

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

ΜΠΑΣΤΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ**



Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Κεφάλαιο 1.....	4
1. Γενικά περί κρέατος.....	4
1.1. Εισαγωγή.....	4
1.2. Μικροβιακή χλωρίδα του κρέατος.....	5
1.3. Βασικές αρχές της μικροβιακής αλλοίωσης.....	9
1.4. Αλλοίωση του κρέατος-Ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί.....	12
1.5. Η χημεία της αλλοίωσης.....	12
Κεφάλαιο 2.....	18
2. Μέσα και μέθοδοι συντήρησης.....	18
2.1. Συντήρηση του κρέατος με ψύξη.....	18
2.2. Συντήρηση του κρέατος με κατάψυξη.....	24
2.2.1. Συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη.....	28
2.2.2. Απόψυξη του καταψυγμένου κρέατος.....	34
Κεφάλαιο 3.....	40
3. Τροποποιημένη ατμόσφαιρα.....	40
3.1. Συσκευασίες σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες.....	40
3.2. Συσκευασία υπό κενό.....	41
3.3. Συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα κορεσμένη σε CO ₂	45
3.4. Συσκευασία του νωπού κρέατος σε ατομικές μερίδες.....	48
3.4.1. Περιτύλιξη του κρέατος σε δίσκους.....	48
3.5. Συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα.....	50
3.6. Συσκευασία καταψυγμένου κρέατος.....	52
Βιβλιογραφία.....	54

Περίληψη

Η συσκευασία του νωπού κρέατος σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες περιορίζει σημαντικά τη μικροβιακή αλλοίωση. Κάτω από αυτές τις συνθήκες συντήρησης παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των γρήγορα αναπτυσσόμενων αερόβιων *Pseudomonads* ενώ τα γαλακτικά βακτήρια και ο *Brochothrix thermosphacta* αποτελούν την επικρατέστερη μικροβιακή χλωρίδα στο κρέας και στα προϊόντα του. Η παρεμπόδιση των *Pseudomonads* μπορεί να θεωρηθεί ωφέλιμη με την έννοια ότι τα μεταβολικά προϊόντα των γαλακτικών βακτηρίων και του *Brochothrix thermosphacta* είναι σχετικά 'ακίνδυνα' σε σχέση με τις δύσοσμες ουσίες που παράγουν οι *Pseudomonads*. Όμως, τόσο η επιλογή διάφορων συγκεντρώσεων τροποποιημένης ατμόσφαιρας όσο και η χρήση πλαστικών συσκευασίας με διαφορετικές τιμές διαπερατότητας αερίων, ακόμα και σε συσκευασία της ίδιας τροποποιημένης ατμόσφαιρας, μπορεί να επιφέρει ανατροπή ή περιορισμό αυτού του επθυμητού αποτελέσματος.

Η συσχέτιση της μικροβιακής ανάπτυξης και της διάρκειας ζωής αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη της μικροβιακής αλλοίωσης του νωπού κρέατος. Συνήθως αυτά τα αποτελέσματα προέρχονται από τις κλασικές μεθόδους μικροβιολογίας κι έτσι μας δίνουν πληροφορίες όταν πια το τρόφιμο έχει αλλοωθεί ή καταναλωθεί. Επιπλέον, το είδος της μικροβιακής αλλοίωσης θα εξαρτηθεί από τις συνθήκες συντήρησης στις οποίες μόνο ένα κλάσμα της συνολικής μικροχλωρίδας του νωπού κρέατος θα είναι υπεύθυνο για την αλλοίωση. Ο όρος "ειδικοί αλλοιογόνοι οργανισμοί" έχει υιοθετηθεί για τον χαρακτηρισμό αυτού του κλάσματος. Ο προσδιορισμός, λοιπόν, των ειδικών αλλοογόνων μικροοργανισμών και των μεταβολικών προϊόντων που παράγουν κατά την ανάπτυξη τους στο νωπό κρέας μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για το βαθμό της αλλοίωσης.

Αν και η εφαρμογή της συσκευασίας σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες αυξάνει το χρόνο ζωής του νωπού κρέατος δεν παύει να αποτελεί ένα σημείο επικινδυνότητας για την υγεία του ανθρώπου. Η ανάπτυξη ή επιβίωση ορισμένων μικροαερόφιλων-ψυχρόφιλων παθογόνων μικροοργανισμών, π.χ. *Listeria monocytogenes*, σε τέτοιες συσκευασίες έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας σε πολλές χώρες. Σε πολλές χώρες βιβλιογραφικές αναφορές τα αποτελέσματα είναι αντιφατικά.

Κεφάλαιο 1

1. Γενικά περί κρέατος

1.1. Εισαγωγή

Οι καταναλωτές με την έννοια 'κρέας' αντιλαμβάνονται τους σκελετικούς μύες των σφαζόμενων ζώων, των πτηνών, των ζώων κυνηγιού και των ψαριών (Μεταξόπουλος, 1989). Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, ως 'κρέας' χαρακτηρίζονται αυτοτελή σώματα ή τμήματα σωμάτων των θερμόαιμων ζώων ή πτηνών κατάλληλα προς διατροφή του ανθρώπου και διατιθέμενα στην κατανάλωση ως έχουν χωρίς καμία επεξεργασία εκτός της ψύξης. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινής Αγοράς, με την έννοια 'κρέας' νοούνται όλα τα κατάλληλα για τη διατροφή του ανθρώπου μέρη των βοοειδών, αιγοπροβάτων, χοίρου και μονόπλων τα οποία εκτρέφονται σαν κατοικίδια ζώα. Το μέρος του σώματος των θερμόαιμων ζώων που παραμένει μετά τη σφαγή, την αφαιμάξη, την εκδορά, τον εκσπλαχνισμό και πιθανόν την αφαίρεση της κεφαλής και των άκρων, αποτελεί το σφάγιο.

Ανάλογα με την προέλευση του, το κρέας διακρίνεται σε ερυθρό κρέας, κρέας πουλερικών, κρέας ιχθυερών και κρέας κυνηγιού. Η κατηγορία του ερυθρού κρέατος περιλαμβάνει το κρέας των βοοειδών, των χοίρων, των αιγοπροβάτων, του αλόγου, της αντιλόπης, της καμήλας, του βούβαλου, του κουνελιού και άλλων θερμόαιμων ζώων. Στο κρέας πουλερικών ανήκει το κρέας των οικιακών πτηνών, όπως είναι οι όρνιθες, οι γαλοπούλες, οι πάπιες και οι χήνες. Το κρέας ιχθυερών περιλαμβάνει το κρέας όλων των αλιευμάτων (ιχθύς, μαλάκια, οστρακόδερμα και εχινόδερμα). Τέλος, το κρέας του κυνηγιού περιλαμβάνει το κρέας των ζώων και πτηνών που δεν εκτρέφονται από τον άνθρωπο.

Οι ιστοί που απαρτίζουν το κρέας είναι ο μυϊκός, ο συνδετικός και ο λιπώδης. Ο μυϊκός ιστός (muscular tissue) αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του σφαγίου και διακρίνεται σε γραμμωτό, καρδιακό και λείο μυϊκό ιστό. Ο γραμμωτός μυϊκός ιστός περιλαμβάνει περισσότερους από 300 ανεξάρτητους μύες, οι οποίοι κατά τη μικροσκοπική τους εξέταση εμφανίζουν εγκάρσιες γραμμώσεις κι γι' αυτό λέγονται γραμμωτοί ή σκελετικοί ή εκούσιοι μύες. Ο καρδιακός μυϊκός ιστός απαντά στο μυοκάρδιο και ο λείος μυϊκός ιστός απαντά στους μυϊκούς χιτώνες των κοίλων σπλάχνων και των αγγείων, στο δέρμα και στους

οφθαλμούς (Μπλούκας, 1998). Η βασική μονάδα του κάθε μυός είναι η μυϊκή ίνα (muscle fiber) η οποία αποτελείται από το σαρκείλημα, τα μυϊκά ινίδια, το σαρκόπλασμα και τους πυρήνες (Μεταξόπουλος, 1989). **Συνθετικός ιστός** (connective tissue) είναι ο ιστός που αποτελείται κυρίως από τις πρωτεΐνες κολλαγόνο, ελαστίνη και ρετυχουλίνη. **Λιπώδης ιστός** (fat or adipose tissue) θεωρείται ο ιστός που αποτελείται από λιπώδη κύτταρα και προέρχεται από κρέας ή από τις περιοχές των φυσικών κοιλοτήτων (κοιλίας, πύλου), όχι όμως από τα έντερα (Μεταξόπουλος, 1989).

Η χημική σύνθεση του κρέατος ποικίλει και εξαρτάται από το είδος, το φύλο και την ηλικία του ζώου, το είδος της διατροφής του, τη μεταχείριση του ζώου πριν και κατά τη σφαγή, τη διάρκεια και τη θερμοκρασία ωρίμανσης και συντήρηση του κρέατος. Η εκατοστιαία χημική σύνθεση του σκελετικού μυός, που είναι απαλλαγμένος από το ορατό λίπος, είναι κατά μέσο όρο: 72-75% νερό, 18.5-21% πρωτεΐνες, 1-3% λίπη, 1.7% εκχυλισματικές αζωτούχες ουσίες, 0.9-1% εκχυλισματικές μη αζωτούχες ουσίες, και 1% ανόργανα άλατα .

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η χημική σύσταση ενός μυός ενηλικιωμένου θηλαστικού μετά τη νεκρική ακαμψία. Λόγω της σχετικής αναλογίας όλων αυτών των συστατικών το κρέας αποκτά μία ιδιαίτερη δομή, υφή, άρωμα, χρώμα και θρεπτική αξία. Είναι κατά συνέπεια ένα τρόφιμο υψηλής βιολογικής αξίας και μεγάλης οικονομικής σημασίας. Είναι όμως ταυτόχρονα και ένα προϊόν ιδιαίτερα ευπαθές και ευάλωτο.

1.2 Μικροβιακή χλωρίδα του κρέατος

Οι Ingram and Dainty (1971) διέκριναν την 'εξωγενή' και την "ενδογενή" μικροχλωρίδα του κρέατος. Με αυτούς τους όρους οι ερευνητές αναφέρουν ότι η μόλυνση του συγκεκριμένου οικοσυστήματος (νωπό κρέας) μπορεί να συμβεί είτε από εσωτερικές είτε από εξωτερικές πηγές μόλυνσης. Ως εσωτερικές πηγές μόλυνσης αναφέρονται εκείνα τα βακτήρια που αναπτύσσονται στο βάθος των ιστών του κρέατος. Έναν πιθανό μηχανισμό εσωτερικής επιμόλυνσης αποτελεί η εισαγωγή βακτηρίων στο εσωτερικό τμήμα των σφαγίων από τα σπλάχνα είτε κατά τη διάρκεια της σφαγής είτε μεταθανάτια. Παρ' όλα αυτά, οι Gill et al. (1978) δεν παρατήρησαν μετανάστευση βακτηρίων στο εσωτερικό ιστό κρέατος, σε ζώα όπου ο εκσπλαχνισμός πραγματοποιήθηκε μια μέρα μετά από το θάνατο ή όταν τα ζώα είχαν εξαντληθεί πριν το θάνατο. Διείσδυση μικροοργανισμών στο κρέας παρατηρήθηκε

όταν πρωτεολυτικά βακτήρια είχαν φτάσει στη μέγιστη κυτταρική τους πυκνότητα, όπου με τη βοήθεια των εξωκυτταρικών πρωτεασών που παρήγαγαν, αποσύνθεσαν το συνδετικό ιστό μεταξύ των μυϊκών ινών (Gill and Penney, 1977). Ένας άλλος πιθανός μηχανισμός εσωτερικής μόλυνσης είναι η εισαγωγή βακτηρίων από τις πληγές που έγιναν πριν ή μετά τη σφαγή μέσω της κυκλοφορίας του αίματος (Gill, 1998). Ο βαθμός επιμόλυνσης όμως με αυτόν τον τρόπο εξαρτάται από τους ανοσοποιητικούς μηχανισμούς του ζώου που συνεχίζουν μετά το θάνατο (Gill, 1981). Επίσης έχει αναφερθεί ότι η αλλοίωση στο εσωτερικό των σφαγίων παρατηρείται στη μυϊκή μάζα του οπίσθιου τεταρτημορίου των πρόβειων, χοιρινών και βοδινών σφαγίων, επειδή έχουν μεγαλύτερο μέγεθος και συνεπώς η θερμοκρασία στον πυρήνα τους μειώνεται με βραδύτερο ρυθμό με αποτέλεσμα να επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες για τη μικροβιακή ανάπτυξη (Μπλούκας, 1998). Οι μικροοργανισμοί που συνήθως προκαλούν την εσωτερική μόλυνση είναι τα είδη *Clostridium* (Broda et al., 1996), ενώ έχουν αναφερθεί και τα είδη *Bacillus*, *Streptococcus* και μερικά είδη Enterobacteriaceae.

Το εσωτερικό του ακέραιου κρέατος που προέρχεται από υγιή ζώα και από υγιεινές συνθήκες σφαγής είναι στείρο ή σχεδόν στείρο. Η επιφάνεια του όμως μολύνεται κατά τη διάρκεια της σφαγής ή στη διάρκεια των μετέπειτα χειρισμών με διάφορους μικροοργανισμούς (βακτήρια, ζύμες και μύκητες) είτε αλλοιογόνους είτε παθογόνα βακτήρια. Οι εξωτερικές πηγές μόλυνσης αναφέρονται σε όλες σχεδόν τις διαδικασίες κατά τη διάρκεια της σφαγής του ζώου (αφαίμαξη, εκδορά, εκσπλαχνισμός, τεμαχισμός). Κυρίως τα αλλοιογόνα βακτήρια του φρέσκου κρέατος είναι Gram (-) αρνητικά, όπως τα αερόβια ψυχρότροφα είδη *Pseudomonas* *Moraxella*/*Acinetobacter* και τα προαιρετικά αναερόβια *Shewanella putrefaciens*.

Επίσης σε υψηλούς αριθμούς βρίσκονται και τα θετικά κατά Gram βακτήρια, όπως *Lactobacillus* και *Brochothrix thermosphacta*. Στα βακτήρια με σημασία για τη δημόσια υγεία περιλαμβάνονται συνήθως τα γένη *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Clostridium botulinum*, *Campylobacter*, *Aeromonas hydrophila* και *Listeria monocytogenes*. Στον πίνακα 1.2 αναφέρονται τα είδη των μικροοργανισμών που ανευρίσκονται συχνότερα στο φρέσκο, επεξεργασμένο ή συσκευασμένο κρέας.

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική χημική σύσταση μύος ενηλικιωμένου θηλαστικού μετά τη μυϊκή ακαμψία (πηγή Μεταξόπουλος, 1989)

Συστατικό	% βάρος
Νερό	75.5
Πρωτεΐνες:	18.0
Πρωτεΐνες μυϊκών ινιδίων	Μυοσΐνη 5.0 Ακτΐνη 2.5 Τροπομυοσΐνη, τροπονΐνη, πρωτεΐνες Μ και C, α και β ακτΐνη 2.5
Σαρκοπλασματικές πρωτεΐνες	Μυογόνο, Γλοβολΐνες 5.6 Μυοσφαιρΐνη 0.36 Αιμοσφαιρΐνη 0.04 Πρωτεΐνες μιτοχονδρίων 0.002
Πρωτεΐνες σαρκοπλασματικού δικτύου και σαρκειλήματος	Κολλαγόνο Ελαστΐνη 2.0 Ρετικουλΐνη
Λΐπος	3.0
Υδατοδιαλυτές μη πρωτεΐνικές ουσΐες:	3.5
Αζωτούχες μη πρωτεΐνικές ουσΐες	Κρεατΐνη 0.55 Μονοφωσφορικη ινοσΐνη 0.30 Νουκλεοτΐδια 0.07 Αμινοξέα 0.35 Κερνοσΐνη, ανσερΐνη 0.30
Υ δατάνθ ρακές	Γαλακτικό οξύ 0.90 Γλυκογόνο 0.10 Γλυκόζη 0.18
Ανόργανες ουσΐες	Διαλυτός φώσφορος 0.20 Κάλλιο 0.35 Νάτριο 0.05 Μαγνήσιο 0.02 Ασβέστιο 0.007 Ψευδάργυρος 0.005

Πίνακας 1.2: Γένη βακτηρίων στο κρέας (πηγή Jay, 1992b)

Γένη	Χρώση Gram	Φρέσκο κρέας	Επεξεργασμένο κρέας	Κρέας συσκευ. σε κενό
Acinetobacter	-	XX	X	X
Aeromonas	-	XX		X
Alcaligenes	-	X		
Bacillus	+	X	X	
Brochothrix	+	X	X	XX
Carnobacterium	+	X		XX
Clostridium	+	X		
Corynebacterium	+	X	X	X
Enterobacter	-	X	X	X
Enterococcus	+	XX	X	XX
Escherichia	-	X		
Flavobacterium	-	X		
Hafnia	-	X		X
Kurthia	+	X		X
Lactococcus	+	X	X	
Lactobacillus	+	X	XX	XX
Leuconostoc	+	X	X	X
Listeria	+	X	X	
Micterium	+	X	X	X
Micrococcus	+	X	X	X
Moraxella	-	XX	X	
Pantoea	-	X		
Pediococcus	-	X	X	X
Proteus	-	X		X
Pseudomonas	-	XX		X
Salmonella	-	X	X	X
Serratia	-	X	X	X
Shewanella	-	X		
Staphylococcus	+	X	X	X
Weissella	+	X	X	
Yersinia	-	X		X

X=είναι δυνατό να υπάρχει. XX=υπάρχει πιο συχνά

1.3 Βασικές αρχές της μικροβιακής αλλοίωσης

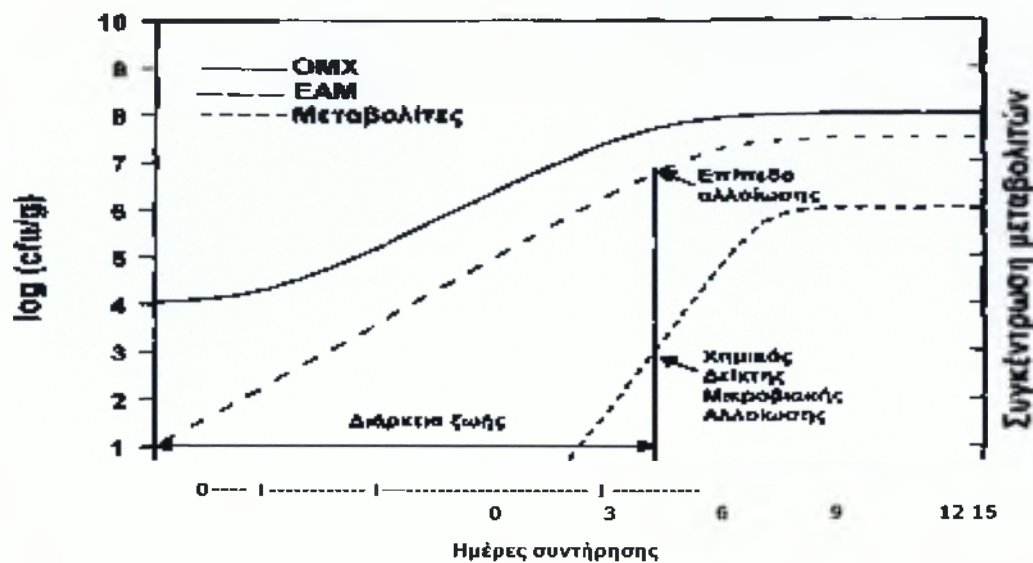
Η μικροβιακή αλλοίωση των τροφίμων είναι ένα οικολογικό φαινόμενο και μπορεί να ορισθεί σαν κάθε σύμπτωμα ή ομάδα συμπτωμάτων που εκδηλώνονται με αλλαγές στην οσμή, στο άρωμα ή γενικά στην εμφάνιση του τροφίμου λόγω μικροβιακής δραστηριότητας (Gill, 1986) (Πίνακας 1.3). Γενικά, η αλλοίωση του κρέατος οφείλεται στη δραστηριότητα ενός μικτού μικροβιακού πληθυσμού, η εκδήλωση δε της αλλοίωσης (είδος μικροβιακής σύστασης, παραγωγή ανεπιθυμητων ενδείξεων από οσμές, γλοιώδεις ουσίες, αλλαγές στο χρώμα, άρωμα και γεύση) και ο χρόνος που απαιτείται για την εμφάνιση της εξαρτάται από εκείνους τους οικολογικούς παράγοντες που υπάρχουν κατά την επεξεργασία του προϊόντος, τη συντήρηση και τη διανομή.

Αφού η αλλοίωση είναι το αποτέλεσμα της μικροβιακής ανάπτυξης, επάρχει μια συσχέτιση μεταξύ του συνολικού αριθμού των μικροοργανισμών και του βαθμού αλλοίωσης. Της περισσότερες φορές όμως η αλλοίωση είναι αποτέλεσμα μεταβολών στην οσμή και γεύση των τροφίμων. Οι μεταβολές αυτές συνήθως προέρχονται από την παραγωγή ουσιών οι οποίες είναι αποτέλεσμα της μεταβολικής δράσης των βακτηρίων. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του συνολικού αριθμού των βακτηρίων και της αλλοίωσης, αφού συνήθως οι ουσίες που οδηγούν στη οργανοληπτική απόρριψη παράγονται μόνο από ένα μέρος της συνολικής μικροχλωρίδας. τους 'ειδικούς αλλοιογόνους οργανισμούς (EAM-specific spoilage microorganisms) (Gram and Huss, 1996). Μια γραφική αναπαράσταση της διαδικασίας της αλλοίωσης" παρουσιάζεται στο Σχήμα I. I.

Πίνακας 1.3: Χαρακτηριστικά της μικροβιακής αλλοίωσης των τροφίμων (πηγή από Gram and Huss, 1996)

Μικροβιακή δραστηριότητα	Οργανοληπτική εκδήλωση
Αποικοδόμηση συστατικών του τροφίμου	Παραγωγή δυσάρεστων οσμών
τροφίμου	Μεγάλες ορατές χρωματιστές ή
Παραγωγή εξωκυτταρικού	άχρωμες αποικίες
πολυσακχαριτικού υλικού	Παραγωγή αερίου
Ανάπτυξη βακτηρίων, ζυμών και	
μυκήτων	Σχηματισμός γλοιώδους
CO ₂ από υδατάνθρακες ή αμινοξέα	επιφάνειας
Παραγωγή χρωστικών που διαχέονται	Αποχρωματισμός

Αφού η αλλοίωση είναι το αποτέλεσμα της μικροβιακής ανάπτυξης, επάρχει μια συσχέτιση μεταξύ του συνολικού αριθμού των μικροοργανισμών και του βαθμού αλλοίωσης. Της περισσότερες φορές όμως η αλλοίωση είναι αποτέλεσμα μεταβολών στην οσμή και γεύση των τροφίμων. Οι μεταβολές αυτές συνήθως προέρχονται από την παραγωγή ουσιών οι οποίες είναι αποτέλεσμα της μεταβολικής δράσης των βακτηρίων. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του συνολικού αριθμού των βακτηρίων και της αλλοίωσης, αφού συνήθως οι ουσίες που οδηγούν στη οργανοληπτική απόρριψη παράγονται μόνο από ένα μέρος της συνολικής μικροχλωρίδας. τους 'ειδικούς αλλοιογόνους οργανισμούς (EAM-specific spoilage microorganisms) (Gram and Huss, 1996). Μια γραφική αναπαράσταση της διαδικασίας της αλλοίωσης" παρουσιάζεται στο Σχήμα I. I.



Σχήμα 1.1: Γενική εικόνα αλλαγών στον ολικό μικροβιακό πληθυσμό (OMX), στους ειδικούς αλλοιογόνους μικροοργανισμούς (EAM) και στους χημικούς δείκτες μικροβιακής αλλοίωσης κατά τη διάρκεια αλλοίωσης του κρέατος.

Εδώ πρέπει να διευκρινιστούν οι όροι της μικροβιακής σύστασης (microbial association) και των ειδικών αλλοιογόνων μικροοργανισμών. Ο όρος της μικροβιακής σύστασης (microbial association) περιγράφει το μικροβιακό πληθυσμό στο κρέας, όταν αυτό αλλοιώνεται. Οι "ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί" (EAM) αποτελεί τη συγκεκριμένη ομάδα μικροοργανισμών που παράγουν τις δυσάρεστες οσμές κατά την αλλοίωση (Σχήμα 1.1). Αρχικά οι EAM μπορεί να βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα και να αποτελούν ένα μικρό μέρος της μικροβιακής χλωρίδας. Κατά τη διάρκεια της συντήρησης, οι EAM αναπτύσσονται με πιο μεγάλο ρυθμό από ότι η υπόλοιπη μικροβιακή χλωρίδα και παράγουν αυτούς τους μεταβολίτες που είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία της γλοιώδους επιφάνειας και/ή των δυσάρεστων οσμών κι επομένως την οργανοληπτική απόρριψη. Σε αυτό το σημείο η συγκέντρωση των κυττάρων των EAM μπορεί να χαρακτηριστεί ως το ελάχιστο επίπεδο αλλοίωσης, ενώ η συγκέντρωση του μεταβολίτη που αντιπροσωπεύει την αλλοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας αντικειμενικός χημικός δείκτης μικροβιακής αλλοίωσης (chemical spoilage index - CSI) (Dalgaard, 1993).

1.4. Αλλοίωση του κρέατος - Ειδικοί αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί

Τα αερόβια Gram-αρνητικά βακτήρια των γενών *Pseudomonas*, *Moraxella* και *Acineobaciller* αποτελούν την κυριότερη αλλοιογόνο μικροβιακή χλωρίδα κατά την αερόβια συντήρηση του κρέατος. Πολλά στελέχη των *Moraxella/Acineobaciller* δεν αναπτύσσονται στη χαμηλή τιμή του pH του κρέατος κι έτσι δεν είναι μεγάλης σημασίας για την αλλοίωση του. Αντίθετα η ομάδα των *Pseudomonads* θεωρούνται ως οι συνηθέστεροι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί κατά την αερόβια συντήρηση του κρέατος. Σε μία εργασία προσδιορισμού των αλλοιογόνων βακτηρίων (Dainty et al., 1983b) κατά τη συντήρηση κρέατος μόσχου, χοιρινού και πρόβειου σε αέρα βρέθηκε ότι τα στελέχη του γένους *Pseudomonas* ήταν οι συνηθέστεροι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί (42-60%) σε όλους τους τύπους κρέατος, ενώ είδη του γένους *Moraxella* αποτελούσαν μόνο το 16-23% του αλλοιογόνου πληθυσμού. Ειδικότερα, οι *Pseudomonas fragi*, *Pseudomonas lundensis* και *Pseudomonas fluorescens* αποτελούν τα συνηθέστερα είδη του αλλοιωμένου κρέατος (Garcia-Lopez et al., 1998). Το δυναμικό αλλοίωσης τους έχει αποδοθεί στον μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης τους και/ή τη μεγαλύτερη συγγένεια τους ως προς το οξυγόνο (Gill and Newton, 1977).

Αν και είδη της οικογένειας *Finterobacteriaceae* χρίζουν κύριας σημασίας λόγω των παθογόνων ιδιοτήτων τους, ορισμένα από αυτά αποτελούν μια σημαντική αλλοιογόνο ομάδα (π.χ. *Serratia liquefaciens*, *Hafnia a/vei*, *Enterobacter agglomerans*) (Garcia-Lopez et al., 1998). Η αλλοιογόνος τους δράση είναι η μέγιστη σε κρέας με pH > 6 και σε θερμοκρασίες συντήρησης σημαντικά μεγαλύτερες από τις συνήθεις θερμοκρασίες ψύξης.

Τέλος, ο *Brochothrix thermosphacta*, ένα θετικά κατά Gram βακτήριο θεωρείται ως σημαντικός αλλοιογόνος μικροοργανισμός κατά την αερόβια συντήρηση του κρέατος.

1.5 Η χημεία της αλλοίωσης

Η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών στο οικοσύστημα του κρέατος οδηγεί στην εκδήλωση φυσικοχημικών μεταβολών κατά την αλλοίωση του. Αυτές οι αλλαγές λαμβάνουν χώρα εκεί που υπάρχουν τα υδατοδιαλυτά συστατικά του κρέατος, όπως είναι η γλυκόζη, το γαλακτικό οξύ, τα διάφορα αμινοξέα, νουκλεοτίδια και οι υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες. Όλα αυτά τα συστατικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλους σχεδόν τους μικροοργανισμούς (Nychas et al., 1988). Η συγκέντρωση αυτών των συστατικών, όχι μόνο επιδρούν στην ανάπτυξη και το είδος των μικροοργανισμών αλλά και στην εκδήλωση των

φυσικοχημικών αλλαγών κατά την αλλοίωση του κρέατος. Επίσης η συγκέντρωση τους επηρεάζεται από όλες εκείνες τις βιοχημικές αλλαγές που συμβαίνουν κατά τη μετατροπή του μυϊκού ιστού σε κρέας.

Οι σπουδαιότερες βιοχημικές μεταβολές είναι α) απώλεια της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και της φωσφορικής κρεατίνης (CP) και β) η αποικοδόμηση του γλυκογόνου σε γαλακτικό οξύ με επακόλουθη πτώση της τιμής του pH (Eskin, 1990). Η άμεση αλλαγή που προκαλείται από την αφαιμάξη του ζώου, είναι ο περιορισμός στο ελάχιστο του οξυγόνου και η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών στο κρέας του σφαγίου ζώου, με αποτέλεσμα την παύση λειτουργίας της αερόβιας αναπνοής. Έτσι η παραγωγή της αναγκαίας, για τις λειτουργίες του σώματος, ποσότητας ATP αερόβια είναι αδύνατη. Παράλληλα, η ATPραση του σαρκοπλάσματος διασπά το ATP που υπάρχει για την παραγωγή ενέργειας. Όταν οι ποσότητες των ATP, CP και γλυκόζης εξαντληθούν τότε μόνη πηγή απόκτησης ενέργειας (ATP) παραμένει η αναερόβια διάσπαση του γλυκογόνου των μυών. Η ανεπαρκής ανασύνθεση του ATP από την αναερόβια διάσπαση του γλυκογόνου (γλυκόλυση) δεν είναι αρκετή να διατηρήσει τις λειτουργίες του σώματος με αποτέλεσμα το σχηματισμό της ακτινομοσίνης και την εμφάνιση της μυϊκής ακαμψίας (*rigor mortis*). Έτσι το μεγαλύτερο μέρος του γλυκογόνου μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ με επακόλουθο την πτώση του pH του μυός. Η γλυκόλυση σταματά όταν αδρανοποιούνται τα γλυκολυτικά ένζυμα. Το pH των μεταθανάτιων μυών καλά διατρεφόμενων και ήρεμων ζώων κυμαίνεται μεταξύ 5.5 και 5.8 και υπάρχει σημαντικό απόθεμα γλυκογόνου (Eskin, 1990), ενώ παράλληλα σχηματίζονται συστατικά χαμηλού μοριακού βάρους (γλυκόζη, 6 φωσφορο-γλυκόζη, γλυκονικό οξύ, γαλακτικό οξύ κ.ά.). Εάν τα ζώα είναι καταπονημένα πριν τη σφαγή τότε τα αποθέματα γλυκογόνου είναι ελάχιστα με αποτέλεσμα το κρέας να έχει τελικό pH > 6.0. Αυτό το κρέας χαρακτηρίζεται ως σκοτεινό, συμπαγές και ξηρό (DFD-dry, firm and dark). Επίσης υπάρχει και το μαλακό, εξιδρωματικό κρέας (PSE, pale soft exudative) το οποίο χαρακτηρίζεται από μία ταχύτατη γλυκόλυση και πτώση του pH, ενώ η θερμοκρασία του σφαγίου είναι ακόμα υψηλή.

Γενικά η γλυκόζη αποτελεί το πρώτο συστατικό που μπορεί να χρησιμοποιήσουν σχεδόν όλοι οι μικροοργανισμοί τόσο υπό αερόβιες όσο και αναερόβιες συνθήκες (Πίνακας 1.4). Όμως, κατά την αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού, η συγκέντρωση της γλυκόζης μειώνεται κι έτσι δεν επαρκεί για τη μικροβιακή ανάπτυξη. Τότε άλλα συστατικά χρησιμοποιούνται διαδοχικά με ταυτόχρονη παραγωγή άλλων δευτερευόντων συστατικών

(Gill and Newton. 1977). Ο ρυθμός της παραγωγής και το είδος αυτών των προϊόντων εξαρτάται από οικολογικούς παράγοντες (διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών, οξυγόνο, pH κρέατος) καθώς και από τις μεταβολικές ιδιότητες των αλλοιογόνων μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν στο εκάστοτε οικοσύστημα: *Pseudomonas* spp. Η επικράτηση αυτών των μικροοργανισμών κατά την αερόβια συντήρηση του κρέατος έχει αποδοθεί στη συγγένεια τους ως προς το οξυγόνο κι επομένως στο μεγαλύτερο ρυθμό ανάπτυξης και/ή το μεγαλύτερο ρυθμό αφομοίωσης γλυκόζης (Gill and Newton. 1977). Η οξείδωση της γλυκόζης και της 6- φωσφορικής γλυκόζης έχει ως αποτέλεσμα την προσωρινή παραγωγή D-γλυκονικού οξέως και αύξηση της συγκέντρωσης του 6-φωσφογλυκονικού οξέως (Drosinos and Board. 1994; Lambropoulou et al., 1996). Η συγκέντρωση και ο χρόνος εμφάνισης του D-γλυκονικού οξέως εξαρτάται τόσο από τη διαθεσιμότητα της γλυκόζης όσο και από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (Nychas et al., 1988; Drosinos. 1994; Lambropoulou et al., 1996). Μετά τη διαδοχική μείωση της γλυκόζης και του γαλακτικού οξέως λαμβάνει χώρα η χρήση των αμινοξέων, με αποτέλεσμα την παραγωγή διάφορων δύσοσμων πτητικών προϊόντων. Η αμμωνία, που είναι ο κύριος λόγος της αύξησης του pH, παράγεται από τον καταβολισμό της κρεατίνης και κρεατινίνης από αυτήν την ομάδα των μικροοργανισμών *Enterobacteriaceae*. Αυτή η ομάδα χρησιμοποιεί κυρίως γλυκόζη και 6- φωσφορική γλυκόζη. Η μείωση αυτών των συστατικών οδηγεί σε αποικοδόμηση των αμινοξέων (Gill, 1986). Μερικά είδη αυτής της ομάδας παράγουν αμμωνία και άλλες πτητικές ουσίες όπως είναι υδρόθειο και δύσοσμες αμίνες από το μεταβολισμό των αμινοξέων. Καθαρές καλλιέργειες *Enterobacteriaceae* δεν παράγουν εστέρες, ενώ διάφορα οξέα και αλκοόλες αποτελούν δευτερεύοντα μεταβολικά προϊόντα. *Brochathrix thermosphacta* Τα μεταβολικά προϊόντα του *Br. thermosphacta* μπορεί να είναι διαφορετικά ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες συντήρησης. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου, τα κυριότερα προϊόντα είναι το γαλακτικό οξύ και η αιθανόλη (Blickstad and Molin. 1984; Borch and Molin. 1989). Αλλα μεταβολικά προϊόντα που παράγονται κυρίως σε αερόβιες συνθήκες φαίνονται στον Πίνακα 1.5. η ακριβής αναλογία αυτών των προϊόντων εξαρτάται από τη συγκέντρωση της γλυκόζης, την τιμή του pH και τη θερμοκρασία (Nychas et al., 1998). Για παράδειγμα, παραγωγή ισοβουτυρικού και ισοβαλερικού οξέως ευνοήθηκε σε χαμηλές συγκεντρώσεις γλυκόζης (Nychas et al. 1998).

Γαλακτικά βακτήρια Από πλευράς μεταβολισμού, είναι γνωστό ότι τα γαλακτικά βακτήρια διακρίνονται σε δυο μεγάλες ομάδες: (α) τα ομοζυμωτικά είδη (homofenmemers) τα οποία μετατρέπουν τη γλυκόζη σε 90% γαλακτικό οξύ κατά το γλυκολυτικό σχήμα

Embden-Meyerhof και (β) τα ετεροζυμωτικά είδη (heterofermenters) τα οποία μετατρέπουν τις εξόζες προς ισομοριακές ποσότητες γαλακτικού οξέος, αιθανόλης και διοξειδίου του άνθρακα (Κύκλος φωσφοροπεντοζών). Παρ' όλα αυτά, οι διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν την αλλαγή της ομοζυμωτικής διεργασίας σε ετεροζυμωτική (Sedewitz et al., 1984; Borch et al., 1991). Πράγματι το είδος της πηγής ενέργειας (γλυκόζη ή γαλακτόζη), η εξάντληση της συγκέντρωσης της γλυκόζης, ο βαθμός αερισμού, η συγκέντρωση της γαλακτικής αφυδρογονάσης (/LDH) της NADU υπεροξειδάσης ή της 1,6-διφωσφορικής φρουκτόζης, η στερεοχημεία της γαλακτικής αφυδρογονάσης, της γαλακτικής οξειδάσης ή της οξειδάσης του πυροσταφυλικού οξέως μπορούν να επηρεάσουν τη μετατροπή του γαλακτικού οξέος ή του πυροσταφυλικού οξέως σε οξικό οξύ (Garvie, 1980; Kandler 1983; Sedewitz et al., 1984; Thomas et al., 1979; Murphy and Condon 1984; Borch and Molin 1989; Cogan et al., 1989; Tseng and Montville, 1990). Ειδικότερα, αυτή η αλλαγή παρουσιάστηκε στα *Lactobacillus plantarum* και *Lac/Pentosus* κάτω από μειωμένες συγκεντρώσεις γλυκόζης ή οξυγόνου (Thomas et al., 1979; Sedewitz et al., 1984; Murphy et al., 1985; Borch et al., 1991). Έτσι ο μεταβολισμός των γαλακτικών βακτηρίων εξαρτάται από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν ανάλογα την επίδραση, είτε επιζήμια είτε ευεργετική, αυτών των βακτηρίων στο κρέας και τα προϊόντα του. Για παράδειγμα, το οξικό οξύ έχει ένα διαφορετικό άρωμα και μια μεγαλύτερη αντιβακτηριακή δράση από ότι έχει το γαλακτικό οξύ (Reddy *et al.* 1975). Επίσης, η αύξηση του γαλακτικού και του οξικού οξέως, που έχει παρατηρηθεί κατά τη συντήρηση του κρέατος σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες, αποτελούν ένα αξιόπιστο κριτήριο της ποιότητας του κρέατος (Nychas et al., 1998).

Πίνακας 1.4: Συστατικά που χρησιμοποιούν διάφοροι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί κατά την ανάπτυξη τους στο κρέας (πηγή από Nychas et al., 1988).

Μικροοργανισμοί	Συστατικά ^α	
	Αερόβια	Αναερόβια ^β
<i>Pseudomonas</i> spp.	Γλυκόζη ¹ , γλυκόζη-6- <i>P</i> , <i>D</i> , <i>L</i> , γαλακτικό οξύ, πυροσταφυλικό οξύ, γλυκονικό 6- <i>P</i> , αμινοξέα ² , κρεατίνη, κρεατινίνη, κιτρικό οξύ	Γλυκόζη ¹ , οξικό οξύ ¹ , πυροσταφυλικό οξύ, γλυκονικό οξύ, αμινοξέα
<i>Acinetobater/Moraxella</i>	Αμινοξέα ¹ , γαλακτικό οξύ ² , γλυκόζη ¹	Γλυκόζη ¹ , αμινοξέα ^{1,2}
<i>Brochothrix thermosphata</i>	Γλυκόζη ¹ , αμινοξέα ² , ριβόζη, γλυκερόλη	Γλυκόζη ¹
<i>Enterobacter</i> spp.	Γλυκόζη ¹ , γλυκόζη-6- <i>P</i> ² , αμινοξέα ³ , γαλακτικό οξύ ⁴	Γλυκόζη ¹ , γλυκόζη-6- <i>P</i> ² , αμινοξέα ³
<i>Lactobacillus</i> spp.	Γλυκόζη ¹	Γλυκόζη ¹ , γαλακτικό οξύ ² , αμινοξέα ³

α: Ο επιγεγραμμένος άνω αριθμητικός δείκτης δηλώνει τη σειρά χρήσης του συστατικού σύμφωνα με τον Gill (1986).

β: Κάτω από περιορισμό οξυγόνου και/ή παρεμπόδιση διοξειδίου του άνθρακα.

Πίνακας 1.5: Παραγωγή μεταβολικών προϊόντων κατά τη συντήρηση του κρέατος σε αέρα και τροποποιημένες ατμόσφαιρες (πηγή Nychas et al., 1998)

Μικροοργανισμοί	<u>Μεταβολικά προϊόντα</u>	
	Αερόβια	Αναερόβια
<i>Pseudomonas</i> spp.	Αμμωνία, ακετοΐνη, διακετύλιο, αιθυλεστέρες, μεθυλεστέρες, πουτρεσκίνη, καδαβερίνη	-
<i>Brochothrix thermosphacta</i>	Γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, μυρμηγκικό οξύ, ακετοΐνη, διακετύλιο, αιθανόλη, 3-μεθυλο-βουτανόλη, 3-μεθυλο-βουτανάλη, βουτανεδιόλη	Γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, μυρμηγκικό οξύ, διακετύλιο, ισοβουτυρικό οξύ, ισοβαλερικό οξύ, αιθανόλη, 3-μεθυλο-βουτανόλη, 3-μεθυλο-βουτανάλη, 2,3 βουτανεδιόλη, λιπαρά οξέα
<i>Enterobacter</i> spp.	Εστέρες, υδροθείο, αμίνες	-
<i>Lactobacillus</i> spp.	L, D-γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, μυρμηγκικό οξύ, ακετοΐνη, διακετύλιο, H ₂ O ₂ , αιθανόλη, λιπαρά οξέα, υδρόθειο	L, D-γαλακτικό οξύ, οξικό οξύ, μυρμηγκικό οξύ, ακετοΐνη, διακετύλιο, H ₂ O ₂ , αιθανόλη, λιπαρά οξέα, υδρόθειο

Κεφάλαιο 2

2. Μέσα και μέθοδοι συντήρησης

2.1 Συντήρηση του κρέατος με ψύξη

Ως **ψύξη** ορίζεται η διαδικασία μείωσης της θερμοκρασίας του σφαγίου (chilling) από την θερμοκρασία των 38 °C περίπου σε θερμοκρασίες μικρότερες από 7°C και στην συνέχεια διατήρηση του σφαγίου ή/και του κρέατος που θα προκύψει από αυτό σε θερμοκρασίες υψηλότερες από το σημείο πήξης (freezing point) του κρέατος (-1.5 έως -2°C). Η ψύξη επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, καθώς επίσης και το ρυθμό των φυσικοχημικών και βιομηχανικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στο κρέας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιμηκύνεται η διάρκεια συντήρησης, ενώ ταυτόχρονα διατηρούνται τα χαρακτηριστικά του νωπού προϊόντος.

Η **ψυκτική αλυσίδα** (chill chain) του κρέατος περιλαμβάνει: α) την **αρχική ψύξη** (primary chilling) του σφαγίου, κατά την οποία μειώνεται η θερμοκρασία του σε θερμοκρασίες κάτω των 7°C, β) τη **δευτερεύουσα ψύξη** (secondary chilling), κατά την οποία μειώνεται η θερμοκρασία του κρέατος σε χαμηλές θερμοκρασίες μετά τον ταμαχισμό του σφαγίου και τυχόν άλλη επεξεργασία του, γ) τη **διακίνηση του κρέατος υπό ψύξη** (transportation), δ) τη **συντήρησή του υπό ψύξη** (cold or refrigerated storage), ε) την **έκθεσή του υπό ψύξη** (retail display) στις προθήκες καταστημάτων λιανικής πώλησης και στ) τη μεταφορά και την διατήρηση του κρέατος στο **οικιακό ψυγείο** (domestic refrigeration).

Παράγοντες που επηρεάζουν το ρυθμό ψύξης. Η ψύξη των σφαγίων γίνεται σε ρεύμα ψυχρού αέρα μέσα σε ειδικούς ψυκτικούς χώρους, οι οποίοι μπορεί να έχουν την μορφή σήραγγας ή ψυκτικού θαλάμου.

Ο **ρυθμός ψύξης** του σφαγίου, δηλαδή ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας από την επιφάνεια του σφαγίου προς τον αέρα που το περιβάλλει, εξαρτάται από την θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα που περιβάλλει το σφαγείο.

Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα, η οποία επηρεάζει την μερική πίεση υδρατμών του αέρα, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο ρυθμός ψύξης

του σφαγίου και οι απώλειες υγρασίας από αυτό. Η διάχυση της θερμότητας και της υγρασίας προς το περιβάλλον γίνεται από ένα λεπτό στρώμα αέρα που σχηματίζεται στην επιφάνεια του σφαγίου. Η ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα καθορίζει το πάχος του στρώματος του αέρα στην επιφάνεια του σφαγίου, Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα, τόσο μικρότερο το πάχος στρώματος που σχηματίζεται και τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός των απωλειών θερμότητας και υγρασίας από την επιφάνεια του σφαγίου.

Ο ρυθμός ψύξης και συνεπώς η διάρκεια ψύξης επηρεάζονται σημαντικά από το μέγεθος και το βάρος του σφαγίου. Σφαγία του ίδιου βάρους αλλά διαφορετικού σχήματος και διαφορετικής σύνθεσης δυνατόν να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στον ρυθμό ψύξης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του σφαγίου και η επικάλυψή του με λιπόδη ιστό, τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ψύξη του σε δεδομένες συνθήκες θερμοκρασίας και ταχύτητας κυκλοφορίας του ψυχρού αέρα.

Μέθοδοι ψύξης των σφαγίων. Οι μέθοδοι ψύξης που σήμερα εφαρμόζονται για την ψύξη των σφαγίων είναι δύο: η ταχεία και η υπερταχεία ψύξη.

Η **ταχεία ψύξη** (quick chilling) χρησιμοποιείται για την ψύξη των βοδινών και χοιρινών σφαγίων. Τα σφαγία, αφού εξέλθουν από την γραμμή σφαγής, οδηγούνται κατευθείαν σε ψυκτικούς θαλάμους με θερμοκρασία -1 έως $+2^{\circ}\text{C}$, όπου κυκλοφορεί ψυχρός αέρας με σχετική υγρασία 85-90% και ταχύτητα 2-4 m/sec. Κάτω από τις συνθήκες αυτές τα χοιρινά σφαγία αποκτούν στον πυρήνα τους θερμοκρασία 4°C μέσα σε 12-16 ώρες και τα βοδινά σε 18-24 ώρες. Οι απώλειες βάρους κατά την ψύξη των σφαγίων με τη μέθοδο αυτή ανέρχονται σε 0.7-1.0%.

Στην **υπερταχεία ψύξη** (very quick chilling or shock chilling) το σφαγίο ψύχεται σε δυο στάδια. Στο πρώτο, το οποίο χαρακτηρίζεται ως δραστική ψύξη, χρησιμοποιείται ψυχρός αέρας με σχετική υγρασία 90%, ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα 1-4 m/sec και θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο πήξης. Ειδικότερα για τα βοδινά σφαγία η θερμοκρασία κυμαίνεται από -3 έως -5°C και για τα χοιρινά από -5 έως -8°C . Μετά από πάροδο περίπου 2 ωρών, όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια των σφαγίων φθάνει στο σημείο πήξης (περίπου -1.5°C) αρχίζει το δεύτερο στάδιο. Στο στάδιο αυτό που χαρακτηρίζεται ως παθητική ψύξη, μεταβάλλονται οι συνθήκες ψύξης. Η θερμοκρασία στο θάλαμο ψύξης διατηρείται στους 0°C , η σχετική υγρασία στο 90% και η ταχύτητα κυκλοφορίας αέρα μειώνεται σε 0.1-0.3 m/sec. Με την μέθοδο αυτή τα χοιρινά σφαγία

αποκτούν θερμοκρασία πυρήνα 4°C σε 8-12 ώρες και τα βοδινά σε 12-18 ώρες. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι σε πολύ σύντομο χρόνο επιτυγχάνεται ικανοποιητική μείωση της θερμοκρασίας και ξήρανση της επιφάνειας του σφαγίου με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται σημαντικά η ανάπτυξη των μικροοργανισμών που έχουν μολύνει το σφαγίο.

Στις ΗΠΑ βρίσκει όλο και μεγαλύτερη εφαρμογή στα βοδινά σφαγία η **ψύξη με ψεκασμό** (spray chilling). Στη μέθοδο αυτή στη διάρκεια της ψύξης, που διαρκεί 8-12 ώρες, το σφαγίο ψεκάζεται 8-30 sec ανά διαστήματα 15-30 min με ψυχρό νερό θερμοκρασίας 2-3°C. Ως βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αναφέρεται η μείωση των απωλειών βάρους στο 0.32%. Ωστόσο, με την μέθοδο αυτή υπάρχει κίνδυνος να παραμείνει υγρή η επιφάνεια του σφαγίου, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και περιορίζει την διάρκεια συντήρησης του κρέατος. Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών αποφεύγεται, όταν ο ψεκασμός του σφαγίου γίνεται με διάλυμα 1% γαλακτικού ή οξικού οξέος.

Συντήρηση υπό αερόβιες συνθήκες. Οι συνθήκες που ενδείκνυνται για την συντήρηση του κρέατος με ψύξη κάτω από αερόβιες συνθήκες είναι: θερμοκρασία χώρου -1° έως +2°C, σχετική υγρασία αέρα 85-95%, ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα 0.1-0.3 m/sec και συνθήκες σκότους ή φωτισμός μέχρι 60 Lux. Η θερμοκρασία και η ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα μέσα στους ψυκτικούς θαλάμους διατηρούνται σε χαμηλές τιμές που μεταβάλλονται σε στενά όρια. Όμως, η σχετική υγρασία μεταβάλλεται σημαντικά μέσα στον ψυκτικό θάλαμο και επηρεάζει το ύψος των απωλειών βάρους, το χρώμα και την μικροχλωρίδα που αναπτύσσεται στη επιφάνεια του κρέατος και κατ'επέκταση το είδος της αλλοίωσης.

Αν η **σχετική υγρασία** στον ψυκτικό χώρο είναι χαμηλή, μεταξύ 75-80%, επέρχεται αφυδάτωση στην επιφάνεια του κρέατος που αυξάνει τις απώλειες βάρους. Αυτή επιφέρει μείωση του συντελεστή ενεργού ύδατος (a_w) σε τιμές μικρότερες από 0.95 με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοιώσεις στην επιφάνεια του κρέατος. Έτσι, κάτω από τις συνθήκες αυτές το κρέας μπορεί να συντηρηθεί για 10-15 ημέρες. Όμως, η ξήρανση της εκτεθειμένης επιφάνειας του κρέατος προκαλεί αύξηση στην συγκέντρωση των αλάτων σε αυτή, η οποία με την σειρά της επιταχύνει την οξειδωση της μυοσφαιρίνης σε μεταμυοσφαιρίνη και τη μεταβολή του χρώματος σε καστανό.

Αλλοιώσεις του κρέατος που συντηρείται κάτω από αερόβιες συνθήκες μπορεί να

προκαλέσει και το προαιρετικά αναερόβιο, θετικό κατά Gram βακτήριο *Brochothrix thermosphacta*. Το βακτήριο αυτό δημιουργεί προβλήματα κυρίως στο πρόβειο και χοιρινό κρέας, γιατί αναπτύσσεται στις επιφάνειες με λίπος, όταν το κρέας έχει υψηλό pH (>6.0) και συντηρείται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 5°C.

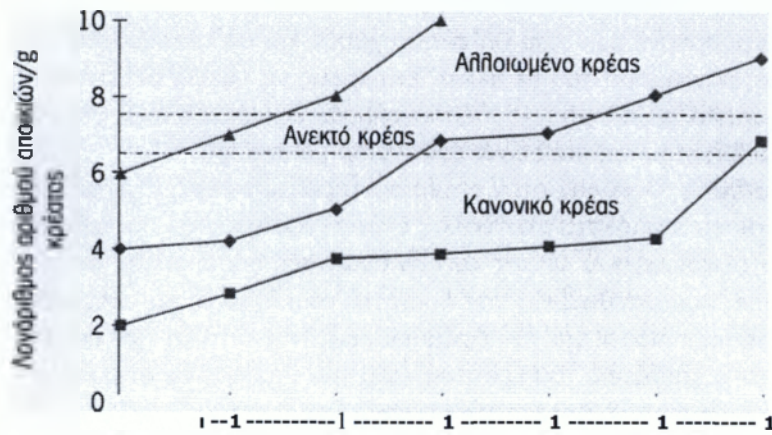
Παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια συντήρησης. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και καθορίζουν την διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό ψύξη είναι το αρχικό μικροβιακό φορτίο, η θερμοκρασία συντήρησης και το pH, καθώς επίσης οι συνθήκες φωτισμού και η πρόσληψη δυσάρεστων οσμών.

Αρχικό μικροβιακό φορτίο. Το μικροβιακό φορτίο του κρέατος χαρακτηρίζεται ως χαμηλό, όταν είναι μεταξύ 0-2 log (λογαρίθμων) cfu/g, ενδιάμεσο μεταξύ 3-4 log cfu/g και υψηλό μεταξύ 5-6 log cfu/g. Το μικροβιακό φορτίο με 7 log cfu/g αποτελεί «δείκτη αλλοίωσης» του κρέατος, επειδή σε πληθυσμούς μεγαλύτερους από 8 log cfu/g στο κρέας αναπτύσσεται δυσάρεστη οσμή, και σε 9 log cfu/g σχηματίζεται γλοιώδης ουσία.

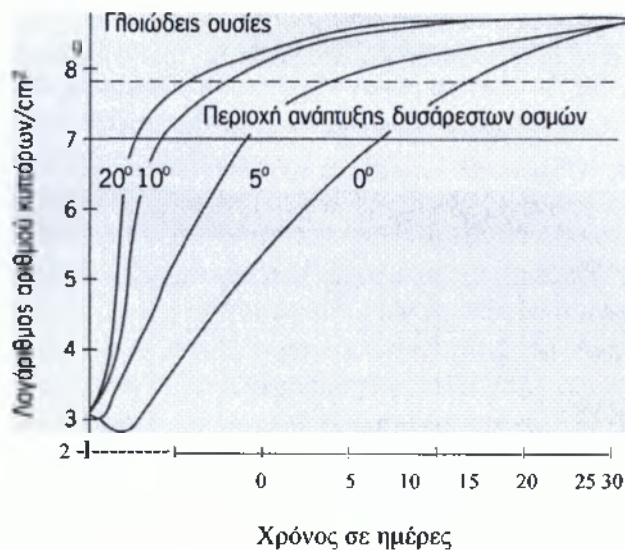
Η επίδραση του αρχικού μικροβιακού φορτίου στο χρόνο συντήρησης του κρέατος με ψύξη φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Σε σταθερή θερμοκρασία συντήρησης, στους 5°C, και με αρχικό μικροβιακό φορτίο 10^2 cfu/cm² απαιτούνται 12 ημέρες, μέχρις ότου τα βακτήρια αυξηθούν και φθάσουν στον οριακό πληθυσμό των 10^7 cfu/cm², πέραν του οποίου αρχίζει η αλλοίωση του κρέατος. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες συντήρησης αλλά με αρχικό μικροβιακό φορτίο 10^6 cfu/cm² η αλλοίωση του κρέατος αρχίζει μετά από 2 περίπου ημέρες.

Θερμοκρασία συντήρησης. Η θερμοκρασία αποτελεί το σπουδαιότερο παράγοντα που επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών και τη διάρκεια συντήρησης του κρέατος. Η διάρκεια συντήρησης του κρέατος σχεδόν διπλασιάζεται, όταν η θερμοκρασία μειωθεί από του 5° στους 0°C (Σχήμ 2.2) Επίσης, οι χαμηλές θερμοκρασίες συντήρησης του κρέατος με ψύξη επηρεάζουν θετικά το χρώμα του κρέατος και μειώνουν την ποσότητα οσμού που εξέρχεται από το κρέας.

Χρόνος συντήρησης (ημέρες) στους 5°C



Σχήμα 2.1: Επίδραση του αρχικού μικροβιακού φορτίου στη διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό ψύξη (Bern and Hechelmann, 1995)



Σχήμα 2.2: Επίδραση της θερμοκρασίας στη διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό ψύξη (Shaw, 1972)

pH κρέατος. Η μείωση του pH στο κρέας μετά τη σφαγή του ζώου επιβραδύνει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Η διατήρηση υψηλής τιμής pH στο DFD κρέας είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους το κρέας αυτό έχει μειωμένη διάρκεια συντήρησης. Το pH επηρεάζει επίσης το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν και θα αλλοιώσουν το

κρέας κατά την συντήρησή του με ψύξη. Στο κρέας με υψηλό pH αναπτύσσεται και προκαλεί αλλοίωση ο *B. thermosphacta*. ειδικότερα αν η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος είναι μεγαλύτερη από 5°C.

Φωτισμός. Ο χώρος στον οποίο συντηρείται το κρέας με ψύξη πρέπει να διατηρείται απόλυτα σκοτεινός. Έκθεσή του στο φως επιταχύνει την οξείδωση του λίπους και την ανάπτυξη δθυσάρεστης οσμής, λόγω τάγκισης, που υποβαθμίζει την ποιότητά του. Επίσης, το υπεριώδες φως που χρησιμοποιείται για να παρεμποδίσει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών στην επιφάνεια του κρέατος κατά την έκθεσή του στις βιτρίνες των καταστημάτων επιταχύνει την οξείδωση του λίπους.

Πρόσληψη οσμών. Το κρέας, λόγω της περιεκτικότητάς του σε λίπος, έχει την ιδιότητα να απορροφά οσμές από το περιβάλλον με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητάς του και την απόρριψή του από τον καταναλωτή. Για τον λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγεται η συντήρησή του με άλλα τρόφιμα και η παρουσία μέσα στους ψυκτικούς χώρους οσμηρών ουσιών ή αντικειμένων.

Χρόνος συντήρησης του κρέατος υπό ψύξη. Ο χρόνος συντήρησης (self-life) του κρέατος υπό ψύξη επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και ενδεικτικά για τα διάφορα είδη κρέατος δίνεται στον επόμενο Πίνακα.

Πίνακας 2.1: Χρόνος συντήρησης του νωπού κρέατος υπό ψύξη (Bem and Hechelmann, 1995)

Είδος κρέατος	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος συντήρησης
Βοδινό τεταρτημόριο	0-2	3-4 εβδομάδες
Χοιρινό	0-2	10-14 ημέρες
Νωπό κοτόπουλο	0-2	6-8 ημέρες
Κρέας συσκευασμένο	0-2	3-5 εβδομάδες
Κρέας λεπτοτεμαχισμένο (κιμάς)	0-4	12 ώρες

2.2 Συντήρηση του κρέατος με κατάψυξη

Ως **κατάψυξη** (freezing) ορίζεται η μείωση θερμοκρασίας του κρέατος και η διατήρησή του σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο πήξης (-1.5 έως -2°C), κατά κανόνα χαμηλότερες από -18°C . Η μετατροπή του νερού ε παγοκρυστάλλους κατά την κατάψυξη έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συντελεστή ενεργού ύδατος του κρέατος (a_w), η οποία σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες συμβάλλει στην συντήρησή του. Η κατάψυξη επιβραδύνει τη δράση των ενζύμων και ανστέλλει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών για όσο διάστημα το κρέας διατηρείται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -18°C . Η κατάψυξη του κρέατος περιλαμβάνει τη φάση: α) της κατάψυξης, β) της συντήρησης υπό κατάψυξη και γ) της απόψυξης. Στη φάση της κατάψυξης επέρχεται μείωση της θερμοκρασίας του κρέατος από την αρχική του θερμοκρασία σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο πήξης, με αποτέλεσμα το νερό που περιέχεται στο κρέας να μετατρέπεται σε παγοκρυστάλλους. Κατά τη συντήρηση υπό κατάψυξη το κρέας συντηρείται σε σταθερή θερμοκρασία χαμηλότερη από το σημείο πήξης. Τέλος, κατά την απόψυξη το κρέας επανέρχεται, περισσότερο ή λιγότερο, στην αρχική του κατάσταση.

Οι τρεις παραπάνω φάσεις κατάψυξης του κρέατος είναι μεταξύ τους αλληλοεξαρτώμενες. Αποτυχία σε μια από αυτές θα έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του κρέατος. Έτσι, αν το κρέας γίνει σκληρό κατά την φάση της κατάψυξης, ή ταγκίσει κατά την συντήρησή του υπό κατάψυξη, ή αλλοιωθεί κατά την απόψυξή του, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητάς του, ανεξάρτητα του αν οι δύο άλλες φάσεις γίνουν απόλυτα σωστά. Τέλος, καμία από τις τρεις φάσεις δεν βελτιώνει την ποιότητα του κρέατος. Αν η πρώτη ύλη είναι υποβαθμισμένη, τότε και η ποιότητα του καταψυγμένου κρέατος μετά την απόψυξή του θα είναι υποβαθμισμένη.

Το καταψυγμένο κρέας ήταν και είναι φθηνότερο από το νωπό κρέας, παρά το γεγονός ότι έχει αυξημένες απαιτήσεις σε ενέργεια τόσο κατά τη φάση της κατάψυξης όσο και κατά τη συντήρησή του υπό κατάψυξη. Επίσης, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να συντηρηθεί για σημαντικά μεγαλύτερο χρόνο σε σχέση με το νωπό κρέας, διατηρώντας τις λειτουργικές του ιδιότητες, με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή οποιουδήποτε προϊόντος.

Χρονική στιγμή κατάψυξης. Η χρονική στιγμή μετά τη σφαγή του ζώου κατά την οποία θα γίνει η κατάψυξη του κρέατος επηρεάζει σημαντικά την ποιότητά του στην περίπτωση που αυτό προορίζεται για λιανική πώληση. Η κατάψυξη του κρέατος μπορεί να γίνει: α) αμέσως μετά την σφαγή του ζώου, δηλαδή πριν ο μυϊκός ιστός εισέλθει στη φάση της νεκρικής ακαμψίας, και β) μετά την είσοδό του στην νεκρική ακαμψία.

Πριν την είσοδο στη νεκρική ακαμψία. Η κατάψυξη του κρέατος πριν την είσοδο στην νεκρική ακαμψία και η συντήρησή του υπό κατάψυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες προκαλεί την ακαμψία απόψυξης (thraw rigor) με δυσμενή επίδραση στην ποιότητα του κρέατος και κυρίως την τρυφερότητά του.

Μετά την είσοδο στη νεκρική ακαμψία. Αν το κρέας καταψυχθεί μετά την είσοδό του στη νεκρική ακαμψία, τότε η ποιότητά του εξαρτάται από την **ταχύτητα κατάψυξης** ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε λίπος. Η ταχύτητα κατάψυξης επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του άπαχου κρέατος, ενώ δεν ασκεί καμία επίδραση στην ποιότητα κρέατος το οποίο είναι πλούσιο σε λίπος.

Ταχύτητα κατάψυξης. Ως ταχύτητα κατάψυξης (freezing rate) ορίζεται το μήκος σε εκατοστά κατά το οποίο το μέτωπο κατάψυξης μετακινείται στη μονάδα του χρόνου (ώρα) από την περιφέρεια προς το κέντρο του τεμαχίου κρέατος. Με βάση τον ορισμό αυτό η κατάψυξη του κρέατος διακρίνεται σε υπερβραδεία (<0.2-1.0 cm/h), ταχεία (1-5 cm/h) και υπερταχεία (>5 cm/h). Η ταχύτητα προσδιορίζεται επίσης από το ρυθμό απομάκρυνσης της θερμότητας στην περιοχή μεταξύ 0° και -20°C και εκφράζεται με τη μείωση της θερμοκρασίας σε °C/min. Με βάση το κριτήριο αυτό η ταχύτητα κατάψυξης που ενδείκνυται για το άπαχο κρέας είναι >0.5 έως 1°C/min.

Η ταχύτητα κατάψυξης του κρέατος καθορίζει το μέγεθος των μεταβολών οι οποίες επέρχονται στο κρέας και υποβαθμίζουν την ποιότητά του. Οι μεταβολές αυτές σχετίζονται με τη θέση στην οποία θα σχηματισθούν οι παγοκρύσταλλοι, τον αριθμό και το μέγεθος των παγοκρυστάλλων και τις μηχανικές βλάβες που προκαλούν αυτοί στη δομή της μυϊκής ίνας.

Μέθοδοι κατάψυξης του κρέατος.Κατάψυξη με τρέυμα ψυχρού αέρα. Παρά το γεγονός ότι η κατάψυξη με ψυχρό αέρα έχει μικρότερο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας σε σχέση με τα ψυκτικά υγρά, η μέθοδος είναι ευρύτατα διαδεδομένη, επειδή είναι ιδιαίτερα απλή. Στους οικιακούς καταψύκτες η κατάψυξη μικρών ποσοτήτων κρέατος είναι βραδεία

και γίνεται με ψυχρό αέρα φυσικής κυκλοφορίας (still air freezing), θερμοκρασίας -10°C έως -30°C .

Στις μεγάλες βιομηχανικές μονάδες η κατάψυξη μεγάλων ποσοτήτων κρέατος γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με ρεύμα ψυχρού αέρα βεβιασμένης κυκλοφορίας (blast air freezing), θερμοκρασίας -30°C έως -40°C και με μέση ταχύτητα 3-6 m/sec. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική και περισσότερο οικονομική. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα, τόσο μεγαλύτερος ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας. Ωστόσο δεν παρατηρείται ανάλογη μείωση του χρόνου κατάψυξης, επειδή η μετάδοση της θερμότητας στο εσωτερικό του κρέατος γίνεται με αγωγιμότητα. Έκθεση όμως του κρέατος σε αέρα με τόσο χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή ταχύτητα κυκλοφορίας επιφέρει σημαντικές απώλειες σε υγρασία. Με σκοπό τον περιορισμό απωλειών βάρους και την αποφυγή επιμολύνσεων τα σφαγία περιτυλίγονται με πλαστικές μεμβράνες πριν την κατάψυξή τους. Επίσης, εκτός από τις απώλειες σε υγρασία είναι δυνατόν στις ακάλυπτες επιφάνειες του κρέατος να σχηματισθούν ανοιχτόχρωμες κηλίδες που χαρακτηρίζονται ως εγκαύματα κατάψυξης (freezer burn). Ο σχηματισμός των κηλίδων αυτών, όπως και οι απώλειες σε υγρασία, οφείλεται στην εξάχνωση των παγοκρυστάλλων στο σημείο αυτό, επειδή η πίεση υδρατμών στα στοιχεία του καταψύκτη είναι κατά πολύ χαμηλότερη από την αντίστοιχη πίεση στην επιφάνεια του κρέατος. Η εξάχνωση των παγοκρυστάλλων από την επιφάνεια του κρέατος δημιουργεί θύλακες αέρα οι οποίοι διασκορπούν το φως που προσπίπτει σε αυτούς και δημιουργούν ανοιχτές αποχρώσεις.

Οι καταψύκτες, συνήθως συνεχώς λειτουργίας, αποτελούνται από σήραγγα με πλήρη θερμομόνωση, όπου το ρεύμα του ψυχρού αέρα κινείται παράλληλα ή συνηθέστερα κάθετα προς τη διεύθυνση κίνησης του προϊόντος. Στη δεύτερη περίπτωση μειώνονται σημαντικά οι απώλειες ψυχρού αέρα στην είσοδο και στην έξοδο της σήραγγας. Οι καταψύκτες βεβιασμένης κυκλοφορίας του ψυχρού αέρα χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατάψυξη κάθε είδους κρέατος καθώς και των προϊόντων κρέατος, πολλές μάλιστα φορές σε συνδυασμό με άλλους καταψύκτες.

Κατάψυξη δια επαφής με ψυχρή επιφάνεια. Η κατάψυξη δια επαφής με ψυχρή επιφάνεια (plate freezing) γίνεται με την τοποθέτηση του κρέατος μεταξύ οριζόντιων ή κατακόρυφων διπλότοιχων μεταλλικών πλακών στο εσωτερικό των οποίων κυκλοφορεί

ψυκτικό υγρό. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνονται θερμοκρασίες κατάψυξης μεταξύ -10°C και -30°C και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από την κατάψυξη σε ρεύμα ψυχρού αέρα φυσικής κυκλοφορίας. Βασική προϋπόθεση για την μέγιστοποίηση της απόδοσης του καταψύκτη είναι η άμεση επαφή του κρέατος με τις μεταλλικές πλάκες, οι οποίες πρέπει να διατηρούνται ελεύθερες από αποθέσεις πάγου. Οι οριζόντιοι καταψύκτες ενδείκνυται για προσυσκευασμένα κρέατα σε συσκευασίες ομοιόμορφου μεγέθους και σχήματος. Οι κατακόρυφοι καταψύκτες ενδείκνυται για προσυσκευασμένα κρέατα και για εντόσθια, τα οποία συμπιέζονται μπορούν να έλθουν σε πλήρη επαφή με τις μεταλλικές πλάκες.

Κατάψυξη με ψυκτικά υγρά. Η κατάψυξη με ψυκτικά υγρά γίνεται με την βύθιση σε αυτά του κρέατος (liquid immersion freezing) ή τον ψεκασμό του με αυτά (liquid spray freezing). Τα ψυκτικά υγρά πρέπει να έχουν χαμηλό κόστος, καθώς επίσης χαμηλό ιξώδες και χαμηλό σημείο πήξης και να μην είναι τοξικά. Τέτοια ψυκτικά υγρά είναι τα διάφορα σιρόπια, η γλυκερόλη, η γλυκόλη, μείγματα γλυκερόλης και αλκοόλης ή προπυλενίου με νερό και διαλύματα χλωριούχου νατρίου, τα οποία όμως παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι είναι διαβρωτικά. Η μέθοδος χαρακτηρίζεται για τον υψηλό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, ενδείκνυται για προϊόντα με ακανόνιστο σχήμα και εφαρμόζεται σχεδόν αποκλειστικά στην κατάψυξη των πουλερικών. Η δημιουργία μικρών παγοκρυστάλλων στην επιφάνεια του πουλερικού προσδίδει σε αυτό λευκότερο χρώμα. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η προσυσκευασία του προϊόντος σε πλαστικές μεμβράνες, ώστε το προϊόν να μην έρχεται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό, ο ψεκασμός του κατεψυγμένου προϊόντος με κρύο νερό για την πλήρη απομάκρυνση του ψυκτικού υγρού και η μεταφορά του σε θάλαμο με ψυχρό αέρα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

Κατάψυξη με κρυογενή μέσα. Η κατάψυξη με κρυογενή μέσα (cryogenic freezing) γίνεται με την επαφή του κρέατος με ουσίες οι οποίες αμέσως μεταβάλλουν τη φυσική κατάσταση στην οποία απαντούν. Τα συνηθέστερα κρυογενή μέσα είναι το υγρό άζωτο, το οποίο μετατρέπεται από υγρό σε αέριο, και το στερεό διξείδιο του άνθρακα, το οποίο με εξάχνωση μετατρέπεται σε αέριο. Η κατάψυξη με κρυογενή μέσα είναι υπερταχεία, βελτιώνει την ποιότητα των καταψυγμένων προϊόντων και ενδύκνεται για τα προϊόντα μικρού μεγέθους, όπως μπριζόλες, τεμάχια πουλερικών κ.ά.

2.2.1 Συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη.

Η συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη γίνεται σε θαλάμους με θερμοκρασίες αέρα μεταξύ -10°C και -30°C και σχετική υγρασία 90-95%. Ωστόσο, η πλέον συνηθισμένη θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη είναι αυτή των -18°C . Η διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη χωρίς συσκευασία εξαρτάται από το είδος του κρέατος, τη θερμοκρασία συντήρησής του και τις συνθήκες συσκευασίας του. Προυπόθεση για την καλή συντήρηση του κρέατος με κατάψυξη είναι: α) η διατήρηση του κρέατος σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας και απόλυτου σκότους και β) η προστασία του από ξένες οσμές. Οι διακυμάνσεις στη θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη προκαλούν μεγαλύτερη υποβάθμιση στην ποιότητα του κρέατος από τη συντήρησή του σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Πίνακας 2.2: Διάρκεια συντήρησης υπό κατάψυξη των ερυθρών κρεάτων, εκφρασμένη σε μήνες (Bell, 2001)

Κρέας	Θερμοκρασία		
	-12°C	-18°C	-23°C
Βοδινό			
-Αυτοτελή τεμάχια	4-12	6-18	12-24
-Λεπτοτεμαχισμένο (κιμάς)	3-4	4-6	8
Χοιρινό	2-6	4-12	8-15
Αρνίσιο	3-8	6-16	12-18
Μοσχαρίσιο	3-4	4-14	8-15

Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -10°C περίπου αναστέλλεται η ανάπτυξη των ζυμών και των μυκήτων, ενώ σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -18°C αναστέλλεται και η ανάπτυξη των βακτηρίων που επέζησαν στη διάρκεια της κατάψυξης. Κατά συνέπεια, κατά τη συντήρηση του κρέατος σε χαμηλές θερμοκρασίες αποκλείεται η μικροβιακή αλλοίωση. Επίσης, κατά τη συντήρηση υπό κατάψυξη σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -18°C δεν παρατηρείται καμία μεταβολή στε θρεπτική αξία του κρέατος, όσον αφορά τις πρωτεΐνες. Ωστόσο, κατά τη συντήρηση στην περιοχή των θερμοκρασιών μεταξύ -12°C και -18°C

παρατηρείται απώλεια βιταμινών σε ποσοστό 10-40%. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι απώλειες σε θειαμίνη.

Όμως, κατά τη συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη λαμβάνουν χώρα μεταβολές που οδηγούν στην υποβάθμιση του. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι: α) η μετουσίωση των πρωτεϊνών, β) η επανακρυστάλλωση, γ) η οξειδωση του λίπους και δ) η αφυδάτωση με εξάχνωση. Η μετουσίωση των πρωτεϊνών και η επανακρυστάλλωση σχετίζονται άμεσα με την ποσότητα του οπύ που σχηματίζεται κατά την απόψυξη του κρέατος.

Μετουσίωση των πρωτεϊνών. Ο σχηματισμός των παγοκρυστάλλων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στην υδατική φάση που παραμένει κατά την κατάψυξη του κρέατος. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων προκαλεί μετουσίωση των πρωτεϊνών, η οποία αυξάνει στη διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη, τόσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της μετουσίωσης των πρωτεϊνών. Η πρωτεΐνη που μετουσιώνεται ευκολότερα είναι η μυοσίνη και ακολουθεί η ακτίνη, ενώ η τροπομυοσίνη είναι η πλέον ανθεκτική. Για το βοδινό κρέας αναφέρεται ότι η μετουσίωση των πρωτεϊνών είναι εντονότερη στους -3°C και περιορισμένη στους -20°C . Η ταχύτητα κατάψυξης επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό και την έκταση της μετουσίωσης των πρωτεϊνών. Η μετουσίωση των κεφαλών της μυοσίνης αμέσως μετά την εφαρμογή ταχείας κατάψυξης ανέρχεται σε 19% και αυξάνει στο 60% περίπου στη διάρκεια συντήρησης, ενώ μετά από βραδεία κατάψυξη είναι περίπου 40% και αυξάνει στο 60% μετά από 40 περίπου εβδομάδες συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη.

Οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες αδυνατούν να απορροφήσουν και να συγκρατήσουν το νερό που προκύπτει από την τήξη των παγοκρυστάλλων κατά την απόψυξη, το οποίο εξέρχεται ως οπός. Κατά συνέπεια, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη και μεγαλύτερος ο χρόνος συντήρησης, τόσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της μετουσίωσης των πρωτεϊνών και κατ' επέκταση τόσο μεγαλύτερη η έξοδος οπύ από το κρέας κατά την απόψυξη.

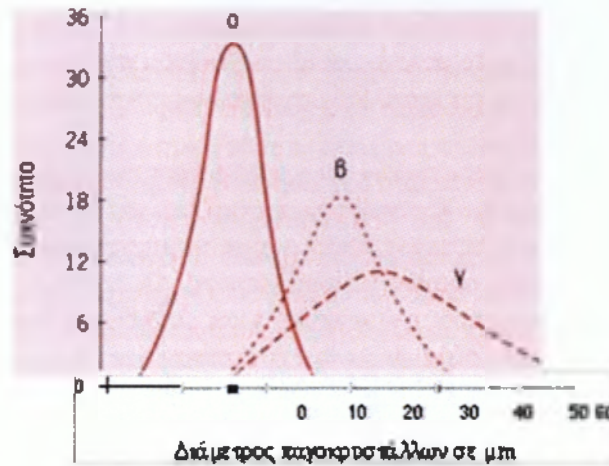
Οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες έχουν ακόμη μειωμένη ικανότητα να εκχυλίζονται και να σχηματίζουν πηκτή (Σελ. 40). Αναφέρεται ότι, κάτω από τις εμπορικές συνθήκες συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη, η ποσότητα των αλατοδιαλυτων πρωτεϊνών που εκχυλίζονται από το κρέας μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50%. Το γεγονός αυτό υποβαθμίζει

την ποιότητα του καταψυγμένου κρέατος και την καταλληλότητα του για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων κρέατος.

Η μετουσίωση των πρωτεϊνών και η υποβάθμιση των λειτουργικών ιδιοτήτων του καταψυγμένου κρέατος που προορίζεται για την παραγωγή προϊόντων κρέατος (manufacturing meat) μπορεί να περιορισθεί με τη χρήση **κρυοπροστατευτικών ουσιών** (cryoprotectants). Οι ουσίες αυτές αναμειγνύονται με το κρέας πριν την κατάψυξη και με διάχυση διεισδύουν στο εσωτερικό της μυϊκής μάζας, αυξάνουν την επιφανειακή τάση του νερού και εμποδίζουν την απομάκρυνση των μορίων του από τις πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση τους. Ως κρυοπροστατευτικές ουσίες χρησιμοποιούνται η δεξτρόζη, η σακχαρόζη και η σορβιτόλη, οι οποίες προσδίδουν γλυκιά γεύση στο κρέας, υδρολυμένα άμυλα και σκόνη αφυδατωμένου και απολιπομένου γάλακτος, τα οποία είναι άγλυκα. Ως πλέον αποτελεσματική κρυοπροστατευτική ουσία θεωρείται η πολυδεξτρόζη, η οποία δεν προσδίδει γλυκιά γεύση στο κρέας. Η δράση της πολυδεξτρόζης ως κρυοπροστατευτικής ουσίας αυξάνεται σημαντικά, όταν αυτή χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με πολυφωσφορικά άλατα.

Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι οι λειτουργικές ιδιότητες του κρέατος που προορίζεται για τη βιομηχανική παραγωγή διαφόρων προϊόντων διατηρούνται ικανοποιητικά με την κατάψυξη του κρέατος σε ρεύμα ψυχρού αέρα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας και τη συντήρηση υπό κατάψυξη σε σταθερή θερμοκρασία μεταξύ **-18°** και **-20°C**. Επίσης, το βοδινό καταψυγμένο κρέας με υψηλό pH διατηρεί καλύτερα τις λειτουργικές του ιδιότητες σε σχέση με το κρέας με κανονικό pH.

Επανακρυστάλλωση Η επανακρυστάλλωση (recrystallization) είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο επέρχεται αύξηση του μεγέθους των μεγάλων κρυστάλλων που υπάρχουν στο καταψυγμένο κρέας σε βάρος των μικρών κρυστάλλων με αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού αριθμού των παγοκρυστάλλων και την αύξηση του μέσου μεγέθους αυτών (Σχήμα 2.3)



Σχήμα 2.3: Μεταβολή του μεγέθους των παγοκρυστάλλων σε βοδινό κρέας που καταψύχθηκε αρχικά στους -40°C και στη συνέχεια συντηρήθηκε υπό κατάψυξη στους -5°C (Calvelo, 1982). α: Σε χρόνο μηδέν, β: Μετά από 96 ώρες, και γ: Μετά από 144 ώρες

Αιτία της επανακρυστάλλωσης είναι η διαφορά στην επιφανειακή ενέργεια μεταξύ των μικρών και των μεγάλων παγοκρυστάλλων και η τάση του συστήματος να ελαχιστοποιήσει την ελεύθερη ενέργεια του. Ως συνέπεια της τάσης αυτής οι μικροί σε μέγεθος παγοκρύσταλλοι λιώνουν και το νερό που προκύπτει, αφού δεν μπορεί να σχηματίσει νέους παγοκρυστάλλους, σχηματίζει πάγο στην επιφάνεια των ήδη υπάρχοντων παγοκρυστάλλων με αποτέλεσμα την παραπέρα αύξηση του μεγέθους τους.

Η επανακρυστάλλωση είναι ένα φαινόμενο του οποίου η έκταση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη. Η επανακρυστάλλωση λαμβάνει χώρα ακόμη και όταν η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος παραμένει σταθερή, όμως επιταχύνεται σημαντικά, όταν υπάρχουν διακυμάνσεις στη θερμοκρασία και οι μικροί παγοκρύσταλλοι βρεθούν σε περιβάλλον υψηλότερων θερμοκρασιών. Παγοκρύσταλλος μεγέθους $30\ \mu\text{m}$ (μικρών) διπλασιάζει τη διάμετρο του σε 21 ημέρες συντήρησης του κρέατος στους -10°C ή σε 50 ημέρες συντήρησης στους -20°C .

Ο σχηματισμός μεγάλων παγοκρυστάλλων κατά την επανακρυστάλλωση έχει όλες τις συνέπειες της βραδείας κατάψυξης. Κατά συνέπεια, τα θετικά αποτελέσματα της ταχείας και υπερταχείας κατάψυξης στην ποιότητα του καταψυγμένου κρέατος μηδενίζονται από την επανακρυστάλλωση, όταν το κρέας συντηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα, και κυρίως όταν η θερμοκρασία συντήρησης παρουσιάζει διακυμάνσεις. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι δυσμενείς επιδράσεις της επανακρυστάλλωσης στην ποιότητα του

καταψυγμένου κρέατος, πρέπει η διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη να είναι μικρή και η θερμοκρασία συντήρησης χαμηλή και κυρίως σταθερή, δηλαδή χωρίς διακυμάνσεις.

Η επανακρυστάλλωση μπορεί να περιορισθεί με τη χρήση **αντιψυκτικών πρωτεϊνών** (antifreeze proteins). Οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες έχουν απομονωθεί από ψάρια που ζουν σε πολικές περιοχές, καθώς επίσης από έντομα και φυτά που αντέχουν στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Οι πρωτεΐνες αυτές μειώνουν το σημείο πήξης του νερού, χωρίς να επηρεάζουν το σημείο τήξης, μεταβάλλουν το σχήμα και μειώνουν το μέγεθος των παγοκρυστάλλων και επιπλέον εμποδίζουν την επανακρυστάλλωση. Πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι έγχυση αντιψυκτικών πρωτεϊνών σε αρνιά 24 ώρες πριν από τη σφαγή τους, σε συγκέντρωση 0.01 μρ/κς, μείωσε σημαντικά το μέγεθος των παγοκρυστάλλων κατά τη συντήρηση του κρέατος με κατάψυξη και τις απώλειες οπού κατά την απόψυξη.

Οξείδωση του λίπους. Επειδή κατά τη συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη αναστέλλεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών, η κύρια αιτία που περιορίζει το χρόνο συντήρησης είναι η οξείδωση του λίπους και η οξείδωση των χρωστικών του κρέατος στην επιφάνεια του. Η οξείδωση του λίπους οδηγεί στην τάγκιση του κρέατος, η οποία εκδηλώνεται με την ανάπτυξη δυσάρεστης οσμής και γεύσης, η δε οξείδωση των χρωστικών προκαλεί αποχρωματισμό της επιφάνειας του κρέατος.

Η οξείδωση του λίπους εξαρτάται από τη σύνθεση του σε λιπαρά οξέα. Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα του λίπους σε ακόρεστα λιπαρά οξέα, τόσο εντονότερη είναι η οξείδωση του κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Το πρόβειο και το βοδινό λίπος, τα οποία περιέχουν λιγότερα ακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα σε σχέση με το χοιρινό λίπος και το λίπος του κοτόπουλου, είναι ανθεκτικότερα στην επίδραση της οξείδωσης γι' αυτό και το πρόβειο και βοδινό κρέας συντηρούνται για σημαντικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα με κατάψυξη σε σχέση με το χοιρινό κρέας και το κρέας των πουλερικών (Πίνακας 2.2).

Την οξείδωση του λίπους στο καταψυγμένο κρέας επηρεάζουν ακόμη: α) ο τρόπος αφαιμάξης του σφαγίου, β) η διάρκεια ωρίμασης του κρέατος πριν την κατάψυξη, η συσκευασία του κρέατος, η θερμοκρασία συντήρησης υπό κατάψυξη και το φως. Κατά συνέπεια, για την προστασία του κρέατος από την οξείδωση του λίπους επιβάλλεται η λήψη των εξής μέτρων: α) Η καλή αφαιμάξη του σφαγίου, ώστε να περιορισθεί η επαφή του κρέατος με την αιμοσφαιρίνη του αίματος που ενεργεί ως προ-οξειδωτικός παράγοντας.

- β) Η κατάψυξη του κρέατος ως σφάγιο ή σε μεγάλα τεμάχια, επειδή με τον λεπτοτεμαχισμό του κρέατος το λίπος έρχεται σε στενότερη επαφή με την αιμοσφαιρίνη του αίματος και με το οξυγόνο.
- γ) Η κατάψυξη του κρέατος να γίνεται το γρηγορότερο δυνατό μετά τη σφαγή του ζώου, επειδή στο στάδιο αυτό το κρέας διατηρεί σε υψηλές συγκεντρώσεις τις αντιοξειδωτικές του ουσίες, όπως οι τοκοφερόλες, οι οποίες μειώνονται σημαντικά κατά την ωρίμαση.
- δ) Η συσκευασία του κρέατος υπό κενό σε περιέκτες στεγανούς στη διαπερατότητα οξυγόνου, ώστε να αποφεύγεται η αντίδραση των ακόρεστων λιπαρών οξέων του λίπους με το οξυγόνο που προκαλεί την οξείδωση.
- ε) Η συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες χωρίς διακυμάνσεις. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια συντήρησης του (Πίνακας 2.2). Η οξείδωση του λίπους είναι πολύ έντονη στην περιοχή θερμοκρασιών μεταξύ -2°C και -4°C και ουσιαστικά σταματά στους -30°C . Επίσης, η οξείδωση του λίπους είναι έντονη στην περιοχή των θερμοκρασιών -6° έως -12°C που επικρατεί στους οικιακούς καταψύκτες.
- στ) Η συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη να γίνεται σε συνθήκες απόλυτου σκότους. Το φως ενεργεί ως καταλύτης που επιταχύνει την οξείδωση του λίπους. Αν και το υπεριώδες φως επιταχύνει πολύ περισσότερο το ρυθμό οξείδωσης του λίπους, ωστόσο και το φως από κανονικές λάμπες φθορίου μπορεί να υποδιπλασιάσει τη διάρκεια συντήρησης τεμαχίων βοδινού κρέατος τα οποία συντηρούνται συσκευασμένα υπό κενό στους -20°C . Το φως καταλύει επίσης και την φωτο-οξείδωση των χρωστικών του κρέατος με συνέπεια το καταψυγμένο κρέας να μεταβάλλει χρώμα. Τέλος, πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η χορήγηση της βιταμίνης E στα ζώα, μέσω της διατροφής τους, περιορίζει σημαντικά την οξείδωση του λίπους και σταθεροποιεί το χρώμα του κρέατος κατά τη συντήρηση του υπό κατάψυξη.

Αφυδάτωση λόγω εξάχνωσης. Η αφυδάτωση από την επιφάνεια του κρέατος το οποίο συντηρείται υπό κατάψυξη, χωρίς να είναι συσκευασμένο, είναι αποτέλεσμα της εξάχνωσης των παγοκρυσταλλων, δηλαδή της απευθείας μετατροπής του νερού από τη στερεά μορφή των παγοκρυσταλλων στην αέρια μορφή των υδρατμών. Η αφυδάτωση αυτή προκαλεί απώλειες βάρους στο καταψυγμένο κρέας με οικονομικές συνέπειες και επιπλέον επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα του κρέατος. Στα σημεία όπου έγινε εξάχνωση των παγοκρυσταλλων η επιφάνεια του κρέατος γίνεται ξηρή και σπογγώδης, ενώ στους κενούς

χώρους διεισδύει αέρας. Το οξυγόνο του αέρα προκαλεί οξείδωση του λίπους και των χρωστικών με αποτέλεσμα το σχηματισμό καστανών κηλίδων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως **εγκαύματα κατάψυξης** (freeze burn).

Η εξάχνωση των παγοκρυσταλλών προκαλείται, όταν η πίεση υδρατμών στην επιφάνεια του καταψυγμένου κρέατος είναι μεγαλύτερη από την πίεση υδρατμών του αέρα που περιβάλλει το κρέας. Η εξάχνωση του κρέατος είναι σχεδόν τριπλάσια στους -18°C σε σύγκριση με την εξάχνωση στους -30°C , όταν η σχετική υγρασία διατηρείται σταθερή. Η διακύμανση της θερμοκρασίας συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη αυξάνει το ρυθμό εξάχνωσης. Η εξάχνωση του κρέατος και η πρόκληση εγκαυμάτων κατάψυξης μπορούν να αποφευχθούν: α) με τη συντήρηση του κρέατος σε ψυκτικούς θαλάμους με υψηλή σχετική υγρασία και κυρίως β) με την κατάλληλη συσκευασία του κρέατος.

2.2.2 Απόψυξη του καταψυγμένου κρέατος

Η **απόψυξη** (thawing) του κρέατος μπορεί απλά να ορισθεί ως η αντίστροφη φάση της κατάψυξης, αφού κατά την ολοκλήρωση της δεν παραμένει στο κρέας νερό με τη μορφή παγοκρυστάλλων. Αυτό επιτυγχάνεται, όταν σε όλα τα σημεία του κρέατος η θερμοκρασία υπερβεί το σημείο τήξης ($-1,5^{\circ}\text{C}$) των παγοκρυστάλλων.

Κατά κανόνα το κρέας υφίσταται μεγαλύτερη ποιοτική υποβάθμιση κατά την απόψυξη του παρά κατά τη φάση της κατάψυξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι: α) ο χρόνος απόψυξης του κρέατος είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το χρόνο κατάψυξης, β) κατά την απόψυξη συμβαίνει αύξηση της θερμοκρασίας του αποψυγμένου κρέατος και διατήρηση της για μεγάλο χρονικό διάστημα πλησίον του σημείου τήξης και γ) η απόψυξη γίνεται από τον ίδιο τον καταναλωτή, ο οποίος κατά κανόνα αγνοεί τα προβλήματα που σχετίζονται με αυτή.

Ο μεγαλύτερος χρόνος απόψυξης οφείλεται στο γεγονός ότι στη φάση της κατάψυξης η θερμότητα απομακρύνεται μέσα από τη ζώνη του κρέατος που έχει καταψυχθεί, ενώ στη φάση της απόψυξης προστίθεται θερμότητα στο κρέας μέσα από τη ζώνη που έχει αποψυχθεί. Όμως, ο πάγος μέσα από τον οποίο απομακρύνεται η θερμότητα κατά την κατάψυξη έχει σημαντικά υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με το νερό. Ακόμη, κατά την απόψυξη του κρέατος η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου απόψυξης και του σημείου τήξης του πάγου δεν μπορεί να είναι μεγάλη. Η διαφορά αυτή διατηρείται

μικρή, αφενός για να περιορισθεί η ανάπτυξη μικροοργανισμών στην υγρή επιφάνεια του αποψυγμένου κρέατος, και αφετέρου για να αποφευχθεί η δυσμενής επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στο χρώμα του κρέατος.

Εξακρίβωση αποψυγμένου κρέατος. Η διάθεση του αποψυγμένου κρέατος ως νωπού χαρακτηρίζεται ως νοθεία. Η εξακρίβωση ότι ένα κρέας είναι αποψυγμένο μπορεί να γίνει με τον προσδιορισμό ενζύμων, τα οποία ελευθερώνονται από μεμβράνες της μυϊκής ίνας ή των μιτοχονδρίων λόγω της μηχανικής βλάβης που υφίστανται κατά την κατάψυξη από τους παγοκρυστάλλους. Τέτοια ένζυμα είναι η οξειδάση των κυτοχρωμάτων και η αφυδρογονάση του β-υδροξυακετυλο-συνένζυμου Α. Ειδικότερα, για την εξακρίβωση του αποψυγμένου βοδινού και χοιρινού κρέατος πολύ καλά αποτελέσματα δίνει το ένζυμο Ν-ακετυλο-β-γλυκοσαμινιδάση.

Μακροσκοπικά το αποψυγμένο κρέας αποβάλλει σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα οπύ σε σχέση με το νωπό κρέας και έχει σκοτεινό ερυθρό χρώμα. Όταν το καταψυγμένο κρέας εκτεθεί στον αέρα αρχικά οξυγονώνεται ή διατηρεί την κατάσταση οξυγόνωσης που είχε τη στιγμή της κατάψυξης. Σταδιακά το χρώμα του κρέατος γίνεται λιγότερο ελκυστικό, αφού μετατρέπεται σε σκοτεινό ερυθρό-καστανό, γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή αντανάκλαση του φωτός, στην αφυδάτωση της επιφάνειας και στο σχηματισμό μεταμυοσφαιρίνης. Κατά την κατάψυξη σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι οι οποίοι μεταβάλλουν τις οπτικές ιδιότητες του κρέατος και τη συγκέντρωση των αλάτων στο σαρκόπλασμα και προκαλούν βλάβες στις κυτταρικές δομές των μυϊκών ινών. Παρουσία οξυγόνου οι παραπάνω μεταβολές οδηγούν στο σχηματισμό ελεύθερων ριζών που επιταχύνουν την οξείδωση των χρωστικών του κρέατος και το σχηματισμό μεταμυοσφαιρίνης με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του χρώματος.

Μέθοδοι απόψυξης του κρέατος. Η απόψυξη του καταψυγμένου κρέατος γίνεται: α) διά επαφής με τον αέρα, β) με βύθιση σε νερό, γ) με κορεσμένο ατμό σε θάλαμο κενού και δ) με μικροκύματα ή διηλεκτρική θέρμανση.

Κατά την απόψυξη με αέρα η ανάπτυξη των μικροοργανισμών είναι γρηγορότερη, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία και χαμηλότερη η ταχύτητα κίνησης του αέρα. Επίσης, οι απώλειες λόγω εξάτμισης του νερού από την επιφάνεια του κρέατος κατά την απόψυξη αυξάνουν με την αύξηση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας κίνησης του αέρα και ελαττώνονται με την αύξηση της σχετικής υγρασίας. Οι συνθήκες που συνιστώνται για την απόψυξη του κρέατος με αέρα είναι θερμοκρασία +15°, σχετική

υγρασία 95-100% και υψηλή ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες το βοδινό οπίσθιο τεταρτημόριο αποψύχεται μέσα σε 30 περίπου ώρες χωρίς να επέρχεται σημαντική αύξηση του μικροβιακού φορτίου. Για τον περιορισμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών ενδείκνυται η απόψυξη του κρέατος σε ρεύμα αέρα θερμοκρασίας 5-7°C με χαμηλή ταχύτητα κυκλοφορίας του αέρα.

Η απόψυξη μεγάλων τεμαχίων κρέατος με νερό είναι γρηγορότερη, και πιθανόν περισσότερο επωφελής, επειδή με αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη ανταλλαγή θερμότητας. Το νερό μπορεί να έχει θερμοκρασία μέχρι και 40°C. Ωστόσο, η απόψυξη του κρέατος με νερό σχετίζεται με μια σειρά από μειονεκτήματα, όπως οι απώλειες ουσιών από τα επιφανειακά στρώματα του κρέατος και ο κίνδυνος μικροβιακής αλληλοεπιμόλυνσης των τεμαχίων κρέατος, αν το κρέας δεν είναι συσκευασμένο σε περιέκτη αδιαπέραστο στο νερό.

Ταχεία απόψυξη του κρέατος μπορεί να γίνει σε θαλάμους κενού με την εφαρμογή κορεσμένου ατμού. Κάτω από τις συνθήκες αυτές η θερμοκρασία κορεσμού του ατμού ανέρχεται στους 20°C και ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι πολύ καλός.

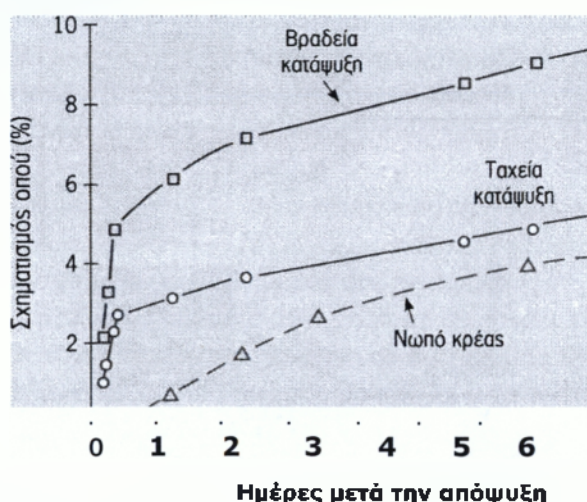
Τέλος, απόψυξη του κρέατος μπορεί να γίνει σε φούρνους ή τούνελ μικροκυμάτων ή διηλεκτρικής θέρμανσης. Αναφέρεται ότι με τη μέθοδο αυτή ο χρόνος απόψυξης του κρέατος από τους -20°C στους -3°C μειώνεται από 48-72 ώρες σε λίγα μόνο λεπτά. Πρέπει όμως τα προς απόψυξη τεμάχια κρέατος να έχουν ομοιόμορφο σχήμα και μέγεθος, ώστε να αποφευχθούν περιπτώσεις υπερθέρμανσης σε ορισμένες περιοχές.

Σχηματισμός οπού κατά την απόψυξη. Κατά την απόψυξη του κρέατος εξέρχεται από αυτό οπός (drip on thawing), ο οποίος αποτελείται από νερό, υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, πεπτίδια, αμινοξέα, γαλακτικό οξύ, βιταμίνες του συμπλέγματος Β και διάφορα άλατα. Ο σχηματισμός του οπού είναι ανεπιθύμητος, γιατί: α) στις υγρές επιφάνειες του κρέατος ευνοείται ο πολλαπλασιασμός μικροοργανισμών που μπορούν να προκαλέσουν αλλοίωση του κρέατος ή τροφικές δηλητηριάσεις στον καταναλωτή, β) μειώνεται η θρεπτική αξία του κρέατος ως αποτέλεσμα των απωλειών σε υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες, βιταμίνες, άλατα και λοιπές ουσίες, και γ) επιφέρει απώλειες βάρους στο αποψυγμένο κρέας, οι οποίες έχουν οικονομική σημασία. Κατά συνέπεια, η μεταχείριση του κρέατος σε όλες τις φάσεις της κατάψυξης θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο ο σχηματισμός του οπού και οι δυσμενείς επιπτώσεις του.

Η ποσότητα οπού κατά την απόψυξη επηρεάζεται σημαντικά από την ταχύτητα κατάψυξης και απόψυξης του κρέατος, το pH του κρέατος, τη θερμοκρασία και το χρόνο

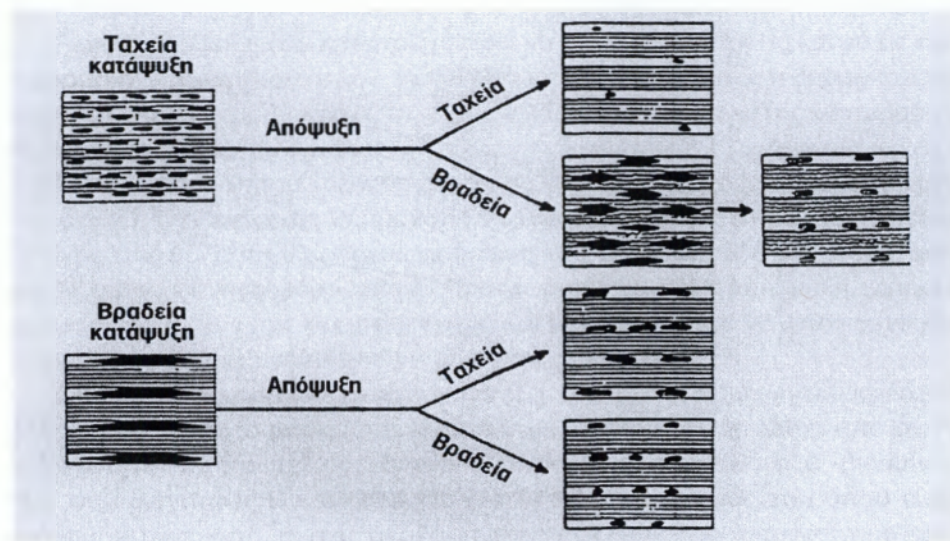
συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη, το λόγο της επιφάνειας προς το βάρος ή τον όγκο του κάθε τεμαχίου κρέατος και άλλους παράγοντες.

Επίδραση της ταχύτητας κατάψυξης. Αν οι συνθήκες απόψυξης διατηρηθούν οι ίδιες, τότε με την ταχεία μέθοδο κατάψυξης σχηματίζεται μικρότερη ποσότητα οπού σε σχέση με τη βραδεία κατάψυξη.



Σχήμα 2.4: Επίδραση της ταχύτητας κατάψυξης στην ποσότητα του σχηματιζόμενου οπού (Hamm *et al.*, 1982)

Επίδραση της ταχύτητας απόψυξης. Η επίδραση της ταχύτητας απόψυξης του κρέατος στην ποσότητα του σχηματιζόμενου οπού εξαρτάται από την ταχύτητα κατάψυξης, δηλαδή από το αν το κρέας καταψύχθηκε με ταχεία ή βραδεία μέθοδο κατάψυξης (Σχήμα 2.5). Αν το κρέας καταψυχθεί με ταχεία κατάψυξη, τότε μικροί σε μέγεθος παγοκρυστάλλοι σχηματίζονται τόσο στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας όσο και στους εξωκυτταρικούς χώρους. Η ποσότητα νερού που σχηματίζεται από την τήξη των παγοκρυστάλλων κατά την ταχεία απόψυξη απορροφάται από το κρέας με αποτέλεσμα η ποσότητα οπού να είναι μικρή ή μηδαμινή. Αν όμως το κρέας που καταψύχθηκε με ταχεία κατάψυξη αποψυχθεί με πολύ βραδύ ρυθμό, τότε κατά τη διάρκεια της βραδείας απόψυξης λαμβάνει χώρα επανακρυστάλλωση του νερού που προκύπτει από την τήξη μικρών παγοκρυστάλλων. Αυτή έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των παγοκρυστάλλων σε μέγεθος τόσο στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας όσο και στους εξωκυτταρικούς χώρους, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη έξοδο οπού.



Σχήμα 2.5: Επίδραση της ταχύτητας απόψυξης στην ποσότητα του σχηματιζόμενου οπού (Hamm et al., 1982)

Αν το κρέας καταψυχθεί με βραδεία κατάψυξη, τότε σχηματίζονται μεγάλοι παγοκρύσταλλοι στους εξωκυτταρικούς χώρους. Κατά την ταχεία απόψυξη μέρος μόνο του νερού που προκύπτει από την τήξη των παγοκρυστάλλων μπορεί να απορροφηθεί από το κρέας, ενώ μεγάλο μέρος αυτού εξέρχεται ως οπός. Αντίθετα, κατά την βραδεία απόψυξη απορροφάται μεγαλύτερη ποσότητα νερού και η ποσότητα του σχηματιζόμενου οπού είναι μικρότερη. Η μεγαλύτερη απορρόφηση του νερού οφείλεται στη διαφορά της ωσμωτικής πίεσης που σχηματίζεται στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας και στους εξωκυτταρικούς χώρους κατά την τήξη των παγοκρυστάλλων. Με την τήξη των παγοκρυστάλλων στους εξωκυτταρικούς χώρους αραιώνεται η συγκέντρωση των υπάρχοντων ιόντων. Η συγκέντρωση των ιόντων στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας γίνεται μεγαλύτερη και η διαφορά αυτή στην ωσμωτική πίεση μεταξύ του ενδο-και εξω-κυτταρικού χώρου οδηγεί στη μετακίνηση του νερού από τον εξωκυτταρικό χώρο στο εσωτερικό της μυϊκής ίνας.

Επίδραση του pH. Μείωση του pH σε τιμές πλησίον του ισοηλεκτρικού σημείου προκαλεί μείωση της ΙΣΝ και μεταφορά του νερού από τους χώρους μεταξύ των μυϊκών ινιδίων στο σαρκόπλασμα και πιθανόν στους εξωκυτταρικούς χώρους από τους οποίους εξέρχεται ευκολότερα.

Στα κρεοπωλεία ο κιμάς κόβεται παρουσία του πελάτη τη στιγμή της αγοράς του. Όμως, ο κιμάς που παράγεται στα εργαστήρια παρασκευής κρεατοσκευασμάτων διατίθεται στην αγορά πάντα συσκευασμένος. Όταν ο κιμάς διατίθεται στη λιανική αγορά, συσκευάζεται σε ατομικές μερίδες μέσα σε δίσκους, οι οποίοι περιτυλίσσονται με πλαστική μεμβράνη (Σελ. 192). Αμέσως μετά τη συσκευασία του ο κιμάς ψύχεται, έτσι ώστε, το συντομότερο δυνατό, η θερμοκρασία στο κέντρο του προϊόντος να μειωθεί κάτω από τους 2°C. Στη συνέχεια ο κιμάς συντηρείται σε συνθήκες ψύξης. Όταν ο κιμάς συντηρείται με κατάψυξη, πρέπει και πάλι να συσκευάζεται, κατά κανόνα σε συσκευασία υπό κενό, να καταψύχεται το γρηγορότερο δυνατό με ταχεία κατάψυξη, να διατηρείται σε θερμοκρασίες μικρότερες από -18 °C και η διάρκεια συντήρησης του να μην υπερβαίνει τους 3 μήνες.

Κατά την παραγωγή του κιμά το κρέας υπόκειται στην επίδραση πιέσεων και τριβών με αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του. Η δομή των σκελετικών μυών καταστρέφεται, όπως επίσης και η ακεραιότητα της μυϊκής ίνας, γεγονός που επιτρέπει την έξοδο νερού και υδατοδιαλυτών συστατικών στην επιφάνεια των τεμαχίων κρέατος. Αυτά αποτελούν άριστο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Επίσης, αυξάνεται σημαντικά η επιφάνεια του κρέατος με αποτέλεσμα τη διασπορά των μικροοργανισμών που έχουν μολύνει τον κιμά. Οι παραπάνω συνθήκες επιτρέπουν το γρήγορο πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, γεγονός που περιορίζει τη διάρκεια συντήρησης του κιμά και εγκυμονεί κινδύνους για την ασφάλεια του καταναλωτή από παθογόνους μικροοργανισμούς. Για την αποφυγή των κινδύνων αυτών οι συνθήκες υγιεινής κατά την παραγωγή του κιμά πρέπει να είναι υψηλές και το κρέας από το οποίο παράγεται ο κιμάς να διατηρείται πάντοτε υπό ψύξη. Ο Κώδικας Τροφίμων & Ποτών (2004) έχει θεσπίσει τα παρακάτω κριτήρια για το μικροβιολογικό έλεγχο του κιμά:

Μικροοργανισμοί	Ανώτατο όριο*	Κατώτατο όριο**
Αερόβια μεσόφιλα βακτήρια	5×10^8 /g	5×10^5 /g
Escherichia coli	5×10^2 /g	50/g
Staphylococcus aureus	10^7 /g	10^2 /g
Salmonella	Απουσία/10 g	Απουσία σε 10 g

* Πέρα αυτού τα αποτελέσματα δεν θεωρούνται ικανοποιητικά.

** Κάτω από αυτό όλα τα αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά.

Κεφάλαιο 3

3. Τροποποιημένη ατμόσφαιρα

3.1 Συσσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες

Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν την αναγκαιότητα τροποποίησης των συνθηκών συντήρησης του κρέατος και συνεπώς του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο τα αλλοιογόνα βακτήρια επικρατούν σε χαμηλές θερμοκρασίες. Μία προσιτή προσέγγιση στο θέμα συντήρησης αποτελεί η θεωρία των εμποδίων (hurdles), που παρουσιάστηκε από τους Leistner and Rondel (1976). Σύμφωνα με αυτή, διάφορα εμπόδια ή ανασταλτικοί παράγοντες μπορούν, σε συνδυασμό και σε ικανοποιητικά επίπεδα μεγέθους και αριθμού, να μειώσουν ή να παρεμποδίσουν τη μικροβιακή ανάπτυξη, ακόμα κι αν ένα από αυτά δεν μπορεί μεμονωμένα να παρεμποδίσει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα εμπόδια αυτά χωρίζονται σε ενδογενή (intrinsic) όπως είναι το pH, a_w , Eh, η δομή του τροφίμου, εξωγενή (extrinsic) όπως είναι η θερμοκρασία, η συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες, η προσθήκη αντιμικροβιακών ουσιών κ.ά. και απροσδιόριστοι (implicit) όπως είναι ο ανταγωνισμός των μικροοργανισμών. Η παρούσα εργασία εστιάζεται στην εφαρμογή εξωγενών παραγόντων με σκοπό τη συντήρηση του κρέατος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε η συσκευασία του κρέατος σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες και συντήρηση σε θερμοκρασίες από 0-10°C .

Η συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες περιλαμβάνει τη συσκευασία ενός τροφίμου σε ατμόσφαιρες που έχουν διαφορετική σύσταση από αυτή του αέρα (78% N₂, 21% O₂, 1% Arg και 0.035% CO₂). Οι Young et al. (1988) όρισαν τη συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες ως εξής: «ο εγκλεισμός του προϊόντος σε περιέκτες, στο εσωτερικό των οποίων η αέρια σύσταση έχει τροποποιηθεί με σκοπό τη μείωση της αναπνοής, την ελάττωση της μικροβιακής ανάπτυξης και την επιβράδυνση της ενζυμικής αλλοίωσης με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου ζωής του προϊόντος». Αυτός ο τρόπος συσκευασίας βρίσκει ευρεία εφαρμογή στη συντήρηση του κρέατος, και ειδικότερα στη λιανική πώληση, ικανοποιώντας έτσι τη σύγχρονη τάση του καταναλωτή να προμηθεύεται τα τρόφιμα τυποποιημένα μέσω των υπεραγορών (supermarkets).

Συνήθως, υπάρχουν δύο μορφές τροποποιημένης ατμόσφαιρας: εκείνη της συσκευασίας σε κενό (vacuum packaging) και αυτή της συσκευασίας αέριο σε μείγμα αερίων (gas-flush packaging). Η *συσκευασία σε κενό* είναι ίσως η πιο συνηθισμένη μορφή τροποποιημένης ατμόσφαιρας και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τη βιομηχανία του κρέατος για την επιμήκυνση του χρόνου ζωής και τη διατήρηση της ποιότητας του φρέσκου κρέατος. Η *συσκευασία σε τροποποιημένες ατμόσφαιρες* αποτελεί έναν εναλλακτικό τρόπο συσκευασίας από αυτή σε κενό στην οποία χρησιμοποιούνται μείγματα αερίων, συνήθως O_2 , N_2 και CO_2 .

3.2 Συσκευασία υπό κενό

Η *συσκευασία υπό κενό* (vacuum packaging) θεωρείται σημαντική εξέλιξη στη μεταχείριση και εμπορία του κρέατος. Στην τεχνολογία αυτή, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας σφαγής, τα σφάγια ψύχονται για 36-48 ώρες και στη συνέχεια κόβονται σε αυτοτελή τεμάχια βάρους 3-15 kg, όπως το φιλέτο, οι μπριζόλες, το νουά κ.ά., συσκευάζονται υπό κενό σε πλαστικούς περιέκτες, τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια και διακινούνται υπό ψύξη στα καταστήματα λιανικής πώλησης.

Ως πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής αναφέρονται: α) η καλύτερη αξιοποίηση της πρώτης ύλης και η τυποποίηση του κρέατος, με αποτέλεσμα ο λιανοπωλητής να μπορεί με μεγαλύτερη ευχέρεια να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του καταναλωτικού κοινού, β) η καλύτερη αξιοποίηση του λίπους, των οστών και των μικρότερων τεμαχίων κρέατος από τον τεμαχισμό του κάθε σφαγίου, γ) η σημαντική οικονομία σε ψυκτικούς χώρους και η μείωση του κόστους μεταφοράς, αφού μόνο τα 2/3 του βοδινού σφαγίου είναι εμπορεύσιμο κρέας, ενώ το υπόλοιπο 1/3 είναι οστά και λίπος με μικρή εμπορική αξία, δ) η ωρίμαση του κρέατος μέσα στη συσκευασία, με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι απώλειες βάρους, η επιμόλυνση του κρέατος και η οξείδωση του λίπους, και ε) η καλύτερη αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού και η χρησιμοποίηση σύγχρονου και αυτοματοποιημένου εξοπλισμού.

Μέθοδοι συσκευασίας του κρέατος υπό κενό. Η συσκευασία του κρέατος υπό κενό μπορεί να γίνει με τις παρακάτω μεθόδους.

α) **Απλή συσκευασία υπό κενό.** Το κρέας τοποθετείται σε προκατασκευασμένη σακούλα από απλές πολύφυλλες μεμβράνες ή μεμβράνες συνε-ξώθησης. Παράδειγμα αποτελεί η μεμβράνη, η οποία εξωτερικά αποτελείται από Nylon που εξασφαλίζει μηχανική αντοχή και στεγανότητα στο οξυγόνο, και εσωτερικά από LDPE, που εξασφαλίζει

στεγανότητα στους υδρατμούς και εύκολη θερμοσυγκόλληση. Η σακούλα με το κρέας εισάγεται στο θάλαμο κενού της συσκευαστικής μηχανής. Με την αφαίρεση του αέρα από το εσωτερικό της σακούλας αυτή προσκολλάται στην επιφάνεια του κρέατος. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό κενό, περίπου 0.8-0.9 ατμόσφαιρες, τα άκρα της πλαστικής σακούλας κλείνουν με θερμοσυγκόλληση. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η συγκέντρωση οπού στις γωνίες της πλαστικής σακούλας στη διάρκεια συντήρησης του κρέατος.

β) **Συρρικνωμένη συσκευασία υπό κενό (vacuum shrink packaging).** Το κρέας τοποθετείται σε προκατασκευασμένες πλαστικές σακούλες από διαξονικά προσανατολισμένες πλαστικές μεμβράνες, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να συρρικνώνονται, όταν θερμανθούν. Παράδειγμα μιας τέτοιας μεμβράνης αποτελεί η μεμβράνη συνεξώθησης από EVA/PVC-PVDC/EVA. Το συμπολυμερές PVC-PVDC εξασφαλίζει την απαιτούμενη στεγανότητα στο οξυγόνο και το συμπολυμερές EVA στεγανότητα σε υδρατμούς και εύκολη θερμοσυγκόλληση. Μετά το κλείσιμο της σακούλας, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, το συσκευασμένο κρέας διέρχεται από συσκευή, όπου θερμαίνεται στους 90°C για 2-3 sec. Με τη θέρμανση η μεμβράνη συρρικνώνεται και προσκολλάται πλήρως στην επιφάνεια του κρέατος, χωρίς να δημιουργούνται κενοί χώροι μεταξύ του κρέατος και της σακούλας. Έτσι αποφεύγεται η συγκέντρωση οπού και το κρέας αποκτά καλύτερη εμφάνιση.

γ) **Επιδερμική συσκευασία κενού (vacuum skin packaging).** Το κρέας τοποθετείται μέσα σε κύπελλο ή δίσκο που κατασκευάζεται από πολύφυλλη μεμβράνη ή μεμβράνη συνεξώθησης με θερμομορφοποίηση στη διάρκεια της συσκευασίας. Το ακάλυπτο μέρος του κρέατος καλύπτεται με δεύτερη μεμβράνη, η οποία προηγουμένως θερμαίνεται ώστε να γίνει μαλακή. Εφαρμόζεται κενό, το οποίο αφαιρεί τον αέρα, ακολουθεί θερμοσυγκόλληση των δυο μεμβρανών στα σημεία επαφής που αντιστοιχούν στα χείλη του κυπέλλου ή του δίσκου και στη συνέχεια η κοπή των μεμβρανών με ειδικά μαχαίρια. Με τη δημιουργία κενού οι δυο μεμβράνες εφάπτονται επάνω στο κρέας χωρίς να συρρικνώνονται. Η επάνω μεμβράνη, η οποία αποτελείται κυρίως από ιονομερή και είναι ανθεκτική στο σχίσιμο, είναι μαλακή, ακολουθεί πλήρως το σχήμα του κρέατος, ακόμη και στην περίπτωση που αυτό είναι ανώμαλο, χωρίς να αφήνει κενούς χώρους για τη συγκέντρωση οπού. Έτσι περιορίζεται η έξοδος οπού και βελτιώνεται η εμφάνιση του συσκευασμένου κρέατος.

δ) **Συσκευασία σε ελαστικό πλαστικό περιέκτη (elastic plastic sleeve package).** Στη συσκευασία αυτή χρησιμοποιείται ελαστική πολύφυλλη μεμβράνη διαμορφωμένη σε σωλήνα, το ένα άκρο του οποίου κλείνει με θερμοσυγκόλληση. Ο ελαστικός σωλήνας

διευρύνεται με ειδική συσκευή, ώστε η διάμετρος του να αυξηθεί κατά 180% περίπου και στο εσωτερικό του τοποθετείται το κρέας. Μετά την απομάκρυνση του σωλήνα με το κρέας από τη συσκευή, αμέσως ο ελαστικός σωλήνας αρχίζει να συρρικνώνεται πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα ο αέρας που περιβάλλει το κρέας αναγκάζεται να εξέλθει, ενώ το ίδιο το κρέας διαμορφώνεται σε κυλινδρικό σχήμα που εφάπτεται πλήρως στα τοιχώματα του σωλήνα, χωρίς να αφήνει κενούς χώρους. Στη συνέχεια το ελεύθερο άκρο του ελαστικού σωλήνα κλείνει με ελαστικό έλασμα ή με θερμοσυγκόλληση. Η μέθοδος είναι απλή και απομακρύνει τον αέρα από τον περιέκτη χωρίς την εφαρμογή κενού, όπως στις προηγούμενες μεθόδους, περιορίζει την απώλεια οπού και βελτιώνει την εμφάνιση του κρέατος.

Μεταβολή του χρώματος. Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της συσκευασίας κενού είναι η επιλογή περιεκτών με μεγάλη αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις, όπως το τρύπημα, το σχίσιμο κ.ά., και με χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς και αέρια. Ειδικότερα, η διαπερατότητα του περιέκτη σε οξυγόνο πρέπει να είναι μικρότερη από $25 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$. Με την απομάκρυνση του αέρα από τον περιέκτη η συγκέντρωση οξυγόνου που παραμένει σε αυτόν μειώνεται σε λιγότερο από 1%, ενώ η χαμηλή διαπερατότητα του περιέκτη περιορίζει την είσοδο οξυγόνου στη διάρκεια της συντήρησης.

Η μικρή ποσότητα του οξυγόνου που παραμένει μέσα στον περιέκτη καταναλώνεται γρήγορα από την αναπνευστική δραστηριότητα του κρέατος και των αερόβιων μικροοργανισμών που έχουν επιμολύνει αυτό. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα μέσα σε δυο περίπου ημέρες η μερική πίεση οξυγόνου στην επιφάνεια του κρέατος να μειώνεται σε λιγότερο από 10 mmHg. Επειδή η διαπερατότητα του περιέκτη είναι μικρή, η αναπλήρωση του οξυγόνου από το περιβάλλον είναι περιορισμένη. Κάτω από τις συνθήκες αυτές η διείσδυση του οξυγόνου στην επιφάνεια του κρέατος είναι μικρή και δεν ξεπερνά τα 2-3 mm. Στο λεπτό αυτό στρώμα με τη μικρή πίεση οξυγόνου η μυοσφαιρίνη του κρέατος οξειδώνεται σε μεταμυοσφαιρίνη. Επειδή όμως το στρώμα αυτό της μεταμυοσφαιρίνης είναι πολύ μικρό, δεν μπορεί να αποκρύψει πλήρως το παχύ στρώμα της μυοσφαιρίνης που βρίσκεται κάτω από αυτό. Για το λόγο αυτό τα συσκευασμένα υπό κενό μεγάλα τεμάχια κρέατος έχουν χρώμα σκοτεινό ερυθρό και όχι καστανό ανεπιθύμητο. Με το άνοιγμα της συσκευασίας και την έκθεση του κρέατος στον αέρα η μυοσφαιρίνη οξυγονώνεται και το κρέας αποκτά το λαμπερό ερυθρό χρώμα της οξυμυοσφαιρίνης. Το χρώμα αυτό είναι τόσο λαμπερότερο όσο λεπτότερο είναι το στρώμα της μεταμυοσφαιρίνης που σχηματίζεται στην επιφάνεια του

κρέατος, δηλαδή όσο αποτελεσματικότερη είναι η αφαίρεση του οξυγόνου από τον περιέκτη και χαμηλότερη η διαπερατότητα αυτού σε οξυγόνο.

Μικροβιολογικές μεταβολές. Μέσα σε 1-2 ημέρες συντήρησης υπό κενό των μεγάλων τεμαχίων κρέατος, λόγω της αναπνευστικής δραστηριότητας του κρέατος και των μικροοργανισμών, παράγεται διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), η συγκέντρωση του οποίου στο εσωτερικό του περιέκτη αυξάνει από <1% σε 10-40%.

Το CO_2 ασκεί βακτηριοστατική δράση σε ορισμένα βακτήρια, ειδικότερα όταν απαντά σε υψηλές συγκεντρώσεις. Ιδιαίτερα ευαίσθητα στην επίδραση του είναι τα αυστηρά αερόβια βακτήρια και λιγότερο τα οξυγαλακτικά βακτήρια. Η δράση του έναντι των αερόβιων βακτηρίων αποδίδεται: α) στην αναστολή που προκαλεί σε διάφορα ένζυμα του μικροοργανισμού και β) στη μείωση του pH. Το CO_2 απορροφάται στην επιφάνεια του κρέατος και στη συνέχεια ιονίζεται σε ιόντα καρβονικού οξέος, γεγονός που επιφέρει στο σημείο αυτό τη μείωση του pH.

Η βακτηριοστατική δράση του CO_2 σε συνδυασμό με την πολύ χαμηλή συγκέντρωση σε οξυγόνο (<1%) δημιουργούν ένα εντελώς διαφορετικό περιβάλλον για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Στο νέο περιβάλλον που δημιουργείται περιορίζεται η ανάπτυξη των αυστηρά αερόβιων βακτηρίων, όπως οι ψευδομονάδες, ενώ ευνοείται η ανάπτυξη των μικροαερόφιλων οξυγαλακτικών βακτηρίων, των προαιρετικά αναερόβιων εντεροβακτηρίων και της *Br. thermosphacta*. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις στη μικροχλωρίδα του συσκευασμένου υπό κενό κρέατος κυριαρχούν τα οξυγαλακτικά βακτήρια. Σε αντίθεση με τις ψευδομονάδες, τα οξυγαλακτικά βακτήρια δεν παράγουν δυσάρεστες οσμές σήψης και ο πληθυσμός τους μπορεί να φθάσει τις 10^8 cfu/cm², μετά από συντήρηση του βοδινού κρέατος στους 1°C για 5 εβδομάδες, χωρίς να υπάρξουν ενδείξεις αλλοίωσης του.

Διάρκεια συντήρησης του κρέατος. Ο μέγιστος χρόνος συντήρησης υπό κενό μεγάλων τεμαχίων βοδινού κρέατος στους 0°C είναι 10-12 εβδομάδες, του χοιρινού 4-6 εβδομάδες και του αρνίσιου 6-8 εβδομάδες. Βασική προϋπόθεση για την εξασφάλιση των παραπάνω χρονικών ορίων για το κάθε είδος κρέατος είναι: α) το κρέας να έχει χαμηλό μικροβιακό φορτίο και κανονικό pH, β) να ψυχθεί σε θερμοκρασία πυρήνα +2° έως +4°C μέσα σε 48 ώρες, γ) η όλη διαδικασία της συσκευασίας υπό κενό να ολοκληρωθεί μέσα σε 20-40 λεπτά και δ) η διαπερατότητα του υλικού συσκευασίας σε οξυγόνο να είναι μικρότερη από 25 cm³/m².24h.atm. Όσο μικρότερη είναι η διαπερατότητα του περιέκτη σε αέρια (O_2 και CO_2), τόσο περιορίζεται η συγκέντρωση σε οξυγόνο και αυξάνει σε CO_2 και τόσο

περισσότερο επιβραδύνεται η ανάπτυξη των βακτηρίων που προκαλούν αλλοιώσεις στο κρέας, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια συντήρησης του.

Πίνακας 3.1: Επίδραση του είδους συσκευασίας, του pH και της συγκέντρωσης του CO₂ στον πληθυσμό των αερόβιων βακτηρίων κατά την συντήρηση Βοδινού κρέατος στους +1 °C σε συσκευασία υπό κενό (Gill and Penney, 1988)

Διάρκεια συντήρησης (εβδομάδες)	Πληθυσμός αερόβιων Βακτηρίων (log10 cfu/cm ²)		
	Μεμβράνη PVDC*	Φύλλο αλουμινίου**	Φύλλο αλουμινίου + προσροφητής O ₂ ***
Κρέας με pH 5.5-5.8			
7	6.59	6.32	6.45
10	7.46	6.53	6.66
12	7.36 ^a	6.96	7.38
Κρέας με pH >6.0			
7	7.30 ^b	7.11 ^b	6.74 ^b
10		8.30 ^b	8.43 ^b

^aΟξίνη οσμή. ^b Οσμή σήψης. *Διαπερατότητα σε O₂ :8-25 και σε CO₂ : 50-150cm³/ m².24.atm στους 25°C (Greengrass, 1983 **Μηδαμινή διαπερατότητα σε αέρα. ***Σύστημα δέσμευσης του οξυγόνου από το εσωτερικό του περιέκτη.

3.3 Συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα κορεσμένη σε CO₂

Στη **συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα κορεσμένη σε CO₂** (saturated carbon dioxide modified atmosphere packaging) επιλέγεται εύκαμπτος περιέκτης απόλυτα στεγανός σε αέρια. Τέτοιοι περιέκτες αποτελούνται από πολύφυλλες μεμβράνες με ενδιάμεσο στρώμα από φύλλο αλουμινίου ή από μεταλλιζέ μεμβράνες. Οι μεταλλιζέ μεμβράνες είναι πλαστικές μεμβράνες καλυμμένες από τη μια ή και τις δυο πλευρές τους με στρώμα αλουμινίου. Μετά την τοποθέτηση του κρέατος στον περιέκτη αφαιρείται από το εσωτερικό του ο αέρας, κατά τρόπο ώστε η συγκέντρωση σε οξυγόνο να μειωθεί κάτω από 0.1%, ταυτόχρονα εισάγεται σε αυτόν διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), σε ποσότητα αρκετή, ώστε να προκαλέσει τον κορεσμό του κρέατος στη συγκεκριμένη θερμοκρασία συντήρησης του, και ακολουθεί το ερμητικό κλείσιμο του περιέκτη με θερμοσυγκόλληση.

Προκειμένου να επιτευχθούν συνθήκες κορεσμού του κρέατος, δηλαδή ατμόσφαιρα 100% σε CO₂, απαιτούνται περίπου 1.5 έως 2 λίτρα CO₂ ανά kg κρέατος. Για τη μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου σε επίπεδα χαμηλότερα από 0,1% χρησιμοποιούνται ειδικές

μηχανές κενού καθώς επίσης και συστήματα ενεργού συσκευασίας με προσροφητές οξυγόνου.

Όμως, το CO₂ διαλύεται στο νερό και το λίπος του κρέατος με αποτέλεσμα με την πάροδο του χρόνου να μειώνεται ο κορεσμός του κρέατος σε αυτό και κατ' επέκταση η αναλογία CO₂ / κρέατος και η ικανότητα του CO₂ να δράσει ως βακτηριοστατικός παράγοντας που θα εμποδίσει την ανάπτυξη των αλλοιογόνων βακτηρίων.

Διάρκεια συντήρησης του κρέατος. Η συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα κορεσμένη σε CO₂ αυξάνει σημαντικά τη διάρκεια συντήρησης του κρέατος σε σχέση με τη συσκευασία υπό κενό. Ειδικότερα, η διάρκεια συντήρησης του κρέατος με ψύξη με τη μέθοδο αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας συντήρησης του κρέατος και οπωσδήποτε διπλάσια του χρόνου συντήρησης σε συσκευασία κενού, όταν η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους -1.5°C (Πίνακας 7.3). Στο γεγονός αυτό οφείλεται και η αλματώδης αύξηση εφαρμογής της μεθόδου τα τελευταία έτη. Αν όμως η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος με ψύξη υπερβεί τους 12° έως 15 °C, τότε δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά στη διάρκεια συντήρησης μεταξύ των δυο μεθόδων.

Πίνακας 3.2 Διάρκεια συντήρησης μεγάλων τεμαχίων κρέατος στους -1°C ± 0.5°C (Bell, 2001)

Μέθοδος συσκευασίας κρέας:	Χρόνος συντήρησης (Ημέρες)			
	Βοδινό	Αρνίσιο	Χοιρινό	Κοτόπουλο
Υπό κενό	84	60	28	25
Σε κορεσμένη ατμόσφαιρα CO ₂	126	90	63	70

Μικροβιολογικές μεταβολές. Η συσκευασία του κρέατος σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα κορεσμένη σε CO₂ αναστέλλει την ανάπτυξη των αυστηρά αερόβιων βακτηρίων, ενώ επιτρέπει τη βραδεία ανάπτυξη των ψυχρόφιλων οξυγαλακτικών βακτηρίων των γενών *Lactobacillus* και *Leuconostoc* και της *Br. thermosphacta*. Ωστόσο, στις χαμηλές θερμοκρασίες συντήρησης του κρέατος κυριαρχούν τα οξυγαλακτικά βακτήρια. Τα βακτήρια

αυτά αυξάνονται στο χοιρινό κρέας σε υψηλούς πληθυσμούς και προκαλούν την αλλοίωση του μετά από 6-9 εβδομάδες.

Ανάπτυξη παθογόνων. Τα παθογόνα βακτήρια τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη συντήρηση του κρέατος με ψύξη κάτω από αναερόβιες συνθήκες είναι η *Yersinia enterocolitica*, η *Listeria monocytogenes*, η *Aeromonas hydrophila* και το *Clostridium botulinum* (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικά παθογόνων βακτηρίων τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν στο κρέας που συντηρείται με ψύξη (Bell, 2001)

Παθογόνα Βακτήρια	Απαιτήσεις σε		Ευσαιθησία στο CO ₂	Ελάχιστη θερμοκρασία
	Οξυγόνο	pH**		
<i>Aeromonas hydrophila</i>	ΠΑΝ*	Ε σε pH > 6.0	Μεγάλη	4 έως 0°C
<i>Clostridium botulinum</i>	ΥΑΝ	Α σε pH < 4.8	Μικρή	3 έως 2°C
<i>Listeria monocytogenes</i>	ΠΑΝ	Ε σε pH < 5.0	Μέτρια	4 έως 0 °C
<i>Yersinia enterocolitica</i>	ΠΑΝ	Α σε pH < 5.8	Μεγάλη	4 έως 0°C

* ΠΑΝ = προαιρετικά αναερόβιο, ΥΑΝ = υποχρεωτικά αναερόβιο, **Ε = ευαίσθητο, Α = αναστέλλεται η ανάπτυξη του

Με βάση τα δεδομένα του παραπάνω πίνακα, κατά τη συντήρηση του κρέατος με ψύξη σε ατμόσφαιρα κορεσμένη (100%) σε CO₂ η ανάπτυξη των παθογόνων βακτηρίων αναστέλλεται και συνεπώς διασφαλίζεται η υγεία του καταναλωτή μόνον όταν η θερμοκρασία συντήρησης του κρέατος διατηρείται σταθερή και ελεγχόμενη στους -1.5°C. Προκειμένου να διασφαλιστεί αποτελεσματικότερα η υγεία του καταναλωτή από τα παραπάνω παθογόνα βακτήρια, απαιτείται η λήψη πρόσθετων μέτρων, όπως: α) η εξασφάλιση υψηλών συνθηκών υγιεινής σε όλα τα στάδια διακίνησης και επεξεργασίας του κρέατος από το σφαγείο μέχρι τη συσκευασία του, β) η εισαγωγή και εφαρμογή συστημάτων HACCP, τα οποία θα είναι προσαρμοσμένα στην αντιμετώπιση των παθογόνων βακτηρίων, και γ) η χρήση διαφόρων συστημάτων ενεργού συσκευασίας.

3.4 Συσκευασία του νωπού κρέατος σε ατομικές μερίδες

Στο λιανικό εμπόριο, παράλληλα με την επιβράδυνση της ανάπτυξης των αλλοιογόνων βακτηρίων, επιδιώκεται κατά κύριο λόγο η ελκυστική εμφάνιση και παρουσίαση του κρέατος στον καταναλωτή. Την εμφάνιση του κρέατος καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος του συγκεκριμένου τεμαχίου, η αναλογία άπαχου κρέατος, λιπώδους ιστού και οστών στο τεμάχιο του κρέατος, το χρώμα του λιπώδους ιστού και κυρίως το χρώμα του άπαχου κρέατος. Ο καταναλωτής προτιμά το κρέας που έχει λαμπερό-ερυθρό χρώμα, επειδή πιστεύει ότι αυτό είναι ταυτόχρονα εύγευστο, τρυφερό και χυμώδες, παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων αυτών.

Ο παραδοσιακός τρόπος λιανικής εμπορίας του νωπού κρέατος είναι ο τεμαχισμός του, κατά κανόνα ενώπιον του καταναλωτή, και η περιτύλιξη του σε ανθεκτικό χαρτί τύπου Kraft, επενδεδυμένο εσωτερικά με μεμβράνη από αναγεννημένη κυτταρίνη (σελοφάν) ή μαλακό PVC. Τα τελευταία ωστόσο χρόνια στα καταστήματα αυτοεξυπηρέτησης, όπως είναι τα μεγάλα Super Market, το κρέας προσφέρεται στον καταναλωτή προσυσκευασμένο σε ατομικές μερίδες. Ο τρόπος αυτός συσκευασίας διευκολύνει τον καταναλωτή στην καλύτερη επιλογή του κρέατος που προτιμά και σε ποσότητες που καλύπτουν τις ανάγκες του, γι' αυτό και παρουσιάζει αλματώδη αύξηση.

Η συσκευασία του νωπού κρέατος σε ατομικές μερίδες γίνεται με δυο μεθόδους: α) με περιτύλιξη του κρέατος σε δίσκους και β) σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Σημαντικό πρόβλημα στη συσκευασία του κρέατος σε ατομικές μερίδες αποτελεί η έξοδος οπού από το κρέας, που επηρεάζει αρνητικά την εμφάνιση και ευνοεί την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την ειδική κατασκευή του περιέκτη, ώστε να αποκρύπτει την παρουσία του οπού, ή με αποστειρωμένες πάνες από πολυακρυλικά άλατα ή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη. Οι πάνες αυτές τοποθετούνται στη βάση του περιέκτη και έχουν την ικανότητα να απορροφούν πολύ μεγάλες ποσότητες οπού.

3.4.1 Περιτύλιξη του κρέατος σε δίσκους

Το κρέας μετά τον τεμαχισμό του σε ατομικές μερίδες τοποθετείται σε δίσκους, οι οποίοι κατασκευάζονται κυρίως από λευκό διογκωμένο ή δύσκαμπτο πολυστυρόλιο. Στη συνέχεια οι δίσκοι με το κρέας που περιέχουν περιτυλίσσονται με διαφανή απλή πλαστική μεμβράνη η οποία έχει: α) πολύ χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς, ώστε να εμποδίζει την

αφυδάτωση του κρέατος, και β) πολύ υψηλή διαπερατότητα σε οξυγόνο, μεγαλύτερη από $5000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$. Συνήθως χρησιμοποιείται μεμβράνη από μαλακό PVC ή LDPE, η οποία έχει μέση διαπερατότητα σε οξυγόνο $8000 - 12000 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h} \cdot \text{atm}$. Μια τέτοια μεμβράνη επιτρέπει την είσοδο του οξυγόνου στην επιφάνεια του κρέατος σε μεγάλη ποσότητα. Το οξυγόνο προκαλεί οξυγόνωση της μυοσφαιρίνης του κρέατος σε οξυμυοσφαιρίνη, η οποία και προσδίδει στο κρέας το λαμπερό ερυθρό χρώμα, το οποίο είναι ιδιαίτερα ελκυστικό στον καταναλωτή.

Όμως, στην επιφάνεια του κρέατος δημιουργούνται αερόβιες συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη των αυστηρά αερόβιων βακτηρίων με κίνδυνο την αλλοίωση του κρέατος. Αν όμως το κρέας συσκευασθεί κάτω από υγιεινές συνθήκες και διατηρηθεί σε σταθερή και χαμηλή θερμοκρασία ψύξης, συντηρείται για μια περίπου εβδομάδα, χωρίς να υποστεί μικροβιακή αλλοίωση. Στο διάστημα αυτό υποβαθμίζεται η εμπορική αξία του κρέατος από τη αεταβολή του χρώματος. Την 3^η περίπου ημέρα από τη στιγμή της συσκευασίας το χρώμα γίνεται καστανό, επειδή σταδιακά στην επιφάνεια του κρέατος επικρατεί η μεταμυοσφαιρίνη. Το γεγονός αυτό επιβάλλει την αφαίρεση του κρέατος από τα ψυγεία-βιτρίνες του καταστήματος, αφού το καστανό χρώμα δεν είναι ελκυστικό στον καταναλωτή και μάλιστα ο καταναλωτής συσχετίζει αυτό με μικροβιακή αλλοίωση του κρέατος.

Ο χρόνος έκθεσης του κρέατος στα ψυγεία-βιτρίνες του καταστήματος, μέχρις ότου μεταβληθεί το χρώμα του, επηρεάζεται σημαντικά από την περίοδο συντήρησης του κρέατος με ψύξη πριν τη συσκευασία του σε ατομικές μερίδες (Πίνακας 3.4). Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος αυτός, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος διατήρησης του ελκυστικού χρώματος στο συσκευασμένο σε ατομικές μερίδες κρέας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη συντήρηση του κρέατος με ψύξη για μεγάλο διάστημα εξαντλούνται τα αναγωγικά συστήματα του κρέατος, όπως το ένζυμο αναγωγάση της μεταμυοσφαιρίνης και άλλα. Έτσι, προκαλείται γρηγορότερη οξείδωση της μυοσφαιρίνης και αυτοοξείδωση της οξυμυοσφαιρίνης σε μεταμυο-σφαιρίνη και στην επιφάνεια του κρέατος επικρατεί το καστανό χρώμα που αυτή προσδίδει στο κρέας.

Πίνακας 3.4: Διάρκεια συντήρησης συσκευασμένου κρέατος σε ατομικές μερίδες κατά την έκθεση του σε ψυγεία-βιτρίνες στους 4°C (Bell, 2001)

Μέθοδος συσκευασίας	Κρέας:	Χρόνος συντήρησης (Ημέρες)			
		Βοδινό	Αρνίσιο	Χοιρινό	Κοτόπουλο
Με περιτύλιξη					
- Φρέσκο κρέας		3-5	3-5	3-5	2-4
- Συντηρημένο κρέας*		1-3	1-3	1-3	1-2
Σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα					
- Φρέσκο κρέας		7-10	7-10	7-10	4-8
- Συντηρημένο κρέας*		2-6	2-6	2-6	2-4

Πριν τη συσκευασία του σε ατομικές μερίδες το κρέας έχει συντηρηθεί στους $-1^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$

3.5 Συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα

α) Τροποποιημένη ατμόσφαιρα με υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου.

Στη συσκευασία του κρέατος σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα η σύνθεση της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό του περιέκτη διαφοροποιείται από εκείνη του αέρα, αρχικά με την εφαρμογή κενού και στη συνέχεια με την προσθήκη νέων αερίων σε καθορισμένη συγκέντρωση. Η καλύτερη αναλογία αερίων που ενδείκνυται για τα ερυθρά κρέατα είναι 60-80% O₂ (οξυγόνο), 20-30% CO₂ (διοξειδίου του άνθρακα) και μέχρι 20% N₂ (άζωτο). Αντίθετα, στο κρέας πουλερικών χρησιμοποιούνται τα αέρια 20-35% CO₂ και 65-80%N₂.

Στα ερυθρά κρέατα η παρουσία του O₂ σε υψηλή συγκέντρωση διατηρεί το χρώμα του κρέατος λαμπερό ερυθρό και ελκυστικό στον καταναλωτή για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό οφείλεται στο ότι το στρώμα της οξυμυοσφαιρίνης που δημιουργείται στην επιφάνεια του κρέατος είναι αρκετά μεγάλο. Έτσι το στρώμα της μεταμυοσφαιρίνης που σχηματίζεται στο βαθύτερο σημείο διείσδυσης του οξυγόνου απαιτεί πολύ χρόνο να εμφανισθεί στην επιφάνεια και να αλλάξει το χρώμα του κρέατος σε καστανό, ανεπιθύμητο στον καταναλωτή. Το CO₂ με τη βακτηριοστατική του δράση εμποδίζει την ανάπτυξη των αερόβιων βακτηρίων και επιμηκύνει τη διάρκεια συντήρησης του κρέατος. Στο κρέας πουλερικών δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην αύξηση του χρόνου συντήρησης των με την αντιμετώπιση των αερόβιων βακτηρίων, γι' αυτό και χρησιμοποιείται CO₂ σε αυξημένη συγκέντρωση. Όμως, το CO₂ διαλύεται στο νερό και το λίπος, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο όγκος του στο εσωτερικό του περιέκτη, γεγονός που οδηγεί στην κατάρρευση της συσκευασίας. Το N₂ είναι

αδρανές αέριο και αδιάλυτο στο νερό και τα λίπη. Έτσι εμποδίζει την κατάρρευση της συσκευασίας από τη διαλυτοποίηση του CO₂. Προϋπόθεση για την επιτυχή συντήρηση του κρέατος σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα αποτελεί η πλήρης στεγανότητα του περιέκτη στα αέρια. Επίσης, ο όγκος του μείγματος πρέπει να είναι 2,5 έως 3 φορές μεγαλύτερος από τον όγκο του κρέατος, το δε μείγμα αερίων να έρχεται ελεύθερα σε επαφή με όλη την επιφάνεια του κρέατος. Αυτό επιτυγχάνεται με την κατάλληλη κατασκευή και διαμόρφωση του περιέκτη, ώστε να περιορίζει στο ελάχιστο την επαφή του με το κρέας, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τον όγκο της συσκευασίας.

Παρά το υψηλό κόστος που παρουσιάζει η συσκευασία του κρέατος σε ατομικές μερίδες σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, αποτελεί τη μόνη εναλλακτική μέθοδο που προσφέρει καλύτερη διατήρηση του χρώματος στα ερυθρά κρέατα και για διπλάσιο περίπου χρόνο σε σχέση με την περιτύλιξη σε δίσκους (Πίνακας 3.4).

β) Τροποποιημένη ατμόσφαιρα με μονοξείδιο του άνθρακα.

Η διάρκεια συντήρησης του κρέατος σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας O₂ και CO₂ περιορίζεται από τη μεταβολή του χρώματος, ιδιαίτερα αν μειωθεί η συγκέντρωση του O₂ κάτω από 80%. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί και συνεπώς να αυξηθεί η διάρκεια συντήρησης του κρέατος με την προσθήκη στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα μονοξειδίου του άνθρακα (CO).

Το CO αντιδρά με τη μυοσφαιρίνη του κρέατος και σχηματίζει ανθρα-κοξυμυοσφαιρίνη (carboxymyoglobin), η οποία δεν οξειδώνεται εύκολα και δίνει στο κρέας ερυθρό-κερασί χρώμα. Όμως, το CO είναι τοξικό και η χρήση του απαγορεύεται σε πολλές χώρες. Ωστόσο, στη Νορβηγία και σε άλλες χώρες χρησιμοποιείται σε συγκέντρωση μέχρι 0,3-0,4% από το 1985. Ερευνητικά αποτελέσματα έδειξαν ότι, αν το CO χρησιμοποιηθεί σε συγκέντρωση μέχρι 0,5% στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, δεν ασκεί καμία τοξική επίδραση στο κρέας. Σήμερα το CO χρησιμοποιείται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις στη συσκευασία του κρέατος με τροποποιημένη ατμόσφαιρα και αποτελεί τη μόνη εναλλακτική μέθοδο διατήρησης του ερυθρού χρώματος σε συνδυασμό με χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το CO, όταν χρησιμοποιείται σε συγκέντρωση 0,5-0,75% σε συνδυασμό με 24% O₂, 50% CO₂ και 25% N₂, αυξάνει το χρόνο συντήρησης βοδινού κρέατος κατά 5-10 ημέρες στους 1°C ± 1°C σε σχέση με την τροποποιημένη ατμόσφαιρα με 70% O₂, 20% CO₂ και 10% N₂. Επίσης διαπιστώθηκε

ότι τροποποιημένη ατμόσφαιρα με 1% CO και 99% CO₂ διατήρησε τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά χοιρινού κρέατος για 20 ημέρες.

3.6 Συσκευασία καταψυγμένου κρέατος

Κατά τη συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -18°C αναστέλλεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών και συνεπώς ο κίνδυνος μικροβιακής αλλοίωσης του κρέατος. Ωστόσο, στη διάρκεια της συντήρησης επέρχονται μεταβολές στο καταψυγμένο κρέας που υποβαθμίζουν την ποιότητα του.

Στόχος της συσκευασίας είναι: α) να προστατεύσει το καταψυγμένο κρέας από επιμολύνσεις κατά την εμπορία και διακίνηση του, β) να αποτρέψει τις ανεπιθύμητες μεταβολές που υποβαθμίζουν την ποιότητα του και ειδικότερα την οξείδωση του λίπους, την αφυδάτωση με εξάχνωση και τα εγκαύματα κατάψυξης, και γ) να εξασφαλίσει την ελκυστική παρουσίαση του κρέατος στον καταναλωτή, αν αυτό διατίθεται ως καταψυγμένο στη λιανική πώληση.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή συσκευασία του καταψυγμένου κρέατος είναι η επιλογή περιέκτη ο οποίος θα είναι ανθεκτικός στο σχίσιμο από τα αιχμηρά σημεία που δημιουργούνται στην επιφάνεια του κρέατος. Από τα πλέον ανθεκτικά υλικά στο σχίσιμο είναι οι πλαστικές μεμβράνες ιονομερών.

Συσκευασία κρέατος για λιανική πώληση. Κατά τη συντήρηση του κρέατος υπό κατάψυξη για μεγάλο χρονικό διάστημα η συσκευασία έχει ως βασικό στόχο να περιορίσει ή ακόμη και να αποτρέψει την ποιοτική του υποβάθμιση που οφείλεται στην οξείδωση του λίπους και στην αφυδάτωση λόγω εξάχνωσης. Αν κατά τη συσκευασία παραμένει κενός χώρος μεταξύ της επιφάνειας του κρέατος και του περιέκτη, τότε λαμβάνει χώρα και πάλι εξάχνωση στην επιφάνεια του κρέατος και στα σημεία που υπάρχουν κενοί χώροι. Οι πλέον ενδεδειγμένες μέθοδοι συσκευασίας για το σκοπό αυτό είναι η **συρρικνωμένη συσκευασία υπό κενό** (vacuum shrink packaging) και η **επιδερμική συσκευασία κενού** (vacuum skin packaging) σε περιέκτη στεγανό στους υδρατμούς και αδιαπέραστο το οξυγόνο.

Στις συσκευασίες αυτές το υλικό συσκευασίας εφάπτεται πλήρως στην επιφάνεια του κρέατος, χωρίς να αφήνει κενούς χώρους. Έτσι, αποφεύγεται η εσωτερική εξάχνωση του κρέατος και ο σχηματισμός εγκαυμάτων κατάψυξης.

Αν ο χρόνος συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη είναι μικρός και το κρέας εκτίθεται για λιανική πώληση ως συσκευασμένο, τότε με τη συσκευασία επιδιώκεται η

ελκυστική παρουσίαση του κρέατος στον καταναλωτή. Αυτή επηρεάζεται κυρίως από το χρώμα του κρέατος και την απουσία πάγου στο εσωτερικό του περιέκτη. Η πλέον ενδεδειγμένη συσκευασία στην περίπτωση αυτή είναι η συρρικνωμένη συσκευασία υπό κενό ή η επιδερμική συσκευασία κενού περιέκτη αδιαπέραστο στους υδρατμούς και με υψηλή διαπερατότητα σε οξυγόνο. Αν η συσκευασία του κρέατος γίνει τη χρονική στιγμή κατά την οποία η επιφάνεια του κρέατος είναι οξυγονωμένη και το κρέας έχει λαμπερό ερυθρό χρώμα, η κατάψυξη του κρέατος γίνει σωστά και το καταψυγμένο κρέας διατηρηθεί στους -20°C σε συνθήκες σκότους, τότε αυτό διατηρεί το λαμπερό ερυθρό χρώμα για ένα τουλάχιστον έτος. Όμως, όταν το κρέας εκτεθεί στο φως, το χρώμα του αρχίζει να γίνεται σκοτεινό μέσα σε μια εβδομάδα, γεγονός που οφείλεται σε φωτοοξειδωτική οξυμυοσφαιρίνης στην επιφάνεια του κρέατος.

Συσκευασία αποστεωμένου κρέατος για βιομηχανική παραγωγή. Η συσκευασία του κρέατος αυτού γίνεται σε μεγάλες πλαστικές σακούλες από μαλακό πολυαιθυλένιο (LDPE), οι οποίες στη συνέχεια τοποθετούνται σε συμπαγή χαρτοκιβώτια.

Το LDPE διατηρεί την ευκαμψία του κατά τη συντήρηση του κρέατος με κατάψυξη, ακόμη και σε θερμοκρασίες μέχρι -60°C , και έχει χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς και συνεπώς προστατεύει το κρέας από απώλειες σε υγρασία λόγω εξάχνωσης. Όμως, έχει υψηλή διαπερατότητα σε οξυγόνο με συνέπεια κατά τη διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάψυξη για μεγάλο χρονικό διάστημα να λαμβάνει χώρα οξείδωση του λίπους και ανεπιθύμητη μεταβολή του χρώματος που οδηγεί στην ποιοτική υποβάθμιση του κρέατος.

Το γέμισμα των χαρτοκιβωτίων με το κρέας πρέπει να είναι πλήρες. Σε αντίθετη περίπτωση, στο κενό μέρος του χαρτοκιβωτίου παραμένει αέρας, ο οποίος δρα ως μονωτικό στρώμα και επιβραδύνει το ρυθμό κατάψυξης του κρέατος. Επίσης, κατά τη διάρκεια συντήρησης του κρέατος υπό κατάνυξη, αν ο ψυκτικός θάλαμος στον οποίο συντηρείται έχει υψηλή σχετική υγρασία, τότε στον κενό χώρο του χαρτοκιβωτίου σχηματίζεται πάγος. Κατά την απόψυξη ο πάγος λιώνει γρήγορα, το νερό που προκύπτει διαβρέχει το χαρτοκιβώτιο και μειώνει την αντοχή του.

Βιβλιογραφία

• Ελληνόγλωσση

Κώδικας Τροφίμων-Ποτών (2004). Κεφάλαιο X: Κρέας και προϊόντα με βάση το κρέας. Έκδοση Γ. Αλυσανδράτος. σσ. 907-929.

Μπλούκας, Ι.Γ. (2004). *Επεξεργασία και συντήρηση τροφίμων*. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. Αθήνα.

Μπλούκας, Ι.Γ. (2007). *Τεχνολογία κρέατος*. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. Αθήνα.

• Ξενόγλωσση

Bell, R.G. (2001). Meat packaging: Protection, preservation and presentation. In *Meat science and applications*. Y.H. Hui, W-K. Nip, R.W. Rogers and O.A. Young (Edrs). Marcel Dekker, Inc. N. York, pp 463-490.

Bern, Z. and Hechelmann, H. (1995). Chilling and refrigerated storage of meat - Microbiological processes. *Fleischwirtschaft* 72 (4), 439-444.

Calvelo, A. (1982). Recent studies on meat freezing. In *Developments in meat science*. Vol. 2. R. Lawrie (Ed). Applied Science Publishers.

Ellerbroek, L.I., Lichtenberg, G. and Weise, E. (1995). Differentiation between fresh and thawed meat by an enzyme profile test. *Meat Science* 40, 203-209.

Farouk, M.M., Wieliczko, K.J. and Merts, I. (2003). Ultra-fast freezing and low storage temperature are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing meat. *Meat Science* 66, 171-179.

Gill, CO. and Newton, K.G. (1978). The ecology of bacterial spoilage of fresh meat at chill temperatures. *Meat Science* 2, 207-217.

Guerrero, I., Mendiola, R., Ponce, E. and Prado, A. (1995). Incubation of lactic acid bacteria on meat surfaces as a means of decontamination in semitropical conditions. *Meat Science* 40, 397-411.

Hamby, P.L., Savell, J.W., Acuff, G.R., Vanderzant, C. and Cross, H.R. (1987). Spray-chilling and carcass decontamination systems using lactic and acetic acid. *Meat Science* 21, 1-14.

- Hamm, R., Gottesmann, P. und Kijowski, J. (1982). Einfrieren und Auftauen von Fleisch: Einflüsse auf Muskelgewebe und Tausaftbildung. *Fleischwirtschaft* 62(8), 883-887.
- James, S. (1996). The chill chain from carcass to consumer. *Meat Science* 43 (Supplement), 203-216.
- Joseph, R.L (1996). Very fast chilling of beef and tenderness-a report from an EU concerted action. *Meat Science* 43 (Supplement), 217-227.
- Lanari, M.C., Cassens, R.G., Schaefer, D.M. and Scheller, K.K. (1994). Effect of dietary vitamin E on pigment and lipid stability of frozen beef: A kinetic analysis. *Meat Science* 38, 3-15.
- Lawrie, R.A. (1998). *Lawrie's Meat science*. 6th ed. Woodhead Publishing Limited. Cambridge England.
- Nutsch, A.L. (1998). *Bacterial decontamination of meat surfaces through the application of a steam pasteurization process*. Ph.D. Dissertation. Kansas State University Library, Manhattan, KS.
- Payne, S.R. and Young, O.A. (1995). Effects of pre-slaughter administration of antifreeze proteins on frozen meat quality. *Meat Science* 41 (2), 147-155.
- Payne, S.R., Sandford, D., Harri, A. and Young, O.A. (1994). The effects of antifreeze proteins on chilled and frozen meat. *Meat Science* 37, 429-438.
- Petrovic, L., Grujic, R. and Petrovic, M. (1993). Definition of the optimal freezing rate - 2. Investigation on the physicochemical properties of beef m, *longissimus dorsi* frozen at different freezing rates. *Meat Science* 33, 319-331.
- Shaw, B.G. (1972). The effect of temperature and relative humidity on the microbiological quality of carcass meat. In *Meat Chilling-Why and Who?*. Agricultural Research Council, MRI Symposium No 2, Langford, Bristol.
- Varnam, A.H. and Sutherland, J.P. (1995). *Meat and meat products*. Chapman & Hall, London.
- Zhang, S.X., Farouk, M.M., Young, O.A., Wieliczko, K.J. N.D. Podmore, C. (2005). Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Science* 69, 765-772.

- **Διαδύκτιο**

<http://www.ekt.gr/info-serv/diglib/bases/digitize/hedi.htm>

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/12690#page/1/mode/2up>

http://www.triaina.com/TandP/Issues/Issue_archive/SyskevasiaKreatos.pdf

<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/0038#page/10/mode/2up>