
- <https://www.takween.com/QCM-enzymes-1.html>
- <https://www.takween.com/QCM-enzymes-2.html>
- <https://www.takween.com/QCM/enzymologie-qcm-controle.html>