

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ - ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΨΥΞΗΣ, ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ
ΚΑΙ ΑΠΟΨΥΞΗΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΦΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

• ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

• ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΠΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ



ΚΑΛΑΜΑΤΑ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΓΕΝΙΚΑ.....	2
2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ.....	8
3. ΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	14
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΨΥΞΗΣ.....	14
3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΞΗΣ.....	19
3.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	29
3.3.1 ΨΥΞΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΑΓΟΥ.....	31
3.3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ.....	32
3.3.3 ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΕΠΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ.....	33
3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ.....	34
4. ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	39
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ.....	39
4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ.....	40
4.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	47
4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ.....	48
4.4.1 ΛΑΧΑΝΙΚΑ.....	48
4.4.2 ΦΡΟΥΤΑ.....	55
5. ΑΠΟΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	66
5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΠΟΨΥΞΗΣ.....	66
5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΨΥΞΗΣ.....	67
5.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	69
5.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ.....	69
6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Η συντήρηση τροφίμων είναι μια υπηρεσία ή μια μέθοδος διατήρησης των τροφίμων στο επιθυμητό για τον παραγωγό επίπεδο όσο περισσότερο γίνεται, ούτως ώστε να αποκομίσει όσο το δυνατόν περισσότερα οφέλη. Αποτελεί την πιο σημαντική των τεχνικών της επιστήμης και τεχνολογίας τροφίμων, και είναι ο βασικός σκοπός της επεξεργασίας τροφίμων. Είναι απαραίτητη η γνώση των ιδιοτήτων των τροφίμων και των μεθόδων συντήρησής τους, διότι μπορεί μια ιδιότητα να είναι ωφέλιμη για ένα προϊόν αλλά επιβλαβής για κάποιο άλλο. Παράδειγμα βλαβών, η κατάρρευση και ο σχηματισμός πόρων που υφίστανται τα τρόφιμα κατά την απορρόφηση νερού από αυτά [1]. Καταστροφή της δομής τους, κατά την απορρόφηση νερού, έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση ανεπιθύμητου αρώματος και την οξείδωση λιπιδίων (αποτελέσματα που είναι ανεπιθύμητα). Επομένως η ορθή αντίληψη των επιδράσεων της κάθε μεθόδου συντήρησης των τροφίμων ξεχωριστά, είναι απαραίτητη στην επεξεργασία τροφίμων [1].

Η επεξεργασία και αποθήκευση των τροφίμων είναι ζωτικής σημασίας, ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνεχής εφοδιασμός των, εντός αλλά κυρίως εκτός της περιόδου παραγωγής αυτών. Οι βασικοί λόγοι που ώθησαν στην εφαρμογή της επεξεργασίας τροφίμων είναι:

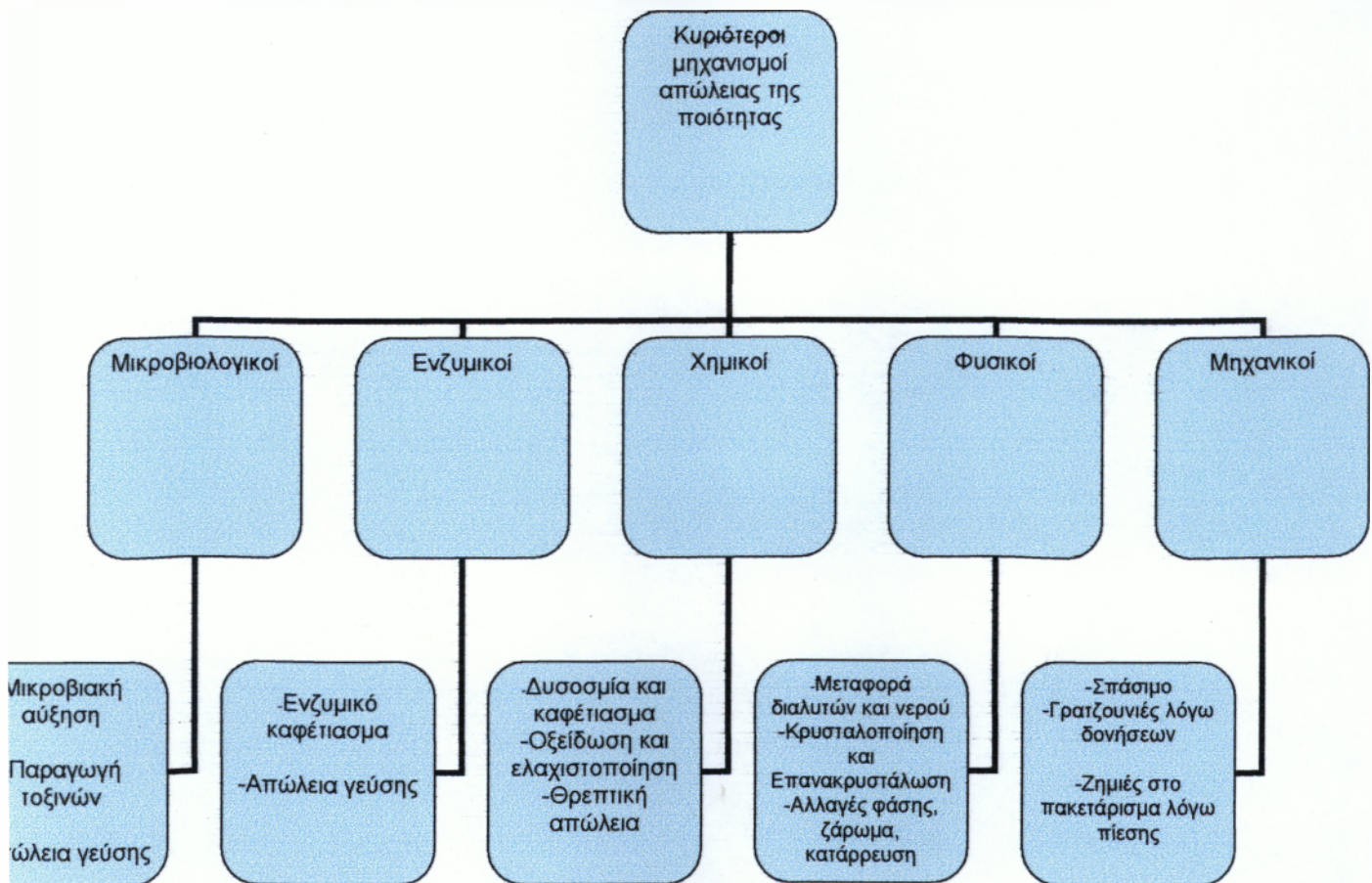
- Η διόρθωση στα προϊόντα των λαθών που έχουν γίνει κατά τη παραγωγή τους, και μπορεί να υποβαθμίσουν τη ποιότητά τους.
- Η παραγωγή προϊόντων με προστιθέμενη αξία.
- Η εξασφάλιση διαφοροποιήσεων στο διαιτολόγιο των ανθρώπων.[2]

Μια αιτία που διαφοροποιεί την αγροτική επεξεργασία από όλες τις άλλες μορφές επεξεργασιών, είναι η εποχική της φύση. Τα λάθη στη γεωργική παραγωγή μπορούν

να διορθωθούν αυξάνοντας τη χρονική διάρκεια της “ζωής στο ράφι” μέσω μεθόδων συντήρησης. Τα προϊόντα με προστιθέμενη αξία, μπορούν να δώσουν τρόφιμα καλύτερης ποιότητας, με περισσότερες θρεπτικές, λειτουργικές και αισθητήριες ιδιότητες. Η αυξανόμενη ζήτηση για όλο και πιο υγιή και κατάλληλα προϊόντα, επηρεάζει την παραγωγή και συντήρησή τους [3]. Για παράδειγμα αυτή τη περίοδο υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση σε φρούτα και λαχανικά και παράγωγα αυτών, λόγω του ότι οι άνθρωποι έχουν κάνει μια στροφή προς την υγιεινή διατροφή. Οι διατροφικές συνήθειες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δομή της ανθρώπινης κοινωνίας από τις αρχές της, και εξαρτώνται από κοινωνικοοικονομικούς και πολιτιστικούς παράγοντες. Οι άνθρωποι δεν τρώνε μόνο για να ικανοποιήσουν τις φυσιολογικές τους ανάγκες, αλλά και για να ικανοποιήσουν τις κοινωνικές τους ανάγκες [3]. Το φαγητό πρέπει να είναι ευχάριστο για τον καταναλωτή, και όχι βαρετό, μιας και οι άνθρωποι προτιμούν να τρώνε διάφορα είδη τροφίμων, με διαφορετικές γεύσεις και αρώματα. Αυτό φυσικά δεν ισχύει μόνο στις ανεπτυγμένες χώρες αλλά και στις υποανάπτυκτες όπου παραδείγματος χάριν το ρύζι και τα δημητριακά μπορούν να αντικατασταθούν από τη πατάτα.

Η φθορά και η επιδείνωση του κάθε προϊόντος εξαρτάται κυρίως από τη φύση του. Ορισμένα προϊόντα φθείρονται αμέσως, ενώ άλλα διατηρούνται για μεγαλύτερα, αλλά πεπερασμένα, διαστήματα [3]. Πολλές αλλαγές λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα (Σχήμα 1.1) τόσο κατά την επεξεργασία τους όσο και κατά την αποθήκευσή τους. Περιβαλλοντικοί παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η πίεση, το οξυγόνο και το φως μπορούν να ενεργοποιήσουν μηχανισμούς οι οποίοι να προκαλέσουν υποβάθμιση στα τρόφιμα. Το αποτέλεσμα είναι, η αλλοίωση των προϊόντων σε τέτοιο βαθμό ώστε να θεωρηθούν επικίνδυνα προς βρώση. Επίσης οι λάθος χειρισμοί των προϊόντων έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία βλαβών κατά τη

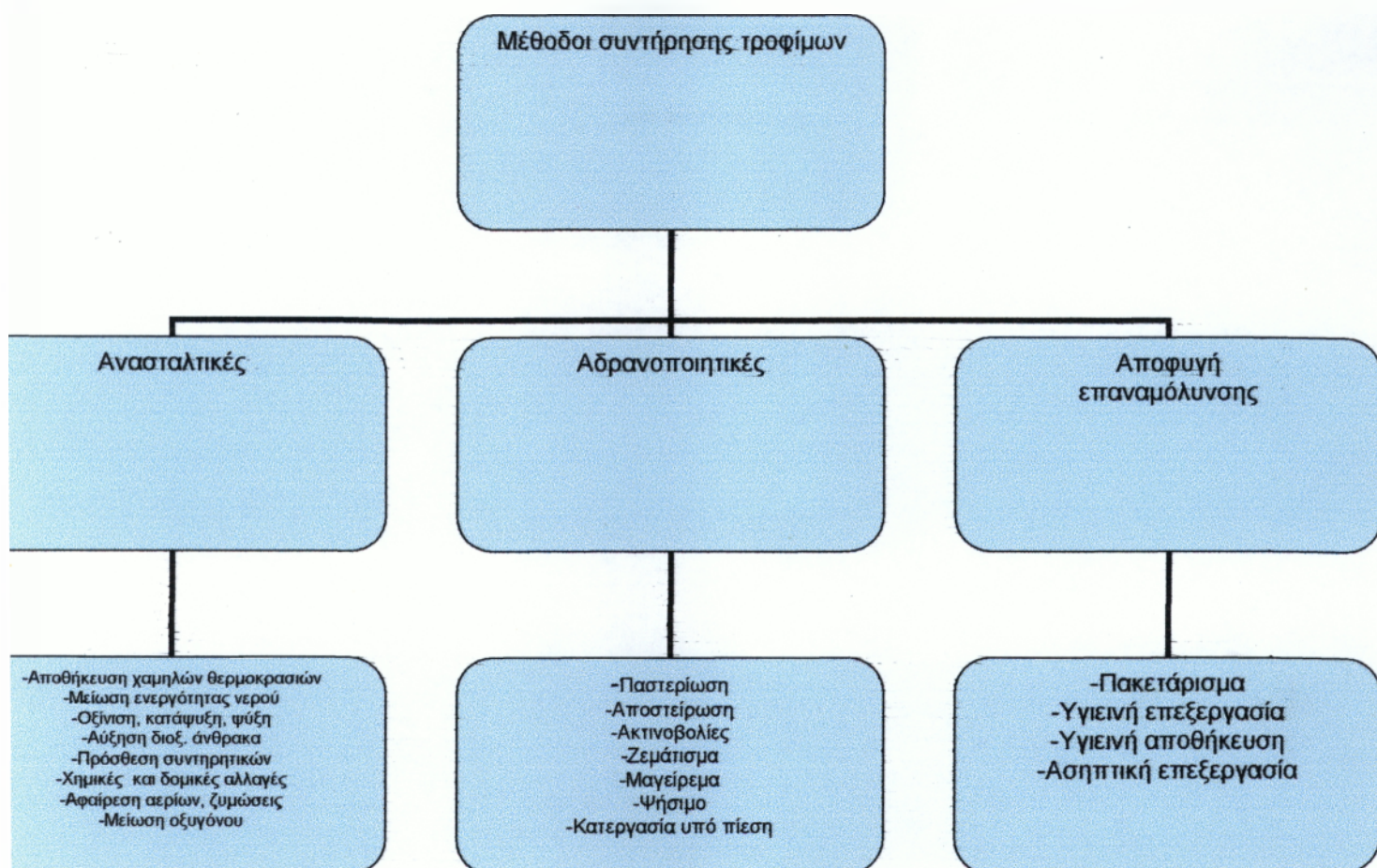
συγκομιδή, την επεξεργασία και τη διανομή, μειώνοντας τη “ ζωή τους στο ράφι ” [3]. Για παράδειγμα, ο μωλωπισμός των φρούτων και λαχανικών κατά τη συγκομιδή τους έχει σαν αποτέλεσμα το σάπισμά τους. Επίσης, κονδυλώδη και φυλλώδη λαχανικά χάνουν νερό όταν βρίσκονται σε ατμόσφαιρες με χαμηλή υγρασία, και προοδευτικά μαραίνονται. Οι μηχανικές ζημιές επίσης κάνουν τα τρόφιμα περισσότερο ευαλλοίωτα. Τραύματα και γρατζουνιές προκαλούν περαιτέρω χημική και μικροβιακή φθορά στα τρόφιμα. Ενζυμικές επίσης αντιδράσεις αλλάζουν την ποιότητα των τροφίμων, αλλάζοντας κατά περιστάσεις το χρώμα τους, τη γεύση και το άρωμα, ή τη θρεπτική τους αξία. Η παρουσία του οξυγόνου, το οποίο περιβάλλει τα τρόφιμα, έχει ως αποτέλεσμα την άμεση, και με μεγάλη ταχύτητα, εμφάνιση μεγάλων ποσοστών οξείδωσης σε αυτά. Τέλος, το οξυγόνο, το νερό και το pH, επιφέρουν σημαντικές αλλαγές σε τρόφιμα που καταλύονται από ένζυμα [3].



Σχ. 1.1 Μηχανισμοί απώλειας ποιότητας

Γίνεται λοιπόν φανερό από τα παραπάνω, ότι η ανάγκη συντήρησης των προϊόντων, και κυρίως των φρούτων και λαχανικών, είναι επιτακτική υπό τη προϋπόθεση ότι η συντήρηση γίνεται στις καταλληλότερες για τα τρόφιμα συνθήκες (ούτως ώστε να παραδίδονται στους καταναλωτές σχεδόν στη κατάσταση που ήταν κατά τη συγκομιδή τους). Ανάλογα με τον τρόπο δράσης, οι κυριότερες μέθοδοι συντήρησης μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες (Σχήμα 1.2) :

- Αυτές που επιβραδύνουν ή αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη και τη χημική φθορά
- Αυτές που αδρανοποιούν βακτήρια, ζύμες, μύκητες και ένζυμα
- Αυτές που αποφεύγουν την επαναμόλυνση μετά την επεξεργασία [3].



Σχ. 1.2 Κυριότερες τεχνικές συντήρησης τροφίμων

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής είναι πρώτιστα η μελέτη των ιδιοτήτων του νερού και οι διάφορες μεταβολές που υφίσταται αυτό τόσο κατά τη ψύξη των τροφίμων, όσο και κατά τη κατάψυξη και απόψυξή τους. Βέβαια επειδή γίνεται αναφορά σε τρεις μεθόδους, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη συντήρηση των τροφίμων, είναι αναγκαία και απαραίτητη η ύπαρξη κάποιας αναφοράς και σε αυτές. Κατ' αυτό τον τρόπο λοιπόν, αυτή η πτυχιακή χωρίζεται σε τρία κυρίως κεφάλαια (στα οποία και δίνεται περισσότερη βαρύτητα), και τρία κεφάλαια μικρότερης, αλλά ουσιαστικής σημασίας για τη δομή της εργασίας.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται λόγος γενικά για τη συντήρηση των τροφίμων, τις μεθόδους συντήρησής τους, και φυσικά τους μηχανισμούς υποβίβασης της ποιότητας των τροφίμων, λόγω των οποίων είναι αναγκαία η συντήρησή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται λόγος γενικά για το νερό, τη σημαντικότητά του και το ρόλο που διαδραματίζει στη διατήρηση της ζωής πάνω στο πλανήτη Γη. Επίσης γίνεται αναφορά και σε κάποιες ιδιότητες του νερού, χάρις τις οποίες πραγματοποιούνται στα τρόφιμα τόσες μεταβολές.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με τη ψύξη των τροφίμων. Αρχικά γίνεται αναφορά στη ψύξη γενικά και στις μεθόδους ψύξης που χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση των τροφίμων. Στη συνέχεια γίνεται λόγος για τις ιδιότητες του νερού κατά την ψύξη και οι αλλαγές που γίνονται, ενώ το τέλος του κεφαλαίου αναφέρεται στις επιπτώσεις που έχει η συγκεκριμένη μέθοδος συντήρησης στα τρόφιμα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τη κατάψυξη των τροφίμων. Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αρχικά γίνεται αναφορά στις μεθόδους κατάψυξης, στη συνέχεια μνημονεύεται η οποιαδήποτε αλλαγή υφίσταται το νερό κατά τη διάρκεια

της κατάψυξης, ενώ στο τέλος αναφέρονται οι αλλαγές των τροφίμων όταν συντηρούνται σε συνθήκες κατάψυξης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για την απόψυξη των τροφίμων. Όπως και στα προηγούμενα δυο κυρίως κεφάλαια, αναφέρονται κατά σειρά οι μέθοδοι απόψυξης, οι ιδιότητες του νερού και στο τέλος οι επιπτώσεις στα τρόφιμα.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο, αναφέρεται η ανάγκη και περαιτέρω εξέλιξη , τόσο επιστημονικά όσο και τεχνολογικά των μεθόδων συντήρησης, ούτως ώστε να επιτευχθεί καλύτερη “ διατήρηση στο ράφι ” των προϊόντων, και να έχουν όσο το δυνατόν την ίδια ποιότητα με αυτή των φρέσκων προϊόντων.

Κλείνοντας την αναφορά σε αυτή τη πτυχιακή εργασία, πρέπει να αναφερθεί η μεγάλη συμβολή του καθηγητή μου, κ. ΙΩΑΝΝΗ ΚΑΠΟΛΟΥ, τόσο στη παροχή πληροφοριών ως προς την αναζήτηση κατάλληλης βιβλιογραφίας, όσο και στη βοήθεια εκπόνησής της, με απαραίτητες και ορθές παρατηρήσεις. Του οφείλω λοιπόν ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ...

2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΝΕΡΟ

Το νερό (Σχήμα 2) είναι η αφθονότερη ουσία πάνω στη γη και ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά των τροφίμων και των βιολογικών συστατικών. Καλύπτει τα 2/3 της Γης, ενώ επίσης αποτελεί το 70 % του ανθρωπίνου σώματος και το 90 % του αίματος. Οι αρχαίοι το θεωρούσαν το πιο πολύτιμο αγαθό και δεν είναι τυχαίο που ο Θαλής ο Μιλήσιος το είχε χαρακτηρίσει ως 'η αρχή των πάντων', ενώ σύμφωνα με τον Αριστοτέλη ήταν ένα από τα τέσσερα βασικά στοιχεία. Η ζωή στη Γη, τόσο των ζώων όσο και των φυτών είναι ένα φαινόμενο το οποίο οφείλεται στις ιδιότητες του νερού. Κάτι τέτοιο ισχύει και στα ζωντανά κύτταρα, όπου το νερό είναι επίσης το πιο άφθονο συστατικό, απαντάται στο 60 % – 90 % των κυττάρων (με μερικές φυσικά εξαιρέσεις, όπως παραδείγματος χάριν οι σπόροι και τα σπόρια, στα οποία το νερό βρίσκεται σε πολύ μικρό ποσοστό). Επίσης απαντάται στις τροφές σε μεγάλο ποσοστό. Ενδεικτικά μπορεί ν'αναφερθεί ότι το γάλα περιέχει 87 % κ.ο., οι πατάτες 78 % κ.ο., τα αβγά 74 % κ.ο. και λαχανικά και τα φρούτα μέχρι 93 % κ.ο. νερό [4]. Με λίγα λόγια δεν θα μπορούσε να υπάρξει ζωή πάνω στη Γη χωρίς την ύπαρξη του νερού.



Σχ. 2 Νερό

Το νερό συμμετείχε σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του πλανήτη και κινείται αέναα, με διάφορες “ αμφιέσεις ”, εναλλασσόμενο στις τρεις μορφές του: τη στερεή (πάγος, χιόνι) , την υγρή (νερό πηγών, θαλασσών), και την αέρια (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα). Έχει ταχύτατο κύκλο στην ατμόσφαιρα και παρόλο που όπως αναφέραμε είναι το πιο άφθονο αγαθό πάνω στον πλανήτη, το πόσιμο νερό αποτελεί μόλις το 1/ 10 της συνολικής του ποσότητας [5]. Βέβαια μέχρι τον 18^ο αιώνα θεωρούταν ως στοιχείο. Πρώτος ο πατέρας της νεότερης Χημείας Λαβουαζιέ, απέδειξε ότι είναι ένωση του υδρογόνου και του οξυγόνου. Ο χημικός του τύπος είναι H₂O. Από φυσικής άποψης, το νερό είναι υγρό, διαυγές, άχρωμο σε λεπτά στρώματα, ενώ κατέχει κυανό χρώμα σε μεγάλους όγκους. Η καθαρή ουσία είναι άγευστη, ενώ το καλό πόσιμο νερό έχει ευχάριστη γεύση, που οφείλεται στα διαλυμένα άλατα και αέρια. Από χημικής άποψης, το νερό έχει ποικίλη χημική δράση. Σχηματίζει ενώσεις “ δια προσθήκης ” με πολλά άλατα, καθώς και με πολλές άλλες ουσίες. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται ένυδρες ενώσεις ή υδρίτες και είναι συνήθως κρυσταλλικές. Άλλος σημαντικός τύπος αντίδρασης του νερού είναι η υδρόλυση, ενώ τέλος το νερό επιτελεί αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, όπου δρα άλλοτε ως οξειδωτικό και άλλοτε ως αναγωγικό μέσο [5].

Φυσικά όπως προαναφέρθηκε, το νερό αποτελεί σημαντικό συστατικό των τροφίμων έχοντας άμεση επίδραση στις ποιοτικές ιδιότητες ,τη σταθερότητα, τις ιδιότητες της υψής (η έλλειψή του έχει σαν αποτέλεσμα παραδείγματος χάριν μερικά φρούτα να ζαρώνουν), αλλά και την επεξεργασία του τροφίμου [6]. Λόγω του νερού τα προϊόντα παραμένουν φρέσκα, και φυσικά φθαρτά. Η φυσική περιεκτικότητα σε υγρασία των φρέσκων προϊόντων διατηρείται με σκοπό τη διατήρηση της ποιότητας, όμως εάν αντικειμενικός σκοπός είναι η επιμήκυνση της ζωής του προϊόντος στο ράφι, μια προσέγγιση θα ήταν μέσω της μείωσης της περιεκτικότητάς του σε υγρασία.

Παρόλα αυτά, η μείωση της περιεκτικότητας του σε υγρασία, μπορεί να επιφέρει δραματικά αποτελέσματα στο προϊόν. Παραδείγματος χάριν η τραγανότητα των φρέσκων προϊόντων μειώνεται εφόσον υπάρξει απώλεια της κυτταρικής πίεσης. Αντιθέτως, προϊόντα όπως δημητριακά τα οποία τρώγονται έχοντας χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, μπορούν να απορροφήσουν υγρασία κατά την αποθήκευσή τους να σκληρύνουν και να αποκτήσουν υφή λάστιχου [6].

Παρόλο που χημικά το νερό είναι μια απλή ουσία, μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολύ ασυνήθιστο, κατέχοντας πολυάριθμες ιδιότητες όπως σχετικά υψηλά σημεία βρασμού και ψύξης, υψηλή ικανότητα απορρόφησης θερμότητας, υψηλές λανθάνουσες θερμότητες τήξης και εξάτμισης, ασυνήθιστες αλλαγές πυκνότητας, και υψηλή επιφανειακή τάση [7].

Επιπρόσθετα, το νερό συμπεριφέρεται διαφορετικά αναλόγως το περιβάλλον στο οποίο θα βρεθεί. Παραδείγματος χάριν, η προσθήκη ορισμένων διαλυτών ουσιών στο καθαρό νερό, μπορεί ουσιαστικά να αυξήσει το σημείο βρασμού του, μειώνοντας το σημείο ψύξης του. Είναι γνωστό πως τα μόρια του νερού συνδέονται με τις διαλυτές ουσίες με διάφορους τρόπους (για παράδειγμα οι δεσμοί υδρογόνου που αναφέρονται παρακάτω). Η ικανότητα αυτή του νερού να συνδέεται, θεωρείται ως η σημαντικότερη ιδιότητά του, αρμόδια για τις ασυνήθιστες φυσικές ιδιότητες και τη λειτουργία του. Η έλξη μεταξύ των μορίων του νερού είναι μια σημαντική συνέπεια της πολικότητας του νερού. Η έλξη που δημιουργείται μεταξύ ενός θετικά φορτισμένου ατόμου υδρογόνου ενός μορίου νερού και ενός αρνητικά φορτισμένου ατόμου ενός άλλου μορίου, δημιουργεί ένα δεσμό ο οποίος είναι γνωστός ως δεσμός υδρογόνου. Σε ένα δεσμό υδρογόνου μεταξύ δυο μορίων νερού, το άτομο του υδρογόνου παραμένει ενωμένο με ομοιοπολικό δεσμό με το άτομο οξυγόνου που προσέφερε το υδρογόνο για να σχηματιστεί ο δεσμός υδρογόνου [4].

Στη κοινή μορφή του πάγου, κάθε μόριο νερού συνδέεται με τέσσερις δεσμούς υδρογόνου. Η απαραίτητη ενέργεια για τη διάσπαση αυτών των δεσμών είναι $23 \text{ kJ} \backslash \text{mol}$ ενώ για τη διάσπαση ενός δεσμού υδρογόνου, όταν το νερό βρίσκεται στην υγρή μορφή, είναι μικρότερη των $20 \text{ kJ} \backslash \text{mol}$. Είναι η ιδιότητα των μορίων του νερού να σχηματίζουν τέσσερις δεσμούς υδρογόνου το καθένα που δίνουν στον πάγο ένα ασυνήθιστα υψηλό σημείο τήξης. Η πυκνότητα των περισσότερων ουσιών αυξάνεται κατά το πάγωμα καθώς η κίνηση των μορίων επιβραδύνεται και σχηματίζονται στενά δεμένοι κρύσταλλοι. Η πυκνότητα του νερού αυξάνεται και αυτή καθώς αυτό ψύχεται, μέχρι τους $4 \text{ }^\circ\text{C}$, όπου στη συνέχεια (δηλαδή κάτω από τους $4 \text{ }^\circ\text{C}$) το νερό διαστέλλεται. Και αυτή η ιδιότητα του νερού οφείλεται στην ικανότητα των μορίων του να σχηματίζουν τέσσερις δεσμούς υδρογόνου με τα γύρω μόρια τους [6]. Επειδή ο πάγος είναι λιγότερο πυκνός από την υγρή μορφή του νερού, μπορεί και επιπλέει, ενώ το νερό ψύχεται από πάνω προς τα κάτω. Η ιδιότητα του νερού αυτή εμπεριέχει σημαντική βιολογική αξία, αφού κατά κάποιο τρόπο παρέχεται μόνωση από τη χαμηλή θερμοκρασία στα πλάσματα που ζούνε μέσα σε κρύες λίμνες. Χωρίς την “ανωμαλία” αυτή της πυκνότητας του νερού, η ζωή στον πλανήτη μας δεν θα υπήρχε, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, εξαιτίας της βαθμιαίας ψύξης του νερού στην επιφάνεια της Γης. Η ιδιορρυθμία της πυκνότητας του νερού είναι η αιτία της αποσάθρωσης των βράχων. Το νερό που εισέρχεται στις ρωγμές των βράχων στερεοποιείται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και προκαλεί την αποσάθρωσή τους. Ακόμη, το σπάσιμο των σωλήνων διανομής του νερού κατά το χειμώνα οφείλεται στην αύξηση του όγκου του νερού κατά τη μετάβαση από την υγρή στη στερεή κατάσταση [5].

Τέλος, δυο ακόμη αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά του νερού είναι η ειδική του θερμότητα και η θερμότητα εξάτμισής του [6]. Ως ειδική θερμότητα μιας ουσίας

ορίζεται η θερμότητα που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου της ουσίας κατά 1 °C. Στη περίπτωση του νερού, χρειάζεται μεγάλη ποσότητα θερμότητας για να αυξηθεί η θερμοκρασία του νερού λόγω των δεσμών υδρογόνου που δημιουργούν τα μόρια του νερού μεταξύ τους. Η ύπαρξη του νερού σε αφθονία μέσα στα κύτταρα όλων των οργανισμών σημαίνει ότι οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας ελαχιστοποιούνται, γεγονός με μεγάλη βιολογική σημασία αφού οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα είναι ευαίσθητες στις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας. Όσο αφορά τη θερμοκρασία εξάτμισης του νερού, αυτή είναι υψηλότερη σε σχέση με πολλά άλλα υγρά. Όπως συμβαίνει και στη τήξη, ένα μεγάλο ποσό θερμότητας απαιτείται για να εξατμίσει το νερό, αφού πρώτα έχουν σπάσει οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων του. Στους ζωντανούς οργανισμούς, επειδή κατά την εξάτμιση του νερού απορροφάται μεγάλη ποσότητα θερμότητας, υπάρχουν μηχανισμοί όπως η διαπνοή, οι οποίοι μειώνουν δραστικά τη θερμοκρασία [6]. Οι θερμικές ιδιότητες και γενικά όλες οι ιδιότητες του νερού το καθιστούν ένα σταθερότατο περιβάλλον για τους ζωντανούς οργανισμούς, καθώς επίσης και ένα άριστο μέσο για τις χημικές διεργασίες της ζωής.

Παρόλο όμως που το νερό αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό που μας παρέχει η φύση, τόσο άμεσα όσο και έμμεσα, μπορεί πολύ εύκολα από πηγή πλούτου να μετατραπεί σε μια διαρκή και αόρατη απειλή εάν οι άνθρωποι, και πιο συγκεκριμένα οι κυβερνήσεις των χωρών δεν πάρουν δραστικά μέτρα για την διαχείριση και τη προστασία του. Η διασφάλιση της ποιότητας του νερού και των υδατικών πόρων αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη κοινωνική και οικονομική ζωή, γι'αυτό είναι επιτακτική η ανάγκη χάραξης συγκεκριμένης μακροπρόθεσμης στρατηγικής [7]. Ανάμεσα στις σοβαρές απειλές που οφείλονται στη μη ορθολογική χρήση του νερού και μπορούν να επηρεάσουν την υγεία και την ύπαρξη του ανθρώπου, είναι η

ρύπανση και η μόλυνση των επιφανειακών, των υπόγειων νερών και της θάλασσας. Ιδιαίτερα για τους ωκεανούς το πρόβλημα είναι μεγάλο, αρκεί να αναλογιστεί κανείς ότι το νερό των ωκεανών καλύπτει το 70 % του πλανήτη μας, και παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ βιοτικών, αβιοτικών και κλιματολογικών παραγόντων [7]. Όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί γεννήθηκαν κοντά στο νερό και από το νερό. Είναι εύλογο λοιπόν να αποτελεί τον όρο για την ανάπτυξη, την ευημερία, την υγιεινή διατροφή, την ίδια την ύπαρξη ζωής.

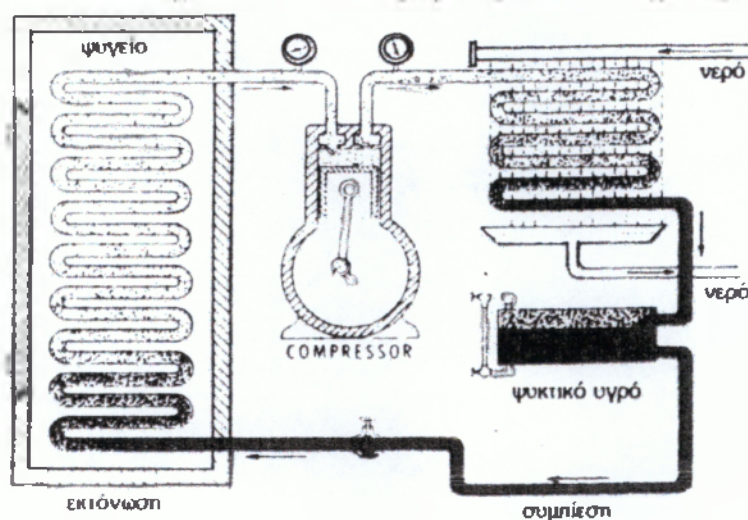
3. ΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΨΥΞΗΣ

Η ψύξη είναι η μοναδική μέθοδος όπου η θερμοκρασία ενός προϊόντος μειώνεται μεταξύ 8 °C και -1 °C. Χρησιμοποιείται για την ελάττωση του βαθμού των βιοχημικών και μικροβιολογικών αλλαγών, και επομένως για την επιμήκυνση της “ ζωής στο ράφι ” των φρέσκων και επεξεργασμένων προϊόντων [2]. Προκαλεί ελάχιστες αλλαγές σε “ αισθητήρια ” χαρακτηριστικά και θρεπτικές ουσίες των προϊόντων, και σαν αποτέλεσμα, τα ψυγμένα τρόφιμα ξεχωρίζονται από τους καταναλωτές για την υψηλή τους ποιότητα, την καταλληλότητά τους, την ευκολία τους στην ετοιμασία, και τη φρεσκάδα, τη φυσικότητα και την υγιεινή τους. Σε πολλές περιπτώσεις η ψύξη χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους, όπως η ζύμωση και η παστερίωση, έτσι ώστε να επιμηκυνθεί η “ ζωή στο ράφι ” των προϊόντων που επεξεργάζονται ήπια. Παρόλα αυτά δεν ψύχονται όλα τα προϊόντα χωρίς επιπτώσεις στη ποιότητά τους, π.χ. τροπικά, υποτροπικά και κάποια εύκρατα φρούτα υποφέρουν από ζημιές όταν διατηρούνται σε θερμοκρασίες 3-10 °C πάνω από το σημείο ψύξης τους [2].

Ότι ψυχρές εποχές και κρύες τοποθεσίες συμβάλουν στη συντήρηση των τροφίμων ήταν γνωστό ανέκαθεν. Επί ένα διάστημα ο πάγος, είτε φυσικός είτε τεχνητός, χρησιμοποιούνταν σε ψυγεία τροφίμων. Η συντήρηση όμως τροφίμων με ψύξη σε βιομηχανική κλίμακα άρχισε όταν επινοήθηκε η ψυκτική μηχανή κοντά στο 1850. Η μηχανή αυτή στηρίζεται στην αρχή της φυσικής ότι όταν ένα υγρό εξατμίζεται, η

θερμοκρασία του κατεβαίνει. Ένα απλό διάγραμμα της μηχανής φαίνεται στο Σχήμα 3.1 [8].



Σχ. 3.1 Διάγραμμα ψυκτικής μηχανής

Τα κύρια μέρη της ψυκτικής μηχανής είναι α) ο συμπιεστής του ψυκτικού αερίου, β) η σωλήνωση συμπύκνωσης όπου το αέριο υγροποιείται και γ) η σωλήνωση εξατμίσεως όπου το υγρό εξατμίζεται και δημιουργεί ψύξη μετά από εκτόνωση. Ένα οικολογικό αέριο κυκλικά υγροποιείται και εξατμίζεται στο κλειστό κύκλωμα, το οποίο αντικατέστησε το αρχικά χρησιμοποιούμενο φρέον (CF_2Cl_2) και την αμμωνία [8].

Στα συνήθη ψυγεία η θερμοκρασία κυμαίνεται από $5\text{ }^\circ\text{C}$ έως $-1\text{ }^\circ\text{C}$. Όπως αναφέρθηκε και πριν, η πρόληψη της φθοράς των ιστών οφείλεται στην αναστολή της δράσης των μικροβίων και των ενζύμων (βέβαια μερικά ψυχρόφιλα μικρόβια αυξάνονται κάτω από τους $3,5\text{ }^\circ\text{C}$). Ένας σημαντικός παράγοντας σχετικά με την εμπορεύσιμη ζωή των προϊόντων είναι η θερμοκρασία. Η εμπορεύσιμη περίοδος στους $0\text{ }^\circ\text{C}$ σε σύγκριση με εκείνη στους $21\text{ }^\circ\text{C}$ (θερμοκρασία δωματίου) είναι περίπου 5-10 φορές μεγαλύτερη για τα φρούτα, 4 φορές μεγαλύτερη για τα φυλλώδη και τα ριζώδη λαχανικά και 3 φορές μεγαλύτερη για αφυδατωμένα λαχανικά και

ξηρούς καρπούς. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη διάρκεια αποθήκευσης είναι η σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει τα προϊόντα [8]. Στους παρακάτω πίνακες αναφέρεται η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η διάρκεια αποθήκευσης που συνιστώνται για μερικά ευαλλοίωτα τρόφιμα (Πίνακες 3.1 - 3.2 και 3.3) [9].

Πίνακας 3.1 Θερμοκρασίες ψύξης που δίνουν το μεγαλύτερο χρόνο αποθήκευσης διάφορων τροφίμων (η ατμόσφαιρα περιέχει κανονικά ποσά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα)

Θερμοκρασία	Προϊόν
Ακριβώς πάνω από το σημείο κατάψυξης	μήλα (μερικές ποικιλίες), βερίκοκα, κίτρινα λεμόνια, νεκταρίνια, πορτοκάλια Φλώριδας, ροδάκινα, αχλάδια, δαμάσκηνα, σπαράγγια, μπρόκολα, λάχανο, αποφυλλωμένα καρότα, κουνουπίδι, σέλινο, γλυκό καλαμπόκι, αρακάς πράσινος, σπανάκι, ραδίκια
2 έως 7 °C	μήλα (μερικές ποικιλίες), πεπόνι, πορτοκάλια (εκτός Φλώριδας), ανανάς (ώριμος), πατάτες (πρώιμες)
Πάνω από 7 °C	αβοκάντο, μπανάνες, γκρέιπ φρουτ, λεμόνια (πράσινα), λιμετιές, μάνγκο, ανανάς (πράσινος), ντομάτες, φασολάκια (πράσινα), αγγούρια, πατάτες (όψιμες, γλυκές)

Πίνακας 3.2 Σχετική υγρασία για διάφορα τρόφιμα που αποθηκεύονται σε άριστες θερμοκρασίες ψύξης (η ατμόσφαιρα περιέχει κανονικά ποσά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα)

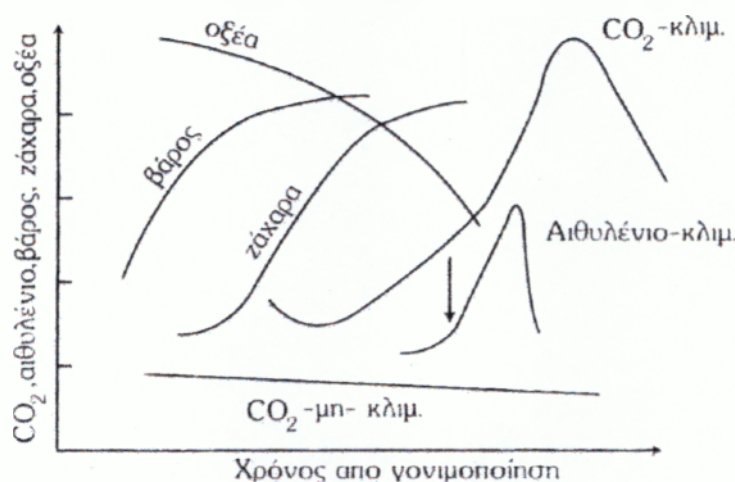
Σχετική υγρασία	Προϊόν
Μικρότερη από 85 %	σκόρδο, ξηροί καρποί, κρεμμύδια (αφυδατωμένα), αφυδατωμένα φρούτα, χουρμάδες
85 - 90 %	κίτρινες μπανάνες, εσπεριδοειδή, πεπόνι, ροδάκινα, ανανάς, δαμάσκηνα, νεκταρίνια, πατάτες (γλυκές και πρώιμες)
90 - 95 %	μήλα, πράσινες μπανάνες, αχλάδια, φυλλώδη λαχανικά, πράσινος αρακάς, ριζώματα (αποφλοιωμένα), πατάτες όψιμες

Πίνακας 3.3 Κατά προσέγγιση χρόνος αποθήκευσης διάφορων τροφίμων που αποθηκεύονται σε άριστες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (με κανονικά ποσά O₂ και CO₂)

Μέγιστος χρόνος αποθήκευσης	Προϊόν
Μικρότερος από 2 εβδομάδες	βερίκοκα, Μπανάνες, ντομάτες (σκληρές, εμπορικά ώριμες), σπαράγγια, πράσινα φασόλια, μπρόκολα, γλυκό καλαμπόκι, αγγούρια, πράσινος αρακάς, σπανάκι
2 έως 6 εβδομάδες	αβοκάντο, γκρέϊπ φρούτ, κίτρινα λεμόνια, λιμεπίες, νεκταρίνια, ροδάκινα, ανανάς, δαμάσκηνα, ντομάτες (φυσιολογικά ώριμες, πράσινες), μαρούλια, πρώιμες πατάτες, ραδίκια
1 έως 4 μήνες	σέλινο, λεμόνια πράσινα, πορτοκάλια
Μεγαλύτερος από 6 μήνες	μήλα, αχλάδια, λάχανο(μάπα), καρότα αποφυλλωμένα, ώριμα, πατάτες (όψιμες, γλυκές)

Ένας άλλος παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην αποθηκευτική περίοδο των προϊόντων είναι η συγκέντρωση σε O₂ και CO₂ στον αέρα που βρίσκονται τα προϊόντα [8]. Προτού αναφέρουμε όμως στην επίδραση των δυο αυτών αερίων, πρέπει πρώτα να αναφερθούμε στην αναπνευστική λειτουργία των φυτικών ιστών που συνεχίζεται και μετά τη συγκομιδή των προϊόντων. Τα φυτικά προϊόντα καταναλώνουν O₂ με ρυθμό που διαφέρει από το ένα προϊόν στο άλλο και που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και τη σύσταση του αέρα που τα περιβάλλει. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία επιταχύνεται η καύση. Ελάττωση του O₂ και αύξηση του CO₂ μειώνουν τον αναπνευστικό ρυθμό, δηλαδή τη ποσότητα οξυγόνου που αναλίσκεται και διοξειδίου του άνθρακα που εκλύεται ανά Kg ιστού την ώρα. Ενδιαφέρον έχει η πορεία του αναπνευστικού ρυθμού κατά την ωρίμανση και ανάπτυξη ενός φρούτου [8]. Υπάρχουν φρούτα που δεν αλλάζουν ουσιαστικά αναπνευστικό ρυθμό από τη γονιμοποίηση έως τη πλήρη ωρίμανση του καρπού, ενώ άλλα εμφανίζουν μια απότομη αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού τους που

ακολουθείται από ταχεία πτώση του. Η ξαφνική αυτή αύξηση του αναπνευστικού ρυθμού καλείται κλιμακτήριος ενώ τα προϊόντα που την εμφανίζουν κλιμακτηριακά (Σχήμα 3.2). Η κλιμακτηριακή έξαρση ακολουθεί την έντονη παραγωγή αιθυλενίου από το προϊόν, που είναι μια πτητική φυτορμόνη. Ορισμένα κλιμακτηριακά φρούτα είναι: αβοκάντο, ακτινίδιο, αχλάδι, βερίκοκο, δαμάσκηνο, μάνγκο, μήλο, μπανάνα, παπάγια, πορτοκάλι, ροδάκινο, ντομάτα. Μη κλιμακτηριακά φρούτα είναι: αγγούρι, ανανάς, γκρεμπ-φρουτ, κεράσι, λεμόνι, πεπόνι, σταφύλι, σύκο, φράουλα [8].



Σχ. 3.2 Τυπικές μεταβολές κατά την ωρίμανση κλιμακτηριακών και μη κλιμακτηριακών φρούτων

Απ'όλα τα παραπάνω εύκολα γίνεται φανερός ο μεγάλος ρόλος που διαδραματίζουν αυτοί οι παράγοντες στη τελική ποιότητα των συντηρούμενων υπό ψύξη προϊόντων, οπότε θα πρέπει ανάλογα το προϊόν να ρυθμίζονται κατάλληλα ώστε να αυξάνεται όσο το δυνατόν η "ζωή του στο ράφι". Θα πρέπει στο τέλος να αναφερθεί ο επίσης σημαντικός ρόλος που διαδραματίζουν οι διεργασίες που πρέπει να γίνονται προτού ψυχθεί ένα προϊόν, και συγκεκριμένα η πρόψυξη των προϊόντων.

Πολλά τρόφιμα χρειάζονται ταχεία ψύξη πριν από την αποθήκευση ή την αποστολή τους σε μακρινές αγορές ή την περαιτέρω επεξεργασία τους [8]. Η πρόψυξη μπορεί να γίνει με ρεύμα κρύου αέρα, με κρύο νερό, με τεμαχισμένο πάγο ή με κενό.

Η πρόψυξη με κρύο αέρα είναι απλή, αλλά μπορεί να αφυδατώσει το τρόφιμο. Εσπεριδοειδή, σταφύλια, πεπόνια, φασολάκια, νεκταρίνια, κεράσια, βερίκοκα κ.α. ψύχονται με αέρα. Η πρόψυξη με κρύο νερό είναι ταχεία και προτιμάται όταν υπάρχει αρκετό καθαρό νερό. Συνίσταται προσθήκη αντισηπτικού, παραδείγματος χάριν χλωρίου, στο νερό και όταν ακόμα η θερμοκρασία του είναι 0 °C. Η ψύξη γίνεται με εμβάπτιση ή με καταψύξη. Σέλινο, σπαράγγι, μπιζέλια, ραπανάκια, καρότα, ροδάκινα, βύσσινα κ.α. ψύχονται επίσης σε νερό. Πρόψυξη με τεμαχισμένο πάγο εφαρμόζεται στα λάχανα, ροδάκινα, πεπόνια, καρότα κ.α. Πρόψυξη με κενό ενδείκνυται για προϊόντα με μεγάλη επιφάνεια και πολύ υγρασία όπως τα μαρούλια. Η ψύξη επιτυγχάνεται με την εξάτμιση του νερού από το λαχανικό υπό μεγάλο κενό. Υπάρχουν θάλαμοι κενού που χωρούν ολόκληρα βαγόνια τρένου γεμάτα με μαρούλια, σέλινα, κουνουπίδια κ.α [8].

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΨΥΞΗΣ

Οι γνωστές και χρησιμοποιημένες μέθοδοι ψύξης είναι οι εξής:

α) Συντήρηση σε ατμόσφαιρα κοινού αέρα και θερμοκρασίες κοινής ψύξης

Στους πίνακες 3.4.1 και 3.4.2 φαίνονται οι θερμοκρασίες και οι σχετικές υγρασίες που συνιστώνται για την επίτευξη του μέγιστου χρόνου αποθήκευσης διάφορων φθαρτών τροφίμων που αποθηκεύονται σε κοινή ψύξη. Όταν η άριστη θερμοκρασία αποθήκευσης είναι αρκετά πάνω από το σημείο που το προϊόν καταψύχεται, αυτό υποδεικνύει ότι το προϊόν είναι ευαίσθητο στις βλάβες ψύχους. Η θερμοκρασία του αέρα πρέπει να διαφέρει περίπου ένα βαθμό Κελσίου από τη συνιστωμένη τιμή.

Η ολική διακύμανση της σχετικής υγρασίας γενικά δε θα πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 3 % έως 5 % [9].

Κατά τη μεταφορά σε μικρές αποστάσεις ή κατά τη προσωρινή αποθήκευση, δεν είναι δυνατόν να διατηρήσουμε άριστες συνθήκες για κάθε προϊόν, γιατί χρειάζεται ένας αντικοινομικός αριθμός ξεχωριστών αποθηκών και μονάδων μεταφοράς. Ικανοποιητική λύση βρίσκεται αφού οι αλλαγές της ποιότητας εξαρτώνται από το χρόνο και τη θερμοκρασία. Έτσι, κατά τη μεταφορά ή την προσωρινή αποθήκευση είναι δυνατόν οι συνθήκες να αποκλίνουν κάπως από τις άριστες θερμοκρασίες χωρίς να προκληθούν απαράδεκτες μεταβολές στη ποιότητα [9]. Ένας απλός τρόπος είναι να έχουμε δυο περιβάλλοντα αποθήκευσης, ένα στους 0 °C και 90% σχετική υγρασία και ένα άλλο στους 10 °C και 85-90% σχετική υγρασία. Στους 0 °C μπορεί να γίνει χειρισμός των φρούτων και λαχανικών που δεν υφίσταται βλάβες ψύχους, ενώ στους 10 °C εκείνα που υφίσταται βλάβες ψύχους. Πρέπει φυσικά να λαμβάνονται προφυλάξεις ώστε να αποφευχθεί συναποθήκευση ασυμβίβαστων προϊόντων στον ίδιο χώρο [9].

Πίνακας 3.4.1 Ορισμένες ιδιότητες φρέσκων φρούτων σε εμπορική αποθήκευση

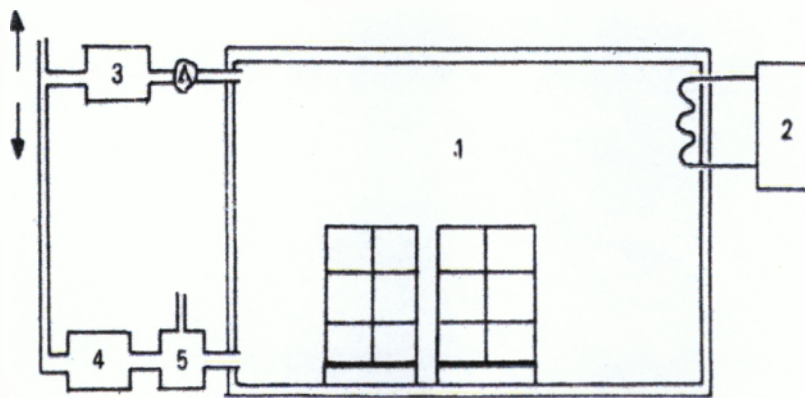
Προϊόν	Θερμοκρασία	Σχ. Υγρασία	Μέσος όρος χρόνου αποθήκευσης	Υψηλότερο σημείο πήξης	Περιεκτικότητα σε νερό	Ειδική θερμότητα
	° F	%		° F	%	Btu/lb·°F
Αβοκάντο	40-45	85-90	2 έως 4 εβδομάδες	31,5	65,4	0,72
Ανανάς	45-55	85-90	2 έως 4 εβδομάδες	30	85,3	0,88
Αχλάδια	29-31	90-95	2 έως 7 μήνες	29,2	82,7	0,86
Βύσσινα	32	90-95	3 έως 7 ημέρες	29	83,7	0,87
Γκρέϊπ Φρουτ Καλιφόρνιας	58-60	85-90	4 έως 6 εβδομάδες	·	88,8	0,91
Γκρέϊπ Φρουτ Φλώριδας	50	85-90	·	30	88,8	0,91
Γλυκολέμονα	48-50	85-90	6 έως 8 εβδομάδες	29,1	86	0,8

Πίνακας 3.4.2 Ορισμένες ιδιότητες φρέσκων φρούτων σε εμπορική αποθήκευση

Προϊόν	Θερμοκρασία	Σχ. Υγρασία	Μέσος όρος χρόνου αποθήκευσης	Υψηλότερο σημείο πήξης	Περιεκτικότητα σε νερό	Ειδική θερμότητα
	° F			° F		
		%			%	Btu/lb/°F
Δαμάσκηνα και Ξηρά δαμάσκηνα	31-32	90-95	2 έως 4 εβδομάδες	30,5	85,7	0,8
Ελιές φρέσκιες	45-50	85-90	4 έως 6 εβδομάδες	29,4	75,2	0,8
Κεράσια	30-31	90-95	2 έως 3 εβδομάδες	28,8	80,4	0,84
Κυδώνια	31-32	90	2 έως 3 μήνες	28,4	85,3	0,83
Λεμόνια	32-40	85-90	1 έως 6 μήνες	29,4	89,3	0,91
Λίτσι	35	90-95	3 έως 5 εβδομάδες	-	81,9	0,88
Μάνγκο	55	85-90	2 έως 3 εβδομάδες	30,3	81,4	0,85
Μήλα	30-40	90	3 έως 8 μήνες	29,3	84,1	0,87
Φραγκοστάφυλλα	31-32	90-95	1 έως 2 εβδομάδες	30,2	84,7	0,88
Βατόμουρα	31-32	90-95	2 έως 3 ημέρες	29,7	84,5	0,88
Φραμπούζ	31-32	90-95	-	30	80,6	0,85
Φράουλες	32	90-95	5 έως 7 ημέρες	30,6	89,9	0,92
Μπανάνες	56-58	90-95	10 έως 20 ημέρες	30,6	74,8	0,8
Νεκταρίνια	31-32	90	2 έως 4 εβδομάδες	30,4	81,8	0,85
Παπάγια	45	85-90	1 έως 3 εβδομάδες	30,4	90,8	0,93
Πορτοκάλια Καλιφόρνιας και Αριζόνας	38-48	85-90	6 έως 8 εβδομάδες	29,7	87,2	0,9
Πορτοκάλια Φλώριδας και Τέξας	32	85-90	8 έως 12 εβδομάδες	30,6	87,2	0,9
Ροδάκινα	31-32	90	2 έως 4 εβδομάδες	30,3	89,1	0,91
Ρόδια	32	90	-	26,6	82,3	0,86
Σταφύλια	30-31	90-95	3 έως 6 μήνες	28,1	81,6	0,85
Σύκα	31-32	85-90	7 έως 10 ημέρες	27,6	78	0,82
Χουρμάδες	0 ή 32	75 ή <	6 έως 12 μήνες	3,7	20	0,38
Βατόμουρα	31-32	90-95	2 έως 3 ημέρες	30,5	84,8	0,88

β) Συντήρηση νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων με μειωμένη πίεση

Ο χρόνος συντήρησης των νωπών οπωροκηπευτικών είναι περιορισμένος εξ' αιτίας των φυσιολογικών μεταβολών που υφίστανται και οι οποίες τελικά τα οδηγούν στη γήρανση και το θάνατο. Η μέθοδος συνίσταται στη διατήρηση των φρούτων σε ένα στεγανό θάλαμο όπου εισάγεται αέρας κορεσμένος σε υγρασία, με τη πίεσή του να είναι τουλάχιστο στο 1/ 10 της ατμοσφαιρικής (Σχήμα 3.3) [10].



Σχ. 3.3 Εγκατάσταση συντήρησης προϊόντων με μειωμένη πίεση (1.θάλαμος , 2.ψυκτική εγκατάσταση , 3.αντλία κενού , 4.δεξαμενή νερού, 5.υγραντήρας)

Η μέθοδος συνδυάζει τη μικρή πίεση των αερίων με τη συχνή ανανέωση του αέρα και την υψηλή υγρασία, πράγμα που επιτρέπει τη βελτίωση των συνθηκών συντήρησης. Η μειωμένη πίεση βοηθά την ανταλλαγή των αερίων των συντηρούμενων προϊόντων, ο δε συνεχής αερισμός (πρέπει να γίνονται 6 με 24 εναλλαγές το 24ωρο) επιτρέπει την απομάκρυνση των αερίων προϊόντων του μεταβολισμού που μπορούν να προκαλέσουν φυσιολογικές ανωμαλίες ή την επιτάχυνση της ωρίμανσης των καρπών [10].

Πίνακας 3.5 Χρόνος συντήρησης διάφορων τροφίμων με μειωμένη πίεση

Είδος	Διάρκεια συντήρησης με μειωμένη πίεση	Θ °C	Πίεση (mm Hg)
Φράουλες	28 ημέρες	1	10
Κεράσια	60 ημέρες	0	50
Αγγούρια	42 ημέρες	*	*
Μαρούλια	48 ημέρες	0	10
Αβοκάντο	80 ημέρες	6 έως 13	20
Ανανάς	28 ημέρες	*	*
Μανιτάρια	21 ημέρες	0	10

Η μέθοδος αυτή, αυξάνει το χρόνο συντήρησης ευαίσθητων προϊόντων κατά 2-3 φορές και επιτρέπει επίσης τη συντήρηση ειδών ή ποικιλιών που παρουσιάζουν ασυμβίβαστο με τη συντήρηση και αποθήκευσή τους ως νοπά. Παραδείγματα φαίνονται στον παραπάνω Πίνακα 3.5. Η κατασκευή και ο εξοπλισμός μιας μονάδας συντήρησης με μειωμένη πίεση είναι τέτοια ώστε επιτρέπει και την πρόψυξη με κενό των φυλλώδων λαχανικών. Βέβαια η εφαρμογή της μεθόδου σήμερα είναι δύσκολη λόγω του μεγάλου κόστους κατασκευής και λειτουργίας και μόνο ελάχιστα προϊόντα με εξασφαλισμένη αγορά μπορούν να υποστούν το κόστος της [10].

γ) Συντήρηση με τη βοήθεια εύκαμπτων πλαστικών υλικών

Τα φρούτα και τα λαχανικά μετά τη ψύξη τους υφίστανται μια φυσιολογική μεταβολή που τα οδηγεί στην ωρίμανση και τέλος στην υπερωρίμανση, με αποτέλεσμα αυτά τα φυτικά προϊόντα να είναι ακατάλληλα για κατανάλωση. Η έρευνα όμως οδήγησε στην δυνατότητα εκμετάλλευσης των πλεονεκτημάτων της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας

σε κοινούς θαλάμους, χρησιμοποιώντας την εκλεκτική διαπερατότητα στο οξυγόνο, το διοξείδιο του άνθρακα, και το άζωτο, ορισμένων εύκαμπτων πλαστικών πολυμερών. Οι πλαστικές αυτές μεμβράνες (που είναι κατασκευασμένες από πολυαιθυλένιο) δημιουργούν γύρω από τα προϊόντα μια ατμόσφαιρα ευνοϊκή για τη συντήρησή τους, μειώνοντας την αναπνευστική δραστηριότητα και διατηρώντας τη σπαργή. Παράλληλα, επιτρέπουν στα αρωματικά συστατικά να εξέρχονται προς το περιβάλλον, παρεμποδίζοντας τη συγκέντρωσή τους και την επαφή τους με τους φυτικούς ιστούς διότι μπορεί να προκληθούν φυσιολογικές ανωμαλίες όπως το ζεμάτισμα στα μήλα [10].

Οι πλαστικές αυτές μεμβράνες ύστερα από πολλές μελέτες, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία τριών εφαρμογών για τη συντήρηση των τροφίμων με ψύξη. Αυτές είναι οι φυσιολογικές συσκευασίες, οι σάκοι με παράθυρο διάχυσης, και τα πολύ λεπτά πλαστικά film.

- Φυσιολογικές συσκευασίες:

Χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συντήρηση μήλων και αχλαδιών. Εξασφαλίζουν παρατεταμένη συντήρηση σε θερμοκρασίες κοντινές της συνήθους θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Κατασκευάζονται από πολυαιθυλένιο πάχους περίπου 50 μm χωρίς καθόλου τρύπες. Δημιουργείται έτσι γύρω από τα φρούτα ένα είδος κυλίνδρου κλειστού στις δυο άκρες και ελαφρώς μεγαλύτερης διαμέτρου από τη διάμετρο των φρούτων που είναι τοποθετημένα το ένα πάνω στο άλλο μέσα στον κύλινδρο. Ο αριθμός των φρούτων μπορεί να φτάσει τα 5 έως 6, και το συνολικό βάρος τους περίπου ένα κιλό. Το κλείσιμο γίνεται με θερμοσυγκόλληση [10].

Οι φυσιολογικές συσκευασίες ασκούν στα φρούτα δυο δράσεις: πρώτα σταματούν δραστικά την αναπνοή με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα οξυγόνου και υψηλή

περιεκτικότητα CO₂, και στη συνέχεια τη σταθεροποιούν χάρη στη διατήρηση μιας ατμόσφαιρας σταθερής σε σύνθεση O₂ και CO₂.

- Σάκοι με παράθυρο διάχυσης:

Χρησιμοποιούνται για τη συντήρηση φρούτων και λαχανικών. Η ατμόσφαιρα στο εσωτερικό τους έχει 2-3% O₂ και 3-5% CO₂, ενώ μπορούν να περιέχουν 5 έως 600 Kg προϊόντος. Οι σάκοι είναι κατασκευασμένοι από χοντρό πολυαιθυλένιο που περιλαμβάνει ένα παράθυρο διάχυσης, που έχει κατασκευαστεί από νάυλον ύφασμα. Το ύφασμα είναι καλυμμένο με μια λεπτή και συνεχή στρώση σιλικόνης. Ακόμη υπάρχει μια μικρή τρύπα, από όπου γίνεται η εξίσωση των πιέσεων, εσωτερικής και εξωτερικής, αφού κλείσει ο σάκος. Τα φρούτα συντηρούνται υπό ατμοσφαιρική πίεση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι σάκων, οι οποίοι ονομάζονται AC 20, AC 50, AC 500. Οι AC 20 είναι οι πιο μικροί, κατασκευασμένοι ώστε να τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια κανονικών διαστάσεων. Οι AC 50 και AC 500, αποτελούν μονάδες συσκευασίας μέσα στις οποίες τα φρούτα είναι συσκευασμένα σε κιβώτια. Το πλαστικό των σάκων AC 500 είναι παχύ για λόγους αντοχής και πρακτικά αδιαπέραστο από τα αέρια, ενώ το πλαστικό των AC 20 και AC 50 είναι λεπτό και σχετικά περατό. Στους AC 500 η ανταλλαγή αερίων γίνεται μόνο από το παράθυρο διάχυσης και τη τρύπα εξισορρόπησης πιέσεων, ενώ στους AC 50 και AC 20, η ανταλλαγή των αερίων γίνεται δια μέσου του συνόλου της επιφάνειας του σάκου [10].

- Πολύ λεπτά πλαστικά film

Αποτελούνται από film διάφορων πολυμερών του πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας, που είναι κατάλληλο για ατομική συσκευασία των φρούτων. Η χρήση του υλικού αυτού έδωσε μια ώθηση στη χρήση των πλαστικών στη συσκευασία των φρούτων γιατί βελτιώνει τις συνθήκες συντήρησης, και διατηρεί τη ποιότητα του

προϊόντος είτε σε χαμηλές θερμοκρασίες μέσα σε ψυκτικούς θαλάμους είτε σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Η δυνατότητα της χρησιμοποίησης ενός τέτοιου film επιτρέπει ένα καλύτερο έλεγχο της περατότητας των αερίων με συνέπεια τη μεταβολική δραστηριότητα του φυτικού οργάνου [10].

Μεταξύ των ειδικών χαρακτηριστικών των films, αυτό που έχει τη μεγαλύτερη σημασία είναι η περατότητα στο οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα. Αλλά και η περατότητα στους υδρατμούς έχει μεγάλη σημασία γιατί από αυτή εξαρτάται η δημιουργία μιας σχεδόν κορεσμένης ατμόσφαιρας, παράγοντας βασικός για την επιτυχία της συντήρησης. Το πιο ενδιαφέρον και βασικό αποτέλεσμα της ατομικής συσκευασίας με film υψηλής πυκνότητας είναι η δημιουργία ενός κορεσμένου μικροπεριβάλλοντος γύρω από το φρούτο, πράγμα που ευνοεί την επιμήκυνση του χρόνου συντήρησης, λόγω αισθητής μείωσης της διαπνοής [10].

δ) Συντήρηση σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα

Η συντήρηση των φρούτων και των λαχανικών με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα συνίσταται στη διατήρηση των προϊόντων αυτών σε μια ατμόσφαιρα αρκετά φτωχή σε οξυγόνο και σχετικά πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα, σε σύγκριση με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα ποσοστά του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα που πρέπει, να διατηρούνται μέσα στους θαλάμους ελεγχόμενης ατμόσφαιρας, πρέπει να προσαρμόζονται στην ποικιλία, τις συνθήκες παραγωγής καθώς και τις συνθήκες συντήρησης [10]. Έτσι για το ίδιο προϊόν υπάρχει μεγάλη ποικιλία μειγμάτων, ανάλογα με τη χώρα και τη περιοχή, τα οποία ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Μείγματα τύπου I: σχετικά πλούσια σε οξυγόνο και μέτρια ως πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα, έτσι ώστε το άθροισμα των περιεκτικοτήτων O_2 και CO_2 να είναι 21%.

- Μείγματα τύπου II: φτωχά σε O_2 (2-4 %) και μέτρια σε CO_2 (5 %)
- Μείγματα τύπου III: πολύ φτωχά τόσο σε O_2 (2-3 %) όσο και σε CO_2 (1-2 %).

Η συντήρηση με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει κυρίως τέσσερα στάδια τα οποία χρονολογικά είναι :

- 1) Πλήρωση του θαλάμου και ψύξη των φρούτων.
- 2) Σφράγισμα του θαλάμου, μείωση της περιεκτικότητας του οξυγόνου και αύξηση της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα, μέσω του φαινόμενου της αναπνοής.
- 3) Λειτουργία των μηχανημάτων σταθεροποίησης της ατμόσφαιρας και ρύθμιση της επιθυμητής σύνθεσής της.
- 4) Κυρίως περίοδος συντήρησης σε σταθερό μείγμα.

Μεγάλη σημασία θα πρέπει να δοθεί στη ρύθμιση της απαιτούμενης θερμοκρασίας, της υγρασίας και των περιεχομένων αρωματικών ουσιών (αιθυλένιο), διότι αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για τη διασφάλιση της καλής ποιότητας των φρούτων και της διάρκειας συντήρησής τους μέσα στο θάλαμο. Βέβαια θα πρέπει τα φρούτα να κόβονται στο κατάλληλο στάδιο ωρίμανσης και να ψύχονται το γρηγορότερο δυνατό, ώστε κατά το σφράγισμα του θαλάμου να έχουν τη θερμοκρασία συντήρησης. Μετά το σφράγισμα τα φρούτα με την αναπνοή και μόνο μεταβάλλουν την ατμόσφαιρα, αυξάνοντας τη περιεκτικότητα του CO_2 και ελαττώνοντας αυτή του O_2 . Ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το CO_2 στα επιθυμητά επίπεδα εξαρτάται από την περιεκτικότητα της επιλεγμένης ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του άνθρακα, από τη θερμοκρασία συντήρησης, από τη πυκνότητα πλήρωσης του θαλάμου, από την ποικιλία και την ηλικία των φρούτων. Όταν φτάσει το επιθυμητό επίπεδο CO_2 , αρχίζει η λειτουργία των μηχανημάτων ρύθμισης της ατμόσφαιρας. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας ολοκληρώνεται όταν και το οξυγόνο

φτάσει στα επιθυμητά επίπεδα (η διαδικασία αυτή διαρκεί 23 ημέρες-4 βδομάδες και ίσως περισσότερο) [10].

Για να επιταχυνθεί η μείωση της περιεκτικότητας σε CO₂, χρησιμοποιούνται η εισαγωγή υγρού ή αέριου N₂ ή η χρησιμοποίηση αναγεννητών ατμόσφαιρας (που εφοδιάζουν το χώρο με ατμόσφαιρα πλούσια σε N₂). Οι αναγεννητές μέσα σε 4 με 5 μέρες ελαττώνουν στο 3% την περιεκτικότητα του οξυγόνου. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται καυστήρες προπανίου διότι παράγουν ίχνη αιθυλενίου, προτιμότερη είναι η χρησιμοποίηση “ διασπαστών αμμωνίας ” ή η εμφύσηση N₂ [10].

Όταν επιτευχθούν τα επιθυμητά επίπεδα CO₂ και O₂, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη διατήρηση των επιπέδων αυτών σταθερών. Σε ατμόσφαιρες τύπου I, η σταθεροποίηση του O₂ και CO₂ γίνεται με έναν απλό περιορισμένο αερισμό του θαλάμου. Για μίγματα τύπου II και III, η διατήρηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας είναι πιο περίπλοκη και γίνεται με τους εξής τρόπους:

- Με συνδυασμένη χρήση ενός δεσμευτή CO₂ (δεσμευτές αιθανολαμίνης, δεσμευτές K₂CO₃, δεσμευτές νερού, δεσμευτές ενεργού άνθρακα) και αερισμού.
- Με ειδικούς εναλλάκτες διάχυσης
- Με αναγεννητές ατμόσφαιρας.

Το σύστημα είναι τόσο πιο δαπανηρό, όσο πιο κακή είναι η στεγανότητα του θαλάμου, προσφέρει όμως το πλεονέκτημα ότι εξασφαλίζει τη γρήγορη αποκατάσταση της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας και επιτρέπει το άνοιγμα του θαλάμου κατά καιρούς, ώστε να γίνεται η εμπορία του φρούτου. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι θα πρέπει να γίνεται συχνά παρακολούθηση των φρούτων, τόσο από το τζάμι της πόρτας, όσο και μέσα στο θάλαμο. Κάθε φορά πρέπει να παίρνεται ένα

αντιπροσωπευτικό δείγμα και να παρατηρείται η εμφάνιση φυσιολογικών ασθενειών και η δυνατότητα ωρίμανσης του φρούτου [10].

3.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΨΥΞΗ

Οποιαδήποτε ψύξη τροφίμων που περιέχουν νερό, έχει ουσιαστική επίδραση στις ιδιότητές του. Βέβαια οι σημαντικότερες αλλαγές και εκείνες που ενδιαφέρουν περισσότερο τη τεχνολογία τροφίμων είναι οι ποιοτικές αλλαγές που γίνονται στο νερό κατά τη στερεοποίησή του. Η συμπεριφορά του νερού κατά τη διάρκεια της ψύξης μπορεί να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά ενός τροφίμου, ιδιαίτερα την υφή του [11].

Όταν το νερό στερεοποιείται, συνήθως κρυσταλλώνει, έχοντας τη δυνατότητα να πάρει τη μορφή πολλών ειδών πάγου. Το συνηθέστερο είδος πάγου, ο πάγος-I, είναι κρυσταλλικός με γυάλινη λαμπρότητα και κογχοειδές σχήμα. Λιώνει στους 0 °C, σε πίεση 1 atm, και είναι το μόνο είδος πάγου το οποίο είναι ελαφρύτερο από το νερό στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ο πάγος-I, στη περίπτωση που το νερό στερεοποιείται κοντά στους 0 °C έχει εξαγωνική μορφή, ενώ στη περίπτωση που ψύχεται κάτω από το σημείο του πάγου έχει ρομβόεδρη μορφή. Η πιο συνήθης μορφή είναι η εξαγωνική. Ο πάγος-II χαρακτηρίζεται από ένα δευτερεύον-κεντροθετημένο ορθορομβικό κύτταρο που περιέχει οχτώ μόρια. Ο πάγος-III είναι ένα πρωτεύον-κεντροθετημένο κύτταρο που περιέχει 16 μόρια.

Κάτω από ειδικές συνθήκες το νερό όταν στερεοποιείται μπορεί να αποκτήσει γυάλινη ή διαφανή μορφή, αν και οι περισσότερες μελέτες έχουν δείξει ότι η

δημιουργία εντελώς διάφανου νερού είναι πολύ δύσκολη λόγω του ότι είναι σταθερό μόνο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες [11].

Ένα αποκλειστικό χαρακτηριστικό των κρυστάλλων πάγου είναι ότι συγκρατούνται όλοι μεταξύ τους μόνο με δεσμούς υδρογόνου. Κάθε άτομο οξυγόνου είναι περικυκλωμένο από τέσσερα άτομα υδρογόνου τετραεδρικά τοποθετημένα, τα οποία ισαπέχουν μεταξύ τους και είναι γεφυρωμένα με άλλα άτομα οξυγόνου σχηματίζοντας μια συμμετρική κατασκευή. Όταν οι κρύσταλλοι πάγου σχηματίζονται μέσα σε διαλύματα, και όχι σε καθαρό νερό, οι μεγάλες δομές μπορούν να πάρουν διάφορες μορφές, συμπέρασμα που έχει μελετηθεί από πολλούς επιστήμονες όπως ο Lyet [11] και οι Hallet και Mason [11]. Οι Hallet και Mason [11] έφτιαχναν κρυστάλλους πάγου πάνω σε μια ίνα που βρισκόταν σε ειδικό χώρο σύννεφων για τη διάχυση νερού-ατμών, στην οποία η θερμοκρασία και ο υπερκορεσμός του περιβάλλοντος ποικίλουν ανεξάρτητα. Οι κρύσταλλοι υφίστανται τις ακόλουθες μεταβάσεις στο θερμοκρασιακό εύρος $0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-5)\text{ }^{\circ}\text{C}$: πλάκες - βελόνες - κοίλες πρισματικές στήλες - πλάκες - δενδριτικοί κρύσταλλοι - πλάκες - πρισματικές στήλες. Οι αλλαγές ελέγχονται κυρίως από τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ενώ μεγάλες διακυμάνσεις του υπερκορεσμού επηρεάζουν μόνο δευτερεύοντα χαρακτηριστικά όπως οι δενδριτικές μορφές. Κρύσταλλοι που σχηματίζονται από διαλύματα μπορούν να δημιουργηθούν και με το να μεταβληθούν ορισμένες συνθήκες στα μέσα της ανάπτυξής τους. Ατμοσφαιρικά αερολύματα είχαν λίγη ή καθόλου επίδραση στους σχηματισμούς αυτούς [12].

3.3.1 ΨΥΞΗ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΑΓΟΥ

Η θερμοκρασία τήξης ενός συγκεκριμένου υδάτινου συστήματος είναι συνήθως ακριβής και εύκολα αναπαραγώγιμη. Βέβαια είναι γνωστό ότι το νερό και πολλά υδάτινα συστήματα μπορούν να ψυχθούν πολύ πιο κάτω από το κανονικό σημείο τήξης χωρίς την ύπαρξη πάγου. Σε αυτή τη περίπτωση η αρχική εμφάνιση των κρυστάλλων σε αυτά τα υγρά (τα οποία ψύχονται κάτω από τα σημείο σχηματισμού πάγου, δηλαδή υπερψύχονται) ακολουθείται από κατευθείαν στερεοποίηση όλης της μάζας του υγρού. Τα ευτιτικά υγρά μπορούν να υπερψυχθούν με τη παρουσία κρυστάλλων πάγου, παρόλο που δεν παρέχουν πυρήνες για τη κρυσταλλοποίηση των ευτιτικών υγρών. Η έναρξη του φαινομένου της κρυσταλλοποίησης εξαρτάται από τη παρουσία των κατάλληλων μοριακών ρυθμίσεων μέσα στο υγρό. Ο σχηματισμός εστιών γύρω από τους κρυστάλλους οι οποίοι αρχίζουν να σχηματίζονται ονομάζεται πυρηνοποίηση, και στα υδάτινα συστήματα λειτουργούν δυο μηχανισμοί : η ομογενής πυρηνοποίηση και η ετερογενής πυρηνοποίηση [12].

Η ομογενής πυρηνοποίηση σχηματίζεται από τυχαίες διακυμάνσεις στη πυκνότητα και τη διαμόρφωση του καθαρού νερού που οδηγούν στη δημιουργία περιοχών που έχουν προσανατολισμό και διαστάσεις κρυσταλλικού τύπου. Η κρίσιμη θερμοκρασία ομογενούς πυρηνοποίησης του νερού είναι γύρω στους $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στη συγκεκριμένη θερμοκρασία μικρές αιωρούμενες σταγόνες νερού αλλάζουν αμετάβλητα σε χιόνι, ενώ οι συγκεκριμένες σταγόνες μπορούν να παραμείνουν στην υγρή μορφή σε θερμοκρασία λίγο πιο υψηλή. Φαίνεται λοιπόν πως η πιθανότητα πυρηνοποίησης σε θερμοκρασία κοντά στους $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ είναι πολύ υψηλή, αλλά το καθαρό νερό σε μαζική ποσότητα δεν μπορεί να υπερψυχθεί κάτω από τη θερμοκρασία αυτή. Επίσης

υπάρχουν λίγες πιθανότητες επίτευξης ομογενούς πυρηνοποίησης για μικρές ποσότητες νερού κοντά στους 0 °C [12].

Όσο αφορά την ετερογενή πυρηνοποίηση, είναι το αποτέλεσμα της απόθεσης μορίων ύδατος στην κρυστάλλινη παράταξη κάποιου ξένου σωματιδίου, παραδείγματος χάριν κάποιο μόριο. Η θερμοκρασία ετερογενούς πυρηνισμού είναι μεταξύ -33 °C και -38 °C. Με κάποιον μη απολύτως κατανοητό τρόπο, τα μη-υδάτινα κολλοειδή αποτελούν τη βάση πάνω στην οποία τα μόρια νερού σχηματίζουν μια διαρρυθμισμένη η οποία είναι χαρακτηριστική ενός κρυστάλλου. Λογικά, πάνω στη σχετικά μεγάλη επιφάνεια του σωματιδίου υπάρχει μια διάταξη ατόμων η οποία έχει τις ίδιες διαστάσεις και φορτίο με μια περιοχή στην επιφάνεια ενός κρυστάλλου νερού [12].

3.3.2 ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ

Εφόσον έχει επιτευχθεί η πυρηνοποίηση, η αύξηση των μικρών κρυστάλλων εξαρτάται από το βαθμό διάχυσης των μορίων νερού στην επιφάνεια του κρυστάλλου και από το κατά πόσο μπορεί να διατηρηθεί η θερμοκρασία στην επιφάνεια του κρυστάλλου κάτω από τη θερμοκρασία τήξης του. Σε θερμοκρασίες λίγο χαμηλότερες από 0 °C, ο βαθμός ανάπτυξης ελέγχεται από το βαθμό διάχυσης του νερού, τόσο ώστε η μείωση της θερμοκρασίας να μειώνει εκθετικά την αύξηση των κρυστάλλων. Αυτή η επιβράδυνση του βαθμού ανάπτυξης επιτρέπει σε περισσότερους πυρήνες να δραστηριοποιηθούν προτού να καταναλωθεί όλο το νερό από τις εστίες που δημιουργούνται, και είναι ο βασικός λόγος εμφάνισης μικρότερων κρυστάλλων σε χαμηλότερες θερμοκρασίες [12].

Έχει αποδειχτεί ότι μικρές ποσότητες από συγκεκριμένες αλκοόλες, γλυκόλες, πρωτεΐνες μπορούν να επιβραδύνουν την ταχύτητα κρυστάλλωσης, με πολύ

αποτελεσματικό τρόπο, διότι μειώνουν την ανάπτυξη των κρυστάλλων σε κάθε εστία ξεχωριστά. Απουσία αυτών των ουσιών η κρυστάλλωση επιτυγχάνεται με αξιοσημείωτα γρήγορο ρυθμό [12].

3.3.3 ΜΕΤΑΝΑΣΤΕΥΤΙΚΗ ΕΠΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Σε ένα σύστημα το οποίο περιέχει κρυστάλλους πάγου διάφορων μεγεθών, σε επαφή μεταξύ τους, είτε μέσω ενός διαλύματος νερού είτε μέσω της αέριας φάσης, οι μεγαλύτεροι κρύσταλλοι τείνουν να μεγαλώνουν σε βάρος των μικρότερων. Ο πραγματικός λόγος είναι η μεγάλη επιφανειακή ενέργεια των μικρότερων κρυστάλλων. Όσο μικρότεροι είναι οι κρύσταλλοι τόσο περισσότερο επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης και μείωσης. Καθώς μεγαλώνουν οι κρύσταλλοι, οι διαφορές στην επιφανειακή ενέργεια μεταξύ τους μειώνονται όλο και περισσότερο. Επιπρόσθετα, η ταχύτητα αλλαγής είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες θερμοκρασίες (αλλά φυσικά χαμηλότερες από το σημείο ψύξης) [12].

Η αλλαγή του μεγέθους των κρυστάλλων έχει μεγάλη σημασία για τη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων. Για αυτό το λόγο οι κρύσταλλοι στην αρχή πρέπει να είναι μικροί και ομοιόμορφοι σε μέγεθος ούτως ώστε να επιβραδυνθεί ο σχηματισμός μεγάλων κρυστάλλων που μπορεί να δημιουργήσει μηχανικές ζημιές στους ιστούς.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες μειώνουν την αύξηση των κρυστάλλων, ελαττώνοντας την τάση ατμών και τη διάχυση των μορίων του νερού. Θα πρέπει όμως να συμβαίνει όταν καθίσταται δυνατό για τα μόρια να περνάνε με κάθε τρόπο από κρυστάλλους που είναι καθαροί και διαυγείς σε κρυστάλλους που είναι λιγότερο καθαροί και διαυγείς. Ορισμένοι τρόποι μεταφοράς των μορίων είναι με τήξη και επαναστερεοποίηση ή με εξάχνωση και επαναστερεοποίηση [12].

3.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

- **Σπαργή**

Κάθε απώλεια νερού σε μεγάλες ποσότητες έχει σαν αποτέλεσμα την απώλεια βάρους και το ρυτίδιασμα των προϊόντων. Η εξάτμιση αυτή του νερού εξαρτάται από τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που συντηρείται το συγκεκριμένο προϊόν. Όταν η υγρασία είναι γύρω στο 85-90 %, η αφυδάτωση του προϊόντος μειώνεται δραστικά. Η υπερβολική όμως υγρασία μπορεί πολλές φορές να δημιουργήσει σκάσιμο στο τρόφιμο, παραδείγματος χάριν στα μήλα, και τα κάστανα. Όσο αφορά τη θερμοκρασία, χαμηλές θερμοκρασίες συντήρησης κάτω από -1 °C παγώνουν τους ιστούς, οι οποίοι μετά από τη διαδικασία του ζεστάματος γίνονται μαλακοί και σπογγώδεις, και επίσης έχουμε απώλειες νερού με μεγάλη ευκολία (διότι το κατεστραμμένο κυτταρικό τοίχωμα είναι περατό από τα υγρά του κυττάρου) [12].

- **Χρώμα**

Σκοπός της συντήρησης με ψύξη είναι ή η διατήρηση του αρχικού χρώματος όπως γίνεται στα λαχανικά, στα σταφύλια, και στη φράουλα, ή η αλλαγή προοδευτικά του αρχικού χρώματος που έχει το προϊόν κατά τη συγκομιδή του, στο αποδεκτό και γνωστό για το κάθε προϊόν χρώμα. Η αλλαγή του χρώματος των φρούτων είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που επηρεάζεται από τη συγκέντρωση της μεσοκυττάριας περιοχής σε οξυγόνο και αιθυλένιο [10].

Πολύ χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να παρεμποδίσουν την εμφάνιση του κανονικού χρώματος, με αποτέλεσμα πράσινες ντομάτες που συντηρούνται στους 0 °C να μην αποκτούν το κόκκινο χρώμα τους και να μην ωριμάζουν. Σε άλλες περιπτώσεις η συντήρηση σε χαμηλές θερμοκρασίες έχει σαν αποτέλεσμα τη

καταστροφή πολλών ομάδων κυττάρων και τη δημιουργία ενός καστανού ή μαύρου χρώματος. Παραδείγματα υπάρχουν στη περίπτωση των μήλων και των δαμάσκηνων που υφίσταται εσωτερική καστανώση, και τα λεμόνια που υφίσταται μεμβράνωση. Τέλος η μη σωστή συντήρηση με ψύξη του προϊόντος ευνοεί την εμφάνιση φυσιολογικών ασθενειών στο προϊόν που έχουν επιπτώσεις στο χρώμα του δημιουργώντας, αποχρωματισμούς, καστανώσεις κ.τ.λ. [10].

Βέβαια σε πολλές περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις χαμηλές θερμοκρασίες ψύξης των προϊόντων για τη παρεμπόδιση του φαινομένου του αποχρωματισμού. Στα λαχανικά οι νεκροί ιστοί κιτρινίζουν εύκολα και αποχρωματίζουν το προϊόν. Οι χαμηλές θερμοκρασίες διατηρούν το πράσινο χρώμα παρεμποδίζοντας το θάνατο των ιστών. Στα φρούτα η ψύξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη καθυστέρηση της ωριμότητας χωρίς παράλληλα να την εκτρέπει [10].

- **Σύσταση και υφή**

Όταν ένα φρούτο ωριμάζει, μαλακώνει προοδευτικά η σάρκα του λόγω της μετατροπής των πρωτοπηκτινών που είναι αδιάλυτες στο νερό, σε πηκτίνες. Εάν τα προϊόντα δεν ψυχθούν στη σωστή θερμοκρασία και για το σωστό χρονικό διάστημα, η διαδικασία του μαλακώματος επιταχύνεται, παραδείγματος χάριν στα αχλάδια, και στις φράουλες. Στα σπαράγγια, η ψύξη σε λανθασμένη θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα να αποκτούν ξυλώδη υφή, ενώ τα ροδάκινα όταν συντηρούνται σε θερμοκρασίες 3-5 °C αποκτούν ινώδη υφή.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η επιλογή της σωστής θερμοκρασίας είναι εξαιρετικά σημαντική. Μια μελέτη που έγινε σε μήλα ποικιλιών Calville Blanc και Canada, απέδειξε ότι η συντήρησή τους στους 0 °C σταμάτησε δραστικά το μαλάκωμα των ιστών και τη μετατροπή των πρωτοπηκτινών σε διαλυτές πηκτίνες. Σε αντίθεση, τα

αχλάδια Passa Crassana μετά από 5 μήνες συντήρησης στους 0 °C παραμένουν σκληρά και με γεύση όχι ευχάριστη [10].

- **Γεύση - Άρωμα**

Ανάλογα με την περίπτωση, τα φυτικά προϊόντα που συντηρούνται με ψύξη, κατά τη στιγμή της αποθήκευσής τους είτε έχουν την οριστική γεύση τους, δηλαδή τη γεύση που ζητά ο καταναλωτής, όπως οι πατάτες, είτε την αποκτούν κατά τη διάρκεια της συντήρησης, όπως στη περίπτωση μήλων ή αχλαδιών. Το φρούτο που κόβεται άγουρο και τοποθετείται στο ψυγείο, εάν η θερμοκρασία συντήρησης είναι σωστή, είναι δυνατό σε δεδομένη στιγμή να αποκτήσει την επιθυμητή γεύση και άρωμα. Το άγουρο φρούτο περιέχει άμυλο και μεγάλη ποσότητα οργανικών οξέων, κατά την ωρίμανση όμως το άμυλο μετατρέπεται σε σάκχαρα, όπως γλυκόζη και σακχαρόζη, και ελαττώνεται η ποσότητα οργανικών οξέων. Η ψύξη των προϊόντων στη σωστή θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στη γεύση και στο άρωμα, αφού καθυστερείται η ελάττωση των οργανικών οξέων, η δημιουργία αρωματικών ουσιών και μετριάζεται η κατανάλωση των σακχάρων [12].

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα επίδρασης της ψύξης στη γεύση έχουμε στις πατάτες και στις ελιές. Όταν οι πατάτες συντηρούνται στους 0 °C, έχουμε αύξηση της σακχαρόζης και των αναγωγικών σακχάρων, ενώ στους 3-6 °C το φαινόμενο ελαττώνεται. Αντίθετα, η συντήρηση στους 20 °C, έχει σαν αποτέλεσμα να χάνουν οι πατάτες τη γλυκιά τους γεύση και να αποκτούν μια ινώδη γεύση. Στη περίπτωση της ελιάς, η συντήρηση της με ψύξη, επιτρέπει τη λήψη λαδιού με λιγότερα οξέα [10].

Όσο αφορά το άρωμα των προϊόντων, αυτό εξαρτάται από την ποσότητα των αρωματικών ουσιών που ελευθερώνονται από αυτά. Στην παραγωγή και απελευθέρωση αυτών των ουσιών μεγάλο ρόλο παίζει η θερμοκρασία και η υγρασία. Τα αχλάδια της ποικιλίας Conference παράγουν ελάχιστες αρωματικές ουσίες όταν

ψύχονται στους 0 °C (η παραγωγή αυξάνεται με τη προοδευτική αύξηση της θερμοκρασίας έως τους 15 °C), όπως και τα μήλα της ποικιλίας Granny Smith (η παραγωγή αρωματικών ουσιών αυξάνεται όταν μεταφερθούν στους 20 °C). Από την άλλη πλευρά, συντήρηση με υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας δημιουργεί προϊόντα χωρίς άρωμα, ενώ αντίθετα ελαφρώς ξηρή ατμόσφαιρα ευνοεί τη δημιουργία αρώματος [10].

- **Σάκχαρα – Βιταμίνες**

Η βιταμίνη C, που λέγεται και ασκορβικό οξύ είναι πολύ ευαίσθητη, λόγω του ότι υφίσταται οξειδωση. Στα μήλα οι απώλειες είναι σημαντικές κατά τη ψύξη τους στους 5 ή 10 °C, ενώ είναι πολύ μικρές στους 2,5 °C. Στα σπαράγγια οι απώλειες είναι της τάξης του 50% στους 0 °C. Τα μαρούλια και τα μπρόκολα συντηρούμενα στους 2 °C, παρουσιάζουν μείωση 50 % της βιταμίνης C μέσα σε 7 ημέρες. Αντίθετα στα εσπεριδοειδή που είναι και βασική πηγή βιταμίνης C, οι απώλειες κατά τη ψύξη είναι ελάχιστες [12].

Οι βιταμίνες D και E δεν παρουσιάζουν απώλειες στη ψύξη σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως και η βιταμίνη A και τα καροτένια. Στα καρόττα για παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε καροτένια αυξάνεται κατά τη ψύξη σε χαμηλές θερμοκρασίες, λόγω της αύξησης των ξανθοφυλλών. Στις γλυκοπατάτες τα καροτίνια αυξάνονται στους 13 °C αλλά ελαττώνονται στους 10 °C [10].

Τέλος όσο αφορά τα σάκχαρα, ορισμένα φρούτα και λαχανικά (η πατάτα, τα κάστανα, τα κρεμμύδια) όταν ψύχονται εμπλουτίζονται με διαλυτά σάκχαρα τα οποία προέρχονται από την αποικοδόμηση του αμύλου. Όπως αναφέρθηκε και πριν στη γεύση και το άρωμα, τα φυτικά προϊόντα είναι ζωντανά και μετά την συλλογή τους και αποτελούν την έδρα αναπνευστικών οξειδώσεων που γίνονται με κατανάλωση των σακχάρων, με αποτέλεσμα την απώλεια της θρεπτικής τους αξίας

[12]. Με το ψύχος όμως, μειώνεται η αναπνευστική δραστηριότητα και περιορίζονται οι απώλειες των σακχάρων. Παραδείγματος χάριν τα σπαράγγια, που η ψύξη τους στους 5,5 °C μειώνει τη παραγωγή σακχάρων σε σχέση με όταν ψύχονται στους 18 °C όπου η παραγωγή σακχάρων αυξάνεται [10].

4. ΚΑΤΑΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

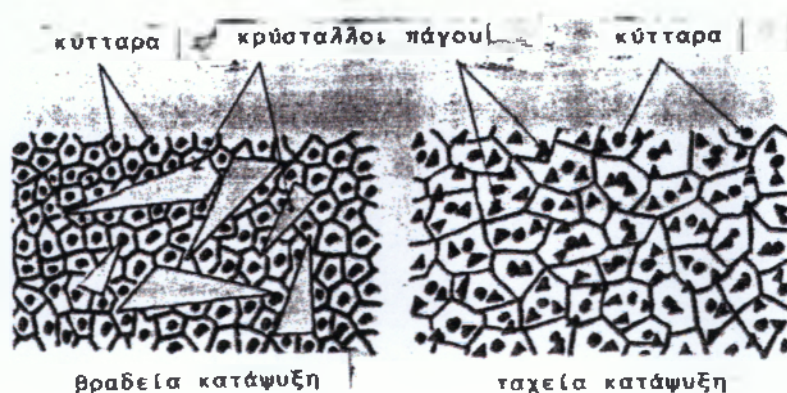
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ

Η κατάψυξη αποτελεί μια εξαιρετική μέθοδο συντήρησης των τροφίμων με πάρα πολλές εφαρμογές. Με την κατάψυξη περιορίζεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών που αλλοιώνουν το τρόφιμο και παράγουν τοξικές ουσίες, ενώ παράλληλα επιβραδύνονται οι ενζυματικές και βιοχημικές αντιδράσεις που παρατηρούνται στα νωπά προϊόντα. Τα αποτελέσματα αυτά επιτυγχάνονται χάρη στη πτώση της θερμοκρασίας και στην έλλειψη ελεύθερου νερού. Όταν το μεγαλύτερο μέρος του περιεχόμενου νερού του προϊόντος έχει μετατραπεί σε πάγο, τότε κάνουμε λόγο για κατάψυξη του προϊόντος. Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η λειτουργία των εγκαταστάσεων κατάψυξης (Σχήμα 4.1) στοχεύουν στη διατήρηση της αρχικής δομής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων κατά τη κατάψυξη [10].



Σχ. 4.1 Μηχανή Κατάψυξης

Η ταχύτητα της κατάψυξης εκφράζεται σε cm/h (cm καταψυχόμενου προϊόντος ανά ώρα), και όταν υπερβαίνει τα 5 cm/h κάνουμε λόγο για ταχεία κατάψυξη, ενώ όταν δεν υπερβαίνει το 1 cm/h , κάνουμε λόγο για βραδεία κατάψυξη (Σχήμα 4.2).



Σχ. 4.2 Σχηματική παράσταση της βραδείας και της ταχείας κατάψυξης
σ' ένα φυτικό ιστό

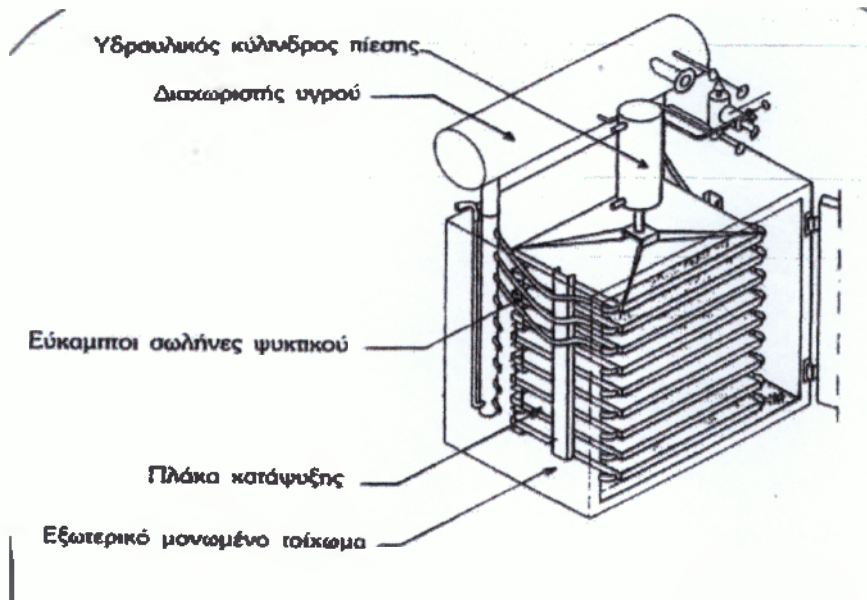
4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΑΨΥΞΗΣ

Οι μέθοδοι κατάψυξης ανάλογα με το είδος καταψύκτη που χρησιμοποιείται, διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

α) Καταψύκτες με πλάκες

Οι συγκεκριμένοι καταψύκτες χρησιμοποιούνται για συσκευασμένα προϊόντα. Σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις (Σχήμα 4.3), το προϊόν για κατάψυξη πιέζεται ανάμεσα σε μεταλλικές επίπεδες πλάκες, στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί ψυκτικό ρευστό. Στην ουσία, το σύστημα των πλακών αυτών αποτελεί τον εξατμιστή μιας ψυκτικής εγκατάστασης. Η κατάψυξη του τροφίμου είναι ταχεία εφόσον το ίδιο το ίδιο τρόφιμο είναι καλός αγωγός της θερμότητας και έχει σχήμα πεπλατυσμένο με

δυο πλευρές επίπεδες και παράλληλες, ώστε να εφαρμόζει καλά ανάμεσα στις πλάκες. Το πάχος του τροφίμου περιορίζεται στα 50 mm για λόγους ταχύτητας ψύξης, η πίεση δε μεταξύ των πλακών διατηρείται καθ'όλη τη διάρκεια της κατάψυξης για να περιοριστεί η διόγκωσή του [10].



Σχ. 4.3 Καταψύκτης με πλάκες

β) Καταψύκτες εμβάπτισης

Οι συγκεκριμένοι καταψύκτες, όπως και οι καταψύκτες με πλάκες, χρησιμοποιούνται για συσκευασμένα προϊόντα. Ο καλύτερος τρόπος μετάδοσης της θερμότητας σε προϊόντα ανώμαλου σχήματος, είναι με εμβάπτιση σε κάποιο ψυχρό υγρό (άλμη ή διάλυμα γλυκόλης). Το προϊόν καταψυχόμενο μέσα στο υγρό διάλυμα μεταφέρεται συγχρόνως με κάποιο μηχανικό σύστημα μεταφοράς προς την έξοδο του καταψύκτη. Στους καταψύκτες εμβάπτισης, το προϊόν πρέπει να προστατεύεται με συσκευασία στεγανή καλής ποιότητας, στην έξοδο δε της εγκατάστασης πρέπει να πλένεται καλά εξωτερικά. Η κατάψυξη που επιδιώκεται σε αυτό τον τύπο καταψύκτη είναι επιφανειακή και συμπληρώνεται σε τούνελ ή θάλαμο κατάψυξης [10].

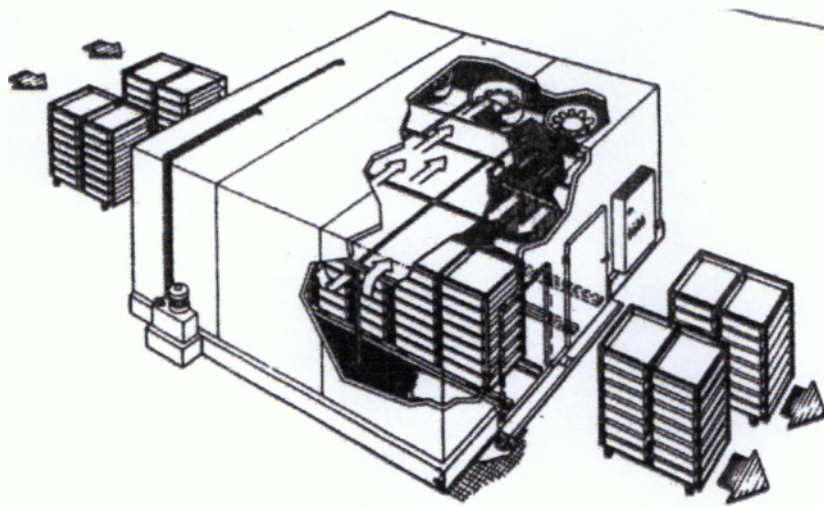
γ) Καταψύκτες με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα

Αυτού του είδους οι καταψύκτες, σε αντίθεση με τους καταψύκτες εμβάπτισης και τους καταψύκτες με πλάκες, χρησιμοποιούνται για κάθε είδους προϊόντα, συσκευασμένα ή όχι, ατομικά ή μαζικά. Τα προϊόντα (τα οποία συνήθως δεν είναι κανονικού γεωμετρικού σχήματος), εκτίθενται σε ρεύμα ψυχρού αέρα θερμοκρασίας -30 έως -35 °C. Στους συγκεκριμένους είδους καταψύκτες, σημαντικό ρόλο στην οικονομία του συστήματος παίζει η απώλεια μάζας του καταψυχόμενου προϊόντος. Μια καλοσχεδιασμένη εγκατάσταση δεν προκαλεί στο προϊόν απώλειες πάνω από 1,5%. Συνήθως για αυτού του είδους την κατάψυξη χρησιμοποιούνται τρεις τύποι εγκαταστάσεων:

- τα τούνελ κατάψυξης
- ο καταψύκτης με μεταφορική ταινία
- ο καταψύκτης ρευστοποιημένης κλίνης

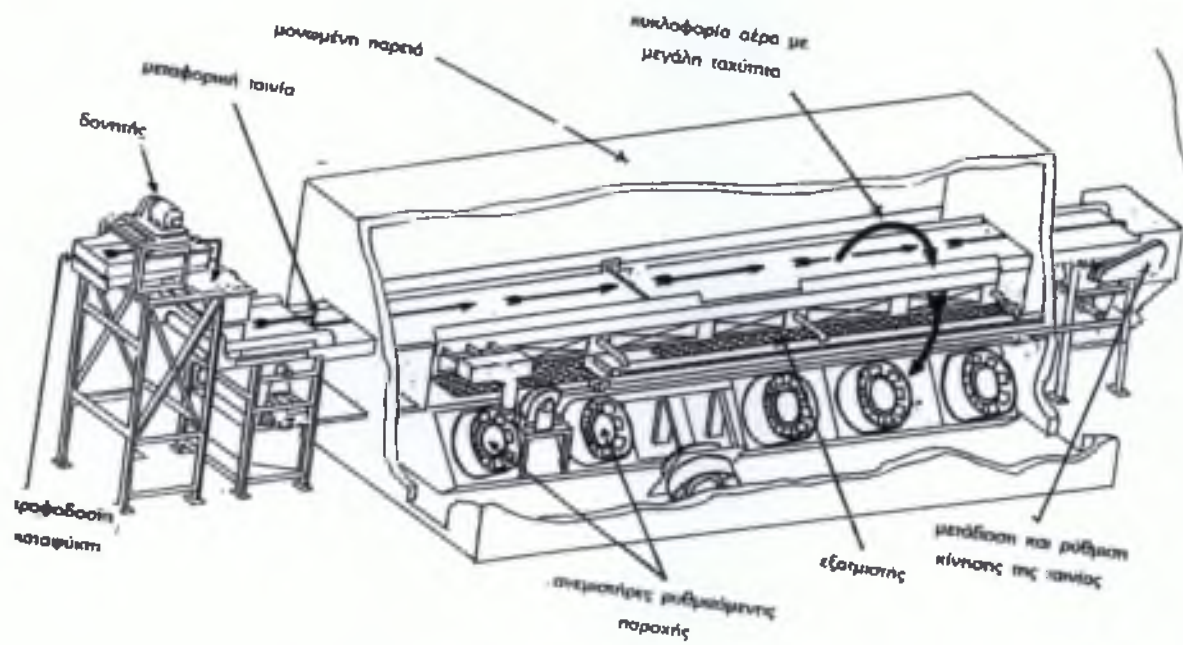
Στα τούνελ κατάψυξης (Σχήμα 4.4) τα προϊόντα μικρού μεγέθους τοποθετούνται πάνω σε δίσκους και οι δίσκοι σε ακίνητα ράφια ή πάνω σε οχήματα που διατρέχουν το τούνελ σε καθορισμένο χρόνο. Η τροφοδοσία της εγκατάστασης (η οποία είναι εύχρηστη και πολυδύναμη) γίνεται με το χέρι ή μηχανικά [10].

Οι εξατμιστές με ανεμιστήρες κατευθύνουν τον ψυχρό αέρα με ειδικούς οδηγούς ώστε να επιτυγχάνεται ομοιομορφία τόσο ως προς την θερμοκρασία, όσο και προς την ταχύτητα κατάψυξης.

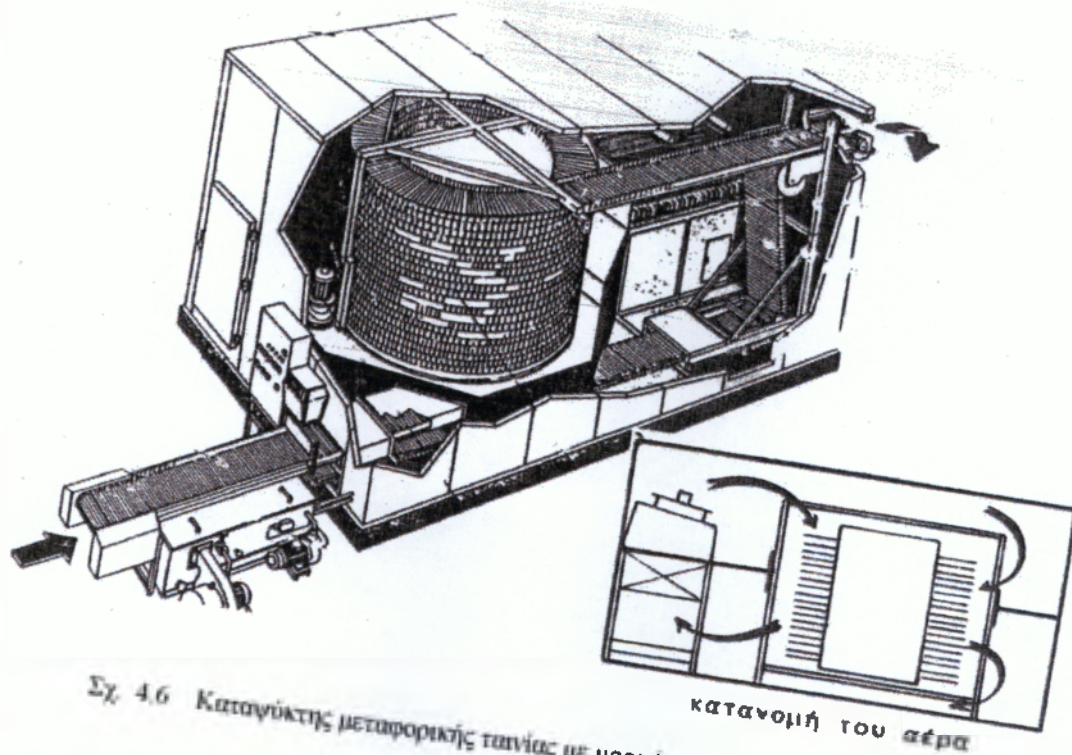


Σχ. 4,4 Καταψύκτης τύπου τούνελ

Στους καταψύκτες με μεταφορική ταινία (Σχήμα 4.5), τα προϊόντα τοποθετούνται με το χέρι ή μηχανικά πάνω σε μια διάτρητη μεταφορική ταινία. Για να αυξηθεί η απόδοση της εγκατάστασης και για να γίνει οικονομία χώρου, ο καταψύκτης εφοδιάζεται με περισσότερες από μια μεταφορικές ταινίες που στρέφονται με την ίδια ή αντίθετη φορά, η μια πάνω από την άλλη, ή δίνεται στη μεταφορική ταινία μορφή σπείρας (Σχήμα 4.6) γύρω από κυλινδρικό τύμπανο. Ο ψυχρός αέρας διοχετεύεται από κάτω προς τα πάνω, περνώντας μέσα από την ταινία και ανάμεσα από τα προϊόντα, που στις περισσότερες περιπτώσεις είναι γυμνά [10].



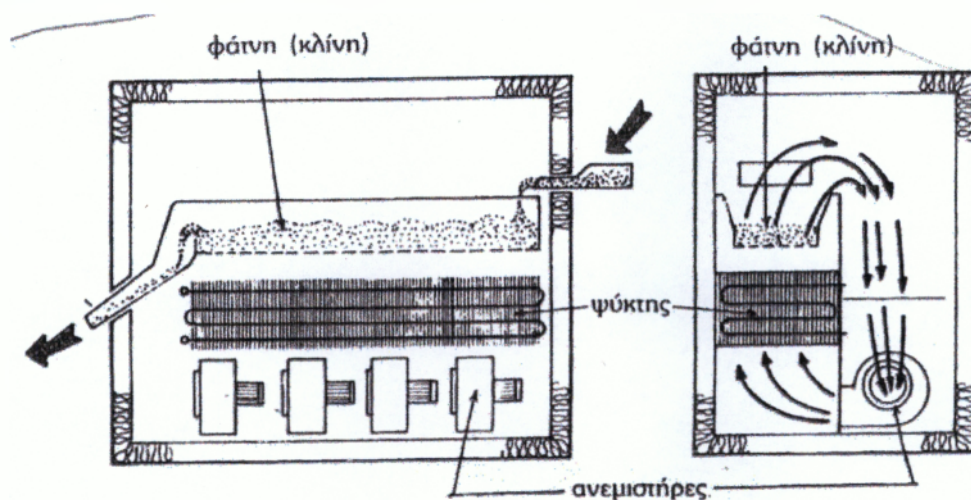
Σχ. 4.5 Καταψύκτης τύπου μεταφορικής ταινίας



Σχ. 4.6 Καταψύκτης μεταφορικής ταινίας με μορφή σπείρας

Τέλος, στους καταψύκτες ρευστοποιημένης κλίνης (Σχήμα 4.7) το προϊόν διοχετεύεται στην υψηλότερη πλευρά μιας διάτρητης φάτνης με κλίση, και ρέει

ψυχόμενο προς το χαμηλότερο σημείο όπου φτάνοντας έχει καταψυχθεί. Βέβαια, μιλάμε για ρευστοποιημένη κλίνη, στη περίπτωση που τα τεμαχίδια ή σωματίδια κάποιου προϊόντος έχουν σχήμα και διαστάσεις τόσο ομοιόμορφες, ώστε σ' ένα ρεύμα αέρα που κινείται από κάτω προς τα πάνω τα σωματίδια αιωρούνται και συμπεριφέρονται στο σύνολό τους σαν ένα ρευστό. Πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου είδους καταψύκτη είναι ότι το προϊόν καταψύχεται ατομικά και έτσι δε δημιουργούνται συσσωματώματα, ενώ οι αυξομειώσεις στην τροφοδοσία δεν επηρεάζουν την κατάψυξη [10].

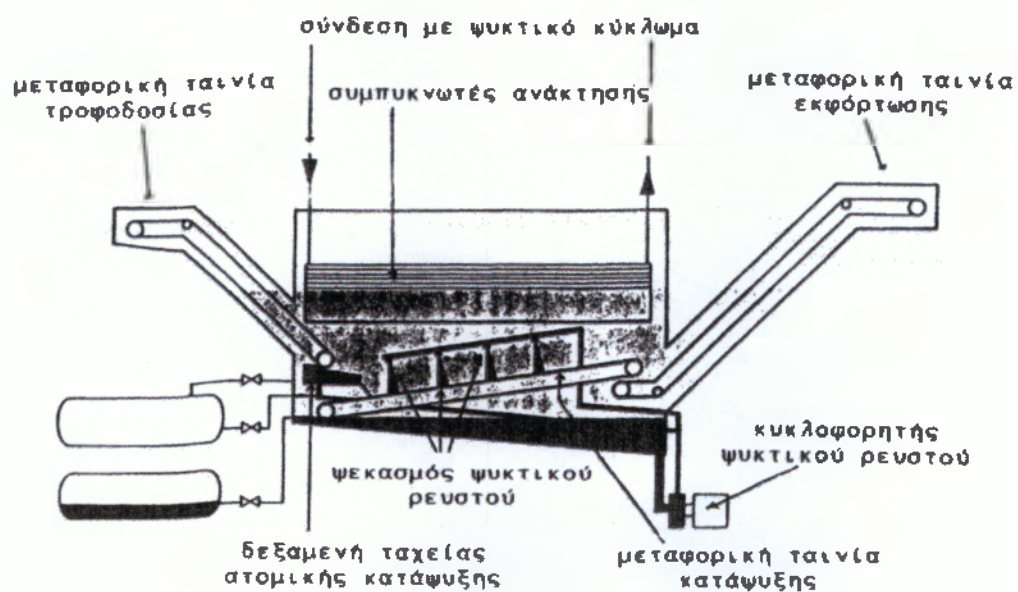
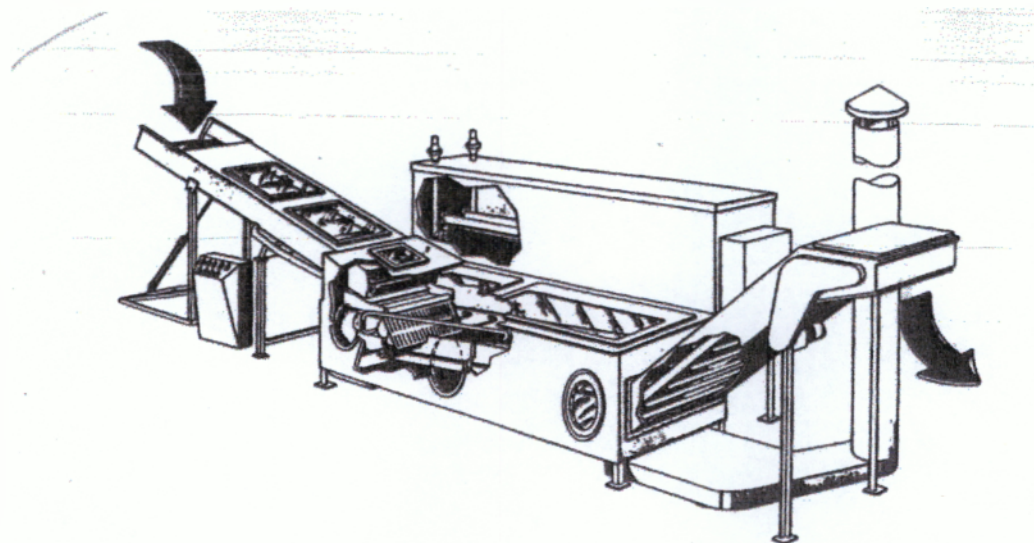


Σχ. 4.7 Καταψύκτης ρευστοποιημένης κλίνης

δ) Καταψύκτες υγρού αζώτου ή ψυκτικού ρευστού

Στους συγκεκριμένου είδους καταψύκτες (Σχήμα 4.8), το προϊόν κινείται πάνω σε μια μεταφορική ταινία, και καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησής του ψεκάζεται με υγρό διχλωροδιφθορομεθάνιο (R12) πολύ καθαρής μορφής ή με υγρό άζωτο. Η ταχύτητα κατάψυξης είναι πολύ μεγάλη και ευνοεί την καλή υφή του καταψυγμένου προϊόντος. Οι εγκαταστάσεις αυτού του τύπου δεν κοστίζουν ακριβά, έχουν όμως μεγάλο κόστος λειτουργίας. Γι' αυτό πολλές φορές χρησιμοποιούνται μόνο για επιφανειακή

κατάψυξη του προϊόντος, η τελική δε κατάψυξη γίνεται σε τούνελ ή θάλαμο κατάψυξης. Τέλος ένα ακόμη πλεονέκτημα της μεθόδου είναι οι ελάχιστες απώλειες μάζας από αφυδάτωση [10].



Σχ. 4.8 Καταψύκτης με ψεκάσμο ψυκτικού ρευστού και ο τρόπος λειτουργίας του σε τομή

4.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΚΑΤΑΨΥΞΗ

Όταν το προϊόν ψυχθεί κάτω από τους 0 °C, ο πάγος αρχίζει να σχηματίζεται σε μια χαρακτηριστική θερμοκρασία, το σημείο αρχόμενης κατάψυξης το οποίο διαφέρει ανάλογα με το προϊόν (στα φρούτα το σημείο αρχόμενης κατάψυξης κυμαίνεται μεταξύ -2 και -3 °C, πράγμα που οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση σε οξέα και σάκχαρα του προϊόντος) [10]. Καθώς η θερμοκρασία του προϊόντος κατέρχεται κάτω από τους 0 °C, και αφού για ένα μικρό χρονικό διάστημα παρατηρηθεί υπέρτηξη του νερού των ιστών (δηλαδή δεν παρατηρείται σχηματισμός πάγου παρόλο που η θερμοκρασία της ουσίας μειώνεται παροδικά κάτω από το σημείο αρχόμενης κατάψυξης), αρχίζει ο σχηματισμός των πρώτων κρυστάλλων καθαρού πάγου στους μεσοκυττάριους χώρους (όπου η συγκέντρωση διαλυτών στερεών ουσιών είναι μικρότερη), και κοντά στην επιφάνεια του προϊόντος. Με την προοδευτική ψύξη του τροφίμου, όλο και περισσότερο νερό μετατρέπεται σε πάγο ενώ παράλληλα οι απομένουσες διαλυτές ουσίες συνεχώς συγκεντρώνονται. Στους -5 °C ήδη μια ποσότητα νερού της τάξεως του 65 με 80 % έχει μετατραπεί σε πάγο. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -40 °C όλο το νερό έχει μετατραπεί σε πάγο σε όλα σχεδόν τα φυτικά προϊόντα [11].

Η ταχύτητα σχηματισμού των κρυστάλλων του πάγου είναι συνάρτηση του ρυθμού ελάττωσης της θερμοκρασίας και της ταχύτητας διάχυσης του νερού των διαλύσεων προς την επιφάνεια των ήδη σχηματισμένων κρυστάλλων. Εάν η ταχύτητα ψύξης είναι μικρή, οι πυρήνες κρυστάλλωσης είναι λίγοι και οι κρύσταλλοι του πάγου αυξάνουν σημαντικά. Ύστερα από τη διάχυση του νερού που περιέχεται στους μεσοκυττάριους χώρους, το νερό των κυττάρων με τη σειρά του διαχέεται μέσα από κυτταρικά τοιχώματα για να οδηγηθεί και αυτό στους σχηματισμένους κρυστάλλους

του πάγου, που γίνονται πολύ μεγάλοι, με αποτέλεσμα να προκαλούν μηχανική ρήξη και εκχύμωση στα γύρω κύτταρα. Όταν η ταχύτητα κατάψυξης μεγαλώσει, ο αριθμός των κρυστάλλων θα αυξηθεί ενώ παράλληλα το μέγεθός τους θα περιορισθεί. Γι' αυτό και επιδιώκεται μια ταχεία διεργασία ώστε να αποφευχθούν όλα τα ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως η μεγάλη εκχύμωση κατά την απόψυξη και η κακή υφή του κατεψυγμένου προϊόντος, που οφείλεται και στην έντονη αφυδάτωση μετά από μακρόχρονη αποθήκευση [10].

Θα πρέπει να προσθέσουμε ότι η κατάψυξη συνοδεύεται από αύξηση του όγκου της τάξης του 6 %, ενώ η θερμική αγωγιμότητα του τροφίμου αυξάνει σημαντικά με την πρόοδο της κατάψυξης αφού η θερμική αγωγιμότητα του πάγου είναι 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του νερού. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διευκόλυνση της αποβολής της θερμότητας με τη πρόοδο του φαινομένου [11].

4.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

4.4.1 ΛΑΧΑΝΙΚΑ

Η κατάψυξη αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους για η διασφάλιση της ποιότητας των τροφίμων, και μια από τις πιο απλές και φυσικές μεθόδους για τη συντήρηση των λαχανικών. Βέβαια η ποιότητα των προϊόντων που έχουν καταψυχθεί και έχουν παραδοθεί στον καταναλωτή δεν μπορεί να είναι καλύτερη από την ποιότητά τους προτού καταψυχθούν, γεγονός μεγάλης βαρύτητας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν.

- **Χρώμα**

Το χρώμα αποτελεί τον πρωταρχικό παράγοντα όπου μπορεί ο καταναλωτής να διακρίνει τα φυσικά από τα επεξεργασμένα προϊόντα. Συνήθως το χρώμα ενός επεξεργασμένου φρούτου είναι σχεδόν το ίδιο με αυτό που έχει ένα φυσικό προϊόν, αν και τα λαχανικά που έχουν υποστεί κατάψυξη, έχουν αλλαγές στο χρώμα τους που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια του ζεματίσματος (διαδικασία που προηγείται της κατάψυξης). Ύστερα από το ζεμάτισμα, τα περισσότερα λαχανικά παρουσιάζουν ένα λαμπερό πράσινο χρώμα, το οποίο διαφέρει από το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα που έχουν προτού υποστούν τη συγκεκριμένη διαδικασία. Αυτό οφείλεται στη κατάλυση των χλωροπλαστών και την αποδέσμευση καροτενοειδών μειγμάτων, δημιουργώντας μετανάστευση και διάχυση των χρωστικών μέσα στο κυτταρικό μέσο (αφού καταστρέφεται το κυτταρικό τοίχωμα). Ένα παράδειγμα είναι κομμάτια από καρότιτα τα οποία αφού έχουν υποστεί ζεμάτισμα και έχουν καταψυχθεί παρουσιάζουν αλλαγή χρώματος από πορτοκαλί σε έντονο κίτρινο [13].

Όσο αφορά τις χλωροφύλλες, ο περιορισμός του χρώματος, παραδείγματος χάριν σε αρακά όταν αυτός ψύχεται στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, οφείλεται στην μετατροπή των χλωροφυλλών α και β στις αντίστοιχες φαιοφυτίνες. Ο Campbell [14] μάλιστα εισήγαγε την αναλογία χλωροφυλλών-μετατρέπομενων φαιοφυτινών ως ένα τρόπο μέτρησης των αλλαγών του χρώματος στα λαχανικά. Σε όξινα διαλύματα, το μαγνήσιο που περιέχεται στις χλωροφύλλες αντικαθίσταται από οξυγόνο για να δώσει τις φαιοφυτίνες.

Άλλοι τρόποι αποικοδόμησης της χλωροφύλλης είναι επίσης γνωστοί. Ο Walker [15] απέδειξε ότι το pH του αρακά παρέμεινε σταθερό καθ'όλη τη διάρκεια της κατάψυξής του, όπως και τα λιπαρά οξέα, σε αντίθεση με τα λιπαρά υπεροξειδία που

αυξάνονται. Η αύξηση αυτή των υπεροξειδίων είχε σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή υποβάθμιση των χλωροφυλλών και των φαιοφυτινών έως την καταστροφή τους.

Όσο αφορά τις ανθοκυανίνες, αυτές αποτελούν ένα γκρουπ 100 και παραπάνω υδατοδιαλυτών χρωστικών οι οποίες βρίσκονται διαλυμένες συνήθως στο κυτόπλασμα. Οι χρωστικές αυτές συνήθως βρίσκονται με τη μορφή γλυκοσιδίων της γλυκόζης, ραμνόζης, γαλακτόζης, ξυλόζης, και αραβινόζης. Το ποσοστό καταστροφής των ανθοκυανών εξαρτάται από το pH που είναι και ο βασικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη σταθερότητα του χρώματος, αλλά και τη παρουσία οξυγόνου (σε χαμηλές τιμές pH δεν παρατηρείται τίποτα, ενώ σε υψηλές τιμές pH, με την παρουσία οξυγόνου, οι ανθοκυανίνες καταστρέφονται).

Η διατήρηση του χρώματος των ανθοκυανών είναι πολύπλοκη διαδικασία. Η απώλεια του κόκκινου χρώματος στα λαχανικά, μπορεί να οφείλεται στην απώλεια του χρώματος αυτού καθαυτού, ή σε διαδικασίες καφετιάσματος που τείνουν να κάνουν το χρώμα πιο θολό. Επίσης η διατήρηση του χρώματος κατά την κατάψυξη μπορεί να οφείλεται σε εσωτερικές χημικές αντιδράσεις (οι οποίες με τη σειρά τους εξαρτώνται από συστατικά των ιστών όπως ένζυμα, ιόντα μετάλλων κ.λ.π.). Παρόλα όσα αναφέρθηκαν όμως, είναι αξιοπρόσεχτο το γεγονός ότι συνήθως δεν προκαλείται ζημία στις ανθοκυανίνες εξ' αιτίας της κατάψυξης, αλλά από διαδικασίες που είναι απαραίτητο να γίνουν πριν από τη κατάψυξη, όπως π.χ. το ζεμάτισμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουμε να κάνουμε με υδατοδιαλυτές χρωστικές [13].

Η απώλεια του χρώματος των καροτενοειδών χρωστικών στα λαχανικά, δημιουργεί ελάττωση της ποιότητάς και πιθανή απώλεια της προβιταμίνης A, αφού οι περισσότερες καροτενοειδείς χρωστικές μπορούν να σχηματίσουν βιταμίνη A. Στα οξέα συνήθως οφείλεται η αλλαγή ή η υποβάθμιση των καροτενοειδών, ενώ στις βάσεις είναι σταθερά. Σε αντίθεση με τις ανθοκυανίνες δεν υφίστανται αλλαγή στις

θερμικές κατεργασίες, όμως λόγω της οξείδωσης, ή καταστρέφονται ή υφίστανται χρωματικές αλλαγές ή αποχρωματίζονται γρήγορα λόγω αφυδάτωσης κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Τέτοιες αντιδράσεις οξείδωσης των καροτενοειδών μπορεί να είναι χημικές ή βιοχημικές, π.χ. ενζυματικές. Υπάρχουν ένζυμα όπως η περοξειδάση ή η λιποξυγενάση που είναι ανενεργά ως προς τις καροτενοειδείς χρωστικές, όταν το λαχανικό είναι φρέσκο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εμφανίζονται αλλαγές στο χρώμα κάποιων λαχανικών (πατάτα, μανιτάρια) λόγω του ότι έχουν υποστεί λανθασμένη μεταχείριση, παραδείγματος χάριν έχουν κοπεί ή έχουν ξεφλουδιστεί. Οι περιοχές τους αυτές που έχουν υποστεί τις μεταχειρίσεις αυτές, όταν ψύχονται σε θερμοκρασίες κάτω από -18 °C λόγω οξείδωσης υφίστανται αλλαγές στο χρώμα τους, δηλαδή υφίστανται ενζυματικό καφετιάσμα. Βέβαια η ποσότητα καφετιάσματος που θα δημιουργηθεί στο λαχανικό εξαρτάται και από διάφορους άλλους παράγοντες, όπως η ποικιλία, η εποχή παραγωγής και οι συνθήκες αποθήκευσης του προϊόντος. Ένας τρόπος παρεμπόδισης του φαινομένου του καφετιάσματος, είναι το ζεμάτισμα προτού καταψυχθούν τα προϊόντα, διότι τα ένζυμα που δημιουργούν το φαινόμενο αυτό είναι ευαίσθητα στη θερμότητα. Ο βαθμός ευαισθησίας των ενζύμων στο ζεμάτισμα εξαρτάται από το pH του διαλύματος, με το οποίο γίνεται το ζεμάτισμα, και από το pH των κυτταρικών ιστών του λαχανικού. Παραδείγματος χάριν στα μανιτάρια, η αλλαγή στο χρώμα μπορεί να παρεμποδιστεί με τη προσθήκη κιτρικού οξέος (1,5 %) στο μέσο ζεματίσματος [13].

- **Υφή**

Η μελέτη των συνδυασμών που επηρεάζουν την υφή των ψυχόμενων λαχανικών, ασχολείται κυρίως με το κυτταρικό τοίχος. Βέβαια οι περισσότερες χημικές αλλαγές υφίστανται όχι τόσο κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, αλλά σε προγενέστερους χειρισμούς, και ειδικότερα στο ζεμάτισμα. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, αλλαγές

στην υφή γίνονται λόγω φυσικών διεργασιών κατά την επανακρυστάλλωση του πάγου [13].

Τα λαχανικά μαλακώνουν όταν θερμαίνονται κυρίως λόγω χημικών αλλαγών στους πολυσακχαρίτες που βρίσκονται στο περίβλημα του κυτταρικού τοιχώματος. Οι αλλαγές αυτές επηρεάζονται από παράγοντες όπως το pH και τα είδη άλατος που μπορεί να είναι παρόντα. Η αύξηση της χαλάρωσης σε χαμηλό pH, οφείλεται στον υδρολυτικό διαχωρισμό των γλυκοσιδικών δεσμών των σακχαρικών συστατικών του τοιχώματος. Η ενυδάτωση των συστατικών του τοιχώματος, μειώνει τη συνεκτικότητα του περιβλήματος, χαλαρώνοντας περισσότερο το κυτταρικό τοίχωμα, και μειώνει τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των κυττάρων [1].

Η επίδραση των ιόντων ασβεστίου στην υφή των λαχανικών έχει μελετηθεί, και τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η πρόσθεση ασβεστίου στο μέσο ζεμάτισματος, είτε αυξάνει τη σταθερότητα των ιστών είτε προλαμβάνει την απώλεια της σταθερότητάς τους. Τέτοια σταθερότητα στην υφή έχει παρατηρηθεί σε φασολάκια, κουνουπίδι, πατάτες, ντομάτες και καρότα, ύστερα και κατά τη διάρκεια της κατάψυξής τους.

- **Αποικοδόμηση Βιταμινών**

Όσο αφορά τις απώλειες των λαχανικών λόγω της κατάψυξης, σημαντικό παράγοντα από τον οποίο εξαρτάται η επιτυχία της συντήρησής τους αποτελούν οι διαδικασίες που προηγούνται της κατάψυξης, δηλαδή το ζεμάτισμα (προκαλεί οξείδωση των βιταμινών). Το ζεμάτισμα σε υψηλές θερμοκρασίες για μικρό χρονικό διάστημα διατηρεί τις θρεπτικές αξίες των προϊόντων, σε αντίθεση με το ζεμάτισμα για μεγάλο χρονικό διάστημα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η βιταμίνη C για παράδειγμα, που ονομάζεται και ασκορβικό οξύ, αποτελεί ένα πολύ ασταθές συστατικό. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης οι απώλειες ασκορβικού οξέος είναι πολύ μεγάλες. Για παράδειγμα, πράσινα φασόλια που έχουν υποστεί κατάψυξη και βρίσκονται σε

θερμοκρασία -20 °C, αλλά χωρίς να έχουν υποστεί ζεμάτισμα πιο πριν, μπορεί να χάσουν και το 75 % της βιταμίνης C που περιέχουν [13]. Όπως γίνεται αντιληπτό, οι απώλειες σε βιταμίνη C, καθιστούν απαραίτητη τη μεταχείριση με ζεμάτισμα προτού εφαρμοστεί κατάψυξη στα λαχανικά, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν υφίσταται απώλειες σε αυτή τη περίπτωση (απλά οι απώλειες είναι κατά πολύ μικρότερες).

Σε προϊόντα που έχουν καταψυχθεί ενώ έχουν υποστεί ζεμάτισμα, εμφανίζονται απώλειες στις βιταμίνες C και B1 (και κυρίως στη B1), λόγω της διαλυτότητας των εν λόγω βιταμινών στο νερό. Οι Muller και Tobin [16] απέδειξαν ότι οι απώλειες σε βιταμίνη C στα λαχανικά μετά το ζεμάτισμα μπορεί να φτάσει μέχρι και 45 %. Όμως κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των προϊόντων, ο ρυθμός απωλειών μειώνεται ραγδαία. Εννοείται φυσικά ότι τις μικρότερες απώλειες, όσο αφορά τη κατάψυξη των λαχανικών, τις έχουμε όταν δεν εφαρμόζουμε μεταχείριση με κρύο νερό, συνήθως η χρήση κρύου ρεύματος αέρα είναι πιο αποτελεσματική. Αυτό φυσικά ισχύει και για τη γεύση, το χρώμα αλλά και για την υφή.

Άλλες βιταμίνες όπως η θειαμίνη, η ριβοφλαβίνη και η νιασίνη μπορούν εύκολα να περιοριστούν και να καταστραφούν κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των λαχανικών. Επιπρόσθετα, βιταμίνες όπως το φολικό οξύ, το παντοθενικό οξύ και η βιταμίνη B12, παραμένουν σταθερές κατά τη κατάψυξη, εφόσον έχει υποστεί το προϊόν ζεμάτισμα.

- **Αποικοδόμηση άλλων διαλυτών ουσιών**

Οι απώλειες σακχάρων και υδατοδιαλυτών πρωτεϊνών είναι σημαντικές κατά τη διάρκεια της κατάψυξης. Φυλλώδη λαχανικά (όπως το σπανάκι, τα λαχανάκια Βρυξελών κ.α.), ή λαχανικά με ιστούς που περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαλυτών συστατικών (μανιτάρια, καλαμπόκι, πράσινα φασόλια, αρακάς) παρουσιάζουν μεγάλες θρεπτικές απώλειες. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, υπήρχαν αλλαγές στη συγκέντρωση μετάλλων στα λαχανικά. Ψυγμένα πράσινα φασόλια για παράδειγμα,

εμφάνισαν σημαντικές απώλειες σε σίδηρο, φώσφορο και κάλιο, αλλά όσο αφορά το ασβέστιο, το νάτριο και τον ψευδάργυρο δεν υπήρχαν απώλειες, αλλά εμφανίστηκαν αυξήσεις στις συγκεντρώσεις τους. Επίσης δεν παρατηρήθηκε αλλαγή στη συγκέντρωση σε χλώριο, μαγνήσιο, χαλκό, μαγγάνιο κατά τη διάρκεια της κατάψυξης των προϊόντων [13].

- **Αλλαγές στο pH**

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, οργανικά και ανόργανα άλατα έχουν τη τάση να συγκεντρωθούν στην υδατινή φάση του ιστού. Τα συγκεκριμένα άλατα έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν κατά τη κατάψυξη το pH του νερού που δεν έχει γίνει πάγος [13]. Παραδείγματος χάριν, σε τεμαχισμένο κουνουπίδι, αρακά και φασόλια που έχουν καταψυχθεί, το pH αρχικά μειώνεται, ενώ στη συνέχεια υφίσταται σημαντική αύξηση. Οι μεταβολές αυτές στο pH των ψυχόμενων προϊόντων είναι σημαντικές διότι επηρεάζουν άμεσα βιοχημικές αντιδράσεις συνδεδεμένες με τη ποιότητα των τροφίμων.

- **Γεύση**

Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης τα λαχανικά αποκτούν αυξημένη συγκέντρωση αιθανόλης και άλλων επικίνδυνων συστατικών. Βέβαια αυτή η αυξημένη συγκέντρωση, που έχει σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή των λαχανικών σε άγευστα, οφείλεται σε καταλυτικές οξειδωτικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στους κυτταρικούς ιστούς των λαχανικών [1].

4.4.2 ΦΡΟΥΤΑ

Τα φρούτα που υπόκεινται σε κατάψυξη αποτελούν ένα μεγάλο και σημαντικό τομέα τροφίμων στη σημερινή εποχή. Η κατάψυξη φρούτων χρησιμοποιείται για κατανάλωσή τους σε περιόδους όπου είναι αδύνατη η παραγωγή τους. Επίσης μέσω της συντήρησης με κατάψυξη, μπορούν τα φρούτα να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις, σε περιοχές που δεν είναι δυνατή η καλλιέργειά τους. Επίσης, η κατάψυξη έχει μεγάλη εφαρμογή στην περαιτέρω επεξεργασία των φρούτων για την παρασκευή μαρμελάδας, χυμού, και σιρόπια. Η ποιότητα που παράγεται από κάθε προϊόν, εξαρτάται φυσικά από το βαθμό επεξεργασίας του φρούτου. Φυσικά περαιτέρω έρευνες λαμβάνουν χώρα για να κατανοηθούν καλύτερα οι αντιδράσεις που γίνονται στους ιστούς των φρούτων, ούτως ώστε να μειωθούν όσο το δυνατόν οι απώλειες.

- **Χρώμα**

Οι χρωστικές στα φρούτα διαίρονται σε ανθοκυανίνες, χλωροφύλλες και καροτενοειδή. Μαζί όλα αυτά τα χημικά συστατικά δημιουργούν τις απίστευτες παραλλαγές χρωμάτων που βρίσκουμε στα τρόφιμα. Οι χρωστικές είναι συνήθως απομονωμένες στα εξωτερικά στρώματα των φρούτων, με εξαιρέσεις φυσικά όπου βρίσκονται και σε στρώματα του εσωτερικού τους. Το επιφανειακό χρώμα αποτελεί το κυριότερο ποιοτικό χαρακτηριστικό για τα φρούτα που πωλούνται προς βρώση μετά τη συγκομιδή τους, σε αντίθεση με αυτά που υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία, στα οποία η περιεκτικότητα σε χρωστικές είναι το πιο κρίσιμο χαρακτηριστικό, αφού καθορίζει το τελικό τους χρώμα [1].

Ανθοκυανίνες: Οι κόκκινες χρωστικές στα φρούτα είναι στη ουσία φλαβόνες, που σχηματίζονται από γλυκόζη, ραμνόζη, γαλακτόζη και ξυλόζη και υπάρχουν είτε ως

μονοσακχαρίτες είτε ως δισακχαρίτες (λακτόζη, μαλτόζη, σακχαρόζη). Η ποσότητα ανθοκυανινών διαφέρει μεταξύ των φρούτων, γι'αυτό το λόγο έχει γίνει έρευνα ανάμεσα σε διάφορα είδη φρούτων, μερικά από τα οποία παρατίθενται παρακάτω

1) κεράσια: Πολλές έρευνες έχουν διενεργηθεί με σκοπό να μελετηθούν οι απώλειες ή μη των κερασιών κατά τη κατάψυξη. Τα κεράσια διαφέρουν στη συγκέντρωση σε χρωστικές, από ποικιλίες ελαφρώς χρωματισμένων σε ποικιλίες με βαθύ χρώμα.

Ο Urbanyi [17] ερευνήσε την επίδραση της θερμότητας κατά την αποθήκευση με κατάψυξη κερασιών, στους -6 ή -20 °C με αέρα ή άζωτο ,με ή χωρίς φως για περιόδους έως 120 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ελάττωση της περιεκτικότητας σε ανθοκυανίνες, λόγω οξειδωσής τους και κατάλυσης από το φως.

2) βατόμουρα (blueberries): Φρούτα από 11 ποικιλίες ψηλών θάμνων καταψύχθηκαν λίγες ώρες αφότου είχαν συγκομισθεί, τοποθετήθηκαν σε θήκες πολυαιθυλενίου και αφήθηκαν στους -13 °C για 2-3 μήνες. Κατά την έρευνα έγινε φανερή η μετατροπή του χρώματος των βατόμουρων, από το φυσικό τους σε ένα πολύ πιο σκούρο χρώμα [13]. Βέβαια στον αντίποδα, οι Lenartowicz και Zbroszczyk [18] μέσω μιας έρευνας σε 6 ποικιλίες βατόμουρων ψηλών θάμνων, δεν παρατήρησαν καμία μεταβολή στη περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες. Τα βατόμουρα τοποθετήθηκαν στους -20 °C σε καταψύκτη υγρού αζώτου, και στη συνέχεια μέσα σε θήκες πολυαιθυλενίου πάλι στους -20 °C για 3 μήνες. Οπότε γίνεται φανερό πως μάλλον παίζει ρόλο η μέθοδος κατάψυξης για αν και ποια θα είναι η μεταβολή στην περιεκτικότητα των ανθοκυανινών στα βατόμουρα.

3) βατόμουρα (raspberries): Ο Bushway και η ομάδα του [19] παρατήρησαν την ανοχή πέντε καλλιεργειών βατόμουρων κατά τη κατάψυξή τους. Τα φρούτα συλλέχθηκαν όσο είχαν το κόκκινο τους χρώμα και καταψύχθηκαν με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα στους -30 °C, προτού τοποθετηθούν σε θήκες πολυαιθυλενίου και

αποθηκευτούν στους - 20 °C για έναν, έξι, ή εννιά μήνες. Δεν εμφανίστηκε κάποια συγκεκριμένη αλλαγή χρώματος σε καμία από τις πέντε καλλιέργειες.

Χλωροφύλλες: Η χλωροφύλλη βοηθάει στο σχηματισμό του βασικού χρώματος ορισμένων φρούτων, παραδείγματος χάριν στα μήλα και τα αχλάδια, ενώ σε άλλα φρούτα επικρατεί, με αποτέλεσμα αυτά να αποκτούν ολοκληρωτικά ένα ελαφρύ πράσινο χρώμα. Οι χλωροφύλλες βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα στη βαθιά πράσινη φλούδα των ώριμων λεμονιών, και στη σάρκα άλλων φρούτων όπως το κίουι. Οι χλωροφύλλες προσδίδουν ένα πράσινο χρώμα το οποίο δεν αλλάζει (ή τουλάχιστον στις περιπτώσεις που αλλάζει, δεν είναι ορατό) κατά την ωρίμανση των φρούτων.

1) κίουι: Η αύξηση της εκμετάλλευσης και του διεθνούς εμπορίου του κίουι και των προϊόντων του, έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον για τις μεταβολές της ποσότητας χλωροφύλλης που περιέχει, κατά τη κατάψυξή του. Είναι φυσικά γνωστό ότι κατά την ωρίμανσή του, το κίουι χάνει τουλάχιστον 30 % της περιεκτικότητάς του σε χλωροφύλλες [13]. Ο Robertson [20] μελέτησε τη μεταβλητότητα των χλωροφυλλών και φαιοφυτινών που βρίσκονται σε χυλό από κίουι, κατά τη κατάψυξη αυτού. Ύστερα από ξεφλούδισμα του κίουι με τα χέρια και τοποθέτηση σε μπλέντερ για 3 λεπτά, είχε τη παρασκευή του χυλού. Ο χυλός στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε πλαστικά βάζα και καταψύχθηκε στους -18 °C για 68 ημέρες. Οι φαιοφυτίνες όπως είναι γνωστό είναι τα προϊόντα που προκύπτουν από τη μετατροπή των χλωροφυλλών. Η μετατροπή τους αυτή εξαρτάται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία και το pH. Επομένως κατά τη κατάψυξη πρέπει να ελέγχεται το pH, ούτως ώστε να μην έχουμε ανεπιθύμητη μετατροπή χλωροφυλλών σε φαιοφυτίνες. Καταστροφή βέβαια των χλωροφυλλών μπορεί να γίνει και κατά τη τοποθέτηση στο

μπλέντερ. Τα αποτελέσματα από τη κατάψυξη του χυλού έδειξαν μείωση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλες κατά το 1/3 της αρχικής συγκέντρωσης [20].

Η επίδραση της θερμοκρασίας στο χρώμα και τις χλωροφύλλες ερευνήθηκε από τον Venning [21] και την ομάδα του. Ποσότητα κίουι μαζί με τα κουκούτσια μετατράπηκε σε χυλό, τοποθετήθηκε σε θήκες πολυαιθυλενίου που περιείχαν ή όχι αέρα, στους -9, -18 ή -25 °C για ένα χρόνο και παραπάνω. Η συνολική περιεκτικότητα σε χλωροφύλλες στη αρχή ήταν 14-15,5 mg/kg. Οι αλλαγές στη ποσότητα χλωροφύλλης φαίνονται στο Πίνακα 4.1. Καμία αλλαγή δεν υφίσταται στη περιεκτικότητα των χλωροφυλλών στους -18 και -25 °C, αλλά εμφανίζεται μείωση της περιεκτικότητας στους -9 °C, μετατρέποντας το χρώμα σταδιακά από πράσινο σε περισσότερο κίτρινο.

Πίνακας. 4.1 Αλλαγές στις περιεκτικότητες χλωροφυλλών και φαιοφυτινών σε χυμό κίουι στους -18 °C

Ημέρες αποθήκευσης στη κατάψυξη	Χλωροφύλλη a (mg/kg)	Χλωροφύλλη b (mg/kg)	Φαιοφυτινή a (mg/kg)	Φαιοφυτινή b (mg/kg)
Φρέσκα	3,1	3,7	2,2	0,5
1	2,2	1,7	4,1	5
36	1	0,9	5,6	6
68	0,6	0,3	5,9	6,2

Καροτενοειδείς: Το κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο χρώμα πολλών φρούτων οφείλεται στη παρουσία των καροτενοειδών χρωστικών. Οι καροτενοειδείς είναι συνδυασμοί, που μαζί με τις χλωροφύλλες βρίσκονται σε όλους τους οργανισμούς που είναι ικανοί να φωτοσυνθέσουν. Η ποσότητα των καροτενοειδών που βρίσκεται στα προϊόντα διαφέρει με το είδος του προϊόντος, από χαμηλές τιμές 0,4 μg/g στις φράουλες σε υψηλές 89,2-125 μg/g στο μάνγκο. Τα περισσότερα φρούτα

αποτελούνται από ποικιλία διαφορετικών καροτενοειδών. Παρόλα αυτά οι καροτενοειδείς οξειδώνονται εύκολα, με αποτέλεσμα να μειώνονται τα ποσοστά τους κατά τη κατάψυξη. Στη συνέχεια περιγράφονται δύο πειράματα που αφορούν την ελάττωση των καροτενοειδών σε μάνγκο και ντομάτα [13].

1) μάνγκο: Ο Ramana [22] σύγκρινε την ελάττωση σε καροτενοειδείς χρωστικές, ενός πολτού από μάνγκο με κονσερβοποιημένο πολτό. Ο πολτός τοποθετήθηκε σε σάκους από πολυαιθυλένιο και καταψύχθηκε στους $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε πλάκες. Οι πλάκες αποθηκεύτηκαν στους $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ για πάνω από 14 μήνες. Ύστερα από 10 μήνες οι καροτενοειδείς στη κονσέρβα είχαν διατηρηθεί κατά 93,2% ενώ στην κατάψυξη κατά 64%, με τις απώλειες να αυξάνονται όσο πλησίαζε στους 14 μήνες. Φυσικά το χρώμα του κονσερβοποιημένου πολτού ήταν ανώτερο από αυτό του κατεψυγμένου.

2) ντομάτες: Η ντομάτα είναι ένα φρούτο πλούσιο σε καροτενοειδείς. Σε ένα πείραμα [13], χρησιμοποιήθηκαν εντελώς ώριμες ντομάτες για να καταψυχθούν και να αποθηκευτούν για ένα χρόνο. Οι εντελώς ώριμες ντομάτες κόπηκαν και τοποθετήθηκαν σε σάκους πολυαιθυλενίου στους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ένα χρόνο. Μέσα σε αυτό το χρόνο, το κόκκινο χρώμα μειώθηκε (δηλαδή μειώθηκε η περιεκτικότητα σε καροτενοειδείς χρωστικές), και το κίτρινο χρώμα αυξήθηκε.

Αντιδράσεις καφετιάσματος: Οι αλλαγές χρώματος στα φρούτα συνήθως έχουν σαν αποτέλεσμα την απώλεια του βασικού χρώματός τους, και την εμφάνιση ενός άλλου, διαφορετικού χρώματος. Ο βασικός λόγος αυτού του αποτελέσματος είναι οι αντιδράσεις οξείδωσης που υφίστανται. Το ενζυματικό καφέτιασμα οφείλεται στην αντίδραση της πολυφαινιλοξειδάσης με το οξυγόνο του αέρα [13]. Τα περισσότερα φρούτα, κατά την αντίδραση ένζυμων με το οξυγόνο εμφανίζουν καφετιάσματα.

1) εσπεριδοειδή: Ο χυμός των εσπεριδοειδών διατηρεί το χρώμα του όταν αποθηκεύεται σε θερμοκρασίες $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ για έξι μήνες. Πολλές θεωρίες υπάρχουν για να ερμηνεύσουν το μηχανισμό του καφετιάσματος στα εσπεριδοειδή με επικρατέστερη την οξείδωση του ασκορβικού οξέος. Η οξείδωσή αυτή μετατρέπει το φρούτο σε άγευστο, και αποκτά καφέ χρωστικές. Το καφέτιασμα αυτό δεν υφίσταται μέχρι να εξαφανιστεί 10-15% του ασκορβικού οξέος [13].

2) σταφύλια: Γενικά στα σταφύλια, ο αποχρωματισμός που μπορεί να παρατηρηθεί, οφείλεται στην απώλεια της ανθοκυάνης. Η επίδραση της κατάψυξης ερευνήθηκε στα σταφύλια, και στο κρασί που φτιάχνουμε με αυτά [1]. Τσαμπιά με σταφύλια καταψύχθηκαν στους $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ένα μήνα. Στη συνέχεια τα σταφύλια αυτά μετατράπηκαν σε κρασί, το οποίο συγκρίθηκε με κρασί από σταφύλια που δεν είχαν καταψυχθεί. Το πρώτο, είχε μικρότερη περιεκτικότητα σε ταννίνες σε σχέση με το κρασί από φρέσκα σταφύλια. Καλύτερο χρώμα είχε το κρασί των φρέσκων σταφυλιών σε σχέση με το χρώμα του κρασιού των κατεψυγμένων.

- **Γεύση – Άρωμα**

Όπως τα λαχανικά, έτσι και τα φρούτα κατά τη κατάψυξή τους αποκτούν αυξημένη συγκέντρωση συστατικών όπως η αιθανόλη, με συνέπεια την αλλοίωση της γεύσης τους.

Πικρή γεύση του λεμονιού: Οι Maontani και Matsumoto [23] ερεύνησαν την αυξημένη πικρή γεύση του λεμονιού κατά τη κατάψυξη. Η πικρότητα οφείλεται στο υδατοδιαλυτό γλυκοσίδιο ναρινγίνιο, του οποίου αυξάνεται τη περιεκτικότητά του (από 18 mg% σε 30 mg%) όταν τα φρούτα καταψύχονται στους $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 11 ώρες.

Όσο αφορά το άρωμα, οι Ueda και Iwata [24], μελέτησαν τη μείωση του αρώματος δυο ποικιλιών φράουλας μετά τη κατάψυξή τους. Τα φρούτα καταψύχθηκαν στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, και ύστερα από μια εβδομάδα για τη μια ποικιλία, και ένα μήνα για την άλλη,

εμφανίστηκε ελάττωση έως και εξαφάνιση του αρώματος. Μετά από ανάλυση των πτητικών ουσιών στις φράουλες, φάνηκε ότι οι εστέρες (που είναι οι επικρατούσες μεταξύ όλων των πτητικών ουσιών) είχαν σχεδόν εξαφανιστεί, και σε αυτό το φαινόμενο προσδίδεται η έλλειψη αρώματος. Τα λιπαρά οξέα και τα καρβονυλικά συστατικά παρέμειναν στα ίδια επίπεδα.

- **Υφή**

Κατά τη διάρκεια εκτεταμένης μελέτης για ψυχόμενες φράουλες, οι Szczeniak και Smith [25] βρήκαν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των δομικών ιδιοτήτων των κυττάρων και του βαθμού ζημιάς τους. Ινώδεις ιστοί, όπως είναι τα αγγειώδη κύτταρα αλλά και άλλοι ιστοί με παχιά τοιχώματα, έχουν μεγάλο βαθμού αντίσταση στις ζημιές που δημιουργούνται λόγω ψύχους.

Τα τοιχώματα των κυττάρων των φρούτων, και ειδικότερα τα τμήματα ανάμεσα στα κύτταρα είναι πλούσια σε πηκτινικά συστατικά. Κατά την ωρίμανση, οι πηκτίνες υφίστανται εστεροποίηση με αποτέλεσμα οι ιστοί των φρούτων να μαλακώνουν. Το φαινόμενο αυτό παρεμποδίζεται με προσθήκη ιόντων ασβεστίου προτού ψυχθούν τα φρούτα, δημιουργώντας διαμοριακούς συνδέσμους όσο αφορά τις πηκτίνες, δυναμώνοντας τα τοιχώματα των κυττάρων και των εξωτερικών τοιχωμάτων των φρούτων [13]. Ύστερα από μελέτες, οι Crivelli και Rosati [26] παρατήρησαν μειωμένη απώλεια νερού σε συγκεκριμένη ποικιλία φράουλας, μετά από ψεκασμό των φρούτων με νιτρικό ασβέστιο.

- **Βιταμίνες**

Η θρεπτική αξία σχετίζεται με τις περιεχόμενες στα φρούτα ανόργανες ύλες, τις βιταμίνες, τα σάκχαρα, τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια. Μεταξύ αυτών των συστατικών, οι βιταμίνες θεωρούνται ως οι σημαντικότερες από κάθε πλευρά, αν και είναι οι πιο επιρρεπείς στην καταστροφή, με αποτέλεσμα μερικές φορές να μην υπάρχουν στο

τρόφιμο κατά τη κατανάλωσή του. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, οι βιταμίνες είναι διαλυτές μέσω υγρής έκχυσης από το φρούτο. Συνήθως οι μεταβολές αυτές στις βιταμίνες υφίσταται κατά το ζεμάτισμα των προϊόντων, αφού όπως σημειώθηκε και πριν, είναι υδατοδιαλυτές [1].

Βιταμίνη C: Το ασκορβικό οξύ είναι ένα από τα πρώτα συστατικά που ερευνήθηκε η σχέση των μεταβολών του με τη ποιότητα των φρούτων. Αυτό συνέβη αρχικά λόγω της μεγάλης σημαντικότητας του ασκορβικού οξέος στα φρούτα, και επειδή αποτελεί δείκτη των διάφορων χημικών αντιδράσεων που μπορεί να λαμβάνουν χώρα μέσα στο τρόφιμο [13]. Η οξείδωση του ασκορβικού οξέος μπορεί να είναι ενζυμική ή μη-ενζυμική, και οφείλεται στη παρουσία οξυγόνου, μετατρέποντάς το αρχικά σε άνυδρο ασκορβικό οξύ και στη συνέχεια σε 2,3-δικετογλουκονικό οξύ. Τα τελευταία δεν έχουν καμία σχέση με τη βιταμίνη C. Οι χαμηλές τιμές pH των φρούτων και κυρίως των μούρων (βατόμουρα, φράουλες), έχουν θετικές επιδράσεις στη σταθεροποίηση των τιμών του ασκορβικού οξέος [13].

1) μούρα: Σε μια ανασκόπηση, ο Hettmann [27] αναφέρει ότι οι απώλειες της βιταμίνης C σε κατεψυγμένες φράουλες και βατόμουρα ήταν μεταξύ 15-25 % ύστερα από αποθήκευση 12 μηνών στους -18 °C.

Επίσης, οι Fraczak και Zalewska [28] ερεύνησαν τις απώλειες της βιταμίνης C σε αυτά τα δυο είδη φρούτων κατά τη κατάψυξή τους. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η τοποθέτηση σε τούνελ κατάψυξης στους -30 °C για πολλές ώρες, ρευστοποίηση για 1-3 ώρες, ή κατάψυξη μαζί με ζάχαρη για 75-90 λεπτά. Τα φρούτα καταψύχθηκαν επίσης με υγρό άζωτο στους -180 °C, ή με υγρό διοξείδιο του άνθρακα στους -78 °C για 15 δευτερόλεπτα. Τα κατεψυγμένα φρούτα του τούνελ, τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και αποθηκεύτηκαν για 6 μήνες στους -25 °C, ενώ τα φρούτα που ήταν μαζί με ζάχαρη τοποθετήθηκαν σε κονσέρβες στους -18 °C

και τα εναπομείναντα σε σάκους πολυαιθυλενίου στους $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση της βιταμίνης C, εξαρτάται από τη μέθοδο κατάψυξης που θα χρησιμοποιηθεί. Μεγαλύτερες απώλειες παρατηρήθηκαν στην κατάψυξη με τούνελ (3,6% μετά τη κατάψυξη και 38,4% μετά την αποθήκευση για τις φράουλες, και 27,6% και 61,3% αντίστοιχα για τα βατόμουρα). Η μεγαλύτερη διατήρηση ασκορβικού οξέος στις φράουλες παρατηρήθηκε όταν αυτές καταψύχθηκαν με ζάχαρη με απώλειες 2,5% μετά τη κατάψυξη και 25% μετά την αποθήκευση. Αντίστοιχα στα βατόμουρα οι μικρότερες απώλειες εμφανίστηκαν κατά τη κατάψυξη σε υγρό άζωτο με απώλειες 1,3% και 8,6% αντίστοιχα.

2) εσπεριδοειδή: Ο El-Ashwah με την ομάδα του [29] ερεύνησε τη διατήρηση του ασκορβικού οξέος σε κατεψυγμένο χυμό λεμονιού. Ύστερα από 12 μήνες αποθήκευσης σε χαμηλές θερμοκρασίες κατάψυξης (προηγουμένως ο χυμός είχε υποστεί παστερίωση στους $76\text{ }^{\circ}\text{C}$ για ένα λεπτό), η περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ μειώθηκε από 37,5 σε 25,4 mg/ 100 ml χυμού. Σε κατεψυγμένο μη-παστεριωμένο χυμό, το ποσοστό ασκορβικού οξέος μειώθηκε από 37,8 σε 21,2 mg/ 100 ml χυμού.

Ο El-Baki [30] σε μια νέα έρευνα, αφού παστερίωσε τον χυμό στους $85\text{ }^{\circ}\text{C}$, τον κατέψυξε σε κοντέινερς στους $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 24 ώρες. Ο πάγος που δημιουργήθηκε σπάστηκε και μέσω φυγοκέντρισης απομακρύνθηκε ο χυμός. Αφού η διαδικασία αυτή έγινε άλλες δυο φορές, ο χυμός που απομακρύνθηκε αποθηκεύτηκε στους $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 8 μήνες. Η ποσότητα ασκορβικού οξέος κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης από τους κρυστάλλους μειώθηκε κατά 35% (κυρίως λόγω της οξειδωσής του), ενώ κατά την αποθήκευση υπήρχε μια περαιτέρω απώλεια της τάξης του 20%. Γίνεται λοιπόν φανερό η επίδραση του οξυγόνου στη μείωση της ποσότητας της βιταμίνης C.

3) κίουι: Ο Capo [31] μελέτησε τις μεταβολές του ασκορβικού οξέος κατά την κατάψυξη κομματιών κίουι. Κατά τη διάρκεια της κατάψυξης οι μεταβολές αυτές στα κίουι ήταν της τάξης του 10-25%.

4) μάνγκο: Σε μια μελέτη [13], κομμένα κομμάτια από μάνγκο καταψύχθηκαν στους $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε καταψύκτες με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα, μέχρι το εσωτερικό των κομματιών να φτάσει τη θερμοκρασία των $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Στο τέλος της εργασίας βρέθηκε ότι κατά τη κατάψυξη, υπήρξε μείωση της ποσότητας του ασκορβικού οξέος κατά 25-50 % (με τις κανονικές τιμές βιταμίνης C σε ένα φρέσκο μάνγκο να είναι 18,08-38,69 g/ 100 g).

Άλλες βιταμίνες: Και άλλες βιταμίνες εκτός από τη βιταμίνη C υφίσταται χημική αλλοίωση. Συνήθως εκτός της βιταμίνης C, κατά τη κατάψυξη μόνο οι βιταμίνες B, και σε μικρό βαθμό η A, υφίστανται υποβάθμιση. Τα καροτίνια υφίστανται μείωση, ενώ το φολικό οξύ, η νιασίνη, η ριβοφλαβίνη, η θειαμίνη και η πυριμιδίνη παραμένουν αναλλοίωτες. Μεγάλη προσπάθεια έχει γίνει για τη διατήρηση σε μεγάλα ποσοστά της προβιταμίνης A (α-, β-, γ-καροτίνια), διότι ενεργούν και σαν χρωστικές στα φρούτα. Οι καροτενοειδείς υφίστανται αλλοίωση, γεγονός που έχει φανεί κατά την κατάψυξη ποσοτήτων μάνγκο και ντομάτας.

- **Χημικές-Βιοχημικές αντιδράσεις**

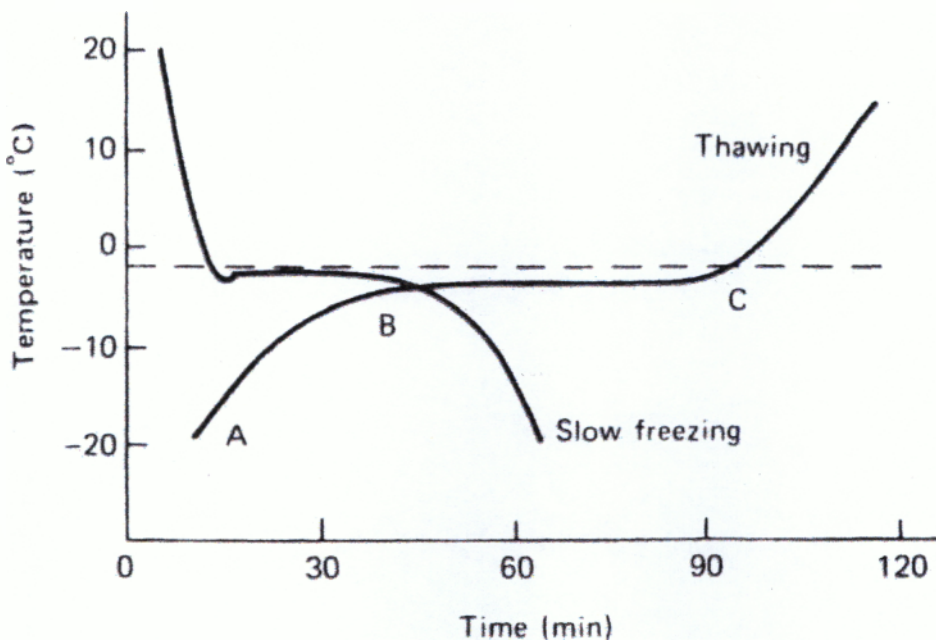
Σε έρευνα που διεξήχθη από τον Gorgatti Netto και την ομάδα του [32], δεν εμφανίστηκαν μεγάλες αλλαγές στο pH, τα °Brix και τα σάκχαρα, κομματιών μάνγκο που είχαν καταψυχθεί στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ μαζί με σιρόπι ζάχαρης για 4 μήνες. Κατά τη διάρκεια της ψύξης μειώθηκε λίγο η περιεκτικότητα σε οξέα. Σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα βρέθηκαν και κατά τη κατάψυξη χυμού λεμονιού στους $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 10 μήνες, όπως και σε πέντε διαφορετικές ποικιλίες βατόμουρων (κατάψυξη στους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, για 1-9 μήνες), αφήνοντας την εντύπωση ότι δεν υφίσταται σημαντικές αλλαγές

σε αυτούς τους παράγοντες. Παρόλα αυτά στα σταφύλια υπάρχει μια διαφοροποίηση [13]. Στα κατεψυγμένα σταφύλια στους $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, για 1 μήνα, δεν εμφανίστηκε αλλαγή στην περιεκτικότητα σε σάκχαρα, εμφανίστηκε μείωση των οξέων που είχε σαν αποτέλεσμα απευθείας αύξηση του pH στα κρασιά που παρασκευάστηκαν από αυτά τα σταφύλια. Αλλαγή στα $^{\circ}\text{Brix}$ δεν εμφανίστηκε, αλλά αυξήθηκε η συγκέντρωση σε κάλιο.

5. ΑΠΟΨΥΞΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΠΟΨΥΞΗΣ

Η απόψυξη σε βιομηχανική κλίμακα πρέπει να ακολουθεί ορισμένους κανόνες εάν θέλουμε να πραγματοποιείται με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης και χωρίς να βλάπτεται η ποιότητα του προϊόντος. Όποια και αν είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος, για να αποψυχθεί ένα προϊόν που βρίσκεται στους $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ πρέπει να προσφερθεί ενέργεια της τάξης των 250 έως 300 KJ ανά Kg. Το αποψυγμένο προϊόν αλλοιώνεται όπως και το προϊόν που δεν έχει καταψυχθεί, γι'αυτό πρέπει να το συντηρούμε, μέχρι τη χρησιμοποίησή του, στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Σχήμα 5.1) [10].



Σχ. 5.1 Αλλαγές θερμοκρασίας κατά την απόψυξη

Οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την απόψυξη είναι [2]:

- η αποφυγή της υπερθέρμανσης του προϊόντος
- η ελαχιστοποίηση όσο το δυνατόν της διάρκειας απόψυξης
- η αποφυγή της υπερβολικής αφυδατώσεως του προϊόντος

5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΨΥΞΗΣ

Συνήθως υπάρχουν δυο ομάδες μεθόδων απόψυξης, αυτή που η θερμότητα οδηγείται στο εσωτερικό του κατεψυγμένου τροφίμου από την επιφάνεια, και αυτή όπου η θερμότητα παράγεται στο εσωτερικό της μάζας του προϊόντος [10].

Αναλυτικά οι μέθοδοι απόψυξης είναι οι εξής :

- εξωτερική θέρμανση
- διπλή επαφή
- εσωτερική θέρμανση

Κατά την εξωτερική θέρμανση, ο χρόνος της απόψυξης περιορίζεται με τη μείωση των διαστάσεων του προϊόντος, με την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας, με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ επιφάνειας προϊόντος και μέσου, με την αύξηση της κίνησης του μέσου και τέλος με την αύξηση της υγρασίας του περιβάλλοντος. Έτσι η απόψυξη μπορεί να γίνει σε ήρεμο αέρα μέγιστης θερμοκρασίας 20 °C, με βεβαισμένης κυκλοφορίας αέρα θερμοκρασίας μέχρι 20 °C και υγρασίας 90 % τουλάχιστον, με νερό θερμοκρασίας μικρότερης από 20 °C ή τέλος σε κενό, έτσι ώστε η εξάτμιση του νερού να πραγματοποιείται στους 18 °C και το περιβάλλον να είναι κορεσμένο σε αέρα [10].

Με τη μέθοδο της διπλής επαφής αποψύχονται προϊόντα που καταψύχονται σε καταψύκτες τύπου πλακών (η απόψυξη γίνεται σε ανάλογες εγκαταστάσεις). Βασικό χαρακτηριστικό των εγκαταστάσεων αυτών είναι ότι μέσα στις πλάκες κυκλοφορεί ένα υγρό το οποίο έχει θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 20 °C [10].

Τέλος, η μέθοδος της εσωτερικής θέρμανσης (Σχήμα 5.2) βασίζεται στην εφαρμογή ηλεκτρικών πεδίων που κινητοποιούν τα ηλεκτρικά φορτία τα οποία υπάρχουν σε όλα τα προϊόντα. Τα μόρια απορροφούν την ενέργεια που αντιστοιχεί σ' αυτήν την κίνηση και έτσι το προϊόν θερμαίνεται. Στη πράξη η απόψυξη επιτυγχάνεται είτε με ηλεκτρικές αντιστάσεις (όπου το προϊόν τοποθετείται μεταξύ δυο επίπεδων ηλεκτροδίων και το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από τη μάζα του), είτε με υψηλές συχνότητες των περιοχών 27 έως 100 MHz και 915 έως 2450 MHz. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι οι πολύ υψηλές συχνότητες έχουν περιορισμένη διείσδυση στη μάζα του προϊόντος, το οποίο πρέπει να έχει μικρές διαστάσεις (3 έως 4 cm) [10].



Σχ. 5.2 Σύστημα απόψυξης τροφίμων

5.3 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΨΥΞΗ

Όταν το νερό αποψύχεται σε αέρα ή νερό, ο πάγος που βρίσκεται στην επιφάνεια του προϊόντος λιώνει, σχηματίζοντας μια ρευστή υδατική στοιβάδα (αρχικά στην επιφάνεια και μετά στα εξωτερικά στρώματα του προϊόντος), με τη θερμοκρασία της κατεψυγμένης μάζας να φτάνει γρήγορα σε μια θερμοκρασία λίγο μικρότερη από τους 0 °C [2]. Το νερό έχει μικρότερη θερμική αγωγιμότητα (κατά τέσσερις φορές) και μικρότερη θερμική διάχυση από τον πάγο, με αποτέλεσμα η επιφανειακή υδατική στοιβάδα να μειώνει το ρυθμό της ταχύτητας διάχυσης της θερμότητας τήξεως στο κατεψυγμένο εσωτερικό του προϊόντος. Το μονωτικό αυτό φαινόμενο αυξάνεται καθώς η στοιβάδα των αποψυγμένων προϊόντων γίνεται όλο και πιο παχιά (σε αντίθεση, κατά τη διάρκεια της κατάψυξης, η αύξηση του πάχους του πάγου προκαλεί αύξηση της μεταφοράς θερμότητας). Συνεπώς η απόψυξη είναι μεγαλύτερη σε διάρκεια και βραδύτερη από την κατάψυξη (όταν οι θερμοκρασιακές διαφορές και άλλες συνθήκες είναι παρόμοιες) [33].

5.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

Κατά τη διάρκεια της απόψυξης, η αρχική γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην απουσία μιας ρευστής υδατικής στοιβάδας γύρω από το προϊόν [33]. Στη συνέχεια για μεγάλο χρονικό διάστημα η θερμοκρασία του προϊόντος είναι κοντά σε αυτή που λιώνει ο πάγος. Σε αυτή τη περίοδο οποιαδήποτε κυτταρική βλάβη στο προϊόν, που δημιουργήθηκε λόγω της αργής κατάψυξης ή της επανακρυστάλλωσης, έχει σαν αποτέλεσμα την αποδέσμευση συστατικών του κυττάρου (μέσω της

απώλειας υγρασίας). Τέτοια συστατικά μπορεί να είναι υδατοδιαλυτές θρεπτικές ουσίες, παραδείγματος χάριν τα φρούτα χάνουν 30 % της περιεχόμενης σε αυτά βιταμίνης C [34].

Επίσης, η απώλεια υγρασίας από το προϊόν έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό υποστρώματος που βοηθά την ενζυματική δραστηριότητα και τη μικροβιακή ανάπτυξη [34]. Η μικροβιακή μόλυνση, οφείλεται σε ανεπαρκές πλύσιμο ή ζεμάτισμα των προϊόντων και παίζει αποφασιστικό ρόλο κατά την απόψυξη [2]. Η σχετικά μεγάλη διάρκεια της απόψυξης, ευνοώντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών, αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για μεγάλα και συμπαγή τεμάχια κατεψυγμένων προϊόντων. Όσο αφορά την ενζυματική δραστηριότητα, τα ένζυμα που είχαν απενεργοποιηθεί λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών συντήρησης, επαναενεργοποιούνται προκαλώντας στα προϊόντα διάφορες αλλαγές, όπως καφέτιασμα και υπεροξειδωση ακόρεστων λιπαρών οξέων [2].

Τέλος, η απόψυξη προϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, όπως οι ντομάτες και τα κολοκυθάκια, έχει σαν αποτέλεσμα αυτά να αποκτούν πορώδη και πιο μαλακή υφή (σε σχέση με τη κανονική τους υφή). Το φαινόμενο αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε στην απώλεια υγρασίας και στη δομή των κυττάρων [34]. Σε μερικές περιπτώσεις βέβαια, προϊόντα που είναι επιρρεπή στο μαλάκωμα, είθησαι να τρώγονται αποψυγμένα κατά το ήμισι. Αυτό υφίσταται διότι η ευστάθεια των κρυστάλλων πάγου που παραμένουν, αντισταθμίζει την απώλεια υφής λόγω καταστροφής των κυττάρων, και η ποιότητα των φρούτων δεν υποβαθμίζεται σε μεγάλο βαθμό [33].

6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Απ'όλα τα παραπάνω εύκολα μπορεί να γίνει φανερός ο σπουδαίος ρόλος που διαδραματίζει η συντήρηση τροφίμων και ειδικότερα η ψύξη, η κατάψυξη και η απόψυξη στη διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων σε ένα υψηλό επίπεδο, καθιστώντας παράλληλα αυτά ελκυστικά προς τον καταναλωτή και κατάλληλα προς χρησιμοποίηση. Επιπρόσθετα, μέσω των συγκεκριμένων μεθόδων επηρεάζεται και η λειτουργία του νερού που περιέχεται μέσα στα τρόφιμα, διαμορφώνοντας και αυτό, μέσω των περίπλοκων και πολλαπλών ιδιοτήτων του, τη τελική κατάσταση του συντηρούμενου προϊόντος.

Η διατήρηση λοιπόν των τροφίμων έχει κάνει πολλά βήματα μπροστά, και έχει μετατραπεί από μια τέχνη που ήταν στο παρελθόν, σε μια επιστήμη με μεγάλη έκταση αρχών και μεθόδων. Βέβαια αυτό δε σημαίνει πως δεν υπάρχει ανάγκη για την ανεύρεση ιδεών για τον εκσυγχρονισμό των μεθόδων συντήρησης που ήδη υπάρχουν, αλλά και την ανάπτυξη νέων μεθόδων που θα βοηθήσουν στη περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου. Οι καταναλωτές, μέσω του ανταγωνισμού των προϊόντων γίνονται όλο και πιο απαιτητικοί. Οι διατροφικές τους συνήθειες αλλάζουν συνέχεια, με πιο πρόσφατη τη στροφή των καταναλωτών προς τα υγιεινά και φρέσκα φρούτα και λαχανικά, ενώ οι απαιτήσεις τους για προϊόντα με όσο το δυνατόν περισσότερα θρεπτικά συστατικά και λιγότερα συντηρητικά, αυξάνονται ραγδαία. Από την άλλη υπάρχει ο οικονομικός παράγοντας, δηλαδή το κόστος παραγωγής και μεταφοράς των προϊόντων στους τόπους πώλησης (το οποίο πρέπει να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο για να αποφέρει κέρδη), αλλά και η τιμή πώλησης του προϊόντος (που θα πρέπει να είναι ιδανική ώστε να ικανοποιεί τον καταναλωτή αλλά και τον πωλητή). Τέλος υπάρχει και ο περιβαλλοντικός παράγοντας, δηλαδή η απαίτηση, αλλά κυρίως η ανάγκη, για επεξεργασία-συντήρηση των προϊόντων με όσο το δυνατόν λιγότερη

χρησιμοποίηση ενέργειας (και από πλευράς κόστους και από πλευράς εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων), και με το μικρότερο έως μηδενικό αντίκτυπο στο ίδιο το περιβάλλον (μόλυνση των υδάτων, της ατμόσφαιρας, του εδάφους).

Είναι μεγάλη λοιπόν η ανάγκη αφενός της εξεύρεσης νέων μεθόδων συντήρησης τροφίμων, αφετέρου δε του εκσυγχρονισμού των μεθόδων που αναφέρθηκαν παραπάνω, αφού με αυτό το τρόπο (σε συνδυασμό φυσικά με τις συνεχόμενες και όλο και περισσότερες μελέτες και έρευνες που πρέπει να γίνονται) θα παραχθούν καλύτερης ποιότητας και καταλληλότερα προϊόντα. Επιπλέον, στη πραγματοποίηση αυτού του σκοπού θα βοηθήσει η επιπλέον και συνεχόμενη αύξηση των γνώσεων πάνω στα φαινόμενα της ψύξης, κατάψυξης και απόψυξης των τροφίμων, και φυσικά των ιδιοτήτων του νερού (που παρουσιάζει και τις περισσότερες διακυμάνσεις κατά τα φαινόμενα αυτά). Επιπρόσθετα, θα πρέπει να δοθεί μεγάλη βαρύτητα στη κατανόηση και ανάπτυξη των τεχνολογιών συντήρησης (τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται, τα υλικά συσκευασίας και γενικά η συσκευασία κατά τη συντήρηση των τροφίμων), ούτως ώστε να ελαττωθεί η οικονομική επιβάρυνση, η μόλυνση του περιβάλλοντος και η χρησιμοποίηση φυσικών πόρων. Ο συνδυασμός των παραπάνω (αύξηση των γνώσεων - ανάπτυξη τεχνολογιών), θα αποφέρει και το επιθυμητό αποτέλεσμα, που δεν είναι άλλο από τη διάθεση στους καταναλωτές προϊόντων με αυξημένη “ ζωή στο ράφι ” και βελτιωμένες λειτουργικές, αισθητήριες και θρεπτικές ιδιότητες, όπως τα φρέσκα προϊόντα.

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. THELMA M. HARDMAN (1989) Water and Food Quality. UNIVERSITY OF READING, UK σελ. 2 - 17

2. PJ FELLOWS (1994) Food Processing Technology, Principles and Practice 2nd edition σελ. 2 - 4, 396 - 399

3. M. SHAFIUR RAHMAN (1998) Handbook of Food Preservation σελ. 3 – 10, 348 - 349

4. www.altavista.com/νερό

5. www.wickypedia.gr/νερό

6. R. ROGER RUAN, PAUL L. CHEN. (1998) Water in Foods and Biological Materials (A Nuclear Magnetic Resonance Approach) σελ. 49 - 65

7. www.google.gr/νερό

8. Στ. ΜΑΡΚΑΚΗΣ (1996) Στοιχεία Τεχνολογίας Τροφίμων, ΑΘΗΝΑ σελ. 87 - 92

**9. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ Σ. ΡΟΔΗ (1995) Μέθοδοι Συντήρησης Τροφίμων.
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, ΑΘΗΝΑ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ σελ. 174 - 179**

**10. ΕΛΕΝΗ ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΥ - ΛΑΜΠΡΙΝΟΥ ΚΑΙ ΓΡΗΓΟΡΗΣ
ΛΑΜΠΡΙΝΟΣ (1989) Συντήρηση με Ψύξη Φρούτων και Λαχανικών ,
σελ. 68 – 130, 135 - 158**

**11. SAMUEL A. MATZ (1965) Water in Foods. WESTPORT COMMERCIAL,
UK σελ. 189 – 191, 196 - 201**

**12. LESTER E. JEREMIAH. (1996) Freezing Effects on Food Quality, USA
σελ. 240 - 242**

**13. D. SIMATOS, J. L. MULTON (1985) Properties of Water in Foods in
Relation to Quality and Stability. MARTINS NIJHOFF PUBLISHERS
σελ. 205 - 208**

**14. H. CAMPBELL (1937) Undesirable Color Changes in Frozen Peas Stored at
Insufficiently Low Temperatures, FOOD RES. σελ. 149 - 154**

**15. G.C. WALKER (1964) Color Deterioration in Frozen Green Beans
(Phaseolus Vulgaris), J. FOOD SCI. σελ. 150 - 156**

**16. H.G. MULLER and G. TOBIN (1980) Nutrition and Food Processing, AVI
PUBLISHING CO. WESTPORT CT σελ. 85 - 90**

17. J. URBANYI (1987) Changes In Color and Anthocyanin Content of Quick-Frozen Sour Cherries During Freezing and Subsequent Storage σελ. 23 - 25
18. W. LENARTOWICZ and J. ZBROSZCZYK (1990) The Quality of Highbush Blueberry Fruit Part I. Fresh Fruit Quality of Six Highbush Blueberry Cultivars and Their Suitability for Freezing σελ. 96 - 99
19. A.A. BUSHWAY, R.J. BUSHWAY, R.H TRUE and T.M WORK (1992) Comparison of The Physical, Chemical and Sensory Characteristics of Five Raspberry Cultivars Evaluated Fresh and Frozen, FRUIT VAR. σελ. 40 - 42
20. J.L. ROBERSON (1985) Changes in the Chlorophyll and Pheophytin Concentrations of Kiwi Fruit During Processing and Storage, FOOD CHEM. σελ. 103 - 106
21. J.A. VENNING, DJ W. BURNS and K.M. HOSKIN (1989) Factors Influencing the Stability of Frozen Kiwifruit Pulp, J. FOOD SCI. σελ. 94 - 104
22. K.V.R RAMANA, H.S. RAMASWAMY and S. RANGANNA (1984) Freezing Preservation of Totapuri Mango Pulp, J FOOD SCI. TECHNOL. σελ. 20 - 25
23. T. MAONTANI and R. MATSUMOTO (1978) Studies On Bitterness In Citrus Fruits I. Method of Determination Of Nringin, J. JPN. SOC. Σελ. 13 - 17

24. Y. UEDA and T. IWATA (1982) Undesirable Odour of Frozen Strawberries, J. JEN SOC. HORT. SCI. σελ. 32 - 36
25. A.S. SZCZESNIAK and B.J. SMITH (1969) Observations On Strawberry Texture. A Three-Pronged Approach, J. TEXT. STUB σελ. 43 - 49
26. G. CRIVELLI and P. ROSATI (1975) Researces On Quick Freezing of Strawberry Suitability of Varieties, VALORIZZAZIONE TECNOL. PROD. AGRIC. Σελ. 30 - 45
27. K. HERRMANN (1971) Quality Maintenance In Vegetables and Fruit By Processing and Freezing σελ. 10 - 12
28. T. FRACZAK and M. ZALEWSKA-KORONA (1990) Effects of Different Freezing Procedures Applied at Berries and of Frozen Storage Conditions On the Vitamin C Content σελ. 76 - 110
29. F.A. EL-ASHWAH, H.K. EL-MAKAWATY and H.W. HABASHY (1986) Effect of Storage On Fruit Pulps. Preliminary Study σελ. 102 - 112
30. M.M. AD. EL BAKI (1980) Concentration of Fruit Juice I. Concentration of Lime Juice σελ. 37 - 40

**31. M.P CANO (1992) Pigment Composition and Color of Frozen and Canned
Kiwifruit Slices, AGRIC. FOOD CHEM σελ. 30 - 37**

**32. A. GORGATTI NETTO, E.W. BLEINROTH and L.C. LAZZARINI (1973)
Quality Evaluation of Frozen Sliced Mangoes In Syrup, Proceedings of the XIII
International Congress Refrigeration, VOL 3 AVI, WESTPORT. CT. σελ. 38 -40**

**33. Γ. ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ Τεχνολογία Γεωργικών Βιομηχανιών, ΑΘΗΝΑ
σελ. 237 - 239**

**34. S.T. BECKETT (1995) Physicochemical Aspects of Food Processing, USA
σελ. 309 - 310**