

1. Stabilisation
biologique et
physico-chimique

Science des aliments

Biochimie • Microbiologie • Procédés • Produits

Romain Jeantet
Thomas Croguennec
Pierre Schuck
Gérard Brulé
coordonnateurs



Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

La maîtrise de la qualité des aliments et le développement de nouveaux produits en adéquation avec les multiples exigences du marché impliquent de la part des responsables techniques du secteur agroalimentaire une démarche de plus en plus rigoureuse. Celle-ci s'appuie notamment sur les acquis scientifiques en microbiologie et physico-chimie des aliments, et sur les technologies mises en œuvre dans leur élaboration et leur conservation.

Science des aliments — Biochimie • Microbiologie • Procédés • Produits expose l'ensemble des fondements biologiques et physico-chimiques nécessaires à la maîtrise de l'élaboration des aliments et de leur évolution suivant les conditions de conservation, ainsi que les bases thermodynamiques des procédés mis en œuvre.

- **Le volume 1, « Stabilisation biologique et physico-chimique »** décrit les phénomènes microbiologiques, biochimiques et physico-chimiques impliqués dans l'évolution de la qualité des aliments, ainsi que les procédés et moyens technologiques permettant d'en assurer la stabilité biologique et physico-chimique.
- **Le volume 2, « Technologie des produits alimentaires »** présente les bases biologiques, physico-chimiques et technologiques de l'élaboration des principaux aliments d'origine animale et végétale, ainsi que les perspectives en matière de technologie d'assemblage qu'offre le développement des ingrédients alimentaires.

Cet ouvrage, par son approche synthétique et didactique, s'adresse aux techniciens supérieurs et aux ingénieurs de l'ensemble des secteurs agroalimentaires. Il apporte également une contribution utile à la formation des étudiants des filières agroalimentaires ou biotechnologiques (BTS, IUT, licences, masters et écoles d'ingénieurs).

Romain Jeantet, Thomas Croguennec et Gérard Brulé sont tous les trois enseignants chercheurs au sein du département agroalimentaire d'Agrocampus Rennes.

Pierre Schuck est ingénieur au laboratoire de recherche en technologie laitière du centre INRA de Rennes.

Ils ont également participé à la rédaction d'*Initiation à la technologie fromagère*, *Les produits industriels laitiers* et *Génie des procédés appliqué à l'industrie laitière*, parus aux éditions Tec & Doc.

2-7430-0833-4



9 782743 008338

avec Juliane

avec Thomas

avec Pierre

avec Romain

Table des matières

Introduction

Des procédés ancestraux de conservation à la naissance de l'industrie agroalimentaire	1
D'une demande quantitative à des exigences qualitatives	3
Des critères de qualité de mieux en mieux cernés	5
Satisfaire la demande qualitative, un défi pour l'industrie agroalimentaire	9

Première partie

L'eau et les constituants des aliments

Chapitre 1

L'eau

Introduction	13
1. Structure et état de l'eau	13
2. Propriétés de l'eau	16
2.1. Activité de l'eau (a_w)	18
2.1.1. Définition	18
2.1.2. Mesure	20
2.1.3. Isotherme de sorption	20
2.2. Transition vitreuse	26
2.2.1. Principe	26
2.2.2. Mesure et calcul	29
2.3. Diagramme de phase	31

Chapitre 2

Autres constituants des aliments

1. Glucides	33
1.1. Structure des glucides	34
1.2. Glucides en solution	36
1.2.1. Mutarotation	36

1.2.2. Solubilité des sucres	37
1.2.3. Cristallisation des sucres	38
2. Protéines	40
2.1. Structure des protéines	40
2.2. Solubilité des protéines	42
3. Lipides	44
3.1. Composition de la fraction lipidique	45
3.1.1. Lipides neutres	45
3.1.2. Phospholipides	47
3.1.3. Lipides « non saponifiables »	48
3.2. Propriétés thermiques des lipides	49
3.2.1. Propriété de fusion	49
3.2.2. Comportement de cristallisation	50
4. Vitamines	53
Références bibliographiques de la première partie	55

Deuxième partie

Agents et mécanismes de modification des aliments

Chapitre 3

Altérations microbiennes

1. Profil microbien des aliments	59
1.1. Origine des micro-organismes	59
1.1.1. Origine endogène	59
1.1.2. Origine exogène	61
1.2. Évolution des micro-organismes	68
1.2.1. Structure de l'aliment	68
1.2.2. Composition de l'aliment	68
1.2.3. Activité de l'eau	69
1.2.4. pH	70
1.2.5. Température	72
1.2.6. Potentiel d'oxydoréduction	76
1.2.7. Composés antimicrobiens	78
1.2.8. Phénomènes d'interactions	78
2. Modifications entraînant l'altération des aliments	79
2.1. Modification de la texture et de la structure	80
2.1.1. Dégradation des protéines	80
2.1.2. Production de gaz	80
2.1.3. Production de polysaccharides	80
2.2. Modifications de la flaveur	81
3. Modifications entraînant un risque de pathogénicité	81
3.1. Toxi-infections alimentaires collectives	81
3.2. Principaux pathogènes et producteurs de toxine	85
3.2.1. Micro-organismes producteurs de toxines	85

3.2.2. Moisissures responsables de la production de mycotoxines	88
3.2.3. Autres micro-organismes pathogènes	89
3.2.4. Virus	92
3.2.5. Prions	93

Chapitre 4

Oxydation des lipides

Introduction	95
1. Substrats lipidiques	95
2. Mécanismes d'oxydation des lipides	96
2.1. Auto-oxydation des lipides	97
2.1.1. Initiation	97
2.1.2. Propagation	99
2.1.3. Terminaison	100
2.2. Oxydation des lipides par oxygène singulet	101
3. Principaux composés dérivés de l'oxydation des lipides	102
4. Facteurs influençant l'oxydation des lipides	104
4.1. Teneur en oxygène	104
4.2. Catalyseurs de l'oxydation des lipides	106
4.2.1. Radiations électromagnétiques	106
4.2.2. Métaux de transition	106
4.2.3. Catalyseurs enzymatiques	108
4.3. Inhibiteurs de l'oxydation des lipides	109
4.3.1. Action antiradicalaire des antioxydants	109
4.3.2. Action anticatalytique des antioxydants	111
4.4. Facteurs physico-chimiques	111
4.4.1. Activité de l'eau	111
4.4.2. pH	112
4.4.3. Température	113
5. Évaluation de la susceptibilité à l'oxydation et du niveau d'oxydation	113
5.1. Mesure de la consommation des substrats d'oxydation	115
5.2. Mesure des peroxydes formés	115
5.3. Mesure des produits de décomposition des peroxydes	116
6. Contrôle et prévention de l'oxydation des lipides	117
6.1. Stabilisation par l'emploi de moyens physiques	118
6.2. Formulation	119

Chapitre 5

Brunissement non enzymatique

Introduction	121
1. Substrats	122
2. Mécanisme du brunissement non enzymatique	123
2.1. Condensation	123
2.2. Réarrangement d'Amadori ou de Heyns	124
2.3. Décomposition des cétoamines	126
2.3.1. Formation de composés carbonylés très réactifs	126

2.3.2. Dégradation de Strecker	128
2.3.3. Fragmentation des cétosamines	130
2.4. Réactions de polymérisation	131
3. Facteurs influençant la réaction de Maillard	131
3.1. Substrats	132
3.1.1. Nature des substrats	132
3.1.2. Quantité de substrats	132
3.2. Conditions physico-chimiques	133
3.2.1. Température et temps de chauffage	133
3.2.2. pH	134
3.2.3. Activité de l'eau	134
3.3. Présence d'activateurs ou d'inhibiteurs	135
4. Conséquences du brunissement non enzymatique	135
4.1. Conséquences organoleptiques	135
4.2. Conséquences fonctionnelles	136
4.3. Conséquences nutritionnelles	136
5. Évaluation du brunissement non enzymatique	138
6. Contrôle et prévention du brunissement non enzymatique	138
6.1. Élimination des substrats	139
6.2. Facteurs physico-chimiques	139
6.3. Formulation (inhibiteurs)	140

Chapitre 6

Brunissement enzymatique

Introduction	143
1. Substrats et enzymes du brunissement	144
1.1. Substrats phénoliques	144
1.2. Enzymes du brunissement	148
2. Mécanisme du brunissement enzymatique	149
2.1. Formation de quinones	149
2.2. Réactions à partir de quinones	149
3. Facteurs influençant le brunissement enzymatique	151
3.1. Substrats	151
3.2. Conditions physico-chimiques et présence naturelle d'inhibiteurs	152
4. Conséquences du brunissement enzymatique	153
5. Évaluation du brunissement enzymatique	155
6. Contrôle, prévention du brunissement enzymatique	155
6.1. Dénaturation ou inhibition des polyphénoloxydases	156
6.2. Modification ou élimination des substrats d'oxydation	157
6.3. Action sur les produits de réaction	159

Chapitre 7

Dynamique moléculaire dans les matrices alimentaires

Introduction	163
1. Migration de l'eau et modification de la qualité des aliments	163

1.1. Migration d'eau	164
1.2. Mise en équilibre avec l'atmosphère environnante	165
1.3. Mise en équilibre au sein d'un aliment « hétérogène »	165
1.4. Mise en équilibre suite à un changement d'état et/ou de structure	166
2. Contrôle et prévention	169
2.1. Facteurs thermodynamiques	169
2.2. Facteurs cinétiques	170
Références bibliographiques de la deuxième partie	173

Troisième partie

Traitements de stabilisation des aliments

Chapitre 8

Bases de la stabilisation biologique et physico-chimique des aliments

Introduction	179
1. Stabilisation biologique	180
1.1. Destruction des agents biologiques	181
1.2. Inhibition par baisse d' a_w	182
1.3. Inhibition chimique	182
2. Stabilisation physico-chimique	183

Chapitre 9

Les transferts, bases des opérations unitaires

Introduction	185
1. Transferts en mode conductif	186
1.1. Transferts de chaleur : loi de Fourier	187
1.1.1. Établissement du régime stationnaire dans une plaque infinie	187
1.1.2. Transfert de chaleur dans une plaque infinie en régime stationnaire	188
1.1.3. Transfert de chaleur dans une plaque composite en régime stationnaire	188
1.1.4. Transfert de chaleur en régime non stationnaire	190
1.2. Transferts de matière : loi de Fick	195
1.3. Transferts de quantité de mouvement	196
1.3.1. Loi de Newton	196
1.3.2. Application au calcul des écoulements dans les conduites en régime laminaire : loi de Poiseuille	198
2. Transferts en mode convectif	200
2.1. Introduction à la similitude géométrique et physique : l'expérience de Reynolds	200
2.2. Intérêt de la similitude	200
2.3. Similitude totale	202
2.4. Similitude partielle	203
2.4.1. Invariants de similitude dans le domaine de la dynamique	203
2.4.2. Invariants de similitude dans le domaine énergétique	204