الانزيمات

النظريات الحديثة في طبيعة عمل الانزيم

لرضوان محمد رضوان

من المشاهدات الملموسة ، ان تفاعلات المركبات العضوية داخل الكائن الحي ، تسير بسرعة حثيثة ، ونحن نعلم ان سرعة هذه التفاعلات داخل المعمل الكيميائي بطيئة جداً . فهذا الفارق الذي نراه بين سرعة التفاعلات العضوية في الاحوال الصناعية كالحرارة والضغط والعوامل المساعدة داخل المعمل، وسرعتها داخل الكائن الحي ، ناشئ من وجود عوامل مساعدة عضوية Organic Catalysts داخل البروتوبلازم الحي يطلق عليها اسم الانزيمات Enzymes فيمكننا القول اذاً ، ان الانزيمات هي عبارة عن المواد التي تكونها الخلايا الحية ، وتكون لها القدرة على احداث تغيرات كيميائية بدون ان تصير هي نفسها جزءاً من المحصول النهائي، اي أنها لا تتحد بالمواد التي يحدث فيها التفاعل الكيميائي ، وبعبارة أخرى هي العوامل المساعدة للمادة الحية

وظاهرة العوامل المساعدة مشاهدة بكثرة في الكيمياء المعدنية والعضوية ، فمثلاً يستخدم ثاني اكسيد المنجنز في تحضير الاكسجين من كلورات البوتاسيوم ، ويساعد البلاتين الاسفنجي على أكسدة ثاني اكسيد الكبريت الى ثالث اكسيد الكبريت في عملية تحضير الحامض الكبريتيك التجاري . ويكون التحليل المائي لسكر القصب الى سكر جلوكوز وفراكتوز بطيئاً جداً في حالة وجود الماء فقط، فاذا ما أضفنا قليلاً من الحامض الكبريتيك أو الحامض الكلوردريك الى المحلول ، ازدادت سرعة التحليل ازدياداً عظيماً ، الى غير ذلك من الامثلة العديدة لهذه المركبات الكيميائية التي تقوم بمساعدة التفاعلات دون ان يكون لها أي نصيب فيها . ويمكننا حصر خواص العوامل المساعدة فيما يلي :—

١ — لا يظهر العامل المساعد كمادة أولية initial ولا كمحصول نهائي end product ، كما ان تركيبه لا يعتريه اي تغير بعد انتهاء التفاعل ٢ — تغير سرعة التفاعل ، وغالباً ما تزداد، وتتناسب سرعة التفاعلات تناسباً طردياً مع المقدار الموجود من العامل المساعد ٣— يلاحظ ان العوامل المساعدة لا تحدث تفاعلاً لا وجود له ، فكل عملها ينحصر في معادلة التفاعل الموجود ، فتزيد

من سرعته بعد ابطائه ، كما ان المقدار الصغير من العامل المساعد يساعد على انتاج مقادير كبيرة من المركبات المطلوبة . وان أغلب خواص الانزيمات تشابه جميع خواص العوامل المساعدة المذكورة وتختلف عنها في كونها تقتل بالحرارة ، ولكل انزيم تأثير خاص في المادة يخالف تأثير اي انزيم آخر في نفس المادة

***

إن اغلب التفاعلات التي تحدثها الانزيمات هي تفاعلات عكسية Reversible ، أي أن التغير الذي تحدثه في مركب ما ، يستمر حتى يصبح المركب الناتج في حالة توازن مع المركب الأول ، ومن هذا يتضح أن الانزيمات لا يقتصر عملها على التحليل المائي فحسب ، بل أنها تقوم أيضاً بأعمال بنائية ، أي انها تبني المواد المعقدة التركيب من مواد أخرى أبسط منها ، فمثلاً انزيم الانفرتاز Invertase يحلل سكر المولت مائياً الى دكستروز ، ثم اذا وضع في محلول مركز من الدكستروز ، فانهُ يبني مقداراً صغيراً من المالتوز الى أن يحدث التوازن

الانزيمات وخواصها العامة

١ — تمتاز الانزيمات بنشاطها الشديد عند توافر العوامل المناسبة ، فالمقدار القليل منها لهُ القدرة على احداث تغير في مقدار من المركب الكيميائي الذي تؤثر فيه ، يعادل وزنهُ مئات المرات ، وذلك بدون أن يتأثر الانزيم ، أي انهُ يبقى على حالته قبل احداث التغير . فمثلاً انزيم الكتالاز Catalase يحلل ٢٣٠ مقدار وزنه من فوق اكسيد الايدروجين الى ماء واكسجين. في وسع الانفرتاز أن يحلل ستة أمثاله في الوزن من سكر القصب الى سكر محول

٢ — معظم الانزيمات غروية التركيب ، أي انها لا تنفذ خلال الأغشية ، وبعض هذه الانزيمات يوجد بداخل الخلايا التي كوّنتها مؤدياً وظائفه الخاصة فلا يمكن استخراجها الاّ بعد اتلاف جدران الخلايا والأنسجة الأخرى التي قد تحيط بها وتسمى Intra-cellular ، والبعض الآخر يوجد على صورة افرازات تفرزها غدد خاصة وتدفع بها الى أعضاء أخرى مثل المعدة والأمعاء في الحيوان ومثل البذور في النبات . وهذه الانزيمات يمكن استخراجها من الأنسجة بواسطة الماء وتسمى Extra-cellular

٣ — لكل انزيم تأثير خاص به Specific effect ، أي يكون له اتجاه خاص في التفاعل ، فيؤثر في مجموعة من المركبات لها تركيب جزيئي متشابه ، ولهذا نشاهد أن لكل مركب انزيماً يختص بتحليله ، ولو أن هناك بعض الانزيمات القليلة مثل انزيم المالتوز Maltase يساعد في التأثير في مجموعات متعددة من مركبات متشابهة

٤ — لدرجة حرارة البيئة التي توجد بها الانزيمات المختلفة تأثيران مهمان : الأول ازدياد سرعة التفاعل بين الانزيم ومركبات البيئة ، مثله في ذلك مثل التفاعلات الكيميائية الأخرى . والثاني تأثير الانزيم نفسه بارتفاع درجة الحرارة ، فكلما ارتفعت الحرارة قلَّ نشاطه وعمله الى أن يتلف تماماً بتأثير الحرارة العالية ، ومعظم الانزيمات يتلف عندما تبلغ درجة الحرارة أقل من درجة الغليان اذا ما كانت في محلول مائي ، ولكن اذا كانت في حالة جافة تكون اكثر مقاومة للحرارة ، فتتحمل ارتفاع درجة الحرارة الى درجة أكبر من الغليان . ومتى قتلت الانزيمات لا يمكن أن يعود اليها نشاطها ثانية ، وتقوم الانزيمات بعملها على الوجه الأكمل على درجات مئوية حرارة مخصوصة ، فالانزيمات التي في أجسام الحيوانات يوافقها درجة حرارة الدم أي ٣٧° سنتجراد ، والانزيمات النباتية تلائمها ٢٥° مئوية

٥ — يزداد نشاط الانزيمات على درجات خاصة من الحموضة والقلوية ، فهي من هذه الناحية شديدة الاحساس جداً ، وهذه الدرجات تختلف كثيراً باختلاف الانزيمات ، وإن اختلافاً ولو كان بسيطاً في التأثير المطلوب Reaction للانزيم يقلل كثيراً من عمله ، وقد يوقف عمله بالكلية فمثلاً إنزيم البيسين (انزيم المعدة) لا يظهر نشاطهُ الا في وجود وسط حامض بسيط ويحد من نشاطه وجود اي أثر قلوي ، وهذا بعكس انزيم الأمعاء — التريسين — فانهُ لا يظهر عمله الا في وسط قلوي . وعلى العموم فان جميع الانزيمات تتلف صفاتها في البيئات ذات القلوية الزائدة او الحموضة العالية

وفيما يلي بعض الانزيمات المهمة وأفضل قيمة لرقم PH بيئة كل منها (اي درجة الحموضة او القلوية)

اسم الانزيم	قيمة رقم PH	اسم الانزيم	قيمة رقم PH
انزيم البكتاز	٤ر٣ — ٦	« اللاكتاز	٤ر٤ — ٥ر٩٨
« الانفرتاز	٤ر٥ — ٧	« البروكسيداز	٥ — ٥ر١
« المالتوز	٦ر٢ — ٦ر٦	« الكتالاز	٦ر٣ — ٧
« الدياستاز	٦ر٥ — ٧		

ويقلل من نشاط الانزيمات ، ولكن لا يشلها ، وجود اي حامض او قلوي تزيد قوته عن $\frac{1}{100}$ (عشر أساسي) ولا يظهر تأثير كل منها الا في وجود مقادير قليلة من أملاح متعادلة خاصة

٦ — الانزيمات تذوب في الماء ، وتترسب بالكحول والاسيتون ، واكثر ما يكون فعلها الكيميائي في الظلام ، اذ أن أشعة الشمس وكذا اشعة الراديوم والاشعة السينية تعطل عملها ؛ وبعض الانزيمات تحتاج الى املاح مخصوصة لكي تنشط في عملها مثل انزيم Benuin يلزم له املاح الكالسيوم

٧ — لا تأثر الانزيمات بالمطهرات ، بينما يتأثر البروتوبلازم به وبذا يضعف نمو الخلية . ومعظم

الانزيمات يتأثر بنتاج التفاعل فمثلاً انزيم الزمازتلف بالكحول اذا ما بلغ تركيزه الى درجة معينة

توجد الانزيمات في كل كائن حي ، حتى في الاحياء الدنيئة مثل البكتريا والفطر والخائر ، فنحن نعلم ان هذه الكائنات تتغذى بالانتشار الغشائي وان المواد التي تتغذى بها يجب ان تكون اولاً ذائبة في الماء خارج الخلية ، وذلك ان تلك الاحياء لا تستطيع ان تتغذى بالمواد السلبة ، ولما كانت الميكروبات تستعمل كثيراً من المواد المعقدة مثل السليولوز والنشا والدهون وغيرها من المركبات التي لا تذوب في الماء ، وعلى ذلك كان لابد لتلك الميكروبات من ان تحدث في هذه المواد تغيرات كيميائية ، حتى تصبح ذائبة فتنتشر في الخلية ، وفعلاً وجد أن للميكروبات القدرة على احداث التغيرات المطلوبة ، ولذا اطلق عليها في بادىء الامر اسم خائرجية Organized ferments ، تمييزاً لها من الخائر غير الحية كالصبر المعدي والمعوي وغيرها ، ثم وجد بعد ذلك ان للميكروبات القدرة على احداث تغيرات كيميائية داخل خليتها بواسطة مواد تشابه تلك التي تفرزها خارج الخلية ، وعلى هذا اطلق على هذه المواد عموماً كلمة انزيم ، وقسمت الانزيمات الى قسمين رئيسيين:

١ — الانزيمات الخارجية : وهي التي تفرز خارج الخلايا ، وتؤثر في المركبات الغذائية المعقدة التي لا تذوب في الماء ، فتحولها الى مواد بسيطة يسهل امتصاصها

٢ — الانزيمات الداخلية : وهي التي تبقى داخل الخلية ، وتحدث التفاعلات الكيميائية في البروتوبلازم لانتاج المجهود وكافة العمليات الناتية ، كما انه يمكنها بعد موت الخلية ان تسبب الاذابة الذاتية Autolysis

يكثر وجود الانزيمات في اعضاء الحيوانات وغددها التي تحدث بها العمليات الحيوية السريعة كما في القناة الهضمية والدم والمخ ، وكذا توجد في جميع الخلايا الحية النباتية فحين انبات البذور مثلاً تحول الانزيمات مواد الاندوسبرم المخزنة الى مواد ذائبة ، وبذا يمكن نقلها الى الاجزاء النامية

ولقد حاول العلماء بشتى الوسائل ان يفصلوا الانزيمات بحالة نقية ، ولكن ذهبت كل تلك المحاولات عبثاً ولم تصادف اي نجاح ، ولذلك فاننا لا نعرف على وجه التحقيق تركيبها الكيميائي ، ولما كانت الانزيمات هلامية التكوين ، فهي لذلك تندمج في البروتينات والكربوايدرات وغيرها ، وبذلك تكتسب خواصها حتى ان كثيراً من الباحثين وصفوا بعض الانزيمات التي درسوها بأنها كربوايدرات ، والبعض الآخر بأنها بروتينات ، ولكن دلت الابحاث الاخيرة ، على انه لو عرضت تلك الانزيمات للمواد التي تحلل الكربوايدرات او البروتينات ، لفقدت كل خواص البروتين او الكربوايدرات دون ان يتعرض نشاطها لتأثيرها . وهذا يفسر لنا ان صفات البروتين او الكربوايدرات التي في بعض الانزيمات انها هي الأصفات مكتسبة وليست هي صفات الانزيمات الاصلية ، ولقد كانت تسمية الانزيمات في بادىء الأمر ترتكز على اعتبار أنها بروتينات ، فقد كانت

الأسماء المعطاة لها منتهية بالحرفين in على نمط بروتين Protein ، فلما ثبت عدم صحة هذه النظرية، اتجه الرأي أخيراً الى تسمية الانزيمات باسماء المركبات التي تؤثر فيها مضافاً اليها المقطع ase (آز) ، فمثلاً يسمى الانزيم الذي يؤثر في السليولوز ، سليولاز والذي يؤثر في الجلوكوز جلوكاز والذي يؤثر في الدهون ليباز وهكذا ، ويطلق على المادة التي يؤثر فيها الانزيم فيحللها مائيًا اويؤكسدها او يحدث بها اي تغير كيماوي آخر اسم Substrate

ومن الانزيمات ما يقوم بعملية التحليل المائي وتسمى هيدرولاز وأخرى تساعد على التأكسد ولسهولة دراسة الانزيمات تقسم الى ثلاثة اقسام رئيسية

تقسيم الانزيمات العلمي

أولاً — انزيمات هيدروليتية ، وهي الانزيمات التي يمكنها أن تحلل المواد المعقدة الى مواد أبسط منها باضافة الماء أي بالتحليل المائي

ثانياً — انزيمات مؤكسدة ومجزئة . فبعضها يؤكسد مركبات مخصوصة بواسطة أكسجين الهواء الجوي، أو الاكسجين المأخوذ من مواد سهلة الاختزال، والبعض الآخر يحدث تغيراً في ترتيب الذرات في داخل الجزيء ، وبذا تنتج اكسدة داخلية وينقسم الجزيء الى جزيئين أو اكثر

ثالثاً — انزيمات مختزلة ، وهي تساعد على الاختزال الذي يحدث دائماً عند ما تبنى المواد الغذائية من مواد بسيطة غير عضوية ، كتكوين السكر من ثاني اكسيد الكربون والماء . والآن سنتكلم عن كل قسم منها بالتفصيل : —

أولاً : (الانزيمات الهيدروليتية) وهي تنقسم الى ثلاثة أقسام

ا — انزيمات تؤثر في المواد الكربوايدراتية

ب — انزيمات تؤثر في المواد البروتينية

ج — انزيمات تؤثر في المواد الدهنية

ا — (الانزيمات التي تؤثر في المواد الكربوايدراتية) : تساعد على انحلالها الى سكريات بسيطة بواسطة التحليل المائي وهي تشتمل على انزيمات عديدة أهمها ما يلي : —

١ — انزيم الكيتاز : وهو الانزيم الذي يذيب المواد الكتينية التي توجد في معظم النباتات مكونة الطبقة الوسطى ، وهذا الانزيم هو العامل الاساسي في تحلل الفطريات ، فهو يؤثر في الكتين في الجدار المتوسط للنبات فيذيبه ، وتكون النتيجة انفصال الخلايا بعضها عن بعض ، وبذا يصبح الطريق تمهداً لدخول الفطر

٢ — انزيما الدياستاز والامليولاز : من اكثر الانزيمات انتشاراً في النباتات، يوجدان في

الحبوب والجذور والدرنات والاوراق وكذا في بعض انواع البكتريا والفطر . ويحلل الدياستاز النشا تحليلاً مائيًّا الى دكسترين ثم الى مالتوز ، واما انزيم الانيولاز فهو يحلل الانيولين الى سكر البيفيولوز

٣ — انزيم الانفرتاز : وهو يشتمل على ثلاثة انواع من الانزيمات المحللة ، وهي انزيم السكراز وهو الخاص بتحليل سكر القصب فيحوله الى دكستروز وليفيولوز ، ثم انزيم الاكتاز ويختص بسكر اللبن فيحوله الى دكستروز وجالكتوز ، وانزيم المالتاز ويحلل سكر المالتوز الى سكر دكستروز . وتوجد هذه الانزيمات في أغلب الخمائر وكذا في الفطر والبكتريا وفي الاوراق والازهار والجذيرات لكل النباتات الراقية . ودرجة حرارتها الملائمة من ٥٠° الى ٥٤° سنتجراد ، وتقتل لو سخنت لدرجة ٧٠° سنتجراد في جو رطب ، ويزيد في حيويتها وجود مقادير قليلة من الاحماض ، ويقلل من نشاطها وجود القلويات

٤ — انزيم السيتاز : ولهُ قدرة عظيمة على تحليل المواد السليولوزية التي تكوّن جزءًا كبيراً من جسم النبات ، ولولا وجود هذا الانزيم ، لتراكمت هذه المواد في الارض في مقادير هائلة ، دون ان يستفيد منها النبات ، او الكائنات الارضية بشيء

ب — ﴿ الانزيمات التي تؤثر في المواد البروتينية ﴾ : وهي الانزيمات التي تحلل المواد البروتينية المعقدة التركيب الى مواد ابسط منها ، وهناك ثلاثة انزيمات مهمة تابعة لهذا القسم هي انزيم البسين ويحلل البروتين الى مواد بپتونية واحياناً الى مواد بپتيدية وهو يحتاج الى بيئة حمضية ، وانزيم الترپسين ويحول البروتين الى پتون واحماض امينية واحياناً الى نوشادر وتلزمهُ بيئة قاعدية ، والانزيم الثالث هو انزيم الاربسين ويشبه في عمله الانزيم الثاني ولكنهُ يفترق عنهُ في كونه يحلل المواد الأقل تعقيداً من البروتين مثل المواد البپتونية . وهناك عدد كبير من الاحياء الدقيقة لهُ القدرة على انتاج أنواع مختلفة من هذه الانزيمات ، ويمكن اختبار ذلك بتنمية الميكروب في بيئة بروتينية مثل الجيلاتين ، فتشاهد حينئذٍ ان الميكروب ينتج انزيماً يذيب الجيلاتين ، مثل هذه الميكروبات يكون لها القدرة في غالب الاحيان على تحليل كازين اللبن ومصل (سيرم) الدم . ويلاحظ ان فعل الانزيمات في البروتينات ، وتحويلها الى مواد بسيطة ، يكون بطيئاً عن التحليل المائي لكربوايدرات او الدهون ، ويرجع سبب ذلك الى تعقيد الجزيئات البروتينية وصعوبة تصييرها الى مركبات سهلة . ويمكن اظهار عمل انزيمات البروتينات في اغلب الخلايا وفي البذور ، بدراسة تأثير مستخرجات هذه الانسجة في البروتينات المذابة واحسن مثل ذلك هو انزيم پروتياز الخميرة

جـ — ﴿ انزيمات تؤثر في المواد الدهنية ﴾ . يمكن لهذه الانزيمات ان تحلل الدهون

بواسطة التحليل المائي ، ويكون المتحصل النهائي عبارة عن احماض دهنية وجليسرين . ويظهر ان انحلال الدهون بواسطة الانزيمات من التفاعلات العكسية وبالاخص في الجليسريد ذات الوزن الجزيئي المنخفض ، وذلك ان الانزيم قد يؤثر على الجليسريد فيقسمه ، او على جليسرين والاحماض الدهنية فيركبها . وهناك بعض انواع البكتريا يمكنها ان تحلل دهن الزبد المسمى ستيارين الى حمض ستياريك وجليسرين . وتوجد الانزيمات المحللة للدهون في الصارات الهاضمة المختلفة وعلى الاخص في البنكرياس وكذا في كثير من النباتات ، وتتحلل الدهون الى حوامضها الدهنية والجليسرين بواسطة البكتريا أيضاً ، واذا ما استمر الانحلال في الحوامض الدهنية والجليسرين باتحادها بالاكسجين بتأثير الانزيمات ، نتجت مركبات ذات روائح كريهة وهو ما يعبر عنه بتزنخ الدهن

ثانياً . (انزيمات مؤكسدة ومجزئة) وهي التي تسبب اتحاد المركبات العضوية بأكسجين الهواء ، وتعتبر أكسدة الكحول الى الحمض الخليك ، من أهم التغيرات التي تحدثها هذه الانزيمات ويطلق عليها اسم Vinegar Oxidase . وأما الانزيمات المجزئة فأهمها انزيم الزيماز ويساعد على التخمير الكحولي بالخمائر ، فتزيد سرعة تحويل السكر السداسي الى كحول وثاني اكسيد الكربون على حسب المعادلة :

سكر سداسي ← كحول الايثيل + ثاني اكسيد الكربون

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$

ويمكن عزل الزيماز دون أن يقتل ، ويظن انهُ أستر Ester للحامض الفوسفوريك ودرجة الحرارة الملائمة لعمل الزيماز هي ٢٨ — ٣٠° م ويقتل لو رفعت درجة الحرارة الى ٤٥ — ٥٠° سنتجراد في المحلول أو ٨٥° سنتجراد اذا كانت جافة

ثالثاً : (انزيمات محللة) ، وأهمها الانزيم المسمى بروكسيداز وهو يحلل ثاني اكسيد الايدروجين الى ماء واكسجين مفرد ، ويوجد هذا الانزيم في جميع النباتات والحيوانات ، وكذا في أغلب انواع البكتريا

***

ولكي لا يتشعب هذا البحث على القارىء ونختلط عليه اسماء الانزيمات ، ذكرنا أهم انواع الانزيمات مرتبة في جدول بحسب قسمها ونوعها (ألحقناهُ بآخر هذا البحث)

[للبحث تتمة]