جدول رقم 13 - 6 : العوامل المشاركة فى حفظ بعض الأغذية ذات الرطوبة المتوسطة

المنتـــج	العوامل المشاركة فى التأثير على النمو الميكروبى
المـربات	نشاط الماء – قيمة الأس الهيدروجينى – مواد حافظة (حامض سوربيك)– معاملة حرارية.
لحـــوم	نشاط الماء – قيمة الأس الهيدروجينى – جهد الأكسدة والاختـزال – مواد حافظة (نيتريت) – علاقة التنافس بين الأحياء الدقيقة – درجة حرارة التخزين.
كيـــك	نشاط الماء – مواد حافظة – معاملة حرارية – درجة حرارة التخزين.
فاكهة مجففة	نشاط الماء – قيمة الأس الهيدروجينى – مواد حافظة – معاملة حرارية.
أغذية مجمدة	نشاط الماء – درجة حرارة التخزين.

المصدر : (Sinell), In : ICMSF (1980 a)

والجدير بالذكر أن التعامل مع هذه العوامل المؤثرة بمهارة بواسطة المشتغلين فى مجال الأغذية سوف يؤدى لتقديم أغذية للمستهلك أكثر ثباتاً وأمناً وطزاجة وذات قيمة تغذوية عالية.

13 - 6 فساد الأغذية

يعتبر فساد الأغذية هو السبب الرئيسى لفقدها حيث أن كثيراً من الأغذية لا تصل إلى المستهلك بسبب فسادها أو تفسد أو تصبح غير آمنة بعد شرائها وبالتالى فإن الفساد يعتبر مشكلة لكل من المنتج والصانع والمستهلك.

وعلى الرغم من اعتقاد الكثيرين بمعرفتهم بتعريف الفساد إلا أن لفظة فساد الأغذية غالباً ما تعكس صور مختلفة لأفراد مختلفين. وعموماً يعرف فساد الأغذية بمعناه العريض بأنه أى تغير فى الغذاء يجعله غير مقبول بواسطة المستهلك وعادة ما تكون هذه التغيرات عبارة عن عيوب واضحة فى الخواص الحسية للغذاء مثل اللون والنكهة والمظهر (الفساد الحقيقى أو المثالى) . وفى حالات أخرى يكون من الصعب الكشف عن هذه التغيرات كما فى

حالة تواجد أحياء دقيقة ضارة بالصحة أو فى حالة حدوث فقد فى القيمة التغذوية للغذاء.

وأسباب فساد الأغذية متعددة وقد تكون أسباباً داخلية أو خارجية بمعنى أن سبب الفساد قد يأتى من مصدر داخل الغذاء نفسه أو من مصدر خارجى. وبصفة عامة يوجد ثلاثة أسباب لفساد الأغذية وهى نمو الأحياء الدقيقة – تدهور فسيولوجى أو كيموحيوى – تلف فيزيقى. وطبعاً فإن الأهمية النسبية لأى من هذه الأسباب تختلف حسب نوع الغذاء وعلى الرغم من ذلك فإنه فى كثير من الأغذية يحدث الفساد نتيجة لاشتراك أكثر من سبب من هذه الأسباب معاً.

تقسم الأغذية على حسب قابليتها للفساد إلى ثلاث مجموعات، الأولى تسمى بالأغذية سريعة القابلية للفساد perishable foods وهذه المجموعة تضم أهم الأغذية المتداولة يومياً – والتى تفسد ما لم يتم حفظها بإحدى طرق الحفظ المختلفة – مثل اللحم والسمك والدواجن ومعظم الفاكهة والخضروات واللبن. والمجموعة الثانية تسمى بالأغذية متوسطة القابلية للفساد semiperishable foods وهى الأغذية التى إذا تم تداولها وتخزينها بطريقة جيدة لا تفسد لفترة طويلة نسبياً مثل درنات البطاطس والمكسرات وبعض أصناف التفاح. المجموعة الثالثة وتسمى بالأغذية عديمة القابلية للفساد أو الأغذية الثابتة stable or nonperishable foods وهى الأغذية التى لا تفسد إلا إذا تم تداولها بطريقة سيئة وعدم عناية مثل السكر والملح والبقول الجافة.

13 - 6 - 1 فساد الأغذية بواسطة الأحياء الدقيقة

تعتبر الكائنات الحية الدقيقة سبباً رئيسياً فى فساد الأغذية، والكائنات الحية الدقيقة جزء طبيعى من البيئة التى نعيش فيها وتتواجد غالباً فى كل مكان على الأرض بما فى ذلك الأغذية (تلوث الأغذية من المصادر الطبيعية) . ولكن ليست كل الأحياء الدقيقة الموجودة على الأغذية سوف تسبب فسادها، فمعظم الأحياء الدقيقة الموجودة فى الأغذية غير ضارة وتكون محمولة فقط بواسطة الغذاء hitchhikers . ولكن توجد أنواع قليلة من الأحياء الدقيقة تكون هى السبب فى فساد معظم الأغذية وتسمى هذه الكائنات بالكائنات المسببة للفساد الحقيقى أو المثالى true spoilage organisms وهذه الكائنات لها قدرة على عمل تحلل وتدهور الغذاء حيث تظهر فى صورة تغيرات تربطها بالفساد (التغيرات الحسية فى اللون

والنكهة والمظهر) . والجدير بالذكر أن مثل هذه التغيرات غير المرغوبة تكون بمثابة إنذار للمستهلك بأن هذا الغذاء قد لا يكون آمناً للإستهلاك . وسوف نلقى الضوء على هذا النوع من الفساد فى هذا الباب.

كما توجد كائنات حية دقيقة تسبب أمراضاً للإنسان والحيوان يطلق عليها اسم الأحياء الدقيقة الممرضة pathogens وهذه الكائنات الممرضة تعتبر من أقل الأحياء الدقيقة شيوعاً كمسبب لفساد الأغذية ولكن نظراً للنتائج الخطيرة المترتبة على تواجدها فى الأغذية (حدوث أمراض لمن يتناولها) فإن ذلك جعلها ذات أهمية بالغة سواء لصانع الأغذية أو المستهلك. والجدير بالذكر أن هذه الكائنات الممرضة تنمو فى الأغذية لمستوى يسبب خطورة على صحة الإنسان دون أن تؤثر على الخواص الحسية للأغذية. وسوف نفرد لها باباً خاصاً من أبواب هذا الكتاب (التسمم الغذائى البكتيرى والفطرى – الباب رقم 14) .

وهناك بعض الأحياء الدقيقة غير الممرضة والمسببة للفساد يمكنها أن تحدث (مرضاً) تسمماً غذائياً والمثال على ذلك التسمم الغذائى المعروف باسم التسمم الغذائى الإسقمرى Scombroid food poisoning (نسبة إلى فصيلة الأسماك المعروفة باسم الإسقمريات) وهذا التسمم يعتبر مشكلة فى الأسماك مثل التونة والماكريل فهذه الأسماك يحدث لها فساد بواسطة البكتريا ينتج عنه تحلل البروتينات وتجمع الهستامين فى أنسجة السمك، والمستهلك الذى يتناول هذا السمك تظهر عليه أعراض تفاعلات الحساسية الشديدة.

الأحياء الدقيقة المسببة للفساد الحقيقى أو المثالى true spoilage organisms

يتوقف عدد ونوع الأحياء الدقيقة فى الأغذية بدرجة كبيرة على نوع المنتج الغذائى وطرق تصنيعه وظروف تخزينه، فمثلاً الأغذية الخام تختلف تماماً عن تلك المصنعة فى عدد ونوع الأحياء الدقيقة المتواجدة عليها أو فيها كما أن لها مجموعة من المشاكل الخاصة بها من حيث الفساد، وبصفة عامة يمكن القول بأن الأغذية الخام لها كائنات حية دقيقة غير متجانسة بينما الأغذية المصنعة عادة تحتوى الأحياء الدقيقة التى أمكنها أن تقاوم طريقة تصنيع ثم ظروف تخزين الغذاء.

والجدير بالذكر أن مجرد تلوث الأغذية الخام بالأحياء الدقيقة من مصادر التلوث

الطبيعية أو بقاء أحياء دقيقة قاومت طرق التصنيع المختلفة وذلك بالنسبة للأغذية المصنعة، كل ذلك لا يعنى فساد الغذاء ، بل يكمن الخطر فى نمو وتكاثر الميكروبات فى الغذاء نفسه وبالتالى يحدث الفساد.

ومن المشاهدات العملية نجد أن كل غذاء من الأغذية المختلفة يفسد نتيجة الأنشطة الكيموحيوية لأحياء دقيقة معينة تختلف عن تلك المسببة لفساد غذاء آخر، فاللحوم المبردة تفسد نتيجة نمو وتكاثر البكتريا السيكروتروفيه psychrotrophes العصوية السالبة لصبغة جرام وبالتالى تؤدى لتكوين مواد لزجة على سطح اللحوم بينما اللحوم المنضجة cured يظهر الفساد فيها فى صورة تغير طعمها إلى الطعم الحامضى نتيجة نمو وتكاثر البكتريا micrococci ، lactobacilli ، microbacteria وتفسد عصائر الفاكهة نتيجة التخمر بواسطة الخمائر بينما يرجع فساد الخضروات لإجتياح البكتريا السالبة لصبغة جرام مكونة تلف الأنسجة «التعفن» rots بينما تفسد كل من الفاكهة المجففة والحبوب والبقول بواسطة الأعفان.

معنى ذلك أن الأحياء الدقيقة المسببة لفساد نوع معين من الغذاء هى تلك الأحياء الدقيقة التى أمكنها النمو والتكاثر فى هذ الغذاء تحت ظروف تخزينه (أى أن العوامل المؤثرة على نمو الأحياء الدقيقة فى هذا الغذاء ملائمة لنموها) وبالتالى يكون لها السيادة فى هذا الوسط وتسبب فساد هذا الغذاء. وهذه الأحياء الدقيقة التى تسبب فساد الأغذية تسمى مسببات الفساد الحقيقى أو المثالى.

أولاً : تأثير الكائنات المسببة للفساد الحقيقى على مكونات الغذاء

إن فساد غذاء الإنسان ليس هدفاً فى حد ذاته للأحياء الدقيقة ولكنها ببساطة تحاول أن تحيا مثل أى مخلوق فهى مثل باقى الأحياء تحتاج للمغذيات والماء والمعادن لتحيا وتنمو وتتكاثر لذا فأنها تحلل مكونات الأغذية للحصول على هذه الاحتياجات.

1 – إنحلال المواد الكربوهيدراتية

نجد أن معظم الكربوهيدرات المتواجدة طبيعياً فى الأغذية تكون فى صورة سكاكر ثنائية (مثل السكروز والمالتوز واللاكتوز) أو سكاكر عديدة (البكتين والسليلوز والنشا ..) مع

وجود بعض السكاكر الأحادية الحرة (جلوكوز وفركتوز وجالاكتوز) . ولكى تستفيد الأحياء الدقيقة من المواد الكربوهيدراتية فلابد أن تحلل الكربوهيدرات المعقدة أولاً إلى مكوناتها من السكاكر الأحادية وذلك بواسطة النظم الإنزيمية المتاحة لكل كائن حى دقيق. ونجد أن إنحلال البكتين له أهمية كبيرة فى فساد الأنسجة النباتية حيث تقوم الأحياء الدقيقة التى لها قدرة على إنتاج الإنزيمات المحللة للبكتين pectolytic enzymes بتكسير الروابط الجليكوسيدية ونتيجة لذلك تحدث طراوه فى الأنسجة النباتية تعرف باسم داء تلف الأنسجة الطرى أو التعفن الطرى soft rot ثم يأتى إنحلال السليلوز فى المرتبة الثانية كمسبب لفساد الأنسجة النباتية.

بعد تكسير السكاكر المعقدة إلى مكوناتها من سكاكر أحادية تقوم الأحياء الدقيقة باستهلاك هذه السكاكر الأحادية، ويعتبر الجلوكوز أهم الكربوهيدرات التى تستخدم بواسطة الأحياء الدقيقة كمصدر للكربون والطاقة. ويتم تكسير السكاكر الأحادية عن طريق عدة مسارات أيضية (ميتابولزمية)، وبناءً على المسار الميتابولزمى المتاح للكائن وأيضاً الظروف البيئية المحيطة تختلف النواتج الميتابولزمية الناتجة من تكسير السكاكر الأحادية وهى تشمل أحماضاً عضوية، كحولات، CO_2، H_2، H_2O، ويوضح جدول رقم 13 - 7 بعض النواتج الميتابولزمية لتكسير الكربوهيدرات بواسطة أحياء دقيقة مختلفة.

2 - إنحلال الليبيدات

تعتبر الدهون أهم الليبيدات الموجودة فى الأغذية وهى عبارة عن ثلاثى أسيل جليسرول (جلسريدات ثلاثية)، وكثير من الأغذية تحتوى على دهون وهذه تكون عرضة للتحلل المائى أو الأكسدة وبعض العمليات الأخرى التى ينتج عنها تغيرات فى نكهة الغذاء. ويطلق لفظة تزنخ rancidity على عملية تدهور deterioration الدهن. وانطلاق الأحماض الدهنية من الدهن يطلق عليه التزنخ التحللى hydrolytic rancidity أما التدهور التأكسدى فيسمى التزنخ التأكسدى oxidative rancidity وأكسدة الدهون غالباً ما تكون راجعة لإنزيمات الأنسجة tissue enzymes أو التأكسد الذاتى autoxidation أكثر من كونها راجعة لنشاط الأحياء الدقيقة. ونجد أن التغيرات الرئيسية فى نكهة الأغذية نتيجة تزنخ الدهون ترجع بصفة رئيسية لعمليات الأكسدة وليس لعمليات التحلل وذلك باستثناء إنطلاق

جدول رقم 13 - 7 : النواتج الميتابولزمية لتكسير السكاكر الأحادية بواسطة أحياء دقيقة مختلفة

الاسم العلمى للكائن الحى الدقيق	النواتـــــج الرئيســـية
Leuconostoc mesenteroides	حامض لاكتيك – كحول إيثايل – CO_2
Saccharomyces	كحول إيثايل – CO_2
Clostridium botulinum	حامض خليك – حامض بيوتيريك – حامض بروبيونيك – حامض أيزوبيوتيريك – حامض أيزوفاليرك – كحول بروبايل – كحول أيزوبيوتيل – كحول بيوتيل – كحول أيزواميل
Propionibacterium	حامض بروبيونيك – حامض خليك – حامض أيزوفاليريك – حامض فورميك – حامض سكسينيك – حامض لاكتيك – CO_2
Escherichia coli	حامض لاكتيك – حامض خليك – حامض فورميك – H_2 – CO_2
Bacillus cereus	أسيتوين acetoin – جليســـرول – 3,2 بيـــوتان داى اول butanediol – حامض لاكتيك – حامض سكسينيك – حامض فورميك – حامض خليك – CO_2

المصدر : Banwart (1989).

الأحماض الدهنية المتطايرة (نتيجة التزنخ التحللى). كما أن التزنخ التحللى له أهمية خاصة عند انطلاق أحماض دهنية قصيرة السلسلة ذائبة فى الماء (أحماض: بيوتيريك – كابروبك – كابريليك) حيث تسبب نكهة متزنخة كريهة فى اللبن.

والجدير بالذكر أن الدهن النقى لا يهاجم بواسطة الأحياء الدقيقة وذلك لضرورة وجود المغذيات اللازمة للأحياء الدقيقة ذائبة فى وسط مائى .. ولكن معظم الأغذية الدهنية (زبد – قشدة – مارجرين) بها وسط مائى مرتبط بالدهن . ويوضح جدول رقم 13 - 8 أهم الأجناس التى بها أنواع وسلالات محللة للدهن.

جدول رقم 13 - 8 : أهم الأجناس التى بها أنواع وسلالات محللة للدهن

البكتـــــريا	الفطـــــريات
Acinetobacter	*Absidia*
Aeromonas	*Alternaria*
Alcaligenes	*Aspergillus*
Bacillus	*Candida*
Chromobacterium	*Cladosporium*
Corynebacterium	*Endomyces*
Enterobacter	*Fusarium*
Flavobacterium	*Geotrichum*
Lactobacillus	*Mucor*
Micrococcus	*Neurospora*
Pseudomonas	*Penicillium*
Serratia	*Rhizopus*
Staphylococcus	*Torulopsis*
Streptomyces	

المصدر : Banwart (1989).

3 - إنحلال البروتينـــات

تقاوم البروتينات الأصلية الطبيعية native proteins مهاجمة الأحياء الدقيقة لها ولذلك تقوم الأحياء الدقيقة باستخدام مركبات لها وزن جزيئى صغير مثل الببتيدات الثنائية والأحماض الأمينية الحرة الموجودة فى أنسجة الأغذية البروتينية مثل اللحم والدجاج والسمك ونجد أن معظم الأغذية البروتينية يحدث لها فساد قبل تكسر أى كمية جوهرية من البروتين ولكن فى مراحل الفساد المتقدمة يتحلل بعض البروتين بواسطة الإنزيمات المحللة للبروتين سواء من الأنسجة نفسها أو من الأحياء الدقيقة.

أما تكسر الأحماض الأمينية فيعتبر شيئاً أساسياً فى فساد الأغذية البروتينية والنواتج التى تتكون نتيجة هدم الأحماض الأمينية تعتمد على عدة عوامل أهمها : نوع الكائن الحى الدقيق - نوع الحامض الأمينى - درجة الحرارة المخزن عليها الغذاء - كمية الأكسجين المتاحة - نوع المثبطات (إن وجدت).

وطبعاً يوجد العديد من الأحماض الأمينية وبالتالى نتوقع وجود العديد من النواتج. والنواتج التى تتكون تحت ظروف لاهوائية تكون لها رائحة كريهة عفنة وهذا النوع من الهدم يطلق عليه تعفن putrefaction أما الهدم الذى يحدث تحت ظروف هوائية فيسمى تحلل أو اضمحلال decay.

تشمل نواتج هدم الأحماض الأمينية بواسطة الأحياء الدقيقة العديد من المركبات التى تحدث تغيرات فى نكهة الأغذية أهمها: CO_2، H_2، NH_3، H_2S ، أحماض عضوية وكحولات وأمينات ومركبتانات mercaptans. والجدير بالذكر أنه يحدث ارتفاع فى قيمة الأس الهيدروجنى (pH)للأغذية البروتينية نتيجة لإنتاج الأمونيا والأمينات ويؤخذ هذا الارتفاع فى قيمة الأس الهيدروجينى كمؤشر لهدم البروتين.

4 - أنماط أخرى من تدهور الأغذية تسببها الأحياء الدقيقة

بالإضافة للتغيرات الناتجة من إنحلال الكربوهيدرات والدهون والبروتينات (طراوة الأنسجة وتغيير نكهة الغذاء) فإن الأحياء الدقيقة يمكنها عمل تغيرات أخرى غير مرغوبة فى الأغذية وذلك عن طريق تغيير مظهر الغذاء نتيجة لنمو بكتريا ملونة أو ظهور ميسليوم الأعفان على سطح الغذاء كما يمكن للأحياء الدقيقة أن تحدث تغييرا فى لون صبغات الغذاء (كلوروفيل وكاروتين مثلاً) . كما تقوم الأحياء الدقيقة بتكوين دكسترانات dextrans أو ليفانات levans من السكاكر الـ ائية الموجودة فى الغذاء وتظهر فى صورة مواد لزجة على سطح الأغذية مثل اللحم والدجاج والسمك أو فى صورة تحبل ropines فى أغذية مثل اللبن والخبز، كما قد تتواجد الدكسترانات فى صورة كتل كروية أثناء تصنيع سكر القصب والبنجر فتزيد لزوجة المحاليل السكرية وتعيق عملية الترشيح والبلورة.

ثانياً : أمثلة للعيوب الشائعة التى تسببها الأحياء الدقيقة فى بعض الأغذية :

كما ذكرنا ؛ فإن فساد الأغذية الميكروبى لا يتحقق إلا بوجود أعداد هائلة من الأحياء الدقيقة فى الغذاء وأن الأحياء الدقيقة المسببة لفساد غذاء معين هى تلك القادرة على النمو ويكون لها السيادة تحت الظروف المحيطة بهذا الغذاء (العوامل المؤثرة على نمو الميكروبات) وفيما يلى أمثلة لبعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى أغذية معينة.

1 – الفاكهة والخضروات الطازجة

هذه المنتجات رطبة للغاية وبالتالى تكون شديدة التعرض للفساد بواسطة الأحياء الدقيقة ومع ذلك نجد أن كلا من النوعين يختلفان اختلافا جوهريا عن الآخر فالفاكهة عادة حامضية وتحتوى تركيزاً أعلى من السكاكر بينما الخضروات لها قيمة أس هيدروجينى (pH) متعادل وتحتوى كمية أقل من السكاكر . وبالتالى فإن نوع الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن فساد الفاكهة تختلف عن تلك المسببة لفساد الخضروات، فحموضة الفاكهة تجعلها أكثر مقاومة لنمو البكتريا – باستثناء البكتريا المقاومة للحموضة (*Leuconostoc –Lactobacillus*) – ولكن هذه الظروف تساند نمو الأعفان والخمائر. ويظهر فساد الفاكهة بواسطة الأعفان فى صورة مناطق تالفة (أو عفنة rotted) عليها نمو واضح من الميسليوم والسبب فى وجود داء تلف الأنسجة (التعفن) rotting هو إنتاج إنزيمات محللة للبكتين وتسبب طراوة النسيج . وأهم الأعفان المسببة لفساد الفاكهة تتبع الأجناس *Rhizopus – Penicillium – Byssochlamys – Alternaria*. وتسبب الخميرة عادة فسادا ثانويا secondary spoilage حالما سببت الأعفان الفساد الأولى primary spoilage أو طالما حدث تلف لسبب آخر لنسيج الثمرة ، مما يتيح للخميرة الدخول للأنسجة والنمو والتكاثر على السكاكر الموجودة داخل النسيج النباتى . وأهم الخمائر المشاركة فى فساد الفاكهة أنواع تابعة للأجناس *Debaryomyces – Candida – Saccharomyces – Pichia – Kloeckera – Hansenula – Hanseniaspora – Torulopsis* . ويبين الجدول رقم 13 - 9 أهم العيوب فى بعض الفاكهة ومنتجاتها.

جدول رقم 13 - 9 : بعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى الفاكهة ومنتجاتها

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
الفاكهة الطازجة	داء تلف الأنسجة (تعفن) بواسطة العفن الأزرق	*Penicillium expansum*
(عموما)	داء تلف الأنسجة (تعفن) بواسطة العفن الأسود	*Aspergillus niger*
	داء تلف الأنسجة (التعفن) الطرى soft rot	*Byssochlamys fulva, Penicillium*
	داء تلف الأنسجة (تعفن) بواسطة العفن الأخضر	*Penicillium digitatum*
التفاح	تخمر	*Torulopsis, Candida, Pichia*
الموز	التعفن الأسود black rot	*Alternaria*
الفراولة	تخمر	*Kloeckera*
	التعفن الطرى soft rot	*Rhizopus*
الموالح	العفن الأخضر green mould	*P. digitatum*
	العفن الأزرق	*P. italicum*
	العفن الأسود	*Alternaria*
البلح	تخمر	*Saccharomyces , Candida*
		Hanseniaspora, Torulopsis
التين	حموضة	*Gluconobacter*
الزيتون	طراوه softening	*Rhodotorula, Saccharomyces,*
		Hansenula
عصائر الفاكهة	حموضة - CO_2	*Lactobacillus* , خمائر
	طعم الخل	*Acetobacter*
	نمو العفن على السطح	*Penicillium*
	عكارة	Nonfermenting yeast خمائر غير مخمرة
	عكارة وكحول	Fermenting yeast خمائر مخمرة
	نكهة الزبد	*Lactobacillus, Leuconostoc*
المربى والجلى	نمو فطرى	*Xeromyces bisporus*
	تخمر	Osmophilic yeasts
		خمائر محبة للضغط الإسموزى العالى

المصدر : مختصر من Banwart (1989) .

obeikandl.com

أما فساد الخضروات فنجد أن لكل من البكتريا والأعفان دوراً هاماً فى حدوثه، ولما كانت البكتريا تنمو أسرع من الأعفان فبالتالى فهى المسؤولة أكثر عن فساد الخضروات. ونجد أن أعراض فساد الخضروات بالأعفان تشابه نفس أعراض فساد الفاكهة بالأعفان. كما تسبب البكتريا داء تلف الأنسجة (التعفن) الطرى wet or soft rots، ويبدأ التعفن الطرى كمناطق صغيرة غائرة على الخضروات ثم لا تلبث أن تتحول هذه المناطق إلى التعفن الطرى حيث تنتشر لتشمل الخضار كله. وتكون أعراض الفساد هذه نتيجة لفعل الإنزيمات المحللة للبكتين ومن أهم الأجناس البكتيرية المنتجة للإنزيمات المحللة للبكتين والمسببة لفساد الخضروات الأجناس: *Erwinia – Clostridium – Pseudomonas – Xanthomonas*. أما الأعفان الهامة فى فساد الخضروات فتشمل الأجناس : *Aspergillus – Alternaria – Rhizopus – Fusarium* (جدول رقم 13 - 10).

جدول رقم 13 - 10 : بعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى الخضروات ومنتجاتها

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
الخضروات الطازجة	داء تلف الأنسجة (التعفن) الطرى	*Erwinia carotovora, Pseudouonas fluorescens*
	داء تلف الأنسجة (التعفن) الطرى الأسود	*Alternaria, Rhizopus nigricans*
	داء تلف الأنسجة (تعفن) بواسطة العفن الأسود	*Aspergillus niger*
	داء تلف الأنسجة (تعفن) بواسطة العفن الأزرق	*Penicillium*
الجـــــزر	داء تلف الأنسجة (التعفن) الطرى	*E. carotovora, Rhizopus stolonifer*
البـــصل	تعفن الرقبة neck rot	*Botrytis allii*
	داء تلف الأنسجة (التعفن) البنى	*Pseudomones aeruginosa*
	العفن الأسود black mold	*Aspergillus niger*
البطاطس	داء تلف الأنسجة (التعفن) الجاف dry rot	*Fusarium*
الطمـــاطم	تخمر	*Candida, Pichia, Hanseniaspora, Kloeckra*
	تعفن فطرى fungal rot	*Alternaria, Aspergillus, Botrytis , Colletotrichum, Monilia, Penicillium, Rhizopus*

تابع جدول رقم 13 - 10 :

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
اللحـــــوم	بقع أو لطخ بكتيرية bacterial spot	*Xanthomonas*
مخللات	طراوه	*Bacillus*
	إسوداد	*Bacillus*
	نقص الحموضة	خمـــائر
عـــصـــيـــر	حموضة	*Lactobacillus , Acetobacter*
خـضـروات		

المصدر : مختصر من Banwart (1989) .

2 – الحبوب والمكسرات وبعض الأغذية الكربوهيدراتية الأخرى

عادة ما تكون الحبوب والمكسرات جافة قبل تخزينها لذلك تكون مقاومة للفساد بواسطة الأحياء الدقيقة، وعلى الرغم من ذلك فإن الأحياء الدقيقة قد تُفسد هذه الأغذية إذا لم تجفف لدرجة مناسبة أو لم يتم المحافظة على حالتها الجافة وفى هذه الحالة ينتج الفساد بواسطة الأعفان (جدول رقم 13 - 11) لأن هذه الأغذية – فى حالة عدم تجفيفها لدرجة مناسبة – تظل جافة للدرجة التى تمنع نمو البكتريا. وفساد هذه الأغذية يشمل تغيير المظهر نتيجة للنمو الفرائى أو الزغبى furry or fuzzy لميسيليوم العفن ، فقد فى الوزن والمغذيات ، وتكوين سموم فطرية.

أما الخبز فيفسد بواسطة الأعفان وأيضاً بواسطة البكتريا مثل *Bacillus subtilis* وبكتريا حامض اللاكتيك (جدول رقم 13 - 11).

تتميز الأغذية مثل الشيكولاته والعسل والمحاليل السكرية والمياه الغازية بوجود نسبة عالية من السكر بها لذا فإنه إذا تم تداولها بطريقة سيئة فإنها تفسد بواسطة الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى أو المقاومة للضغط الإسموزى العالى (جدول رقم 13 - 11).

جدول رقم 13 - 11 : بعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى الحبوب وبعض الأغذية الكربوهيدراتية الأخرى

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
الحبوب	نمو فرائى من العفن	*Penicillium - Aspergillus*
	فساد اللون	*Rhizopus nigricans*
الفول السودانى والمكسرات	نمو فرائى من العفن	*Aspergillus - Penicillium - Fusarium*
الخبز	التحبل	*Bacillus Subtilis*
	العفن الأسود	*Rhizopus nigricans*
	العفن الأزرق	*Penicillium*
	العفن الوردى	*Neurospora*
	طعم حامض	بكتريا حامض اللاكتيك
شيكولاته	تخمر	خمائر مقاومة أو محبة للضغط الإسموزى العالى
عسل	تخمر ونكهة الخميرة	خمائر محبة للضغط الإسموزى العالى *Torulopsis*
مياه غازية	عكارة	خمائر
محاليل سكرية	لزوجة	*Leuconostoc mesenteroides*
	تخمر وطعم الخميرة	خمائر محبة للضغط الإسموزى العالى

المصدر : مختصر من Banwart (1989) .

3 - المنتجات الحيوانية

تعتبر اللحوم والدواجن والأغذية البحرية أغذية قابلة للفساد بدرجة كبيرة very perishable لاحتوائها على جميع المغذيات والرطوبة اللازمة لنمو الأحياء الدقيقة ، لذلك يتم تبريدها وتحفظ إما فى الثلج أو فى الثلاجات ومن ثم تسود فيها البكتريا السيكروتروفيه لتصبح المسبب الرئيسى لفساد هذه الأغذية. وقد وجد أن أفراد الجنس *Pseudomonas* والبكتريا القريبة منها تسبب معظم الفساد فى اللحوم، الدواجن، الأسماك، الجمبرى، البيض. وبالتالى تتشابه أعراض الفساد فى اللحوم والدواجن والأغذية

البحرية لتشمل : رائحة غير مرغوبة – لزوجة السطح – تغير اللون.

تفسد اللحوم المبردة نتيجة لنمو البكتريا *Alcaligenes – Acinetobacter – Pseudomonas* . ويظهر الفساد فى صورة رائحة غير مرغوبة ووجود مواد لزجة على السطح (جدول رقم 13 - 12) . وعند تخزين اللحوم فى الثلاجات قد تفقد رطوبة وبالتالى ينخفض نشاط الماء مما يثبط البكتريا المسببة لفساد اللحوم عادة وإذا انخفض نشاط الماء لأقل من 0.96 تبدأ الأعفان فى النمو لتسبب عيوباً متنوعة فى اللحوم المبردة (جدول رقم 13 - 12) .

ولكن اللحوم المنضجة cured meat والمتخمرة تسود فيها أنواع أخرى من الأحياء الدقيقة المسببة للفساد وذلك يرجع لانخفاض كل من قيمة الأس الهيدروجينى ونشاط الماء بالإضافة لوجود مواد حافظة (نيتريت) وأهم الأحياء الدقيقة المسببة لفساد هذه المنتجات *Lactobacillus, Micrococcus* وبعض الفطريات (جدول رقم 13 - 12) .

جدول رقم 13 - 12 : أهم العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى اللحوم ومنتجاتها

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
لحوم مبردة	رائحة غير مرغوبة – مواد لزجة–	*Pseudomonas, Aeromonas, Alcaligenes,*
0 - 5 م	فساد اللون.	*Acinetobacter, Microbacterium , Proteus,*
(32-41ف)		*Flavobacterium , Altermonas, Saccharomyces*
	نمو العفن	*Penicillium*
	بقع سوداء	*Cladosporium*
	بقع بيضاء	*Sporotrichum*
السجق	مواد لزجة على السطح	*Micrococcus* , خمائر
	تغير اللون إلى الأخضر	*Lactobacillus viridescens , Leuconostoc*
السجق	مواد لزجة	خمائر
المتخمر	بقع فطرية	أعفان

المصدر : مختصر من Banwart (1989) .

أهم مظاهر فساد الدواجن هى الرائحة غير المرغوبة وتكوين مواد لزجة وكما هو الحال فى اللحوم فإن الجنس *Pseudomonas* يعتبر المسبب الرئيسى للفساد بالإضافة لبعض الأجناس الأخرى مثل *Alcaligenes - Acinetobacter* (جدول رقم 13 - 13).

يفسد البيض سريعاً إذا تم تخزينه أو غسله بطريقة غير مناسبة وبالتالى تستطيع الأحياء الدقيقة اختراق الحوجز الواقية (القشرة والأغشية) وتقاوم المثبطات الطبيعية الموجودة فى البيومين البيض. ويعتبر الجنس *Pseudomonas* أهم مسببات فساد البيض، بالإضافة لبعض الأعفان (جدول رقم 13 - 13).

جدول رقم 13 - 13 : بعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى الدواجن والبيض

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
لحم الدواجن	رائحة غير مرغوبة – مواد لزجة	*Pseudomonas , Acinetobacter, Alcaligenes, Aeromonas , Alteromonas*
البيض	التعفن الأسود	*Proteus, Aeromonas*
	حامض	*Pseudomonas*
	بال قديم musty	*Pseudomonas*
	نموات من الأعفان	أنواع متعددة من الأعفان
	التعفن الأحمر	*Serratia marcescens*
	التعفن الأصفر والأخضر	*Alcaligenes , Flavobacterium*

المصدر: مختصر من Banwart (1989) .

يعتبر الجنس *Pseudomonas* أنشط الأحياء الدقيقة المسببة لفساد الأسماك والجمبرى المخزنة على درجة الصفر المئوى (32ْف). أما السمك المملح فيفسد بواسطة البكتريا المحبة للملوحة (جدول رقم 13 - 14).

جدول رقم 13 - 14 : بعض العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى الأغذية البحرية

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
السمك الطازج	رائحة غير مرغوبة	*Pseudomonas , Alteromonas , Acinetobactr, Vibrio , Proteus*
	نكهة الفاكهة fruity	*Pseudomonas*
	رائحة الأمونيا	*Pseudomonas , Alteromonas*
	رائحة H_2S	*Pseudomonas, Alteromonas*
السمك المملح	فساد اللون (لون وردى)	*Halobacterium , Halococcus*
الجمبرى	رائحة غير مرغوبة	*Pseudomonas*

المصدر : مختصر من Banwart (1989) .

تظهر منتجات الألبان روائح غير مرغوبة ويتوقف ظهور عيب بعينه على حسب المنتج اللبنى .. فاللبن السائل المبستر قد تظهر فيه العيوب التالية : تغير النكهة – تزنخ تحللى – إنتاج غاز – طعم حامض (إنتاج حامض لاكتيك) – تخثر البروتينات – لزوجة القوام (اللبن المتحبل ropy milk) – فساد اللون (جدول رقم 13 - 15) . وكما فى باقى المنتجات الحيوانية نجد أن أنواع الجنس *Pseudomonas* لها النصيب الأكبر كمسبب لعيوب اللبن ومنتجاته (طعم مر – تزنخ – رائحة الفاكهة fruity odour) . كذلك تلعب بكتريا حامض اللاكتيك وغيرها من البكتريا دوراً فى فساد اللبن. والجدير بالذكر أنه عند تصنيع منتج لبنى من لبن به عيب معين فإن هذا العيب يظهر فى هذا المنتج اللبنى.

يفسد الزبد نتيجة لنمو الأحياء الدقيقة المحللة للدهون ووجود الأحماض الدهنية قصيرة السلسلة تتسبب فى نكهة التزنخ، كما يمكن للأعفان النمو على سطح الزبد كما تحدث البكتريا السيكروتروفيه تغيرات غير مرغوبة فى نكهة الزبد.

أما منتجات الألبان المتخمرة .. فإنها تفسد بواسطة البكتريا والفطريات . والبكتريا المنتجة للغازات يمكنها أن تحدث عدة عيوب فى الجبن مثل إحداث فجوات أو جيوب غازية

أو شقوق كما تحدث البكتريا الملونة فساد اللون. أما الأعفان فإنها مشكلة شائعة فى الجبن والجبن القريش والياغورت (الزبادى) فعند نمو هذه الأعفان على هذه المنتجات يصبح لها مظهر فرائى غير مقبول، كما أن بعض الأعفان لها قدرة عالية على إنتاج الإنزيمات المحللة للبروتين والدهون وبالتالى تسبب عيوباً جوهرية فى طعم وقوام الجبن. بالإضافة لإنتاج السموم الفطرية بواسطة بعض الأعفان. كذلك تسبب الخمائر عيوباً فى الجبن مثل تغيير اللون والنكهة غير المرغوبة والعيب الغازى frothy، كما تسبب نكهة الخميرة فى الياغورت (الزبادى) (جدول رقم 13 - 15).

جدول رقم 13 - 15 : أهم العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى اللبن ومنتجاته

المادة الغذائية	العيـــــــب	الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
اللبن المبستر	تزنخ	*Pseudomonas , Alcaligenes , Staphylococcus*
المبرد	تحبل أو مواد لزجة	Coliforms , *Pseudomonas , Bacillus subtilis*
	حامضى (حامض وغاز)	بكتريا حامض اللاكتيك
	فساد اللون	*Chromobacterium*
الجبن	غازى – حامض بيوتيريك	*Clostridium tyrobutyricum*
	نمو الأعفان	*Penicillium , Mucor , ...*
الجبن الطرى	العفن الأسود	*Mucor*
	نموات على السطح	*Torulopsis , Debaryomyces*
الجبن القريش	خثرة لزجة – رائحة متعفنة	*Pseudomonas*
	فساد اللون	أعفان وخمائر , *Flavobacterium*
ياغورت	نكهة الخميرة	خمائر أهمها *Torulopsis*

المصدر : مختصر من Banwart .

4 – الأغـذية المعلبـة

قد تفسد الأغذية المعلبة لأحد الأسباب التالية: معاملة حرارية غير كافية – وجود تنفيس فى العلب – التخزين على درجة حرارة عالية أو عدم كفاءة عملية التبريد، وذلك

بالإضافة لاحتمال وجود عيوب فى العلب نفسها أو تداول العلب بطريقة سيئة.

تفسد المعلبات غير المعاملة بدرجة كافية عادة بواسطة البكتريا المكونة للأبواغ والمقاومة للحرارة مثل *Clostridium* ، *Bacillus* ، *Desulfotomaculum* والتى يمكنها البقاء حية بعد هذه المعاملة الحرارية.

أما التنفيس leakage فيسبب فساد المعلبات بواسطة البكتريا غير المكونة للأبواغ والتى لا يمكنها مقاومة المعاملة الحرارية ولكنها تدخل إلى العلبة بعد المعاملة الحرارية. ويعطى التخزين على درجات حرارة مرتفعة أو عدم كفاءة التبريد الفرصة للبكتريا المكونة للأبواغ والمحبة لدرجات الحرارة العالية والمقاومة للحرارة heat - resistant thermophilic bacteria، يعطيها الفرصة لكى تنمو.

يوجد أربعة أنواع من البكتريا المحبة لدرجات الحرارة العالية أو المقاومة لدرجات الحرارة العالية والمكونة للأبواغ تعتبر من أهم مسببات الفساد للأغذية المعلبة (جدول رقم 13-16).

أ – البكتريا *Bacillus stearothermophilus*: وهى بكتريا تكون أبواغ مقاومة للحرارة بدرجة كبيرة وهى لاهوائية اختياراً ويمكنها النمو على 70°م (158°ف) ولكنها غير مقاومة للحموضة لذلك فإنها تتسبب فى فساد الأغذية منخفضة الحموضة ويظهر العيب فى صورة حموضة ويصبح غطاء العلبة مسطحاً وليس مقعراً (flat sour).

ب – البكتريا *Bacillus coagulans* : أبواغها أقل مقاومة للحرارة ولكنها مقاومة للحامض aciduric لذلك تتسبب فى نفس العيب (flat sour) فى الطماطم المعلبة (pHمنخفض ومعاملة حرارية أقل).

جـ – البكتريا *Clostridium thermosacchorolyticum* : وهذه لها أبواغ مقاومة للحرارة بدرجة كبيرة وتنتج غازا بكمية كبيرة مما يسبب عيب الانتفاخ الجامد hard swell والعلب المنفجرة blown cans ، وقد يحدث انتفاخ العلب بواسطة أنواع أخرى من *Clostridium* .

د – البكتريا *Desulfotomaculum nigrificans* : وهذه لها قدرة على إنتاج H_2S كأحد

النواتج الأيضية فيتفاعل مع أيونات المعادن فى العلبة أو الغذاء مكوناً كبريتيدات المعادن وبعضها له لون أسود ويعرف بالفساد الكبريتيدى.

أما الخمائر والأعفان فإنها غير ذات أهمية فى فساد الأغذية المعلبة باستثناء أبواغ العفن *Byssochlamys fulva* التى تقاوم المعاملة الحرارية التى تعامل بها الفاكهة المعلبة (جدول رقم 13 - 16).

جدول رقم 13 - 16 : أهم العيوب التى تسببها الأحياء الدقيقة فى بعض الأغذية المعلبة

المادة الغذائية	العيـــــــب		الأسم العلمى للكائن المسبب للعيب
ذرة - بسلة - فول أخضر	حموضة وغطاء العلبة مسطح	flat sour	*Bacillus stearothermophilus*
	فساد كبريتيدى		*Desulfotomaculum nigrificans*
	إنتفاخ جامد	hard swell	*Clostridium thermosaccharolyticum*
طماطم	حموضة وغطاء العلبة مسطح	flat sour	*Bacillus coagulans*
	تخمر بيوتيرى	butyric fermentation	*Clostridium butyricum*
فاكهة	التعفن الطرى	soft rot	*Byssochlamys fulva*
لحوم معلبة	غاز - رائحة تعفنية		*Clostridium , Bacillus*

13 - 7 - طرق السيطرة على الأحياء الدقيقة فى الأغذية (طرق حفظ الأغذية)

إن الهدف الرئيسى للسيطرة على الأحياء الدقيقة فى الأغذية هو منع أو تأخير فسادها (السيطرة على مسببات الفساد الحقيقى) والحد من المخاطر الصحية الناجمة عن تناول الغذاء (السيطرة على الأحياء الدقيقة الممرضة).

يمكن تقسيم طرق السيطرة على الأحياء الدقيقة إلى أربع مجموعات:

تقليل أو منع وصول الأحياء الدقيقة إلى الغذاء (تقليل أو منع تلوث الأغذية بالأحياء الدقيقة) - إزالة الأحياء الدقيقة من الغذاء - تأخير وإعاقة نمو الأحياء الدقيقة - قتل أو تحطيم الأحياء الدقيقة.

والجدير بالذكر أن طرق السيطرة على الأحياء الدقيقة تتمثل فى طرق حفظ الأغذية بيد أن طرق حفظ الأغذية لها أهداف أخرى بالإضافة للسيطرة على الأحياء الدقيقة وتلك تتمثل فى : حماية الأغذية من التفاعلات الإنزيمية والكيماوية التى تؤثر على جودتها – منع فقد المغذيات – المحافظة على الخواص الحسية للغذاء. وسوف نلقى الضوء فى هذا الباب على تأثير طرق حفظ الأغذية على الأحياء الدقيقة فقط.

13 - 7 - 1 – تقليل أو منع وصول الأحياء الدقيقة للأغذية Asepsis

تبدأ عمليات السيطرة على الأحياء الدقيقة بالعمل على تقليل وصول الأحياء الدقيقة للأغذية – حيث أن منع وصول الأحياء الدقيقة للأغذية يعتبر مستحيلاً – ويتم ذلك بداية من حصاد الأغذية وذلك باستخدام التقنيات المناسبة ومراعاه النظافة واتباع الإجراءات والعادات الصحية السليمة فى حصاد وتعبئة ونقل وتخزين الأغذية وكذلك فى عرضها للبيع (أغذية غير مصنعة) أو أثناء تداولها داخل مصانع الأغذية بداية من الاستلام حتى انتهاء التصنيع، وكذلك تداول المستهلك لها سواء كانت مصنعة أو غير مصنعة. بناءً على ذلك فإن واجب كل من يتعامل مع الغذاء سواء فى إنتاجه أو نقله أو تصنيعه أو تخزينه أو بيعه أو إعداده وتقديمه .. أن يأخذ دوره فى العمل على تقليل تلوث الغذاء (حيث لوحظ أن معظم حالات انتشار الأمراض تكون ناشئة من التداول الخاطئ وتلوث الأغذية فى أماكن تقديم الطعام أو فى المنازل) .. كل ذلك بهدف تقليل الحمل الميكروبى للأغذية حيث أنه كلما قل الحمل الميكروبى ينخفض احتمال وجود الأحياء الدقيقة غير المرغوبة (المسببة للفساد والممرضة) ويكون العمر الحفظى shelf life للغذاء أطول وفى نفس الوقت يسهل السيطرة على الأحياء الدقيقة التى وصلت للغذاء بطرق السيطرة الأخرى.

13 - 7 - 2 إزالة الأحياء الدقيقة Removal of microorganisms

تتمثل عمليات إزالة الأحياء الدقيقة من الأغذية على المستوى التجارى فى عمليات الغسيل والطرد المركزى والترشيح. يستخدم الغسيل كخطوة من خطوات تجهيز الكثير من الأغذية بغرض إزالة الأحياء الدقيقة وأجزاء التربة العالقة بالغذاء وبقايا المبيدات، كذلك يستخدم الطرد المركزى كأحدى خطوات التصنيع فى صناعة السكر وترويق بعض عصائر

الفاكهة. أما إزالة الميكروبات كهدف رئيسى فيتمثل فى استخدام الترشيح فى بعض الأغذية وأحياناً يطلق على هذه العملية أسم البسترة الباردة cold pasteurization وهذه لها استخدامات محدودة مثل ترشيح المياه وبعض عصائر الفاكهة والخل والمياه الغازية والزيوت النباتية. وطبعاً هذه الطريقة لا تؤثر على الإنزيمات، فإذا كانت التفاعلات الإنزيمية غير مرغوبة فلابد من استخدام الحرارة لهدم هذه الإنزيمات.

13 - 7 - 3 تأخير وإعاقة نمو الأحياء الدقيقة Retarding growth

نجد أن معظم طرق حفظ الأغذية تعتمد على تأخير بداية النمو الميكروبى وإعاقة النمو بمجرد أن يبدأ وذلك عن طريق التأثير على بعض العوامل مثل:

أولاً : خفض درجة الحرارة ويتمثل هذا فى حفظ الأغذية بالتبريد والتجميد.

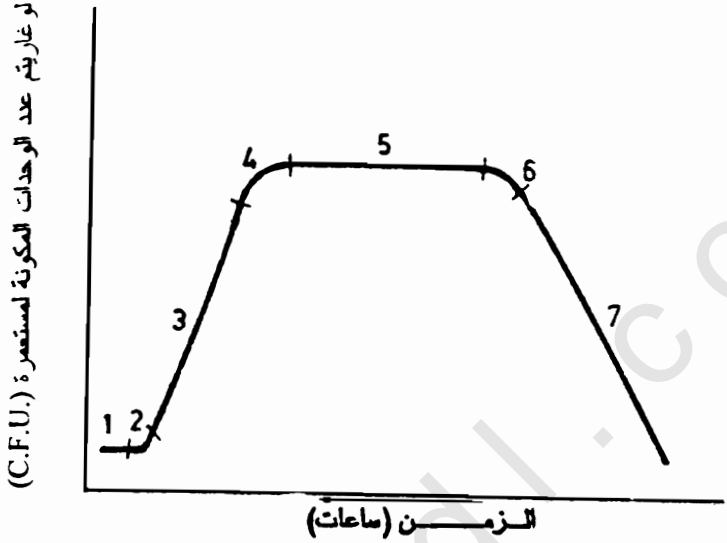
ثانياً : خفض نشاط الماء ويتمثل هذا فى حفظ الأغذية بالتجفيف والتجفيد والتجميد والتمليح والتسكير.

ثالثاً : تغيير التركيب الكيماوى للغذاء ويتمثل هذا فى حفظ الأغذية بإستخدام المواد الحافظة.

وقبل التحدث عن هذه العوامل وتلك الطرق المتبعة فى حفظ الأغذية فإنه يجب أن نتعرض لما يسمى بمنحنى النمو للأحياء الدقيقة.

منحنـــى النمـــو growth curve

عندما تتوفر الظروف المثالية لنمو الكائن الحى الدقيق فإنه يتكاثر ويمر خلال عدة مراحل تسمى أطواراً. فإذا رسمنا العلاقة بين لوغاريتم عدد "الوحدات المكونة لمستعمرة" / مل أو جم من الغذاء مع الزمن (عند ثبات باقى العوامل من pH ، A_w ، ...) لحصلنا على منحنى النمو. ويمكن أن نميز فيه أهم أربعة أطوار (1 , 3 , 5 , 7) – كما ورد فى معظم المراجع – بالإضافة لباقى الأطوار السبعة الواضحة فى شكل رقم 13 - 20 .



شكل رقم 13 - 20 : منحنى النمو

المصدر : معدل من .Frazier & Westhoff (1988).

1- طور السكون lag phase وخلاله لا يحدث زيادة فى عدد الخلايا.

2- طور النمو المتزايد positive acceleration phase ويحدث خلاله زيادة فى معدل التكاثر.

3- الطور اللوغاريتمى logarithmic or exponential phase يكون معدل التكاثر خلاله أعلى ما يمكن وثابتاً.

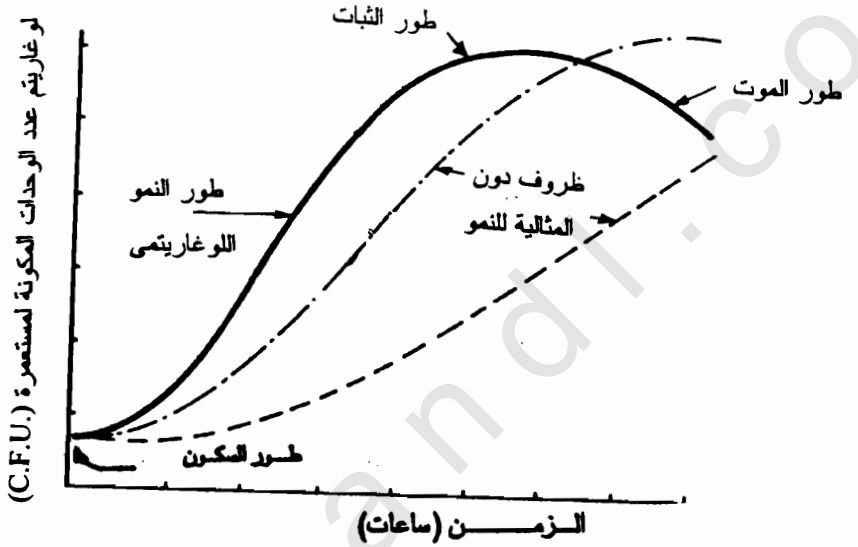
4- طور النمو المتناقص negative acceleration phase يقل معدل التكاثر خلاله ولكن يحدث زيادة فى العدد.

5- طور الثبات stationary phase وهنا يكون عدد الخلايا ثابتاً بمعنى أن عدد الخلايا الجديدة = عدد الخلايا الميتة.

6- طور زيادة الموت accelerated death phase يقل فيه معدل التكاثر ويحدث تناقص فى عدد الخلايا.

7- طور الموت death phase يحدث نقصان فى العدد بمعدل سريع ثابت.

أمـا إذا كـانت الظروف المحـيطة بالنمـو دون الظروف المثلى نتـيـجـة تأثيـرات ضاغطة stress من واحد أو أكثر من العوامل المؤثرة على النمو (مغذيات، pH ، A_w ، ...) فهذا يمتد طور السكون و/أو يزداد الزمن الجيلى وهو الزمن الذى ينقضى حتى يتم الانقسام فى خلية حديثة إلى خليتين جديدتين (شكل رقم 13 - 21).



شكل رقم 13 - 21 : تأثير الظروف دون المثالية للنمو على منحنى النمو

المصدر : Banwart (1989).

فإذا زادت شدة تأثير أحد العوامل أو زاد عدد العوامل المؤثرة (سلباً) فإن الكائن الحى قد لا ينمو أو قد لا يستطيع البقاء حياً survive.

أولاً: تأخير وإعاقة النمو باستخدام درجات الحرارة المنخفضة

1 – التبـريد

يعنى التبريد عامة حفظ الغذاء على درجات حرارة أقل من 10° م (50° ف) وأعلى من درجة تجمدها. وعلى ذلك فالأحياء الدقيقة ذات الأهمية فى الأغذية المبردة هى تلك السيكروتروفيه والسيكروفيليه والتى يمكنها النمو على درجات حرارة أقل من 5° م (41° ف)

ولكن يجب أن ننوه هنا إلى أن نمو هذه الأحياء الدقيقة يتناسب تناسباً عكسياً مع الانخفاض فى درجة الحرارة. كذلك يمكن لبعض الأحياء الدقيقة المسببة للتسمم الغذائى *(Listeria monocytogenes , C. botulinum)* النمو على درجات حرارة 4-6 م (39 - 43ف) ولكنها لا تستطيع النمو على درجات حرارة أقل من 1.7 م (35ف). وعلى ذلك فإنه ينصح بتخزين الأغذية المبردة على درجات حرارة أقل من 1.7 م (35ف) وأعلى قليلاً من درجة تجمدها. ولكن يجب مراعاة نوع الغذاء حيث أن بعض الأغذية تصاب بأضرار (غير ميكروبية) بالتخزين على درجات الحرارة سالفة الذكر (وذلك مثل الباميا، الباذنجان، الليمون، الموز، المانجو ...).

نجد أن التبريد يطيل طور السكون ويزيد من الزمن الجيلى بالإضافة لأنه يؤدى لعملية انتقاء للميكروبات السيكروتروفيه.

2 – التجميـــد

تجمد الأغذية لإطالة عمرها التخزينى المتحصل عليه من التبريد وعادة يكون تخزين الأغذية المجمدة تجاريا على درجة حرارة –18 م (–0.4 ف) وبالتالى فإنه لا يمكن للأحياء الدقيقة النمو [لا تنمو الأحياء الدقيقة على درجة حرارة أقل من – 15 م (5 ف)]. كما أن للتجميد تأثيراً مميتاً للأحياء الدقيقة حيث قد يؤدى لقتل حوالى 10 ٪ من التعداد الأصلى فى أغلب الأحوال وقد تصل هذه النسبة إلى 80 ٪، وذلك يتوقف على : حالة ونوع وعمر الأحياء الدقيقة – معدل التبريد المستخدم – نوع الغذاء وتركيبه الكيماوى. ولكن التعداد المتبقى يمكنه البقاء لمدة طويلة فى الأغذية المجمدة. كما أن التجميد يؤدى إلى خفض نشاط الماء للمادة الغذائية حيث يقل الماء المتاح اللازم لنمو الأحياء الدقيقة.

ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار أن الغذاء المجمد بعد تفكيكه يعتبر قابلاً للفساد مثله فى ذلك مثل الغذاء الخام تماماً حيث أن العامل المؤثر (درجة الحرارة المنخفضة) على نمو الأحياء الدقيقة قد زال تأثيره بعد التفكيك فيجب أن يتم تداوله بسرعة وإلا حدث له فساد.

ثانياً : تأخير وإعاقة النمو بالتحكم فى نشاط الماء

1 – التجفيف الشمسى والصناعى والتجفيد

نجد أن الأساس العلمى فى طرق الحفظ هذه يعتمد على نزع الماء من الأغذية وبالتالى يقل نشاط الماء بها للحد الذى يمنع نمو الأحياء الدقيقة . ونجد أن أبواغ البكتريا والأعفان تظل حية بعد هذه المعاملات ويمكنها أن تظل فى صورة كامنة لمدة طويلة على الأغذية المصنعة بهذه الطرق.

تؤدى عملية التجفيف عادة إلى تقليل عدد الأحياء الدقيقة ولكن لا تؤدى إلى تعقيم الغذاء، ويتوقف التأثير المميت لعملية التجفيف على عدة عوامل أهمها : نوع وحالة الأحياء الدقيقة الموجودة – ظروف التجفيف (الطريقة المتبعة، درجة الحرارة المستخدمة، زمن ومعدل التجفيف) – نوع الغذاء نفسه (وجود مركبات حامية للأحياء الدقيقة، وجود مثبطات، قيمة الأس الهيدروجينى) . كما لوحظ موت لنسبة معينة من الأحياء الدقيقة أثناء تخزين الأغذية المجففة بالإضافة لحدوث انتقاء لبعض الأحياء الدقيقة.

2 – التمليح والتسكير

لما كان نشاط الماء لغذاء ما على درجة حرارة معينة يحسب من المعادلة

$$A_w = P / p_o$$

حيث P = ضغط بخار الماء فى الغذاء ، p_o = ضغط بخار الماء النقى

∴ تنخفض A_w للغذاء بزيادة تركيز المذاب solutes فى الوسط المائى بالمادة الغذائية، حيث أنه بزيادة المذاب يقل الضغط البخارى للماء فى الغذاء (P) لأن الضغط البخارى يتوقف على حركة المذيب.

يمكن استخدام الملح والسكر لحفظ الغذاء من الفساد بواسطة الأحياء الدقيقة، ويرجع التأثير لأيٍ منهما إلى خفض A_w للغذاء وبالتالى يمنع الفساد الميكروبى وفى نفس الوقت يرفع الضغط الإسموزى للوسط مما قد يسبب تلف الخلية الميكروبية. كما لوحظ أيضاً تأثير ثانوى آخر للملح وهو تأثير حافظ والذى قد يرجع لأيون Cl^- الذى له تأثير مثبط للأحياء الدقيقة.

ثالثاً : تأخير وإعاقة النمو عن طريق تغيير التركيب الكيماوى للغـــذاء

المقصود هنا استخدام الكيماويات الحافظة chemical preservatives ويهـمنا فى هذا الباب المواد الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة antimicrobial preservatives وهى تلك الكيماويات التى تؤخر وتعيق الفساد الميكروبى للغذاء.

1 – العوامل المؤثرة على فعل المواد الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة

أ- نوع المادة الحافظة وتركيزها

نجد أن المادة الحافظة قد تثبط نمو الأحياء الدقيقة germistat وقد تكون متخصصة للبكتريا bacteriostat أو متخصصة للفطريات fungistat أو قد تكون قاتلة أو مميتة للأحياء الدقيقة germicide ومنها القاتل للبكتريا bactericide والقاتل للفطريات fungicide ويجب مراعاة أنه يوجد خيط رفيع بين التأثير المثبط germistatic والتأثر المميت germicidal لهذه المواد الحافظة على الأحياء الدقيقة فقد يكون للمادة الحافظة تأثير مثبط فى تراكيزاتها المنخفضة بينما يكون لها تأثير قاتل أو مميت فى تركيزاتها العالية.

ب- نوع وحالة وعدد الأحياء الدقيقة المتواجدة فى الغذاء

تقاوم الأبواغ فعل المواد الحافظة بدرجة أكبر من الخلايا الخضرية، وتعتبر أبواغ البكتريا أكثر أنواع الأحياء الدقيقة مقاومة للمواد الحافظة ثم الخمائر بينما نجد فى معظم الأحيان أن الأعفان تعتبر أكثر الأحياء الدقيقة حساسية لفعل المواد الحافظة. كما توجد اختلافات فى حساسية الأنواع المختلفة التابعة لكل مجموعة من الأحياء الدقيقة (بكتريا – خمائر – أعفان) وهذه الاختلافات ليست مقصورة على الأنواع فقط بل توجد اختلافات بين سلالات النوع الواحد من حيث حساسيتها للمواد الحافظة. كما وجد أن خلايا الأحياء الدقيقة فى طور النمو اللوغاريتمى تكون أكثر حساسية منها فى طور الثبات. وبزيادة عدد الأحياء الدقيقة يزداد تركيز المادة الحافظة اللازمة لإحداث تثبيط أو قتل لهذه الأعداد.

جـ – نوع الغذاء وقيمة الأس الهيدروجينى له ودرجة الحرارة التى يخزن عليها الغذاء

– قد تتفاعل مكونات الغذاء مع المادة الحافظة وتجعلها أقل فعالية أو خاملة تماماً. كما

يسمح الغذاء السائل بالتقاء أو تفاعل أسهل بين الأحياء الدقيقة والمادة الحافظة بالمقارنة بالغذاء الصلب.

– وقد وجد أن فعالية الكثير من المواد الحافظة تزداد فى الأغذية الحامضية.

– كما لوحظ أن فعل المادة الحافظة ضد الأحياء الدقيقة يزداد بزيادة درجة الحرارة المخزن عليها الغذاء خاصة إذا كانت أعلى من درجة حرارة النمو المثلى للأحياء الدقيقة الموجودة فى الغذاء.

2 – ميكانيكية فعل المواد الحافظة على الأحياء الدقيقة

بالإضافة لتأثير المواد الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة على الغذاء من الناحية الكيماوية (تغيير pH الغذاء مثلاً) مما يؤدى لتأخير وإعاقة الأحياء الدقيقة فإن هذه المواد الحافظة تؤثر مباشرة على الأحياء الدقيقة بعدة طرق أهمها : تثبيط الإنزيمات – تثبيط بناء البروتين داخل الخلية – تغيير فى DNA الخلية – التأثير على جدار و /أو غشاء الخلية – تغيير قيمة الأس الهيدروجينى داخل الخلية.

3– أمثلة على أهم المواد الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة

يجب قبل استخدام أية كيماويات كمواد مضافة للأغذية أن يكون قد تم اختبارها بواسطة الهيئات الصحية المعروفة مثل هيئة الأغذية والعقاقير الأمريكية FDA أو منظمة الصحة العالمية WHO . ويوضح الجدول رقم 13 - 17 أهم المواد الحافظة والرقم الدولى لكل مادة طبقاً للجنة دستور الأغذية CAC . مع ملاحظة أن كل مادة حافظة مسموح باستخدامها فى أغذية معينة وليست فى كل الأغذية، كما يختلف التركيز المسموح به من نفس المادة الحافظة باختلاف نوع الغذاء.

جدول رقم 13 - 17 : أهم المواد الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة المسموح باستخدامها في الأغذية وأرقامها الدولية طبقاً لنظام الترقيم الدولى (*INS)

أسم المادة الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة	الرقم الدولى INS	أسم المادة الحافظة المضادة للأحياء الدقيقة	الرقم الدولى INS
حامض الخليك ومشتقاته		حامض السوربيك وأملاحه	
حامض الخليك	260	حامض السوربيك	200
خلات البوتاسيوم وثنائى خلات البوتاسيوم	261	سوربات الصوديوم	201
خلات الصوديوم وثنائى خلات الصوديوم	262	سوربات البوتاسيوم	202
خلات الكالسيوم	263	سوربات الكالسيوم	203
دى هيدروحامض الخليك	265	ثانى أكسيد الكبريت وأملاح الكبريتيت	
دى هيدروخلات الصوديوم	266	ثانى أكسيد الكبريت	220
حامض البنزويك ومشتقاته		كبريتيت الصوديوم	221
حامض البنزويك	210	كبريتيت أحادى الصوديوم	222
بنزوات الصوديوم	211	ميتاباى سلفيت الصوديوم	223
بنزوات البوتاسيوم	212	ميتا باى سلفيت البوتاسيوم	224
بنزوات الكالسيوم	213	كبريتيت البوتاسيوم	225
إيثيل بارا هيدروكسى حامض البنزويك	214	كبريتيت الكالسيوم	226
إيثيل بارا هيدروكسى بنزوات الصوديوم	215	أملاح الديثريت والنيترات	
بروبايل بارا هيدروكسى حامض البنزويك	216	نيتريت البوتاسيوم	249
بروبايل بارا هيدروكسى بنزوات الصوديوم	217	نيتريت الصوديوم	250
ميثيل بارا هيدروكسى حامض البنزويك	218	نيترات الصوديوم	251
ميثيل بارا هيدروكسى بنزوات الصوديوم	219	نيترات البوتاسيوم	252
حامض البروبيونيك وأملاحه		المضادات الحيوية	
حامض البروبيونيك	280	نيسين	234
بروبيونات الصوديوم	281	ناتاميسين	235
بروبيونات الكالسيوم	282		
بروبيونات البوتاسيوم	283		

*INS : أصدرت لجنة دستور الأغذية قائمة بالمواد المضافة التى تم تقييم سلامتها للاستخدام فى الغذاء وأعطيت لكل مادة مضافة رقم .. وهذا النظام فى الترقيم يعرف باسم نظام الترقيم الدولى International Numbering System (INS).

المصدر : مأخوذ من Smith (1990) .

obeikandl.com

وفيما يلى مناقشة مختصرة لأهم هذه المواد.

أ - حامض الخليك ومشتقاته

يتميز حامض الخليك برخص ثمنه وسهولة الحصول عليه وهو من المواد المعروفة عامة بأنها آمنة generally recognized as safe (GRAS) فى حدود استخدامها ويضاف هذا الحامض للأغذية طبقاً لممارسة التصنيع الجيدة good manufacturing practice (GMP) أما مشتقاته مثل دى هيدروخليك وثنائى خلات الصوديوم فتستخدم بتركيزات 0.2 - 0.4 %. يرجع الفعل المثبط للجزئ غير المنحل undissociated molecule (كغيره من الأحماض العضوية مثل البنزويك والبروبيونيك) وبالتالى يتوقف فعله على قيمة الأس الهيدروجينى (pH) للغذاء وهو فعال فى الأغذية الحامضية. وهو فعال ضد معظم الأحياء الدقيقة باستثناء القليل منها مثل بكتريا حامض اللاكتيك والجنس *Acetobacter* وبعض الأعفان والخمائر.

يضاف حامض الخليك فى صورة خل كمادة حافظة وكواحد من التوابل للعديد من الأغذية مثل المخللات، المايونيز، المستردة mustard، الكاتشب، الخبز وبعض منتجات المخابز الأخرى.

ب - حامض البنزويك ومشتقاته

يؤثر حامض البنزويك على الخمائر والأعفان بصفة رئيسية وله تأثير أقل على البكتريا وتتميز أملاح هذا الحامض بذائبيتها العالية بالمقارنة بالحامض نفسه. تستخدم إسترات الباراهيدروكسى بنزويك فى مدى واسع من قيمة الأس الهدروجينى لأن فعاليتها غير معتمدة على pH الغذاء (بعكس حامض البنزويك والذى يستخدم فى الأغذية الحامضية) ويستخدم حامض البنزويك ومشتقاته بحد أقصى 0.1 % سواء الحامض نفسه أو أحد مشتقاته أو خليط من أكثر من مشتق أو خليط من أحد هذه المركبات مع حامض السوربيك أو أحد أملاحه. ويستخدم فى الكثير من الأغذية مثل الجلى ، المرملاد، المربى، المايونيز، مركزات العصائر، سلاطة الفاكهة، المياه الغازية، المخللات ، المارجرين.

جـ - حامض البروبيونيك وأملاحه

لهذا الحامض وأملاحه تأثير مثبط جيد ضد الأعفان ولكن التركيزات المسموح بها فى الأغذية لا تؤثر على الخمائر، لذلك يستخدم بنجاح فى الخبز. كما أن له تأثير على العديد من البكتريا. يستخدم فى منتجات المخابز لمنع نمو العفن ومنع التحبل ropiness بتركيزات تصل 0.3 ٪ من وزن الدقيق منفرداً أو فى خليط من الحامض وأحد أملاحه أو مع حامض السوربيك وأملاحه وكذلك يستخدم فى الجبن المصنع بواقع 0.3 ٪.

د - حامض السوربيك

يعتبر حامض السوربيك الحامض الوحيد غير المشبع المسموح باستخدامه فى الأغذية كمادة مضادة للأحياء الدقيقة. له تأثير مثبط للفطريات ووجد أن فعاليته تشمل الأحياء الدقيقة الموجبة لاختبار الكتاليز شاملة الخمائر والأعفان والبكتريا. ولكنه لا يؤثر على البكتريا السالبة لاختبار الكتاليز مثل بكتريا حامض اللاكتيك، لذلك فإنه يستخدم فى الأغذية المتخمرة المحفوظة بالحامض acidulated. يستخدم فى كثير من الأغذية مثل الخبز - الجبن - منتجات المخابز الأخرى - عصائر الفاكهة - الفاكهة المجففة - الجلى - المرملاد وذلك بنسب تتراوح بين 0.02 - 0.3 ٪ وفى بعض الأحيان يستخدم بتركزات أعلى تصل 1.6 ٪ كما فى المارجرين.

هـ - ثانى أكسيد الكبريت وأملاح الكبريتيت

لهذه المركبات تأثير مثبط ضد كل من الخمائر ، الأعفان، البكتريا ويزداد نشاطها مع انخفاض pH الغذاء ، ويرجع هذا النشاط أساساً لحامض الكبريتوز غير المتحل undissociated sulfurous acid الذى يسود عند pH أقل من 3 .

وتختلف مجاميع الأحياء الدقيقة فى تأثرها بهذه المركبات فالأعفان تعتبر أكثر الأحياء الدقيقة تأثراً يليها البكتريا (خاصة تلك السالبة لصبغة جرام) ثم الخمائر؛ وتستخدم هذه المركبات فى الأغذية التالية: الزبيب - المشمش المجفف - الفاكهة المجففة - الخضروات المجففة - السكر - الخل - الخيار المخلل - المربى. وفى كثير من الدول يحظر استخدام ثانى أكسيد الكبريت فى الأغذية الغنية فى فيتامين ب، حيث يسبب تكسر هذا الفيتامين الهام. تختلف التركيزات المسموح بها باختلاف المادة الغذائية حيث تتراوح بين 20 مجم / كجم

فى السكر الأبيض إلى 2000 مجم / كجم كما فى حالة المشمش المجفف.

و- نيتريت ونيترات الصوديوم والبوتاسيوم

تضاف هذه المركبات أساساً للحفاظ على لون اللحم الأحمر غير أن لها نشاطاً مضاداً للأحياء الدقيقة خاصة عندما توجد فى خليط مع ملح الطعام، وأهم فائدة لهذه المركبات هو تثبيط بكتريا *C. botulinum* فى منتجات اللحوم التى تعامل معاملة حرارية غير كافية للقضاء على هذه البكتريا.

وأهم مشكلة فى استخدام هذه المركبات هو احتمال تكون مركبات النيتروزأمين nitrosamines حيث أن بعضها يعتبر مسبباً للسرطان ويحدث التشوهات الخلقية ويسبب الطفرة والإتجاه الآن نحو استبعاد النيتريت أو تقليل مستواه فى الأغذية غير أنه حتى الآن لا يوجد بديل له يمكن استخدامه فى صناعة اللحوم.

تستخدم نيترات الصوديوم فى بعض أنواع الجبن بواقع 50 مجم / كجم سواءً بمفردها أو كخليط مع نيترات البوتاسيوم كما تستخدم فى بعض منتجات اللحوم بحيث لا تتعدى 500 مجم / كجم. أما نيتريت الصوديوم فيستخدم فى اللحم المملح المطبوخ المعلب canned corned beef بحد أقصى 50 مجم / كجم وفى اللانشون وباقى أنواع اللحم المنضج بحد أقصى 125 مجم / كجم .

ز - المضادات الحيوية

قررت الهيئات المسؤولة عن مراقبة الأغذية منع إضافة المضادات الحيوية للأغذية .. ولكن هناك مضادان حيويان مصرح باستخدامهما فى الأغذية الآن فى عديد من البلاد وهما الناتاميسين natamycin والنيسين nisin وكلا منهما ليس له أى استخدام علاجى للإنسان أو الحيوان.

- ناتاميسين (بيماريسين pimaricin)

مضاد حيوى ينتج بواسطة *Streptomyces natalensis* . وهو مضاد للفطريات ويسمح باستخدامه فى بعض البلاد مثل الولايات المتحدة الأمريكية حيث يضاف لبعض أنواع الجبن عن طريق غمر الجبن فى محاليل تركيزها 200 - 300 جزء فى المليون كما

يستخدم لوقف النمو الفطرى على السجق الهولندى بتركيز 1000 جزء فى المليون.

- نيسين nisin

ينتج بواسطة سلالات تابعة للبكتريا *Lactococcus (Streptococcus) lactis* وهو عبارة عن عديد ببتيد مقاوم للحرارة والحموضة ويؤثر على البكتريا الموجبة لصبغة جرام وعلى الأبواغ البكتيرية. يستخدم فى الجبن المطبوخ بواقع 12.5 مجم / كجم وأيضاً فى اللبن المكثف كما يستخدم لتقليل المعاملة الحرارية اللازمة لتحطيم أبواغ *C. botulinum* فى اللحوم مما يحسن من جودة الناتج.

13 - 7 - 4 قتل أو تحطيم الأحياء الدقيقة Destruction of microorganisms

تعتمد بعض طرق حفظ الأغذية على تحطيم وقتل الأحياء الدقيقة وتتمثل هذه الطرق فى استخدام درجة الحرارة المرتفعة واستخدام الطاقة الإشعاعية.

أولاً: استخدام درجة الحرارة العالية

1- تأثير الحرارة على الخلايا الميكروبية

يرجع التأثير المميت للمعاملة الحرارية (الرطبة) على الأحياء الدقيقة - بصفة رئيسية - لحدوث تجمع coagulation أو دنترة denaturation لبروتينات وإنزيمات الخلية. بالإضافة لأن الحرارة قد تُحدث هدماً فى الأحماض النووية (RNA,DNA) أو تلفاً damage للغشاء البلازمى. وقد فُسر موت الأبواغ بالمعاملات الحرارية بأنه راجع لحدوث تغيرات طبيعية وكيماوية تتداخل مع قدرة البوغ على إمتصاص الماء.

2 - مقاومة الأحياء الدقيقة لدرجات الحرارة المرتفعة

يمكن تحطيم الخلايا الخضرية لكل من البكتريا والفطريات بالتسخين على درجات حرارة 60 - 80 °م (140 - 176°ف) لمدة قصيرة، ولكن الأحياء الدقيقة المقاومة لدرجات الحرارة المرتفعة thermoduric والمحبة لدرجات الحرارة المرتفعة thermophilic تحتاج لمعاملة حرارية أشد من ذلك، ولكن يمكن القول أن جميع الخلايا الخضرية تقتل إذا تعرضت لمعاملة حرارية مدتها 10 دقائق على درجة حرارة 100 °م (212 °ف).

وتعتبر أبواغ الفطريات والبكتريا أكثر مقاومة للمعاملات الحرارية من خلاياها الخضرية

كما أن أبواغ البكتريا تعتبر أكثر مقاومة من أبواغ الفطريات فأكثر أبواغ الفطريات مقاومة للحرارة هى أبواغ العفن *Byssochlamys fulva* [تتحمل معاملة حرارية 5 ساعات على درجة حرارة 88 °م (190°ف)] أما أبواغ البكتريا فتعتبر الأكثر مقاومة للحرارة ونجد أن أبواغ البكتريا المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة أكثر مقاومة للحرارة من أبواغ البكتريا المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة.

3 – المعاملات الحرارية المستخدمة فى التصنيع

أ – البسترة : Pasteurization

عبارة عن معاملة حرارية مؤتلفة من درجة حرارة وزمن [درجة حرارة بين 60 - 85 °م (140 - 185°ف) لمدة تتراوح بين عدة ثوانى إلى ساعة] وعادة يبرد الناتج بعد المعاملة الحرارية مباشرة. وهى معاملة كافية لقتل معظم الخلايا الخضرية خاصة *Mycobacterium tuberculosis* ، *Coxiella burnetii* ، وتستخدم فى الحالات التالية :

- عندما تكون الأحياء الدقيقة المسببة لفساد الناتج غير مقاومة للحرارة كما فى الأغذية مرتفعة الحموضة.
- عندما يكون الغرض هو القضاء على الأحياء الدقيقة الممرضة ولكن المعاملات الحرارية الشديدة تحدث تغيرات غير مرغوبة فى جودة الناتج كما هو الحال فى اللبن.
- عندما يمكن إيقاف نشاط الأحياء الدقيقة المسببة للفساد بوسيلة أخرى بالإضافة للمعاملة الحرارية مثل : التبريد (كما فى حالة اللبن) – إضافة تركيز عالى من السكر (اللبن المكثف المحلى) – إضافة مواد حافظة مثل الأحماض العضوية (المخللات وعصائر الفاكهة).

ب – التعقيم التجارى Commercial sterilization

ويقصد بها عادة المعاملات الحرارية التى تتم على درجة حرارة 100 °م (212°ف) أو أعلى. وفى هذه المعاملة لا يحدث تعقيم بالمعنى الطبى (قتل جميع الأحياء الدقيقة وأبواغها) بل يحدث قتل لجميع الأحياء الدقيقة الممرضة وتلك التى قد تسبب فساد الأغذية تحت الظروف العادية للتخزين وتترك بعض الأحياء الدقيقة غير قادرة على النمو.

وعادة تتم كل من عملية البسترة والتعقيم التجارى بطريقة متقطعة لذلك تعبأ الأغذية قبل المعاملة الحرارية فى عبوات يتم غلقها قبل المعاملة الحرارية أو قد تتم المعاملة الحرارية بطريقة مستمرة وهذا يزود خط الإنتاج بنظام تعبئة تحت ظروف معقمة.

جـ - التسخين الأومى Ohmic heating

يعتبر التسخين الأومى واحداً من أحدث طرق تسخين الأغذية، ويستخدم فى تسخين الأغذية بطريقة مستمرة ولذلك نجد أن خط الإنتاج فى هذه الحالة يكون مزوداً بنظام تعبئة تحت ظروف معقمة. والأساس العلمى لهذه الطريقة يعتمد على توليد الحرارة عند مرور تيار كهربائى متردد فى محلول موصل للكهرباء. وفى نظام التسخين الأومى يستخدم تيار كهربى منخفض التردد (50 - 60 هيرتز) مزود بأقطاب كهربية خاصة حيث يمر الغذاء (جميع الأغذية المحتوية على سوائل قطبية تعتبر موصلا جيدا للكهرباء) بصفة مستمرة بين هذه الأقطاب الكهربية .. وفى معظم الأحوال يمر الغذاء بين عدة وحدات sets من الأقطاب الكهربية كل واحد منها يقوم برفع درجة الحرارة.

تتضح ميزة التسخين الأومى فى أن قطع الغذاء الصلبة وكذلك الجزء السائل من الغذاء يتم تسخينها فى وقت واحد تقريباً حيث يتم التسخين من الداخل وليس من الخارج كما فى حالة التسخين التقليدى. وبعد التسخين يمكن تبريد الناتج فى مبادلات حرارية مستمرة وتتم التعبئة تحت ظروف معقمة فى عبوات سبق تعقيمها، ويمكن معاملة معظم الأغذية سواء الحامضية أو ذات الحموضة المنخفضة بهذه الطريقة.

وتأثير هذه الطريقة على الأحياء الدقيقة لا يتعدى تأثير الحرارة على الأحياء الدقيقة كما فى حالة التسخين التقليدى أو استخدام الأشعة القصيرة جداً من أشعة الراديو "microwaves".

4 – الكائن الحى الدقيق الذى على أساس مقاومته للحرارة تحدد المعاملة الحرارية لغذاء ما

سوف نناقش فى هذا الباب تحديد الكائن الحى الدقيق الذى على أساس مقاومته للحرارة تتم المعاملة الحرارية وعلاقة ذلك بقيمة الأس الهيدروجينى للغذاء.

أ – الأغذية ذات الحموضة المرتفعة (pH أقل من 3.7)

من المعروف أن البكتريا المكونة للأبواغ لا يمكنها النمو عند pH أقل من 3.7 . وبناء على ذلك فإن البكتريا غير المكونة للأبواغ وكذلك الفطريات ذات أهمية فى هذه الأغذية ولما كانت المقاومة الحرارية لهذه الأحياء الدقيقة منخفضة (جدول رقم 13 - 18) فإن مثل هذه الأغذية تعامل بالبسترة التى تكفى للقضاء على هذه الأحياء الدقيقة وعلى الإنزيمات الموجودة طبيعياً فى هذه الأغذية.

ب – الأغذية الحامضية (pH أعلى من 3.7 - 4.5)

تم إختيار pH = 4.5 ليكون فارقاً بين الأغذية الحامضية وتلك ذات الحموضة المنخفضة لأنه أقل بدرجة آمنة من pH = 4.7 (حيث يمكن لسلالات البكتريا *Clostridium botulinum* أن تنمو وتنتج أخطر السموم عند pH 4.7 وأعلى).

والميكروبات ذات الأهمية فى هذه الأغذية مبينة فى جدول رقم 13 - 18 ، لذلك فإنه يتم تحديد المعاملة الحرارية على أساس أكثر الأحياء الدقيقة مقاومة للحرارة فى هذه المجموعة وهى البكتريا *B. macerans* ، *B. polymyxa*، أما فى منتجات الطماطم فتحدد المعاملة الحرارية على أساس البكتريا *B. coagulans* المقاومة للحامض.

مما سبق يتضح أن الأحياء الدقيقة ذات الأهمية فى هذه الأغذية متوسطة المقاومة للحرارة لذلك فإن هذه الأغذية تعامل معاملة حرارية متوسطة [100م (212 ف) لمدة تتوقف على نوع الناتج وباقى العوامل الأخرى].

جـ – الأغذية ذات الحموضة المنخفضة (pH أعلى من 4.5)

تعتبر البكتريا *Clostridium botulinum* أخطر الأحياء الدقيقة التى قد تتواجد فى هذه الأغذية (جدول رقم 13 - 18) لذلك تحدد المعاملات الحرارية على أساس القضاء على

جدول رقم 13 - 18 : المقاومة الحرارية النسبية لأهم الأحياء الدقيقة في الأغذية المعلبة

مجموعات الأحياء الدقيقة	مدى المقاومة الحرارية تقريبا	
	قيمة D بالدقائق*	قيمة Z بدرجات الحرارة ف (م)**
الأغذية ذات الحموضة المرتفعة (pH أقل من 3.7)	$D_{150\,(66)}$	
- بكتريا محبة لدرجات الحرارة المتوسطة وغير مكونة للأبواغ:		
Lactobacillus , Leuconostoc	1.0 - 0.5	(50 - 46) 10 - 8
- خمائر وأعفان		
الأغذية الحامضية (pH أعلى من 3.7 وأقل من 4.5)	$D_{250\,(121.1)}$	
- بكتريا مقاومة للحرارة العالية ومكونة للأبواغ:		
Bacillus coagulans	0.07 - 0.01	(64 - 57) 18 - 14
- بكتريا محبة لدرجات الحرارة المتوسطة ومكونة للأبواغ :	$D_{212\,(100)}$	
هوائية *B. Polymxa , B. macerans*	0.5 - 0.10	(61 - 54) 16 - 12
لا هوائية مكونة لحامض البيوتريك		
Clostridium pasteurianum	0.5 - 0.10	(61 - 54) 16 - 12
الأغذية ذات الحموضة المنخفضة (pH أعلى من 4.5)	$D_{250\,(121.1)}$	
- بكتريا محبة لدرجات الحرارة المرتفعة ومكونة للأبواغ:		
Bacillus stearothermophius	4.0	(72 - 57) 22 -14
Clostridium thermosaccharolyticum	4.0 - 3.0	(72 - 61) 22 - 16
Desulfotomaculum nigrificans	3.0 - 2.0	(72 - 61) 22 - 16
- بكتريا محبة لدرجات الحرارة المتوسطة ومكونة للأبواغ:		
Clostridium botulinum	0.2 - 0.1	(64 - 57) 18 - 14
Clostridium sporogenes (including P. A 3679*)*	1.4 - 0.1	(64 - 57) 18 - 14

المصدر: معدل عن Karel *et al.* (1975), (Olson& Nottingham),In: ICMSF (1980a)

* قيمة D : المقصود زمن تقليل العد الميكروبى للعُشر decimal reduction time وهو الزمن اللازم لتقليل عدد الأبواغ أو الخلايا الميكروبية بمقدار دورة لوغاريتمية واحدة أو الزمن اللازم لتحطيم90 ٪ من تعداد الأبواغ أو الخلايا الميكروبية . والرقم أسفل حرف D يقصد به درجة الحرارة ف (م) التى تمت عندها المعاملة الحرارية.

** قيمة Z : درجات الحرارة ف (م) اللازمة لإحداث تغير فى قيمة D بمقدار دورة لوغاريتمية واحدة .

obeikandl.com

هذه البكتريا؛ حيث نجد أن هذه البكتريا لاهوائية محبة لدرجات الحرارة المتوسطة ومكونة للأبواغ، فإذا تركت أى أبواغ داخل العلبة بعد المعاملة الحرارية فإنها تنمو لأن الظروف داخل العلبة لاهوائية كما أن التخزين يتم على درجات حرارة مناسبة لنموها ومن ثم تنمو وتنتج السموم . لذلك تعامل هذه الأغذية معاملة حرارية شديدة نسبياً (240 - 250 °ف لمدد مختلفة حسب المنتج وظروف أخرى) وعلى الرغم من وجود بكتريا مكونة للأبواغ ومحبة لدرجات الحرارة العالية ولها مقاومة أعلى من *C. botulinum* فى هذه المجموعة ... إلا أن هذه البكتريا لا يمكنها النمو على درجات حرارة التخزين العادية لأن درجة حرارة نموها الدنيا هى حوالى 38 °م (100°ف) .

أما إذا كان الغذاء المعلب سوف يخزن على درجة حرارة عالية بحيث تكون هناك ثمة خطورة من فساده بواسطة الأحياء الدقيقة اللاهوائية المحبة لدرجات الحرارة العالية المكونة للأبواغ فإنه يجب تحديد المعاملة الحرارية على أساس أكثر الأحياء الدقيقة مقاومة للحرارة فى هذه المجموعة وهى *C. thermosaccharolyticum* أو البكتريا اللاهوائية اختياراً المكونة للأبواغ والمحبة لدرجات الحرارة العليا *B. Stearothermophilus*.

ثانياً : استخدام الطاقة الإشعاعية (حفظ الأغذية بالتشعيع)

يمكن استخدام الأشعة المؤينة ionizing radiation مثل أشعة جاما بهدف قتل الأحياء الدقيقة ويفسر الفعل المميت لهذه الأشعة عن طريق تكسير الروابط الكيماوية فى جزيئات كبيرة macromolecules هامة مثل DNA فى الأحياء الدقيقة (نظرية الهدف) أو عن طريق تأيين الماء والذى ينتج عنه تكوين أصول حرة عالية النشاط (.H, .OH, $.HO_2$) قادرة على كسر الروابط الكيماوية فى الكائنات الحية الدقيقة.

كما يمكن استخدام الأشعة غير المؤينة مثل الأشعة فوق البنفسجية لنفس الغرض. ويرجع التأثير المميت للأشعة فوق البنفسجية نتيجة حدوث إمتصاص لها خاصة عند أطوال موجات 210 - 300 نانومتر، ويوجد إجماع بين المراجع على أن أكثر أطوال الموجات فعالية ضد الأحياء الدقيقة هى تلك القريبة من 260 نانومتر. ونجد أن الأشعة فوق البنفسجية (210 - 300 نانومتر) تمتص بواسطة البروتينات والأحماض النووية الموجودة فى خلية

الكائن الحى الدقيق ويحدث التأثير المميت فى DNA الخلية ، وجزء كبير من هذا التأثير المميت يرجع لتكوين نيكليوتيدات ثنائية nuclotide dimer وهذه المركبات تثبط تخليق الـ DNA كما تثبط تخليق البروتين وRNA ولكن بدرجة أقل ... مما قد يؤدى لموت الخلية. ونظراً لأن الأشعة فوق البنفسجية لها قوة اختراق محدودة لذا فإنها تستعمل فى تحطيم الأحياء الدقيقة المسببة للتلوث على السطوح.

انتشر استخدام أفران «الأشعة القصيرة جداً من أشعة الراديو » microwaves – فى الآونة الأخيرة – فى المنازل بالإضافة لاستخداماتها المتعددة على المستوى الصناعى. وهذه الأشعة تقع بين الأشعة تحت الحمراء وأشعة الراديو القصيرة shortwaves فى طيف الأشعة الكهرومغناطيسية ... التالى فإن لها تردداً عاليا نسبيا. وعادة يتم تشغيل أفران الميكروويف عند 915 أو 2450 ميجاسيكل، وعند 915 ميجاسيكل فإن التيار الكهربائى ينعكس 915 مليون مرة فى الثانية الواحدة. من المعروف أن الجزيئات القطبية polar مثل الماء توجد عليها شحنة سالبة وكذا شحنة موجبة مركزة على نهايتى الجزيئ فعند مرور الميكروويف خلال الغذاء نجد أن هذه الجزيئات تحاول أن تنظم نفسها مع الحقل الكهربائى الذى ينعكس 915 أو 2450 مليون مرة فى الثانية الواحدة وهذه الحركة السريعة للخلف والأمام تسبب إحتكاكاً بين الجزيئات يظهر فى صورة حرارة، بمعنى أن الحرارة تأتى داخليا وليست من الخارج (كما فى طرق التسخين التقليدية) وهذا النوع من التسخين سريع جداً. ويجب أن نلاحظ أن الجزيئات القطبية فقط هى التى تسخن مباشرة بواسطة الميكروويف أما الجزيئات غير القطبية فأنها تسخن بطريقة غير مباشرة عن طريق انتقال الحرارة بالتوصيل أو الحمل من الجزيئات القطبية إلى الجزيئات غير القطبية.

ولقد كان هناك بعض التعارض فى المراجع حول تأثير الميكروويف على الأحياء الدقيقة .. ولكن الأمر قد حسم الآن وتم تأكيد أن تأثير الميكروويف القاتل على الأحياء الدقيقة يرجع لتأثير الحرارة المتولدة فقط.

References المراجـــع 8 - 13

Alexopoulos , C. J. 1972. Introductory Mycology. Second edition . Wiley Eastern Private Limited , New Delhi.

Banwart, G. J. 1981. Basic Food Microbiology. First edition. AVI Publishing Company. Inc. Westport, Connecticut.

Banwart, G. J. 1989. Basic Food Microbiology. Second edition. AVI (Van Nostrand Reinhold), New York.

Barnet, H. L. 1960. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. Second edition. Burgess Publishing Company, Minneapolis.

Belitz, H. D.; and . Grosch. 1987. Food Chemistry. Translation from second German edition by D. Hadziyev. Springer Verlag, Berlin.

Deak, T. , and L. R. Beuchat. 1996. Hanbook of Food Spoilage Yeasts. CRC Press, Inc., New York.

El - Banna, A. A.; and A. Hurst. 1983. Survival in foods of *Staphylococcus aureus* grown under optimal and stressed conditions and the effect of some food preservatives. Can. J. Microbiol. **29** (3): 297 - 302.

Eley,A. R.(ed.) 1996. Microbial Food Poisoning. Chapman & Hall. London.

Frazier, W. C. ; and D. C. Westhoff. 1988. Food Microbiology. Fourth edition. Mc Graw - Hill, Singapore.

Harrigan, W. F. ; and M. E. McCance. 1976. Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology. Acaemic Press, London.

Heritage, J.; E. G. V. Evans; and R. A. Killington. 1996. Introductory Microbiology. Cambridge University Press, Cambridge.

Hui, Y. H. 1992. Encyclopedia of Food Science and Technology. Vol. 2. John Willey & Sons, Inc., New York.

Hui, Y. H. 1992. Encyclopedia of Food Science and Technology. Vol. 3. John Willey & Sons, Inc., New York.

Hurst, A., E. Ofori; A. A. El - Banna; and J. Harwig. 1984. Adaptational Changes in *Staphylococcus aureus* MF31 grown above its maximum temperature when protected by NaCl: Physiological studies. Can. J. Microbiol. **30** : 1105 - 1111

ICMSF "The International Commission on Microbiological Specification of Foods" (eds.) 1980a. Microbial Ecology of Foods. Vol I : Factors Affecting Life and Death of Microorganisms. Academic Press, Inc., New York.

ICMSF "The International Commission on Microbiological Specification of Foods" (eds.) 1980b. Microbial Ecology of Foods. Vol II : Food Commodities . Academic Press, Inc., New York.

Karel, M.; O. R. Fennema; and D. B. Lund. 1975. Principles of Food Science. Part II: Physical Principles of Food Preservation. Marcel Dekker, Inc., New York.

Kreig, N. R. ; and J. G. Holt (eds.). 1984. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol 1. Williams and Wilkins Company, Baltimore.

Mandelstam, J.; K. McQuillen; and I. Dawes (eds.). 1982. Biochemistry of Bacterial Growth. Halsted Press (a division of John Wiley & Sons Inc.), New York.

Mossel, D. A. A. 1977. Microbiology of Foods: Occurrence, Prevention and Monitoring of Hazards and Deterioration. The University of Utrecht, Utrecht.

Potter, N. N.; and J. H. Hotchkiss. 1995. Food Science. Fifth edition. Chapman & Hall, New York.

Smith, B. L. 1990. Codex Alimentarius, Abridged Version (1989). Joint FAO / WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, Rome.

Sneath, P. H. A.; N. S. Mair; M. E. Sharpe; and J. G. Holt (eds.). 1986. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol 2. Williams and Wilkins Company, Baltimore.

Stanley, J. T.; M. B. Bryant; N. Pfennig, and J. G. Holt (eds.). 1989 Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol 3. Williams and Wilkins Company, Baltimore.

Williams , S. T. ; M. E. Sharpe ; and J. G. Holt (eds.). 1989. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology . Vol 4. Williams and Wilkins Company, Baltimore.