الفصل السابع

الأنزيمـات

ENZYMES

١ ــ ٧ ــ مقدمة :

الدكتور محمد محمد

الأنزيمات هي مواد عضوية ذات طبيعة بروتينية تصنعها الخلايا الحية لتقوم بتسريع التفاعلات البيوكيميائية في ظروف الخلية من حموضة (pH) وحـرارة وتركيز مواد التفاعل والضغط وغيرها • والأنزيمات لا تتغـير أثنـاء التفاعـل الكيميائي ، فهي تعمل على خفض طاقـة التنشيط الضرورية في بدايـة التفاعـل دون أن تؤثر في ثابت اتزان التفاعل أو في تغيرات الطاقة الحرة (ΔG°) لـه • فالأنزيمات إذن عوامل مساعدة تعمل ، كما يفعل البلاتين في تفاعل الهيدروجـين والأوكسجين ، على تسريع التفاعلات البيوكيميائية على مستوى الخلية بما يتوافق مع متطلبات الجسم • ومن أهم خصائص الأنزيمات نذكر :

١ ــ الكفاية العالية : بوجود الأنزيمات تزداد سرعة التفاعلات البيوكيميائية عدة ملايين • فالجزيء الواحد من الأنزيمات يستطيع تحويل مئات متعددة إلـى ملايين متعددة من جزيئات مادة التفاعل الى نواتج في الدقيقة الواحدة ، فالأنزيمات لا تستهلك خلال التفاعل وإنما تعمل كوسيط فقط كما يتضح من التفاعل التالي :

انزيم [E] + مادة التفاعل [S]

(1) ↗↙

[ES] معقد الانزيم ومادة التفاعل

(2) ↘

انزيم [E] + ناتج التفاعل [A]

٢ ــ التخصص : تتميز الأنزيمات عن غيرها من العوامل المساعدة بتخصصها

الدقيق في تسيير التفاعلات البيوكيميائية • فكل أنزيم يقوم بتسريع تفاعل محدد وثابت أو مجموعة من التفاعلات المحددة والمتشابهة دون سواها •

٣ ــ الدقة : تتميز الأنزيمات عن الوسائط المعدنية بدقتها الفائقة في تسيير التفاعلات البيوكيميائية وتحويل مادة التفاعل أو مواد الى نواتج نقية خالية من أي أثر للشوائب •

٧ ــ ٢ ــ بنية الأنزيمات :

تختلف الأنزيمات فيما بينها حسب بنيتها أو تركيبها • فالأنزيمات المعروفة تتكون أساساً من بروتينات ولو أن بعضها يضم في تركيبه جزءاً غير بروتيني ضرورياً لنشاطه • ولذلك يمكن تقسيم الأنزيمات حسب بنيتها الكيميائية إلى قسمين رئيسيين :

أولاً ــ الأنزيمات البسيطة أحادية التركيب : وهي الأنزيمات المكونة من سلسلة ببتيدية واحدة تحتوي في تركيبها على المركز الفعال الخاص بنشاط الأنزيم •

ثانياً : الأنزيمات المركبة : وهي الأنزيمات ثنائية التركيب ، أي التي تتكون من جزء بروتيني مرتبط مع جزء آخر غير بروتيني • ولا يكون الأنزيم فعالاً إلا إذا ارتبط الجزءان معاً • ويطلق على الجزء البروتيني اسم أبو أنزيم (Apo - Enzyme) كما يطلق على الجزء غير البروتيني اسم العامل المشارك (Co - Facteur) • أما الأنزيم المكتمل فيطلق عليه اسم هولو أنزيم (Holo - Enzyme) •

العامل المشارك يمكن أن يكون أحد المركبات التالية :

١ ــ المجموعة المرتبطة Prosthétique groupe : وهي مركب عضوي غير بروتيني مرتبط بقوة ببروتين الأنزيم •

٢ ــ مرافق الأنزيم Co - enzyme : وهو مادة عضوية غير بروتينية غالباً ما يدخل في تركيبها أحد الفيتامينات • وهي على نوعين فبعضها مرتبط بقوة ببروتين الأنزيم بينما يكون بعضها الآخر ضعيف الارتباط ومرافقات الأنزيمات

تعمل بشكل عام كمستقبل أو كمعطٍ للالكترونات أو الـذرات أو المجموعـات الوظيفية التي يتم نقلها خلال التفاعل الكيميائي .

٣ ــ شاردة معدنية : تتطلب بعض الأنزيمات لنشاطهـا وجـود شاردة أو شوارد معدنية معينة خاصة بكل أنزيم على حدة . والشاردة المعدنية قـد تكون مرتبطة بقوة بالهيلكس البروتيني أو تكون ضعيفة الارتباط ، وهذا يتوقف عـلى نوع الأنزيم .

٧ ــ ٣ ــ أقسام الأنزيمات والعوامل المؤثرة على نشاطها :

بناء على توصيات الاتحاد الدولي للكيمياء الحيوية لعام ١٩٦١ فقد صنفت الأنزيمات تبعاً لنوع التفاعل الأنزيمي وآليته إلى ست مجموعات رئيسة تحوي كل منها من ٤ــ١٣ تحت وحدة . وكل أنزيم يأخذ رموزاً رقمية مؤلفة من أربعة أرقام بحيث يشير الرقم الأول الى المجموعة التي ينتمي إليها الأنزيم بينما يشير الرقمـان الثاني والثالث الى آلية عمل الأنزيم ومجال تخصصه ودور مرافق الأنزيم في حال وجوده أما الرقم الرابع فيشير إلى رقم الأنزيم في المجموعة . ونورد فيمـا يـلي المجموعات الست الرئيسة للأنزيمات :

١ ــ الأنزيمات المؤكسدة ــ المرجعة E. Oxidoreductases

٢ ــ الأنزيمات الناقلة E. Transférases

٣ ــ أنزيمات الحلمأة E. Hydrolases

٤ ــ أنزيمات التفكيك E. Lyases

٥ ــ أنزيمات التماكب E. Isomérases

٦ ــ أنزيمات الربط (الصانعة) E. Ligases

ونظراً للطبيعة البروتينية لتركيب الأنزيمات فهي معرضة لفقد القدرة عـلى القيام بوظائفها الحيوية عندما يتغير تركيبها الطبيعي ، ومن أهم العوامل المؤثرة في نشاطها نذكر :

١ ــ الحرارة : وكما هو الحال في معظم التفاعلات الكيميائية فان سرعة التفاعلات الأنزيمية تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة ضمن المجال الحراري الذي يكون فيه الأنزيم ثابتاً ومحتفظاً بكامل فعاليته • وقد تبين أن لكل أنزيم درجة حرارة مثلى يكون عندها نشاط الأنزيم أعلى مايمكن • ويقل النشاط وبالتالي سرعة التفاعل الأنزيمي كلما ابتعدنا عن درجة حرارته المثلى وهذا ما يفسر بقاء الأغذية المبردة بدون فساد فترة طويلة من الزمن لعدم ملاءمة درجات الحرارة المنخفضة لنمو أنزيمات بكتريا الفساد ونشاطها من جهة أخرى فان درجات الحرارة المرتفعة (أعلى من ٦٠ ــ ٧٠° م) تسبب تغير المركب الطبيعي لبروتين الأنزيم وتؤدي بالتالي الى انعدام نشاطه بشكل غير عكسي • وتقع درجة الحرارة المثلى لمعظم الأنزيمات مابين (٢٠ ــ ٤٠° م)•

إن هذا التأثير للحرارة في ثبات التركيب الطبيعي للانزيم وبالتالي في مدى فعاليته ونشاطه يبين لنا مدى أهمية العمل مع درجة الحرارة المثلى والملائمة لثبات الأنزيم ونشاطه والتي تختلف من أنزيم لآخر •

٢ ــ تركيز ايون الهيدروجين (pH) : تعتمد الفعالية الأنزيمية على وجود بعض المجموعات الوظيفية للاحماض الأمينية في المركز الفعال للانزيم بدرجة معينة من التأين أو التشرد • فإذا اختل ذلك بسبب تغير تركيز ايون الهيدروجين زيادة أو نقصاناً قل نشاط الأنزيم • ويمكن حصر تأثير تركيز ايون الهيدروجين في النشاط الأنزيمي في ثلاثة اتجاهات :

آ ــ درجات الحموضة المتطرفة تسبب تبدلاً هاماً في البنية الفراغية للأنزيم مع إحداث تخرب غير عكسي ينعكس على نشاطه •

ب ــ درجات الحموضة تؤثر بشكل مباشر في حالة تأين مادة التفاعل ومدى ملاءمتها لعمل الأنزيم •

جـ ــ درجات الحموضة تؤثر بشكل مباشر في حالة تأين الأنزيم •

يتضح مما تقدم أن لكل أنزيم درجة pH مثلى يكون نشاطه عندها أعلى

ما يمكن • فأغلب الأنزيمات تكون ثابتة إلى حد ما في درجات الحموضة المعتدلة والقريبة منها (pH = ٦ – ٨) ، وتتخرب وتفقد فعاليتها في درجات الحموضة المتطرفة (حمضية أم قلوية) • غير أن درجة الحموضة المثلى تختلف باختلاف الأنزيم ، فهي تقع قرب الوسط المتعادل بالنسبة لمعظم الأنزيمات كما يمكن أن تكون حمضية جداً بالنسبة لبعض الأنزيمات (مثل أنزيم الببسين Pepsine حيث درجة الـ pH المثلى ١٫٥ – ٢) أو قلوية جداً بالنسبة لبعضها الآخر (مثل أنزيم أرجيناز Arginase حيث درجة الـ pH المثلى ٩٫٥ – ١٠)•

إن هذا التأثير لدرجة الحموضة يبين مدى أهمية وسط التفاعل من أجل دراسة التفاعلات الأنزيمية داخل الخلية (invivo) وخارجها (invitro) ومدى انعكاس ذلك على تصنيع المنتجات الغذائية وجودتها •

٣ – تأثير المنشطات : تحتاج بعض الأنزيمات الى عوامل اضافية لنشاطها بينما يعمل بعضها الآخر كعامل مساعد في تسريع التفاعلات البيوكيميائية دون الحاجة الى أية عوامل إضافية • ونذكر على سبيل المثال أن نشاط بعض الأنزيمات يتوقف على وجود مجموعات السلفهيدريل (SH–) الحرة في مراكزها الفعالة• ونظراً لقابلية هذه المجموعات الوظيفية للتأكسد بسهولة إلى ثنائي السلفيد (–S–S–) الأمر الذي ينعكس سلبياً على نشاط الأنزيم • ولكي يستعيد الأنزيم نشاطه لا بد من توافر مادة مختزلة مناسبة تعيد تكوين مجموعة SH– .

وكما سبق وأشرنا في سياق حديثنا عن بنية الانزيمات أن بعض الأنزيمات تحتاج لنشاطها الى وجود مادة عضوية تدعى مرافق الانزيم (Co-enzyme) . كما يحتاج بعضها الآخر الى وجود شاردة معدنية أو أكثر تساعد بروتين الأنزيم على اتخاذ شكله الفراغي النشط كما قد تساهم في ربط الأنزيمات مع مرافقاتها أو مع مادة التفاعل •

٤ – تأثير المثبطات : تعمل بعض المواد ، كالسموم والمضادات الحيوية وبعض الأدوية ، كمثبطات أنزيمية تعيق الأنزيمات أو تمنعها من القيام بعملها •

وهذا النوع من التثبيط يدعى بالتثبيط غير التنافسي وذلك لارتباط المثبط بالمراكز الفعالة للانزيم ارتباطاً غير عكسي يحدث بنتيجته تغير في تركيب تلك المراكز . ويجب أن نميز هذا النوع من التثبيط عن النوع الآخر من التثبيط والذي يدعى بالتثبيط التنافسي والذي تكون فيه مادة التفاعل مشابهة في تركيبها بالمادة المثبطة بحيث لا يستطيع الأنزيم التفريق بينهما ، ويمكن التغلب على هذا النوع من التثبيط بزيادة تركيز مادة التفاعل .

٧ ـ ٤ ـ أهمية الانزيمات في الخضار والفاكهة :

تحتل أنزيمات الخضار والفاكهة بشتى أنواعها أهمية كبيرة في تسيير معظم التفاعلات البيوكيميائية على مستوى الخلية . فبعد مرحلة القطاف تنشط عمليات التنفس والاحتراق المؤدية بعد فترة تخزين قصيرة أو طويلة (بحسب نوع المادة ودرجة حرارة ورطوبة مكان التخزين) إلى إكمال نضج الفاكهة ذات القوام الصلب مثل التفاح والاجاص والسفرجل والأناناس والموز وغيرها وهذا مانسميه التغيرات الأنزيمية المرغوبة . أما فيما يتعلق بالثمار ذات القوام اللين مثل الفريز والتوت وغيرها فان عمليات التنفس والاحتراق الحاصلين تؤديان الى تفكك المكونات الرئيسة الداخلة في تركيبها وتحطمها مثل السكريات والبروتينات والدهون والفيتامينات ومركبات التذوق الهامة مثل الأحماض العضوية ومواد النكهة إضافة إلى الصبغات الملونة . كما تتحطم في المراحل المتقدمة المركبات المسؤولة عن قوام الخضار والفاكهة مثل السيللوز والهيمي سيللوز والمركبات البكتينية، فالعمليات الأنزيمية الحاصلة في هذه الحالة تدعى بالتفاعلات الأنزيمية غير المرغوبة. ومن هنا يبرز دورنا الهام في الحفاظ على التغيرات الأنزيمية المرغوبة خلال فترة تخزين محددة وثابتة والعمل ما أمكن على تخفيف العمليات الأنزيمية غير المرغوبة في حدودها الدنيا من خلال التحكم بالشروط سابقة الذكر بما يتلائم وقوام المادة الغذائية . وللوصول الى الهدف المنشود ينصح بتصنيع المواد ذات القوام اللين خلال فترة زمنية لا تتجاوز ١٤ ساعة من لحظة قطافها أو من لحظة خروجها من البراد. أما المواد ذات القوام الصلب فيمكن تصنيعها دون حدوث أي خلل يذكر بعد مضي

ثلاثة أيام على الأكثر من لحظة قطافها أو لحظة خروجها من البراد • وفي حال تعذر القيام بعمليات التصنيع يجب تخزينها في شروط تبريد قد تصل الى -١٨° م حسب فترة التخزين المطلوبة لبدء عمليات التصنيع الغذائي •

وتجدر الإشارة إلى أن ظاهرة الاسمرار الأنزيمي الملاحظة في بعض الخضار والفاكهة الغنية بالمركبات الفينولية تندرج تحت قائمة التفاعلات الأنزيمية غير المرغوبة (انظر فصل تفاعل الاسمرار) •

٧ ــ ٥ ــ استخدام الانزيمات في مجال الصناعات الغذائية :

تحتل تكنولوجيا الأنزيمات في وقتنا الحاضر دوراً هاماً في مجال التصنيع الغذائي ، وقد توصل الباحثون في هذا المجال إلى إجراء الكثير من التطبيقات الصناعية انطلاقاً من مجموعة محددة من التفاعلات الانزيمية • ومن أهم هذه التطبيقات الصناعية نجد :

١ ــ تحسين تفاعلات التخمر من حيث النوعية ومردود الناتج النهائي •

٢ ــ تحسين قوام الكثير من المنتجات الغذائية بما يتلاءم ومتطلبات المستهلك •

٣ ــ تحسين هضم المواد الغذائية صعبة الهضم وتسهيله •

٤ ــ تحسين الخواص الذوقية للمواد الغذائية •

٥ ــ خفض اللزوجة غير المرغوب منها في بعض المواد الغذائية •

٦ ــ زيادة قوة التحلية في المواد السكرية •

٧ ــ تطبيقات صناعية أخرى •

إن مجموعة التحولات المذكورة أعلاه تتم بمساعدة أنزيمات الحلمأة (أو التحلل المائي) التي تعمل بمفردها دون الحاجة الى أية عوامل إضافية مساعدة • ومن أهم ما تتميز به هذه التفاعلات عدم حاجتها الى طاقة خارجية لتسريعها وذلك بسبب كونها من التفاعلات الناشرة للطاقة (Exergonique) . تنشأ هذه الطاقة

المتحررة عن طاقة الروابط التي تحلمؤها • ولعل أهم الصناعات الغذائية المعتمدة على التفاعلات الأنزيمية هي صناعة الجلوكوز انطلاقاً من مركبات معقدة مثل النشاء • وسوف نتعرض الى مجمل التحولات البيوكيميائية المؤدية إلى صناعة الجلوكوز بشيء من التفصيل إضافة إلى صناعة كحول الايثانول بوساطة الخمائر•

٧ ــ ٥ ــ ١ ــ صناعة الجلوكوز انزيمياً :

يعود استخدام النشاء كمادة أولية من أجل تحضير محاليل سكرية الى بداية القرن التاسع عشر • ويعد العالم الألماني Shiachaff G. عام ١٨١١ أول من أشار إلى وجود بعض الخواص السكرية لمستخلصات النشاء بعد معاملتها بالحرارة في وسط حمضي (حمض الكبريت الممدد) • وفي عام ١٨٥٠ شهدت صناعة الجلوكوز انطلاقة جديدة في الولايات المتحدة الامريكية تعتمد على تقانة الحلمأة الحمضية للنشاء بوساطة حمض الكبريت الممدد • وفي عام ١٨٩٤ تم لأول مرة اكتشاف أنزيم فطري قادر على حلمأة النشاء بعيداً عن تقانات الحلمأة الحمضية فأطلق عليه اسم « الأميلاز الفطري » •. وفي عام ١٩١٧ توصل الباحثون الى اكتشاف أنزيم بكتيري قادر على القيام بتفاعل الحلمأة السابقة • ومع ذلك فان تقانة حلمأة النشاء بوساطة الأنزيمات لم تأخذ مداها الصناعي إلا بعد الحرب العالمية الثانية •

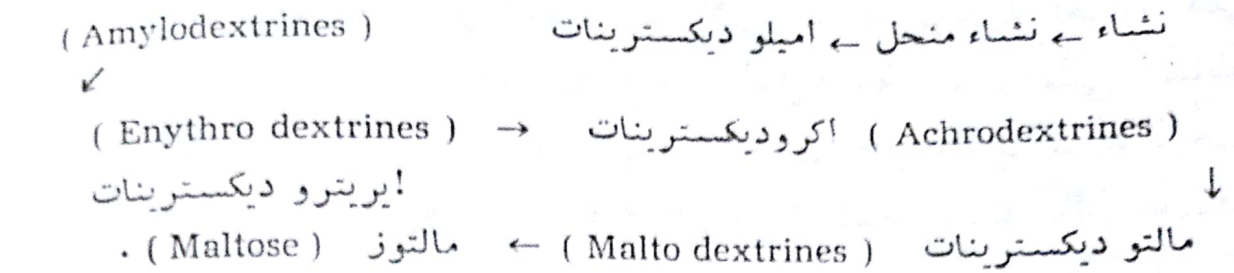
تعد أنزيمات الاميلاز (Amylases) من أهم الانزيمات التي تقوم بالتحلل المائي للسكريات المعقدة وفي مقدمتها النشاء من أجل انتاج الجلوكوز • وهذه الأنزيمات تتبع من حيث بنيتها وآلية عملها مجموعة أنزيمات ألفا جلوكوسيداز ولها نوعان :

T ــ ألفا أميلاز (α-Amylase) : يفرز هذا الأنزيم مع اللعاب ومن غدة البنكرياس كما يوجد في الحبوب النباتية على صورة كامنة • وهو يعمل على تكسير الرابطة (4 → 1) α في وسط جزيئات الاميلوز والاميلوبكتين ولايستطيع تكسير الرابطة (6 → 1) α (انظر فصل الكربوهيدرات) ، وهذا مايفسر ظهور السكريات المركبة المكونة من ست وحدات جلوكوز أو سبع (دكسترينات منخفضة

الوزن الجزيئي) كنواتج لتحلل النشاء بهذا الانزيم • تقع درجة الحرارة المثلى لأنزيمات ألفا أميلاز ما بين (٦٦ ــ ٦٨° م) من أجل درجة حموضة مثلى لنشاطها والتي تقع في حدود (pH = ٥) • ويحدث تخرب كامل للانزيم عند درجة حرارة (٨٠° م) وعند درجة حموضة (٣٫٣) • كما يتثبط نشاطه بتأثير المعادن الثقيلة والسيانيد •

ب ــ بيتا أميلاز (β-Amylase) : يتواجد هذا الأنزيم بكثرة في الحبوب النباتية على صورة كامنة • ويظهر نشاطه بشكل واضح أثناء مرحلة الإنبات وأثناء مرحلة الانضاج • يتمركز هذا الأنزيم في طبقات الاندوسبرم الخارجية وفي الفلقة وبقية أجزاء الاندوسبرم ولا يوجد في طبقات الأليرون • وهو يعمل على فصل جزيئين من الجلوكوز (جزيء مالتوز) في كل مرة من الطرف الخارجي غير المختزل لسلسلة السكر العديد فينتج المالتوز • وبذلك يمكن لهذه الأنزيمات تحليل الاميلوز بشكل كامل الى مالتوز • أما الاميلوبكتين فلا يتحلل سوى نصفه تقريباً لأن هذه الأنزيمات كسابقتها لا تستطيع تحليل الرابطة $\alpha(1 \rightarrow 6)$ • وبذلك فان نواتج تحلل النشاء بهذا الانزيم هي كمية كبيرة من المالتوز وكمية قليلة من الدكسترينات المتشعبة مرتفعة الوزن الجزيئي • تقع درجة الحرارة المثلى لأنزيمات بيتا أميلاز مابين (٥٠ ــ ٥١° م) من أجل درجة حموضة مثلى لنشاطها والتي تقع في حدود (pH = ٥) في كل من القمح والشعير وفي حدود pH = ٤) في حبوب الشيلم • أما من حيث تأثير درجات الحرارة المرتفعة في نشاط بيتا أميلاز فقد تبين أن تسخين محلول الانزيم على درجة حرارة (٦٠°م) يعد كافياً لتثبيطه • كما يمكن تخريبه بشكل كامل على درجة حرارة (٧٠° م) لمدة ١٥ دقيقة •

إن تحقيق الظروف المثلى لنشاط أنزيمات الأميلاز ينعكس بالضرورة على تنشيط التحولات البيوكيميائية لمادة النشاء وعلى مردود المنتج النهائي (المالتوز)• ونورد فيما يلي ملخصاً توضيحياً لمجمل التحولات الأنزيمية لمادة النشاء بفعل الأميلاز :



وتبدي هذه الديكسترينات المتشكلة اختلافات في أوزانها الجزيئية وأشكالها وخواصها الكيميائية وسلوكها تجاه اليود . أما المالتوز المتشكل بفعل التحولات الأنزيمية السابقة فيخضع بدوره الى تفاعل حلمهة بتأثير أنزيم المالتاز (Maltase) الذي يعمل على حلمهة الرابطة (4 → 1) α لإعطاء جزيئين من الجلوكوز .

إن أنزيمات الأميلاز بوعيها (ألفا وبيتا أميلاز) غير قادرة على تكسير الرابطة (6 → 1) α في جزيء الأميلوبكتين مما انعكس سلبياً على إمكان استخدام طريقة الحلمأة الأنزيمية للنشاء كبديل عن الحلمأة الحمضية في مجال الانتاج الصناعي لسكر الجلوكوز . وفي عام ١٩٥٠ تم اكتشاف أميلاز فطري قادر على تكسير الرابطة (6 → 1) α في جزيء الاميلوبكتين إضافة الى قدرته على تكسير الرابطة (4 → 1) α . وبفضل الفعالية المزدوجة لهذا الأنزيم فقد لجأ الباحثون في أوائل الستينات الى ربط هذا الأنزيم ، الذي يدعى أميلوز ــ جلوكوزيداز الفطري ، بأنزيمات الاميلاز آنفة الذكر لاستنباط طريقة مبتكرة في إنتاج الجلوكوز صناعياً انطلاقاً من الحلمهة الأنزيمية للنشاء . هذه الطريقة الجديدة دعيت فيما بعد بطريقة (أنزيم ــ أنزيم) وقد انتشر استخدامها على نطاق واسع ، حيث حلت ، على مراحل متدرجة ، مكان الطريقة التقليدية المعتمدة على الحلمهة الحمضية للنشاء لإنتاج الجلوكوز على المستوى الصناعي ، وأدت بالتالي الى الحصول على سيروب من الجلوكوز النقي الخالي من أي تلوث بآثار حمض الكبريت الممدد كما في الطريقة التقليدية .

ومنذ حين توالت الأبحاث لاكتشاف أنواع جديدة من أنزيمات الاميلاز بما يتلاءم والظروف المحيطة بصناعة الجلوكوز انطلاقاً من النشاء. وقد توصل الباحثون

الى اكتشاف أنواع جديدة من أنزيمات الأميلاز واستخلاصها من مصادر مختلفة ذات شروط مثلى لنشاطها على درجة معينة من التباين بحيث تمكّن المختصين في هذا المجال من حسن الاختيار بما يتوافق مع طريقة التصنيع المعتمدة • ونورد فيما يلي أهم هذه الأنزيمات ومصادر الحصول عليها مع فكرة مبسطة عن أهم خصائصها بحيث تمكننا من فهم دورها في تفاعل الحلمهة الصناعية وإمكان استخدامها على نطاق تجاري •

(١) **أنزيم ألفا أميلاز الفطري** α (1 → 4) Glucane -4- glucanohydrolase

لقد تم اكتشاف وجود هذا الأنزيم لأول مرة من قبل العالم Takamin عام ١٨٩٤ من فطر Aspergillus Oryzae خلال نموه على الأرز المجفف • ومنذ ذلك الوقت وحتى الآن تم اكتشاف مستخلصات نقية لأنزيمات مشابهة ذات استخدامات صناعية هامة وتحضيرها • ومن خصائص هذا الأنزيم نذكر مايلي :

- درجة الحرارة المثلى أو النطاق من درجات الحرارة المثلى لنشاط هذا الأنزيم تقع ما بين (٥٢ ــ ٥٥° م)•
- درجة الـ pH المثلى له تقع مابين (٥ ــ ٧)•
- ينحصر نشاط هذا الأنزيم في تحطيم الروابط الجلايكوسيدية في وسط جزيئات الأميلوز والأميلو بكتين وليس في أطرافها ولذلك فهو يتبع مجموعة إندو ــ هايدرولاز Endo-hydrolases •

(٢) **أنزيم ألفا أميلاز البكتيري** α (1 → 4) Glucane -4- glucanohydrolase

يتم الحصول على هذا الأنزيم صناعياً من مستعمرات بكتريا Bacillus وهو يتميز بالخصائص التالية :

- مقاوم لدرجات الحرارة العالية •
- درجة الحرارة المثلى أو النطاق من درجات الحرارة المثلى لنشاطه تقع مابين (٧٠ ــ ٩٠° م) مما يزيد من فرص استعمالاته الصناعية •

وفي حال تطبيق الظروف المثلى لنشاط هذا المعقد الأنزيمي يمكن الحصول على نسبة تحويل (حلمهة) تزيد على ٩٠٪ • وسكر المالتوز المنتج بهذه الطريقة يمكن أن يستخدم من أجل تحضير مالتوز بلوري •

(٤) أنزيم أميلو ــ جلوكوزيداز α (1 → 4) Glucane - glucanohydrolase

يعرف هذا الأنزيم أيضاً تحت اسم جلوكوز أميلاز ، أي الانزيم المنتج لسكر الجلوكوز • وتتلخص آلية عمله في مهاجمة النهايات غير المرجعة لسلاسل الاميلوز والاميلوبكتين محرراً بذلك وعلى التوالي وحدات من السكر أحادي ألفا ــ جلوكوز •

من جهة أخرى فقد تبين للباحثين امتلاك هذا الأنزيم نشاطاً ثانوياً يستهدف تحطيم الرابطة **α (1 → 6)** في التفرعات الجانبية لجزيئات الاميلوبكتين إضافة إلى نشاطه الأساسي المتمثل في حلمهة الرابطة α (1 → 4) . وبذلك فقد اكتسب هذا الأنزيم أهمية كبيرة في صناعة الجلوكوز لأنه يسمح بتحويل النشاء إلى جلوكوز بكفاية عالية • وقد تعددت تطبيقاته الصناعية في مجالات متنوعة وفي مقدمتها علوم الأغذية والعلوم الصيدلانية •

يحضر هذا الأنزيم صناعياً من عدد من السلالات الفطرية أهمها Asp. niger وهو يتمتع بالخصائص التالية :

ــ درجة الحرارة المثلى تقع في حدود ٦٠° م •

ــ درجة الـ pH المثلى تقع في حدود ٤٫٥ •

ونظراً لفعالية هذا الأنزيم في تحطيم الرابطة α (1 → 4) في جزيء المالتوز فيمكن استخدامه كبديل عن أنزيم المالتاز في صناعات غذائية متنوعة •

٧ ــ ٥ ــ ٢ ــ صناعة كحول الايثانول ($CH_3 CH_2 OH$) :

يعد كحول الايثانول المركب الرئيس الناتج عن تخمر السكريات أنزيمياً تحت تأثير مجموعة من الخمائر التي تعمل بشكل متعاقب وصولاً الى المنتج النهائي (كحول الايثانول) الذي يشكل بحد ذاته أحد مكونات النكهة في المشروبات