

4. Les Altérations microbiennes des aliments

La capacité des microorganismes (excepté des virus) de croître ou de se multiplier dans un aliment est déterminée par l'environnement alimentaire ainsi que l'environnement dans lequel l'aliment est stocké, désignés respectivement comme environnement intrinsèque et extrinsèque de l'aliment. Il n'est pas possible d'étudier l'influence d'un facteur sur la croissance indépendamment, car ces facteurs sont interdépendants.

4.1. Les facteurs influençant la flore d'altération des aliments

4.1.1. Facteurs intrinsèques

4.1.1.1. Nutriments

La croissance microbienne se fait par la synthèse de composants cellulaires et d'énergie. Les nutriments nécessaires à ce processus proviennent de l'environnement où se développe la cellule microbienne. Ces nutriments comprennent les glucides, les protéines, les lipides, les minéraux et les vitamines. L'eau est essentielle comme milieu pour les réactions biochimiques nécessaires à la synthèse de la masse cellulaire et de l'énergie. En général, la viande est riche en protéines, lipides, minéraux et vitamines mais pauvre en glucides. Les aliments d'origine végétale sont riches en glucides mais peuvent être de mauvaises sources de protéines, de minéraux et de certaines vitamines. Certains aliments comme le lait et de nombreux aliments préparés contiennent les cinq groupes d'éléments nutritifs en quantités suffisantes pour la croissance microbienne. Les microorganismes normalement présents dans les aliments varient considérablement dans les besoins en nutriments, les bactéries en nécessitent beaucoup, suivies des levures et des moisissures. Les microorganismes diffèrent également considérablement dans leur capacité à utiliser des glucides importants et complexes (par exemple, l'amidon et la cellulose), de grandes protéines (par exemple, la caséine dans le lait) et des lipides. Les microorganismes capables d'utiliser ces molécules le font en produisant des enzymes extracellulaires (ou exoenzymes) spécifiques et en hydrolysant les molécules complexes pour des formes plus simples à l'extérieur avant de les transporter à l'intérieur de la cellule. Les moisissures en sont les plus capables. Cependant, cela permet à une espèce de croître dans une population mixte même lorsqu'elle est incapable de métaboliser les molécules complexes. Les cellules microbiennes, après la mort et la lyse, libèrent des enzymes intracellulaires qui peuvent également catalyser la dégradation des nutriments alimentaires complexes en formes plus simples, qui peuvent ensuite être utilisées par d'autres microorganismes.

4.1.1.2. Activité de l'eau (A_w)

L'activité de l'eau (A_w) est une mesure de la disponibilité de l'eau pour des fonctions biologiques et se rapporte à l'eau présente dans un aliment sous forme libre. Dans un système alimentaire, l'eau ou l'humidité totale est présente sous des formes libres et liées. L'eau liée est la fraction utilisée pour hydrater les molécules hydrophiles et pour dissoudre les solutés, et n'est pas disponible pour les fonctions biologiques; ainsi, elle ne contribue pas à A_w . L' A_w d'un aliment peut être exprimée par le rapport de la pression de vapeur d'eau de l'aliment (P , qui est <1) à celle de l'eau pure (P_0 , qui est 1), c'est-à-dire P/P_0 . Elle varie entre 0 et 1, ou plus précisément > 0 à <1 , car aucun aliment ne peut avoir une activité de l'eau de 0 ou 1.

L' A_w de l'aliment varie d'environ 0,1 à 0,99. Les valeurs A_w de certains groupes alimentaires sont les suivantes: céréales, sucre, sel, lait sec, 0,10 à 0,20; miel, chocolat, œuf séché, <0,60; confiture, gelée, fruits secs, noix, 0,60 à 0,85; saucisse fermentée, viande salée sèche, lait concentré sucré, 0,85 à 0,93; pâte de tomate, pain, jus de fruits, poisson salé, saucisse, fromage fondu, 0,93 à 0,98; et viande fraîche, poisson, fruits, légumes, lait, œufs, 0,98 à 0,99. L' A_w d'un aliment peut être réduit de plusieurs manières, telles que l'ajout de solutés, d'ions, de colloïdes hydrophiles, la congélation et le séchage.

L'eau libre dans un aliment est nécessaire à la croissance microbienne. Elle est nécessaire pour transporter des nutriments et d'éliminer les déchets, effectuer des réactions enzymatiques, synthétiser des matériaux cellulaires et participer à d'autres réactions biochimiques, telles que l'hydrolyse d'un polymère en monomères (protéines en acides aminés). Chaque espèce (ou groupe) microbienne a un niveau d' A_w optimum, maximum et minimum pour la croissance.

En général, les valeurs minimales d' A_w pour la croissance des groupes microbiens sont les suivantes: la plupart des moisissures, 0,8, avec des moisissures xérophiles aussi faibles que 0,6; la plupart des levures, 0,85, avec des levures osmophiles, 0,6 à 0,7; la plupart des bactéries à Gram+, 0,90; et bactéries à Gram-, 0,93. Quelques exceptions sont la croissance de *Staphylococcus aureus* à 0,85 et les bactéries halophiles à 0,75. Le besoin en A_w des bactéries sporulantes de sporuler et des spores de germer et des microorganismes producteurs de toxines pour produire des toxines est généralement supérieur à l' A_w minimum pour leur croissance. Lorsque l' A_w est réduit en dessous du niveau minimum requis pour la croissance d'un microorganisme, les cellules restent viables pendant un certain temps. Mais si l' A_w est considérablement réduite, les cellules microbiennes d'une population perdent leur viabilité, généralement rapidement au début puis plus lentement.

4.1.1.3. pH

Sur la base du pH, les aliments peuvent être regroupés en aliments riches en acide (pH inférieur à 4,6) et en aliments peu acides (pH 4,6 et supérieur). La plupart des fruits, des jus de fruits, des aliments fermentés (à partir de fruits, légumes, viande et lait) et les vinaigrettes sont des aliments riches en acide (pH bas), tandis que la plupart des légumes, de la viande, du poisson, du lait et des soupes sont peu acides (pH élevé). La tomate, cependant, est un légume très acide (pH 4,1 à 4,4). Peu d'aliments ont un pH qui dépasse 7,0 (albumine d'œuf, pH 8,5); ou inférieur à 3,0 (certains agrumes: citron, citron vert, pamplemousse, pH peut être aussi bas que 2,2). L'acide dans les aliments peut être présent naturellement (comme dans les fruits), produit pendant la fermentation (comme dans les aliments fermentés), ou ajouté pendant le traitement (comme dans les vinaigrettes). Les aliments peuvent également contenir des composés qui ont une capacité tampon. Un aliment tel que le lait ou la viande, en raison de sa bonne capacité tampon, ne présente pas de réduction de pH par rapport à un produit végétal en présence de la même quantité d'acide.

Chaque espèce microbienne a un pH optimal et une plage de croissance. En général, les moisissures et les levures peuvent croître à un pH inférieur à celui des bactéries, et les bactéries à Gram- sont plus sensibles aux pH faibles que les bactéries à Gram+. La gamme de pH de croissance pour les moisissures est de 1,5 à 9,0; pour les levures, 2,0 à 8,5; pour les bactéries Gram-positives, 4,0 à 8,5; et pour les bactéries à Gram-, 4,5 à 9,0. La limite inférieure de pH pour la croissance diffère selon les espèces; par exemple, *Pediococcus acidilactici* peut croître à pH 3,8 et *Sta. aureus* à pH 4,5, mais *Salmonella* non.

Lorsque le pH d'un aliment est réduit en dessous de la limite inférieure de croissance d'une espèce microbienne, les cellules non seulement arrêtent de croître mais perdent également leur viabilité, dont le taux dépend de l'étendue de la réduction du pH.

4.1.1.4. Potentiel redox et oxygène

Dans les systèmes biologiques, l'oxydation et la réduction des substances sont les principaux moyens de générer de l'énergie. Si de l'oxygène libre est présent dans le système, il peut alors agir comme un accepteur d'électrons. En l'absence d'oxygène libre, l'oxygène lié à un autre composé, tel que NO_3 et SO_4 , peut accepter l'électron. Dans un système où aucun oxygène n'est présent, d'autres composés peuvent accepter les électrons. Ainsi, la présence d'oxygène n'est pas une exigence des réactions de potentiel redox ou oxydation-réduction (O – R).

Le potentiel redox d'un aliment est influencé par sa composition chimique, le traitement spécifique donné et ses conditions de stockage (par rapport à l'air). Les aliments frais d'origine végétale et animale sont dans un état réduit, en raison de la présence de substances réductrices telles que l'acide ascorbique, les sucres réducteurs et le groupe $-\text{SH}$ de protéines. Suite à l'arrêt de la respiration des cellules d'un aliment, l'oxygène diffuse à l'intérieur et modifie le potentiel redox. Le traitement, tel que le chauffage, peut augmenter ou diminuer les composés réducteurs et altérer le potentiel redox. Un aliment stocké dans l'air aura un potentiel redox plus élevé que lorsqu'il est stocké sous vide ou dans un gaz modifié (comme le CO_2 ou le N_2).

Sur la base de leur croissance en présence et en absence d'oxygène libre, les microorganismes ont été regroupés en aérobies, anaérobies, anaérobies facultatifs ou microaérophiles. Les aérobies ont besoin d'oxygène libre pour la génération d'énergie, car l'oxygène libre agit comme l'accepteur d'électrons final par la respiration aérobie. Les anaérobies facultatifs peuvent générer de l'énergie si de l'oxygène libre est disponible, ou ils peuvent utiliser l'oxygène lié dans des composés tels que NO_3 ou SO_4 comme accepteurs d'électrons finaux par la respiration anaérobie. Si l'oxygène n'est pas disponible, d'autres composés sont utilisés pour accepter l'électron (ou l'hydrogène) par fermentation (anaérobie). Un exemple de ceci est l'acceptation de l'hydrogène de NADH_2 par le pyruvate pour produire du lactate. Les microorganismes anaérobies et anaérobies facultatifs ne peuvent transférer des électrons que par fermentation.

La croissance des microorganismes et leur capacité à générer de l'énergie par les réactions métaboliques spécifiques dépendent du potentiel redox des aliments. Cela varie considérablement avec les concentrations de composants réducteurs dans un aliment et la présence d'oxygène. Les moisissures, les levures et les genres *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Moraxella* et *Micrococcus* sont quelques exemples qui ont des espèces aérobies. Quelques exemples d'anaérobies facultatifs sont les bactéries d'acide lactique et celles de la famille des entérobactéries. Le plus important anaérobie des aliments est le *Clostridium*. Un exemple de microaérophile est *Campylobacter* spp.

La présence ou l'absence d'oxygène et le potentiel redox des aliments déterminent la capacité de croissance d'un groupe microbien particulier dans un aliment et les voies métaboliques spécifiques utilisées pendant la croissance pour générer de l'énergie et des sous-produits métaboliques. Ceci est important dans la détérioration microbienne d'un aliment (comme la putréfaction de la viande par *Clostridium* spp. dans des conditions anaérobies) et pour produire les caractéristiques souhaitables des aliments fermentés (comme la croissance des espèces de *Penicillium* dans le fromage bleu dans des conditions aérobies). Ces informations sont également importantes pour isoler les microorganismes d'intérêt des aliments (tels que *Clostridium laramie*, un anaérobie strict de la viande putréfiée) au laboratoire.

4.1.2. Facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques importants dans la croissance microbienne d'un aliment comprennent les conditions environnementales dans lesquelles il est stocké. Ce sont la température, l'humidité relative

et l'environnement gazeux. L'humidité relative et l'état gazeux du stockage, respectivement, influencent l' A_w et le potentiel redox des aliments.

4.1.2.1. Température

La croissance microbienne se fait par des réactions enzymatiques. Parce que la température influence ces réactions, elle joue un rôle important dans la croissance microbienne dans un aliment. Les aliments sont exposés à des températures différentes depuis la production jusqu'à la consommation : procédés de transformation de l'aliment de 65°C (rôtissage de viande) à plus de 100°C (dans le traitement à ultra-haute température) ; stockage pour conservation entre 5°C (réfrigération) et -20°C ou moins (congélation) ; conservation à température ambiante entre 10 et 35°C ou à température chaude (50° à 60°C) pendant plusieurs heures. Différentes températures sont également utilisées pour stimuler la croissance microbienne souhaitable dans la fermentation des aliments.

Les microorganismes importants dans les aliments sont divisés en trois groupes en fonction de leur température de croissance: (1) **thermophiles** avec optimum de 55°C et un intervalle de 45 à 70°C; (2) **mésophiles** avec un optimum 35°C et une plage de 10 à 45°C; et (3) les **psychrophiles** avec un optimum à 15°C et une plage de -5 à 20°C. Cependant, ces divisions ne sont pas claires et se chevauchent.

Deux autres termes utilisés en microbiologie alimentaire sont très importants : les **psychrotrophes** sont des microorganismes qui se développent à température réfrigérée (0 à 5°C), et se développent rapidement entre 10 et 30°C. Ils renferment les moisissures; levures; de nombreuses bactéries à Gram- des genres *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Yersinia*, *Serratia* et *Aeromonas*; et les bactéries à Gram+ des genres *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Clostridium* et *Listeria*. Les microorganismes **thermoduriques** qui survivent à la température de pasteurisation. Ils comprennent des espèces des genres *Micrococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Pediococcus* et *Enterococcus* ; les spores bactériennes sont également incluses dans ce groupe. Ils ont des températures de croissance différentes et beaucoup peuvent croître à la température réfrigérée ainsi qu'à la température des thermophiles. Lorsque les aliments sont exposés à des températures supérieures aux températures de croissance maximales et minimales, les cellules microbiennes meurent rapidement à des températures plus élevées et relativement lentement à des températures plus basses.

4.1.2.2. Humidité relative

L'humidité relative du lieu d'entreposage influe à la fois sur l'activité de l'eau de l'aliment (équilibre dynamique) et sur la croissance des microorganismes à la surface de cet aliment. Par exemple quand un aliment a une A_w de 0,6 il faut éviter que les conditions d'humidité relative de l'atmosphère environnante ne conduisent à une augmentation de l'activité d'eau en surface jusqu'à une valeur compatible avec une croissance microbienne.

4.1.2.3. Présence et concentration de gaz

Une augmentation de la teneur en CO₂ (jusqu'à 10 %) et une diminution de la teneur en oxygène permettent une meilleure conservation des fruits et légumes en retardant le développement de certains microorganismes et plus particulièrement des moisissures (atmosphère contrôlée). Une atmosphère d'azote ou un conditionnement sous vide permet d'éviter des contaminations par des microorganismes aérobies.

4.1.2.4. Antimicrobiens produits au cours de la fabrication de l'aliment

Il s'agit de substances qui sont soit bactériostatiques soit bactéricides (éthanol, acides organiques comme les acides lactique, acétique, citrique, tartrique, malique, etc.). L'addition de composés

antimicrobiens aux produits alimentaires (additifs) ou l'utilisation d'agents antimicrobiens divers dans l'environnement de production des aliments (agents de désinfection, de nettoyage, etc.) est réglementée.

❖ Conclusion

Les environnements physiques et chimiques influent les processus métaboliques associés à la synthèse des composants énergétiques et cellulaires des microorganismes. Au-delà de la plage de croissance, ces facteurs, peuvent être utilisés pour contrôler la croissance microbienne et même pour les détruire. La croissance réelle est réalisée par le métabolisme de divers nutriments présents dans un aliment.