وتشمل هذه المجموعة انهيدراز الكربونيك Carbonic anhydrase ، وهو انزيم تنفسى هام يساعد على تكوين وتحليل حمض الكربونيك .

$$ك ا_{٢} + بد_{٢} ا \rightleftharpoons بد_{٢} ك ا_{٣}$$

وهو منتشر فى جسم الحيوان ، إلا أنه يوجد بكثرة فى كريات الدم الحمراء وهو بروتين محتو على الزنك .

٥ ــ امينازات ناقلة Transaminases ، وهى انزيمات تساعد على انتقال مجموعة الأمينو من بعض الأحماض الأمينية إلى الاحماض الالفاكيتونية . ويسود هذا التفاعل بين الاحماض الثنائية الكربوكسيل وتكون نتيجته ك ا_{٢} بد_{٢} ا احماض كيتونية وأحماض أمينية .

الباب الرابع

الأحياء الدقيقة

وما تحدثه من تغييرات

تحدث الأحياء الدقيقة بنموها وتكاثرها فى المواد الغذائية عدة تغييرات فى تركيبها الكيمائى . وهى فى نموها وتكاثرها تحلل الكثير من المواد العضوية بتأثير ما تفرزه من انزيمات متنوعة ، وهى تحلل هذه المركبات بغرض الحصول على الطاقة والغذاء اللازمين لبقائها ونموها . ولا شك أن الجزء الأكبر مما تحلله من هذه المركبات هو لسد حاجتها من الطاقة . وتحتوى المواد الغذائية نباتية كانت أو حيوانية على الكربوايدرات والبروتينات والدهون والمواد المعدنية والفيتامينات . والأحياء الدقيقة فى ميلها إلى المركبات العضوية الثلاثة الأولى تفضل الكربويدرات

فالبروتينات ثم الليبيدات ، بل أنها تفاضل بين بعض المركبات الكربوايدراتية وبعضها الآخر .

ا — فى السكريات تفاضل بينها بهذا الترتيب :

أحادية السكريا ، الارابينوز والدكستروز والليفيولوز والمانوز ، فثنائية السكريات ، المالتوز والسكروز ، ثم ثلاثية السكريات ، الرافينوز والملزيتوز » .

ب — الكحولات - ثلاثية الاديدروكسيل ، كالجليسرول ، فسداسية الايدوكسيل ، كالسوزيتول والمانيتول » .

حـ — مركبات مثل أحماض الطرطريك والسكسنيك والبنزويك والكحولات البسيطة كالايثايل والبروبايل والأحماض الدهنية مثل الخليك والبروبيونيك . ولما كانت الطاقة هى المعول عليه بالنسبة للأحياء الدقيقة فإن قيمة المركبات العضوية بالنسبة لها بوصفها مصدرا غذائيا يعتمد اعتمادا أساسيا على حرارة الاحتراق لهذا المركبات ، ولذلك كان أفضل ذرات الكربون بالنسبة لها فى المركب العضوى ما كان مرتبطا بالأيدروجين فى صورة ك يد٢ . وتقل قيمتها نوعا إذا كانت فى صورة ك يد ، ثم تقل عن ذلك إذا كانت فى صورة ك يد ا يد ، وتصبح عديمة القيمة إذا كانت فى صورة ك ا ا ك ن ، ولذلك فإن ذرة الكربون فى اليوريا وفى حمض الاكساليك وفى مركبات السيانوجين لا يمكن للبكتريا الاستفادة منها باعتبارها مصدرا للكربون . وهناك بعض حالات يمكن فيها للبكتريا أن تهاجم السكر والبروتينات معا . وعلى الرغم من أن هذه المقدرة المزدوجة فإن عمليات انحلال البروتين تتعطل فى وجود السكر ، فالكربوايدرات تمتاز بتأثيرها الواقى للبروتين Protein Sparing Action . وعلى ذلك

فإن نوع التغير الذى يطرأ على المواد الغذائية يختلف تبعا لمقدار ماتحتويه من المواد العضوية عامة ومن الكربوايدرات أو الدهن أو البروتين خاصة، ويختلف التغير كذلك تبعا لنوع هذه المواد .

تأثير الأحياء الدقيقة فى المواد الكربوايدراتية : تحدث الأحياء الدقيقة فى الأغذية الغنية فى الكربوايدرات تخمرا سريعا اللجزء القابل للذوبان منها خصوصا السكريات .

١ — تخمر السكريات : يختلف نوع التخمر تبعا لنوع الأحياء الدقيقة وظروف البيئة .

فى وجود الهواء يمكن للكثير من البكتريا ولمعظم أنواع العفن وللقليل من الخمائر أن تحدث تأكسدا تاما لسكر الدكستروز لتعطى ثانى أكسيد الكربون وماء .

$$ك_٦ يد_{١٢} ا_٦ + ٦ ا_٢ \rightleftharpoons ٦ ك ا_٢ + ٦ يد_٢ ا$$

وقد يكون التأكسد جزئيا وهو الأكثر شيوعا ، وكثيرا ما تستخدم هذه الخاصية صناعيا ، فالعفن اسبرجيللس نيجر Aspergillus Niger ، مثلا إذا وجد فى محلول سكرى فإنه يمكنه أن يخمر السكر إلى حمض اكساليك

$$٢ ك_٦ يد_{١٢} ا_٦ + ٩ ا_٢ \rightleftharpoons ٦ (ك ا ا يد)_٢ + ٦ يد_٢ ا$$

إلا أنه إذا سمح للعفن بالاستمرار فى تأثيره فى البيئة فإنه يعود فيؤكسد الحمض الناتج إلى ثانى أكسيد كربون وماء .

$$٢ (ك ا ا يد)_٢ + ا_٢ \rightleftharpoons ٤ ك ا_٢ + ٢ يد_٢ ا$$

وتستخدم هذه الخاصية لبعض أنواع العفن صناعيا كما فى تحضير حمض الستريك من تخمر السكر بفعل بعض سلالات من مجموعة اسبرجيللس نيجر Aspergillus niger .

$$٢\,ك_{٦}\,بد_{١٢}\,ا_{٦} + ٣\,ا_{٢} \rightleftharpoons ٢ \begin{array}{|l} ك\,بد_{٢}\,ك\,ا\,ا\,بد \\ ك\,(ا\,بد)\,ك\,ا\,ا\,بد + {}_{١}\,بد_{٢}\,ا \\ ك\,بد_{٢}\,ك\,ا\,ا\,بد \end{array}$$

ومن الأمثلة الشائعة على هـــذه الأنواع من التخمر التخمر الخليكى للسوائل الكحولية كما يحدث فى فساد النبيذ مثلا ،وتأكسد حمض اللكتيك بفصل الميكودرما الخ ..

فى الظروف غير الهوائية تحدث عدة تخمرات أخرى تختلف فى نوعها وفى نتائجها تبعا لنوع الاحياء الدقيقة المناسبة،ومن أهم هذه التخمرات ما يأتى:

١ ــ التخمر الكحولى ـ يحدث نتيجة لتخمر السكر بفعل الكثير من أنواع الخمائر الحقيقية والبرية وقد ينتج القليل من الكحول عن بعض أنواع البكتريا والعفن . والعمليات الحيوية التى تحـــدث أثناء التخمر الكحولى عمليات معقدة ، إلا أن المعادلة الآتية يمكن أن تفسر تكوين الناتج الإضافى الرئيسى

$$ك_{٦}\,بد_{١٢}\,ا_{٦} \rightleftharpoons ٢\,ك_{٢}\,بد_{٥}\,ا\,بد + ٢\,ك\,ا_{٢}$$

٢ ــ التخمر اللتيكى ـ يحدث نتيجة لتخمر السكر بفعل أنواع من البكتريا غير الهوائية، وهو من أهم أنواع التخمر التى تحدث فى المـــواد الغذائية ، والأحياء الدقيقة التى تسبب هذا النوع من التخمر منتشرة فى الطبيعة، وتوجد على كافة مواد الغذاء مثل الخضر والفاكهة واللحوم ومنتجات الالبان. ولهذه الأنواع من البكتريا القدرة على مقاومة الظروف المعاكسة، وفى نفس الوقت تصبح البيئة شديدة الحموضة إلى حد يمنع نمو الاحياء الدقيقة

الأخرى كالأنواع البروتيوليتية ، ويستفاد من هذه الخاصة فى صناعة المخللات التى يعزى حفظها إلى حمض اللكتيك المتكون ، فاذا كانت كمية السكر الموجودة أصلا فى المادة الغذائية منخفضة جدا فلا يمكن حفظ المادة بواسطة التخمر ، وتصبح البيئة صالحة لنمو الاحياء البروتيوليتية التى تحدث انحلالا بروتيوليتيا Proteolytic فى المادة فتؤدى إلى فسادها . وتمتاز بكتريا حمض اللكتيك عن باقى مجموعات البكتريا فى أنها تحول السكريات إلى حمض لكتيك دون مركبات أخرى . وهناك من بين افراد هذه المجموعة أواعا تلعب دورا هاما فى عملية صناعة المخللات Pickling مثل لاكتوباسيلوكيوكوميرس lactobacillus cucumeris ، كما أن هناك منها ما يوجد فى اللبن ومنتجاته مثل ستربتوكوكاس لاكتس Streptococcus lactis ولاكتو باسيلوس بولجاريكوس L. bulgaricus ولاكتوباسيلوس كيزاى L. casei ، وعلى الرغم من أن العملية الحيوية التى تؤدى إلى تكوين حمض اللكتيك من السكر عملية معقدة إلا أنه يمكن للتبسيط التعبير عن هذا النوع من التخمر بالمعادلة الآتية

$$\text{ك}_{٦}\text{يد}_{١٢}\text{ا}_{٦} \rightarrow {}_{٢}\text{ك يد}_{٣}\text{ا يد} + \text{ك يد ا يد} + \text{ك ا ا يد}$$

٣ — تخمرات منتجة للغازات — وتشمل :

١ — تخمر لاكتيكى غازى — ويكون مصحوبا بتكون غازات خاصة ونواتج إضافية أخرى ، وهذا النوع من التخمرات شائع فى فساد الاغذية ، وهو يحدث عن أنواع مختلفة من البكتريا ويعتبر هذا النوع من التخمرات من الأنواع غير المرغوبة . وأهم الغازات التى تنتج عن هذا التخمر هى ثانى اكسيد الكربون والايدروجين . وتعتبر بكتريا القولون من الأنواع الشائعة فى إحداث هذا النوع من التخمر الغازى إذا ماتوفرت المواد المعدنية فى الغذاء ، وأهم افرازه هذه المجموعة اشيريشيا كولاى Escherichia Coli

وايروباكتر ايروجينس Aeropacter aerogenes ويمكن تمثيل نواتج هذا التخمر بالمعادلة الآتية

$$_{٢}ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦} + يد_{٢}ا \rightarrow ك_{٣}يد_{٣}ك يد_{٣}ك يد ا يد . ك ا ايد + ك_{٣}يد_{٣}ك ايد + ك_{٢}يد_{٥}ايد + ك_{٢}ا_{٢} + _{٢}يد_{٢}$$

ب — تخمر بيوتريكى — وهو تخمر ينشأ عن أنواع من البكتريا غير هوائية ، وهو نوع من أنواع التخمر غير المرغوبة فى الأغذية لأنه ينتج طعما غير مرغوب . وأنواع البكتريا المرضية المحدثة للتسمم الغذائى كلوستريديم بوتشلينوم Cl. botulinum تحدث هذا النوع من التخمر فى نموها فى المواد الغذائية وهى تنتج التوكسين السام نتيجة نموها فى تلك المواد . والتخمر البيوتريكى عملية معقدة للغاية ويحدث على الاقل فى ثلاث مراحل مختلفة . ويتكون إلى جانب حمض البيوتريك ايدروجين ثانى اكسيدكربون وحمض خليك وفى بعض الحالات تتكون كحولات الايثايل والبيوثايل ، ويمكن التعبير عن آخر مرحلة للتخمر كالآتى

$$ك_{٦}يد_{١٢}ا_{٦} \rightarrow ك يد_{٣}ك يد_{٣} . ك يد_{٢} + ك ايد + _{٢}يد_{٢} + _{٢}ك ا_{٢}$$

النشا : وقد تهاجم الاحياء الدقيقة أنواعا أخرى من الكربوايدرات خلاف السكر ، فالكثير من الأنواع المحللة للسكريات تنتج انزيم الدايستاز مما ييسر عليها استخدام النشا . ومن الطبيعى أن ينحل النشا أولا بفعل الدايستاز ليكون السكر الذى يتخمر ليعطى الحمض وأن تكون عملية تكوّن الحمض فى هذه الحالة أبطأ منها فى حالة التخمر المباشرة للسكر ، فإذا كان افراز الانزيم بطيئا أصبحت كمية الحمض ضئيلة بحيث تسمح بنمو الاحياء البروتيوليتية ، وهذا ما يفسر ماجرت عليه العادة من فساد الاغذية الغنية بالنشا الفقيرة فى السكر عند تحليلها . وقد تتعرض الأغذية النشوية

إلى تغيرات أخرى تؤدى إلى فسادها ، فبعض البكتريا التى يمكنها تمثيل النشا كمصدر للطاقة لايقتصر مفعولها على إحداث إنحلال مائى للنشا ، بل يتعدى ذلك إلى تحويل نواتج الانحلال إلى صموغ تحمى هـــذه البكتريا نفسها ضد الحموضة الناتجة .

تأثير الاحياء الرقيقة فى البروتينات : تعتبر التغيرات التى تحدث لبروتينات المواد الغذائية نتيجة لنمو الاحياء الدقيقة أسوء أثرا من تلك التى تحدث من انحلال الكربوايدرات . والتغيرات التى تحدث للبروتينات تكون أكثر تعقدا مع تزايد نواتج الانحلال وتباينها ، فى الأدوار الأولى للانحلال يحدث تجزء للبروتين إلى عديدة الببتيدات وببتونات وأحماض أمينية ، ويتبع ذلك إنهدام الأحماض الأمينية أو تخمرها حيث تستطيع بعض الأحياء الدقيقة إزالة مجموعات الكربوكسيل وتحويل هذه الأحماض إلى أمينات بعضها له أثر سمى ضعيف . وقد ساد الاعتقاد لسنين عديدة أن التسمم الغذائى يمكن حدوثه بفعل هذه الأمينات التى كان يطلق عليها إلى عهد قريب اسم « التومينات Ptomaines » . وعلى الرغم من أن احتواء المواد الغذائية على الأمينات المنفردة يعتبر دليلا على فسادها فقد أظهر البحث خطأ نظرية التسمم بالتومينات ، واندثر هذا الاصطلاح وأصبح إستعماله دليلا على الجهل وقلة الدراية . وقد يحدث نتيجة لمهاجمة الأحياء الدقيقة للأحماض الأمينية إنطلاق النشادر منها وإنفراد أحماض عضوية أو كحول أو ايدروكربونات . وقد تتخمر هذه بدورها فتنتج مركبات أبسط تركيبا مثل الأحماض العضوية البسيطة والكحولات وبعض الغازات مثل ثانى اكسيد الكربون والايدروجين . ويطلق على عملية انطلاق الامونيا من الأحماض الأمينية ومركباتها إسم عملية النشدرة Ammonification ، وقد يزيد نشاط هذه العملية فى الأدوار الأخيرة من الإنحلال البروتيوليتى .

ويصحب عملية انحلال البروتينات Putrifaction عادة تكوّن مواد كريهة الرائحة مثل كبريتور الايدروجين مما لا يترك مجالا للشك فى حدوث تغير غير مرغوب فى المادة الغذائية . ونواتج إنحلال البروتينات تشمل مجموعة كبيرة من المركبات نذكر منها عديدة الببتيدات وبروتيازات وببتونات وأحماض أمينية وأحماض اليفاتية وأحماض عطرية والدهيدات وكيتونات ومركبات مختلفة تحتوى على الاندول والفينولات والمركبتانات وكبريتور الايدروجين وأمونيا وإيدروجين وثانى اكسيد الكربون وغاز الميثان .

التغيرات التى تطرأ على الدهون : على الرغم من أن الدهون تكون عادة أقل تعرضا للانحلال بفعل الأحياء الدقيقة من الكربوايدرات والبروتينات إلا أن هناك حالات كثيرة تنحلل فيها الدهون . وتحتوى بعض أنواع هذه الاحياء الدقيقة على انزيمات محللة للدهون تؤدى إلى تكون أحماض دهنية وجليسرول، وهذه قد يحدث لها تخمر بنفس الطريقة التى تحدث للكربوايدرات . وتعتبر الفطريات « العفن » اكثر مقدرة على إحداث هذا التأثير من البكتريا ، ولذلك فان الاغذية التى يلاحظ نمو الفطريات عليها يكون من المتوقع انحلال الدهن فيها ،فإذا كان هذا الانحلال غير مرغوب فيه بالنسبة للمستهلك اعتبرت هذه الاغذية فاسدة . وقد يحدث الترنخ للدهون عن تأثير ميكروبى فيحدث انحلال فى شطر الحامض الدهنى للدهن مع انتاج أحماض دهنية قصيرة السلسلة والدهيدات وكيتونات وبيروكسيدات . ويصحب ذلك حدوث تغيرات فى الرائحة والطعم تجعل الغذاء غير مرغوب . وتشمل نواتج انحلال الدهون أعراضا دهنية وجليسرول وأحماضا اليفاتية والدهيدات وكيتونات وكحولات وثانى اكسيد الكربون وايدروجين وغاز الميثان .

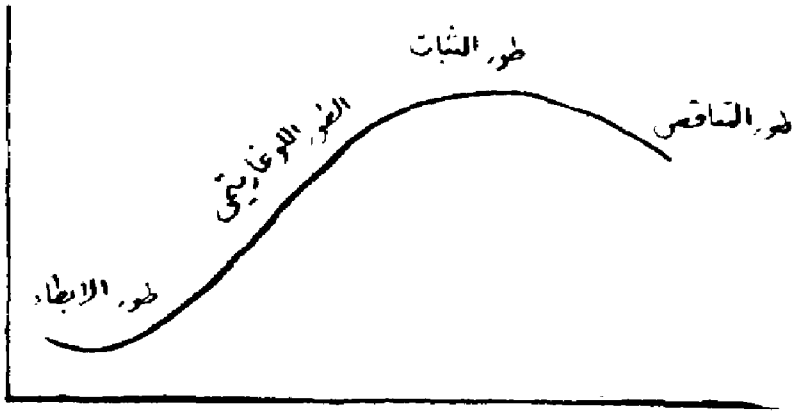
تغيرات تنشأ عن مركبات جديدة تكونها الأحياء الدقيقة بطرق تركيبية

بالاضافة إلى التغيرات الاساسية السابق ذكرها فإن الاحياء الدقيقة قد تحدث تغييرات أخرى تؤدى إلى فساد الاغذية . فبعض الاحياء الدقيقه لها القدرة على تكوين مركبات جديدة بطريقة تركيبية Synthetic يؤدى وجودها إلى تغيير غير مرغوب فى النكهة والرائحة واللون بها . فالكثير من التغيرات التى تحدث لطعم منتجات اللبن تكون نتيجة مركبات تكونها البكتريا نفسها ، وقد يكون من أثر نمو بعض الأحياء الدقيقة تكون مركبات ذات لون خاص مميز قد يكون أحمر أو أصفر أو أزرق الخ ..... وكثيرا ما تكون هذه الألوان نتيجة نمو بعض أنواع العفن فى اللبن والجبن كذلك قد تكون بعض أنواع البكتريا فى داخل الغذاء التى تلوثه مواد سامة ، فيصبح فى عداد المواد الفاسدة ، فمثلا بكتريا النسمم المسماة كلوستريديوم بوتشلاينم تكون توكسناخاصا إذا وجدت فى المواد الغذائية

العوامل التى ترتبط بالفساد الميكروبيولوجى للأغذية : تختلف ظروف الوسط التى تساعد على الفساد وتتداخل مع بعضها ، وعلى الرغم من أن كل عامل منها له أثره فى فساد الغذاء إلا أنها تعمل جميعها مشتركة وأهم هذه العوامل هى :

١ — مدى التلوث الأولى : تتوقف سرعة فساد المواد الغذائية فى معظم الأحيان على مدى التلوث الاولى لها ، فالغذاء الذى يحتوى على عدد قليل من الميكروبات يمكن بقاءه دون فساد مدة أطول من الغذاء الذى زاد تلوثه . فمن المشاهد أن اللبن الذى يباع فى السوق مثلا وهو يتعرض أثناء حليبه وانتاجه وتسويقه إلى التلوث الزائد يتم تخثره بسرعة أكبر من اللبن النظيف الذى يراعى فى انتاجه كافة الاحتياطات لتقليل عدد

البكتريا فيه . ومعظم المواد الغذائية تتصل عن قرب أوعن بعد بالتربة التى تنتجها ، وهذه التربة تكتظ بالملايين من الاحياء . ويمكن تفسير علاقة مدى التلوث بسرعة الفساد إذا مادرسنا منحنى النمو للبكتريا مثلا وهو الذى يظهر شكله العام فى الرسم التالى .



وهذا الرسم يبين هذه العلاقة ، فإذا بدأنا بمادة غذائية تعرضت إلى التلوث بعدد من الأحياء الدقيقة فان طور الابطاء وهو طور عدم التزايد تقتصر مدته كلما زاد عدد الأحياء الملوثة وتطول مدته كلما قل عددها ، أى أن المادة تبقى طويلا دون أن يتزايد عـــدد الأحياء فيها ، وبمعنى آخر تطول مدة حفظها . ويؤثر فى طور الابطاء عوامل أخرى كثيرة منها قوة نشاط الميكروب أو سابق عهده ، فاذا كانت الاحياء التى تلوث المادة الغذائية قد انتقلت اليها من بيئة نامية نشطة قصر طور الابطاء ونشطت الاحياء بسرعة لاحداث الفساد فى المادة الغذائية ويحدث نقيض ذلك إذا كان مصدر الميكروب بيئة خاملة أو غير نشطة . وهذا يفسر خطورة مصادر التلوث النشطة فى مصانع الاغذية حين تبقى بقايا المواد والمحاليل فى الاوانى أو فى الشقوق أو بين أجزاء الآلات الخ ..... وكذلك تؤثر عوامل الوسط المختلفة فى طور الابطاء ، فدرجة حرارة البيـــئة عامل من العوامل الهامة سيأتى الكلام عنها تفصيلا . وتركيب البيئة ووجود الكيمائيات الحافظة فيها

وكل ما يجعل البيئة أقل أو أكثر ملائمة لنمو الأحياء الدقيقة يؤثر فى طور الابطاء ، وبالتالى فى سرعة فساد المادة أو فى طول مدة حفظها .

٢ — نوع الميكروب الملوث : هناك تغيرات خاصة يتوقف حدوثها على تلوث المادة الغذائية بأنواع خاصة من الميكروبات مثل التلوث باشيريشيا كولاى Esherichia Coli وهو يؤدى إلى تخمر لكتيكى غازى للبن ، بينما نلاحظ أن اللبن النظيف عندما يحمض لا يتكون فيه غاز وتتسبب حموضته عن نمو Bac. Mesentericus ، كما أن تلوث الأغذية بيكتريا ثرموفيلية أثناء حفظها فى العلب الصفيح أو قبل ذلك يؤدى إلى فسادها وتخمرها إذا ماخزنت على درجات حرارة مرتفعة نسبيا ، وقد يكون هذا الفساد مصحوبا أو غير مصحوب بانتفاخ ، كذلك قد يؤدى نوع الميكروب الملوث إلى جعل المادة الغذائية سامة إذا وجد سبيله اليها .

٣ — درجة الحرارة : تعتبر درجة الحرارة من العوامل الهامة فى تشجيع الأحياء الدقيقة على النمو والتكاثر خصوصاً إذا وقعت هذه الدرجة فى المجال الحرارى الملائم مما يؤدى بالمادة الغذائية إلى الفساد ، ويقصر طور الإبطاء عادة عند درجة الحرارة المثلى لنمو الميكروبات وتطول مدته كلما ابتعدنا عن هذه الدرجة فى أى الاتجاهين ، وكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية يؤدى إلى زيادة سرعة التكاثر إلى الضعف تقريبا . وكلما ارتفعت درجة الحرارة المثلى لنمو الميكروب كلما كانت سرعة التكاثر أعلى نسبيا فى تلك الدرجة ، فالبكتريا الثرموفيلية أسرع تكاثراً فى درجة حرارتها المثلى من البكتريا الكريوفيلية فى الدرجة المثلى لها ، وهذا مايفسر أهمية تخزين المواد الغذائية فى مواد التبريد . ويتوقف نوع الانحلال الذى يحدث للمادة الغذائية فى درجة حرارة ما على نوع الميكروبات الغالبة وكذلك على تركيب المادة الغذائية ، وتعتبر درجات الحرارة فوق

٢٥°م مناسبة لنمو معظم أنواع الخمائر والعفن وكذلك البكتريا الميزوفيلية ، أما البكتريا الثرموفيليه ، المحبة للحرارة ، فإنها لاتستطيع أن تنمو فى درجة حرارة الغرفة العادية ، ٢٠° - ٢٥°م، وهى تحتاج فى نموها إلى درجة حرارة مرتفعة نسبيا ، حوالى ٥٥°م ، أو أعلى . أما البكتريا السكربوفيليه ، المحبة للبرودة ، فإنها تفضل فى نموها درجات الحرارة المنخفضة ٢٠°م أو أقل ، ويمكنها أن تنمو فى درجة الصفر . وعلى ذلك فاللبن إذا ماخزن على درجات الحرارة العادية يحمض دون أن يكتسب طعما أو رائحة غير مرغوبة ، أما إذا خزن على درجات منخفضة أقل من ٢٠°م ونشطت فيه الميكروبات السكربوفيلية البروتيوليتية لأدى ذلك إلى تحلل البروتينات بدلا من السكربوايدرات والسكر ، واكتسب اللبن طعما ورائحة كريهتين دون أن يحمض .

٤ — مدة التخزين : مدة التخزين هى المدة التى تحدث مدى التغير الذى يطرأ على المادة الغذائية نتيجة لنمو الأحياء الدقيقة فيها وتكاثرها ، فكلما طالت مدة التخزين فى درجات حرارة مثالية للتكاثر كلما أتيحت الفرصة لزيادة فى المادة الغذائية نتيجة لزيادة عدد الميكروبات وزيادة نشاطها ، فعمليات التخمر التى تحدثها هذه الأحياء فى المادة تحتاج لتمامها إلى المدة الكافية لانحلال السكربوايدرات التى تحتويها ، ويقل أثر مدة التخزين تدريجيا كلما انخفضت درجة الحرارة إلى الحد الذى يضعف نشاط الميكروبات أو يوقفه تماما .

٥ — وجود الأكسجين : سبق أن أوضحنا أن وجود الأكسجين أو غيابه يعتبر عاملا هاما فى فساد الاغذية ، وأن هناك أنواعا من الاحياء تكون هوائية اجباريا بينما البعض الآخر ينمو فى غياب الهواء ، وقد فسرنا فى كلامنا عن تخمر السكربوايدرات أهمية الاكسجين فى عمليات التخمر وأثره فى نوع الميكروبات النامية وفى ناتجات التخمر ، وضربنا مثلا على

ذلك التخمر الخلى الذى يستخدم فيه الاكسجين فى أكسدة كحول الايثايل وتمتاز بكتريا حمض الخليك بامكانها النمو فى وجود نسب عالية من الكحول لاتسمح بنمو أنواع أخرى البكتريا . ويمكن توفر الاكسجين فى البيئة للأحياء الدقيقة الهوائية اجباريا أو اختياريا فى استخدامه بسهولة فى إطلاق الطاقة اللازمة لنموها وتكاثرها ، وفى هذه الظروف الهوائية تحدث البكتريا انحلالا للكثير من المركبات العضوية ، وتصبح البيئة أكثر صلاحية لنمو الأحياء غير الهوائية ، وهذه تحدث بدورها انحلالات فى المواد الغذائية تتباين ناتجاتها تباينا كبيرا . وأكثر حالات فساد الاغذية شيوعا تتسبب عن انحلال البروتينات ، وفى هذه الحالة تتميز بناتجات ذات رائحة كريهة وكثيرا مايطلق على هذه العملية إسم « النتن » Putrifaction . والخمائر رغم أنها توجد فى الطبيعة على السطوح الخارجية للكثير من الفاكهة إلا أن أغلبها غير هوائى اختياريا ، أما أنواع العفن فإنها هوائية تحتاج إلى الاكسجين.

٦ — ثانى أكسيد الكربون : على الرغم من الادلة التى تؤيد تأثر نمو البكتريا بوجود CO_2 الذى يحد من نموها ونشاطها إلا أن الابحاث الحديثة تذهب إلى أن هذا الغاز ليس له بالذات تأثير سام على البكتريا ، ويمكن تفسير تأثيره بأحد عاملين ، فقد يرجع إلى خفض رقم pH للبيئة بزيادة حموضتها ، أو قد ينسب إلى إزالته للأكسجين وحلوله مكانه وبذلك يجعل الوسط غير ملائم للبكتريا الهوائية إجباريا وكذلك للفطريات .

ويستفاد من هذه الخاصية الأخيرة فى مخازن التبريد الخاصة باللحوم حيث يطلق فيها CO_2 بنسبة خاصة ليحميها من التلف بفعل هذه الميكروبات.

وهناك أنواع من البكتريا لاتنمو إلا فى وجود ثانى أكسيد الكربون مثل مجموعة بروسيللا Brucella . كما أن الخمائر تسبب الكثير من التلف الذى يحدث للمياه الغازية «الغازوزة» رغم احتوائها على ثانى أكسيد الكربون

٧ — نسبة الرطوبة : تعتبر نسبة الرطوبة فى المادة الغذائية من أهم العوامل التى ترتبط بفساد الأغذية خصوصا من الناحية الميكروبيولوجية. ويعتبر الماء ضروريا جدا لنمو البكتريا والخمائر ، فعلاوة على أن هذه الأحياء تحصل على غذائها فى حالة ذائبة ، فإن الكثير من عمليات الانحلال التى تحدثها هى نوع من عمليات الانحلال المائى التى يعتبر الماء جزءا منها. وتحتاج البكتريا والخميرة إلى نسبة كبيرة من الرطوبة ، وليس هناك حد ثابت لمقدار الرطوبة الواجب توفرها فى المادة الغذائية لوقايتها من الفساد إذ أن نسبة الرطوبة ترتبط بعوامل أخرى مثل حموضة البيئة ونسبة ما تحتويه من المركبات العضوية ومقدار الأملاح الموجودة بها ونوعها وغير ذلك من عوامل الوسط ، وفى وجود الأملاح يزيد الحد الأدنى للرطوبة الذى يسمح بنمو البكتريا .

ومن المعروف أن الحبوب لا تتعرض للفساد البكتريولوجى إذا كانت نسبة الرطوبة فيها ١٥ ٪ أو أقل . واللحوم المقددة يقف نمو البكتريا فيها إلى ما بين ١٨ و ٢٠ ٪ . والاغذية المجففة بصفة عامة لا خوف عليها من الفساد البكتريولوجى إذا كانت نسبة الرطوبة فيها بين ١٠ و ١٥ ٪ ، وإن كانت هذه النسبة من الرطوبة قد لا تكفى لحماية المادة الغذائية من أنواع أخرى من الفساد ، إذ أن هذه النسبة من الرطوبة تسمح بنشاط الانزيمات كما تسمح بحدوث عمليات تأكسد تؤدى إلى تلف المادة وسيأتى شرح هذا تفصيلا . أما العفن فيمكنه أن ينمو على مواد تقل فى نسبة رطوبتها عن تلك التى تسمح بنمو البكتريا ، وتعتبر أنواع الاسبرجيللس والبنسيليوم من أكثر الانواع مقاومة لانخفاض الرطوبة . فهو ينمو عند نسبة من الرطوبة بين ٢ ٪ و ٥ ٪ . وفى معظم الاحيان ينمو على المواد الجافة إذا ما كانت هناك رطوبة كافية فى الهواء المحيط بتلك المواد . ولذلك كان من الضرورى لمنع

نمو العفن التحكم فى رطوبة الهواء المحيط بالمادة الغذائية . ولما كانت رطوبة الهواء تقل بزيادة سرعته كانت عملية التهوية ضرورية لمنع نمو العفن وكان لابد كذلك من ضمان جفاف الهواء المحيط بالمواد الغذائية الجافة فى وجودها داخل العبوات . ويجرى تخفيض الرطوبة فى المادة الغذائية إما بالطرق الشائعة وهى إزالة الماء كما فى عمليات التجفيف أو التركيز فتنخفض نسبة الماء فيها ، وإما بإضافة مواد لها كما فى التمليح أو بإضافة السكر .

٨ — الحموضة : يمكن للبكتريا بصفة عامة أن تنمو على درجات حموضة تختلف بين pH ٤،٥ و pH ١٠. والبكتريا السكارولية Saccharolytic ، المحللة للكربوايدرات ، تكون فى العادة اكثر احتمالا للحموضة من البكتريا البروتيولية ، المحللة للبروتين ، فهذه الأخيرة لا يمكنها أن تنمو عند قيم pH أقل من ٥،٥ . ولا يقتصر تأثرها على رقم pH بل إن نوع الحمض الموجود له أثر فى نشاطها ، فعند قيم pH العالية يكون لوجود الأحماض العضوية مثل الستريك والخليك والبربيونيك تأثير مثبط على الأحماض غير العضوية . ومن المشاهد أن أى تأثير يؤدى إلى تقليل مقدار الجزء المتأين من الحمض العضوى دون أن يؤثر فى درجة تركيزه يجعل هذا الحمض أكثر سمية والعكس وبالعكس . وتختلف المواد الغذائية فى درجة حموضتها فالفواكه فيما عدا الزيتون تختلف قيمة pH لها بين ٢،٥ و ٤،٥ تقريبا ، والخضر فيما عدا الطماطم تختلف قيم pH لها بين ٤،٩ و ٦،٣ ، أما اللحوم فيكون رقم pH لها حوالى ٧،٢ بعد الذبح ثم تتغير تدريجيا فتصبح بعد ٤٨ ساعة تقريبا حوالى ٥،٧ وتثبت عند pH ٦ تقريبا فى خلال أسبوع . وتنشط الخمائر والعفن فى وسط أكثر حموضة من الوسط المناسب للبكتريا . فالعفن والخمائر تنمو بنشاط فى الفواكه وعصيرها ، pH بين ٣،٥ و ٥،٥ ، فنجد عصير الفاكهة يتخمر تخمرا كحوليا بفعل الخميرة ، كما نجد العفن ينمو

على الفاكهة ومربياتها . ولنوع الحمض أثره فى تحديد نوع العفن الذى ينمو وأحماض الماليك والطرطريك والستريك تشجع نمو العفن المسمى اواوسبورا لاكتس Oospora Lactis . ومعظم أنواع البكتريا لا تنشط فى البيئة الزائدة الحموضة ولا يستثنى من ذلك غير أنواع قليلة أهمها بكتريا الخل اسيتوباكتر اسيتاى Acetobacter Aceti وبعض أنواع البكتريا التى تنمو فى النبيذ وتغير رقم pH للغذاء أو زيادة حموضته لا يقتصر تأثيرها على نمو الميكروبات بل يؤثر أيضا على حساسيتها للحرارة وعلى نشاطها البيولوجى بصفة عامة .

٩ — السكر : سبق أن أوضحنا أثر إحتواء المادة على الكربوايدرات فى نوع التغييرات التى تطرأ على المواد الغذائية . كما أوضحنا كيف تفاضل الأحياء الدقيقة بين المركبات الكربوايدراتية ، وبينا علاقة السكر بأنواع التخمر المختلفة التى تطرأ على المواد الغذائية . وعلاوة على ذلك فإن درجات التركيز العالية من السكر تؤثر فى مقدرة الأحياء الدقيقة على النمو . ولكى يمكن منع النمو الميكروبى لابد من استعمال محاليل سكرية ذات تركيز عالية حوالى ١٥ ٪ أو أكثر ، ويستفاد من هذه الخاصية فى حفظ المربيات والجيلى واللبن المكثف المحلى ، بل إنه عند استعمال هذه الدرجات العالية من التركيز يمكن لبعض سلالات الخمائر والفطر ولبعض البكتريا المنتجة للصموغ أن تنمو . وقد وجد أن المحاليل السكرية المتساوية فى درجة التركيز يزيد الضغط الاسموزى لها كلما صغر الوزن الجزيئى . وقد درس اريكسون وفابيان سنة ١٩٤٣ Erickson & Fabian التأثير الحافظ للسكريات المختلفة فوجدا أنه من حيث تأثيرها بالنسبة للبكتريا يكون الفركتوز فالدكستروز فالسكروز فاللاكتوز أكثرها تأثيرا . وقد وجد تاركو وفيللوز وليفين

Tarkow, Fellers, Levine أن الجلوكوز له أثر تثبيطى بالنسبة للخمائر والعفن من السكروز فى نفس درجة التركيز . ومعنى هذا أن شراب الفاكهة الذى يحدث فيه تحول لجزء كبير من السكر ، السكروز ، المضاف يكون أقل تعرضا لنمو العفن منه لو لم يحدث هذا التحول .

١٠ — ملح الطعام من المعروف أنه كما أن للأحياء الدقيقه حساسيتها بالنسبة للحموضة فان لها حساسية بالنسبة للاملاح ، وتختلف هذه الحساسية تبعا لتركيز الملح ويعتبر ملح الطعام من أهم الاملاح التى تلعب دورا هاما فى حفظ الاغذية وإن كان تأثيره لايزال غير معروف بالضبط ، ولا يمكن إرجاع السبب بأكمله إلى التأثير الاسموزى وحده فان هناك أملاحا أخرى خلاف ملح الطعام ليس لها نفس الأثر المثبط على نمو الاحياء الدقيقة حتى عند استعمالها فى درجات تركيز مرتفعة ، فهو من هذه الناحية ذو تأثير نوعى وتتوقف درجة تركيز الملح الضرورية لمنع نمو الاحياء الدقيقة على عـــدة عوامل تشمل نسبة الماء ونوع الميكروب الملوث ورقم $_pH$ والحرارة ومقدار البروتين فى البيئة وكذلك نوع المواد المثبطة الموجودة فى البيئة . وعنـد استعمال ملح الطعام فى درجات تركيز عالية يطول طور الابطاء للبكتريا ، أما فى درجات التركيز المنخفضة فهو يشجع نموها . وتختلف أنواع الاحياء الدقيقة فى مدى تحملها الملح ، والبكتريا المرضية أكثر تأثرا بالمحاليل الملحية المركزة . وقد أثبت تانر وايفانز Tanner & Evans أنه فى الإمكان مثلا منع نمو كلوستريديوم بوتشلاينم Cl. botulinum فى محاليل درجة تركيزها بين ٦,٥ و١٢ ٪ تبعا لنوع البيئة . أما الخميرة فيمكنها أن تنمو على درجات تركيز عالية خصوصا الخميرة التى تكون الغشاء السطحى ، فقد أثبت مارك وبونار Mark & Bonar ، ١٩٣٩ إمكان نموها فى محاليل درجة تركيزهـا ٢٤ ٪ ملحا . ومثل هذه الخمائر تنمو على سطح المخللات . وكذلك يمكن

لبعض أنواع العفن أن تنمو على مثل هذه الدرجات العالية من التركيز، ويقول تانر Tanner بامكان نمو العفن فى وجود نسب من الملح تزيد عن ٢٠٪ . ويلعب الملح دورا هاما فى صناعة التخليل فهو يسمح بنمو وتكاثر بكتريا حمض اللكتيك التى تحول السكر إلى حامض لكتيك وهذا بدوره يمنع نمو البكتريا البروتيوليتية « المحللة للبروتين » والبكتريا البكتوليتية « المحللة للبكتين » .

١١ — احتواء البيئة على مواد منشطة للنمو : من المعروف أن أيونات بعض المعادن مثل الصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم والباريوم والرصاص والزئبق إذا وجدت فى البيئة بنسب ضئيلة فانها تنشط الاحياء الدقيقة، وإذا مازادت نسبتها فى البيئة فأنها تؤدى إلى عكس النتيجة فتثبط النشاط . كذلك وجد أن بعض الاحماض الامينية إذا وجدت فى بيئة بعض أنواع البكتريا تؤدى إلى تنشيط نموها . وقد سبق أن أوضحنا الدور الهام الذى يلعبه ملح الطعام فى الدرجات المنخفضة من التركيز . وقد ظهر للعلماء حديثا أن هناك مواد توجد طبيعيا فى الأنسجة النباتية والحيوانية لها تأثير إضافى على النمو . ويطلق الآن على المواد اسم عوامل النمو الاضافية Accessory Growth Factors وهى مواد عضوية لو أضيفت بكميات ضئيلة إلى البيئة التى تحتوى على مصادر الكربون والنتروجين والمواد المعدنية فإنها تساعد على نمو الميكروبات . وقد ظهر أن هذه المواد تتبع معقد فيتامين B ولبعض أنواع البكتريا القدرة على تكوين هذه المواد بطريقة تركيبية والبعض الآخر خلو من هـــذه القدرة . وهذه البكتريا الأخيرة تحتاج إلى هذه الفيتامينات لكى تتم داخل خلاياها عمليات الاكسدة الحيوية . ويحتاج الكثير من بكتريا حمض اللكتيك التى تسبب فساد المواد الغذائية وكذلك بكتريا القولون Coli إلى هذه الفيتامينات ، وكذلك يمكن لبعض أنواع الخميرة أن تنمو فى بيئات

خالية من هـــذه الفيتامينات وليس للبعض الآخر القدرة على تخمير الفيتامينات اللازمة له .

١٢ — احتواء البيئة على مواد مثبطة للنمو : هناك الكثير من المواد يؤدى وجودها فى البيئة إلى تثبيط نشاط الأحياء الدقيقة أو إيقاف نموها أو هلاكها . وكثيرا ماتؤدى نواتج الانحلال التى تنتج عن نشاط بعض أنواع الاحياء الدقيقة خصوصا عندما يزيد تركيزها فى البيئة إلى الإضرار بهذه الاحياء وتثبيط نموها وتكاثرها ، كما يحدث عند زيادة نسبة الحمض أو الكحول الناتج الخ ...

ا ـــ الأملاح والأحماض : سبق أن أوضحنا تأثير ملح الطعام فى درجات التركيز العالية ، كما ذكرنا أن زيادة تركيز أيونات بعض العناصر المعدنية يؤدى إلى تثبيط النشاط ، وكذلك يكون تأثير الأحماض العضوية إذا وجدت فى المواد الغذائية مثبطا بالنسبة لبعض الاحياء الدقيقة . وبعض الأملاح المنتجة للاكسجين يؤدى وجودها فى البيئة إلى تثبيط الاحياء غير الهوائية وتستخدم أملاح النترات والنتريت معا فى تتبيل اللحوم بنسبة ٢ , ٪ أو أقل من الأولى ، و٠,٠٢ ٪ أو أقل من الثانية ، وذلك لمنع البكتريا غير الهوائية من احداث النتن Putrifaction فيها .

ب ـــ التوابل كذلك يؤدى وجود بعض التوابل فى المواد الغذائية إلى تثبيط نشاط الاحياء الدقيقة فيها ، ويرجع هذا التاثير فى معظم الحالات إلى الزيوت العطرية التى توجد فى هذه المواد وهناك إتفاق فى الرأى بين معظم الباحثين على أن القرنفل والقرفة والخردل يكون تاثيرها فى الحفظ أكثر من غيرها من التوابل أو الأعشاب العطرية . وقد وجد أن الزيوت المتطايرة للخردل ذات تاثير فى الحفظ أكبر من الزيوت العضوية المستخرجة من باقى التوابل . وقد توصل Plum & Fabien سنة ١٩٤٣ إلى ترتيب بعض المركبات

الكيمائية المسئولة عن الحفظ فى هذه التوابل فوجد أن أشدها تاثيرا هما ايروئيوسيانات الألايل والكارفاكول Carvacol ثم يليهاالدهيد السينامك وخلات السينناميل Cinnamyl Acetate ثم اثير الاوجينول المثيلى Eygenol Methyl Ether واليوكاليبتول .

حـ ــ المواد الكيماوية الحافظة : تؤدى المـــواد الحافظة الكيمائية Chemical Prescrvatives إذا أضيفت إلى المواد الغذائية إلى تثبيط نمو الاحياء الدقيقة منها . ويختلف تأثيرهاتبعا لنوع المادة ودرجة تركيزهـا ولأنواع الاحياء الملوثة . وأهم المواد الكيمائية الحافظة التى تستخدم فى الصناعة هى حمض الكبريتوز وأملاح السلفيت وحمض البنزويك وأملاح البنزوات خصوصا بنزوات الصوديوم التى تستخدم فى عصير الفاكهـــة وشرابها والساليسيلات وحمض البربيونيك وأملاح بروبيونات الصوديوم والكالسيوم التى تستخدم فى صناعة الخبز لمنع نمو العفن الخ وسيأتى الكلام عن هذه المواد . وبعض هذه المواد يكون متطايرا على درجـــة حرارة الغرفة ، علاوة على إمكانه النفاذ إلى داخل العبوات والأكياس ،ومن أمثلة أكسيد الأيثيلين وأكسيد البروبلين وبروميد الميثايل .

الباب الخامس

الانزيمات التى تحتويها المادة الغذائية طبيعيا

وما تحدثه من تغييرات

لاشك أن فساد الأغـــذية بفعل الأحياء الدقيقة يعزى إلى تأثير الانزيمات التى تفرزها ، وقدسبق دراسة التغييرات التى تحدث عن نمو هذه الأحياء ، وعلى ذلك فسنقتصر فى كلامنا هنا عن التغييرات التى تحدثها