الفصل الحادي عشر

طرق حفظ الأغذية من الفساد الميكروبي

• الحفظ بدرجة الحرارة المنخفضة • الحفظ بالحرارة المرتفعة • الحفظ بالتجفيف • حفظ الأغذية بالتشعيع • حفظ الأغذية بالمواد الحافظة

لقد لاحظ الإنسان قديماً بفطرته أن الغذاء يصبح في مأمن من الفساد عندما يصبح جافا. فالتين والعنب والبرقوق والمشمش وكذا التمر تصبح حصينة ضد الفساد الميكروبي بمجرد جفافها. كما لاحظ أنه في فصل الشتاء تأخذ الأغذية وقتا أطول قبل فسادها مقارنة بوقت الصيف. ومع تقدم المعرفة وتطور التقنية، أصبح بالإمكان توفير مثل هذه الظروف التي عن طريقها يمكن الاحتفاظ بالغذاء فترة طويلة قبل فساده. كما عمل الإنسان على دراسة العوامل التي تؤثر في نمو الميكروبات في الأوساط الغذائية وأمكن توظيف هذه المعلومات في تطوير طرق حفظ الأغذية، التي أصبحت تعتمد على تقنية متقدمة، ومن ثم أصبح بالإمكان حفظ الغذاء فترات أطول بكثير مماسبق مع المحافظة إلى حد كبير على القيمة الغذائية وعلى الخواص الحسية.

يمكن إجمال الطرق الرئيسية لحفظ الأغذية على النحو التالي:

١- التبريد والتجميد.

٢- المعاملات الحرارية.

٣- التجفيف.

٤- استعمال المواد الحافظة Preservatives.

٥- التشعيع Irradiation.

٦- التخمير Fermentation

٧- الجمع بين اثنين أو أكثر من الطرق السابقة

الحفظ بدرجة الحرارة المنخفضة

يأتي تأثير درجة الحرارة المنخفضة من إبطائها للتفاعلات الكيماوية وتأثيرها في نشاط الإنزيمات الموجودة أساساً في الأغذية وكذا إبطاؤها أو إيقافها لنمو الميكروبات. وتأتي مشكلة التبريد من كونه مكلفاً ولكون بعض المواد الغذائية حساس للبرودة فيما لو لم تضبط درجة الحرارة، كما أن التبريد حتى عندما تصل درجة الحرارة إلى الصفر المئوي ليس بالضرورة أن يكون كافياً لإيقاف نشاط وتكاثر الميكروبات الموجودة؛ إذ توجد بعض الميكروبات التي لها القدرة على النمو على درجات حرارة منخفضة جداً.

ومعظم البكتيريا التي تنمو تحت درجة حرارة منخفضة تنتمي للأجناس *Pseudomonas, Flavobacterium, Micrococcus, Alcaligenes, Achromobacter*، كما أن هناك بعض الأعفان كالـ *Penicillium* والـ *Monilia* وكذلك بعض الخمائر لوحظت تنمو تحت درجة حرارة منخفضة.

وتلعب الميكروبات المعروفة بمتحملات البرودة Psychrotrophs دورا رئيسا بالنسبة لفساد الأغذية المبردة حيث تنمو ببطء تحت هذه الظروف وإن لم تكن الظروف مثالية لنموها. وتحت الظروف الجوية بالمملكة العربية السعودية لا نتوقع دورا مهما للبكتيريا المحبة للبرودة Psychrophiles لأن درجة الحرارة السائدة ليست مناسبة لانتشار هذه المجموعة من الميكروبات. ومن البكتيريا المتحملة للبرودة والتي يمكن أن تلعب دورا رئيسا في فساد الأغذية المبردة هناك جنس سيدوموناس وبعض الأنواع المنتمية للجنسين الكاليجينس وفلافوباكتيريوم، وبعض الخمائر والأعفان.

درجات الحرارة المستخدمة في التخزين البارد

التخزين على درجة الجو العاديNormal storage

درجة الحرارة في الغالب تكون أبرد بقليل من درجة حرارة الجو العادي خارج المخزن ويطبق عادة في حالة البصل، والبطاطس، والكمثرى، والتفاح، والقرع .. إلخ، وفي هذا النوع من التخزين يكون فساد الأغذية المعنية بالإنزيمات الذاتية Autoenzymes أو بالميكروبات.

التبريد Chilling

ويطلق عليه التخزين البارد Cold storage. تستخدم درجات حرارة قريبة من التجمد (٢-٥°م) ويكون التبريد ميكانيكياً أو بواسطة وضع قطع ثلج. فمعظم المواد الغذائية الحساسة كمنتجات الألبان، واللحوم، والبيض، والخضار والفواكه يمكن خزنها بهذه الطريقة (الشكل رقم ٣٨) إلا أن الإنزيمات والميكروبات لا تزال تشكل عقبة كبيرة هنا. وبعض المواد الغذائية كالموز لا يناسبها هذا النوع من التخزين. ويدخل التخزين في الجزء السفلي من الثلاجة المنزلية تحت هذا النوع. ومعظم التبريد التجاري للأغذية يقع تحت هذا النوع من التخزين.

التجميد Freezing

عند خفض درجة الحرارة إلى -١٨°م يتوقف نشاط جميع الميكروبات والإنزيمات مادامت المادة الغذائية محفوظة تحت هذه الظروف.

ويكون تأثير التجميد في الميكروبات بتكوين البلورات الثلجية داخل الخلايا وكذا بزيادة التركيز للأملاح نتيجة تبلور الماء والتي بدورها لها تأثير مثبط. وتجدر الإشارة إلى أنه يسبق التجميد وخاصة للخضار أو الفواكه عملية سلق الهدف منها القضاء على نشاط الإنزيمات، لأن بعض الإنزيمات يمكن أن تنشط تحت هذه الظروف

الشكل رقم (٣٨).أغذية مبردة في أحد محلات التموينات.

هذا وللسلق فوائد أخرى، أهمها ما يلي:

١- الإقلال من الحمل الميكروبي (يقضي على ٩٩٪ منه).

٢- تحسين اللون، كما هي الحال في الفاصوليا والبزاليا (لون أخضر غامق).

٣- تليين الأنسجة كما في السبانخ – يساعد على التعبئة.

٤- طرد الهواء من الأنسجة.

٥- تثبيط الإنزيمات.

أنواع التجميد: يقسم التجميد حسب سرعة التجميد إلى:

١- **تجميد حاد Sharp freezing :** وهو تجميد بالهواء الطبيعي في المناطق الباردة عند تدني درجات حرارة الجو تحت درجة التجمد، وقد تستخدم المروحة لذلك ويطلق عليه أحياناً تجميد بطيء Slow freezing حيث تأخذ عملية التجميد ٣-٧٢ ساعة.

٢- **تجميد سريع Quick freezing:** ويتم في ظرف نصف ساعة أو أقل ويستخدم ما يلي:

أ) التماس غير المباشر مع مادة مجمِّدة كالهواء البارد في ألواح التبريد.

ب) استخدام النيتروجين السائل (٣٢°ف).

ج) استخدام ثاني أكسيد الكربون Co_2 (-٤٠°م).

مميزات التجميد السريع:

أ) تكون البلورات الثلجية المتكونة صغيرة بالنسبة للتجميد البطيء.

ب) توفير في الوقت.

ج) ليست هناك فرصة لنمو الميكروبات أثناء التبريد (قصيرة).

د) تثبيط سريع للنشاط الإنزيمي.

هـ) عند التذويب ينتج منه عطب أقل للمادة الغذائية (فقد عصارتها وقيمتها الغذائية) نتيجة لصغر البلورات الثلجية المتكونة.

التأثير القاتل للتجميد: مما لاشك فيه أن التجميد يؤثر في عدد الأحياء من الميكروبات ولكن لا يقضي عليها قضاءً تاماً حتى ولو بعد انقضاء فترة طويلة. وتختلف النسبة من الميكروبات المقتولة حسب نوعية التجميد. فإذا كان التجميد تم بسرعة Quick freezing تكون الإبادة في الغالب ٥٠-٨٠٪. وتزداد نسبة الإبادة بتكرار عملية

التجميد Freezing في معظم الأحيان. وتختلف الميكروبات بالنسبة لمقاومتها لفعل التجميد وتعتبر السالمونيلا من الميكروبات التي يمكن أن تفلت من عملية التجميد حيث يقضي التجميد على نسبة منها ويبقى حوالي ٥٠٪ يمكن أن تنشط عند تسييح الثلج، ولذا فإن من الأهمية بمكان الاهتمام بالدجاج المجمد (الشكل رقم ٣٩) الذي غالباً ما يحتوي على سالمونيلا حيث يمكن أن يؤدي التذويب بطريقة خاطئة إلى حدوث تلوث خلطي Cross contamination.

الشكل رقم (٣٩). دجاج محفوظ بالتجميد(- ١٨ °م).

الحفظ بالحرارة المرتفعة

يأتي تأثير الحرارة في الميكروبات من تسببها في تخثر البروتين وتثبيط الإنزيمات اللازمة لعملية الأيض Metabolism كما اقترح أن تأثير الحرارة يمتد إلى الحمض النووي DNA

حيث تعمل الحرارة على تكسيره. كما يعتقد أيضاً أن تأثير الحرارة يتأتى بسبب تأثيرها في الغشاء الخلوي الذي يتحكم في دخول العناصر الغذائية والماء وخروج الفضلات ونواتج الأيض Metabolites. وتختلف المعاملة الحرارية اللازمة لقتل الميكروبات أو جراثيمها تبعاً لنوع الميكروب، والحالة التي هو عليها، ووسط التسخين. ويطلق على الأثر الناتج من الحرارة لفترة زمنية محددة "المعالجة الحرارية Thermal processing"، وتعرف بأنها تعريض منتج غذائي معين لدرجة حرارة معينة ولمدة محددة. ولتثبيط جميع الميكروبات الموجودة بالغذاء يلزم تعريضه لمعاملة حرارية يطلق عليها التعقيم المطلق Absolute sterility. وإذا كان الهدف من المعاملة الحرارية القضاء على الميكروبات (دون الجراثيم المتحملة للحرارة) التي تسبب الفساد على درجة الحرارة الاعتيادية حينئذ تسمى المعاملة الحرارية "التعقيم التجاري Commercial sterility". وفي حالة ما يكون الهدف هو القضاء على الميكروبات المرضية تسمى المعاملة الحرارية "البسترة Pasteurization". وتتحدد المعالجة الحرارية بدرجة الحرارة المستخدمة وزمن التسخين، ولهذا فإنه يمكن الحصول على جرعة حرارية معينة باستخدام درجات حرارة وأوقات مختلفة وهي ما يطلق عليها بالمكافئات الحرارية.

تختلف المعاملة الحرارية اللازمة من منتج إلى آخر. وعادة ما تصنف حسب الهدف منها، وحسب خواص المنتج ولاسيما الـ pH. وفيما يلي المعالجة الحرارية اللازمة للأغذية حسب حموضتها (pH):

١- حمضية (pH من ٣,٢-٤,٥)

وتشمل الطماطم، والتين، والكمثرى، والمشمش، والأناناس، والبرقوق (البخارى)، والكرز، والموالح. هذه المنتجات خاصة مرتفعة الحموضة منها كالموالح، وبخارى، وكرز، والمخللات مثل ورق الملفوف المخلل تفسدها عادة الخمائر

والأعفان، وبكتيريا حمض اللبن وبعض البكتيريا غير المكونة للجراثيم. وعموماً فإن هذه الميكروبات يقضى عليها بالتسخين على درجة حرارة معتدلة ٧٥-٨٠°م لبضع دقائق ولاسيما بالنسبة للأغذية شديدة الحموضة منها، ويلحق بهذه الفئة تلك الأغذية ذات السكر أو الملح عالي التركيز. وبالنسبة للمنتجات الأقل حموضة منها فبالإضافة إلى ما سبق فإننا نتوقع وجود البكتيريا المكونة للجراثيم المحبة للحرارة المتوسطة Mesophiles sporeformers هذه المنتجات يلزم تعريضها لدرجة حرارة تقرب من الغليان لبضع دقائق.

٢- منخفضة الحموضة أو المتعادلة

كاللحم والخضار المعلب والحليب. وهنا فإن الغليان لا يكفي. لذا يلزم رفع درجة الحرارة فوق الـ ١٠٠°م. ولأن الغذاء يوجد عادة في وسط مائي فلا يمكن تخطي حاجز المائة درجة مئوية، مما يستدعي رفع الضغط ومن ثم الوصول إلى ١١٠-١٢١°م. في هذه الأغذية نتوقع وجود كثير من الميكروبات المحبة للحرارة المتوسطة والمرتفعة ومكونات الجراثيم على وجه الخصوص.

مقاومة الميكروبات وجراثيمها للحرارة

ترتبط مقاومة الميكروبات للحرارة بدرجة الحرارة المثلى لنمو الميكروب. فالميكروبات المحبة للبرودة تعتبر الأكثر حساسية للحرارة. ويقابلها الميكروبات المحبة للحرارة ولاسيما البكتيريا المكونة للجراثيم Sporeformers التي تعتبر الأكبر مقاومة. وبين المجموعتين تقع الميكروبات المحبة للحرارة المتوسطة، وهي تعد وسطاً بالنسبة لمقاومتها للحرارة. وهناك عوامل عديدة تؤثر في مدى مقاومة الميكروبات للحرارة.

العوامل التي تؤثر في مقاومة الميكروبات للحرارة

١- المحتوى الرطوبي للخلايا

تزداد مقاومة الميكروبات للحرارة مع انخفاض الرطوبة والعكس صحيح. ويتبع البروتين هذا النمط فتتغير طبيعته Denatured عند ارتفاع نسبة الرطوبة أسرع منه في الوسط الجاف.

٢- وسط التسخين

تعتبر الحرارة الرطبة Moist heat أكثر فاعلية من الحرارة الجافة Dry heat في التأثير في الميكروبات ؛ ولهذا يستخدم الأوتوكلاف في التعقيم أكثر من الفرن الجاف. وفي حالة استخدام الفرن الجاف يتطلب الأمر حرارة عالية ووقتاً أطول.

٣- الأس الهيدروجيني

تبلغ الميكروبات قمة مقاومتها للحرارة عند الأس الهيدروجيني (pH) الأمثل لنشاطها، وعليه تزداد حساسيتها للحرارة مع البعد عن هذا الأس الهيدروجيني ؛ ولهذا فإن الأغذية قليلة الحموضة Low acid foods تحتاج لمعاملة حرارية عالية مقارنة بالأغذية الحامضية Acid foods.

٤- الملح

يعمل الملح على تقليل النشاط المائي (a_w) للوسط الغذائي ، ومن ثم يعمل على زيادة مقاومة الخلايا الميكروبية للحرارة. كما يعتقد أن له تأثيراً واقياً ضد الحرارة.

٥- تركيز السكر

تعمل السكريات على خفض النشاط المائي (a_w) للوسط. كما هو الحال بالنسبة للملح ، ومن ثم تعمل على زيادة مقاومة الخلايا الميكروبية للحرارة.

٦- عدد الميكروبات في الوسط

كلما زاد العدد الميكروبي زادت مقاومة الخلايا الميكروبية، ويعتقد أن السبب يعود إلى أن الخلايا تنتج مواد خارج الخلية لها أثر واقٍ، يزداد تركيزها بزيادة عدد الخلايا.

٧- حالة الخلايا

ويقصد بذلك عمر الخلية، فالخلايا الجديدة التي في حالة انقسام سريع، تكون حساسة للحرارة أكثر منها في طور متقدم. ويندرج تحت هذا أيضاً الحالة الفسيولوجية للخلية، فكلما كانت الخلية تحت ظروف إجهاد Stress (عدا الرطوبة) كانت حساسة للحرارة، كما تعمل المواد المثبطة للنمو الميكروبي كالمضادات الحيوية وثاني أكسيد الكبريت SO_2 وفوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 على زيادة حساسية الخلايا للحرارة.

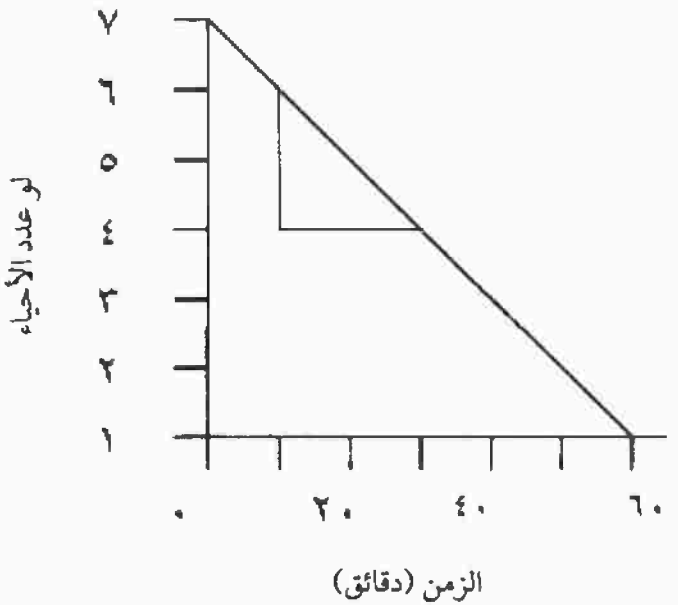
يعبر عن مقاومة الميكروبات للحرارة بما يسمى بزمن الإبادة الحراري Thermal Death Time (TDT) والذي يعرف على أنه الزمن اللازم لقتل عدد من الميكروبات أو جراثيمها عند درجة حرارة معينة وتحت ظروف ثابتة ويرمز له بالرمز F، وفي حالة ما تكون درجة الحرارة ١٢١°م يطلق عليها Fo.

وتختلف الميكروبات في مقاومتها للحرارة تبعاً للنوع أو السلالة Strain والحالة الفسيولوجية للميكروب وبالطبع وسط التسخين. وفقاً لما أورده فريزر ووستهوف (١٩٨٣م) فإن الجراثيم الأسكية Ascospores للخميرة تتطلب زيادة ٥-١٠°م علاوة على درجات الحرارة اللازمة للقضاء على الخلايا الخضرية. وهذه الجراثيم يقضى عليها بـ ٦٠°م لمدة ١٠-١٥ دقيقة. وبعضها مقاوم نوعاً ما ولكن ليس منها ما يقاوم ١٠٠°م لعدة دقائق، ويقضى على الخلايا الخضرية بـ ٥٠-٥٨°م لمدة ١٠-١٥دقيقة. وجدير

بالإشارة أن الخلايا الخضرية والجراثيم للخمائر يقضى عليها بالبسترة على ٦٣°م/٣٠ دقيقة أو مكافئاتها، وغالباً ما يقضى عليها كلها خلال عملية الخبز Baking، أما العفن وجراثيمه فمعظمه يقتل بـ ٦٠°م في ٥-١٠ دقائق إلا أن بعضها يقاوم الحرارة. والجراثيم اللاجنسية أكثر مقاومة للحرارة من الخلايا الخضرية، ويلزم لها زيادة ٥-١٠°م فوق تلك اللازمة للميسيليوم. ومعظم الأنواع المنتمية *Penicillium* والـ *Aspergillus* والـ *Mucor* أكثر مقاومة من بقية الأعفان. ويعتبر العفن *Byscochlamys fulva* من أكثر أنواع الأعفان مقاومة للحرارة. ومعظم الأعفان يقضى عليها بالبسترة عدا قليل من جراثيم *Aspergillus* (وهي ليست شائعة في الحليب) يمكن أن تنجو من البسترة.

تقدير المقاومة الميكروبية للحرارة (زمن الإبادة الحراري TDT)

من أبسط الطرق المستخدمة طريقة الأنبوب الزجاجي والذي يوضع فيه معلق من الجراثيم أو الخلايا المعلوم عددها (خلية/مل) والتسخين في حمام ليمكن التحكم في درجة الحرارة بدقة. يسخن المعلق على الدرجة المطلوبة والمدة المحددة ثم يزرع جزء من المعلق لتقدير عدد الأحياء الناجية. وعادة ما تؤخذ عدة درجات حرارة وعلى فترات مختلفة، وفي كل مرة يتم تقدير عدد الأحياء. ولأن القتل بالحرارة يكون لوغاريثمياً؛ لذا فإننا هنا نتعامل باللوغاريثمات. هذا ويمكن ربط العلاقة بين عدد الأحياء والزمن بمنحنى يسمى منحنى الأحياء الناجية Survivor curve (الشكل رقم ٤٠).



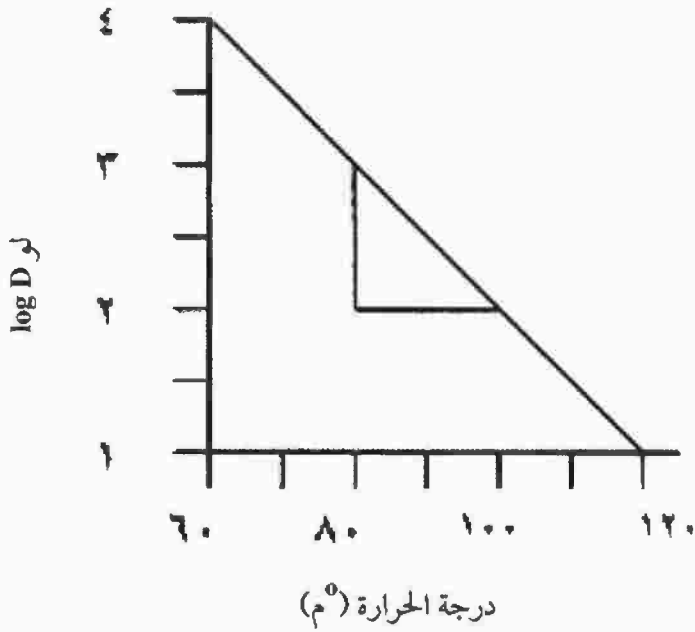
الشكل رقم (٤٠). منحنى الأحياء الذي يربط العلاقة بين عدد الأحياء الناجية وزمن التسخين.

ويمكن حساب الميل D-value والذي يعرف مقلوبه بزمن الإبادة العشري Decimal Reduction Time أو D-value وهو الزمن اللازم للقضاء على ٩٠٪ (أو خفض العدد بمقدار دورة لوغاريثمية واحدة) على درجة حرارة معينة وفي مثالنا السابق تكون D100 = 10min، وتقل الـ D-value بزيادة درجة الحرارة. لنفرض أننا قمنا بتقدير D-value عند درجات حرارة مختلفة وكانت النتائج كما يلي :

T	٦٠°م	٨٠°م	١٠٠°م	١٢٠°م
D	١٠٠٠	١٠٠	١٠	١

ويربط العلاقة ما بين لوغاريثم الزمن (ز D-value) ودرجات حرارة التسخين

ينتج منه ما يسمى بمنحنى زمن الإبادة الحراري Thermal Death Time Curve (الشكل رقم ٤١).



الشكل رقم (٤١). منحنى زمن الإبادة الحراري Thermal Death Time Curve.

يمكن حساب الميل على أساس: الميل= $\frac{\Delta \log D}{\Delta T^{\circ}C}$

ومقلوب قيمة الميل يعرف بالـ Z-value وهي درجة الحرارة اللازمة لخفض الزمن اللازم لخفض D-value إلى ١٠٪ من قيمته الأصلية، وفي مثالنا:

$$\frac{1}{Z} = \frac{\log 100 - \log 10}{100\text{-}80} = \frac{2\text{-}1}{20} = \frac{1}{20}$$

وعليه فإن Z تساوي ٢٠°م $\therefore Z = 20^{\circ}C$

وتعطي قيمة D و Z معلومة مهمة عن مدى مقاومة الميكروب للحرارة، وتستخدم في حساب المعاملات الحرارية للأغذية المعلبة، حيث يتم حساب المعاملة الحرارية باستهداف أكثر الميكروبات الممرضة التي يمكن أن توجد في ذلك المنتج، وعلى سبيل المثال في حالة التونة المعلبة يتم حساب المعاملة الحرارية اللازمة لخفض عدد جراثيم كلوستريديوم بوتشيلينيوم النوع هـ type E *Cl. botulinum* إلى الحد الذي يجعلها لا تسبب خطورة على الصحة العامة.

وللتبسيط يمكن القول إن تعريض التونة المعلبة لمعاملة حرارية تكافئ D-value للكلوستريديوم بوتشيلينيوم النوع هـ تؤدي إلى القضاء على ٩٠٪ من عددها الموجود، ومضاعفة المعاملة الحرارية تؤدي إلى القضاء على ٩٩٪ ، وعلى افتراض أن هذه القيمة تساوي ٠.٢ دقيقة عند ١٢١°م، فإن التسخين عند ١٢١ م مدة دقيقة واحدة يؤدي إلى خفض العدد بما يعادل ٩٩.٩٩٩ ٪ أو بمقدار خمس دورات لوغاريثمية، ... وهكذا. ولتحقيق التعقيم التجاري، تحتاج عادة إلى معاملة حرارية تكافئ D12 وهذا بدوره يؤدي إلى خفض العدد بمقدار ١٢ دورة لوغاريثمية، مما يعني التقليل إلى حد كبير من فرص وجود هذا الميكروب في التونة وإن كان لا يؤدي إلى التعقيم المطلق Absolute sterility.

تحديد المعاملة الحرارية المطلوبة

لأن المعاملة الحرارية اللازمة للقضاء على الميكروبات والإنزيمات يمكن أن يكون لها تأثير سلبي في مكونات الغذاء؛ لذا يلزم اختيار المعاملة الحرارية (الحد الأدنى) اللازمة للقضاء على الميكروبات والإنزيمات، ولهذا فوائد عديدة منها: تأمين

سلامة الغذاء مع التوفير في الطاقة، والإقلال من الفاقد، والحفاظ على الخواص الحسية والقيمة الغذائية للغذاء. ولكي نحقق ذلك يلزم معرفة ما يلي:

١- ما هي الحرارة /الوقت اللازمين للقضاء على أكثر الميكروبات مقاومة للحرارة المتوقع وجودها ويهمنا هنا المرضية وميكروبات الفساد، ولتحقيق هذا يلزم معرفة قيمة D و Z للميكروب المعني.

٢- ما هي خواص الغذاء المراد معاملته حرارياً. وكيفية انتقال الحرارة بالحمل Convection وبالتوصيل Conduction ... الخ. ويمكن القول إن المعالجة الحرارية المثلى هي تلك المعالجة التي تضمن الحفاظ على جودة المنتج وسلامته. والجودة تعني أن تحافظ على الخواص الحسية من لون، وطعم، ورائحة، وقوام، وكذا القيمة الغذائية بقدر المستطاع، مع تحقيق سلامة المنتج وتحسين قابليه للتخزين فترة معقولة (فترة الصلاحية) دون حدوث أعراض فساد.

وتعتبر *Clostridium botulinum* أكثر الميكروبات المرضية التي يتوقع وجودها في الأغذية المعلبة، حيث تتوافر ظروف لاهوائية. أما غير المرضية *B. stearothermophilus* و Putrefactive anaerobes (PA) فتعتبر أكثر الميكروبات المتوقع وجودها في الغذاء مقاومة للحرارة؛ ولهذا فإننا عند تصميمنا لمعاملة حرارية يجب أن نراعي أو نأخذ في الاعتبار احتمال وجود أحد هذه الميكروبات.

بعض التعاريف الخاصة بالمعاملة الحرارية للأغذية

التعقيم المطلق Absolute Sterilization

ونعني به القضاء التام على جميع الميكروبات، ولتحقيق هذا غالباً ما نستعمل درجة حرارة تزيد عن الغليان. ولهذا يتم التعقيم تحت ضغط. وعلى العموم يجب ألاّ

تنخفض درجة الحرارة عن ١٢١°م.

التعقيم التجاري Commercial Sterilization

ويقصد بها المعاملة الحرارية الكافية للقضاء على الميكروبات المرضية وكذا الميكروبات المسببة للفساد تحت الظروف الاعتيادية، على أنه قد توجد بعض الجراثيم الميكروبية المقاومة للحرارة والتي لا تنمو تحت الظروف الاعتيادية - ولكن تحت ظروف معينة - قد تنبت الجراثيم مسببة فساد المادة المعلبة. ومدة صلاحية المواد المعقمة تماماً غالباً ما تكون في حدود سنتين وقد تكون أطول من ذلك بكثير لكن غالباً ما تتدهور خواص الغذاء المعلب لا سيما القوام والنكهة.

البسترة Pasteurization

ويقصد بها بصفة عامة المعاملة الحرارية التي دون الغليان (وقد تكون فوق الغليان ولكن لثواني معدودة) على أن يتم التبريد فجأة بعد عملية التسخين. وهي مصممة أساساً للقضاء على الممرضات Pathogens ويتم أيضاً القضاء على العديد من الميكروبات التي تسبب الفساد ولكنها لا تقضي عليها تماماً، ولذا فإن المواد الغذائية المبسترة تكون مدة صلاحيتها محدودة، ولهذا يلزم قرنها مع طريقة حفظ أخرى كالتبريد، كما هو الحال في الحليب المبستر المبرد(الشكل رقم ٤٢). ويتلف الحليب المبستر عادة بعد أسبوع إلى أسبوعين - حسب جودة الحليب الخام ونوعية البسترة. أما الحليب المبستر غير المبرد فيفسد عادة بعد يوم إلى يومين.

الشكل رقم (٤٢). حليب خلفات(إبل) مبستر .

الحفظ بالتجفيف

كما أسلفنا فإن الرطوبة تعتبر من العوامل المهمة التي تؤثر في نمو الميكروبات ؛ ولهذا كانت نسبة الرطوبة إحدى الوسائل المهمة في حفظ الأغذية من فعل الميكروبات والمتبعة منذ قديم الزمان. فالتجفيف بالشمس يعتبر من الوسائل القديمة التي اتبعت لحفظ الكثير من المواد الغذائية. ومن المواد التي تحفظ بالتجفيف الشمسي : الزبيب ، والتمر ، والمشمش ، والبرقوق ، والتين إلا أن التجفيف الشمسي له عيوبه ومنها :

١ - لا يمكن التحكم في الظروف الجوية.

٢- بطيء نسبياً.

٣- يعرِّض القيمة الغذائية للخطر.

٤- المواد التي تحفظ بهذه الطريقة تكون معرضة للحشرات.

٥- لا يمكن التحكم في نسبة الرطوبة المتبقية ولا يمكن نزع الرطوبة دون ١٥٪.

٦- يطلب حيزاً كبيراً.

هذا وتجدر الإشارة إلى أن الشمس بما تحتويه من أشعة لها تأثير إبادي للميكروبات. إلا أنه ليس بالقوة الكافية للقضاء على الميكروبات قضاءً تاما.

يأتي تأثير التجفيف كنتيجة لسحب جزء كبير من الرطوبة المتيسرة ، ومن ثم الإقلال من العمليات الحيوية الضرورية للخلية ، وكذا زيادة التركيز للمواد الذائبة. وبالإضافة إلى هذا فإنه توجد عدة طرق أخرى للتجفيف. ويعتمد اختيار الطريقة على نوع الغذاء ، ومن طرق التجفيف :

١- التجفيف بالأسطوانات Drum drying.

٢- التجفيف بالرذاذ Spray drying.

ويمكن أن تتم كلتاهما عند الضغط الجوي العادي Atmospheric أو تحت تفريغ Vacuum

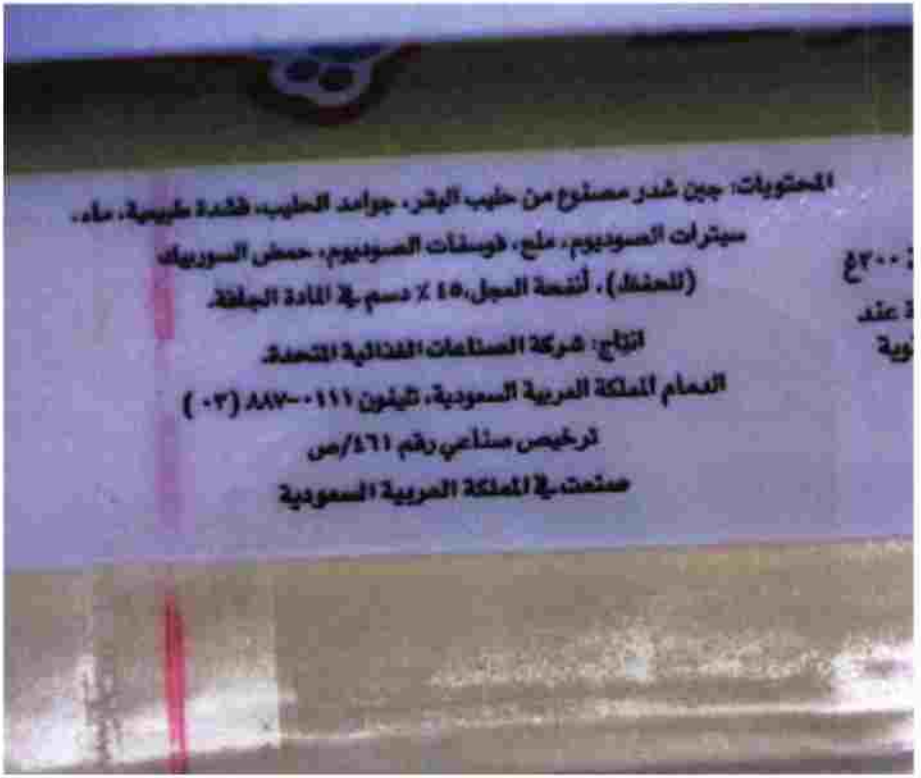
٣- التجفيد Freez drying.

كما نعلم فإن النشاط المائي a_w هو مقياس للماء المتيسر. فالماء يعتبر ماءً مرتبطاً عندما تكون نسبة الرطوبة ٥٪ ويطلق عليه الماء المدمص Adsorbed water. أما عندما تكون نسبة الرطوبة ٢٠٪ فإن الماء يكون على شكل Multimolecular layer of water.

وكما سبق فإن للـ a_w أهمية كبرى فيما يتعلق بنمو الميكروبات. فكثير من البكتيريا يعاق نموها عندما ينخفض النشاط المائي - a_w - دون ٠,٩ أما المحبة للملوحة فيمكنها أن تنمو تحت ظروف يكون النشاط المائي a_w فيها ٠,٧٥ أما الخمائر وخاصة Osmophilic yeasts فإنها تتحمل a_w دون ذلك بكثير، وتعتبر الأعفان ولاسيما جراثيمها أكثر تحملاً للجفاف من غيرها وعموماً فإن الأغذية الجافة التي يكون النشاط

المائي a_w فيها ٠,٧ إلى ٠,٨٥ تكون في مأمن من البكتيريا ولكن قد تكون عرضة لنمو الأعفان (الشكل رقم٤٣) والخمائرعليها. ولتفادي نمو الفطريات يضاف حمض السوربيك أو سوربات البوتاسيوم K-sorbate (شكل ٤٤). وتعتبر الحبوب الجافة من الأغذية قليلة الرطوبة (١٣-١٥٪) والتي تقاوم الفساد إلى حد كبير.

الشكل رقم (٤٣). نوعان من الخبز ، وقد ظهر عليهما نمو العفن.



الشكل رقم (٤٤). حمض السوربيك، وقد أضيف لحفظ الجبن من الأعفان.

فيما يلي أسماء بعض الأجناس الميكروبية الشائعة المقاومة للجفاف (جدول ١٨).

الجدول رقم (١٨). بعض الأجناس المرتبطة بالأغذية منخفضة الرطوبة.

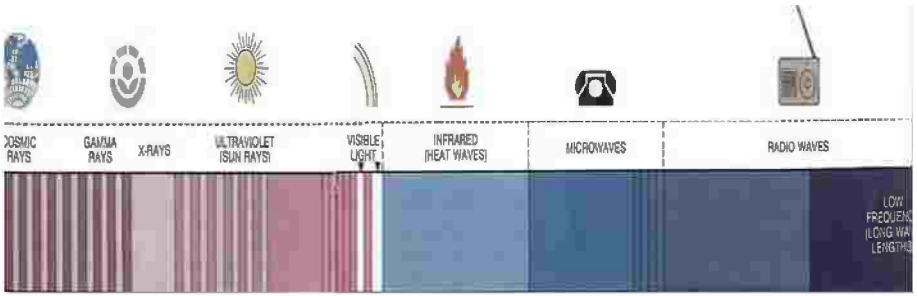
Molds	Yeasts	Bacteria
Penicillium	*Zygosaccharomyces*	Lactic acid bacteria
Aspergillus	*Hanseniaspora*	*Micrococcus*
Cladosporium	*Saccharomyces*	*Staphylococcus*
Alternaria	*Hansenula*	*Microbacterium*
	Pichia	
	Torulopsis	
	Debaryomyces	

حفظ الأغذية بالتشعيع Food Irradiation

الإشعاع Radiation

عبارة عن طاقة تنبعث من بعض المواد وتنتقل خلال الفضاء Space أو تنفذ خلال بعض المواد. وهي إما طبيعية وتنبعث من أحد النظائر المشعة Radio isotopes أو أن تكون مولّدة بإحدى الطرق المعروفة مثل تعجيل الإلكترون Electron acceleration لسرعة تقرب من سرعة الضوء.

والأشعة إما أن تكون مؤيِّنة Ionizing radiation وهي الأشعة التي يمكن أن تتولد عنها طاقة كافية لتأيين الجزيئيات، وتسمى كذلك لأنها تنزع إلكتروناً من الذرة تاركة أيوناً وشقاً حراً Free radical. ومن الأشعة المؤيِّنة البروتون، والميترون، والبوزيترون، والنيوترون، والإلكترون المعجل، وجاما، وأشعة إكس. أو تكون الأشعة غير مؤيِّنةNon-ionizing radiation مثل الأشعة المرئية Visible، والأشعة دون الحمراء Infra red (IR)، والأشعة الدقيقة Microwave (الشكل رقم ٤٥).



الشكل رقم(٤٥). نطاق الأشعة الكهرومغناطيسية.

الأشعة فوق البنفسجية (UV)

وهي ذات طول موجي من ١٣٧٠ أنجستروما إلى ٢٩٠٠ أنجستروما ويعتبر الطول الموجي ٢٦٠٠ أنجستروما (٢٦٠ نانومترا) أكثرها فعالية في إبادة الميكروبات، وهي أشعة غير مؤينة وتمتص بواسطة الأحماض الأمينية الأروماتية - مثل فينايل ألانين، وتربتوفان، والتيروسين، والأحماض النووية ولاسيما DNA - محدثة تغيرات كيماوية يمكن أن تؤدي إلى الوفاة والتي تفسر على أنها نتيجة حدوث طفرة مميتة Lethal mutation . وهي ذات قدرة اختراقية محدودة جدا ولذلك فهي فعالة فقط على السطح. وتزيد من قابلية الأطعمة الدسمة على التزنخ، كما أنها قد تتسبب في تغير اللون، وهي تستخدم لوقف نمو الفطريات في أحواض التخليل وعلى اللحوم المعاملة Cured meats ، كما تستخدم لتعقيم خطوط التعليب والمخابز، وتستخدم في تعقيم غرف التعبئة تحت ظروف شبه معقمة Aseptic filling كما هو الحال في مصانع الحليب طويل الأجل المعامل بالحرارة فائقة الارتفاع UHT . وقد تستعمل هذه الأشعة لتعقيم ماء الشرب على نطاق محدود، حيث يتم تمرير الماء بشكل طبقة رقيقة من خلال مصدر لهذه الأشعة.

بعض خواص الأشعة المهمة واستخداماتها الغذائية

أشعة بيتا (β)

وهي عبارة عن سيل من الإلكترونات تنبعث من مواد مشعة لها قدرة محدودة جدا على الاختراق. قد يؤدي استخدامها إلى إحداث نشاط إشعاعي لبعض المواد، أي تحويل بعض المواد إلى مواد مشعة.

أشعة جاما (γ):

وهي عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية تنبعث من مواد مثل الكوبلت المشع Cobalt-60، و السيزيوم المشع Cesium-137 وهذه هي أرخص مصدر لتشعيع المواد الغذائية، ولهذه الأشعة قدرة اختراقية عالية إذا ماقيست بأشعة بيتا. والكوبلت المشع ^{60}Co له فترة نصف عمر تقدر بخمس سنوات بينما تقدر للسيزيوم المشع ^{137}Cs بـ ٣٠ سنة، مما يصعب معه التخلص من مخلفات هذا النظير.

أشعة X:

تشبه خواصها أشعة جاما. و يمكن القول عموما إن القدرة الاختراقية للأشعة تعتمد على طاقتها، ولكن يجب ملاحظة أنه عندما تكون الطاقة الإشعاعية عالية يمكن أن تتسبب في إحداث نشاط إشعاعي في بعض مكونات الغذاء أو العبوة التي يوجد فيها الغذاء.

أشعة الموجات الدقيقة (الميكروويف Microwave)

وهي أشعة ذات طول موجي طويل نسبيا تقع بين IR وأشعة الراديو ضمن نطاقات الأشعة الكهرومغناطيسية Electromagnetic radiation، وهي تستخدم الآن على نطاق واسع في الطبخ.

تكتسب جزيئات الماء حركة سريعة نتيجة تعرضها لهذه الموجات. وينتج من هذه الحركة حرارة عالية نتيجة الاحتكاك، هذه الحرارة هي التي تحدث قتلا للميكروبات وتثبيطا لعمل الإنزيمات.

وكما نعلم فإن الأفران ذات الأشعة الدقيقة Microwave ovens تستخدم على نطاق واسع في المنازل وذلك لسرعة تسخينها للأغذية على أنها تفشل في رفع درجة حرارة الأنسجة الداخلية إلى أكثر من ٥٥°م وهذا يعني أن بعض الجراثيم مثل جراثيم

Cl. Botulinum إذا وجدت يمكن أن تنبت. كما أنه يمكن أن تستخدم لتمييع الثلج بالنسبة للأغذية المجمدة خلال دقيقة. ويجب مراعاة أن الأغذية حينئذ تزيد قابليتها للفساد ولذا يجب التصرف فيها بسرعة للحد من فسادها

الأشعة دون الحمراء Infrared Radiation (IR)

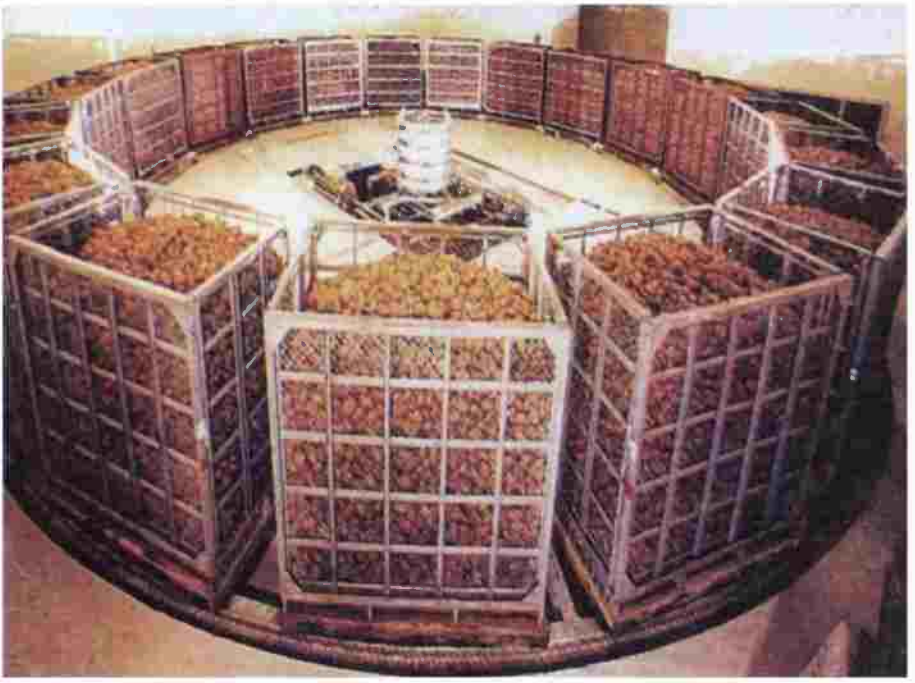
ويستخدم النطاق الحراري منها Thermal IR، وهذه الأشعة تتسبب في إحداث حركة اهتزازية Vibration لجزيئات المادة، وهكذا فإن طاقة الذبذبة Vibration energy تتحول إلى حرارة. وتستخدم الأشعة دون الحمراء لتجفيف أسطح بعض الأغذية ولحفظ الغذاء ساخنا في مؤسسات الخدمة الغذائية.

استخدام الأشعة المؤينة لحفظ الأغذية

نشرت في عام ١٩٨١م لجنة الخبراء المشتركة Joint Expert Committee of Food Irradiation المكونة من الهيئات الدولية الثلاث؛ الأغذية والزراعة FAO والوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA ومنظمة الصحة العالمية WHO تقريرا يفيد بأن أي غذاء مشعع بجرعة لا تزيد على ١٠ كجراي تعتبر أغذية مأمونة لا ينقص جودتها شيئا Safe and Wholesome ولذا أصدرت هيئة دستور الغذاء العالمية Codex Alimentarius مواصفة بهذا الشأن وأتبعتها مواصفة خاصة بمرافق التشعيع في عام ١٩٨٤م. وفي عام ١٩٩٩م اعتبرت اللجنة الثلاثية أن الحد الأقصى غير ملزم بل متروك للمصنع بحيث يستخدم الجرعة التي تحقق الغرض ولا تؤثر في جودة الخواص الحسية للغذاء Organoleptic quality.

في الولايات المتحدة أقرت إدارة الأغذية والعقاقير FDA استخدام تقنية التشعيع للحوم الحمراء في ديسمبر ١٩٩٧م إلا أنه مرت سنتان قبل استخدامها فعلاً، للحاجة إلى إنشاء مرافق التشعيع (الشكل رقم ٤٦). وبالنسبة للدواجن أجيزت التقنية منذ عام

١٩٩٢م من قبل وزارة الزراعة. أما بالنسبة للتوابل والبهارات فقد سمح باستخدام التشعيع لتعقيمها منذ عام ١٩٨٣م. ويسمح باستخدام جرعة تقدر بكجراي واحد للسيطرة على الحشرات والمفصليات الأخرى ولتثبيط عملية النضج والتزريع والإنبات في الأغذية الطازجة، ويسمح باستخدام ٣ كجراي للسيطرة على الممرضات في الدواجن، و ٤.٥ كجراي للحوم المبردة، و ٧ كجراي للحوم المجمدة، و١٠ كجراي للإنزيمات المختلفة، و٣٠ كجراي للتوابل والبهارات المختلفة.



الشكل رقم (٤٦). بعض مرافق معمل تشعيع أغذية.

وفي دول السوق الأوروبية، يسمح بتشعيع الأغذية ذات المكون الواحد وتشمل البهارات الجافة والتوابل بمعدل ١٠ كجراي. ويبين الجدول رقم (١٩) بعض الأغذية المصرح بتشعيعها في بعض البلدان الأوروبية والجرعة المسموح بها.

الجدول رقم (١٩). بعض الأغذية المصرح بتشعيعها ببعض البلدان الأوروبية والجرعة المسموح بها.

المنتج	الجرعة القصوى (كجراي)				
	بلجيكا	فرنسا	إيطاليا	هولندا	المملكة المتحدة
التوابل العطرية المجففة		١٠			
البطاطس	٠,١٥		٠,١٥		٠,٢
اليام					٠,٢
البصل	٠,١٥	٠,٠٧٥	٠,١٥		٠,٢
الثوم	٠,١٥	٠,٠٧٥	٠,١٥		٠,٢
الخضار والبقول					١
الفواكه والفطر					٢
خضار وفواكه مجففة		١		١	
حبوب					١
رقائق الحبوب وجنين الحبوب		١٠			
رقائق الحبوب				١	
دقيق الأرز		٤			
الصمغ العربي		٣		٣	
لحم الدجاج				٧	
الدواجن		٥			٧
أحشاء الدجاج		٥			
أفخاذ الدجاج	٥	٥		٥	
أسماك وقشريات ورخويات					٣
الروبيان المجمد	٥	٥			
الروبيان				٣	
زلال البيض		٣		٣	
الكازين		٦			

وفي الوقت الحاضر أقرت حوالي أربعين دولة تقنية الحفظ بالتشعيع لما يقرب من أربعين مادة غذائية، تشمل الفواكه، والخضار، والبهارات والتوابل، والحبوب، واللحوم والأسماك والدواجن.

وفي المملكة العربية السعودية، سمح باستخدام تقنية التشعيع وبدخول الأغذية المحفوظة بطريقة التشعيع بموجب قرار مجلس الوزراء الموقر رقم ٢٦٣ وتاريخ ١٤٢٢/١٠/٢٣ هـ في معالجة الأغذية لتحقيق بعض الأغراض كالحفظ والقضاء على يرقات الحشرات والقضاء على الممرضات.

ميكانيكية عمل الأشعة

بالرغم من أن أشعة β و γ لاتعمل على تشعيع الغذاء إلا أن الطاقة الإشعاعية كافية لإحداث تأين في الغذاء وتكوين شقوق حرة - هذه الشقوق الحرة لها ميل للتفاعل فيما بينها ومع جزيئات أخرى للاستقرار - (بعد تكوين ثنائي إلكتروني) ولهذا فإن معظم التأين يأتي نتيجة تكوين هذه الشقوق:

$H_2O \rightarrow H_2O^+ + e$ تحرير إلكترون

$H_2O + e \rightarrow H_2O^-$ أيون ماء سالب

$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH$

$H_2O^- \rightarrow H + OH$

$OH + OH \rightarrow H_2O_2$

$H + O_2 \rightarrow HO_2$

$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$

ومن التأثيرات أيضا إحداث طفرات مميتة Lethal mutation . ولما كان تأثير الماء يكون في كل من الميكروبات والمادة الغذائية على حد سواء، لذا يمكن التغلب على هذه المشكلة بما يلي:

١- تشعيع المواد الغذائية وهي مجمدة.

٢- تشعيع المواد الغذائية تحت التفريغ (الحد من الأكسجين).

٣- إضافة مادة مضادة للأكسدة Free radical scavenger مثل حمض الاسكوربيك لوقاية النكهة واللون ومكونات الغذاء ولاسيما الدهون من الأكسدة.

مجمل القول إن التأثير القاتل للأشعة في الأنسجة الحية (الخلايا) يأتي من تأثيرها المباشر في المادة الوراثية، حيث تؤثر في الـ DNA، ويزيد وجود الماء من حدة هذا التأثير، أو من التأثير غير المباشر والذي يأتي من تأثير المادة المشعة في الوسط الغذائي بما فيه الماء وما ينتج فيه من شقوق حرة تؤثر بدورها في الكائن الحي، وعلى العموم كلما ازداد تعقيد الكائن الحي ازداد تأثره بالأشعة، وفيما يلي الجرعات القاتلة من الأشعة المؤينة لبعض الكائنات الحية:

الكائن الحي	مستوى الأشعة K rad
الإنسان	٠,٦ - ١
الحشرات	٢٥ - ١٠٠
البكتيريا	١٠٠ - ١٠٠٠
الفطريات	١٠٠ - ١٠٠٠
جراثيم البكتيريا	١٠٠٠ - ٥٠٠٠
الفيروسات	٣٠٠٠ - ٥٠٠٠

جرعات الأشعة المستخدمة في الغذاء

في البداية يحسن التعرف على وحدة لقياس كمية الأشعة الممتصة وهي الراد Rad، وهو مقياس للأشعة الممتصة سواء كانت γ أو β أو α أو مزيجاً منها، وتساوي ١٠٠ أرج من الأشعة الممتصة/١جم من المادة المتعرضة للأشعة المؤينة Ionizing radiation. وتقاس أيضاً بالجراي (١جراي = ١٠٠ راد) أو مضاعفاته (كيلوجراي).

وتعرف الجرعة Dose بأنها كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة بواسطة الغذاء خلال مروره في نطاق الأشعة المستعملة، وتقاس بالجراي Gray أو مضاعفاته كالكيلوجراي KGy ويكافئ الجراي الطاقة الممتصة المقدرة بجول واحد لكل كيلوجرام غذاء مشعع.

Megarad (M.rad) تساوي مليون راد.

ولزيادة فترة صلاحية الفاكهة يحتاج الأمر لـ ٠,٥-١,٥ كجراياً، وللسيطرة على البكتيريا الممرضة في اللحم والدواجن يحتاج إلى ١,٥-٤,٥ كجراياً، وللسيطرة على الحشرات والطفيليات يحتاج إلى ٠,١٥-١,٠ كجراياً، ولإعاقة النضج يحتاج إلى ٠,٥-٢,٠ كجراياً، ولتثبيط الإنبات والتزريع في البطاطس والبصل يحتاج إلى ٠,٠٥-٠,١٥ كجراياً.

١-١٠ كجرايات تكفي للقضاء على الأعفان والخمائر وبعض البكتيريا، وأكثر من ذلك تقضي على البكتيريا.

ونظرا لأن عملية التشعيع لايصحبها ارتفاع في درجة الحرارة لذا يطلق على عملية التشعيع بقصد الحفظ ـ التعقيم البارد Cold sterilization.

وتعتبر *Cl. botulinum* من أكثر الميكروبات مقاومة للإشعاع وتتطلب جرعات عالية من الإشعاع للقضاء عليها وللتدليل على مقاومتها يستخدم المصطلح D_M وهي كمية الأشعة اللازمة للقضاء على ٩٠٪ من الميكروبات وتقدر في حالة *Cl. botulinum* بـ ٠,٤ ميجاراداً (٠,٤ M.rad) و قياسا على المعاملات الحرارية وحيث يطبق مفهوم D١٢ فإنه يلزمنا تشعيع الغذاء بجرعة تعادل $D_m \times 12$ لكي نحقق مفهوم التعقيم التجاري، وهذا يعني أنه يلزمنا : ١٢×٠,٤ = ٤,٨ ميجاراداً.

وقد وجد في إحدى الدراسات أنه يلزم حوالي ٠,٣ -٠,٤ كجراياً للقضاء على ٩٠٪ من أعداد بكتيريا *E. coli* O157:H7 المسببة لما يعرف بمرض الهمبرجر

والمضاعفات الخطيرة له. وهذا المستوى من القتل يعادل دورة لوغاريثمية واحدة ؛ ولذا فإنه عند معالجة الدجاج بـ ١,٥ كجراي تؤدي هذه الجرعة إلى خفض العدد ٤-٥ دورات لوغاريثمية ، ولأن هذه البكتيريا توجد بأعداد قليلة في الأصل ؛ فإن هذا يعني عملياً استبعادها بهذه الجرعة.

الميكروبات ومقاومة الأشعة

تعتبر البكتيريا الموجبة لجرام أكثر مقاومة لتأثير الأشعة ، كذلك فإن الميكروبات المكونة للجراثيم أكثر مقاومة من غيرها. ويعتبر *M. radiodurans* من أكثر الميكروبات مقاومة للأشعاع. وتعتبر جراثيم *Cl. botulinum A* أكثر الجراثيم مقاومة للإشعاع. أما الحساسة للإشعاع فهي الـ *Flavobacterium* و *Pseudomonas*. والمقاومة للإشعاع عادةً تتبعها مقاومة للحرارة إلا في حالتين هما *M. radiodurans* التي تقاوم الإشعاع وليس الحرارة و*B. stearothermophilus* و *Cl.sporogenes* الحساستان للإشعاع وليس الحرارة.

وبعض الخمائر مثل *Candida* مقاوم جدا للإشعاع بدرجة الجراثيم البكتيرية.

ما للأشعة

١- تؤثر في القيمة الغذائية لاسيما الفيتامينات الذائبة في الدهون ولكن تأثيرها هذا أقل من تأثير الحرارة المرتفعة.

٢- قد تعمل على إكساب الغذاء نشاطاً إشعاعياً.

٣- التشعيع يتم بعد عملية التعبئة لذا فإنه لاخوف من التلوث بعد عملية التعقيم.

٤- فعال من ناحية الإبادة الميكروبية مقارنة بالطرق الأخرى.

٦- له فوائد أخرى مثل تثبيط الإنبات في البطاطس والتزريع في البصل.

٧- يحافظ على الصفات الطبيعية للمادة الغذائية أكثر من أي طريقة أخرى.

وما عليها

١- يلزم اتخاذ احتياطات أثناء عملية التشعيع.

٢- ما زالت في طور التجربة في الكثير من البلدان ولازالت مكلفة نسبيا ومعظم الأجهزة المستخدمة تستخدم على نطاق غير تجاري أي تجريبي Pilot scale.

٣- لا يزال المستهلك في مختلف أنحاء العالم ينظر لهذه التقنية بشيء من الارتياب، ولذا تطلب كثير من جمعيات حماية المستهلك وضع العلامة المميزة للأغذية المشعة (الشكل رقم ٤٧) حتى يكون له الخيار.

الشكل رقم (٤٧). العلامة المميزة للأغذية المشعة.

٤- تنتج أثناء التشعيع مواد تعرف بنواتج التحلل بفعل الأشعة Unique radiolytic products. هذه المواد لايتم العثور عليها في الأغذية المعاملة بالطرق التقليدية. بعض هذه المواد معروف بسميته، بل وجد منها ماهو مسرطن Carcinogenic، وبعض هذه المواد يكتشف لأول مرة.

٥- تتسبب عملية التشعيع في إنتاج شقوق حرة Free radicals تؤثر في الأنسجة البيولوجية بما في ذلك الإنسان، كما تؤثر في الغذاء ولاسيما الجزء الدهني.

الاستخدامات الممكنة للأشعة المؤينة في الأغذية:

١- تثبيط الإنبات في كل من البطاطس والبصل(الشكل رقم ٤٨)

٢- تأثير عملية النضج(إبطاء الإنزيمات) في الفواكه (الشكل رقم ٤٩).

٣- إبادة الحشرات ويرقاتها وبيضها (الحبوب).

٤- القضاء على الطفيليات Parasites كما هو الحال في اللحوم.

٥- القضاء على الميكروبات لإطالة مدة صلاحية الأغذية.

٦- القضاء على الميكروبات المرضية التي يمكن أن تسبب تسمماً أو عدوى غذائية.

بعض هذه الاستعمالات يسمح بها في بعض البلدان. وتأتي فائدة الأشعة أساسا من أنه يمكن معاملة الأغذية بالإشعاع بعد تعليبها أو تغليفها نهائيا، ومن ثم نضمن عدم التلوث مرة ثانية كما هو الحال في بعض طرق الحفظ الأخرى.

الشكل رقم (٤٨). تأثير معاملة البصل بالإشعاع .

الشكل رقم (٤٩) تأثير معاملة الفراولة بالإشعاع .

مستويات التشعيع

البسترة التشعيعية : يطلق على البسترة بالتشعيع Radurization أو Radpasteurization وهي تشعيع معتدل يستلزم استخدام جرعة تقدر بـ ١٠٠-١٠٠٠ كيلو راد و يقصد بها القضاء على الميكروبات المرضية و٩٠-٩٩٪ من الميكروبات التي تسبب الفساد، وهذا يعادل فعل البسترة التقليدية. وهناك معاملة أخرى قريبة من البسترة التشعيعية يطلق عليها Radicidation، وهي معاملة إشعاعية تكفي للقضاء على الممرضات غير المتجرثمة مثل السالمونيلا، وهي في حدود ٤٠٠-٦٠٠ كيلوراد.

والتعقيم بالتشعيع Rad appertization (Radiation sterilization) : وهو المستوى من التشعيع الكافي للقضاء على جميع الكائنات الحية في الغذاء وبعبارة أخرى العملية التي تترك الغذاء في مأمن من الفساد فيما لو ترك تحت الظروف الاعتيادية ؛ ولتحقيق هذا الغرض يلزم إستخدام تشعيع بمستوى عالٍ ؛ وتجدر الإشارة إلى أن جراثيم *Cl. botulinum* أكثر مقاومة للتشعيع من أي ميكروب آخر، ويستخدم ما يعرف بـ ١٢ د 12D value concept لتحقيق هذا النوع من التعقيم. فعلى افتراض أنه

يلزم ٢٠٠-٣٠٠ كيلو راد للقضاء على ٩٠٪ من جراثيم *Clostridium botulinum* أي (K rad D=200-300) فإنه لتحقيق التعقيم يلزم استخدام جرعة إشعاعية تقدر بـ ٢٤٠٠ إلى ٣٦٠٠ كيلو راد أي (٢,٤-٣,٦ ميجاراداً).

وفيما يلي بعض التعريفات المهمة الأخرى في التشعيع :

١- التعقيم يطلق عليه Radsterilization أو Radappertization وتتطلب جرعات عالية غالبا ماتزيد عن الميجاراد، قد تصل إلى ٥-٦ ميجارادات.

٢- Thermoradiation وهي معاملة يتم الجمع فيها بين الحرارة والإشعاع فمثلا جراثيم *Cl. botulinum* مقاومة جدا للإشعاع بينما بالحرارة يمكن تقليل الجرعة اللازمة لذلك.

جودة الأغذية المعاملة بالتشعيع

يمكن بمستوى معين من التشعيع القضاء على بعض الميكروبات والسموم، وأيضاً القضاء على بعض الإنزيمات أو تثبيط نشاطها، ولكن بالنسبة للفيروسات وجراثيم البكتيريا و بعض الخلايا الخضرية المقاومة للإشعاع تحتاج إلى جرعات عالية للقضاء عليها، هذه الجرعات تؤثر في جودة الغذاء. ويختلف التأثير حسب نوعية الغذاء، فالحليب مثلا يعتبر حساسا جدا للتشعيع وحتى الجرعات المنخفضة، ولكن مادة كاللحوم المعاملة Cured meats يمكن أن تتحمل كمية عالية من الإشعاع.

يأتي التأثير في الأغذية من كون التشعيع يؤثر في البروتين والدهون فينتج منهما روائح ونكهات غير مقبولة، وقد يكون التأثير في القوام كما هو الحال في الفواكه والخضار؛ وذلك لتأثير التشعيع على البكتين.

ولكن تجدر الإشارة إلى أنه بالمقارنة مع الحرارة يمكن القول إن تأثير الحرارة أكثر

سلبية من التشعيع إذا ما استبعدنا عامل الأمان Safety ، ولكن لما كانت معظم التأثيرات غير المرغوبة تنتج من الشقوق الحرة Free radicals المتكونة عندما تتفاعل الأشعة المؤينة مع المواد القطبية كالماء فإنه من الممكن التقليل من هذا التأثير السيء بالتشعيع والمادة الغذائية مجمدة أو مجففة ، أو باستخدام مواد مضافة تستقبل الشقوق الحرة أو بواسطة التشعيع تحت ظروف تفريغ أو بوجود غاز خامل.

وبالنسبة للقيمة الغذائية فقد وجد أن بعض الفيتامينات تتأثر بالأشعة أي أنه يحدث لها تكسير Degradation فتصبح غير فعالة حيويا Non biologically active.

حفظ الأغذية بالمواد الحافظة
Food Preservatives

تعرف المواد الحافظة على أنها مواد كيميائية يستعملها الإنسان منذ قديم الزمان ، مثل الحوامض ، والملح ، والسكر ، وهي تعمل على إبطاء التغيرات غير المرغوبة في الغذاء أو إيقافها أو تغطيتها. والتغيرات التي تحدث بالغذاء يمكن أن تكون بفعل الميكروبات وإنزيماتها ، أو الإنزيمات الموجودة في الغذاء بصورة طبيعية ، أو نتيجة تفاعلات كيميائية بحتة ، أو خليط من هذه المسببات.

ويعتبر تثبيط نمو الميكروبات أو القضاء عليها من الأسباب الرئيسة التي من أجلها تضاف المواد الحافظة ، وبالإضافة إلى هذا الاستعمال ، هناك استعمالات أخرى للمواد الحافظة وهي :

١- كمضادات للأكسدة كما في الدهون (منع التزنخ Rancidity).

٢- مواد حافظة للنكهة.

٣- كمثبتات Stabilizers لمنع التغيرات الفيزيائية ، مثل مثبتات القوام.

٤- حفظ اللون كما هو الحال عند إضافة النترات والنتريتات للحم.

وهناك صفات يجب أن تتحلى بها المادة الحافظة وهي :

١- أن تكون فعالة في تثبيط الميكروبات أو الغرض الذي تضاف من أجله.

٢- أن تكون ذائبة في الماء (بالنسبة لمضادات الميكروبات) بالحد الذي يسمح بنقل فعاليتها للميكروب.

٣- لا تسبب حساسية.

٤- غير سامة على المدى القصير أو المدى الطويل وألاّ تتراكم في الأنسجة الدهنية.

٥- يمكن الحصول عليها بسهولة وبسعر معقول.

٦- أن تكون ثابتة Stable وألاّ تتفاعل مع مكونات الغذاء.

٧- يمكن تقديرها في الغذاء بسهولة.

٨- ألا يكون لها طعم أو لون أو رائحة تؤثر في الغذاء.

هذا وتجدر الإشارة إلى أن هناك تراكيز مسموح بها من المادة الحافظة ويعتبر تعديها غش تجاري في البلدان التي تحدد مثل تلك التراكيز.

تصنيف المواد الحافظة

١- مواد ذات تأثير مثبط لنمو الميكروبات ومنها ماهو مثبط للبكتيريا Bacteriostatic ، أو مثبط للفطريات Fungistatic أو Mycostatic.

٢- مواد ذات تأثير قاتل للميكروبات ، منها ماهو قاتل للبكتيريا Bacteriocidal ، أو للفطريات Fungicidal ، أو للجراثيم Sporocidal أو الفيروسات Virucidal.

وبعض المواد عندما توجد بتراكيز متدنية يمكن أن يكون لها تأثير مثبط ، وذات

تأثير قاتل عندما توجد بتراكيز مرتفعة.

ومن المواد الحافظة مايعمل على تقليل الرطوبة الميسرة للميكروب أو بعبارة أخرى خفض الـ a_w مثل السكر والملح. ومنها ما يعمل على خفض الـ pH ، ومن ثم التأثير على بعض الفعاليات الحيوية داخل الخلية مثل النشاط الإنزيمي. ومنها ما يتعارض مع المادة الوراثية وفي هذه الحالة تدخل المواد الكيماوية إلى الخلية وتتحد مع بعض المكونات الخلوية المهمة مثل الرايبوسومات والتي تتحكم في تكوين البروتينات التي منها الإنزيمات. ومنها مايؤثر في الجدار والغشاء الخلوي. ويلعب الجدار الخلوي دورا هاما في عبور المواد الغذائية إلى داخل الخلية فبعض المواد الكيماوية يمكن أن يكون لها تأثير في مقاومة الغشاء الخلوي مما يؤثر في مرور العناصر الغذائية إلى داخل الخلية وكذا طرح بعض المكونات الخلوية خارج الخلية. ومنها ما يقوم بتثبيط بعض الإنزيمات، فبعض الإنزيمات من الأهمية بمكان للخلية بحيث إن أي تثبيط له يؤثر تأثيرا كبيرا في نشاط الخلية فيودي بحياتها، وهناك بعض المواد التي يمكن أن تقوم بهذا الدور مثل الكحولات، والمواد الفينولية والمعادن الثقيلة.

ومن المواد الحافظة مايلي:

مواد حافظة عضوية Organic Preservatives

١- أحماض عضوية وأملاحها :

أ) حمض البنزويك: يوجد في الكثير من الفواكه والخضار والتوابل، فمثلا يوجد بصورة طبيعية في كل من البرقوق، والقرفة والقرنفل. وعادة مايضاف على شكل بنزوات الصوديوم بتركيز أقل من ٠.١ ٪ وتزداد فعاليته كلما انخفض الـ pH (ازدادت الحموضة) والسبب في ذلك هو أن الجزء الفعال (كباقي الأحماض العضوية) هو الجزء غير المتأين Undissociated form من الحمض ويعتبر فعالا ضد بعض

الأعفان والخمائر وكذا قليل من البكتيريا ويضاف إلى المربيات، والجلي، وعصير الفواكه.

ويتخلص منه جسم الإنسان على شكل مركب مرتبط بالجلايسين يطلق عليه Hippuric acid أو Benzyl glucuronide .

ب) **الباراببنات Parabens** : وهي عبارة عن مشتقات (إسترات) حمض البنزويك. ونظرا لأن مجموعة الكربوكسيل –COOH تتأستر Esterified لذا فإنها تعمل على مدى من الـ pH أوسع.

وتستعمل كل من ميثايلات وإيثايلات وبروبايلات حمض الباراهيدروكسي بنزويك Alkyl esters of parahydroxy benzoic acid بفعالية ضد الخمائر والفطريات، وغير فعالة ضد البكتيريا ولاسيما السالبة لصبغة جرام. ويستعمل بنسبة لا تتعدى ٠,١٪ لحفظ الكعك، والمشروبات الغازية، والعصائر، والمربيات والجلي وبنسبة ١٢ جزء بالمليون في مشروب الشعير.

ج) **حمض السوربيك وأملاحه:** يستخدم حمض السوربيك Sorbic acid أو أملاحه، وهو عبارة عن حمض دهني أحادي الكربوكسيل سداسي الكربون CH_3-CH=CH-CH=CH-COOH في حفظ الأغذية منذ حوالي عام ١٩٥٠م. ويستخدم الملح البوتاسيومي (سوربات البوتاسيوم)؛ لأنه يذوب في الماء بصورة جيدة (١٤٠ جم/١٠٠ مل). ويمتاز عن حمضي البروبيونيك والبنزويك بأنه يعمل على pH مرتفع نسبيا؛ ولكونه فعال ضد الكثير من الفطريات (أعفان وخمائر) وبعض أنواع البكتيريا سيما المرضية منها مثل الـ *S. aureus* أو *Salmonella* يضاف إلى الفواكه المجففة، والمشروبات والعصائر، والمربيات، والجلي والأجبان ومنتجات المخابز.

د) **حمض البروبيونيك وأملاحه:** يستخدم حمض البروبيونيك

CH_3-CH_2-COOH وأملاحه بروبيونات الكالسيوم والصوديوم بنسبة لاتتعدى ٠,٣٪ لحفظ الخبز والفطائر بأنواعها وهو مثبط Static أساسا للأعفان وبصورة أقل للخمائر والبكتيريا وهو مثل البنزويك يعمل تحت pH منخفض. ويضاف للمواد الغذائية حيث يشكل العفن المشكلة الرئيسة في الفساد مثل الخبز ومنتجات المخابز الأخرى كالمعجنات، وكذا الأجبان. وهو يوجد في الجبن السويسري بصورة طبيعية.

وفعالية هذه الأحماض تأتي من أنها تزيد من تركيز أيون الهيدروجين. ويمكن لهذه الأحماض كذلك أن تدخل إلى داخل الخلية وتتفاعل مع مكونات قلوية مهمة داخل الخلية.

٢- السكريات

كالسكروز، والجلوكوز، والفركتوز، وتأتي فاعليتها من أنها تجعل الماء غير متيسر للميكروب أي أنها تعمل على خفض النشاط المائي a_w ولقدرتها على زيادة الضغط الازموزي. ويعتبر العسل والحليب المكثف المحلّى، والجلي، والمربيات، والحلويات، والفواكه المسكّرة، أمثلة على هذا النوع من الحفظ. وتجدر الإشارة إلى أن قابلية التمر للحفظ تعود إلى أن به نسبة مرتفعة من السكريات (~٨٥٪).

٣- الكحولات

ويحفظ بها المواد الكحولية وكذا مستخلصات النكهات كالفانيلا.

٤- مضادات حيوية

هناك دول قليلة في الوقت الحاضر تسمح بإضافة المضادات الحيوية كالنيسين Nisin والمسموح به في بعض بلدان أوروبا في الجبن. وهناك دراسات واسعة النطاق حول إضافةAureomycin, Polymyxin, Tylosin, Subtilin وغيرها والتي يمكن أن يلاقي استعمالها قبولاً في المستقبل القريب، ولو أنني أميل إلى عدم استعمالها للأسباب التالية:

١- يمكن أن تسبب حساسية للإنسان.

٢- يمكن أن تظهر سلالات ميكروبية Super strains لا تستجيب للمضادات الحيوية في حالة الحاجة إليها.

٣- تغير من تشكيلة الميكروبات داخل الأمعاء.

٤- تؤدي إلى التهاون في النظافة حيث يعتمد عليها.

٥- بالنسبة للحليب لايمكن تصنيع منتجات متخمرة، لأن المضادات الحيوية ستقوم بتثبيط البادئ.

ويميل من يؤيد استعمالها إلى أن المضادات الحيوية يتم القضاء عليها بالطبخ، ومن ثم فيرون أنه لاضرر منها.

وفي الولايات المتحدة (فريزر، ١٩٦٧) سمح لفترة باستعمالها في حالة واحدة وهي الدجاج النيء حيث يغمس في محلول يحتوي على Chlorotetracyclin أو Oxytetracyclin بحيث لا يزيد المتبقي في الدجاج على سبعة أجزاء في المليون (7ppm) ولكن أوقف هذا الاستعمال تماما.

٥- التدخين

والتدخين يجري أساسا للحصول على النكهة ولكنه يساعد على الحفظ أيضا وذلك لما يحتويه من مواد عضوية كالفورمالدهايد أساسا ومواد فينولية، وأحماض عضوية كالفورميك، وكبرويك، وكحولات وأسيتالدهايد.

٦- التوابل Spices and condiment

فالدارسين أو القرفة (Cinnamon) والمسمار أو القرنفل (Clove) يحتويان على الدهايد السينامك Cinnamic aldehyde والإيوجينول Eugenol على التوالي، ولهما أثر تثبيطي في الميكروبات.

مواد حافظة غير عضوية Inorganic Preservatives

١- ملح الطعام NaCl

يستخدم في تمليح المخللات، كما يستخدم في تمليح اللحوم وبعض المواد الغذائية الأخرى. ومعظم الميكروبات يؤثر فيها الملح عندما يصل تركيزه ٣-٥٪ ويستعمل عادة بتراكيز أعلى عندما يستعمل كمادة حافظة (١٠-١٥٪ أو أكثر). تصنف الميكروبات على أساس مدى تحملها للملوحة كما يلي:

أ) محبة إجبارية للتراكيز المرتفعة من الملح Oblegate halophiles : وهي ميكروبات تتطلب على الأقل ١٥٪ لكي تنمو ويكون نموها أمثل عندما تصل النسبة ٢٠-٢٥٪. ومعظم هذه الميكروبات سالبة لصبغة جرام عصوية GNR .

ب) محبة للملوحة: وهي الميكروبات التي يمكن أن تنمو على تراكيز مرتفعة من الملح تصل ٢٠٪ ويكون نموها أكثر بوجود الملح.

ج) محبة للملوحة الخفيفة: وهي ميكروبات تفضل وجود تراكيز منخفضة من الملح ١,٥-٥٪.

د) غير محبة للملوحة: تنمو بصورة أفضل في غياب الملح.

ويعتقد أن فعالية الملح ترجع للأسباب التالية:

١- يرفع من الضغط الازموزي، ومن ثم يسبب بلزمة الخلايا Plasmolysis .

٢- يسبب تجفيفا للمواد الغذائية بسحبه للماء كما يسبب الإقلال من الماء الميسر للميكروب.

٣- يتأين جزيء الملح منتجا أيون الكلور Cl^- والذي يعتبر ضارا للخلية.

٤- يقلل من ذوبان الأكسجين في الماء فيقلل من تيسره للخلايا.

٥- يزيد من حساسية الخلايا لثاني أكسيد الكربون CO_2.

٦- يثبط فعل الإنزيمات المحللة للبروتينات في الميكروبات.

٢- النترات والنيتريتات NO_3 & NO_2

وتستخدم في معاملة اللحوم وتستخدم أساسا لإكساب اللحوم المعاملة Processed meat لون اللحم الوردي الجذاب. كما أن لها فائدة عظيمة وهي تثبيط إنبات جراثيم البكتيريا الخطيرة جدا *Clostridium botulinum*. وتضاف بنسبة ١٥٠ جزءاً بالمليون، وهناك اتجاه في كثير من الدول لخفض ذلك إلى ٤٠ جزءاً بالمليون؛ نظرا لأنه ثبت أن التراكيز المرتفعة منها يمكن أن تتحد مع بعض الأمينات في اللحم لاسيما الأمينات الثانوية Secondary amines لتكون مركبات خطيرة جدا لها خاصية إحداث الأورام الخبيثة أي أنها مسرطنة Carcinogens.

٣- ثاني أكسيد الكبريت SO_2 وحامض الكبريتوز Sulfurous acid

يستخدم كغاز Gas أو بشكل حمض Sulforous أو بشكل Sulfites أو Bisulfites أو Metabisulfites .

بالرغم من أن هذه المواد مأمونة إلى حد كبير إلا أنه ثبت أنها يمكن أن تحدث حساسية لبعض الناس. وتتأكسد هذه المركبات في جسم الإنسان إلى كبريتات Sulfates يتخلص الجسم منها بسهولة.

وعادة لا تستخدم في مواد غذائية تحتوي نسبة مرتفعة من الثيامين (فيتامين ب، B_1) كاللحوم ولكن تستخدم لحفظ الفواكه، وعصير الفواكه، والفواكه المجففة حيث تتم المحافظة على اللون أيضا بالإضافة إلى تثبيط الفطريات. ويستخدم بتراكيز تتراوح من ٥٠-١٠٠٠ جزء بالمليون. وتزيد فعاليته في الأوساط الحامضية. وتعتبر الخمائر أقل حساسية لهذه المركبات من بقية الميكروبات الأخرى لاسيما الخمائر ذات القدرة التخمرية العالية والتي لاتتأثر كثيرا بانخفاض جهد الأكسجة.

٤- حامض الفسفوريك

يستخدم في بعض المشروبات المنعشة كالكولا ويستخدم كمادة محمضة Acidulant. وتأثيره في الميكروبات يتأتى من خفضه للأس الهيدروجيني pH.

٥- الغازات الخاملة

كالنيتروجين الذي يضاف فوق المادة الغذائية التي لايراد لها التعرض للهواء كما هو الحال في الحليب المجفف.