13 - 4 تلوث الأغذية بالأحياء الدقيقة

13 - 4 - 1 مصادر التلوث :

لما كانت الأحياء الدقيقة لا تتوالد ذاتياً فإنه لابد أن تكون قد لوثت الغذاء أثناء إنتاجه، حصاده، تداوله، تصنيعه، تخزينه، توزيعه، و / أو إعداده للاستهلاك. وبالتالى فإن الأحياء الدقيقة المتواجدة على أو فى غذاء معين (الفلورا الميكروبية) microbial flora هى محصلة الأحياء الدقيقة المصاحبة للمادة الخام وتلك الأحياء الدقيقة المكتسبة أثناء تداوله وتجهيزه والأحياء الدقيقة التى أمكنها أن تحيا بعد أى معاملة حفظ وتخزين لهذا الغذاء.

وفيما يلى عرض لأهم مصادر تلوث الأغذية :

أولاً : التربـــة

التربة هى المصدر الطبيعى لكثير من أنواع الأحياء الدقيقة التى تتواجد بكميات هائلة فى التربة. ونجد أن عدد الأحياء الدقيقة يكون أعلى بالقرب من سطح التربة ثم يتناقص بزيادة عمق التربة. ويختلف نوع وعدد الأحياء الدقيقة باختلاف نوع التربة والظروف البيئية المحيطة، فالتربة الرملية والصحراء بها أعداد قليلة بينما تتواجد أعداد ضخمة من الأحياء الدقيقة (10^{10}/ جم تربة) فى التربة الخصبة. ونجد أن البكتريا تفوق فى العدد الفطريات من أعفان (تتواجد فى صورة أبواغ عادة) وخمائر، وأهم أجناس البكتريا الشائعة فى التربة ما يلى *Clostridium* ، *Bacillus* ، *Arthrobacter*، *Alcaligenes* ، *Pseudomonas* ، *Micrococcus*، *Flavobacterium* ، *Corynebacterium* ، *Streptomyces*.

تتلوث المحاصيل الدرنية والجذرية بالأحياء الدقيقة نتيجة الملامسة المباشرة للتربة وعند إنتشار التراب بواسطة الهواء أو غسل الأتربة بواسطة الماء بعد سقوط الأمطار فإنه يحدث تلوث لبعض المحاصيل التى تنمو قريباً من سطح التربة مثل الفراولة والفول والكرنب والبسلة، ولا شك أن نوع وعدد الميكروبات على المحاصيل يتأثران بدرجة تلوث التربة التى تنمو فيها هذه المحاصيل. وقد زاد الحصاد الميكانيكى من كمية التلوث من التربة بالإضافة إلى تجريحه للفاكهة والخضروات؛ كما أن تلوث الحبوب يحدث أساساً أثناء حصادها.

أما الترسيبات الموجودة فى البحار فإن أعداد الأحياء الدقيقة بها يتراوح

بين 10^4 – 10^9 /جم، وطبعاً تكون أعداد الأحياء الدقيقة كبيرة بالقرب من الشاطئ مقارنة بالأماكن العميقة، وأهم أجناس البكتريا الموجودة فى هذه الترسيبات ما يلى :

Vibrio ، *Pseudomonas* ، *Escherichia* ، *Chromobacterium* ، *Bacillus* ، *Aeromonas*

وهذه الترسيبات تعتبر مصدراً لتلوث المياه والأسماك والحيوانات الصدفية المائية.

ثانياً : المـــــاء

تحتوى الأمطار على الأحياء الدقيقة التى تم غسلها من الهواء وبسقوط الماء على الأرض يحدث له تلوث أكثر بواسطة ميكروبات التربة. وفى المحيطات والبحار نجد أن الميكروبات تكون أكثر عدداً فى المياه بالقرب من الشاطئ.

يزداد تلوث المياه – خاصة بالبكتيريا المعوية – بإلقاء المخلفات فيها وتؤخذ البكتريا *E. coli* ومجموعة بكتريا القولون ذات الأصل البرازى fecal coliforms كدليل لتلوث المياه بالبراز خاصة فى الأجواء المعتدلة. وهذه الأحياء الدقيقة تموت بسرعة فى مياه الأنهار نظراً لانخفاض درجة الحرارة ووجود أشعة الشمس ووجود بعض المواد السامة لها ونقص المغذيات، ومع ذلك مازالت المياه هى أهم مصدر ناقل للكائنات التى تسبب إضطرابات معوية معدية للإنسان.

والأحياء الدقيقة التى تمثل الفلورا الميكروبية الطبيعية للمياه هى كما يلى :

Bacillus	,	*Alcaligenes*	,	*Aeromonas*
Klebsiella	,	*Flavobacterium*	,	*Corynebacterium*
Streptococcus	,	*Pseudomonas*	,	*Micrococcus*

تلوث الأغذية عن طريق الماء :

يلامس الماء الغذاء أثناء إنتاجه وحصاده وتصنيعه وبالتالى يحدث تلوث لهذه الأغذية وفيما يلى بعض الأمثلة :

1- استخدام ماء ملوث أو مياه المجارى غير المعاملة فى الرى يؤدى لتلوث الخضروات والفاكهة بميكروبات ممرضة وهذا يشكل خطورة على الصحة العامة.

obeikandl.com

2 - استخدام مياه ملوثة فى غسيل الخضروات والفاكهة (التى تؤكل نيئة) قد يؤدى لانتقال الميكروبات الممرضة.

3 - إذا كانت المياه المخصصة لشرب الحيوانات ملوثة بميكروبات ممرضة فإنها قد تصبح خطرة صحياً على الإنسان الذى يتعامل مع الحيوان وقد يؤدى أيضاً لحدوث تلوث للذبيحة بعد ذبح الحيوان.

4 - تصاد الأغذية البحرية من الماء ونجد أن الأحياء الدقيقة الموجودة فى الماء تلوث سطح وخياشيم وأمعاء الأسماك وتلوث الحيوانات الصدفية المائية، والأخيرة عندما تتغذى فإنها ترشح كمية كبيرة من الماء وتتركز الأحياء الدقيقة داخلها، وهذه الحيوانات الصدفية المائية تتواجد عادة فى المياه القريبة من الشاطئ وبالتالى تكون عرضة للتلوث من الماء الذى يصب فى البحر حاملاً معه ميكروبات التربة والميكروبات الموجودة فى مياه المجارى وطبعاً تتأتى الخطورة فى حالة تلوث المياه بالميكروبات الممرضة فتتركز داخل الحيوانات الصدفية.

5- استخدام الثلج فى تبريد بعض الأغذية (الأسماك مثلاً) حيث يحدث انتقال الأحياء الدقيقة من الثلج إلى المواد الغذائية والعكس ولا يصح إعادة استخدام هذا الثلج لأنه أصبح ملوثاً.

6- يستخدم الماء فى تصنيع الأغذية وبالتالى قد يصبح مصدراً لتلوث الأغذية بالأحياء الدقيقة حيث يدخل الماء فى كثير من الخطوات التحضيرية لمعظم الأغذية (الغسيل، النقل، السلق، السفع scalding، وتبريد العلب ... وسوف يتم مناقشة تأثير الخطوات التحضيرية على الفلورا الميكروبية لاحقاً).

كما يستخدم الماء فى تنظيف المعدات والمبانى والأرضيات فى المصنع كما يدخل فى الصناعة كمكون مضاف (وهنا يكون مصدراً مباشراً للتلوث). لذلك يجب مراعاة الشروط الواجب توافرها فى المياه المستخدمة فى مصانع الأغذية وهى شروط تفوق تلك المتوافرة فى مياه الشرب.

ثالثاً : الهـــواء

تظل الأغذية معرضة للتلوث من الهواء حتى تعبأ فى عبوات مغلقة. ونجد أنه لا توجد

للهواء فلورا ميكروبية طبيعية خاصة به ولكنه يكتسبها من مصادر متعددة وبصفة عامة نجد أن أبواغ الأعفان (خاصة التابعة للأجناس *Aspergillus*، *Fusarium*، *Penicillium*) تسود فى الهواء بالمقارنة بباقى الأحياء الدقيقة. وقد وجد أن النباتات المتعفنة بالقرب من سطح الأرض هى أهم مصادر الأحياء الدقيقة (خاصة أبواغ الأعفان) الموجودة فى الهواء، حيث تقوم الرياح بالتقاط هذه الأبواغ، كما وجدت أعداد قليلة من خلايا الخميرة وهذه تكون فى طبقات الهواء القريبة من مستوى سطح الأرض وجدير بالذكر أن نوع الأحياء الدقيقة الموجودة فى الهواء يرتبط بنوع النشاط الموجود فى المنطقة فمثلاً نجد streptococci بالقرب من مصانع الألبان فى حين أن الخمائر تكون بالقرب من المخابز.

أما بالنسبة لشدة تلوث الهواء بالأحياء الدقيقة، فقد وجد أن الهواء القريب من الأرض يكون أكثر تلوثاً من ذلك الموجود فى الطبقات الأعلى والهواء الموجود فوق سطح الأرض يكون أكثر تلوثاً من الهواء الموجود فوق المحيطات. كما أن سقوط الأمطار والبرد يغسل الهواء ويقلل من الأحياء الدقيقة الموجودة به. ويكون الهواء أكثر تلوثاً فى الصيف عنه فى الشتاء.

والجدير بالذكر أن الأحياء الدقيقة غير قادرة على التكاثر فى الهواء ولكنها قد تبقى حية وذلك يتوقف على عدة عوامل مثل الرطوبة النسبية والأكسجين والطاقة الشمسية .. لذلك فلا غرو أن نجد أن أبواغ الأعفان تسود الفلورا الميكروبية للهواء.

وفى مصانع الأغذية نجد أن الحمل الميكروبى للهواء يزداد أثناء عمليات التصنيع نتيجة لتكون الهباء الجوى aerosols أثناء الغسيل أو التبريد بالرش أو أثناء تنظيف الأماكن بواسطة الرش بالضغط العالى أو بواسطة الخلاطات أو تشغيل المحركات، كذلك فإنه ينتج رذاذ من العاملين فى المصنع نتيجة الكحة والعطس وأيضاً حركة العاملين والمعدات والمواد الخام... تؤدى لعمل تيارات من الهواء مما يزيد الحمل الميكروبى للهواء داخل المصنع.

توجد اختلافات جوهرية فى الحمل الميكروبى للهواء فى المناطق المختلفة فى المصنع ففى المناطق النظيفة يوجد عدد قليل من الأحياء الدقيقة فى الهواء بينما فى المناطق التى يتم فيها تداول الحيوانات الحية أو مناطق استلام المواد الخام فإن الحمل الميكروبى للهواء يكون عالياً، لذا ينصح دائماً بأن تكون حركة الهواء داخل المصنع من المناطق النظيفة إلى

المناطق غير النظيفة أو يحتفظ بضغط عالٍ فى المناطق النظيفة وبالتالى فعند فتح الأبواب يخرج الهواء من هذه المناطق ولا يدخل هواء من الخارج إليها.

رابعاً : النبـاتات

تتلوث النباتات من مصادر متعددة مثل التربة والماء والهواء والمخصبات والحيوان والإنسان، وبمجرد تلوثها فإن أحياء دقيقة معينة يمكنها النمو على أسطح النبات كما يمكن للأحياء الدقيقة الممرضة للنبات أن تهاجم عوائلها hosts من النباتات .. ومن ثم فإن الفلورا الميكروبيـة على سطح النبـاتات تتـوقف على نوع النبـات نفسـه فـمـثـلاً نجـد أن أنواع *Pseudomonas* خاصة *P. aeruginosa* تكون سائدة على الخضروات بينما أزهار الفاكهة يكون عليها العديد من أجناس الخمائر مثل :

Candida، *Hansenula*، *Rhodotorula*، *Saccharomyces*، *Torulopsis*.

وعلى الرغم من أن الأنسجة النباتية الداخلية تعتبر خالية من الأحياء الدقيقة أو بها عدد قليل جداً منها فإنه يوجد بعض البراهين على إمكانية تلوث الأنسجة النباتية الداخلية فقد وجد أن بعض الخضروات تعتبر مأوى لبعض الأحياء الدقيقة خاصة فى تراكيب مثل القرون (مثل الفول) والرؤوس (مثل الخس).

وبالتالى فإن النباتات الحية قد تكون مصدراً للأحياء الدقيقة .. وعندما تموت النباتات ويحدث لها تحلل فإنها تصبح مصدراً هاماً لتلوث الهواء والتربة والماء وهذه بدورها تلوث النباتات فى دورة تالية (عام لاحق) وهكذا ..

خامساً : الحيـوانات

نجد أن الحيوانات لها فلورا ميكروبية طبيعية خاصة بها بالإضافة لاحتوائها على أنواع من الأحياء الدقيقة من الوسط المحيط بها حيث أنها تتلوث من التربة والماء والهواء والعلائق والروث .. وتعتبر الحيوانات بمثابة مأوى للأحياء الدقيقة الممرضة وتلك المسببة لفساد الأغذية. وتتواجد الأحياء الدقيقة فى أماكن كثيرة من جسم الحيوان مثل القناة الهضمية والتجويف الأنفى والجلد والشعر والأقدام والحوافر والقرون .. وهذه الأحياء الدقيقة تنتقل إلى الجزء المأكول من اللحم أثناء المعاملات التصنيعية.

والجدير بالذكر أن الأنسجة العضلية لمعظم الحيوانات السليمة تعتبر خالية من الميكروبات ولكن يحدث لها تلوث أثناء عمليات الذبح والسلخ والتقطيع والفرم، كذلك يمكن أن يحدث تلوث من مصادر داخلية مثل العقد الليمفاوية. أما المنتجات الحيوانية مثل اللبن والبيض فعند إنتاجها تعتبر خالية من الأحياء الدقيقة، فاللبن يفرز وبه عدد قليل جداً من الأحياء الدقيقة لكن يحدث له تلوث من قنوات حلمات الضرع وسطحه ثم يزداد التلوث أثناء تداوله. كذلك ينتج البيض عادة خالياً من الأحياء الدقيقة إلا فى حالات نادرة حيث تصل بكتريا *Salmonella* إلى مبيض الدجاجة وتلوث المح قبل تكوين البيض، أما معظم البيض فيعتبر معقماً عند إنتاجه والتلوث الميكروبى يحدث على القشرة الخارجية نتيجة ملامسة البيض لريش وأقدام وجسم وبراز الدجاج ثم التداول والتخزين.

تقوم الحشرات والقوارض والطيور بنقل الأحياء الدقيقة للأغذية كما تقوم أيضاً بتحطيم الأغطية الواقية للمادة الغذائية فتجعلها أكثر عرضة للفساد كما أن هذه الحيوانات تعتبر مصدراً خطيراً لنقل الميكروبات الممرضة للإنسان خلال الغذاء.

سادساً : الإنســـــان

يعتبر الإنسان مصدراً هاماً لتلوث الأغذية وذلك خلال تداوله لهذه الأغذية وتكمن الأحياء الدقيقة فى عدة مناطق فى جسم الإنسان أهمها الجلد والشعر (شعر الجلد والرأس واللحية والشارب) والأنف والتجويف الفمى والحلق والقناة الهضمية .. فمثلاً نجد أن جلد الإنسان لا يكون خالياً أبداً من الأحياء الدقيقة، وغسيل الجلد يزيل معظم الأحياء الدقيقة التى تنتقل إلى الجلد من مصادر التلوث ولكنه لا يزيل كل الفلورا الميكروبية الطبيعية، وقد وجدت البكتريا *S. aureus* كفلورا طبيعية فى نسبة عالية من الأشخاص العاديين وهى تتواجد على الأيدى والوجه وبصفة خاصة فى تجويف فتحتى الأنف.

وجد أن كثيراً من الميكروبات الممرضة تنتقل من الإنسان (حامل الميكروب) إلى الغذاء لذا فإن تداول الإنسان للأغذية المعاملة حرارياً (المطبوخة أو المبسترة) والتى تحفظ لفترة قصيرة ثم تؤكل دون معاملة حرارية ثانية يشكل خطورة على الصحة العامة. ومن أهم الأحياء الدقيقة التى ينقلها الإنسان للغذاء *Enterobacteriaceae* . *Streptococcus* , *S. aureus*

يعتبر إهمال الإنسان من أهم أسباب حدوث تلوث الغذاء .. فالفشل أو الإهمال فى التنظيف والتطهير الجيد للمعدات، الإهمال فى غسل الأيدى، عدم اتباع العادات الصحية الشخصية السليمة، عدم حفظ الغذاء على درجات الحرارة المناسبة .. تلك كلها عوامل تؤدى لزيادة تلوث الغذاء.

سابعاً : علائق الحيوان ومخلفات الحيوان ومياه المجارى

تتلوث أقدام وشعر وريش الحيوان بالأحياء الدقيقة الموجودة فى العليقة، كما أن تناول الحيوان للعليقة يضيف أحياء دقيقة لجهازه الهضمى وإذا أحتوت العليقة على أحياء دقيقة ممرضة مثل *Salmonella* فإنها تسبب أمراضاً للحيوان ومن ثم يحدث تلوث للذبيحة أثناء الذبح.

عندما يستخدم روث الحيوان أو مياه المجارى غير المعاملة كمخصبات للتربة فإن ذلك يؤدى لتلوث المحاصيل الناتجة بالأحياء الدقيقة خاصة الأحياء الدقيقة الممرضة بسبب انتقال الأحياء الدقيقة الممرضة من الروث أو مياه المجارى إلى التربة وقد تظل الأحياء الدقيقة الممرضة حية فى التربة لفترة تكفى لتلوث المحاصيل الناتجة .. وفى حالة الخضروات والفاكهة التى تؤكل نيئة فإن ذلك يصبح مصدراً لانتشار الأمراض.

ثامناً : الأدوات والمعدات المستخدمة أثناء تصنيع الأغذية

تقوم الآلات فى عصرنا الحالى بمعظم الأعمال التى كان يقوم بها الإنسان وذلك نتيجة للثورة الصناعية وبالتالى فإن ملامسة الغذاء للإنسان قد قلت بينما زادت ملامسة الغذاء للآلات والمعدات، وفى مصانع الأغذية نجد أن الأغذية تلامس وتتلوث من الأدوات والمعدات الكثيرة أثناء عملية التصنيع وذلك مثل السكاكين والمناشير وآلات التقشير والتقطيع وعمل الشرائح والمفارم وأنابيب نقل المواد السائلة والسيور الناقلة وآلات الملء .. لذلك يجب العناية بتنظيف وتطهير هذه الأدوات والمعدات. كذلك يجب العناية الفائقة بتنظيف وتطهير الأدوات المستخدمة فى المنازل والمطاعم والمدارس حيث أن معظم حالات انتشار التسمم الغذائى تحدث فى هذه الأماكن .

تاسعاً : المكونات المضافة

تعتمد جودة الغذاء المصنع إلى حد كبير على جودة المكونات المضافة ingredients، وعلى الرغم من أن المكونات المضافة قد تمثل جزءاً صغيراً من مكونات الغذاء إلا أنها قد تضيف أعداداً كبيرة من الأحياء الدقيقة للغذاء، وعلى ذلك فإنه عند شراء المكونات المضافة يجب التأكد من مطابقتها للمواصفات القياسية شاملة المواصفات الميكروبيولوجية. فمثلاً نجد أن التوابل تحتوى على أعداد ميكروبية ضخمة قد تصل إلى 10^8 من البكتريا الهوائية / جرام بالإضافة لأعداد كبيرة من أبواغ الأحياء الدقيقة الهوائية واللاهوائية. كذلك نجد أن البكتريا المحبة لدرجات الحرارة العالية والمكونة للأبواغ تنتقل إلى الغذاء (فى صورة أبواغ) عن طريق المكونات المضافة (النشا، الدقيق، السكر، التوابل)، وهذه الأبواغ هامة فى حالة الأغذية المعلبة فكلما زادت أعدادها زادت الفرصة لبقائها حية بعد المعاملة الحرارية ومن ثم تسبب فساد الأغذية المعلبة. أيضاً يعزى وجود الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى osmophilic yeast فى منتجات الحلوى للتلوث من المكونات المضافة مثل المكسرات أو الفاكهة أو الشيكولاته.

وغنى عن القول أن نوع الأحياء الدقيقة الموجودة فى المكونات المضافة يكون أكثر أهمية من العدّ الكلى الموجود، فالأحياء الدقيقة المسببة للفساد وتلك الممرضة هى أول ما يؤخذ فى الاعتبار. وبالرغم من ذلك فإنه يفترض – ولو أنه غير صحيح فى كل الحالات – أن المكونات المضافة التى بها حمل ميكروبى عالى جداً يكون احتمال تلوثها بالأحياء الدقيقة المسببة للفساد والممرضة أكثر من تلك التى بها حمل ميكروبى منخفض جداً.

عاشراً : ملامسة ناتج لناتج

تنتقل الأحياء الدقيقة من غذاء لآخر عن طريق غير مباشر (التداول والمعدات) أكثر من انتقالها مباشرة نتيجة تلامس غذاء مع غذاء آخر، فعند تداول كل من غذاء نيئ وآخر مطهى بواسطة نفس الأشخاص فإنهم قد ينقلون الميكروبات من الغذاء النيئ إلى الغذاء المطهى الأمر الذى قد يسبب خطورة صحية إذا تم تناول هذا الطعام المطهى دون معاملة أخرى، كذلك فإن ربات البيوت اللاتى يستعملن طاولة التقطيع cutting board لتقطيع الدجاج النيئ مثلاً ثم يستخدمن نفس الطاولة لتجهيز السلاطة قد يتسببن فى

نقل *Salmonella* من الدجاج إلى الخضروات.

حادى عشر : العبـــوات

تعتبر العبوات مصدراً من مصادر التلوث، فمثلاً يحدث تلوث للغذاء من الزجاجات خاصة تلك التى يتم إعادة استخدامها. كذلك فإن العبوات البلاستيك المستخدمة فى تعبئة الكثير من الأغذية قد تكون مصدراً من مصادر التلوث حيث أنه أثناء تصنيع هذه العبوات قد ينتج عليها شحنة كهربية ساكنة (استاتيكية) وهذه الشحنة تجتذب بعض المواد الموجودة فى الهواء مثل التراب والأحياء الدقيقة. لذلك يجب التأكد من نظافة العبوات والتأكد من عدم تلوثها أثناء تخزينها وعدم استخدامها أكثر من مرة.

والجدير بالذكر أن العبوة تعمل كغطاء واقى للمادة الغذائية وتمنع وصول الأحياء الدقيقة إليها من الوسط الخارجى ولكنها لا تمنع النمو الميكروبى داخل الغذاء لذا يجب أن يتم التخطيط لمنع أو تثبيط النمو الميكروبى بطريقة من طرق حفظ الغذاء قبل تعبئة الغذاء فى العبوات.

والجدير بالذكر أنه قد يحدث تبادل للأحياء الدقيقة بين هذه المصادر فمثلاً نجد أن الحيوانات تلوث التربة بفضلاتها ثم تأتى الأمطار لتغسل أو تنقل هذه الأحياء الدقيقة إلى الأنهار ثم تستخدم مياه النهر فى رى النباتات فيحدث لها تلوث .. وهكذا يحدث تبادل للأحياء الدقيقة بين مصادر التلوث المختلفة.

يمكن عن طريق دراسة مصادر التلوث أن نتحكم فى التلوث وجعل الحمل الميكروبى على أو فى الغذاء أقل ما يمكن ونقلل من فرص تواجد الأحياء الدقيقة الممرضة فى الأغذية ويكون من الأسهل القضاء على أو تثبيط نشاط الأحياء الدقيقة بطرق الحفظ المختلفة.

13 - 4 - 2 تأثير خطوات التصنيع التحضيرية على الفلورا الميكروبية

يمر الغذاء بخطوات تصنيع تحضيرية بغرض إعداده للحفظ بطرق الحفظ المختلفة وخطوات التصنيع هذه تؤثر على الفلورا الميكروبية بالزيادة أو بالنقصان أو/و الانتقاء selection وفيما يلى عرض لتأثير أهم خطوات التصنيع التحضيرية على الفلورا الميكروبية:

أولاً : النقـــــل

تزداد الفلورا الميكروبية أثناء نقل المواد الغذائية للأسباب التالية: حدوث تلوث من ملامسة وحدات الغذاء بعضها لبعض، تلوث من العبوات إذا كانت غير نظيفة ومطهرة بالإضافة لاحتمال حدوث تلف ميكانيكى أثناء عملية النقل. لذلك فإن النقل بدون تبريد يعتبر بمثابة عملية تحضين للأحياء الدقيقة ويشجع من نموها وتكاثرها لذا ينصح بنقل الأغذية على درجات حرارة منخفضة وفى أقصر وقت ممكن.

ثانياً : التخـــزين

تخزين الأغذية التى بها نسبة رطوبة كافية لنمو الأحياء الدقيقة يعطى الفرصة لنمو وتكاثر هذه الكائنات خاصة إذا كانت درجة الحرارة مناسبة وذلك يؤدى لزيادة الحمل الميكروبى، بينما نجد أن الحمل الميكروبى ينقص قليلاً فى حالة تخزين الأغذية الجافة خاصة أثناء الفترة الأولى من التخزين.

ثالثاً : الغســيل

يؤدى إجراء الغسيل بالطريقة السليمة إلى خفض الحمل الميكروبى. ويجب التأكد من تمام عملية الغسيل جيداً وإلا حدث تلوث فمثلاً إذا لم يتم غسيل الخضروات والفاكهة جيداً فإن الماء المستخدم فى الغسيل قد يعمل على إعادة توزيع الأحياء الدقيقة من الأماكن التى بها أعداد كبيرة من الأحياء الدقيقة أو الأجزاء الفاسدة إلى باقى مساحات الغذاء فيصبح كله ملوثاً. كذلك يجب عدم استخدام ماء ملوث أو ماء سبق استخدامه فى الغسيل وإلا أدى ذلك إلى زيادة الفلورا الميكروبية فى النوع والعدد. والجدير بالذكر أن عملية الغسيل تؤدى إلى ترطيب سطح المادة الغذائية بدرجة تكفى لنمو الأحياء الدقيقة إذا ترك الغذاء فترة طويلة لذلك فإنه يجب عدم ترك الغذاء فترة طويلة بعد عملية الغسيل.

رابعاً : الفـرز والتشذيب

تؤدى كل من عمليتى الفرز والتشذيب إلى تقليل الحمل الميكروبى حيث أن الغرض من عملية الفرز إزالة الوحدات التالفة أو غير المناسبة للتصنيع، والغرض من التشذيب إزالة الجزء غير المأكول أو إزالة الأجزاء التالفة أو الملوثة.

خامساً : التقشيـــــر

يؤدى إلى تقليل الحمل الميكروبى نتيجة إزالة التلوث السطحى.

سادساً : الســـلق

يؤدى إلى تقليل الحمل الميكروبى حيث يتم القضاء على معظم الأحياء الدقيقة المسببة للفساد والممرضة، وفى نفس الوقت تحدث عملية انتقاء خاصة للأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة والمكونة للأبواغ والتى تنمو وتتكاثر دون منافس إذا توافرت لها الظروف.

سابعاً : التقطيـع

يؤدى التقطيع إلى زيادة الفلورا الميكروبية ويعزى ذلك إلى زيادة السطح المعرض من المادة الغذائية وزيادة نسبة الرطوبة على تلك الأسطح مما يوفر الفرصة لنمو وتكاثر الأحياء الدقيقة وذلك بالإضافة إلى احتمال حدوث تلوث من الآلات والمعدات.

ثامناً : الطحـــــن

يتم التخلص من الجزء الخارجى أثناء صناعة طحن الحبوب مما يؤدى إلى خفض الحمل الميكروبى.

تاسعاً : الذبح وإزالة الدم

يحدث تلوث زائد وتزداد الفلورا الميكروبية على الذبيحة ومن أهم مصادر التلوث السكاكين والمعدات والإنسان.

عاشراً : السفـــع Scalding

تتم هذه الخطوة فى صناعة الدواجن وهى سابقة لخطوة إزالة الريش، حيث يتم غمر الدجاج فى أحواض scald tanks بها ماء ساخن (53 - 61°م) (127 - 142°ف) وتؤدى هذه الخطوة إلى زيادة الفلورا الميكروبية على الذبيحة نظراً لحدوث تلوث ماء الغمر بالقاذورات من رؤوس وأرجل وريش وأيضاً براز الدواجن، وفى نفس الوقت يحدث انتقاء للأحياء الدقيقة حيث يتم القضاء على العديد من الأحياء الدقيقة المسببة للفساد وتلك الممرضة ولكن يمكن

للأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة النمو والتكاثر.

حادى عشر : السلخ وإزالة الريش

يحدث تلوث للذبيحة أثناء هذه العمليات ولكن يتم التخلص من جزء كبير من الفلورا الميكروبية التى كانت موجودة على جلد وريش الحيوانات.

ثانى عشر : إزالة الأحشاء

تؤدى إلى التخلص من أعداد ضخمة من الأحياء الدقيقة .. ويجب أن تتم بالطريقة السليمة وإلا حدث تلوث شديد للذبيحة.

ثالث عشر : الفـــــرم

يؤدى فرم اللحم إلى زيادة مساحة السطح المعرض وكذلك يخرج العصير الخلوى فيوزع الأحياء الدقيقة الموجودة على السطح خلال اللحم كله ويزداد الحمل الميكروبى.

رابع عشر : التسخين الإبتدائى

يؤدى لإهلاك الأحياء الدقيقة التى لا تتحمل هذه المعاملة الحرارية .

خامس عشر : تبريد العلب بعد المعاملة الحرارية

تتم عملية تبريد العلب – فى صناعة التعليب – باستخدام الماء، ففى حالة وجود تنفيس فى العلب فإن أى أحياء دقيقة موجودة فى الماء المستخدم – ويمكنها النمو فى المنتج المعلب – تسبب فساد هذا المنتج أو تسبب أمراضاً للإنسان (أحياء دقيقة ممرضة).

والجدير بالذكر أنه يجب مراعاة سرعة واستمرار خطوات التصنع حتى لا تسمح بنمو وتكاثر الأحياء الدقيقة على أو فى الغذاء.

13 - 5 العوامل المؤثرة على الأحياء الدقيقة فى الغذاء

لكل غذاء مجموعة من الظروف يطلق عليها إسم العوامل الداخلية intrinsic parameters وهذه تتأثر بمجموعة أخرى من الظروف تسمى العوامل الخارجية extrinsic parameters وتؤثر هاتان المجموعتان معاً تأثيراً كبيراً على نوع وعدد الكائنات الحية الدقيقة

فى وعلى الغذاء كما تؤثران على النشاط الفسيولوجى لهذه الكائنات. وتشمل العوامل الداخلية ما يلى : محتوى الغذاء من المغذيات – المحتوى الرطوبى – قيمة الأس الهيدروجينى – جهد الأكسدة والاختزال – المركبات الطبيعية المضادة للكائنات الحية الدقيقة – التركيب البيولوجى للغذاء. أما العوامل الخارجية فتشمل : درجة حرارة التخزين – الرطوبة النسبية – تركيب غازات الوسط المحيط أثناء التخزين – طول زمن التخزين.

13 - 5 - 1 العوامل الداخليـــة

13 - 5 - 1 - 1 محتوى الغذاء من المغذيات

نجد أن محتوى المغذيات (ماء – مصدر الطاقة للتفاعلات الميتابولزمية – مصدر النتروجين – الڤيتامينات وعوامل النمو والمعادن) فى أغذية مختلفة سوف يساند نمو أنواع معينة من الكائنات الحية الدقيقة حيث أن قدرة الكائنات الحية الدقيقة على الاستفادة من مركبات معينة وبناء المكونات اللازمة لها يعتمد على النظم الإنزيمية التى يمكن لهذه الأحياء تكوينها ولا شك أن ذلك يتوقف على الشفرة الوراثية genetic code الموجودة فى هذه الكائنات.

وبصفة عامة يمكن القول بأن الأغذية التى تعتبر مغذية للإنسان تعتبر أيضاً مصدراً جيداً للمغذيات اللازمة للأحياء الدقيقة فمثلاً اللبن واللحم لاحتوائهما على معظم المغذيات لذا يعتبرا بيئة صالحة لنمو العديد من الكائنات الحية الدقيقة، بينما يعتبر الكرنب مصدراً فقيراً فى المغذيات ولذلك يكون بيئة صالحة لنمو أحياء دقيقة محدودة مثل أفراد من *Lactobacillaceae* .

نجد أن كل مكون من هذه المغذيات له تأثيره على الأحياء الدقيقة :

أولاً – الكربوهيدرات: نجد أن الأغذية النشوية مثل الحبوب والبطاطس لا تسمح إلا بنمو الأحياء الدقيقة التى تنتج إنزيمات الأميليز خاصة تلك القادرة على تكسير النشا فى صورته الطبيعية (يصعب مهاجمة النشا فى صورته الطبيعية بواسطة الكثير من الإنزيمات الميكروبية المحللة للنشا بالمقارنة بالنشا المطبوخ). كما لا يمكن تكسير السليلوز والبكتين الموجودين فى الخضروات إلا بواسطة الأحياء الدقيقة المنتجة للإنزيمات المحللة للسيليلوز والبكتين. كذلك

نجد أن اللاكتوز الموجود فى اللبن لا يسمح إلا بنمو الأحياء الدقيقة التى يمكنها استهلاك اللاكتوز كمصدر للكربوهيدرات والطاقة مثل بعض الخمائر وبعض سلالات من *Enterobacteriaceae*.

ثانياً الليبيدات: وجود الليبيدات يشجع من سيادة أنواع الأحياء الدقيقة التى يمكنها تحليل الليبيدات.

ثالثاً – مصدر النتروجين : تختلف الميكروبات فى مقدرتها على الاستفادة من مصدر النتروجين فمنها ما يمكنه الاستفادة من النتروجين فى صورة نيترات أو أمونيا لإنتاج الأحماض الأمينية اللازمة له ومنها ما يحتاج لوجود واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية فى بيئة النمو (الغذاء) والبعض الآخر يمكنه تحليل الجزيئات الكبيرة المحتوية على النيتروجين (ببتيدات عديدة) لذا تسمى بالأنواع المحللة للبروتين proteolytic species والأخيرة تعطى الفرصة لكائنات أخرى (لها قدرة ضعيفة أو غير قادرة على تحليل الببتيدات العديدة) للاستفادة من نواتج تكسير الببتيدات العديدة كمصدر للنتروجين. ويجب أن نلاحظ أن البروتينات المعقدة يصعب مهاجمتها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة باستثناء تلك الأحياء الدقيقة التى بها الكولاجينيز فهذه تلعب دوراً هاماً فى فساد اللحوم.

رابعاً – الڤيتامينات: يظهر تأثير الڤيتامينات (كأحد المغذيات) على الأحياء الدقيقة فى عدم قدرة الأحياء الدقيقة التى تحتاج لواحد أو أكثر من ڤيتامينات ب على النمو والتكاثر فى الفاكهة (فقيرة فى محتواها من ڤيتامينات ب) بل تنمو عليها الخمائر والأعفان القادرة على تخليق هذه الڤيتامينات .. وعلى النقيض نجد أن الأغذية الحيوانية مثل اللحم (الغنية فى محتواها من ڤيامينات ب) تسمح بنمو الأحياء الدقيقة شديدة الحساسية fastidious organisms مثل *Lactobacillus* .

من ذلك يتضح أن التركيب الكيماوى للغذاء أو محتوى الغذاء من المغذيات سوف يؤثر على نوع الكائنات الحية الدقيقة التى سوف تنمو على هذا الغذاء كما يؤثر أيضاً على النواتج التى تتكون أثناء نمو هذه الكائنات.

13 - 5 - 1 - 2 المحتوى الرطـوبى

يتطلب نمو الأحياء الدقيقة وكذا تفاعلاتها الحيوية وجود الماء فى صورة متاحة .. ولما كان المحتوى الرطوبى يعبر عن الماء فى صورتيه الحرة والمرتبطة لذلك يستخدم مصطلح نشاط الماء water activity A_w للتعبير عن الماء المتاح للكائنات الحية الدقيقة. (ويمثل نشاط الماء فى غذاء ما النسبة بين ضغط بخار الماء فى هذا الغذاء (P) إلى ضغط بخار الماء النقى (P_o) عند نفس درجة الحرارة).

نجد أن كل كائن من الأحياء الدقيقة له نشاط ماء أمثل لنموه وبانخفاض نشاط الماء عن الحد الأمثل يقل معدل نمو هذا الكائن إلى أن يصل نشاط الماء لحده الأدنى والذى يتوقف نمو الكائن بعده. وعموماً يمكن ترتيب الأحياء الدقيقة على حسب الحد الأدنى لنشاط الماء اللازم لها تنازلياً كما يلى : البكتريا المسببة للأمراض ومعظم البكتريا السالبة لصبغة جرام العصوية – معظم البكتريا الكروية – معظم الخمائر – معظم الأعفان وبكتريا *Staphylococcus aureus* – معظم البكتريا المحبة للملوحة halophilic bacteria (بكتريا غير قادرة على النمو فى بيئة خالية من الملح وتحتاج لكمية من الملح للنمو ويتراوح تركيز الملح اللازم على حسب نوع البكتريا من 3 - 5 ٪ ومن 5 - 20 ٪ ومن 20 - 30٪ للبكتريا المحبه للملوحة بدرجة بسيطة slight halophiles ومتوسطة moderate halophiles ومفرطة extreme halophiles على الترتيب) – الأعفان المحبة للجفاف xerophilic moulds (أعفان تنمو جيداً فى وسط جاف أو فى وسط به A_w أقل من 0.85) – الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى osmophilic yeasts (خمائر تنمو فى وسط إسموزى عالى وتنمو فى التركيزات العالية من السكر).

ويوضح جدول رقم 13 - 3 الحد الأدنى لنشاط الماء اللازم لنمو بعض الأحياء الدقيقة عند درجة حرارة نموها الأمثل.

جدول رقم 13 - 3 الحد الأدنى لنشاط الماء A_w اللازم لنمو بعض الأحياء الدقيقة

نشاط الماء	الاسم العلمي	نشاط الماء	الاسم العلمي
	3 - الأعفان		1 - البكتريا
0.78	*Aspergillus flavus*	0.95	*Bacillus cereus*
0.77	*A. niger*	0.90	*B. subtilis*
0.77	*A. ochraceous*	0.95	*Clostridium botulinum (A)*
0.93	*Botrytis cinerea*	0.95	*C. Perfringens*
0.61	*Monascus bisporus*	0.94	*Enterobacter aerogenes*
0.93	*Mucor plumbeus*	0.95	*Escherichia coli*
0.81	*Penicillium brevicompactum*	0.75	*Halobacterium halobium*
0.79	*P. chrysogenum*	0.94	*Lactobacillus plantarum*
0.80	*P. citrinum*	0.94	*Microbacterium* sp.
0.81	*P. cyclopiam*	0.95	*Salmonella* sp.
0.83	*P.expansum*	0.86	*Staphylococcus aureus*
0.81	*P. patulum*	0.94	*Vibrio parahaemolyticus*
0.81	*P. puberulum*		2 - الخمائر
0.81	*P. viridicatum*	0.83	*Debaryomyces hansenii*
0.93	*Rhizopus nigricans*	0.90	*Saccharomyces cerevisiae*
		0.62	*S. rouxii*

المصدر : معدل عن (Christian), In : ICMSF (1980a)

ومن ناحية أخرى فإن كل غذاء له نشاط ماء معين (كوسط لنمو الأحياء الدقيقة) ... ففى الأغذية التى بها نشاط ماء 0.98 وأعلى – حيث يمكن لجميع الأحياء الدقيقة تقريباً النمو – نجد أن نمو البكتريا يفوق نمو الفطريات لأنها أسرع بكثير فى النمو من الأعفان

وأسرع إلى حد ما فى النمو من الخمائر وبالتالى فإن فساد هذه الأغذية تسوده البكتريا. وفى الأغذية التى لها نشاط ماء أقل من 0.95 تسود البكتريا السالبة لصبغة جرام العصوية متبوعة بالبكتريا الكروية وتلك التابعة للـ lactobacilli وهى مقاومة للضغط الأسموزى العالى نسبياً وعند نشاط ماء أقل من 0.85 ينحسر الدور الذى تلعبه البكتريا ومعظم الخمائر بينما تنمو الأعفان وتسود، وفى الأغذية التى بها تركيزات عالية من السكر تسود الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى وفى الأغذية التى بها تركيز عالى من الملح تسود البكتريا المحبة للملوحة وعندما يكون نشاط الماء فى أغذية جافة حوالى 0.75 تسود الأعفان المحبة للجفاف. ويوضح الجدول رقم 13 - 4 العلاقة بين المدى من نشاط الماء فى الأغذية بالأحياء الدقيقة التى يمكنها النمو والتكاثر فيها.

جدول رقم 13 - 4 : العلاقة بين المدى من نشاط الماء فى الأغذية بالأحياء الدقيقة التى يمكنها النمو والتكاثر فى هذه الأغذية

المدى من نشاط الماء	أمثلة على أغذية لها نشاط ماء فى هـــذا المـــدى	الأحياء الدقيقة التى يمكنها النمو والتكاثر فى هذه الأغذية
0.98 وأعلى	اللحـوم والأسـمـاك الطازجـة – الخضروات والفاكهة الطازجة – اللبن.	الأحياء الدقيقة المسببة للفساد وتلك المنتجة للسموم.
أقل من 0.98 إلى 0.93	لبن مـبـخـر – عـجـينة طمـاطم – أسماك ولحوم مملحة بدرجة بسيطة – أجبان – خبز.	يمكن للبكتريا المنتجة للسموم أن تنمو على الأقل فى الأغذية التى لها A_w قريبة من الحد الأقصى.
0.93 إلى 0.85	لحم مجفف – لبن مكثف محلى.	الأعفان المنتجة للسموم والبكتريا S. aureus.
0.85 إلى 0.6	دقيق – حبوب – مكسرات.	أعفان محبة للجفاف.
	مربات وجلى – فاكهة مجففة . أسماك مملحة.	خمائر محبة للضغط الإسموزى العالى. بكتريا محبة للملوحة.
أقل من 0.6	شـيكولاته – عـسل – بسكويت – رقائق بطاطس محمرة (شيبس) – خضروات مجففة.	لا يمكن للأحياء الدقيقة النمو والتكاثر ولكن يمكنها البقاء حية لفترة طويلة.

13 - 5 - 1 - 3 قيمة الأس الهيدروجينى (pH value)

يستخدم اصطلاح قيمة الأس الهيدروجينى pH للتعبير عن اللوغاريتم السالب لنشاط (تركيز) أيون الهيدروجين فى وسط ما. ونجد أن الأحياء الدقيقة لها حد أدنى وحد أعلى وحد أمثل من قيمة الأس الهدروجينى لكى تنمو فى وسط ما. معظم البكتريا يكون الـ pH الأمثل لنموها قريباً من 7 لذلك تسمى محبة للوسط المتعادل neutrophiles وبعض البكتريا تنمو أفضل فى وسط يميل للحموضة البسيطة وذلك مثل البكتريا المنتجة للأحماض من أفراد الجنس *Lactobacillus* والجنس *Streptococcus* (بكتريا مقاومة للحموضة البسيطة aciduric or acid - tolerant) وقد يرجع السبب فى ذلك إلى تثبيط نمو الأحياء الدقيقة الأخرى وبالتالى التخلص من التنافس الميكروبى فى نفس الوسط. بينما تنمو البكتريا المحللة للبروتين والتابعة للجنس *Pseudomonas* فى وسط يميل للقلوية البسيطة. ومن ناحية أخرى يوجد بعض البكتريا التى يكون نموها الأمثل فى وسط شديد الحموضة وتعرف بالمحبة للحموضة acidophiles وأيضاً توجد بكتريا محبة للوسط الشديد القلوية alkalinophiles. وبصفة عامة نجد أن الأعفان يمكنها النمو فى وسط له قيمة pH أكثر انخفاضاً بالمقارنة بالخمائر كما أن الخمائر أكثر مقاومة لوسط له قيمة pH منخفضة بالمقارنة بالبكتريا. وعادة ما تنمو البكتريا أسرع من الخمائر فى وسط متعادل أو بسيط الحموضة ولكن عندما ينخفض pH الوسط عن 5 فإن الخمائر تنافس أو تتفوق على البكتريا فى النمو. ويوضح الجدول رقم 13 - 5 حد الـ pH الأدنى والأمثل والأعلى لنمو بعض الأحياء الدقيقة.

ويمكن للأحياء الدقيقة أن تغير الأس الهيدروجينى للوسط الذى تنمو فيه أثناء نموها فى هذا الوسط فمثلاً البكتريا *Thiobacillus thiooxidans* تنتج حامض كبريتيك كأحد النواتج الميتابولزمية بينما نجد البكتريا *Helicobacter pylori* والتى تتواجد فى معدة الإنسان (وسط مرتفع الحموضة) يمكنها البقاء حية فى هذا الوسط نظراً لقدرتها العالية على إنتاج إنزيم اليوريز urease الذى يكسر اليوريا وتنتج الأمونيا وبالتالى يحدث إرتفاع فى pH الوسط المحيط بالبكتريا ويحميها من مهاجمة الحامض لها.

جدول رقم 13 - 5 : المدى التقريبى لقيم الـ pH للنمو بعض الأحياء الدقيقة

الأسم العلمى للكائن الحى	pH الـــــ		
	الأدنـــى	الأمثـل	الأعلـى
معظم البكتريا	4.5	7.5 - 6.5	9.0
Clostridium botulinum	5.0 - 4.8	8.0 - 6.0	8.8 - 8.5
Escherichia coli	4.4 - 4.3	8.0 - 6.0	10.0 - 9.0
معظـم *Lactobacillus*	4.4 - 3.0	6.0 - 5.5	8.0 - 7.2
Pediococcus cerevisiae	2.9	6.5 - 4.5	7.8
معظـم *Pseudomonas*	5.6	7.0 - 6.6	8.0
معظـم *Salmonella*	5.0 - 4.5	7.5 - 6.0	9.6 - 8.0
Staphylococcus aureus	4.7 - 4.0	7.0 - 6.0	9.8 - 9.5
Vibrio cholerae	-	8.6	-
V. parahaemolyticus	5.0 - 4.8	8.5 - 7.5	11.0
الخمائـــر	3.5 - 1.5	6.5 - 4.0	8.5 - 8.0
Saccharomyces cerevisiae	2.4 - 2.0	5.0 - 4.0	-
S. rouxii	1.5	5.5 - 3.5	10.5 - 8.5
الأعفـــان	3.5 - 1.5	6.8 - 4.5	11.0 - 8.0
Aspergillus niger	1.2	6.0 - 3.0	-
penicillium	1.9	6.7 - 4.5	9.3

المصدر : مأخوذ من Banwart (1989)

إذا نظرنا للأغذية كوسط لنمو الأحياء الدقيقة نجد أن كل غذاء له pH معين ، ويمكن تقسيم الأغذية على حسب قيم pH لها إلى ثلاث مجموعات (التقسيم الأكثر شيوعاً):

أولا: الأغذية ذات الحموضة المرتفعة high acid food : وهذه لها قيم pH أقل من 3.7 مثل المخللات وبعض الفاكهة مثل التفاح والبرقوق وبعض العصائر مثل عصير الكريز والجريب فروت والليمون وكذلك جلى الفاكهة.

ثانيا: الأغذية الحامضية acid food : وهى تلك الأغذية التى لها قيم pH أعلى من3.7 وأقل من 4.5 مثل معظم الفاكهة (كمثرى – عنب – خوخ – فراوله – برتقال ..) كذلك المربات والطماطم.

ثالثاً : الأغذية ذات الحموضة المنخفضة low acid food : وهى تلك الأغذية التى لها pH أعلى من 4.5 مثل اللحوم والأسماك والحيوانات الصدفية المائية والدواجن والخضروات واللبن ومنتجاته.

مما سبق يمكننا القول أن قيمة الأس الهيدروجينى – كواحد من العوامل الداخلية المؤثرة على نمو الأحياء الدقيقة – يؤثر على نوع ومدى نشاط الأحياء الدقيقة فى الأغذية المختلفة فمثلاً تنمو الخمائر والأعفان على أو فى الأغذية الحامضية (لها pH أقل من 4.5) مثل المخللات والمياه الغازية والفاكهة فى حين أن هذه الأغذية لا تساند نمو الأحياء الدقيقة غير المقاومة للحموضة مثل البكتريا العصوية السالبة لصبغة جرام ولا البكتريا *Clostridium botulinum* المنتجة لأخطر السموم (لا تنمو هذه البكتريا ولا تفرز سمومها فى وسط له pH أقل من 4.5) . وعلى النقيض من ذلك نجد أن البكتريا – نتيجة لنشاطها الحيوى العالى – سوف تفوق فى النمو الخمائر والأعفان فى وسط له pH أعلى من 4.5 .

كذلك بعض الأغذية لها رقم pH حوالى 9.5 مثل بياض البيض (إرتفاع pH الوسط راجع لهروب غاز ثانى أكسيد الكربون من بياض البيض بعد وضع البيض) يعتبر حماية هامة ضد الغزو البكتيرى.

ويجب التنويه هنا إلى أن التأثير المثبط لـ pH يعتمد على عدة عوامل أخرى مثل نوع الحامض ودرجة حرارة التخزين وباقى العوامل المؤثرة.

13 - 5 - 1 - 4 جهد الأكسدة والاختزال

يعرف جهد الأكسدة والاختزال oxidation - reduction potential بأنه قياس لقدرة نظام حيوى معين (الغذاء مثلاً) لإعطاء أو استقبال الإلكترونات، أما قدرة النظام على مقاومة التغير فى الأكسدة والاختزال فتسمى سعة إتزان الأكسدة

والاختزال redox poising capacity . وقبل مناقشة تأثير جهد الأكسدة والاختزال للغذاء على الأحياء الدقيقة فإنه يجب مناقشة احتياج الأحياء الدقيقة للأكسجين حيث تقسم الأحياء الدقيقة الهامة فى الأغذية حسب احتياجها للأكسجين (الأكسجين الحر الموجود فى الهواء الجوى) إلى :

أولاً : هوائية إجبارياً strict or obligate aerobes : وهذه تحتاج الأكسجين لنموها حيث تستخدم الأكسجين كمستقبل نهائى للإلكترونات فى تنفسها وذلك مثل *Bacillus subtilis* ، *Bacillus megaterium*، micrococci ، pseudomonads ، وهذه لها أهميتها فى الأغذية فى حالة توفر الأكسجين كما هو الحال على أسطح اللحوم والأغذية المخزنة فى الهواء.

ثانيا: لا هوائية اختياراً facultative anaerobes : وهذه يمكنها النمو فى وجود أو عدم وجود الأكسجين وعادة يمكنها النمو بمعدل أسرع فى الظروف الهوائية ويرجع ذلك لقدرتها على استخدام الأكسجين كمستقبل نهائى للإلكترونات ولكن فى غيابه فإنه يمكنها استخدام العديد من مستقبلات الإلكترونات (مثل NO_3^- , SO_4^{2-}) وذلك مثل *Lactobacillaceae* ، *Enterobacteriaceae* ، *Corynebacteriaceae*، وهذه تنمو على سطح وفى داخل الأغذية.

ثالثاً : لا هوائية إجبارياً strict or obligate anaerobes : وهذه تنمو فى عدم وجود الأكسجين والتى يهمنا منها فى الأغذية تعتبر لا هوائية متوسطة moderate anaerobes بمعنى أنه يمكن تداولها وزرعها فى البيئات فى ظروف المعمل العادية (ضغط جوى عادى) ثم تحضن تحت ظروف لا هوائية (فى وعاء لا هوائى anaerobic jar) وذلك مثل أفراد من الجنس *Bacteroides , Clostridium*.

رابعاً : تحتاج لقليل من الهواء microaerophiles : وهذه يحدث لها تلف damage بواسطة التركيز العادى من الأكسجين فى الهواء ويلزمها تركيز أقل (2 - 10٪) لكى تنمو وذلك مثل أفراد الجنس *Vibrio*.

يتوقف جهد الأكسدة والاختزال لغذاء ما على عدة عوامل أهمها تركيب الغذاء (وجود

المواد المؤكسدة والمختزلة) وسهولة وصول الهواء الجوى (بما يحويه من أكسجين) إلى الغذاء. فمثلاً نجد أن الأنسجة الحية لها جهد أكسدة واختزال منخفض ويرجع ذلك إلى وجود مجاميع SH – فى الأنسجة الحيوانية وإلى وجود السكاكر المختزلة وڤيتامين C فى النباتات، وهذا المثال يعكس تأثير تركيب الغذاء. وإذا أخذنا فى الاعتبار تأثير سهولة وصول الهواء الجوى للغذاء، نجد أن الأغذية السائلة التى لا تتعرض للتقليب يكون لها جهد أكسدة واختزال أقل من مثيلتها التى تتعرض للتقليب والأغذية المعبأة فى مواد تغليف لا تنفذ الهواء لها جهد أكسدة واختزال أقل من مثيلتها غير المعبأة.

مما سبق يتضح أنه فى أغذية مثل عصائر الفاكهة والتى لها جهد أكسدة واختزال مرتفع نسبياً وفى نفس الوقت حامضية نتوقع سياده للخمائر الهوائية والأعفان، أما فى اللحوم فإن تعرض السطح للهواء يسمح بنمو البكتريا الهوائية أما فى الأنسجة العميقة من اللحم فإن جهد الأكسدة والاختزال يكون منخفضاً فتنمو الكائنات اللاهوائية. كما أن تغيير جهد الأكسدة والاختزال فى الغذاء (كفرم اللحم مثلاً) يجعل السيادة لنمو الأحياء الدقيقة الهوائية.

13 - 5 - 1 - 5 مثبطات الأحياء الدقيقة الموجودة طبيعياً فى بعض الأغذية

تتواجد بعض المكونات الطبيعية المضادة للأحياء الدقيقة antimicrobial agents فى الخضروات والأغذية الحيوانية، حيث تتواجد بعض الزيوت الطيارة essential oils وبعض المركبات غير الطيارة مثل الجليكوسيدات والتانينات فى الخضروات.. أما الأغذية الحيوانية فتوجد بها بعض البروتينات المؤثرة على المناعة immuno - proteins.

والجدير بالذكر أن هذه المركبات متخصصة فى تأثيرها أى تؤثر على أنواع معينة من الأحياء الدقيقة وبالتالى فإن هذه الأغذية ما زالت قابلة للفساد perishable لأنها تهاجم بواسطة الأحياء الدقيقة الأخرى المقاومة لهذه المثبطات. كذلك فإن هذه المثبطات – خاصة تلك الموجودة فى الأغذية الحيوانية – تكون غير ثابتة labile.

وفيما يلى أمثلة لبعض الأغذية المحتوية على مثبطات طبيعية للأحياء الدقيقة :

بياض البيض يحتوى على: ليسوزيم lysozyme – أوڤوميوكيد ovomucoid – كون البيومين conalbumin – أوڤوترانسفيرين ovotransferrin –

أوفوفلافوبروتين ovoflavoprotein – أفيدين avidin .

اللحوم والدواجن والأسماك تحتوى : ليسوزيم – بعض الهرمونات – عديدات الببتيد.

اللبن الخام يحتوى: ليسوزيم – أجلوتينينات agglutinins – لاكتينينات lactenins – لاكتوفيرين lactoferrin.

المنتجات النباتية تحتوى: فلافونولات وتانينات وحامض فيتيك .. فمثلاً يوجد الأليسين allicin فى الثوم والأليوروبين oleuropein فى الزيتون.

والجدير بالذكر أن معظم هذه المثبطات تؤثر على البكتريا الموجبة لصبغة جرام بدرجة أكبر من تلك السالبة لصبغة جرام وقد يكون هذا هو أحد أسباب فساد الأغذية بدرجة أكثر بواسطة البكتريا السالبة لصبغة جرام.

13 - 5 - 1 - 6 التراكيب الحيوية Biological structures

لبعض الأغذية تراكيب حيوية خاصة تعمل كحواجز واقية protective barriers وذلك مثل القشرة والأغشية الداخلية فى البيض والقصرة testa فى الحبوب والكيوتيكل المحيط ببعض الأعضاء النباتية. حيث تعمل هذه التراكيب كحاجز واقى لمنع نفاذ الأحياء الدقيقة إلى الأجزاء الداخلية المحمية بواسطة هذه الحواجز. وعند حدوث تلف لهذه الحواجز سواء بواسطة الحشرات والقوارض أو تلف ميكانيكى أو غيره فإنه يمكن للأحياء الدقيقة الدخول لمكونات الغذاء الداخلية وإحداث فساد بها . والجدير بالذكر أن درجة نضج الفاكهة والخضروات تؤثر على الكفاءة الواقية لهذه الحواجز (بزيادة النضج تقل كفاءة الكيوتيكل فى منع الأحياء الدقيقة من الوصول إلى الداخل).

13 - 5 - 2 العوامل الخارجية

13 - 5 - 2 - 1 درجة الحرارة التى يخزن عليها الغذاء Temperature of storage

تنمو الأحياء الدقيقة الهامة فى مجال الأغذية فى مدى واسع من درجات الحرارة يتراوح بين 10° مئوية تحت الصفر إلى 80° م (14 - 176°ف) ولكن لا يوجد كائن من هذه الأحياء الدقيقة يمكنه النمو فى كل هذا المدى الواسع من درجات الحرارة، بل لكل كائن

درجة حرارة مثلى وأخرى دنيا وثالثة قصوى للنمو، لذلك وضعت ثلاث درجات حرارة رئيسية (أو مدى من درجات الحرارة الرئيسية) لوصف النمو الميكروبى وهذه تشمل : درجة الحرارة الدنيا للنمو minimum growth temperature – درجة الحرارة المثلى للنمو optimum growth temp. ودرجة الحرارة القصوى (العليا) للنمو maximum growth temp. . والمقصود بدرجة الحرارة الدنيا والقصوى بأنها درجات الحرارة التى لا يمكن للكائن أن ينمو على درجة حرارة أقل أو أعلى منها على الترتيب. أما درجة الحرارة المثلى للنمو فإنه يصعب وصفها لأنها قد تكون درجة الحرارة المثلى للإنتاج الكلى للخلايا total cell yield أو لمعدل النمو أو لمعدل الميتابولزم أو للتنفس أو لإنتاج ناتج ميتابولزمى معين ولكن عادة ما يقصد بدرجة الحرارة المثلى تلك التى يحدث عندها أعلى معدل نمو وهى تعكس درجة حرارة المنشأ الطبيعى للكائن الحى موضع الإعتبار.

وبالتالى يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة على أساس درجات الحرارة الثلاث الرئيسية إلى المجموعات التالية:

المجموعة		درجة حرارة النمو °م (°ف)		
		الدنيا	المثلى	القصوى
الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة	Psychrophiles	5 + - 15 -	15 - 10	20
		(41 - 5)	(59 - 50)	(68)
الأحياء الدقيقة المتحملة على البرد أو آكلة البرد	Psychrotrophs	5 + - 5 -	30 - 25	35
		(41 - 23)	(86 - 77)	(95)
الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة	Mesophiles	15 - 5	40 - 25	45
		(59 - 41)	(104 - 77)	(113)
الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة	Thermophiles	45 - 40	65 - 54	90 - 60
		(113 - 104)	(149 - 129)	(194 - 140)

ويجب أن نأخذ فى اعتبارنا أن درجة حرارة النمو تعتمد على السلالات وعلى الصفات الطبيعية والكيماوية للوسط الذى تعيش فيه الأحياء الدقيقة.

أولاً : الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة Psychrophiles

وهذه لها عدة تعريفات وأبسطها أنها الكائنات التى يمكنها النمو جيداً على درجة الصفر المئوى وتعطى مستعمرات مرئية فى غضون 7 - 14 يوم ولكن أضيف لهذا التعريف أن درجة الحرارة المثلى لهذه الكائنات تكون 15°م (59°ف) أو أقل ودرجة الحرارة القصوى للنمو 20°م (68°ف) والدنيا صفر مئوى (32°ف) أو أقل.

وكثيراً ما يطلق على هذه المجموعة المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة إجبارا obligate psychrophiles ويوجد عدد محدود منها له أهمية فى الأغذية وغالباً ما تكون هذه الكائنات ذات أصل بحرى.

ثانياً : الأحياء الدقيقة المتغذية على البرد أو آكلة البرد

Psychrotrophs (cold - eaters)

وقد اعترض المشتغلون فى مجال الأحياء الدقيقة على هذا المصطلح على أساس أن البرد لا يؤكل ويفضلون استخدام مصطلح المحبة لدرجات الحرارة المنخفضة اختياراً facultative psychrophiles وإن كان مصطلح سيكروتروفية psychrotrophs هو الأكثر شيوعاً حتى الآن.

وتعرف هذه المجموعة من الكائنات بأنها تلك الأحياء الدقيقة القادرة على التكاثر على درجات حرارة 5°م (41°ف) وأقل بغض النظر عن درجة الحرارة المثلى والقصوى لها. والجدير بالذكر أن معظم الأحياء الدقيقة التى تنمو فى الأغذية على درجات الحرارة المنخفضة تتبع هذه المجموعة (psychrotrophs).

والأجناس التالية من البكتزيا تحوى أفراد تابعة لهذه المجموعة :

Chromobacterium – Bacillus – Arthrobacter – Alcaligenes – Aeromonas – Escherichia –Erwinia – Enterobacter – Corynebacterium –Clostridium – Listeria – Leuconostoc – Lactobacillus – Klebsiella –Flavobacterium Serratia – Pseudomonas – Proteus – Micrococcus – Microbacterim – Yersinia – Vibrio – Streptococcus – Streptomyces – .

كما أن أهم الأجناس من الخمائر التى تضم أفراداً من هذه المجموعة تتمثل فى : *Torulopsis – Rhodotorula– Cryptococcus – Candida*، أما الأعفان السيكروتروفية فتشمل أفراد من الأجناس: *Penicillium – Cladosporium – Aspergillus – Trichothecium* .

ويمكن اعتبار هذه المجموعة على أنها تحت مجموعة من الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة mesophiles ولكنها قادرة على النمو على درجات حرارة أقل من درجات الحرارة الدنيا لمعظم الـ mesophiles .

ثالثاً الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة Mesophiles

نجد أن الكثير من الأحياء الدقيقة ذات الأصل الحيوانى أو الآدمى بما فيها جميع الأحياء الدقيقة الممرضة [لها درجة حرارة مثلى للنمو فى المدى 35 - 45 °م (95 - 113°ف)] وكذلك العديد من الأنواع المسببة لفساد الأغذية [درجة الحرارة المثلى لنموها 25 - 30 °م (77 - 86°ف)] تقع فى هذه المجموعة .. حيث أنها كائنات تفضل درجات الحرارة المتوسطة، ودرجة الحرارة المثلى لنموها عادة تقع بين 25 - 45 °م (77 - 113°ف) ودرجة الحرارة الدنيا لنموها فى المدى بين 5 - 15 °م (41 - 59°ف) والزمن الجيلى للعديد من هذه الكائنات عادة ما يكون 30 دقيقة أو أقل وذلك عند درجة الحرارة المثلى للنمو.

رابعاً : الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة Thermophiles

وهذه قد تقسم إلى مجموعتين وهما تلك المحبة لدرجة الحرارة المرتفعة إجباراً وهذه لا يمكنها النمو على 40 °م (104°ف) وتلك المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة اختياراً وهذه يمكنها النمو على درجة حرارة 40 °م (104°ف) .

ونود إلى أن درجة حرارة تخزين الأغذية تحدد أهمية كل مجموعة من هذه المجموعات، فكثير من الأغذية تخزن مبردة وبالتالى تظهر أهمية الأحياء الدقيقة (السيكروتروفيه) حيث يكون لها السيادة فى النمو وتتسبب فى فساد الأغذية المبردة.

أما الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المتوسطة والتى نجد منها أنواعا species

فى جميع الأجناس genera الهامة فى الأغذية فأنها تسبب فساد الأغذية المخزنة على درجة الحرارة المتوسطة، والأهم من ذلك أن الكثير من أفراد هذه المجموعة ينتمى إلى الأحياء الدقيقة الممرضة والتى يتمثل افرادها فى أنواع من الأجناس:

Bacillus ، *Clostridium* ، *Salmonella* ، *Shigella*، ، *Staphylococcus* وغيرها.

والجدير بالذكر أنه نظراً لارتفاع معدل النمو وارتفاع النشاط الإنزيمى فى المدى من درجات الحرارة الذى يلائم هذه المجموعة فإن فساد الأغذية بواسطة هذه الكائنات يحدث بمعدل أسرع بالمقارنة بذلك الناتج من المجموعة السيكروتروفيه.

أما الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة المرتفعة فإنها تسبب فساد الأغذية إذا تم تخزينها على درجات حرارة 50 - 70 م (122 - 158ف) وهذا قد يحدث أثناء التسخين عند طهى أو تصنيع الأغذية .. كما أن هذه المجموعة من الكائنات تعتبر مسؤولة عن فساد الأغذية فى بعض البلاد الإستوائية tropical countries. ولا شك أن الزمن الجيلى generation time لهذه المجموعة يكون أقصر من مثيله فى حالة المجموعتين السابقتين وذلك عند درجات الحرارة المثلى لكل مجموعة وبالتالى فإن فساد الأغذية بواسطة الأحياء الدقيقة المحبة لدرجات الحرارة العالية يكون الأسرع.

13 - 5 - 2 - 2 كمية الرطوبة فى الجو المحيط بالغذاء

أولاً : الهجرة الخارجية للماء

إذا خزن الغذاء فى أوعية مفتوحة أو عبوات لا تمنع نفاذ الرطوبة فإن ضغط بخار الماء فى الهواء المحيط سوف يؤثر على نشاط الماء (A_w) لهذا الغذاء؛ والأمثلة على ذلك كثيرة فالحبوب المستوردة من مناطق جافة إلى مناطق ذات جو رطب سوف تمتص الماء ومن ثم تنمو عليها الأعفان. والأغذية المبردة عند تعرضها لتيار من الهواء الدافئ يتكثف عليها الماء (عرق) وهذا يؤدى لإرتفاع (A_w) لهذه الأغذية كما يشجع من انتشار البكتريا المتحركة motile ويسرع من فساد تلك الأغذية.

والجدير بالذكر أنه يوجد اصطلاح يعرف باسم إتزان الرطوبة النسبية Equilibrium relative humidity (ERH٪) وهو تعبير يشير للإتزان بين الجو المحيط مع

المادة الغذائية، فإذا كان نشاط الماء للمادة الغذائية A_w مضروباً فى 100 = النسبة المئوية للرطوبة النسبية (RH٪) فى الجو المحيط فإن المادة الغذائية فى حالة إتزان مع الرطوبة النسبية للجو المحيط، أما إذا كانت $A_w \times 100$ للمادة الغذائية أقل من RH ٪ للجو المحيط فإن ذلك يعنى تكثيف الماء على سطح المادة الغذائية حتى يحدث إتزان . وإذا كانت $A_w \times 100$ للمادة الغذائية أعلى من RH ٪ للجو المحيط فهذا يعنى جفاف سطح المادة الغذائية حتى يحدث إتزان مع RH ٪ للجو المحيط.

ثانياً : الهجرة الداخلية للمـاء

قد تحدث هجرة داخلية للماء داخل الغذاء ، ففى الأغذية الجافة نسبياً والمعبأة فى عبوات لا تنفذ الرطوبة فإن التغيرات الحادثة فى درجات حرارة الليل والنهار قد تؤدى إلى هجرة داخلية لبخار الماء وبالتالى نجد أن بعض مناطق من الغذاء تمتص كمية كافية من الماء تسمح بإنبات أبواغ الأعفان وتكوين ميسيليوم فى هذه المناطق. كذلك فإنه عند حدوث تخفيف موضعى عند سطح شراب الفاكهة المركزة المخزنة فإن ذلك يسمح بنمو الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى osmophilic yeasts .

13 - 5 - 2 - 3 تركيب غازات الجو المحيط

قد يحدد نوع وتركيز الغاز فى الجو المحيط بالغذاء، أنواع الأحياء الدقيقة التى تسود، فوجود الأكسجين يشجع نمو الأنواع الهوائية من الأحياء الدقيقة بينما نقص أو وجود تفريغ سوف يسمح بسيادة الكائنات اللاهوائية اختياراً.

كما تختلف الأحياء الدقيقة اختلافاً كبيراً فى تحملها لثانى أكسيد الكربون حيث أن هذا الغاز له تأثير تثبيطى متخصص على بعض الأحياء الدقيقة (بالإضافة لدوره فى الإحلال مكان الأكسجين كغيره من الغازات المستخدمة لهذا الغرض مثل النيتروجين) حيث وجد أن غاز CO_2 قد يقتل أو يثبط أو لا يؤثر على أو يشجع نمو الأحياء الدقيقة وذلك يعتمد على نوع الكائن وعمر الخلايا وتركيز CO_2 كذلك يعتمد تأثيره على قيمة pH و A_w لهذا الغذاء. فمثلاً اللحوم الطازجة المعبأة تحت تفريغ vacuum - packaged فى عبوات غير منفذة للغازات والمخزنة فى غرف تبريد تكون مدة حفظها أطول عدة أضعاف من تلك المخزنة فى الهواء

العادى تحت نفس درجة الحرارة، ويرجع ذلك لزيادة تركيز CO_2 فى الجو المحيط باللحم داخل العبوة حتى يصل تركيزه إلى 30 ٪ من غازات الجو المحيط ويقابل ذلك نقص فى المحتوى من الأكسجين (ينخفض ليصبح 1 – 3 ٪) كنتيجة لنشاط الإنزيمات داخل اللحم. وهذا التغير فى تركيب غازات الجو المحيط يثبط نمو البكتريا الهوائية سريعة النمو والمسببة لفساد اللحم (أهمها الكائنات التابعة للجنسين *Acinetobacter , Pseudomonas*)، وفى نفس الوقت فإن هذا التغيير يشجع من نمو lactobacilli المقاومة لغاز ثانى أكسيد الكربون والأبطأ فى النمو ، مما يؤدى إلى زيادة مدة حفظ هذا اللحم. كذلك فإن التخزين فى جو تم التحكم فى تركيب غازاته Controlled atmosphere storage (بزيادة تركيز CO_2 مثلاً) يستخدم لتثبيط نشاط الخمائر والأعفان فى الخضروات والفاكهة المخزنة فى غرف تبريد بالإضافة إلى أنه يؤدى إلى ضبط نضج الفاكهة.

13 - 5 - 2 - 4 طول فترة التخزين

تؤثر فترة التخزين على شدة الفساد spoilage potential بواسطة الأحياء الدقيقة فى الغذاء.

13 - 5 - 3 تأثير التصنيع

أولاً: تأثير المعاملات دون المميت Sublethal stress

تتعرض الأحياء الدقيقة أثناء تصنيع الأغذية لمؤثرات فيزيقية وكيماوية مثل معاملات درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة – التشعيع – الضغط الإسموزى العالى – واستخدام مواد كيماوية مختلفة؛ ولما كان الهدف الرئيسى من تصنيع الأغذية هو المحافظة عليها مدة أطول مع المحافظة على محددات جودتها وليس القضاء على جميع الأحياء الدقيقة فى الغذاء، فإن استخدام هذه المعاملات يكون عند الحد الأدنى . وبالتالى فإن تأثير هذه المعاملات على الأحياء الدقيقة قد يكون قاتلاً أو لا يؤثر عليها أو يسبب أضراراً للخلية ، وهذا يطلق على تأثير هذه المعاملة اصطلاح التأثير دون المميت ، أما الأضرار التى تحدث للخلية فتسمى تلفاً lesions (تلف الغشاء السيتوبلازمى – تغيير فى مقدرة الخلية الميتابولزمية – تغيير فى النشاط الأنزيمى و/أو تكسر الريبوسومات والأحماض النووية ...).

ونتيجة لحدوث تلف للخلايا فإنه يحدث تغيير فى مقدرة الأحياء الدقيقة على النمو

ونجد أن هذه الخلايا (التالفة) لها طور سكون lag phase أطول ولها احتياجات تغذوية أكثر من الخلايا العادية وتزداد حساسيتها للعوامل الأخرى المؤثرة على النمو ومحددات النمو المختلفة (pH ، A_w، مثبطات ...) كما تكون أكثر عرضة للموت والتثبيط من الخلايا العادية عند التعرض لتأثيرات ضاغطة stress أخرى. كما يلاحظ عدم قدرتها على النمو فى بيئات الزرع الانتقائية selective media . ولكن هذه الخلايا التالفة يمكن أن يحدث لها إصلاح repair إذا توافرت الظروف المناسبة ومن ثم يمكنها النمو والتكاثر.

ويتوقف تأثير المعاملات المختلفة على خلايا الأحياء الدقيقة على عدة عوامل أهمها : مدة التعرض للمؤثر وشدته – طور نمو الكائن الحى (عادة ما تكون خلايا الكائن الحى فى مرحلة النمو اللوغاريتمى أكثر عرضة لتأثير هذه المعاملات) – الحالة الفسيولوجية للكائن الحى – تركيب الغذاء الذى يتواجد فيه تلك الأحياء الدقيقة.

ثانياً: تغيير التركيب الكيماوى للغذاء

تؤثر بعض طرق تصنيع الغذاء على تركيبه الكيماوى ومن ثم تؤثر على الأحياء الدقيقة التى تتواجد فى هذا الغذاء وفيما يلى بعض أمثلة على ذلك:

1– تغيير قيمة نشاط الماء A_w، فنشاط الماء للغذاء يمكن أن يقل بإزالة الماء كما هو الحال فى التجفيف والتدخين أو بزيادة تركيز المذاب كما فى التمليح والتسكير.

2– تغيير قيمة الأس الهيدروجينى pH حيث تنخفض قيمة الأس الهيدروجينى نتيجة للإضافة المباشرة للأحماض مثل الخليك واللاكتيك أو نتيجة لإنتاج حامض اللاكتيك فى بعض الصناعات الميكروبية [لحوم – مخللات – ياغورت (زبادى)].

3– إضافة بعض المواد الحافظة مثل حامض البنزويك والسوربيك فى عصائر وشراب الفاكهة والمربات.

ثالثاً : التلوث نتيجة التصنيع

على الرغم من أن طرق التصنيع المختلفة تهدف إلى تقليل التلوث الميكروبى إلا أنه قد يحدث أحياناً زيادة فى عدد ونوع الأحياء الدقيقة وذلك فى حالة استخدام مكونات مضافة ingredients أو معدات تصنيع أو مواد تغليف حدث لها تلوث شديد .

13 - 5 - 4 العـــوامل البيولوجية

بالإضافة للعوامل البيئية سالفة الذكر (العوامل الداخلية – العوامل الخارجية – تأثير التصنيع) فإن هناك عوامل بيولوجية تؤثر على نمو الكائنات الحية الدقيقة فى الأغذية كما أنها تشارك فى تحديد الأنواع التى تسود فى تلك الأغذية. وهذه تشمل معدل النمو لكل من سلالات الأحياء الدقيقة الموجودة فى الغذاء والتأثير المتبادل بين أنواع الأحياء الدقيقة والتى تتواجد فى الأغذية فى صورة أعداد مختلطة mixed populations وليس فى صورة نقية pure . وفى بعض المراجع قد تسمى هذه العوامل البيولوجية باسم العوامل الكامنة implicit parameters.

13 - 5 - 4 - 1 معدل النمـــو

نجد أن أى كائن ينمو بطريقة مميزة وبمعدل مميز له وذلك تحت ظروف بيئية معينة. ونجد أن العوامل الوراثية تتحكم فى طول طور السكون والزمن الجيلى وعدد الخلايا الناتجة فى زمن محدد كما يلاحظ وجود اختلافات بين سلالات النوع الواحد فى هذه الصفات. ولما كانت هذه الصفات تتحدد وراثياً فإن التغيير فيها يكون نادراً ولا يحدث إلا كنتيجة لحدوث طفرة.

ونتيجة لهذه الاختلافات فى معدل نمو الأحياء الدقيقة فإن ذلك يؤدى إلى سيادة أنواع معينة تحت ظروف بيئية محددة. فمثلاً فى معظم الأغذية الرطبة moist foods نجد سيادة للبكتريا (معدل نمو مرتفع) بالمقارنة بالخمائر والأعفان وذلك على الرغم من قدرة هذه الخمائر والأعفان على النمو جيداً فى مثل هذه الأغذية فى حالة تواجدها فى صورة نقية (كما أوضحت الدراسات باستخدام المزارع النقية).

13 - 5 - 4 - 2 التفاعلات المتبادلة بين الأحياء الدقيقة المختلطة

تتفاعل الأحياء الدقيقة بطريقة مستمرة طالما كانت نشطة ميتابولزميا، لذلك فإن سيادة أحياء دقيقة معينة للفلورا الميكروبية تكون عملية متحركة «ديناميكية» dynamic process. وهذه التفاعلات قد تكون تعاونية synergistic أو تضـادية antagonistic طبقاً لطبيعة تأثيرها على النمو بالتشجيع أو التثبيط على الترتيب.

أولاً : علاقة التكافل بين الأحياء الدقيقة Symbiosis

تحدث علاقة التكافل بين مجموعات من الأحياء الدقيقة عندما يسبب أحد الأحياء الدقيقة تغييراً فى ظروف النمو تكون مفضلة لنمو كائن آخر أو مجموعة من الكائنات الأخرى وأهم طرق حدوث هذه التغييرات ما يلى :

1- توفير المغذيات Availability of nutrients

حيث يقوم أحد الكائنات الحية الدقيقة بإنتاج ناتج ميتابولزمى – لم يكن متوفراً من قبل – ليستهلك بواسطة كائن آخر. فمثلاً تقوم الأعفان بتحليل السكاكر العديدة مثل النشا والسليلوز تحللاً مائياً وتوفر السكاكر الأحادية والثنائية اللازمة لنمو الخمائر، أو قيام الخمائر بإنتاج ڤيتامينات ب اللازمة لنمو بكتريا حامض اللاكتيك ، أو قيام *Pseudomonas aeruginosa* بتوفير التربتوفان والثيمين thymine اللازم لنمو *Staphylococcus aureus* .

2- تغيير فى قيمة الأس الهيدروجينى (pH)

يمكن أن تنخفض قيمة الأس الهيدروجينى نتيجة إنتاج أحماض بواسطة الأحياء الدقيقة أو تزداد نتيجة عملية تحلل للبروتين. كما أن كثيراً من الخمائر والأعفان وقليلاً من البكتريا يمكنها استهلاك الأحماض الموجودة طبيعياً (كما فى الفاكهة) أو المضافة (كما فى المخللات) وهذا يؤدى لارتفاع قيمة الأس الهيدروجينى مما يسمح بنمو البكتريا متوسطة المقاومة للأحماض وتحدث فساداً للغذاء.

3- تغيير فى قيمة نشاط المـاء (A_w)

عادة ما تتضمن التفاعلات الأيضية (الميتابولزمية) للأحياء الدقيقة انطلاق الماء ونتيجة لذلك تزداد قيمة نشاط الماء للغذاء. فمثلاً نتيجة لنمو الأعفان المحبة للجفاف xerophilic moulds على الأغذية الجافة تنمو كائنات أخرى أقل مقاومة للجفاف وتلعب دورها فى فساد هذه الأغذية. كذلك يمكن للأحياء الدقيقة متوسطة المقاومة للضغط الإسموزى العالى أن تنمو على الأغذية التى تحتوى تركيزاً عالياً من السكر وذلك بعد خفض تركيز السكر نتيجة لنمو الخمائر المحبة للضغط الإسموزى العالى أولاً فى هذا الغذاء.

4- تغيير فى جهد الأكسدة والاختزال

يمكن أن يحدث تغيير فى جهد الأكسدة والاختزال لغذاء ما نتيجة لنمو أحياء دقيقة معينة فمثلاً يمكن للبكتريا *Clostridium perfringens* أن تخفض جهد الأكسدة والاختزال فى أنسجة اللحم المذبوح حديثاً إذا كانت درجة الحرارة دافئة وبالتالى تسمح بنمو الأحياء الدقيقة اللاهوائية إجباراً.

5- إزالة تأثير مثبط

تقوم بعض الأحياء الدقيقة باستهلاك وتكسير مواد مثبطة لأحياء دقيقة أخرى وبالتالى يمكن للأخيرة أن تنمو وتشارك فى فساد الغذاء والأمثلة على ذلك كثيرة فبعض الأعفان يمكنها تكسير المواد الحافظة مثل حامض البنزويك والسوربيك وبعض الخمائر تستهلك الديتريت وبعض البكتريا تكسر المواد الفينولية الناتجة من عملية تدخين بعض الأغذية . وبعض أفراد من *Lactobacillaceae* , *Bacillaceae* تكسر المضاد الحيوى نيسين nisin المنتج بواسطة أنواع معينة من streptococci وبالتالى تعطى فرصة لنمو الأحياء الدقيقة الحساسة لهذا المضاد الحيوى.

6 - إنهيار التراكيب البيولوجية Collapse of biological structures

نجد أن تحلل الأغلفة الواقية والمكونة من بوليمرات polymers فى الأغذية النباتية والحيوانية بواسطة أحياء دقيقة معينة يتيح الفرصة لأحياء دقيقة أخرى (غير قادرة على اختراق المادة الغذائية فى وجود هذه الأغلفة) من مهاجمة هذا الغذاء . فمثلاً نجد أن الأعفان يمكنها تكسير الكيوتيكل المحيط بالفاكهة ومن ثم تتيح الفرصة لدخول الخمائر إلى الفاكهة. والجدير بالذكر أن نمو الخمائر فى الفاكهة يرفع قيمة الأس الهيدروجينى مما يتيح الفرصة للأحياء الدقيقة الأقل مقاومة للحموضة فى المشاركة فى فساد الفاكهة.

ثانياً : علاقات التضاد بين الأحياء الدقيقة Antagonism

تشمل علاقات التضاد بين الكائنات الحية على علاقتى الافتراس predation والتطفل parasitism وهذه علاقات مباشرة بين الكائنات وبعضها كما تشمل علاقة التنافس competition على المكان والمغذيات. تحتل علاقة التنافس الأهمية الأولى بين الأحياء الدقيقة ونجد أن علاقة التطفل تحدث فى حدود ضيقة.

1- التنافس Competition

تتم علاقة التنافس بين الأحياء الدقيقة بعدة طرق تشابه تلك الطرق التى تتم بها علاقة التكافل كما يلى :

أ - التنافس على المغذيات المتاحة

حيث يقوم أحد الأحياء الدقيقة باستنفاذ مغذيات من بيئة النمو (الغذاء) وبالتالى يثبط نمو أحياء دقيقة أخرى وهذا قد يرجع لاختلاف معدلات نمو الأحياء الدقيقة أو اختلاف فى نشاطها الأيضى (الميتابولزمى) . فمثلا نلاحظ أنه على الرغم من تواجد *Staphylococcus aureus* غالباً فى اللحم المفروم غير المصنع فإنه لم يسجل أى وجود للذيفانات toxins المفرزة بواسطة هذه البكتريا فى اللحم المفروم غير المصنع وذلك يرجع لوجود بكتريا أخرى (*Pseudomonas – Moraxella – Acinetobacter*) فى هذا اللحم ولها معدل نمو يفوق نظيره لبكتريا *S. aureus*.

ب- تغيير قيمة الأس الهدروجينى (pH)

تقوم بعض الأحياء الدقيقة بإنتاج أحماض كما فى حالة إنتاج أحماض بواسطة بكتريا حامض اللاكتيك فى السجق أو المخللات وهذا يؤدى إلى تثبيط البكتريا العصوية السالبة لصبغة جرام والتى كانت سائدة فى هذه المنتجات قبل نشاط بكتريا حامض اللاكتيك. وحتى داخل أفراد *Lactobacillaceae* نلاحظ ظاهرة التضاد أيضاً فنجد أن الجنس *Leuconostoc* والذى يتميز بمعدل نمو سريع يسود فى بعض الأغذية ثم تتغير السيادة تدريجياً لصالح أفراد *Lactobacillus* الأكثر تحملاً للحموضة more aciduric من أفراد *Leuconostoc*.

جـ - تغيير جهد الأكسدة والاختزال

تقوم الأحياء الدقيقة اللاهوائية بخفض جهد الأكسدة والاختزال للغذاء – وفى بعض الأحيان – لدرجة تثبط نمو الأحياء الدقيقة الهوائية.

د – تكوين مواد مضادة للأحياء الدقيقة

formation of antimicrobial substances

تنتج الكثير من الأحياء الدقيقة نواتج أيضية (ميتابولزمية) لها نشاط مضاد لأحياء دقيقة أخرى. بعض هذه النواتج يكون له تركيب كيماوى بسيط وذلك مثل أيونات H^+، البيروكسيدات، CO_2 ، الإيثانول ، الأحماض العضوية (حامض الخليك – حامض البروبيونيك – حامض البيوتيريك – حامض اللاكتيك) حيث تنتج بواسطة أنواع مختلفة من الأحياء الدقيقة ويكون لها تأثير مثبط على العديد من الأحياء الدقيقة المعروفة كمسببات فساد شائعة فى الأغذية.

بعض الأحياء الدقيقة تنتج مضادات حيوية antibiotics وهذه تلعب دورها فى تثبيط أحياء دقيقة أخرى وذلك مثل نيسين nisin ، ناتاميسين natamycin (لهما تطبيقات فى مجال الأغذية) . وهناك مركبات تعرف باسم بكتريوسينات bacteriocins تنتج بواسطة أنواع مختلفة من البكتريا، وعلى الرغم من اعتبارها مضادات حيوية إلا أنها تختلف عن المضادات الحيوية التقليدية فى أنها جزيئات كبيرة تحتوى أو تتكون من عديد الببتيد أو البروتين وتكون مثبطة لسلالات لنفس النوع أو لسلالات تابعة لأنواع تربطها علاقة قريبة closely related species . وأهم هذه المركبات مركبات الكولسين Colicins حيث وجدت فى البكتريا *E. coli* وبعض أفراد *Enterobacteriaceae* . وقد وجد أن البكتريوسينات المنتجة بواسطة البكتريا الموجبة لصبغة جرام لها مدى (طيف) نشاط أوسع wider spectrum activity من ذلك المنتج بواسطة البكتريا السالبة لصبغة جرام.

2 – علاقة التطفل بين الأحياء الدقيقة Parasitism

يوجد طفيلان parasites يتطفلان على البكتريا وهما فيروسات البكتريا المعروفة باسم بكتريوفاجات bacteriophages والجنس البكتيرى *Bdellovibrio*.

ونجد أن بعض الفيروسات البكتيرية يكون عائلها محدوداً فى عدد معين من الأنواع البكتيرية، بينما البعض الآخر يشمل عائلها عديداً من الأنواع البكترية أو قد يضم أجناساً مختلفة من البكتريا. يشابه الجنس *Bdellovibrio* الفيروسات البكتيرية الممرضة virulent bacteriophages فى قدرته على تحليل الخلايا البكتيرية. وتتميز أفراد هذا الجنس بأنها

حلزونية الشكل سالبة لصبغة جرام صغيرة (يبلغ عرضها 0.25 - 0.4 ميكرومتر وطولها 0.8 - 1.2 ميكرومتر) متحركة (لها سوط واحد) . تكون مستعمرات (بليك)plaques مرئية فى فترة أطول (2 - 4 يوم وقد تصل إلى 6 أيام من التحضين) من الفيروسات البكتيرية (12 - 24 ساعة) . والمقصود بالبليك plaques منطقة شفافة فى وسط النمو البكتيرى تدل على تحلل خلايا البكتريا.

ولا شك أن تحلل lysis الخلية البكتيرية بواسطة هذه الطفيليات يعتبر نوعاً من التضاد ولكن الأهمية العملية لتأثير هذه الظاهرة يعتبر محدوداً للغاية.

13 - 5 - 5 التأثيرات المشتركة للعوامل المؤثرة على نمو الأحياء الدقيقة

نادراً ما يؤثر عامل واحد فقط على نمو الأحياء الدقيقة فى الغذاء، لذلك نجد أن اشتراك العوامل المؤثرة فى تأثيرها أو التفاعل بين تأثير هذه العوامل له أهمية كبيرة فى الأغذية، حيث نجد أن شدة نمو الميكروبات المسببة للفساد أو المسببة للأمراض ما هى إلا نتيجة للتأثير المشترك والمتداخل للعوامل المؤثرة على النمو (العوامل الداخلية – العوامل الخارجية – تأثير التصنيع – العوامل البيولوجية) والتى يتوقف بعضها على بعض . فإذا أخذنا تأثير العوامل الثلاثة : نشاط الماء ودرجة الحرارة وقيمة الأس الهيدروجينى على نمو الميكروبات المسببة للتسمم الغذائى، نجد أن هذه الكائنات يمكنها النمو فى أوسع مدى لأحد العوامل إذا كان العاملان الأخران عند الحد الأمثل أما إذا كان هذان العاملان يبعدان عن الحد الأمثل لنموها فإن النمو يحدث فى مدى ضيق لنفس العامل، فمثلاً نجد أن*Clostridium botulinum* type A يمكنها أن تنمو عند A_w = 0.94 إذا كانت درجة الحرارة 37م ، قيمة الأس الهيدروجينى =7 أما إذا تغير الأخير ليصبح 5.3 فإن نشاط الماء المحدد للنمو يكون 0.99 .

وبصفة عامة يمكن القول بأن التأثيرات غير المناسبة للنمو تتحد لتسبب تثبيطاً لهذا النمو، فحفظ بعض منتجات اللحوم باستخدام التأثير المشترك للملح (انخفاض A_w) وقيمة الأس الهيدروجينى وتركيز النيتريت بالإضافة إلى المعاملة الحرارية المتوسطة يعد مثالاً على التأثير التثبيطى المشترك لهذه العوامل على الأحياء الدقيقة. ويبين الجدول رقم 13 - 6 العوامل التى تشارك فى الحد من النمو الميكروبى فى بعض الأغذية.

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