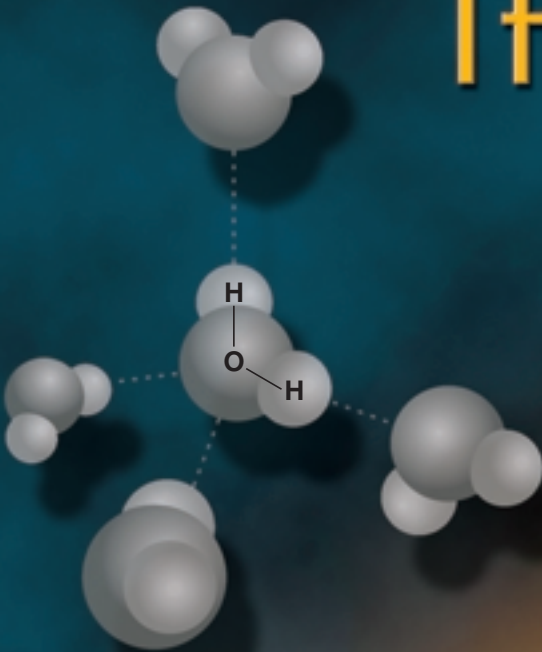


Α. ΒΑΦΟΠΟΥΛΟΥ - ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΑΚΗ

ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ Τροφίμων



Κάθε γνήσιο αντίτυπο φέρει την υπογραφή του συγγραφέα

ISBN 960-431-830-6

© Copyright, 2003, Α. Βαφοπούλου-Μαστρογιαννάκη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.



**Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση**

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 171 • Νέοι Επιβάτες Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 2392.072.222 (3 γραμ.) - Fax: 2392.072.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310.203.720, Fax 2310.211.305
e-mail: sales@ziti.gr

www.ziti.gr

Στο Χρυσόστομο

Πρόλογος

Το βιβλίο αυτό με τίτλο «Βιοχημεία Τροφίμων» (β' έκδοση) απευθύνεται στους τριτοετείς φοιτητές του Τομέα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Τμήματος Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και έχει ως σκοπό να βοηθήσει στη διδασκαλία του αντίστοιχου μαθήματος. Η ύλη του βιβλίου αναφέρεται στη μελέτη των συστατικών των τροφίμων και στις βιοχημικές αντιδράσεις, οι οποίες οδηγούν σε μεταβολές της σύστασης και των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αυτών.

Κατά τη συγγραφή του βιβλίου θεωρήθηκε δεδομένο ότι οι φοιτητές του Τομέα έχουν τις βασικές γνώσεις Γενικής Βιοχημείας και Μικροβιολογίας. Για το λόγο αυτό δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα στις βιοχημικές μεταβολές που υφίστανται τα συστατικά των τροφίμων κατά την επεξεργασία και την αποθήκευσή τους καθώς και στις επιπτώσεις που αυτές έχουν στη θρεπτική αξία, τη γεύση και το άρωμα, τη δομή και το χρώμα των τροφίμων. Επιπλέον έχουν περιληφθεί στην ύλη του βιβλίου μερικά τεχνολογικά στοιχεία σχετικά με την επεξεργασία των τροφίμων, ώστε να γίνει περισσότερο κατανοητό από τους φοιτητές το αντικείμενο του μαθήματος.

Η νέα έκδοση του βιβλίου περιλαμβάνει αρκετές αλλαγές που αφορούν, κυρίως, στη δομή και το περιεχόμενο. Έτσι, έγιναν αντικαταστάσεις, τροποποιήσεις και προσθήκες στο περιεχόμενο πολλών κεφαλαίων. Παράλληλα προστέθηκαν τρία νέα κεφάλαια που αναφέρονται στο νερό, τα μέταλλα και τα πρόσθετα των τροφίμων ώστε να είναι πιο ολοκληρωμένη η ύλη του μαθήματος.

Επειδή επιθυμία κάθε συγγραφέα είναι η αρτιότερη εμφάνιση του βιβλίου του, θα θεωρούσα ιδιαίτερα εποικοδομητική οποιαδήποτε υπόδειξη από τους φοιτητές και τους συναδέλφους σχετικά με παραλήψεις ή αβλεψίες, αλλά και προτάσεις για βελτίωση της ύλης.

Ιανουάριος 2003

Α. Βαφοπούλου-Μαστρογιαννάκη

Περιεχόμενα

<i>1ο Κεφάλαιο</i>	15
Υδατάνθρακες	
1.1 Εισαγωγή	17
1.2 Ο ρόλος των υδατανθράκων στα τρόφιμα	17
1.3 Διάκριση των υδατανθράκων	18
1.4 Χημικές αντιδράσεις των υδατανθράκων που συμβαίνουν κατά την επεξεργασία των τροφίμων	18
1.4.1 Υδρόλυση	18
1.4.2 Κρυστάλλωση	20
1.4.3 Ενολοποίηση και ισομερισμός	20
1.4.4 Αφυδάτωση	21
1.4.5 Μη ενζυμική αμαύρωση	21
1.4.5.1 Αντιδράσεις Maillard	22
1.4.5.2 Οξείδωση ασκορβικού οξέος	27
1.4.5.3 Καραμελοποίηση των σακχάρων	28
1.4.6 Επίδραση διαφόρων παραγόντων στην ταχύτητα της μη ενζυμικής αμαύρωσης	30
1.4.7 Σχηματισμός αρωματικών και γευστικών ουσιών κατά την πορεία της μη ενζυμικής αμαύρωσης	37
1.4.8 Επίδραση της μη ενζυμικής αμαύρωσης στη θρεπτική αξία των τροφίμων	37
1.5 Υδατάνθρακες των τροφίμων και οι μεταβολές που υφίστανται κατά την αποθήκευση	39
<i>2ο Κεφάλαιο</i>	43
Πηκτινικές ουσίες	
2.1 Εισαγωγή	45
2.2 Πηκτίνη και σχηματισμός πηκτών	45

2.3 Μηχανισμός σχηματισμού πηκτής	48
2.4 Ο ρόλος των πηκτινών στα τρόφιμα	50
2.5 Διαύγαση θολών χυμών	51
2.6 Αλλαγές κατά την επεξεργασία και διατήρηση προϊόντων φρούτων	53
2.6.1 Κονσερβοποίηση	53
2.6.2 Συμπύκνωση	55

3ο Κεφάλαιο

57

Λίπη και Έλαια

3.1 Εισαγωγή	59
3.2 Ο ρόλος των λιπιδίων στα τρόφιμα	59
3.3 Φυσικές και χημικές ιδιότητες των λιπών και ελαίων που επηρεάζονται από την κατεργασία	60
3.3.1 Σημείο τήξεως και πολυμορφισμός	60
3.3.2 Πολυμερισμός	61
3.3.3 Λιπόλυση	61
3.3.4 Οξειδωση	62
3.3.4.1 Μηχανισμός αυτοοξειδωσης των λιπιδίων	63
3.3.4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό οξειδωσης των λιπιδίων στα τρόφιμα	66
3.4 Η αυτοοξειδωση των λιπιδίων στα συστήματα τροφίμων	73
3.4.1 Επίδραση στη γεύση και οσμή	73
3.4.2 Επίδραση στο χρώμα	74
3.4.3 Επίδραση στη δομή	75
3.5 Επίδραση των διαφόρων κατεργασιών των τροφίμων στις λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες των λιπιδίων	75
3.5.1 Θερμική κατεργασία	75
3.5.2 Ψύξη	78
3.5.3 Κατάψυξη	79
3.5.4 Αφυδάτωση	80
3.5.5 Ομογενοποίηση	81
3.5.6 Αλλαγές στα λιπίδια λαχανικών κατά την αποθήκευσή τους	81

4ο Κεφάλαιο

83

Πρωτεΐνες

4.1 Εισαγωγή	85
4.2 Μετουσίωση πρωτεϊνών	85

4.3	Πρωτεϊνικά συστήματα στα τρόφιμα	87
4.3.1	Πρωτεΐνες κρέατος και ψαριών	87
4.3.1.1	Πρωτεΐνες μύων	87
4.3.1.2	Δομικές πρωτεΐνες	88
4.3.1.3	Μεταφέρουσες πρωτεΐνες	88
4.3.1.4	Μεταθανάτιες βιοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν στους μύες	92
4.3.2	Πρωτεΐνες γάλακτος	98
4.3.3	Πρωτεΐνες αυγών	100
4.3.4	Πρωτεΐνες σπόρων	101
4.3.2.1	Πρωτεΐνες δημητριακών	101
4.3.4.2	Πρωτεΐνες ελαιούχων σπόρων	102
4.3.5	Πρωτεΐνες λαχανικών	102
4.4	Επίδραση των διαφόρων κατεργασιών των τροφίμων στις λειτουργικές και θρεπτικές ιδιότητες των πρωτεϊνών	104
4.4.1	Κατεργασίες σε υψηλές θερμοκρασίες	104
4.4.1.1	Παστερίωση	104
4.4.1.2	Αποστείρωση	107
4.4.1.3	Αλλαντοποίηση του κρέατος	109
4.4.1.4	Συντήρηση του κρέατος με καπνισμό και θέρμανση	110
4.4.1.5	Επίδραση της θερμικής κατεργασίας στην ποιότητα των πρωτεϊνών	110
4.4.2	Διατήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες	112
4.4.2.1	Ψύξη	112
4.4.2.2	Κατάψυξη	114
4.4.3	Αφυδάτωση	117
4.4.3.1	Αφυδάτωση με θέρμανση	117
4.4.3.2	Ξήρανση με κενό (vacuum drying)	119
4.4.3.3	Λυοφιλίωση (freeze drying)	119
4.4.3.4	Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying)	119
4.4.3.5	Ξήρανση με κυλίνδρους (τύμπανα)	120

5ο Κεφάλαιο

123

Φυσικές χρωστικές των τροφίμων

5.1	Εισαγωγή	125
5.2	Χλωροφύλλες	125
5.2.1	Μηχανισμός αποικοδόμησης της χλωροφύλλης	126
5.2.2	Συμπεριφορά της χλωροφύλλης κατά την κατεργασία των τροφίμων	128
5.3	Καροτενοειδή	131
5.3.1	Οξείδωση των καροτενοειδών	132
5.3.2	Μεταβολές των καροτενοειδών κατά την επεξεργασία και αποθήκευση των τροφίμων	133

5.4 Φαινολικές ενώσεις	134
5.4.1 Απλές φαινολικές ενώσεις	135
5.4.2 Ανθοκυανικές	135
5.4.2.1 Παράγοντες που μεταβάλλουν το χρώμα των ανθοκυανινών	135
5.4.3 Λευκοανθοκυανίνες	139
5.4.3.1 Οι λευκοανθοκυανίνες στην τεχνολογία τροφίμων	139
5.4.4 Φλαβονοειδή	139
5.4.5 Κατεχίνες	141
5.4.6 Ταννίνες	141
5.4.7 Γκοσσυπόλη	142

6ο Κεφάλαιο

Ένζυμα

6.1 Εισαγωγή	147
6.2 Κατάταξη ενζύμων	148
6.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων κατά την επεξεργασία των τροφίμων	148
6.3.1 Επίδραση της θερμοκρασίας	149
6.3.2 Επίδραση του pH	151
6.3.3 Συγκέντρωση ενζύμου	152
6.3.4 Συγκέντρωση υποστρώματος	153
6.3.5 Επίδραση της ενεργότητας νερού (a_w)	154
6.3.6 Αναστολείς και ενεργοποιητές των ενζύμων	155
6.4 Εφαρμογή των ενζύμων στην Τεχνολογία Τροφίμων	156
6.4.1 Ένζυμα που υδρολύουν υδατάνθρακες	158
6.4.1.1 Αμυλάσες στην αρτοποιία	158
6.4.1.2 Αμυλάσες στη ρευστοποίηση του αμύλου (αμυλοσιρόπι)	161
6.4.1.3 Χρησιμοποίηση της ιμπερτάσης στη ζαχαροπλαστική	164
6.4.1.4 Χρησιμοποίηση της λακτάσης στη γαλακτοκομία	164
6.4.1.5 Χρησιμοποίηση των πηκτινινασών στην οινοποιία και στη βιομηχανία χυμού φρούτων	165
6.4.1.6 Κυτταρινάσες	167
6.4.1.7 Ημικυτταρινάσες	168
6.4.2 Πρωτεολυτικά ένζυμα	168
6.4.2.1 Πρωτεϊνάσες στην αρτοποιία	171
6.4.2.2 Πρωτεολυτικά ένζυμα στην τρυφεροποίηση του κρέατος	170
6.4.2.3 Πρωτεολυτικά ένζυμα στην τυροκομία	172
6.4.2.4 Πρωτεολυτικά ένζυμα στην παρασκευή μύζας	174

6.4.3	Λιπολυτικά ένζυμα	175
6.4.3.1	Λιπάσες στην τυροκομία	176
6.4.3.2	Λιπάσες στην επεξεργασία λιπών	177
6.4.4	Οξειδοαναγωγάσες	177
6.4.4.1	Λιποξυγονάσες στην αρτοποιία	177
6.4.4.2	Οξειδάση της γλυκόζης	178
6.4.4.3	Κατάλαση	178
6.5	Ακινητοποιημένα ένζυμα	179

7ο Κεφάλαιο

Ενζυμική αμαύρωση	181	
7.1	Εισαγωγή	183
7.2	Οξειδάσες της πολυφαινόλης (πολυφαινολάσες)	183
7.3	Τα υποστρώματα των πολυφαινολασών	184
7.4	Μηχανισμός της αντίδρασης	185
7.5	Μέθοδοι ελέγχου ή περιορισμού της ενζυμικής αμαύρωσης	188
7.5.1	Θερμική αδρανοποίηση των πολυφαινολασών	189
7.5.2	Αποκλεισμός οξυγόνου	190
7.5.3	Χρησιμοποίηση διοξειδίου του θείου και θειωδών αλάτων	191
7.5.4	Χρησιμοποίηση οξέων	192
7.5.5	Μεθυλίωση υποστρωμάτων της πολυφαινολάσης	195

8ο Κεφάλαιο

Βιταμίνες	197	
8.1	Εισαγωγή	199
8.2	Οι βιταμίνες στα τρόφιμα	200
8.2.1	Λιποδιαλυτές βιταμίνες	200
8.2.2	Υδατοδιαλυτές βιταμίνες	201
8.3	Απώλειες των βιταμινών κατά την επεξεργασία των τροφίμων	204
8.3.1	Αποφλοιώση και καθαρισμός	205
8.3.2	Εκπυρόνωση	206
8.3.3	Άλεση	206
8.3.4	Καθαρισμός με νερό και ζεμάτισμα (blanching)	207
8.3.5	Χημικά πρόσθετα	208
8.3.6	Ενζυμικές και χημικές αντιδράσεις	209
8.3.7	Θερμική κατεργασία	210
8.3.8	Αφυδάτωση	217

8.3.9	Κατάψυξη	217
8.3.10	Απώλειες των βιταμινών κατά τη διατήρηση κονσερβοποιημένων τροφίμων	219
8.3.11	Έλεγχος της απώλειας των βιταμινών κατά τη διατήρηση	221
<i>9ο Κεφάλαιο</i>		
<hr/>		222
Νερό		
9.1	Εισαγωγή	225
9.2	Δεσμευμένο νερό - Ενεργότητα νερού	225
9.3	Ενεργότητα νερού και ποιότητα τροφίμων	226
<i>10ο Κεφάλαιο</i>		
<hr/>		229
Μέταλλα		
10.1	Εισαγωγή	227
10.2	Βιολογική διαθεσιμότητα των μεταλλικών στοιχείων	227
10.3	Επίδραση της επεξεργασίας των τροφίμων στα περιεχόμενα μεταλλικά στοιχεία	229
<i>11ο Κεφάλαιο</i>		
<hr/>		237
Πρόσθετα		
11.1	Εισαγωγή	239
11.2	Συντηρητικά (preservatives)	240
11.2.1	Αντιοξειδωτικά	240
11.2.2	Αντιμικροβιακές ουσίες	241
11.2.3	Ουσίες παρεμπόδισης της αμαύρωσης των τροφίμων (antibrowning agents)	241
11.3	Διατροφικά πρόσθετα	241
11.4	Πρόσθετα γεύσης και οσμής (flavoring additives)	242
11.4.1	Γλυκαντικές ουσίες	242
11.4.2	Ενισχυτικά γεύσης και οσμής (flavor enhancers)	243
11.5	Χρωστικές ουσίες	244
11.6	Πρόσθετα δομής (texturizing agents)	244
11.6.1	Γαλακτωματοποιητές (emulsifiers)	244
11.6.2	Σταθεροποιητές (stabilizers)	245
11.6.3	Πηκτωματογόνοι παράγοντες	246

11.7 Βοηθητικά επεξεργασίας	246
-----------------------------------	-----

12ο Κεφάλαιο

Γεύση και οσμή τροφίμων

12.1 Εισαγωγή	249
12.2 Κονσερβοποίηση	250
12.2.1 Αλλαγές στα πτητικά συστατικά	250
12.2.2 Αλλαγές σε μη πτητικά συστατικά	251
12.3 Αφυδάτωση	251
12.4 Αποθήκευση αφυδατωμένων προϊόντων	251
12.5 Αιθέρια έλαια - Τερπενοειδή	252
12.6 Ανάκτηση αρώματος επεξεργασμένων τροφίμων	252

13ο Κεφάλαιο

Δομή των τροφίμων

13.1 Εισαγωγή	257
13.2 Μεταβολές στη δομή φρούτων και λαχανικών κατά την επεξεργασία τους	257
13.2.1 Κονσερβοποίηση	257
13.2.2 Επίδραση της προστιθέμενης ζάχαρης	258
13.2.3 Αφυδάτωση	258
13.2.4 Αποθήκευση αφυδατωμένων φρούτων	259
13.2.5 Κατάψυξη	260

14ο Κεφάλαιο

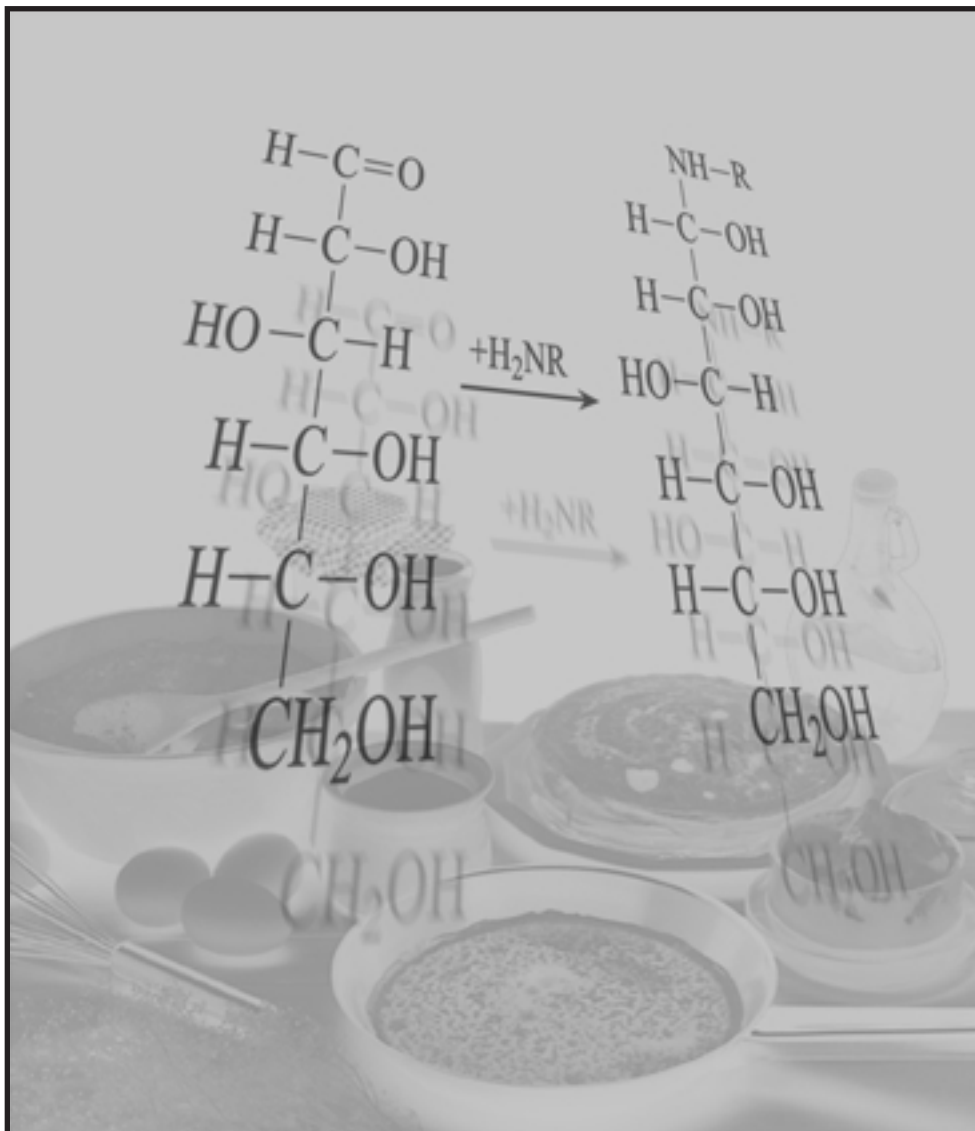
Αλοιώσεις των τροφίμων από μικροοργανισμούς

(Βιοαποικοδόμηση)

14.1 Εισαγωγή	263
14.2 Μικροβιολογική αποικοδόμηση των υδατανθράκων	263
14.2.1 Μικροβιολογική φθορά συμπυκνωμάτων και χυμών φρούτων	264
14.2.2 Μικροβιολογική φθορά κρασιού, μύρας και ζυμωμένων ποτών	267
14.2.3 Μικροβιολογική αποικοδόμηση φυτικών πηκτινών	270
14.2.4 Μικροβιολογική αλλοίωση σακχαρόζης και ζαχαρωδών γλυκισμάτων	271
14.2.5 Μικροβιολογική φθορά του γάλακτος	273
14.3 Μικροβιακή αποικοδόμηση πρωτεϊνών και πρωτεϊνούχων τροφίμων	274
14.4 Μικροβιολογική αποικοδόμηση των λιπών και ελαίων	278

14.5	Παράγοντες ανάπτυξης των μικροοργανισμών στα τρόφιμα	280
14.6	Προστασία των τροφίμων από τη βιοαποικοδόμηση	283
14.6.1	Ασηψία (αποκλεισμός των μικροοργανισμών)	283
14.6.2	Απομάκρυνση μικροοργανισμών	284
14.6.3	Αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών	284
14.7	Παραγωγή τοξινών	285

Υδατάνθρακες



1.1 Εισαγωγή

Οι υδατάνθρακες αποτελούν ένα σημαντικό τμήμα της επιστήμης των τροφίμων. Το περισσότερο από το μισό οργανικό υλικό που βρίσκεται πάνω στη γη είναι υδατάνθρακες με εντονότερη την παρουσίας τους στο φυτικό βασίλειο, ενώ η ποσότητά τους στο ζωικό βασίλειο είναι περιορισμένη. Στις τροφές απαντά ποικιλία υδατανθράκων, όπως μονοσακχαρίτες, άμυλο, κυτταρίνες, ημικυτταρίνες, κόμμεα κτλ., των οποίων οι ιδιότητες επηρεάζουν κατά πολύ την ποιότητα ενός μεγάλου αριθμού προϊόντων, όπως προϊόντα ζαχαροπλαστικής, αρτοποιίας, πηκτών κτλ.

Η μεγάλη ποσοτική παρουσία των υδατανθράκων στις τροφές, καθώς και οι λειτουργικές ιδιότητές τους, απαιτούν τη γνώση όχι μόνο των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υδατανθράκων, αλλά επίσης τη γνώση των αντιδράσεων τους με άλλα συστατικά των τροφίμων και των αλλαγών που προκαλούν στην ποιότητα αυτών.

Κατά τις διάφορες κατεργασίες των τροφίμων (τήξη, αφυδάτωση, κατάψυξη, αποθήκευση) οι υδατάνθρακες υφίστανται μεταβολές, οι οποίες επηρεάζουν τη θρεπτική αξία των τροφίμων και την εμφάνισή τους. Για το λόγο αυτό η γνώση των μεταβολών που υφίστανται οι υδατάνθρακες κατά την επεξεργασία των τροφίμων έχει ιδιαίτερη σημασία.

1.2 Ο ρόλος των υδατανθράκων στα τρόφιμα

Ο σπουδαιότερος ρόλος των υδατανθράκων στα τρόφιμα είναι η θρεπτική τους ενέργεια. Επίσης, παίζουν σημαντικό ρόλο στη γεύση και τη δομή των τροφίμων. Τα σάκχαρα κυρίως και κατά δεύτερο λόγο οι πολυσακχαρίτες συμμετέχουν άμεσα στη γλυκιά γεύση των τροφίμων, παίζουν σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση του νερού, επηρεάζουν το ιξώδες και δρουν ως σταθεροποιητές. Επίσης, μπορούν να επηρεάζουν σημαντικά το άρωμα και τη γεύση των τροφίμων σε συνεργασία με άλλα συστατικά τους.

1.3 Διάκριση των υδατανθράκων

Οι υδατάνθρακες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες :

- α. Μονοσακχαρίτες ή απλά σάκχαρα που είναι αλειφατικές πολυυδροξυ αλδεϋδες και κετόνες. Στα τρόφιμα απαντούν η γλυκόζη και η φρουκτόζη.
- β. Ολιγοσακχαρίτες που το μόριό τους αποτελείται από δύο μέχρι δέκα μονάδες μονοσακχαριτών. Ανάλογα με τον αριθμό αυτό διακρίνονται σε δισακχαρίτες (σακχαρόζη, μαλτόζη, λακτόζη), τρισακχαρίτες (ραφινόζη) κτλ.
- γ. Πολυσακχαρίτες που έχουν στο μόριό τους πάνω από δέκα μονάδες μονοσακχαριτών (άμυλο, κυτταρίνη, γλυκογόνο, φυτικά κόμμεα, πηκτίνες κτλ.)

Στον πίνακα 1.1 δίνονται οι κυριότεροι υδατάνθρακες που απαντούν στα τρόφιμα.

1.4 Χημικές αντιδράσεις των υδατανθράκων που συμβαίνουν κατά την επεξεργασία των τροφίμων

Οι διάφορες επεξεργασίες που υφίστανται τα τρόφιμα με κύριο σκοπό τη μακρόχρονη διατήρησή τους, όπως είναι η παστερίωση, αποστείρωση, αφυδάτωση, ψύξη, κατάψυξη κτλ., μπορούν να προκαλέσουν πολλές και πολύπλοκες αντιδράσεις, οι οποίες επηρεάζουν την ποιότητά τους.

Οι σπουδαιότερες μεταβολές που υφίστανται οι υδατάνθρακες κατά τις παραπάνω κατεργασίες είναι οι εξής:

1.4.1. Υδρόλυση

Η έκταση της υδρόλυσης των υδατανθράκων κατά την επεξεργασία των τροφίμων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το pH του μέσου, την ανομερική μορφή και τη θέση των ενδογλυκοζιδικών δεσμών, τη μορφή του δακτυλίου των μονάδων του σακχάρου, την έκταση των γεφυρών υδρογόνου

Πίνακας 1.1. Οι κυριότεροι υδατάνθρακες που απαντούν στα τρόφιμα

Είδος υδατάνθρακα	Μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται	Τρόφιμα στα οποία απαντούν
Πολυσακχαρίτες		
Άμυλο, Δεξτρίνες	D-γλυκόζη	Δημητριακά, όσπρια, βολβοί, κόνδυλοι
Κυτταρίνη	D-γλυκόζη	Κυτταρικά τοιχώματα φυτών
Γλυκογόνο	D-γλυκόζη	Συκώτι, ζωικοί ιστοί, γλυκό καλαμπόκι
Ημικυτταρίνες	L-αραβινόζη, D-ξυλόζη, L-ραμνόζη, D-γαλακτόζη, D-μαννόζη, D-γλυκόζη, D-γλυκουρονικό οξύ και D-γαλακτουρονικό οξύ	Κυτταρικά τοιχώματα φυτών, δημητριακά, όσπρια, ξηροί καρποί, αλεύρι, πίτουρα
Πεντοζάνες	L-αραβινόζη, D-ξυλόζη	Στα ίδια τρόφιμα που απαντούν οι ημι- κυτταρίνες και οι πηκτινικές ουσίες
Πηκτινικές ουσίες	D-γαλακτουρονικό οξύ, L-αραβινόζη, D-γαλακτόζη L-ραμνόζη, L-φρουκτόζη	Φρούτα, κυρίως εσπεριδοειδή και μήλα, ζαχαρότευτλα, λαχανικά
Ολιγοσακχαρίτες		
Ραφινόζη, σταχρόζη	D-γαλακτόζη, D-γλυκόζη, D-φρουκτόζη	Όσπρια, δημητριακά, κόνδυλοι
Φρουκτοζύλ-σαχαρόλες	D-φρουκτόζη, D-γλυκόζη	Δημητριακά, κρεμμύδια, πράσα
Δισακχαρίτες		
Καλαμοσάκχαρο	D-γλυκόζη, D-φρουκτόζη	Σακχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα, φρούτα, λαχανικά, γλυκαντικές τροφές
Μαλτόζη, ισομαλτόζη	D-γλυκόζη	Προϊόντα υδρόλυσης αμύλου, μέλι
Λακτόζη	D-γαλακτόζη, D-γλυκόζη	Γάλα, τυρί, γαλακτοκομικά προϊόντα
Μονοσακχαρίτες		
Γλυκόζη		Φρούτα, μέλι, γλυκύκος, κτλ.
Φρουκτόζη		Φυτικές τροφές, μέλι, αίμα.

που συνδέουν τα μόρια μεταξύ τους, καθώς και από το ρυθμό που αδρανοποιούνται οι φυσικές γλυκοζιδικές υδρολάσες. Π.χ. κατά την κατ' οίκον παρασκευή διαφόρων κομποστών, μαρμελάδων και ζελέδων, πολλοί παράγοντες μπορούν να συντελέσουν στην αποτυχημένη παρασκευή αυτών, όπως η οξύτητα των φρούτων, ο χρόνος βρασμού για την εξάτμιση του νερού, η υδρόλυση της σακχαρόζης κτλ.

1.4.2. Κρυστάλλωση

Η κρυστάλλωση των υδατανθράκων είναι χαρακτηριστική τους ιδιότητα και αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα για τον καθαρισμό των υδατανθράκων. Παράγοντες που επηρεάζουν την κρυστάλλωση είναι η θερμοκρασία, ο βαθμός κορεσμού του διαλύματος, η φύση της επιφάνειας του κρυστάλλου, η φύση και η συγκέντρωση ξένων ενώσεων στο διάλυμα. Όσο πιο καθαρό είναι το διάλυμα του σακχάρου τόσο πιο εύκολα κρυσταλλώνεται το σάκχαρο. Σε ορισμένες τροφές η κρυστάλλωση είναι ανεπιθύμητη, όπως π.χ. η κρυστάλλωση της λακτόζης στο συμπυκνωμένο γάλα.

1.4.3. Ενολοποίηση και ισομερισμός

Τα ανάγοντα σάκχαρα, στα υδατικά διαλύματά τους σε pH 3-7 και σε θερμοκρασία δωματίου, βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας μεταξύ των διαφόρων δομικών μορφών τους χωρίς αυτό να εμποδίζει να διατηρούν την ταυτότητά τους. Ισχυρή θέρμανση όμως του διαλύματος ή μετατροπή του pH σε αλκαλικό ή πολύ όξινο μπορεί να επιφέρει ενολοποίηση της άκυκλης καρβονυλικής ομάδας.

Η ενολοποίηση των σακχάρων, σε αλκαλικό περιβάλλον και παρουσία οξυγόνου, οδηγεί σε οξειδωτική διάσπαση του διπλού δεσμού. Έτσι, τα κύρια προϊόντα που σχηματίζονται από τη D-γλυκόζη είναι το μυρμηκικό οξύ και το D-αραβινονικό οξύ.

Γενικά, σε ελαφρώς αλκαλικό περιβάλλον στα τρόφιμα, η ενολοποίηση γίνεται γρήγορα. Η οξείδωση παρουσία αέρα αλλάζει τη σύσταση του προϊόντος και τα προϊόντα διασπάσεως αφθονούν. Σε όξινο μέσο η ενολοποίηση των σακχάρων είναι αργή, οι αντιδράσεις αφυδάτωσης γρήγορες και πρακτικά δεν επηρεάζονται από οξείδωση παρουσία αέρα. Έτσι, τα προϊόντα διασπάσεως είναι λίγα.

1.4.4. Αφυδάτωση

Αν τα σάκχαρα θερμανθούν αρκετά σε οποιαδήποτε μορφή τους, ως στερεά, πυκνά διαλύματα (σιρόπια) ή ως όξινα διαλύματα, τότε συμβαίνουν διάφορες αντιδράσεις αφυδατώσεως. Οι αντιδράσεις αυτές συντελούν ώστε να γίνονται τα σάκχαρα ενώσεις ακόρεστες και πολύ δραστικές.

1.4.5. Μη ενζυμική αμαύρωση

Ο σχηματισμός χρωστικών σκοτεινού χρώματος στα τρόφιμα, κατά την επεξεργασία και διατήρησή τους, είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο. Αποτελέσει αντικείμενο μεγάλου ενδιαφέροντος εξαιτίας όχι μόνο του χρώματος που προσδίδει αλλά και της επίδρασής του στο άρωμα, τη γεύση και τη θρεπτική αξία των τροφίμων. Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στην επεξεργασία του καφέ, του κακάο, της καραμέλας και στην παρασκευή του ψωμιού (κρούστα), ο σχηματισμός καστανού χρώματος καθώς και άλλες αλλαγές, π.χ. στη γεύση και οσμή, είναι αποδεκτές. Παρόλα αυτά, τις περισσότερες φορές η αμαύρωση των τροφίμων, που οφείλεται σε παρουσία υδατανθράκων, είναι ανεπιθύμητη διότι η αλλοίωση αυτή μπορεί να καταστήσει τα τρόφιμα μη αποδεκτά από τους καταναλωτές ή ακόμη και μη εμπορεύσιμα.

Οι αντιδράσεις που οδηγούν στην αμαύρωση των τροφίμων είναι ποικίλες και πολύπλοκες, αν και το τελικό αποτέλεσμα πρακτικά είναι το ίδιο (μαύρισμα). Μερικές απ' αυτές τις αντιδράσεις καταλύονται από ένζυμα και περιλαμβάνουν αντιδράσεις οξειδωσης, στις οποίες παίρνουν μέρος φαινολικές ενώσεις. Η κατηγορία αυτή είναι γνωστή ως "ενζυμική αμαύρωση" και θα περιγραφεί σε επόμενο κεφάλαιο. Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν οι αντιδράσεις αμαύρωσης, στις οποίες δεν εμπλέκονται ένζυμα. Τέτοιες αντιδράσεις εμφανίζονται στη σκόνη αυγού, σκόνη γάλακτος, αφυδατωμένα φρούτα, χυμούς και συμπυκνώματα φρούτων, υδρολυμένες πρωτεΐνες, αφυδατωμένο κρέας, ψάρια κλπ. Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το μηχανισμό των αντιδράσεων και όχι το αποτέλεσμα που σε όλες τις περιπτώσεις είναι το ίδιο, η αμαύρωση των τροφίμων.

- α) Αντιδράσεις Maillard που περιλαμβάνουν αντιδράσεις μεταξύ σακχάρων και αμινοξέων, ελεύθερων ή δεσμευμένων.
- β) Αντιδράσεις που περιλαμβάνουν οξείδωση του ασκορβικού οξέος.
- γ) Καραμελοποίηση των σακχάρων (με ή χωρίς την καταλυτική δράση οξέων).

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι μέσα στα τρόφιμα, όπου κυριαρχούν πολύπλοκα συστήματα, συμβαίνουν συχνά συνδυασμοί και των τριών παραπάνω αντιδράσεων. Για το λόγο αυτό και η έρευνα των διαφόρων αντιδράσεων αμαύρωσης στα τρόφιμα είναι συχνά πολύ δύσκολη.

1.4.5.1. Αντιδράσεις Maillard

Οι αντιδράσεις αυτές πρωτοαναφέρονται από το Γάλλο χημικό Maillard, ο οποίος παρατήρησε το σχηματισμό σκούρων χρωστικών, όταν θέρμανε ένα διάλυμα γλυκόζης-γλυκίνης. Διαπιστώθηκε ότι παρόμοιες αντιδράσεις συμβαίνουν γενικά μεταξύ αμινών, αμινοξέων ή πρωτεϊνών με υδατάνθρακες, αλδεΐδες ή κετόνες.

Οι αντιδράσεις Maillard φαίνεται ότι είναι η σημαντικότερη αιτία αμαύρωσης που αναπτύσσεται μετά από **θέρμανση ή μακρόχρονη αποθήκευση** στα τρόφιμα. Ο μηχανισμός φαίνεται να ακολουθεί τον ίδιο δρόμο σε πολλά τρόφιμα. Οι αρχικές αντιδράσεις γενικά ακολουθούν τον ίδιο δρόμο μ' αυτές της καραμελοποίησης. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στις αντιδράσεις Maillard τα αμινοξέα, τα πεπτίδια και οι πρωτεΐνες του τροφίμου αντιδρούν με τα σάκχαρα του δίνοντας προϊόντα συμπύκνωσης, τα οποία δρουν αυτοκαταλυτικά για τις παραπέρα αντιδράσεις.

Τελικά προϊόντα των αντιδράσεων αυτών είναι οι μελανοϊδίνες ενώ ως ενδιάμεσα προϊόντα έχουν απομονωθεί οι ενώσεις Amadori, η μαλτόζη καθώς και αλδεΐδες που σχηματίζονται από την αντίδραση Strecker.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αντιδράσεων Maillard είναι τα εξής :

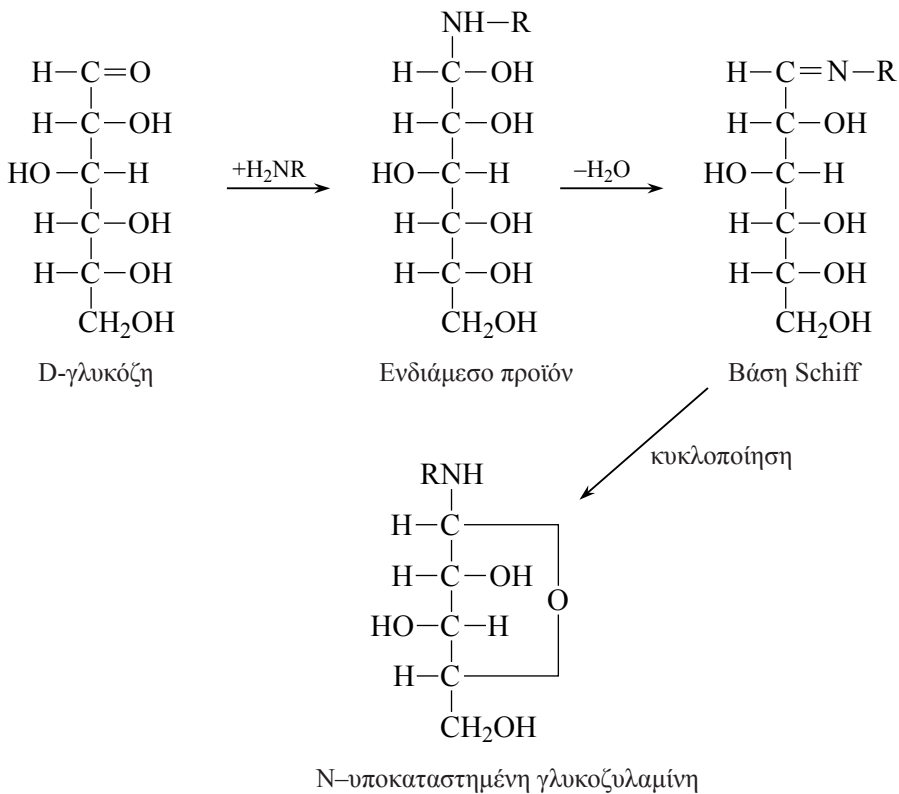
1. Οι αντιδράσεις προχωρούν τόσο σε όξινο, όσο και σε αλκαλικό περιβάλλον, η ταχύτητα τους όμως αυξάνει όσο αυξάνει το pH. Έτσι, τρόφιμα με χαμηλή οξύτητα εμφανίζουν μαύρισμα σε μικρότερη έκταση π.χ. τουρσιά.
2. Είναι ανάλογες της θερμοκρασίας.
3. Χρειάζεται η παρουσία αναγόντων σακχάρων, των οποίων οι καρβονυλικές ομάδες αντιδρούν με α-αμινοομάδες.

Μηχανισμός των αντιδράσεων

α. Καρβονολάμινο αντίδραση

Στην αντίδραση αυτή συμμετέχουν οι ελεύθερες αμινοομάδες (α και ε) των πρωτεϊνών. Η μεγάλη όμως έκταση καταστροφής των αμινοξέων των πρωτεϊνών, κατά τη μη ενζυμική αμαύρωση, δεν μπορεί να εξηγηθεί μόνο με τη

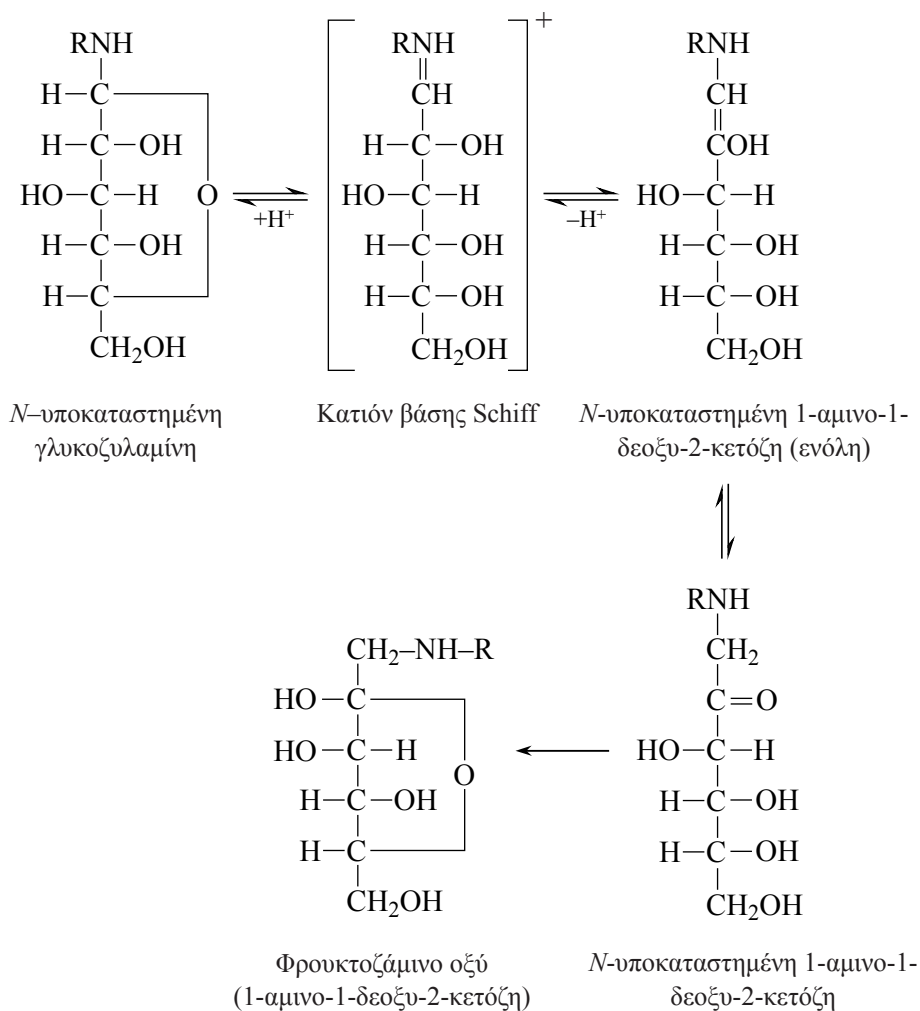
συμμετοχή των α- και ε- αμινοομάδων, γι' αυτό πιστεύεται ότι στην αντίδραση συμμετέχει και η ιμιδική ομάδα του πεπτιδικού δεσμού των πρωτεϊνών, με αντικατάσταση του υδρογόνου από υδατάνθρακες. Κατά την πορεία της αντίδρασης αρχικά παράγεται ένα ενδιάμεσο προϊόν, το οποίο στη συνέχεια με αντιδράσεις αφυδάτωσης μετατρέπεται σε βάση Schiff, η οποία μετά από κυκλοποίηση παράγει N-υποκαταστημένες γλυκοζυλαμίνες (σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1. Καρβονυλάμινο αντίδραση

β. Μετάθεση Amadori

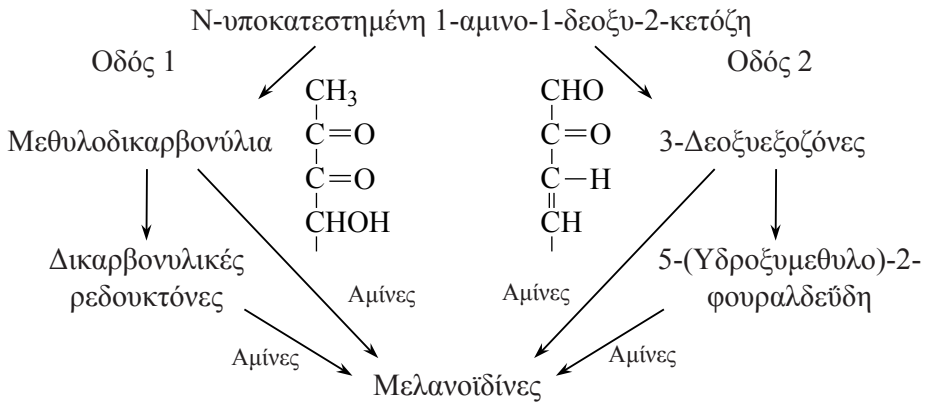
Οι N-υποκαταστημένες γλυκοζυλαμίνες, που προκύπτουν από την καρβονυλάμινο αντίδραση, υφίστανται ισομερίωση (μετάθεση Amadori), με αποτέλεσμα τη μετατροπή ενός παραγώγου αλδόζης σε παράγωγο κετόζης (σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2. Μετάθεση Amadori.

γ. Δημιουργία χρωστικών

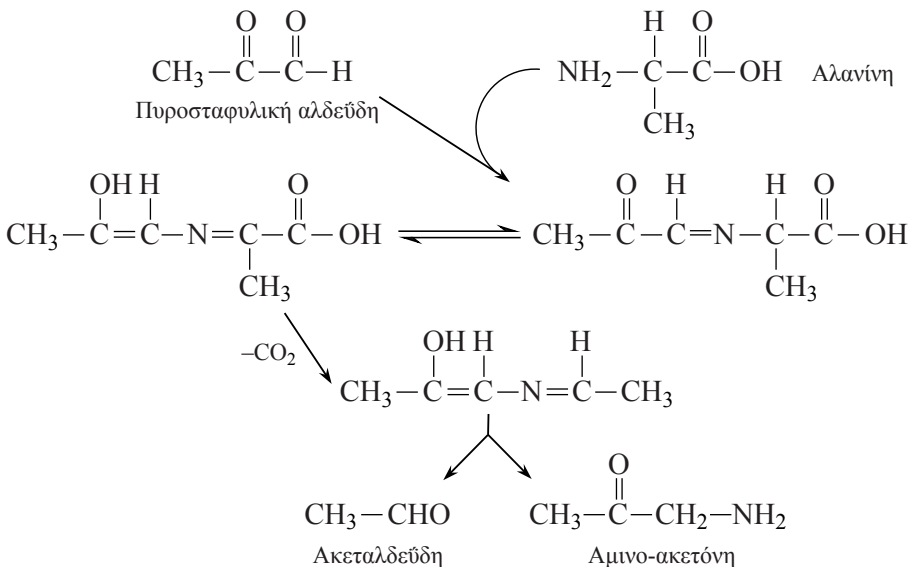
Μετά τη δημιουργία του κετο-παραγώγου δεν είναι πλήρως γνωστές οι παραπέρα αντιδράσεις. Πάντως πιστεύεται, σύμφωνα με το σχήμα 1.3, ότι δημιουργούνται διάφορα δικαρβονυλικά ενδιάμεσα παράγωγα, τα οποία παραπέρα αντιδρούν με αμίνες δημιουργώντας μελανοϊδίνες.



Σχήμα 1.3. Δημιουργία χρωστικών.

δ. Αποικοδόμηση Strecker

Οι ενδιάμεσες α-δικαρβονυλικές ενώσεις, παρουσία α-αμινοξέων, αποικοδομούνται σε αλδεΐδες με ένα άτομο άνθρακα λιγότερο από το αμινοξύ. Αποτέλεσμα της αντίδρασης αυτής είναι να δημιουργούνται αλδεΐδες με χαρακτηριστικό άρωμα, καθώς και CO_2 (σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Αποικοδόμηση Strecker.

Πορεία των αντιδράσεων Maillard

Η όλη πορεία των αντιδράσεων Maillard ακολουθεί τα εξής στάδια :

Αρχικό στάδιο: (ενώσεις χωρίς χρώμα, δεν απορροφούν στο υπεριώδες).

Αντιδράσεις: Συμπύκνωση, ενολοποίηση, ανακατάταξη Amadori.
Η σύνδεση πρωτεϊνών, γλυκόζης και ελεύθερων αμινοομάδων γίνεται σε αναλογία 1: 1.

Ιδιότητες: Η αναγωγική δύναμη σε αλκαλικό διάλυμα αυξάνει.
Κατά την αποθήκευση το άχρωμο προϊόν μετατρέπεται σε καστανό.

Ενδιάμεσο στάδιο: (απόχρωση κίτρινου χρώματος, έντονη απορρόφηση στο υπεριώδες).

Αντιδράσεις: Απομάκρυνση νερού από τα σάκχαρα με μετατροπή σε 3-δεοξυγλυκοζόνη, υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (HMF) και 2-υδροξυακετυλοφουράνη.

Τεμαχισμός σακχάρων, σχηματισμός α-δικαρβονυλικών ενώσεων, ρεδοκτονών, χρωστικών.

Ιδιότητες: Ελάττωση του pH, ταχεία εξαφάνιση των σακχάρων (πιο γρήγορη από των αμινοξέων). Αποχρωματισμός με την προσθήκη SO₂/θειωδών αλάτων.

Τελικό στάδιο: (ενώσεις με ερυθροκαστανό και βαθύ καστανό χρώμα).

Αντιδράσεις: Αλδολικές συμπυκνώσεις, πολυμερισμός, ανακατάταξη Strecker των α-αμινοξέων σε αλδεΐδες.

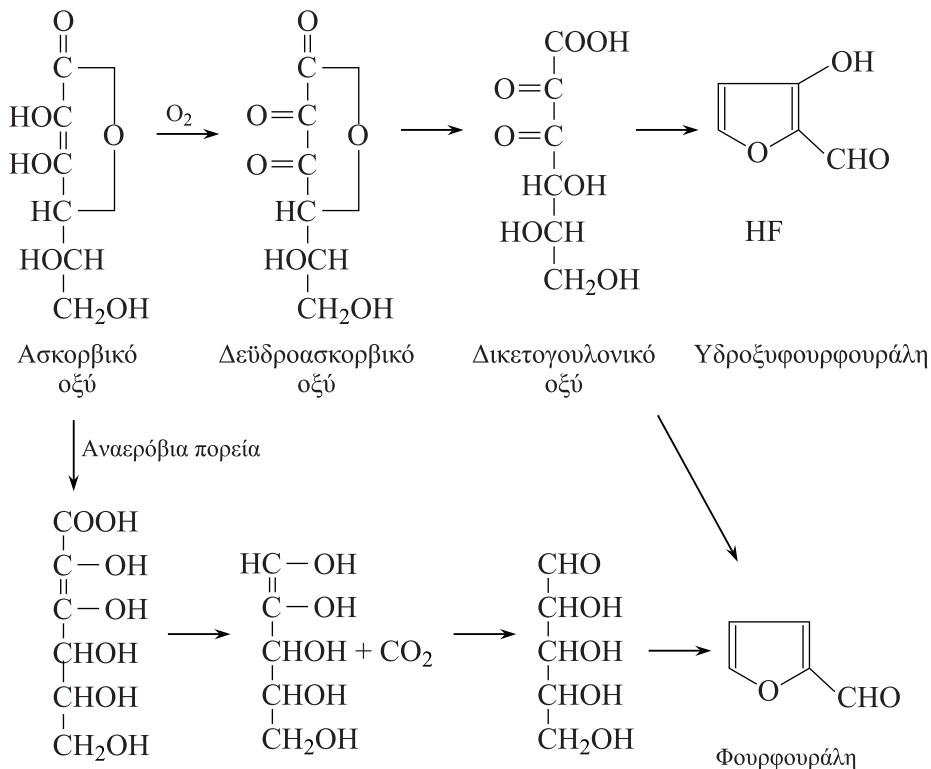
Σχηματισμός N-ετεροκυκλικών ενώσεων σε υψηλές θερμοκρασίες. Παραγωγή CO₂.

Ιδιότητες: Αύξηση της οξύτητας, ανάπτυξη χαρακτηριστικού αρώματος. Σχηματισμός κολλοειδών και αδιάλυτων μελανοϊδινών, φθορισμός, ανάπτυξη αναγωγικής δύναμης. Η προσθήκη SO₂/θειωδών αλάτων δεν αποχρωματίζει τα προϊόντα.

1.4.5.2. Οξείδωση ασκορβικού οξέος

Το ασκορβικό οξύ είναι υπεύθυνο, σε σημαντικό βαθμό, για την αμαύρωση των χυμών και πολτών φρούτων. Διαλύματα που περιέχουν ασκορβικό οξύ, παρουσία αμινοξέων, μαυρίζουν πιο γρήγορα από εκείνα αμινοξέων - σακχάρων στις ίδιες συνθήκες. Αμαύρωση συμβαίνει επίσης και σε καθαρά διαλύματα ασκορβικού οξέος, ειδικά σε υψηλό pH.

Ο μηχανισμός της μη ενζυμικής αμαύρωσης με οξείδωση του ασκορβικού οξέος, δεν είναι τελείως γνωστός. Στους χυμούς εσπεριδοειδών, το καστανό χρώμα εμφανίζεται αφού το μεγαλύτερο μέρος του ασκορβικού οξέος έχει εξαφανιστεί. Η αποσύνθεση του ασκορβικού οξέος παρουσία αέρα ή κάτω από συνθήκες οξείδωσης δημιουργεί πολλά ενδιάμεσα προϊόντα, όπως διυδροασκορβικό οξύ, 2,3-δικετογουλονικό οξύ, φουρμουράλη, 2-φουροϊκό οξύ, θρεονικό οξύ, μία οζόνη της L-ξυλόλης και διοξειδίο του άνθρακα (σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5. Πιθανή πορεία οξείδωσης ασκορβικού οξέος.

1.4.5.3. Καραμελοποίηση των σακχάρων

Η πορεία αυτή είναι ένα άλλο παράδειγμα μη ενζυμικής αμαύρωσης. Είναι μία πολύπλοκη μεταβολή που προκαλείται στα σάκχαρα μετά από θέρμανση και καταλήγει στην αποικοδόμηση των σακχάρων απουσία αμινοξέων και πρωτεϊνών. Ο μηχανισμός της καραμελοποίησης περιλαμβάνει ιμμερτοποίηση του καλαμοσακχάρου, ενδομοριακή ή εξωμοριακή συμπύκνωση, ισομερισμό αλδοζών προς κετόζες, αφυδάτωση κλπ. Η καραμελοποίηση προχωρεί κάτω από όξινες ή αλκαλικές συνθήκες και έχει σαν αποτέλεσμα αλλαγές στη γεύση, το άρωμα και το χρώμα του προϊόντος. Το κυριότερο μειονέκτημα της αντίδρασης αυτής είναι η παραγωγή προϊόντων με δυσάρεστη γεύση καμένου ή πικρή γεύση που μπορεί να αυξηθεί, αν η πορεία συνεχιστεί κάτω από μη ελεγχόμενες συνθήκες. Έτσι, είναι απαραίτητο να ελέγχεται η αντίδραση αυτή κατά την επεξεργασία των περισσοτέρων τροφίμων, ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα που δημιουργούνται. Αντίθετα, η αντίδραση επιδιώκεται κατά την παρασκευή διαφόρων γλυκισμάτων με ποικίλες γεύσεις.

Γενικά, τα καθαρά σάκχαρα καραμελοποιούνται σε θερμοκρασίες πάνω από 100 °C, παρουσία πολλών μη αμινικών ουσιών που χρησιμοποιούνται ως καταλύτες. Τέτοιες ενώσεις είναι τα φωσφορικά άλατα, αλκάλια, οξέα και άλατα οργανικών οξέων, όπως κιτρικά κτλ.

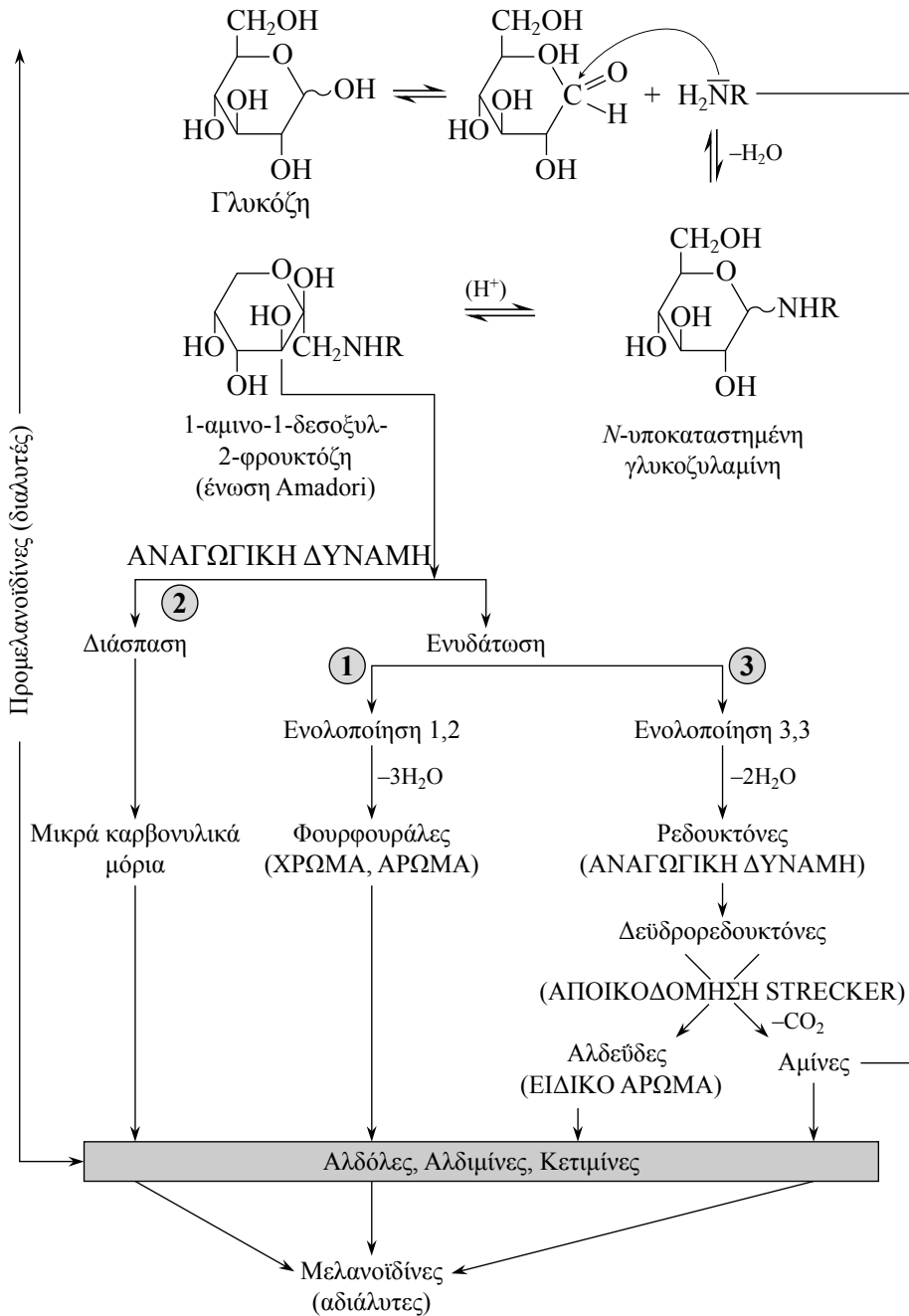
Το σχήμα 1.6 περιλαμβάνει τους διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι οδηγούν στη μη ενζυμική αμαύρωση των τροφίμων όπως:

I. Αντιδράσεις σακχάρου-αμινοξέος

II. Μετάθεση Amadori

Στο στάδιο αυτό μπορούν να πραγματοποιηθούν τρεις πιθανοί μηχανισμοί:

- 1) Έντονη αφυδάτωση. Είναι ο πλέον σημαντικός μηχανισμός από τους τρεις πιθανούς μηχανισμούς με δημιουργία παραγώγων φουρφουράλης και διυδροξυφουρφουράλης κυρίως 5-υδροξυμεθυλοφουρφουράλης (HMF).
- 2) Διάσπαση καρβονυλικών ενώσεων με παραγωγή ακετάλης, διακετυλίου, πυρουβαλδεϋδης κτλ.
- 3) Ήπια αφυδάτωση, η οποία θα δώσει προϊόντα αναγωγής όπως μείγμα ρεδοκτονών και υδρορεδοκτονών. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να αντιδράσουν με αμινοξέα (αντίδραση Strecker) με απώλεια διοξειδίου του άνθρακα από τα αμινοξέα. Στο στάδιο αυτό εμφανίζεται και το χαρακτηριστικό άρωμα των αντιδράσεων Maillard.



Σχήμα 1.6. Σχηματική παράσταση μηχανισμών μη ενζυμικής αμαύρωσης.

1.4.6. Επίδραση διαφόρων παραγόντων στην ταχύτητα της μη ενζυμικής αμαύρωσης

Η ταχύτητα αντιδράσεων της μη ενζυμικής αμαύρωσης επηρεάζεται σημαντικά από διάφορους παράγοντες όπως θερμοκρασία, pH, περιεχόμενη υγρασία, παρουσία ουσιών που επιταχύνουν ή παρεμποδίζουν την αμαύρωση, κτλ.

α. Επίδραση της θερμοκρασίας

Η αμαύρωση πολλών τροφίμων είναι η κύρια αιτία καταστροφής κατά την αποθήκευσή τους σε μη κανονικές θερμοκρασίες.

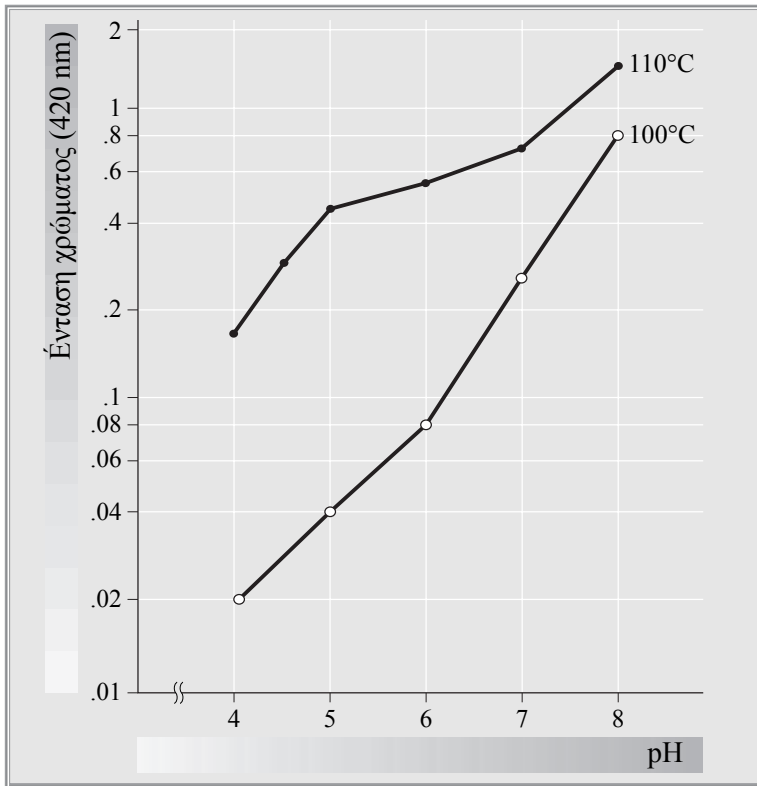
Συχνά παρατηρείται τροφές, που έχουν εκτεθεί σε υψηλότερες από τις κανονικές θερμοκρασίες, κατά την πορεία της επεξεργασίας, να μαυρίζουν γρηγορότερα κατά την αποθήκευσή τους.

Η εξάρτηση των αντιδράσεων Maillard από τη θερμοκρασία έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές. Βρέθηκε ότι η μείωση του αζώτου των ελεύθερων αμινοξέων (FAN) σε συστήματα καζεΐνης-γλυκίνης ακολουθεί την εξίσωση Arrhenius σε εύρος θερμοκρασιών 0-80 °C ακολουθώντας μια γραμμική σχέση. Οι απώλειες π.χ. σε ε-αμινοομάδες λυσίνης σε ένα σύστημα αλβουμίνης-γλυκόζης στους 37 °C για 30 μέρες ήταν περίπου ίδιες με τις απώλειες στο ίδιο σύστημα όταν θερμάνθηκε στους 131 °C για 15'. Και στις δύο περιπτώσεις οι απώλειες σε ε-αμινοομάδες λυσίνης ήταν 80%, τονίζοντας έτσι και τη σημασία της διάρκειας αποθήκευσης σε σχέση με τη θερμοκρασία.

Για τη διαπίστωση του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης ενός τροφίμου χωρίς την εμφάνιση καστανού χρώματος, δείγματα του τροφίμου αποθηκεύονται σε θερμοκρασίες 20-30 °C υψηλότερες από την κανονική θερμοκρασία αποθήκευσης. Περιοδικά προσδιορίζεται η συσσώρευση της υδροξυμεθυλοφουρφουράλης (HMF) ή διάφορων χρωστικών και προσδιορίζεται ο βαθμός αμαύρωσης στις συνθήκες πειραματισμού. Χρησιμοποιώντας την κατάλληλη τιμή Q_{10} (συντελεστής θερμοκρασίας) υπολογίζεται η ταχύτητα αμαύρωσης του τροφίμου, κάτω από κανονικές συνθήκες αποθήκευσης (η τιμή Q_{10} της μη ενζυμικής αμαύρωσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι περίπου 3).

β. Επίδραση του pH

Η επίδραση του pH στο ρυθμό αμαύρωσης είναι πολύπλοκη. Η ταχύτητα της καρβονυλάμινο αντίδρασης αυξάνει σε όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον αν και εννοείται σε αλκαλικές συνθήκες, όπου οι αμινοομάδες των αμινοξέων, πεπτιδίων και πρωτεϊνών είναι σε βασική μορφή (σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7. Επίδραση του pH στο σχηματισμό χρωστικών.

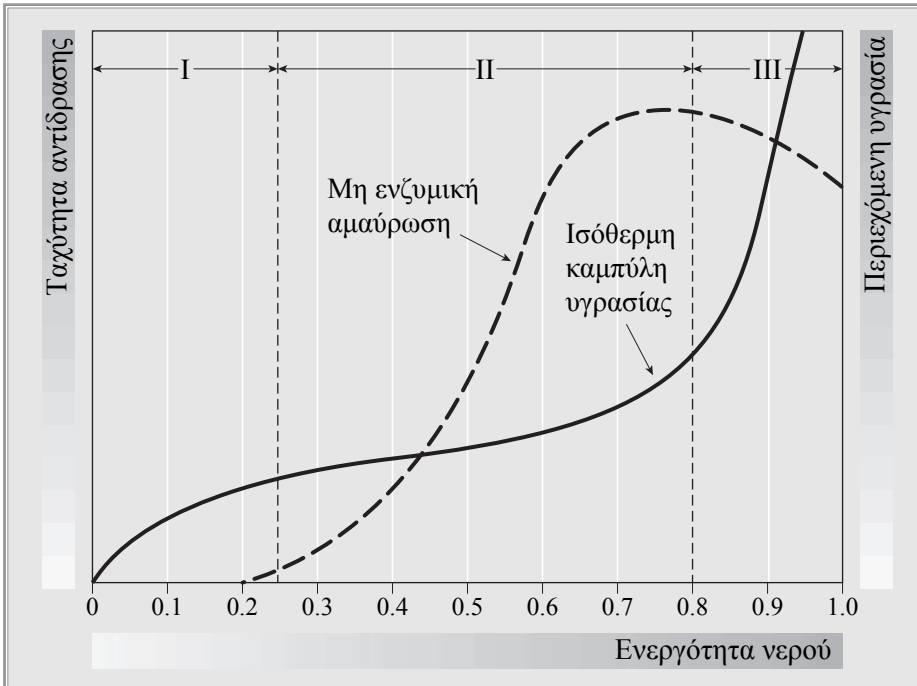
Επίσης αυξανόμενου του pH οι περισσότερες από τις εξόζες είναι σε ανοιχτή αλυσίδα ή σε ανάγουσα μορφή. Τρόφιμα με υψηλή οξύτητα είναι λιγότερο επιρρεπή σε αυτές τις αντιδράσεις π.χ. πίκλες. Μία εξαίρεση, εντούτοις, αποτελεί η εμπλοκή της σακχαρόζης στις αντιδράσεις Maillard. Η σακχαρόζη ως μη ανάγων σάκχαρο συμμετέχει μόνο όταν υδρολυθεί ο γλυκοζιδικός δεσμός και απελευθερωθεί ο ανάγων μονοσακχαρίτης. Η υδρόλυση αυτή είναι εφικτή μόνο σε χαμηλό pH και υψηλά επίπεδα υγρασίας, προκαλώντας στις συνθήκες αυτές επιτάχυνση της αντίδρασης Maillard στα συστήματα πρωτεϊνών-σακχαρόζης.

Το pH όχι μόνο επηρεάζει το ρυθμό αμαύρωσης, αλλά καθορίζει επίσης και το μηχανισμό των αντιδράσεων καθόσον κατά την πορεία των αντιδράσεων της αμαύρωσης παράγονται ενδιάμεσα προϊόντα, τα οποία αντιδρώντας με άλλα συστατικά των τροφίμων μπορούν να μεταβάλλουν το pH του συστήματος επηρεάζοντας έτσι και το μηχανισμό των αντιδράσεων.

γ. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας

Πολλά μερικώς αφυδατωμένα τρόφιμα και πρακτικά όλα τα μέσης υγρασίας τρόφιμα, υφίστανται μη ενζυμική αμαύρωση. Η αντίδραση αυτή εξαρτάται από την παρουσία νερού και εμφανίζει τη μεγαλύτερη ταχύτητα σε ενδιάμεσες υγρασίες (σχήμα 1.8).

Διάφορες μελέτες σε συστήματα καζεΐνης-γλυκόζης έδειξαν ότι το μέγιστο της απώλειας σε ελεύθερες αμινομάδες συμβαίνει μεταξύ 65-70% σχετικής υγρασίας, η οποία ανταποκρίνεται σε μία τιμή στην οποία τα αντιδρώντα σώματα είναι σε σχετικά ξηρή κατάσταση. Αυτό είναι αποτέλεσμα του διπλού ρόλου του νερού, ως διαλύτη και ως προϊόντος της αντίδρασης δηλ. ως αναστολέα. Έτσι, σε τρόφιμα με χαμηλή ενεργότητα νερού, ο περιοριστικός παράγοντας είναι η μειωμένη κινητικότητα του νερού, με αποτέλεσμα προσθήκη νερού να επιταχύνει την αντίδραση. Αντίθετα, σε τρόφιμα με υψηλή ενεργότητα νερού, το νερό που προκύπτει ως προϊόν αντίδρασης (π.χ. αντιδράσεις συμπύκνωσης) αναστέλλει την αντίδραση.



Σχήμα 1.8. Επίδραση της ενεργότητας του νερού στη μη ενζυμική αμαύρωση.

δ. Σάκχαρα.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί τα ανάγοντα σάκχαρα είναι αναγκαία συστατικά στις αντιδράσεις Maillard προσφέροντας τις καρβονυλικές ομάδες, οι οποίες θα αντιδράσουν με τις ελεύθερες αμινοομάδες των αμινοξέων, πεπτιδίων και πρωτεϊνών. Ο αρχικός ρυθμός της αντίδρασης εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο ανοίγει ο δακτύλιος του σακχάρου προς μία αναγωγική μορφή, η δε συγκέντρωση της μορφής αυτής αυξάνει αυξανόμενου του pH. Οι πεντόζες μετατρέπονται ευκολότερα στη μορφή αυτή από ότι οι εξόζες, εξηγώντας έτσι την εντονότερη δραστηριότητα των πεντοζών στα συστήματα αμαύρωσης. Επίσης παρατηρήθηκε ότι τα ανάγοντα σάκχαρα παρουσιάζουν μία αναχαιτιστική δράση στην υδρόλυση της καζεΐνης από την τρυψίνη, εξαιτίας της μη διαθεσιμότητας ορισμένων αμινοξέων, τα οποία συμμετέχουν στις αντιδράσεις της μη ενζυμικής αμαύρωσης.

ε. Επίδραση του οξυγόνου

Το οξυγόνο επιδρά άμεσα στον τύπο αμαύρωσης που εμπλέκεται το ασκορβικό οξύ. Αντίθετα, δεν είναι απαραίτητο για την αντίδραση Maillard. Η επίδραση του οξυγόνου εξαρτάται από την περιεχόμενη υγρασία και τη θερμοκρασία. Αυτό εξηγείται από το ότι η θερμοκρασία και η υγρασία όχι μόνο επιδρούν στο ρυθμό της αμαύρωσης, αλλά ρυθμίζουν σε κάποιο ποσοστό το μηχανισμό των αντιδράσεων, π.χ. τα λιπαρά οξέα παρουσία οξυγόνου οξειδώνονται δίνοντας αναγωγικές ουσίες που μπορούν να αντιδράσουν με αμινοξέα.

Πάντως, σε αντίθεση με την ενζυμική αμαύρωση, ο αποκλεισμός του οξυγόνου και η χρήση αντιοξειδωτικών δε συντελούν στην πρόληψη αντιδράσεων μη ενζυμικής αμαύρωσης, εκτός της περίπτωσης του ασκορβικού οξέος.

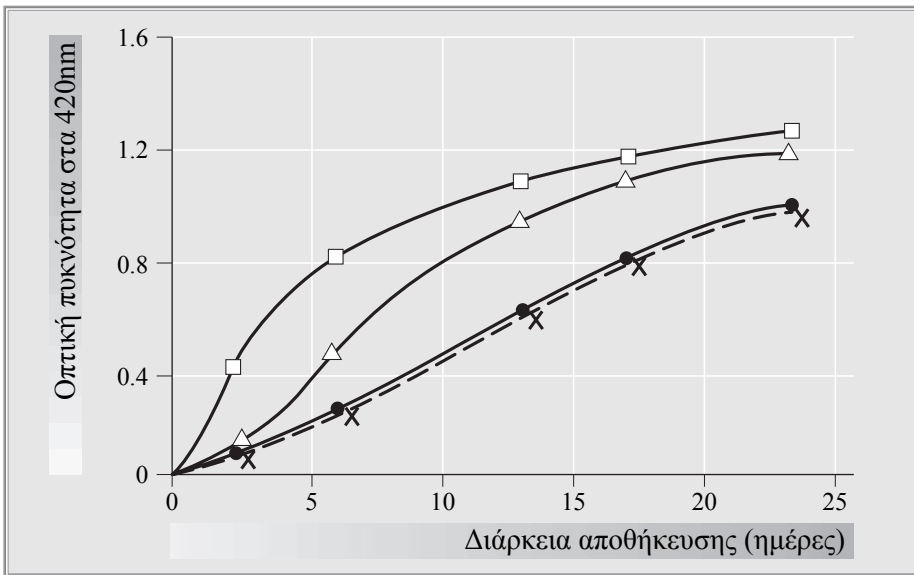
στ. Επιταχυντές και αναστολείς

Ο σχηματισμός συμπλόκων μετάλλων με αμινοξέα επηρεάζει την πορεία των αντιδράσεων Maillard. Τα μέταλλα, τα οποία κυρίως καταλύουν τις αντιδράσεις αυτές είναι ο χαλκός και ο σίδηρος ενώ το μαγγάνιο και ο κασσίτερος τις αναχαιτίζουν. Ένα παράδειγμα της επίδρασης μετάλλων φαίνεται στο σχήμα 1.9 όπου μελετήθηκε σε μοντέλα οβαλβουμίνης-γλυκόζης (OVG) η επίδραση του Na^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} και Fe^{3+} στο ρυθμό της αμαύρωσης. Πα-

ρατηρήθηκε μία επιτάχυνση στο ρυθμό της αμαύρωσης παρουσία Cu^{2+} και Fe^{3+} ενώ το Na^+ δεν επέδρασε καθόλου.

Αντίθετα ο κασσίτερος, όπως αναφέρθηκε ήδη, επιβραδύνει τη μη ενζυμική αμαύρωση. Εσπεριδοειδή συσκευασμένα σε βερνικωμένα (λακαρισμένα) ή γυάλινα δοχεία μαυρίζουν πολύ πιο γρήγορα από εκείνα που βρίσκονται σε δοχεία επικασσιτερωμένα. Η αναχαιτιστική δράση του κασσίτερου μπορεί να οφείλεται στις συνθήκες που επικρατούν (π.χ. χαμηλό pH), οι οποίες επιβραδύνουν πολύ τις αντιδράσεις αμαύρωσης. Ας μη ξεχνάμε ότι ο μηχανισμός αμαύρωσης στα προϊόντα των εσπεριδοειδών περιλαμβάνει οξείδωση του ασκορβικού οξέος.

Ο περισσότερο γνωστός αναστολέας στις αντιδράσεις αμαύρωσης είναι το SO_2 και τα θειώδη άλατα. Η δράση τους δεν περιορίζεται μόνο στον αποχρωματισμό των χρωμοφόρων προϊόντων που ήδη έχουν σχηματιστεί αλλά επίσης και στην παρεμπόδιση εμφάνισης χρώματος στην αρχή των αντιδράσεων. Ο μηχανισμός περικλείει τη δέσμευση του διοξειδίου του θείου / θειωδών με γλυκόζη προς σχηματισμό υδροξυσουλφονικού οξέος και άλλων συστατικών, από τα οποία απελευθερώνεται εκ νέου διοξείδιο του θείου/θειώδη.

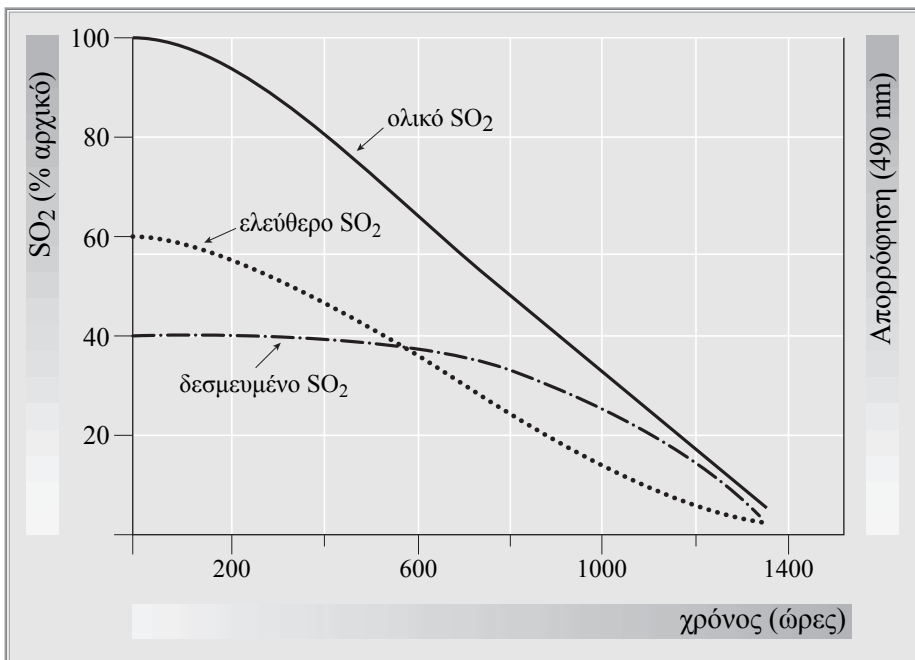


Σχήμα 1.9. Επίδραση των μετάλλων στο ρυθμό της μη ενζυμικής αμαύρωσης. (●) OVG, (×) OVG-Na, (□) OVG-Cu, (△) OVG-Fe.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δέσμευση της καρβονυλικής ομάδας του σακχάρου καθιστώντας αυτήν ανίκανη να συμμετέχει στην τυπική αντίδραση Maillard. Καθώς η αντίδραση προχωρεί το SO_2 / θειώδη δεσμεύονται αμετάκλητα επηρεάζοντας έτσι το ρυθμό της αντίδρασης, ο οποίος μπορεί να εκτιμηθεί με μέτρηση της δεσμευμένης ή ελεύθερης μορφής SO_2 / θειωδών. Στο σχήμα 1.10 φαίνεται η παραγωγή χρωστικών με την παράλληλη απώλεια του SO_2 σε ένα σύστημα γλυκόζης-γλυκίνης- SO_2 κατά τη διάρκεια επώασης στους 55°C .

Το διοξείδιο του θείου και τα άλατά του, έχουν χρησιμοποιηθεί ως αναστολείς της αμαύρωσης στα αποξηραμένα φρούτα (σύκα), λαχανικά και συμυκνωμένους χυμούς φρούτων.

Αυτό που πρέπει να αναφερθεί στην περίπτωση των αναστολέων είναι ότι με τη χρησιμοποίησή τους μπορεί να περιορίζεται η αμαύρωση, δεν προφυλάσσεται όμως η θρεπτική αξία των τροφίμων.



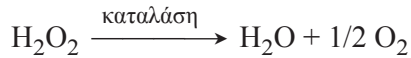
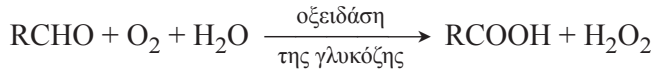
Σχήμα 1.10. Επίδραση SO_2 στο σχηματισμό χρωστικών μη ενζυμικής αμαύρωσης.

ζ. Προφύλαξη των τροφίμων από τη μη ενζυμική αμαύρωση

Είναι φανερό ότι σε τέτοια πολύπλοκα συστήματα, όπως τα τρόφιμα, είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν ακριβείς μέθοδοι για την προφύλαξη τους από τη μη ενζυμική αμαύρωση. Παρακάτω αναφέρονται μερικές προφυλάξεις, με τις οποίες μπορεί πρακτικά να περιοριστεί η μη ενζυμική αμαύρωση στα τρόφιμα.

1. Ψύξη των τροφίμων. Η χαμηλή θερμοκρασία περιορίζει γενικά όλες τις χημικές αντιδράσεις, ιδιαίτερα εκείνες της αμαύρωσης.
2. Η παρουσία SO₂/θειωδών επιβραδύνει τις αντιδράσεις Maillard, όπως έχει αναφερθεί. Τα θειώδη δεσμεύουν τα δικαρβονύλια που χρειάζονται για την αντίδραση Strecker. Επίσης, τα άλατα ασβεστίου παρεμποδίζουν την αμαύρωση, πιθανώς, επειδή δεσμεύουν τα αμινοξέα.
3. Μείωση του pH του προϊόντος μπορεί να δώσει καλά αποτελέσματα. Αυτό εφαρμόζεται στην παρασκευή της σκόνης αυγού, όπου το οξύ προστίθεται πριν την αφυδάτωση. Η αποκατάσταση του pH μετά την αφυδάτωση γίνεται με προσθήκη διτανθρακικού νατρίου.
4. Μικρότερη συμπύκνωση μειώνει μερικές φορές το ρυθμό της αμαύρωσης. Έτσι, χυμοί λεμονιού και γκρέιπ-φρουτ συχνά συμπυκνώνονται σε αναλογία 4:1 αντί 6:1, που είναι και η πιο συνηθισμένη συμπύκνωση στους χυμούς εσπεριδοειδών.
5. Επειδή η αντίδραση Maillard απαιτεί ελεύθερη καρβονυλική ομάδα στα σάκχαρα, είναι δυνατό να περιοριστεί η αμαύρωση στα διάφορα προϊόντα με τη χρησιμοποίηση σακχαρόζης, αντί αναγόντων σακχάρων. Προϋπόθεση φυσικά είναι η σακχαρόζη να μην υποστεί αναστροφή στο τελικό προϊόν κατά την αποθήκευση. Η φρουκτόζη, επίσης, δε συνδέεται εύκολα με τα αμινοξέα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τα ίδια αποτελέσματα.
6. Όταν τα σάκχαρα βρίσκονται σε μικρό ποσοστό στα προϊόντα, όπως συμβαίνει με τα αυγά και το κρέας, είναι δυνατό να απομακρυνθούν με ζύμωση.

Μία επιτυχημένη μέθοδος είναι η χρησιμοποίηση μείγματος δύο ενζύμων, της οξειδάσης της γλυκόζης και της καταλάσης. Η οξειδάση μετατρέπει τη γλυκόζη σε γλυκονικό οξύ και υπεροξείδιο του υδρογόνου, που στη συνέχεια μετατρέπεται σε νερό και οξυγόνο με τη δράση της καταλάσης.



1.4.7. Σχηματισμός αρωματικών και γευστικών ουσιών κατά την πορεία της μη ενζυμικής αμαύρωσης

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες συνέπειες της μη ενζυμικής αμαύρωσης είναι ο σχηματισμός πτητικών ενώσεων. Τα συστατικά αυτά προσδίδουν στα τρόφιμα χαρακτηριστικές γεύσεις και οσμές, που μπορεί να είναι επιθυμητές ή ανεπιθύμητες.

Ένα από τα πιο σημαντικά στάδια, για το σχηματισμό αρώματος, είναι η αποικοδόμηση Strecker. Οι περισσότερες από τις αλδεΐδες που σχηματίζονται είναι πτητικές και έχουν γεύση. Έτσι, το άρωμα του καφέ, των φιστικιών, των ποπ-κόρν κτλ., προέρχεται από πτητικά συστατικά που δημιουργούνται από την αντίδραση αυτή. Επίσης, η καραμελοποίηση των σακχάρων παράγει ποικιλία προϊόντων, τα οποία επηρεάζουν το άρωμα και τη γεύση των τροφίμων, όπως φουράνες, φουρανόνες, πυρόνες, λακτόνες, αλδεΐδες, κετόνες, οξέα και εστέρες, καθώς και πυραζίνες, πυρρόλες, πυριδίνες όταν συμμετέχουν και αμινοξέα.

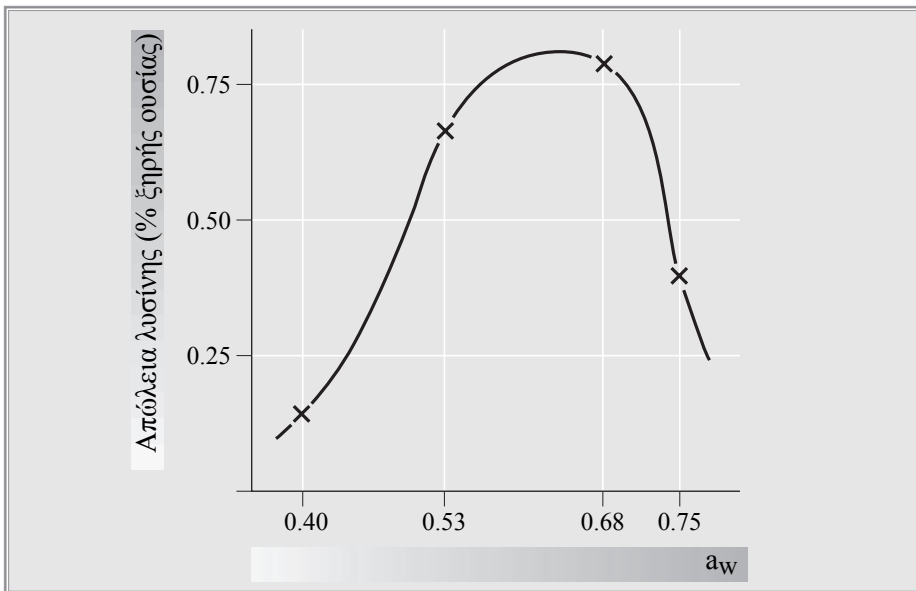
Ο Hodge απομόνωσε και προσδιόρισε περίπου 40 πτητικά συστατικά που ήταν προϊόντα καραμελοποίησης των σακχάρων. Ανάλογα με τη σχετική συγκέντρωση των διαφόρων τελικών προϊόντων προσδιορίστηκαν διάφορα αρώματα και γεύσεις που κυμαίνονται από γλυκό μέχρι στυφό.

1.4.8. Επίδραση της μη ενζυμικής αμαύρωσης στη θρεπτική αξία των τροφίμων

Ένα από τα πιο δυσάρεστα αποτελέσματα της μη ενζυμικής αμαύρωσης των τροφίμων είναι η δέσμευση των αμινοξέων σε διάφορα σύμπλοκα χρωστικών. Τα σύμπλοκα αυτά δεν υδρολύονται στο πεπτικό σύστημα με αποτέλεσμα πολλά απαραίτητα αμινοξέα να χάνονται από θρεπτική άποψη. Μία άλλη επίσης αιτία απώλειας των αμινοξέων είναι η αντίδραση Strecker. Από όλα τα αμινοξέα των πρωτεϊνών η λυσίνη είναι αυτή που κα-

ταστρέφεται περισσότερο, εξαιτίας της σύνδεσης της ελεύθερης ε-αμινομάδας της με καρβονύλια. Η απώλεια της θρεπτικής αξίας των πρωτεϊνών είναι πολύ μεγάλη, εφόσον η λυσίνη αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα απαραίτητα αμινοξέα. Στο σχήμα 1.11 φαίνεται η απώλεια της ελεύθερης λυσίνης σε σκόνη γάλακτος που διατηρήθηκε στους 40 °C για δέκα μέρες σε συνάρτηση με την ενεργότητα νερού.

Ο βαθμός απώλειας της λυσίνης μπορεί να προσδιορισθεί με δινιτροφλουοροβενζόλιο. Όλες οι ελεύθερες αμινοομάδες δεσμεύονται από το αντιδραστήριο και η ποσότητα της δινιτροφαινυλολυσίνης, που παράγεται, προσδιορίζεται μετά την υδρόλυση της πρωτεΐνης. Έτσι, ο προσδιορισμός της αφομοιώσιμης λυσίνης αποτελεί ένα κριτήριο για το βαθμό καταστροφής της πρωτεΐνης κατά τη θέρμανση ή την αποθήκευση.



Σχήμα 1.11. Απώλεια ελεύθερης λυσίνης κατά τη διατήρηση σκόνης γάλακτος.

Το ασκορβικό οξύ, επίσης, καταστρέφεται εύκολα παρουσία οξυγόνου, μειώνοντας έτσι αισθητά την περιεκτικότητα της βιταμίνης C στα τρόφιμα και κατά συνέπεια τη θρεπτική τους αξία. Ιδιαίτερα σοβαρό είναι το πρόβλημα όταν χρησιμοποιούμενες τροφές αποτελούν την κύρια πηγή βιταμίνης C στη διαίτα του ανθρώπου, όπως π.χ. έντονα επεξεργασμένοι ή κακώς δια-

τηρημένοι χυμοί εσπεριδοειδών χρησιμοποιούμενοι από νεαρά άτομα. Επίσης, οι βιταμίνες B₁, B₆, B₁₂ και το παντοθενικό οξύ, μπορούν να αντιδράσουν με προϊόντα των αντιδράσεων Maillard προκαλώντας μείωση της διαθεσιμότητας των βιταμινών αυτών.

1.5 Υδατάνθρακες των τροφίμων και οι μεταβολές που υφίστανται κατά την αποθήκευση

Η παρουσία των υδατανθράκων στα τρόφιμα ποικίλλει, τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά. Αναλύσεις τροφίμων για τον προσδιορισμό των υδατανθράκων έδειξαν ότι τα δημητριακά έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμυλο και μικρότερη σε ανάγοντα σάκχαρα. Τα φρούτα αντίθετα έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε απλά σάκχαρα, ενώ περιέχουν λίγο άμυλο. Σε ξηρή βάση τα φρούτα περιέχουν συνήθως 80-90% υδατάνθρακες. Τα όσπρια καταλαμβάνουν ενδιάμεσες θέσεις σε σχέση με το άμυλο και περιέχουν μεγάλη ποσότητα σε μη αφομοιώσιμους υδατάνθρακες.

Οι γλυκοζίτες διαφόρων τύπων είναι, επίσης, πολύ διαδεδομένοι στο φυτικό βασίλειο. Ορισμένοι βιολογικά δραστικοί θειογλυκοζίτες βρέθηκαν στα σταυρανθή. Οι κυανογλυκοζίτες, οι οποίοι αποδεσμεύουν υδροκυάνιο με ενζυμική υδρόλυση κάτω από ορισμένες συνθήκες (π.χ. μαραμένα και υγρά λαχανικά), θεωρούνται πηγές οξείας τοξικότητας σε ορισμένες ζωοτροφές. Επίσης, οι σαπωνίνες που βρίσκονται σε βλαστούς τσαγιού, σπανάκι, σπαράγγια, ζαχαρότευτλα, γλυκοπατάτες, σόγια, φιστίκια και όσπρια, δημιουργούν σοβαρά προβλήματα κατά την κατεργασία των τροφίμων π.χ. σχηματισμό αφρού κατά την εκχύλιση των τεύτλων.

Κατά τη διάρκεια της ωρίμασης των καρπών και μετά τη συλλογή τους, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, συμβαίνουν πολλές φυσικές αλλαγές στη σύσταση των υδατανθράκων.

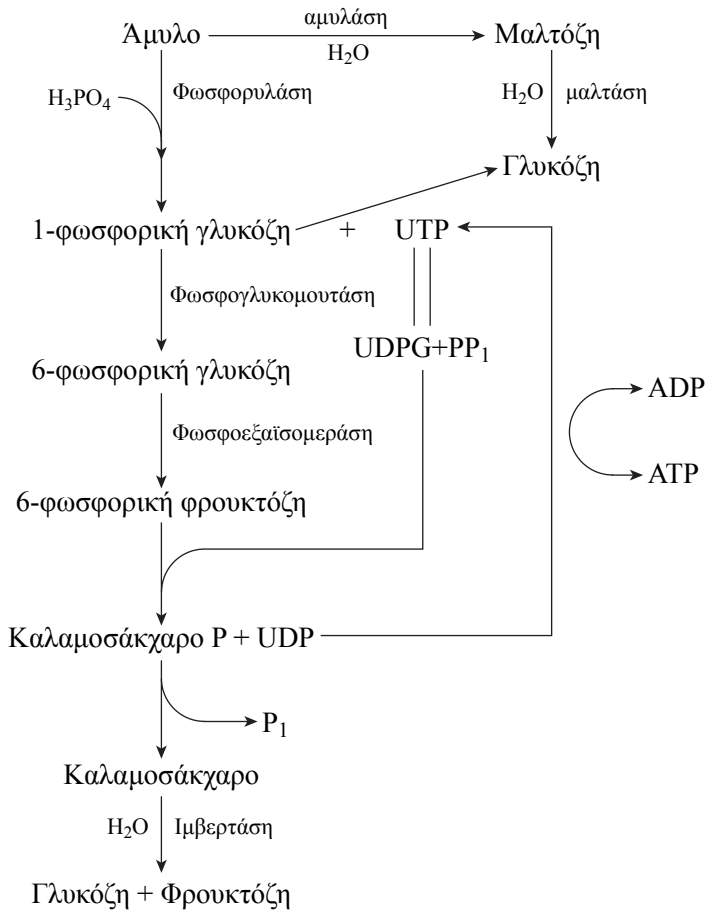
Στα φρούτα που ωριμάζουν κανονικά πάνω στο δέντρο και δεν περιέχουν άμυλο (εσπεριδοειδή), οι αλλαγές στη σύσταση των υδατανθράκων μετά τη συλλογή τους, εξαρτώνται στενά από τη θερμοκρασία της αποθήκευσης. Έτσι, στα πορτοκάλια navel η σακχαρόζη μειώνεται ελαφρά (~ 8%) σε 0 °C, ενώ στους 11 °C κατά 47%. Επίσης, βρέθηκε ότι σε αποθηκευμένα γκρέιπφρουτ τα ολικά σάκχαρα του φλοιού μειώθηκαν λιγότερο στους 0 °C και περισσότερο στους 11 °C. Η συσσώρευση αναγόντων σακχάρων σε υψηλές

θερμοκρασίες, φαίνεται να είναι αποτέλεσμα γρήγορης δράσης της ιμπερτάσης στις θερμοκρασίες αυτές. Αντίθετα, σε θερμοκρασία από 0-9 °C, φαίνεται ότι περιορίζεται η δράση της.

Σε τρόφιμα πλούσια σε άμυλο (μήλα, αχλάδια, μπανάνες), το μεγαλύτερο μέρος του αμύλου μπορεί να μετατραπεί σε σάκχαρα και ιδιαίτερα σε σακχαρόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη, κατά τη μετασυλλεκτική περίοδο. Οι αλλαγές αυτές εξαρτώνται σημαντικά από τη θερμοκρασία και το χρόνο αποθήκευσης, καθώς και από τη φυσική κατάσταση των φυτικών τροφίμων (φρούτα ή λαχανικά), όπως π.χ. συμβαίνει κατά τη βλάστηση της πατάτας.

Η μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα ακολουθεί μία οδό μεταβολισμού, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.12. Η δράση της **αμυλάσης** δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα, σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η δράση του ενζύμου αυτού αυξάνει σημαντικά με την εκβλάστηση, όταν είναι ανάγκη να επιστρατευτούν οι υδατάνθρακες για να βοηθήσουν στην εκβλάστηση. Η **φωσφορυλάση**, αντίθετα, παίζει σημαντικό ρόλο κατά την αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες και βρέθηκε να έχει μεγάλη δραστηριότητα στους 4 °C. Αυτό είναι επιθυμητό σε ορισμένα λαχανικά π.χ. φασολάκια, μπιζέλια, κουκιά, που η καλή ποιότητά τους (εύχυμοι, γλυκείς) είναι συνάρτηση της μεγάλης περιεκτικότητας σε σάκχαρα. Για το λόγο αυτό συλλέγονται πριν την πλήρη ωρίμανσή τους και διατηρούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες, ώστε να διατηρηθεί το ποσοστό των σακχάρων τους. Αντίθετα, στην πατάτα είναι ανεπιθύμητη η παρουσία υψηλού ποσοστού αναγόντων σακχάρων. Οι ώριμοι κόνδυλοι περιέχουν σχετικά μικρές ποσότητες αναγόντων σακχάρων κατά τη συλλογή τους, εκτός και αν έχουν εκτεθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες στον αγρό. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, το άμυλο μετατρέπεται σε απλά σάκχαρα με ρυθμό που εξαρτάται από τη θερμοκρασία αποθήκευσης. Τα σάκχαρα αυτά είναι υπεύθυνα για τη μαλακή υφή, τη γλυκιά γεύση και για το μαύρισμα (αντιδράσεις Maillard) που εμφανίζεται σε αφυδατωμένες πατάτες και τσίπς.

Στα ζωϊκά τρόφιμα, το γλυκογόνο των ζωικών ιστών, ιδιαίτερα του συκωτιού, αποπολυμερίζεται γρήγορα σε D-γλυκόζη, μετά τη σφαγή του ζώου. Έτσι, για προφύλαξη του γλυκογόνου απαιτείται ισχυρή κατάψυξη του σφαγείου. Τα εντόστια (συκώτι, νεφρά), το μυαλό των θηλαστικών ζώων, καθώς επίσης τα αυγά και τα θαλασσινά, δεν είναι σημαντικές πηγές D-γλυκόζης για τον άνθρωπο. Αντίθετα, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι η κύρια πηγή των υδατανθράκων. Το πλήρες αγελαδινό γάλα περιέχει περίπου 4,8% γαλακτοσάκχαρο και η αποβουτυρωμένη σκόνη γάλακτος 50%.



Σχήμα 1.12. Αποικοδόμηση αμύλου στους φυτικούς ιστούς.