

الكيميائية المستولة عن الحفظ في هذه التوابل فوجد أن أشدها تأثيرا هما ايروثيوسيانات الألايل والكارفاكول Carvacol ثم يليها الدهيد السيناميك وخلات السيناميل Cinnamyl Acetate ثم اثير الاوجينول المشلى Eygenol Methyl Ether واليوكاليبتول .

ح - المواد الكيميائية الحافظة : تؤدي المواد الحافظة الكيميائية Chemical Preservatives إذا أضيفت إلى المواد الغذائية إلى تثبيط نمو الاحياء الدقيقة منها . ويختلف تأثيرها تبعا لنوع المادة ودرجة تركيزها ولأنواع الاحياء الملوثة . وأهم المواد الكيميائية الحافظة التي تستخدم في الصناعة هي حمض الكبريتوز وأملاح السلفيت وحمض البنزويك وأملاح البنزوات خصوصا بنزوات الصوديوم التي تستخدم في عصير الفاكهة وشرابها والساليسيلات وحمض البريونيك وأملاح برويونات الصوديوم والكالسيوم التي تستخدم في صناعة الخبز لمنع نمو العفن الخ وسيقأت الكلام عن هذه المواد . وبعض هذه المواد يكون متطايرا على درجة حرارة الغرفة ، علاوة على إمكانه النفاذ إلى داخل العبوات والأكياس ، ومن أمثلة أكسيد الأيثيلين وأكسيد البروبلين وبروميد الميثايل .

الباب الخامس

الانزيمات التي تحتويها المادة الغذائية طبيعيا

وما تحدثه من تغيرات

لاشك أن فساد الأغذية بفعل الاحياء الدقيقة يعزى إلى تأثير الانزيمات التي تفرزها ، وقد سبق دراسة التغيرات التي تحدث عن نمو هذه الاحياء ، وعلى ذلك فسنتقصر في كلامنا هنا عن التغيرات التي تحدثها

الانزيمات الموجودة طبيعياً في المادة الغذائية . والكثير من هذه الانزيمات تبدأ نشاطها بمجرد فصل المادة الغذائية النباتية عن عائلها ، أو عقب ذبح الحيوان مباشرة ، فتحدث بذلك تغيرات كثيرة قد يعتبر البعض منها مرغوباً في ظروف معينة بينما يعتبر البعض الآخر فساداً في ظروف أخرى فتحول النشا إلى سكر بفعل الانزيمات الديستازية يعتبر في انضاج التفاح مثلاً عملية مرغوبة ، أما إذا حدثت هذه العملية عند تخزين البطاطس فأصبحت حلوة ولينة فإن هذا التغير يعتبر فساداً . والمواد النباتية تستمر خلاياها في الحياة حتى بعد فصلها عن عائلها ، وهي تحتاج في ذلك إلى قدر من الطاقة تحصل عليه نتيجة عمليات التنفس التي تحدث بفعل إنزيمات خاصة تسمى إنزيمات التنفس Respiratory Enzymes ، وقد تحدث عمليات التنفس هذه في وجود الهواء فيسمى التنفس هوائياً Aerobio ، كما أنها قد تحدث في غياب الهواء ويسمى التنفس أذاك تنفساً غير هوائى Anaerobic . وفي التنفس الهوائى يستخدم أكسجين الهواء في عملية التأكسد وينتج عنها ثنائي أكسيد الكربون كما ينتج عنها حرارة قد تؤدي إلى عمليات إنحلالية إضافية في المواد الغذائية مما يسرع في فسادها .

ك ١٢٠ بد ١٠ + ١٦ < ٦ ك ٢ + ٦ بد ١ + ٦٧٧,٢ سعراً

وليس معنى غياب غاز الأكسجين في جميع الحالات وقوف عمليات التنفس فالتفاح والكثيرى وخلاياها تنفس في وجود الأكسجين يمكنها أن تستمر في الحياة لمدة طويلة في جو من الأيدروجين ، وينتج عنها ثنائي أكسيد الكربون مما يؤدي حدوث عملية التنفس غير الهوائى . وهذه الأخيرة تناظر عملية التخمر التي تحدثها بعض الأحياء الدقيقة كالخميرة مثلاً . ومقدرة التنفس غير الهوائى على إنتاج الطاقة ضعيفة إذا قورنت بها في التنفس الهوائى ، ففي عملية التنفس الهوائى يعطى جزئ الجلوكوز مقداراً من الطاقة

يوازي ٢٥ مرة قدر ما يعطيه في حالة التنفس غير الهوائى ، ولذلك كان اعتماد الخلايا على التنفس غير الهوائى كمصدر للطاقة أكثر اتلافا للهابة ، علاوة على أن تجمع ناتجاته يكون له أثره السام على البروتوبلازم . وهناك اعتقاد بوجود علاقة دائمة بين النوعين من التنفس فى الخلايا النباتية الحية ، وأن التنفس غير الهوائى يسبق التنفس الهوائى . والاول يحدث بفعل انزيم الغريماز الذى يؤثر على السكر بطريقة معقدة ليكون مركبات وسطية تتأكسد فى وجود الهواء بفضل إنزيمات التأكسد والاختزال ، وعملية التأكسد هذه عملية معقدة إلا أنها تنتهى بإنتاج ثاى أكسيد الكربون والماء ، أما إذا لم يوجد الهواء فإن عملية التنفس غير الهوائى تستمر لتنتج مواد أخرى يناظر بعضها الكحول الذى يتكون عن عملية التخمر كما تنتج إلى جانب ذلك ثاى أكسيد الكربون . ومعظم الانزيمات النباتية إنزيمات داخلية Endoenzymes ، أو بمعنى آخر تؤدي عملها داخل الخلايا ، وتتوزع الانزيمات فى أجزاء النبات أو أنسجة المختلفة بطريقة غير متساوية ، ولو أنه لا توجد خلية حية تخلو من بعض الانزيمات أو على الأقل من المواد المسؤولة عن هذه الانزيمات مثل الزيموجينات Zymogens ، وأغنى أجزاء النبات فى الانزيمات هى البذور . وفى أغلب الأحيان توجد الانزيمات والمادة المؤثرة عليها Substrate فى نفس الخلية ، وقد توجد الانزيمات فى بعض الأنسجة فى خلايا ملامسة للخلايا المحتوية على المواد التى تؤثر عليها ، فمثلا فى اللوز المر لا يوجد الانزيم والمادة المؤثر عليها فى نفس الخلايا ، ولذلك فإن هرس البذور يؤدي إلى اتصال الاثنين مما يسبب الانحلال المائى للمجلايكوسيد Glycoside الموجود . ومعظم التغيرات التى تحدثها الانزيمات فى المادة الغذائية يكون إما من نوع عمليات الانحلال المائى أو من نوع

عمليات التأكسد ، واذلك فان الانزيمات الايدرو ليتية. والانزيمات المؤكسدة تلعب دورا هاما في الفساد الانزيمى لل مواد الغذائية .

انحلال الكربوهيدرات : في الظروف الملائمة تحلل إنزيمات الاميلازات أو الدياستازات النشا في الحبوب النشوية إلى دكستريانات ، وهذه تتحلل بدورها إلى الملتوز الذى يعتبر في هذه الحالة الناتج النهائى لعملية الانحلال ، وتحتوى الحبوب كالقمح والشعير قبل انباتها على كميات مقبولة من انزيم بيتا اميلاز B- amylase ، أما انزيم الالفاميلاز A-amylase ، فلا يظهر نشاطه وقت الانبات . ويستمر إلبتا أميلاز في نشاطه حتى يصل إلى نهاية عظمى بعد أيام قليلة، بينما يسير نشاط الـ A-amylase ببطء ، ثم يزداد نوعا خلال فترة الإنبات ولكن بعد أن تنشط الأنزيمات البروتيو ليتية . وفي انحلال السكريات يكون لنوعية الانزيم أهمية خاصة ، فالسكر ازن عند تحليله لسكر الرافينوز يفصل الفركتوز عن المليونوز ، ولذلك كثيرا ما يطلق على هذا الانزيم فى النبات اسم الفركتوسيداز B. h. fructosidase لتأثيره على رابطة الفركتوسيد فيفصل سكر الفركتوز، أما إذا حدث انحلال الرافينوز تحت تأثير الامالسين Emulsin فان الجزىء يتحلل إلى جلاكتوز وسكروز . وتحتوى بعض الخناز خصوصا خناز القاع على انزيمين محللين للسكر وهما الملبياز Melibiase والسكراز . واذلك فان هذه الخناز تحلل سكر الرافينوز إلى فركتوز وجلوكوز وجلاكتوز . والانحلال الإنزيمى لثنائية السكريات يكون عادة أسرع وأتم انحلالها من في وجود الحمض ، وينحل سكر اللاكتوز مائيا بفعل انزيم اللاكتوز ، ولكنه لا ينحل بفعل المالتاز أو السكراز أو الدياستاز . ويختلف اللاكتوز عن السكريات الأخرى فى إمكان تخمره بسرعة فى عمليات التخمر اللاكتيكي والبيوتريكي . والسكروز ينحل كما سبق بفعل إنزيم السكراز إلى الفركتوز

والجلوكوز ، ويحدث هذا التحلل للسكر أيضا في بعض عمليات النضج ، فهو يحدث عند عملية الانضاج الصناعى للبلح مثلا . أما المالتوز فيتحلل بفعل انزيم المالتوز إلى سكر الجلوكوز فقط .

وقد تنحل بعض الجلايكوسيدات بفعل الانزيمات فيحدث لها انحلال مائى يكون نتيجته انفصال السكر عن المركب غير السكرى المتحد بها والذي يختلف تبعا لنوع الجلوكوسيد. ومن أمثلة الجلايكوسيدات Glycosidases التي توجد في الفواكه والخضراوات إنزيم Amigdaline الموجود في اللوز والمر ، وإنزيم الأبيين Apinin الذى يوجد في البقدونس والكرفس . ويعتبر انحلال المواد البكتينية ذا أهمية خاصة في صناعة الأغذية ، فالبكتين الذى يوجد طبيعيا في الفاكهة له أهمية خاصة في صناعة الجيلي ، ولذلك لابد من العمل على منع انحلاله بإنزيميا في أنواع الفاكهة التى تستخدم في صناعة الجيلي والمربيات . وفي عصير الفاكهة يعمل البكتين على إكساب العصير خاصية غروية تساعد على انتشار الجزيئات الدقيقة الصلبة وبقائها عالقة في العصير ، وهذه الخاصية قد يكون من الضروري وقايتها في بعض أنواع العصير مثل عصير البرتقال والجريب فروت وعصير الطماطم وغير ذلك ، إذ يعتبر حدوث الترويق فيها أمرا غير مرغوب وإن كانت هذه الخاصية نفسها تستغل صناعيا في ترويق بعض أنواع العصير إما بتأثير الإنزيمات الموجودة طبيعيا أو بإضافة مستحضرات إنزيمية لإحداث هذا الترويق قبل إجراء عملية الترشيح عليها ، فبعض أنواع العصير يكون من الضروري تحضيرها على حالة رائقة شفافة مثل عصير التفاح وعصير الرمان وبعض أنواع عصير العنب وغيرها . فأنزيم البروتوبكتيناز كثيرا ما يردى نشاطه في الفواكه إلى انحلال أنسجتها نتيجة لتأثيره على مادة البروتوبكتين مما يؤدى إلى إيونة الفاكهة كما يحدث في التفاح والكمثرى والخوخ وفي بعض الخضراوات كالطماطم

أما انزيم البكتاز Pectinase فإنه يحلل البكتين وحمض البكتيك وبكتات الكالسيوم انحلالا مائيا يؤدي الى انقسام روابط وحدات حمض الجللاكتيورونيك وإفصال مواد محتزلة كثيرة، وتشمل نواتج الانحلال سكريات محتزلة وكحول مثايل ومواد أخرى . وفي عملية الانحلال المائي هذه تضعف لزوجة المحاليل البكتينية مما يؤدي إلى إذابة الجيلي وبما يحدث ترويقا لها ، وانزيم البكتاز أو البكتين ميثوكسيلاز هو من نوع الاسترازات وهو يفصل مجموعات الميثوكسيل . - ا - ك - د - ، من جزيء البكتين فيؤدي إلى تكون حمض البكتيك وكحول الميثايل . ويوجد هذا الانزيم طبيعيا في المولت وفي اللوز والبطاطس وقشر البرتقال وفي عصير الطماطم ، ويكون من تأثير نشاط هذا الانزيم زيادة الحموضة نتيجة لزيادة مجموعات الكربوكسيل الحرة .

أنزيم البروتين : ويؤدي نشاط الانزيمات البروتينية إلى عمليات انحلال كثيرة معقدة ، وفي العادة يكون جنين البذور غنيا نسبيا في الانزيمات البروتينية ، وهذه الانزيمات ذات أهمية خاصة في صناعة البيرة من الشعير بحيث تحول البروتين إلى حالة صالحة لاستخدام الخميرة . ويؤدي نشاط البروتيازات في العجين إلى سيولته ومنع الرغيف من الانتفاخ ، وفي العادة تتحسن صفات الدقيق بتخزينه إذ يؤدي تأكسده إلى تثبيط نشاط هذه الانزيمات ، ويطرأ على اللحم من وقت ذبح الحيوان هضم ذاتي متدرج يحدث بفعل انزيمات ذاتية المفعول مثل الكابتين والليباز والنوكليازات وغيرها مما يوجد في الأنسجة . والانحلال الذاتي رغم أنه يقلل نوعا من النكهة الأصلية للحم إلا أنه يحسن صفات الطبخ له فهو يؤدي إلى ليونة الأنسجة ، وقد وجد أن التخزين البارد للحوم لمدة محدودة يكسبها هذه الصفة ، وفي نفس الوقت يحميها من الفساد . وهناك بعض الانزيمات

المستخرجة من الفواكه لها القدرة على تليين أنسجة اللحم ، وأهم هذه الانزيمات انزيم البابين الذى يستخرج من فاكهة الباباز وانزيم البروميلين Bromelin المستخرج من الأناناس وانزيم الفيسين الذى يوجد فى عصارة التين . وهذه الانزيمات البروتيو ليتية أصبحت تستخدم صناعيا ، خصوصا عصير الأناناس فى تليين المصارين المستخدمة فى صناعة منتجات اللحوم . ويرتفع نشاط هذه الانزيمات أثناء عملية الطبخ فى درجات الحرارة المرتفعة . ويعزى الكثير من الفساد الذى يطرأ على البيض عند تخزينه إلى الانزيمات التى تحتوىها ، خصوصا الانزيمات البروتيو ليتية التى تؤثر على الأغشية المحيطة بالصفار فتضعفها ، ويؤدى ذلك إلى زيادة نسبة البياض السميك بالنسبة للبياض الرقيق . وفى اللبن قد تحدث عمليات انحلال ذاتية بفعل الإنزيمات ، وفى اللبن الحالى من الميكروبات وغير المسخن قد يحدث للكيزين فيه انحلال ذاتى بواسطة الإنزيمات البروتيو ليتية ، ويعتبر مثل هذا النوع من التغير فسادا ، وتحتوى المنفحة التى تستخدم فى صناعة الجبن على عدد من الإنزيمات البروتيو ليتية المحملة للبروتين ، وتلعب الإنزيمات المؤكسدة دورا هاما فى تأكسد الطعم واللون والنكهة للمادة الغذائية علاوة على ما تحدثه من تلف للقيمة الغذائية .

انحلال الدهون : ويحدث الانحلال فى الدهون بفعل انزيمات ليبوليتية ، ويزيد نشاط هذه الإنزيمات عند تفتيت الخلايا إذ يزيد اتصال الإنزيمات بالمواد التى تؤثر عليها ، وكثيرا ما ينسب فساد اللحوم إلى تحلل الدهون فيها ، كما أن الزيوت والدهون قد تترنخ فى البذور النباتية . وتعتبر زيادة نسبة الأحماض الدهنية فى المواد الغذائية المخزنة دليلا على انحلال الدهن فيها .

التأكسد بفعل الإنزيمات : تؤدى إنزيمات التنفس ، كما سبق القول ، إلى تأكسد فى المادة الغذائية . وقد يكون من المرغوب فيه فى ظروف خاصة

العمل على تنشيط إنزيمات التنفس ، كما هو الحال في عمليات الإنضاج الصناعي للفاكهة التي يؤدي نشاطها إلى أحداث تغييرات سريعة في الفاكهة مماثلة لما يحدث أثناء نضجها على الأشجار ، وفي هذه العملية تجمع الفاكهة عادة وهي خضراء . وقد يحدث التنفس غير الهوائى في بعض الفواكه اللحمية ، فقد تكون القشرة في بعضها مثلا غير منفذة نسبيا للاكسجين كما في حالة العنب . ويحدث التنفس غير الهوائى ، بصفة عامة في حالة نضج ثمار السكاكى اليابانى ، ويمكن لبعض الثمار التي تتنفس تنفسا هوائيا إذا ما خزنت في جو من الأيدروجين أو النتروجين أن تتنفس تنفسا غير هوائى . وإستمرار نشاط الإنزيمات التنفسية بعد النضج يساعد على انحلال المادة الغذائية وسرعة فسادها ، ويستدعى حفظ هذه المواد من الفساد التحكم في سرعة تنفسها بوسائل خاصة كخفض درجة الحرارة أو التخزين في جو محتو على كميات من ثانى اكسيد الكربون وغير ذلك . والتغيرات في لون الفاكهة وفي منتجاتها التي تحدث نتيجة لزيادة النضج أو لإتلاف كيانها قد تحدث عن تأكسد الصبغات النباتية أو مكوناتها بفعل الإنزيمات ، ولو أن بعض هذه التغيرات قد لا تكون إنزيمية مطلقا ، وتسبب الإنزيمات المؤكسدة متاعب كثيرة في صناعة حفظ الأغذية التي تستلزم ضرورة صيانة لونها الطبيعي . ويصحب تأكسد اللون عادة تغير في النكهة والرائحة . وهناك أنواع كثيرة من الإنزيمات المؤكسدة توجد في خلايا النبات وتختلف في صفاتها وفي أنواع المواد التي تؤثر عليها تبعا لنوع المادة وطبيعة أنسجتها . وهناك عدد من الفطريات الخاصة بعمليات التأكسد التي تحدث في هذه الأنسجة ، إلا أنه من المعروف بصفة عامة أن أهم الإنزيمات من هذه الناحية في الفاكهة هي الأكسيدات ، وفي أنسجة الحيوان يكون أهمها ، المزيل للأيديروجين الدهيدروجينازات . وفي جميع هذه الحالات تساعد الإنزيمات المؤكسدة

على تأكسد بعض محتويات المادة الغذائية وعلى الأخص الصبغات بأكسجين الهواء ، أو بالاستعانة بفوق أكسيد الأيدروجين أو غيره من المواد التي يمكنها أن تعطي الأكسجين Donators . فمثلا في وجود H_2 ، يمكن لإنزيم البيروكسداز أن يساعد على تأكسد عدد من الفينولات والأمينات العطرية ، وهو كذلك يؤدي إلى تأكسد البيروجاللول والجواياكول والإيدروكينون والكاتيكول والكريسول والتيروسين وغيرها . ويعتبر إنزيم التيروسيناز ، وهو نوع من الإنزيمات المؤكسدة النحاسية الذي يوجد بكثرة في البطاطس وردة القمح وفي الكثير من النباتات من أنواع الفينولات وله القدرة على أكسدة الفينولات والكاتيكول والكريسول والتيروسين . وتتحول النواتج بعد ذلك إلى مركبات أخرى فمثلا مادة الهالوكروم Hallochrome الحمراء التي تنتج عن تأكسد التيروسين تتحول بالتأكسد إلى صبغة سوداء تسمى بالميلانين . ويحتاج إنزيم التيروسيناز إلى الأكسجين الغازي لكي يحدث تأثيره ، وليس له القدرة على إنتاج H_2 ، ومن المعتقد أن اللون الأسمر الذي يحدث نتيجة لتأكسد أنسجة الكثير من الفواكه يعزى إلى تأكسد ثاينينات الكاتيكول ، وقد تتأكسد بعض الفلافانولات والفلافونات بواسطة الإنزيمات المؤكسدة إلى مواد بنية اللون وإنزيم الأارثوفينولاز Ortho phenolase الذي يوجد في البطاطا يساعد على تأكسد الأارثوفينولات ، وهذا يؤكسد أيضا الكاتيكول والكريسول O. cresol ، ولكنه لا يؤثر على التيروسين ، وإنزيم اللاكاز Laccase الذي يوجد في البطاطس وبنجر السكر وفي التفاح والكرنب يؤكسد الفينولات إلى أرثو وبارا كينونات ، ويحتاج إلى الأكسجين في نشاطه . وإنزيم الفوسفاتاز الذي يوجد في كافة الخلايا الحية والذي يلعب دورا هاما

في عملية تمثيل الكربوايدرات له أهمية خاصة في اللبن ، إذ يوجد بحالة نشطة في اللبن غير المعامل بالحرارة ، أما في اللبن المبستر فيقف نشاطه ، ولذلك يعتبر اختبار الفوسفاتاز في اللبن اختبارا لبسترته .

التلف الانزيمى الفيتامينات : أثبتت الأبحاث الحديثة لسمنر وسمنر B & Sumner ، ز. Sumner عام ١٩٤٠ وكذلك أبحاث Tauber. H. عام ١٩٤٠ وسمنر R T. عام ١٩٤٢ وأبحاث سترين Strain أن هناك انزيم مؤكسدا للدهون غير المشبعة Unsaturated fat oxidase وهو الانزيم الذى يوجد بكثرة في فول الصويا له القدرة على أكسدة الأحماض الدهنية غير المشبعة ، الأوليك والريسينولينيك واللينوليفيك وجلسريداتها ويجعلها تمتص الأكسجين بسرعة . وعلاوة على ذلك فإن السكروتينويدات وكلوروفيلات «أ» و «ب» تتأكسد إلى مواد عديمة اللون تحت تأثير هذا الانزيم وبطريقة غير مباشرة في وجود زيوت غير مشبعة . وقد وجد سترين Strain أن هذا الأكسيداز يوجد في عدد كبير من البقوليات ، ويطلق على الانزيم اسم ليوكسيداز Lipoxidase . وكذلك يتعرض حمض الاسكوربيك في بعض المواد الغذائية للتلف بتأثير إنزيم أكسيداز حمض الاسكوربيك ، كما يتأكسد أيضا بفعل الفينولازات والبيروكسيدازات ، مما يؤدي إلى تحوله إلى حمض ديهيدرواسكوربيك . ونظرا لاثـر هذه الإنزيمات في الفاكهة والخضـر المعدة للحفظ فإنه من الضروري تثبيط نشاطها بإحدى الطرق كاستعمال كـ ب ا هـ أو استخدام مواد مانعة للتأكسد Antioxidants ، أما في الخضـر فيجرى عادة نشاط هذه الإنزيمات باستخدام الحرارة في عملية السلق Blanching .

العوامل التي ترتبط بالفساد الإنزيمى للأغذية

تتأثر الإنزيمات بعوامل الفساد بنفس الطريقة تقريبا التي تتأثر بها الاحياء الدقيقة وأهم العوامل التي تساعد على نشاط الإنزيمات وإسراع التغيرات غير المرغوبة التي تطرأ عليها :

١ - درجة تركيز الإنزيم : تتناسب سرعة التفاعل عادة مع درجة تركيز الإنزيم بفرض وجود المادة المؤثر عليها بكمية وافرة ، وتزيد بسرعة مطردة بزيادة تركيز الإنزيم ، فتتضاعف سرعة التفاعل بتضاعف كمية الإنزيم ، ولو أن هناك بعض إنزيمات تستثنى من هذه القاعدة مثل الببسين والتربسين . وتختلف درجة تركيز الإنزيم في المادة الغذائية تبعاً لعوامل كثيرة كنوع المادة الغذائية ، وطبيعتها ودرجة نضجها الخ . وقد سبق أن أوضحنا أن بعض أنواع الفاكهة تكون غنية في إنزيمات معينة بينما تكون فقيرة في إنزيمات أخرى .

جدول - ١٦ - المقدار التقريبي لإنزيم البيروكسيداز في بعض المواد النباتية :

المادة النباتية	وحدات بيروكسيداز لكل كيلو جرام	المادة النباتية	وحدات بيروكسيداز لكل كيلو جرام
الفجل الحار	٤٠٣	الفجل الأحمر	٣٠
اللفت	١١٠	البنجر	١١
البطاطس	٣٦	البصل	٣
البطاطا	٣٠	فول الصويا	٢

وما يقال عن البيروكسيداز يصدق أيضا على الإنزيمات البكتولييتية أو الليبوليتية أو السكاووليتية . فمدى التغير الذي يحدث عن نشاط الإنزيمات يعتمد على درجة تركيز الإنزيم في المادة الغذائية ومدى ملائمة الظروف لهذا النشاط .

٢ — نوع الإنزيم: «نوعية الإنزيم» من الطبيعي أن يتوقف التغير الذي يحدث في المادة الغذائية على نوع الإنزيم الموجود. وقد سبق أن تكلمنا عن نوعية الإنزيم سواء كانت نوعية مطلقة أو نوعية نسبية، فالبيسين لا يمكن أن يؤثر على الكربوايدرات أو الدهون، والاميلاز يحلل النشا والدكسترين فقط، بل أن الألفا جلو كوسيداز يؤثر على الألفا جلو كوسيدات فقط ولا يؤثر على البيتا جلو كوسيدات. فنوعية الإنزيم ذات أهمية خاصة في تحديد نوع التغيرات التي تحدث عن نشاط الإنزيمات إذا تهيأت الظروف المناسبة للنشاط، فالطماطم ينحل فيها البكتين انزيميا لاحتوائها على انزيم البكتاز والبكتين ميتوكسيلاز، بكمية وافرة.

٣ — درجة تركيز المادة المؤثر عليها: لاشك أن زيادة تركيز المادة التي يؤثر عليها الإنزيم عامل رئيسي في مدى التغير الذي يطرأ على المادة الغذائية. وفي درجات التركيز المنخفضة نسبيا تزيد سرعة التفاعل عادة كلما زادت درجة تركيز المادة المؤثر عليها، وتستمر سرعة التفاعل في الزيادة إلى حد معين تقل بعده نسبيا مع زيادة درجة التركيز. وقد لوحظت هذه الظاهرة بصفة خاصة في الإنزيمات الأيدروليزية، فقد وجد مثلا أن سكر الزاخيرة يكون أسرع أثرا في انحلال السكر في المحلول السكري عند درجة تركيز قريبة من ٥٪، ثم تبطئ سرعة التفاعل بعد ذلك، ويعزى هذا البطء في التفاعل عادة إلى تناقص نسبة الماء في المحاليل. أما إذا تغيرت درجة تركيز المادة دون إحداث تأثير محسوس في نسبة الماء مع ثبات كافة العوامل الأخرى، فإن السرعة الأصلية للتلاصق تتزايد في بادئ الأمر نسبيا مع زيادة تركيز المادة المؤثر عليها حتى تصل إلى نهاية عظمى يثبت عندها نشاط الإنزيم أو يتناقص نشاطه بزيادة المادة المؤثر عليها. وقد اتجه الاهتمام أخيرا بموضوع تركيب المادة الغذائية وعلاقته بالإنزيمات الموجودة فيها طبيعيا، فقد أمكن

مثلا إيجاد صنف من الخوخ خال من تانينات الكاتيكول، وبذلك لاتتأكسد أنسجة هذا الصنف وتسمر لونها عند تعرضها للهواء أثناء عمليات الحفظ كما يحدث في باقى الاصناف رغم احتوائه على الاكسيدات المسؤولة عن مثل هذا التأكسد .

٤ — درجة الحرارة : للإنزيمات درجات حرارة مثلى لنشاطها ، كما أن لها حدا حراريا لتثبيط هذا النشاط ، وتناسب سرعة التفاعل الذى يحدثه الإنزيم مع درجة الحرارة فى حدود خاصة . ويتبع التفاعل المعادلة الآتية :

$$\text{معامل الحرارة} = \frac{\text{سرعة على درجة } (10 + 10)}{\text{السرعة على درجة } 10}$$

أى أنه عند زيادة درجة الحرارة بمقدار ١٠ درجات مئوية فإن سرعة التفاعل تصل إلى الضعف ، وبمعنى آخر يصبح معامل الحرارة ٢ ، وتتراوح قيمة هذا المعامل فى العادة بين ١,٤ و ٢ ، وذلك لأن إرتفاع درجة الحرارة يؤدى فى وقت ما إلى الحد من نشاط الإنزيم لما للحرارة العالية من تأثير مئلف على الإنزيمات . ونقطة التوازن التى يحدث عندها أن يتساوى التأثير المتزايد للحرارة فى سرعة التفاعل مع تأثيرها المئلف على الإنزيم تسمى بدرجة الحرارة المثلى ، وعند هذه الدرجة يكون معامل الحرارة ١ ، ونقطة التوازن هذه لا تكون ثابتة بل تتغير تبعاً لمدة استمرار التفاعل وتبعاً للشوائب الموجودة فى المحلول الإنزيمى ، وهى تكون فى العادة بين ٤٠ و ٥٠°م للإنزيمات الحيوانية وبين ٥٠ و ٦٠°م للإنزيمات النباتية . ومعظم الإنزيمات ، كما سبق أن ذكرنا ، تهلك على درجة ٨٠°م ، وهذه الصفة تميزها عن العوامل الملامسة الأخرى ، وهى تستمر فى نشاطها على درجات منخفضة . وعلى الرغم من أنه قد يقف نشاطها فى درجة حرارة تحت الصفر إلا أنها لاتفقد حيويتها .

هـ — احتواء البيئة على مواد ذات تأثير منشط : هناك بعض مواد يؤدي اضافتها أو وجودها في المواد الغذائية إلى تنشيط التغيرات التي تحدثها الإنزيمات. ومن الناحية العملية تقسم هذه المواد إلى المجموعات الآتية:

١ — مرافقات الإنزيم Coenzymes ، وقد سبق الكلام عنها ، وهي مقاومة للحرارة ولها صفة النوعية بالنسبة للإنزيم الذي تعمل معه في الطبيعة

ب — كينازات Kinases وهي المواد التي تساعد على تنشيط إنزيمات غير نشطة أو زيموجينات Zymogens وتحولها إلى إنزيمات فعالة .

ح — منشطات Activators ويطلق هذا اللفظ على المواد التي يكون لها تأثير منتج في نشاط الإنزيم . ويدخل تحت هذه المجموعة بعض المعادن الثقيلة وبعض مركبات معدنية معقدة . فأملاح المعادن الثقيلة تسرع من عمليات التأكسد لسراخ البطاطس بفصل الثيوسيناز وتكوين صبغة الميلانين السوداء ، ويحتاج الكلوروفيللاز في نشاطه إلى أملاح غير عضوية ، وتساعد المعادن الثقيلة على تنشيط الإنزيمات البروتينية خاصة وهناك بعض المركبات العضوية يكون لها تأثير منشط على بعض الإنزيمات فالفستين والجلوتاثيون ينشطان إنزيم البابين كما ينشطه حمض الأيدروسيانيك وكبريتور الأيدروجين ، ويساعد المغنسيوم والمنجنيز في تنشيط حالات خاصة من التخمر الكحولي والمكثبي . وكذلك لأملاح المغنسيوم تأثير منشط على الأرجيناز ، وبعض الأيونات تكون ذات تأثير منشط فالكاتيونات الأحادية والثنائية الكفاءة تنشط إنزيم البكتاز ، وأيون المغنسيوم يساعد على تنشيط الفوسفاتاز وبعضها تنشطه أملاح معدنية ثنائية الكفاءة ، والكلوريدات واليوديدات تزيد في نشاط الاميلاز في القمح ، ودايستاز المولت ينشط في وجود أملاح كلوريدات المنجنيز والزنك ، وقد يحتاج

الامر لتنشيط بعض الانزيمات إضافة مواد تتحد مع السموم الموجودة في البيئة والتي تمنع نشاط الانزيم . وكذلك تعمل بعض الغازات مثل غاز الايثلين على تنشيط إنزيمات التنفس وتستخدم هذه الخاصية في عمليات الانضاج الصناعي للفاكهة .

٦ - إحتواء البيئة على مواد ذات تأثير مثبط للانزيمات : قد تحتوى

المواد الغذائية طبيعيا على مواد تمنع نشاط الانزيمات ، وقد أمكن كوتنر Kunitz عام ١٩٤٥ فصل بروتين (جلوبيولين) في فول الصويا له تأثير مانع لنشاط إنزيم التربسين، وهناك اعتقاد بأن بياض البيض يحتوى أيضا على مادة مانعة لنشاط التربسين فيه . وقد تؤدي بعض نواتج الانحلال الانزيمى نفسها الى ابطاء تأثير الانزيم وايقافه . وهناك كثير من المواد يؤدي وجودها أو إضافتها إلى البيئة إلى تثبيط نشاط الانزيمات فيها ، فأيونات المعادن الثقيلة مثلا وعلى الاخص الفضة والزنك والنحاس يؤدي وجودها إلى ايقاف النشاط لكثير من الانزيمات إذ أنها سامة لمعظمها . فمثلا البيتا جلوكوسيداز لا يتأثر بحمض الايدروسيانيك أو كبريتور الايدروجين أو الجلو تائيون، ولكن أيونات الفضة والنحاسيك والزنكيك تثبط نشاطه كما تثبط نشاط انزيم السكراز . أما البيروكسيداز والكاتالاز فانها ليست نوعا خاصا لأيونات هذه المعادن ، وحمض الايدروسيانيك يثبط نشاط الكاتالاز والتيروسيناز واكسيداز حمض الاسكوربيك . وكذلك قد يؤدي وجود بعض المواد المؤكسدة إلى تثبيط بعض الانزيمات، فالمواد المؤكسدة التي تستخدم في قصر لون الدقيق تؤدي إلى تثبيط نشاط البروتيازات فيه . والمواد المؤكسدة تشمل الكثير من المواد المظهرة . وبعض الالدهيدات مثل الفورمالدهيد لها تأثير مثبط على الانزيمات . وكبريتور الايدروجين يثبط نشاط البعض منها مثل الكاتالاز . ويوقف نشاط اليورياز

في محاليل الأحماض والقلويات القوية وكذلك في وجود المعادن الثقيلة والhalوجينات وغيرها . وبعض الأملاح مثل ملح الطعام يؤدي إلى إعاقة النشاط السريع للانزيمات البروتينية .

٧ — نسبة الرطوبة : معظم عمليات النشاط الانزيمي تحتاج إلى كميات كبيرة من الماء خصوصاً التغيرات التي تعتمد على عمليات الانحلال المائي . وتحتاج عمليات التخمير الكحولي والخليكي واللاكتيكي في الصناعة إلى كميات هائلة من الماء . وعلى الرغم من أهمية الماء لنشاط الانزيمات إلا أنها يمكنها أن تنشط في مستوى من الرطوبة أقل من اللازم لنشاط الأحياء الدقيقة ، ولذلك فهي قد تحدث تلفاً للوادغذائية المجففة إذا لم يكن قد تم تثبيت الانزيمات فيها قبل تجفيفها .

٨ — الحوضة : تأثير الحوضة الفعالة يماثل تأثير الحرارة في نشاط الانزيمات ، وتغيير رقم pH يؤثر على نشاط الانزيم إما تأثيراً عكسياً أو غير عكسي . ودرجة حساسية الانزيمات للحموضة تختلف اختلافاً كبيراً ، فتحت رقم pH ٣ يمتنع نشاط سكراز الخميرة بينما يكون إنزيم الببسين في أقصى نشاط له بين pH ١½ و ٢½ . وهناك عدد قليل جداً من الانزيمات يمكنها تحمل أرقام pH قريبة من pH ١ أو أعلى من pH ١١ . وقد سبق أن أوضحنا أن لكل إنزيم رقم pH أمثل يقوم عنده بأحداث أكبر تأثير ، إلا أنه يجب مراعاة أن هذا الرقم الأمثل يتأثر بعوامل كثيرة مثل الحرارة ودرجة تركيز المادة المؤثر عليها ونقاوة الانزيم وطبيعة المادة المعقدة الموجودة الخ ، ولهذا الأسباب يكون من الحالات النص على مجال للحموضة الفعالة المثالية للانزيم الواحد .

٩ — مدة التخزين : لاشك أن مدى التغير الذي يطرأ على المادة الغذائية نتيجة لنشاط الانزيمات يتوقف على طول مدة هذا النشاط ، فالفاكهة

داخل المخازن تعمل فيها إنزيمات تنفسية تؤدي إلى انحلال مستمر في بعض مركباتها ، ولذلك فـكثيرا ما تحدد مدد التخزين لبعض المواد الغذائية كالخضر والفاكهة والبيض ... الخ .

البَابُ السَّادِسُ

التفاعلات الكيميائية البحتة

وما تحدثه من تغيرات

يحدث الكثير من التغيرات التي تطرأ على المواد الغذائية نتيجة لتفاعلات كيميائية بحتة بين المكونات الطبيعية لها أو نتيجة لتفاعل المادة الغذائية مع بعض المواد المضافة إليها أو مع المعادن الملوثة لها وغير ذلك . وتساعد على حدوثها عوامل طبيعية خاصة كالحرارة والضوء والتعرض للهواء وغير ذلك . وفي معظم الحالات يصحب هذه التغيرات تغيرات في اللون أو الطعم أو الرائحة ، وقد يكون لها تأثير متلف على القيمة الغذائية . ويطرأ الكثير من التغيرات على التركيب الكيميائي للمادة الغذائية أثناء إعدادها أو طبخها أو حفظها ، كما يحدث في الانحلال المائي للمواد النشوية أو السكريات تحت تأثير الحرارة أو الأحماض ، أو كما يحدث في تجمع البروتين بالحرارة أو انحلاله مائيا أثناء الطبخ الخ .. إلا أن كثيرا من هذه التغيرات يعتبر عوامل غير مرغوبة ، بل إنها تؤدي في كثير من الأحيان إلى فساد الغذاء وعدم صلاحيته للاستهلاك وأهم أنواع التفاعلات الكيميائية التي تؤدي إلى فساد المواد الغذائية هي عمليات التأكسد ، فترنخ الزيوت والدهون يتسبب في أكثر الحالات عن تأكسدها وتكون أحماض دهنية قصيرة السلسلة والدهيدات وكينونات