



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Πτυχιακή εργασία

**Μέθοδοι και διεργασίες για την αύξηση της
διατηρησιμότητας κρεατοσκευασμάτων**



Συγγραφέας: Γουναρίδης Βασίλειος

ΑΜ: 20684021

Επιβλέπων καθηγητής: Μπρατάκος Σωτήριος

Αθήνα 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Μέθοδοι και διεργασίες για την αύξηση της διατηρησιμότητας
κρεατοσκευασμάτων

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του
Εισηγητή**

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Εξεταστική Επιτροπή:

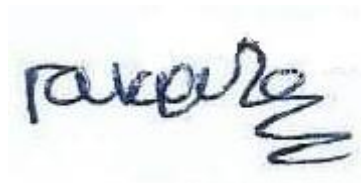
Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Σωτήρης Μπρατάκος	ΕΔΙΠ	
2	Θάλεια Τσιάκα	Επίκουρη Καθηγήτρια	
3	Ευτυχία Κρίτση	Επίκουρη Καθηγήτρια	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γουναρίδης Βασίλειος του Σταύρου με αριθμό μητρώου 20684021 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμης Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την δημιουργία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από έμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή Μπρατάκο Σωτήριο, Ακαδημαϊκό Υπότροφο, για τη διαρκή καθοδήγησή του, την υποστήριξή του και τον χρόνο που προσέφερε απλόχερα δίνοντας μου τις απαραίτητες συμβουλές και βοήθειες για να τελειώσει η εργασία μου. Θα ήθελα επιπροσθέτως, να ευχαριστήσω ξεχωριστά τους καθηγητές του τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων για την συμβολή τους στην επιστημονική μου συγκρότηση όλα αυτά τα χρόνια φοίτησής μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υπομονή που έκαναν όλο αυτό τον καιρό και τη συνεχή υποστήριξή τους σε όλη τη φάση της δημιουργίας αυτής της εργασίας καθώς και για τη συμβολή τους όλα αυτά τα χρόνια φοίτησής μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Κατάλογος εικόνων	9
Εισαγωγή.....	9
Ορισμοί.....	9
Κατηγοριοποίηση κρεατοσκευασμάτων με βάση τη θερμική επεξεργασία και την μορφή του κρέατος	10
Η συντήρηση του κρέατος και των κρεατοσκευασμάτων μέσα στα χρόνια	11
1. Ζύμωση-Fermentation	13
1.1 Βιοχημικές αλλαγές σε ζυμωμένα τρόφιμα με βάση το κρέας.....	14
1.2 Οξειδωτική σταθερότητα.....	15
1.3 Αναστολή παραγωγής επικίνδυνων ουσιών	16
2. Αλάτιση	16
2.1 Μηχανισμός δράσης του χλωριούχου νατρίου.....	17
2.2 Αντιβακτηριακή δράση του NaCl	17
2.3 Προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση του αλάτος σε κρεατοσκευάσματα	18
2.4 Μέθοδοι και στρατηγικές για μείωση της αλατοπεριεκτικότητας σε κρεατοσκευάσματα.....	19
3. Μαρινάρισμα.....	20
3.1 Δέσμευση ύδατος	21
3.2 Παρουσία οργανικών οξέων και μείωση του pH	21
4. Φυσικά συντηρητικά	22
4.1 Συντηρητικά από φυτικές πηγές.....	22
4.2 Αντιμικροβιακή δράση.....	23
4.3 Αντιοξειδωτική δράση.....	25
5. Κάπνισμα.....	27
5.1 Αντιμικροβιακή δράση.....	28
5.2 Οφέλη χρήσης υγρού καπνού σε κρεατοσκευάσματα.....	29
5.3 Αντιοξειδωτικές ιδιότητες	30
6. Θερμική επεξεργασία	30
6.1 Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας.....	32
6.2 Καταστροφή βακτηρίων και βελτίωση της σταθερότητας.....	32

6.3 Επιφανειακή ξήρανση	33
6.4 Καταστροφή των μικροοργανισμών.....	34
7. Κονσερβοποίηση.....	36
7.1 Παστερίωση.....	37
7.2 Αποστείρωση.....	38
7.3 Εμπορική αποστείρωση.....	38
7.4 Καταστροφή μικροοργανισμών.....	39
8. Ξήρανση	40
8.1 Δραστηριότητα νερού (aw)	42
8.2 Ωφέλιμη δράση μπαχαρικών	42
8.3 Συντηρητική δράση του άλατος	43
8.4 Μέθοδοι ξήρανσης	43
8. Ψύξη/Κατάψυξη	52
8.1 Ψύξη	52
8.2 Κατάψυξη	53
8.3 Υπερψύξη	54
8.4 Πάγωμα πρόσκρουσης	55
8.5 Κατάψυξη με χρήση υψηλής πίεσης	56
9. Cold plasma/Ψυχρό πλάσμα.....	58
9.1 Αντιμικροβιακή δράση.....	59
9.2 Αντικατάσταση των νιτρικών αλάτων σε προϊόντα κρέατος.....	60
10. Υπερήχοι	61
10.1 Αντιμικροβιακή δράση.....	61
10.2 Χρήση των υπερήχων για μείωση της προστιθέμενης ποσότητας άλατος.....	62
10.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού.....	63
10.4 Αδρανοποίηση ενζύμων	63
11. Συσκευασία	64
11.1 Είδη αερίων	66
11.2 Συσκευασία κενού (VP)	68
11.3 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)	69
11.4 Ενεργή συσκευασία (AP)	69
11.5 Αντιμικροβιακή συσκευασία.....	70
11.6 Δυνητικοί αντιμικροβιακοί παράγοντες σε συσκευασία προϊόντων κρέατος	72
11.7 Βρώσιμες επικαλύψεις.....	73
12. Ακτινοβολία	74
12.1 Πηγές ακτινοβολίας.....	74

12.2 Επίδραση της ακτινοβολίας σε μικροοργανισμούς	75
12.3 Μηχανισμοί δράσης της ακτινοβολήσης.....	75
12.3.1 Άμεση λειτουργία.....	75
12.3.2 Έμμεση δράση.....	75
12.4 Πλεονεκτήματα της ακτινοβολήσης κρεατοσκευασμάτων	76
Συμπεράσματα.....	77
Βιβλιογραφία.....	77

Περίληψη

Η διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στη βιομηχανία κρέατος, επηρεάζοντας τόσο την οικονομική βιωσιμότητα όσο και την ασφάλεια των καταναλωτών. Τα κρεατοσκευάσματα αποτελούν μια από τις πρωταρχικές, αλλά και εύκολα αλλοιώσιμες πηγές θρέψης για τον άνθρωπο, γεγονός που καθιστά αναγκαία την προσπάθεια για την αύξηση της διατηρησιμότητας, σε συνδυασμό, κατά το δυνατόν, με υψηλά επίπεδα οργανοληπτικής ποιότητας. Η παρούσα πτυχιακή εργασία διερευνά διάφορες μεθόδους και διαδικασίες που αποσκοπούν στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων κρέατος, περιλαμβάνοντας τόσο παραδοσιακές όσο και καινοτόμες προσεγγίσεις. Οι βασικοί τομείς εστίασης περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τεχνικές ψύξης, κατάψυξης και ζύμωσης, συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP), συσκευασία κενού και εφαρμογή φυσικών συντηρητικών. Η έρευνα εξετάζει επίσης το ρόλο προηγμένων τεχνολογιών όπως το ψυχρό πλάσμα (cold plasma), η ακτινοβολία και οι υπέρηχοι στην αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και οξείδωσης, οι οποίες αποτελούν πρωταρχικές αιτίες αλλοίωσης του κρέατος. Με τη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης ανασκόπησης της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, η παρούσα εργασία στοχεύει στον εντοπισμό των πιο αποτελεσματικών μεθόδων για τη διατήρηση της ποιότητας του κρέατος για παρατεταμένες περιόδους και στην αναλυτική επεξήγηση της δράσης τους. Επιπροσθέτως, περιέχονται προτάσεις για βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας παραδοσιακών τεχνικών, καθώς και λύσεις για προβλήματα που τυχόν προκύπτουν από τη χρήση τους, με γνώμονα πάντα τη δημόσια υγεία και το συμφέρον του καταναλωτή. Κλείνοντας, η εργασία αυτή συμβάλλει στην ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων, στη ελάττωση των παρενεργειών στην υγεία του ανθρώπου και στη βελτίωση της βιωσιμότητας της παραγωγής και διανομής κρέατος.

Κατάλογος εικόνων

1. Κατηγοριοποίηση κρεατοσκευασμάτων με βάση τη θερμική επεξεργασία και την μορφή του κρέατος
2. Επίδραση των υπερήχων στη μείωση της περιεκτικότητας του NaCl σε κρεατοσκευάσματα
3. Πίνακας βοτάνων και μπαχαρικών που δρουν ως αντιοξειδωτικά σε προϊόντα κρέατος
4. Θάλαμος θερμικής επεξεργασίας παραδοσιακών λουκάνικων Φρανκφούρτης
5. Beef jerky (αποξηραμένο προϊόν από μοσχάρι)
6. Σχηματική απεικόνιση της δράσης του ψυχρού πλάσματος στις δομές των βακτηριακών κυττάρων με αποτέλεσμα την απώλεια λειτουργικότητας και την αποστείρωση
7. Ενεργή συσκευασία
8. Φάσμα ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία τροφίμων

Εισαγωγή

Ορισμοί

Ως προϊόντα κρέατος χαρακτηρίζονται τα προϊόντα που παρασκευάζονται από κρέας δηλαδή από το σύνολο των ζωικών ιστών που είναι κατάλληλοι για ανθρώπινη κατανάλωση, με την εφαρμογή της κατάλληλης τεχνολογίας

Ως παρασκεύασμα κρέατος χαρακτηρίζεται το νωπό κρέας, συμπεριλαμβανομένου του κρέατος που έχει μετατραπεί σε τεμάχια, στο οποίο έχουν προστεθεί τρόφιμα, καρυκεύματα ή πρόσθετα ή το οποίο έχει υποβληθεί σε μεταποίηση που δεν μεταβάλλει την εσωτερική δομή των μυϊκών ινών του κρέατος και, κατά συνέπεια, δεν εξαφανίζει τα χαρακτηριστικά του νωπού κρέατος

Ως προϊόντα με βάση το κρέας χαρακτηρίζονται τα μεταποιημένα προϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση κρέατος ή από την περαιτέρω μεταποίηση των μεταποιημένων αυτών προϊόντων ώστε η επιφάνεια της εγκάρσιας τομής να επιτρέπει να διαπιστωθεί η απουσία των χαρακτηριστικών νωπού κρέατος (46).

Τα προϊόντα κρέατος ή τα μεταποιημένα κρέατα δημιουργήθηκαν για να καλύψουν την ανάγκη διατήρησης του κρέατος στην αρχαιότητα. Αυτός ο τύπος προϊόντων βρέθηκε σε αρχαία ελληνικά, ρωμαϊκά και ακόμη και Βαβυλωνιακά γραπτά. Στη Βόρεια και Κεντρική Ευρώπη τα "ζώα κρέατος" σφαγιάζονταν πριν από το χειμώνα (Νοέμβριος) και ακριβώς επειδή δεν μπορούσε να καταναλωθεί αμέσως όλη η ποσότητά τους, κάποια από αυτή υποβλήθηκε σε επεξεργασία, ώστε να διατηρηθεί για μεταγενέστερη κατανάλωση.

Τα κρεατοσκευάσματα ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες είναι τα προϊόντα αλλαντοποιίας και τα έτερα προϊόντα (αλίπαστα κρέατα, κονσέρβες κτλ). Με βάση την θερμική επεξεργασία, κατηγοριοποιούνται σε θερμικά επεξεργασμένα (heat treated) και μη (non heat treated), ενώ με βάση τη μορφή με την οποία συναντάται ο μύς του κρέατος ταξινομούνται σε ολόκληρα κομμάτια κρέατος και σε προϊόντα σύγκοπτου ή/και αναδομημένου κρέατος. (45)

	Whole muscle products	Ground products
Heat treated	I=cooked ham	II=luncheon meat
Non heat treated	III=dry cured ham (e.g. Iberico ham)	IV=fermented sausage (e.g. Chorizo)

Εικόνα 1: Κατηγοριοποίηση κρεατοσκευασμάτων με βάση τη θερμική επεξεργασία και την μορφή του κρέατος

Κατηγοριοποίηση κρεατοσκευασμάτων με βάση τη θερμική επεξεργασία και την μορφή του κρέατος

Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα μεταποιημένα προϊόντα κρέατος εντάσσονται σε μία από τις τέσσερις κατηγορίες. Το όριο μεταξύ θερμικά επεξεργασμένου και μη θερμικά επεξεργασμένου μπορεί να καθοριστεί σε θερμοκρασία πυρήνα περίπου 50 °C ή/και απουσία οπτικής θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών μυοϊνιδικού κρέατος.

Η θερμοκρασία άνω των 50 °C αρχίζει να γίνεται θανατηφόρα για τους (ευαίσθητους στη θερμότητα) μικροοργανισμούς. Η διαφορά μεταξύ «συγκόπτου κρέατος» και «ολόκληρου του μυός» είναι λιγότερο σαφής για να οριστεί. Όταν το πατέ ήπατος για επάλειψη χαρακτηρίζεται σαφώς ως «αλεσμένο» και το χοιρομέρι Serrano ως «ολόκληρος μυς», υπάρχουν προϊόντα στην αγορά, όπως το ανακατασκευασμένο μαγειρεμένο ζαμπόν, τα οποία βρίσκονται κάπου μεταξύ των κατηγοριών I και II. Για τους σκοπούς αυτής της εργασίας θεωρούμε το αναφερόμενο προϊόν ως «ολόκληρο μυ».

Η τεχνολογία συντήρησης, για τις κατηγορίες I και II, είναι η θερμική επεξεργασία. Θερμική επεξεργασία για τη θανάτωση βλαστικών κυττάρων παθογόνων (παστερίωση) (ref P = 1 ισούται με 1 λεπτό στους 70 °C με βάση τη θανατηφόρα επίδραση στον *Streptococcus faecalis*) ή για τη θανάτωση σπόρων παθογόνων (αποστείρωση) (ref F = 1 ισούται με 1 λεπτό στους 121 °C με βάση τη θανατηφόρα επίδραση στα σπόρια *Clostridium botulinum*).

Οι κατηγορίες III και IV θα αποκτήσουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (ή σταθερότητα στο ράφι) λόγω μείωσης της τιμής a_w (ξήρανση, αλάτισμα) ή συνδυασμένης επίδρασης μείωσης a_w και μείωσης του pH (προϊόντα ζύμωσης). Στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη, για τα προϊόντα ζύμωσης, η μείωση του pH (μείωση pH 5,6-5,8 σε 4,6-4,9) συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση, ενώ στις μεσογειακές χώρες η μείωση a_w είναι η σημαντική παράμετρος. Στην αρχαιότητα το κάπνισμα ήταν μια πρόσθετη τεχνική συντήρησης, ειδικά κατά της αλλοίωσης της επιφάνειας (μούχλα). Σήμερα, το κάπνισμα περιλαμβάνει μόνο μια συνεισφορά γεύσης (46).

Η συντήρηση του κρέατος και των κρεατοσκευασμάτων μέσα στα χρόνια

Πολύ πριν η ψύξη γίνει σημαντικό μέρος της ζωής, οι άνθρωποι έπρεπε να βρουν τρόπους να διατηρήσουν το κρέας για να επιβιώσουν. Καθώς ανέπτυξαν την τεχνολογία για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα στο κυνήγι και τη θανάτωση μεγάλων ζώων, αναπτύχθηκε επίσης η γνώση και η τεχνολογία για την ασφαλή διατήρηση του κρέατος για μεγάλες χρονικές περιόδους. Οι πρώτες προσπάθειες πολιτισμού δεν θα μπορούσαν να είναι επιτυχείς μέχρι να βελτιωθούν εκείνες οι τεχνικές που συνέβαλαν στη συντήρηση τροφίμων.

Περίπου 10.000 χρόνια πριν, τα ανθρώπινα όντα στην περιοχή που σήμερα ονομάζουμε Μέση Ανατολή άρχισαν να μαθαίνουν πώς να διατηρούν το κρέας και τα παράγωγά του. Η ανακάλυψη της χρήσης αλατιού για τη διατήρηση των κρεάτων επέτρεψε στην ανθρωπότητα να πάει στη θάλασσα και να ξεκινήσει την εποχή της εξερεύνησης. Το αλάτι έγινε τόσο σημαντικό αγαθό που οι άνθρωποι ήταν πρόθυμοι να αγωνιστούν για την κατοχή πλούσιων κοιτασμάτων αλατιού.

Οι αρχαίες κοινωνίες που έμαθαν πώς να διατηρούν το κρέας και άλλα είδη διατροφής θα μπορούσαν να αναπτύξουν και να επεκτείνουν πολύπλοκες μορφές πολιτισμού. Ήδη από το 3000 π.Χ., οι Σουμέριοι στη Μεσοποταμία διατηρούσαν μαγειρεμένα κρέατα και ψάρια σε σησαμέλαιο και αλάτι. Αργότερα, το 900 π.Χ., οι Έλληνες άρχισαν να παράγουν αλυκές. Το αλάτι που καλλιεργούνταν στους κήπους χρησιμοποιούνταν για την ξήρανση και το κάπνισμα των κρεάτων και των ψαριών. Μέχρι το 200 π.Χ., οι Ρωμαίοι είχαν μάθει πώς να χρησιμοποιούν το αλάτι για συντήρηση από τους Έλληνες και άρχισαν να διατηρούν άλλα είδη κρέατος, συμπεριλαμβανομένου του χοιρινού κρέατος. Ήταν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου που καταγράφηκε η ερυθρότητα του αλατιού στο κρέας (26).

Το πρώτο γνωστό παράδειγμα κρέατος στην Αμερικανική ήπειρο ήταν η χρήση αλμυρού χοιρινού κρέατος και βοείου κρέατος αλατιού σε αρχαία ιστιοφόρα σκάφη για την επέκταση της εμβέλειας που τα πλοία μπορούσαν να πλεύσουν στη θάλασσα. Ιστορικά, το παστό χοιρινό ήταν πολύ σημαντικό στον αμερικανικό εμφύλιο πόλεμο, καθώς ήταν η κύρια τροφή τόσο του στρατού της Ένωσης όσο και του συνομοσπονδιακού στρατού. (Το αλατισμένο βόειο κρέας δεν ήταν τόσο δημοφιλές λόγω γεύσης και επειδή δεν παρέμεινε σε φρέσκια ή βρώσιμη κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα.) Υπάρχουν πολλές αναφορές στο μπέικον από εκείνες τις μέρες, αλλά αυτό που αποκαλούσαν μπέικον ήταν απλώς φέτες παστού χοιρινού.

Αρκετά χρόνια πριν από την είσοδο της Ευρώπης στον Νέο Κόσμο, οι Ινδιάνοι της Αμερικής διατηρούσαν το κρέας με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Η διαθεσιμότητα θηραμάτων σε διάφορα μέρη της ηπείρου υπαγόρευε τι ήταν σε θέση να σκοτώσουν και να διατηρήσουν αυτοί οι άνθρωποι. Η πιο ενδιαφέρουσα μέθοδος για τη διατήρηση του κρέατος ήταν ένα τρόφιμο που ονομαζόταν pemmican, το οποίο παρασκευάζεται με άλεση αποξηραμένου κρέατος, ανάμειξή του με αλεσμένα μούρα και προσθήκη τετηγμένου ζωικού λίπους (25).

Μια άλλη σημαντική διαδικασία συντήρησης κρέατος που ανακάλυψε ο πρώιμος άνθρωπος ήταν το κάπνισμα και η ξήρανση των κρεάτων. Υπάρχουν 29 ή περισσότερες φυλές ιθαγενών της Βορειοδυτικής Αμερικής, όπως η φυλή Cowlitz ή η φυλή Quinault που εξαρτιόταν από τον καπνιστό χοιρινό για επιβίωση. Ο Meriwether Lewis της αποστολής Lewis and Clark κατέγραψε την κατανάλωση καπνιστού χοιρινού που του δόθηκε από ένα μέλος της φυλής Shoshone το 1805, μακριά από τον Ειρηνικό Ωκεανό. Οι πρώτες τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για το κάπνισμα κρεάτων δεν προορίζονταν να προσθέσουν γεύση όπως οι σημερινές διαδικασίες. Το κάπνισμα όχι μόνο μαγείρευε τα κρέατα, αλλά αφαίρεσε επίσης την υγρασία και τοποθέτησε ένα χημικό φράγμα ενάντια σε βακτήρια και μικροοργανισμούς (25).

Η διατήρηση των τροφίμων είναι η πιο σημαντική ανθρώπινη δεξιότητα επιβίωσης που μπορούν να μάθουν οι άνθρωποι. Η μεγάλη διαφορά μεταξύ των σύγχρονων, εμπορικά διατηρημένων κρεάτων μας και των διατηρημένων κρεάτων του παρελθόντος, είναι η σημαντική ποσότητα προσθέτων και χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση της διαδικασίας συντήρησης. Πέντε χημικές ουσίες βρίσκονται συνήθως στα επεξεργασμένα κρέατα: ερυθροβικό νάτριο, νιτρικό νάτριο, γλουταμινικό νάτριο, μαλτοδεξτρίνη και αλκαλικά φωσφορικά.

1. Ζύμωση-Fermentation

Η ζύμωση είναι μια καταβολική διαδικασία που βοηθά στη διάσπαση μεγάλων οργανικών μορίων μέσω της δράσης μικροοργανισμών σε απλούστερα. Οι μικροβιακές ή ενζυματικές δράσεις στα συστατικά τροφίμων τείνουν να ζυμώνουν τα τρόφιμα, οδηγώντας σε επιθυμητές βιοχημικές αλλαγές υπεύθυνες για τη σημαντική τροποποίηση των τροφίμων. Η ζύμωση είναι ένας φυσικός τρόπος αύξησης των βιταμινών, των απαραίτητων αμινοξέων, των αντί-θρεπτικών συστατικών, των πρωτεϊνών, καθώς και της βελτίωσης της εμφάνισης των τροφίμων, των γεύσεων και του ενισχυμένου αρώματος. Η ζύμωση βοηθά επίσης στη μείωση της ενέργειας που απαιτείται για το μαγείρεμα καθώς και στην παραγωγή ενός ασφαλέστερου προϊόντος. Το τελικό προϊόν σταθεροποιείται μικροβιολογικά από το σχηματιζόμενο γαλακτικό οξύ και άλλα οργανικά οξέα και μέσω της μείωσης της ενεργότητας του νερού (ξηήρανση του δέρματος) κατά τη διαδικασία ωρίμανσης (1). Ως εκ τούτου, η δραστηριότητα των μικροοργανισμών παίζει σημαντικό ρόλο στη ζύμωση των

τροφίμων παρουσιάζοντας αλλαγές στις χημικές και φυσικές ιδιότητες των τροφίμων. Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση έχουν πολλά πλεονεκτήματα:

1) Τα τρόφιμα που έχουν υποστεί ζύμωση έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα αρχικά τρόφιμα.

(2) Η ενίσχυση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων

(3) Η απομάκρυνση επιβλαβών / ανεπιθύμητων συστατικών από πρώτες ύλες

(4) Η ενίσχυση των θρεπτικών ιδιοτήτων λόγω της παρουσίας μικροοργανισμών ζύμωσης.

(5) Η διαδικασία ζύμωσης μειώνει το χρόνο μαγειρέματος των τροφίμων.

(6) Τα προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση χαρακτηρίζονται από υψηλότερη *in vitro* αντιοξειδωτική ικανότητα.

1.1 Βιοχημικές αλλαγές σε ζυμωμένα τρόφιμα με βάση το κρέας

Lactobacillus, *Streptococcus*, *Leuconostoc* και *Lactococcus*, και είναι μερικά από τα υποχρεωτικά αναερόβια που ανήκουν σε gram-θετικά και όξινα (γαλακτικό οξύ) βακτήρια που χρησιμοποιούνται για το μεταβολισμό σακχάρων με διαφορετικούς βαθμούς αποδοτικότητας σε αλκοόλες, γαλακτικό οξύ, λιπίδια, αμινοξέα, και αλειφατικές ενώσεις. Αυτοί οι μικροοργανισμοί εκτελούν τρεις λειτουργίες ταυτόχρονα σε λουκάνικα που έχουν υποστεί ζύμωση, δηλαδή παράγουν μονοξειδίο του αζώτου, μειώνοντας τα νιτρικά και νιτρώδη άλατα, τα οποία είναι υπεύθυνα για το χαρακτηριστικό (cured) χρώμα όταν συνδυάζονται με μυσφαιρίνη, και μειώνουν το pH, παράγοντας DL-γαλακτικό οξύ από γλυκόζη μέσω αναερόβιας γλυκόλυσης.

Η διαδικασία της ζύμωσης μπορεί να είναι είτε ομοζυμωτική είτε ετεροζυμωτική. Η οδός της ομοζυμωτικής ζύμωσης γαλακτικού οξέος οδηγεί στο γαλακτικό οξύ ως το μοναδικό τελικό προϊόν, παράγοντας μια απιά, πικάντικη γεύση. Τα ετεροζυμωτικά βακτήρια γαλακτικού οξέος παράγουν επίσης γαλακτικό οξύ, αλλά απελευθερώνουν επίσης μια μικρή ποσότητα οξικού οξέος (περίπου 10%), η οποία είναι μία από τις αιτίες μιας γεύσης από εξόζες. Οι βασικοί παράγοντες στη ζύμωση γαλακτικού οξέος είναι ο χρόνος, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Για παράδειγμα, η υψηλότερη

ενεργότητα του νερού (a_w) και η θερμοκρασία βοηθούν στην ταχύτερη ανάπτυξη του L.A.B. και στη μείωση του επιπέδου pH.

Στην τεχνολογική διαδικασία παραγωγής προϊόντων ωμού αλλαντικού πολλαπλασιάζονται τα τεχνολογικά επιθυμητά βακτήρια, ενώ αναστέλλεται η ανάπτυξη παθογόνων και σαπροφυτικών βακτηρίων. Η υποκατάσταση της μικροχλωρίδας δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για τον εμπλουτισμό των χαρακτηριστικών που συνδέονται με τη γεύση και την ανθεκτικότητα. Είναι αρκετά κοινή πρακτική στην κατασκευή ακατέργαστων ωριμασμένων προϊόντων για την εφαρμογή καλλιέργειών εκκίνησης των οποίων η σύνθεση είναι εξαιρετικά ποικίλη και συχνά – άγνωστη. Αυτές οι καλλιέργειες εκκίνησης περιλαμβάνουν κυρίως βακτήρια γαλακτικού οξέος, κυρίως *Lactobacillus sakei*, *Lactobacillus curvatus*, *Lactobacillus plantarum* oraz και *Lactobacillus lactis* (3).

1.2 Οξειδωτική σταθερότητα

Βασικό πλεονέκτημα των ζυμώμενων κρεατοσκευασμάτων είναι η δυνατότητα αύξησης της οξειδωτικής τους σταθερότητας. Η οξείδωση των συστατικών του κρέατος σε ακατέργαστα προϊόντα ωρίμανσης μπορεί να είναι αποτέλεσμα ενζυματικών μεταβολών που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας ενζύμων που προέρχονται από ιστούς και μικροοργανισμούς, όπως και ως υπεροξείδωση λιπιδίων από ελεύθερες ρίζες. Τα πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα της οξείδωσης των λιπιδίων αντιδρούν με άλλα συστατικά του κρέατος, αλλάζοντας τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Παραδείγματος χάριν, οι οξειδωμένες πρωτεΐνες παίρνουν μια κιτρινωπή, κόκκινη έως καφέ απόχρωση, ενώ τα προϊόντα αποικοδόμησης λιπιδίων και πρωτεϊνών δημιουργούν ένα συγκεκριμένο άρωμα και χρώμα στο προϊόν. Επιπλέον, οι τοξικές ουσίες (όπως οι βιογενείς αμίνες ή οι νέες ουσίες) σχηματίζονται ως αποτέλεσμα αλληλεπιδράσεων μεταξύ συστατικών κρέατος, π.χ. συνδυασμοί πρωτεϊνών-λιπιδίων ή πρωτεϊνών-πρωτεϊνών και αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του καταναλωτή.

Οι μέθοδοι προστασίας των ακατέργαστων προϊόντων κρέατος ωρίμανσης από την οξείδωση μπορούν να χωριστούν σε άμεσες και έμμεσες διαδικασίες. Οι έμμεσες μέθοδοι περιλαμβάνουν τον εμπλουτισμό μειγμάτων ζωοτροφών με αντιοξειδωτικές ενώσεις. Υψηλά ποσοστά επιτυχίας στη σταθεροποίηση των προϊόντων κρέατος έχουν επιτευχθεί με τη διατροφή των χοίρων σε μείγματα ζωοτροφών που προστίθενται με

βιταμίνη E. Έχει βρεθεί ότι η μέθοδος πρόληψης της οξείδωσης με έμμεση εφαρμογή βιταμίνης E είναι πιο αποτελεσματική από τη μέθοδο της άμεσης προσθήκης α-τοκοφερόλης σε προϊόντα κρέατος στη σταθεροποίηση του χρώματος και της οξείδωσης των λιπιδίων. Στο Bozkurt [2006], σε μελέτες παραδοσιακής ωρίμανσης σε τουρκικό λουκάνικο που προστίθεται εκχύλισμα πράσινου τσαγιού ή λάδι *T. spicata* ή μείγμα πράσινου τσαγιού και ελαίου, βρέθηκαν χαμηλότερες τιμές TBARS από ότι σε δείγματα λουκάνικου επεξεργασμένο με αντιοξειδωτικά (0,2-0,6 mg/kg) (2).

1.3 Αναστολή παραγωγής επικίνδυνων ουσιών

Έχει παρατηρηθεί ότι η ζύμωση ανέστειλε την παραγωγή βιογενών αμινών όπως ισταμίνη, τυραμίνη και πουτρεσκίνη σε αποθηκευμένο λουκάνικο. Η προσθήκη αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου είχε αντιοξειδωτικές επιδράσεις μόνο στις χαμηλότερες συγκεντρώσεις (150 ppm), ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις (300 ppm, 600 ppm) δεν επέδρασαν στον ίδιο βαθμό ή είχαν ακόμα και προοξειδωτικές επιδράσεις. Σε προϊόντα, όπως τα λουκάνικα Φρανκφούρτης με υψηλή οξειδωτική αστάθεια, η δραστηριότητα των φυτικών φαινολικών ουσιών θα μπορούσε να μειωθεί, δεδομένου ότι οι φαινολικές ενώσεις μπορούν να οξειδωθούν και τα προϊόντα οξείδωσης θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως προοξειδωτικά που προάγουν οξειδωτικές αντιδράσεις. Τα εφαρμοζόμενα αντιοξειδωτικά που εμφανίζουν επίσης κάποια βακτηριοστατικές ιδιότητες που μπορεί να εμποδίσουν τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων από την οικογένεια *Enterobacteriaceae*, υπεύθυνη για το σχηματισμό βιογενών αμινών.

2. Αλάτιση

Η αλάτιση αποτελεί μια από τις αρχαιότερες γνωστές μεθόδους συντήρησης κρεατοσκευασμάτων, εφαρμοζόμενη είτε μόνη, είτε σε συνδυασμό με άλλες μορφές επεξεργασίας, όπως η ξήρανση και η κάπνιση. Το αλάτι, αφενός, ενισχύει τη γεύση του προϊόντος, λειτουργώντας ως *flavor enhancer*, αφετέρου αυξάνει τη διάρκεια ζωής του, όπως και τη μικροβιακή του σταθερότητα, ως βακτηριοστατικός παράγοντας. Συμβάλει στην ενυδάτωση, άρα και στην διόγκωση και διάλυση των συστατικών μυϊκών πρωτεϊνών, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα συγκράτησης ύδατος, ενώ ταυτόχρονα τροποποιεί και τη δομή του προϊόντος. (5)

Κατά την επεξεργασία της αλάτισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αλάτι είτε σε διάλυμα ως συστατικό μιας άλμης, είτε ξηρό απευθείας στο κρέας. Όταν προστίθεται σε αυτό, φαίνεται ότι αναστέλλει την ανάπτυξη μικροβίων, κυρίως μέσω της μείωσης της ενεργότητας του ύδατος, ενώ παράλληλα προκαλεί αφυδάτωση και συρρίκνωση των βακτηριακών κυττάρων που τυχόν υπάρχουν στο κρέας. (7)

2.1 Μηχανισμός δράσης του χλωριούχου νατρίου

Η ανασταλτική επίδραση του αλάτος στους μικροοργανισμούς λαμβάνει χώρα στην υδατική φάση του προϊόντος. Επομένως, δεδομένα όπως η συγκέντρωση αλάτος στην υδατική φάση και/ή a_w είναι προτιμότερα για την εκτίμηση της ανασταλτικής επίδρασης στη μικροχλωρίδα. Η πλειοψηφία των βακτηρίων αλλοίωσης αναπτύσσονται σε a_w πάνω από 0,90, αλλά μερικά μπορούν να αναπτυχθούν σε a_w τόσο χαμηλά όσο 0,85 και σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη χαμηλότερα (6).

2.2 Αντιβακτηριακή δράση του NaCl

Ο αντιβακτηριακός μηχανισμός του NaCl έχει ως εξής: το αλάτι μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό οσμωτικής πίεσης μέσα και έξω από μικροβιακά κύτταρα και να διαταράξει την ανταλλαγή ουσιών για τους μικροοργανισμούς. Τα Na^+ και Cl^- έχουν επίσης ισχυρή ικανότητα να προσελκύουν μόρια νερού, οπότε οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να λάβουν νερό για να διατηρήσουν τις φυσιολογικές τους δραστηριότητες, με αποτέλεσμα να αναστέλλεται και ο πολλαπλασιασμός τους. Επιπλέον, το NaCl μπορεί επίσης να μειώσει τον βαθμό διαλύματος οξυγόνου, ο οποίος επηρεάζει την ενζυμική δραστηριότητα στα μικροβιακά κύτταρα ή αναγκάζει τους μικροοργανισμούς να καταναλώνουν πολλή ενέργεια για να απαλλαγούν από ιόντα νατρίου από το κύτταρο.

Η βακτηριοστατική δράση του NaCl σχετίζεται στενά με τη συγκέντρωσή του. Διάλυμα αλάτος 5% μπορεί να αναστείλει πλήρως την ανάπτυξη αναερόβιων βακτηρίων, ενώ 10% διάλυμα αλάτος δεν επιτρέπει την ανάπτυξη των περισσότερων μικροοργανισμών. Το αλάτι παίζει σημαντικό ρόλο στη διατήρηση της σταθερότητας των μικροοργανισμών στα προϊόντα κρέατος, ενώ επιπροσθέτως η ανάπτυξη των βακτηρίων αναστέλλεται από αυτό στα κατεψυγμένα τρόφιμα. Οι Mcgough, Sato, Rankin και Sindelara (2012) διαπίστωσαν ότι το χλωριούχο νάτριο έχει σημαντική επίδραση στους μικροοργανισμούς που περιέχονται σε λουκάνικα τύπου Φρανκφούρτης. Ο ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών σταδιακά αναστέλλεται

όταν αυξάνεται η προσθήκη χλωριούχου νατρίου. Οι Martinez, Shand και Korber (2014) διαπίστωσαν ότι η αύξηση της περιεκτικότητας σε αλάτι στα μαγειρεμένα λουκάνικα θα μπορούσε να εμποδίσει την ανάπτυξη μικροοργανισμών και, παράλληλα, να παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους (4).

Ομοίως, οι Aaslyng, Vestergaard και Koch (2014) διαπίστωσαν ότι η ανάπτυξη βακτηρίων γαλακτικού οξέος και αερόβιων βακτηρίων αναστέλλεται αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε αλάτι από 2,3% σε 4,3% στο μπέικον. Οι Zhu, Yan, Yu, Wu και Louise (2022) αξιολόγησαν την ανάπτυξη της *Pseudomonas* και του *Staphylococcus* σε λουκάνικο βοείου κρέατος που περιέχει διαφορετικά περιεχόμενα NaCl. Κάτω από 14 g/kg NaCl, η βιομάζα της *Pseudomonas* και του *Staphylococcus* έφτασε τα 6,03 log CFU/g και τα 6,07 log CFU/g στο λουκάνικο βοείου κρέατος, ενώ εκείνη των 5,94 log CFU/g και 5,86 log CFU/g κάτω των 28 g/kg NaCl. (5)

Σε περιβάλλον με χαμηλότερο αλάτι, ευνοείται η συσσώρευση επιβλαβών ουσιών, όπως οι βιογενείς αμίνες και οι βακτηριακές τοξίνες. Οι βιογενείς αμίνες είναι μια αξιοσημείωτη επιβλαβής ουσία στο κρέας, η οποία παράγεται κυρίως από την αποκαρβοξυλίωση αμινοξέων από μικροβιακές αποκαρβοξυλάσες αμινοξέων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις βιογενών αμινών μπορούν δυνητικά να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Υπό την προϋπόθεση του χαμηλότερου νατρίου, τα βακτήρια αλλοίωσης που παράγουν φυσική αμίνη αναπτύσσονται γρήγορα, όπως ορισμένα είδη εντεροβακτηριοειδών και βακτηρίων γαλακτικού οξέος, με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση της συσσώρευσης βιογενούς αμίνης (Lin, Tang, Hu, Lu, & Chi, 2021). Στα ισπανικά λουκάνικα που έχουν υποστεί ζύμωση και περιέχουν 60 g/kg NaCl, η συνολική περιεκτικότητα σε BA είναι 88,9–332,1 mg/kg, ενώ στα λουκάνικα που περιέχουν 30 g/kg NaCl, η περιεκτικότητα σε BA αυξάνεται σε 345,4–796,7 mg/kg (6).

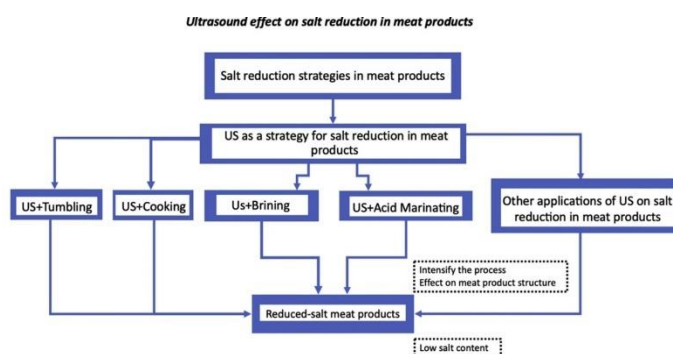
2.3 Προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση του αλατος σε κρεατοσκευάσματα

Το αλάτι χρησιμοποιείται ευρέως σε προϊόντα κρέατος, λόγω της πολύ διαφορετικής και εκτεταμένης λειτουργικότητάς του. Ωστόσο, η υψηλή πρόσληψη χλωριούχου νατρίου στη διατροφή του ανθρώπου εξετάζεται τα τελευταία χρόνια, επειδή σχετίζεται με σοβαρά προβλήματα υγείας (6). Η βιομηχανία επεξεργασίας κρέατος και τα ερευνητικά ιδρύματα αξιολογούν διαφορετικές στρατηγικές για να ξεπεράσουν τις

αυξημένες συγκεντρώσεις αλατιού στα προϊόντα, χωρίς ωστόσο αυτό να προκαλεί μείωση της ποιότητας. Αρκετές ιδιότητες θα μπορούσαν να επηρεαστούν άμεσα ή έμμεσα από τη μείωση του χλωριούχου νατρίου. Μεταξύ αυτών, η μικροβιακή σταθερότητα θα μπορούσε να μετατοπιστεί προς την ανάπτυξη παθογόνων, αποτελώντας σοβαρή απειλή για τη δημόσια υγεία. Παρ'όλα αυτά, η πλειοψηφία της διαθέσιμης βιβλιογραφίας εστιάζει την προσοχή στις αισθητηριακές και τεχνολογικές προκλήσεις που συνεπάγεται η μείωση του αλατιού.

2.4 Μέθοδοι και στρατηγικές για μείωση της αλατοπεριεκτικότητας σε κρεατοσκευάσματα

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές για τη μείωση του αλατιού στα προϊόντα κρέατος. Το χλωριούχο νάτριο μπορεί να αντικατασταθεί από άλλα χλωριούχα άλατα, μη χλωριούχα άλατα ως γαλακτικά και φωσφορικά άλατα, ενισχυτικά γεύσης όπως ταυρίνη, λυσίνη, γλουταμινικό νάτριο και εκχυλίσματα ζύμης. Η πιο κοινή στρατηγική για τη μείωση του νατρίου είναι η προσθήκη χλωριούχων αλάτων, καθώς το χλωριούχο κάλιο (KCl) είναι το πιο χρησιμοποιούμενο λόγω των παρόμοιων χημικών ιδιοτήτων του με το NaCl. Ωστόσο, η προσθήκη αυτού του υποκατάστατου αλατιού μπορεί να περιοριστεί λόγω της ανάπτυξης πικρής γεύσης. Έτσι, άλλες στρατηγικές, όπως η χρήση μειγμάτων NaCl με υποκατάστατα άλατα και ενισχυτικά γεύσης, χρησιμοποιούνται ευρέως για τη μείωση των ανεπιθύμητων αισθητηριακών και τεχνολογικών επιπτώσεων των υποκατάστατων αλάτων (5).



Εικόνα 2: Επίδραση των υπερήχων στη μείωση της περιεκτικότητας του NaCl σε κρεατοσκευάσματα

Μια άλλη πρωτοποριακή μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερο στο μέλλον είναι η χρήση υπερήχων με σκοπό τη μείωση της αλατοπεριεκτικότητας των κρεατοσκευασμάτων (8). Ο υπέρηχος (US) θεωρείται μια μορφή δονητικής ενέργειας, που μετατρέπεται από ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστική ενέργεια από έναν μορφοτροπέα. Μπορεί να ταξινομηθεί ως μη θερμική μέθοδος, αν και οι μηχανικές τριβές παράγουν θερμότητα ως αποτέλεσμα των μηχανικών ταλαντώσεων κατά τη διάδοσή του, αυξάνοντας τη θερμοκρασία σε ένα εύρος 1-10 ° C. Η μέθοδος αυτή έχει μεγάλες δυνατότητες μείωσης της περιεκτικότητας σε NaCl στα προϊόντα κρέατος, επιτάχυνση της διαδικασίας άλμης, μαζική μεταφορά, διαδικασία σκλήρυνσης και μείωση του χρόνου μαγειρέματος. Από την άλλη, οι παράμετροι υπερήχων πρέπει να βελτιστοποιηθούν για κάθε προϊόν κρέατος, επειδή η δομή και η σύνθεση διαφέρουν μεταξύ των προϊόντων και τα αποτελέσματα των ΗΠΑ είναι διαφορετικά. Ωστόσο, η εφαρμογή υπερήχων στην παραγωγή προϊόντων κρέατος μπορεί να αυξήσει την οξείδωση των λιπιδίων, γεγονός που καθιστά απαραίτητη μεγαλύτερη μελέτη και εμπάθυνση πάνω σε αυτήν τη μέθοδο.

3. Μαρινάρισμα

Το μαρινάρισμα χρησιμοποιείται συνήθως για τη βελτίωση των λειτουργικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων του κρέατος με εμπάπτιση, ένεση ή ανατροπή με υδατικά διαλύματα που αποτελούνται από διαφορετικά συστατικά (9). Παρόλα αυτά, η εφαρμογή του σε προϊόντα κρέατος μπορεί να αυξήσει τη διατηρησιμότητά τους, όπως θα αναλυθεί και παρακάτω.

Υπάρχουν τρεις τύποι μαρινάδων: Αυτές με αλκαλικό pH, αυτές με όξινο και αυτές που αποτελούνται από γαλακτώματα. Τα αλκαλικά διαλύματα μαρινάδας περιέχουν μίγμα άλατος-φωσφορικού, ενώ από την άλλη τα όξινα διαλύματα περιέχουν οργανικά οξέα ή τα άλατά τους. Ο τρίτος τύπος είναι τα γαλακτώματα νερού-ελαίου που περιέχουν αλάτι, ζάχαρη, ξύδι ή κιτρικό οξύ και άλλα συμπληρώματα.

Η προσθήκη φωσφορικών αλάτων όπως το τριπολυφωσφορικό νάτριο αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης νερού λόγω της εκχύλισης πρωτεϊνών και της μετατόπισης του pH από το ισοηλεκτρικό σημείο των πρωτεϊνών των μυών. Το ανθρακικό νάτριο και το διττανθρακικό είναι γνωστό ότι είναι ανώτεροι παράγοντες μαριναρίσματος, οι

οποίοι μειώνουν την απώλεια οπού και βελτιώνουν την απόδοση, ενώ το γαλακτικό οξύ χρησιμοποιείται συχνά στη βιομηχανία κρέατος ως αντιμικροβιακός παράγοντας.

Το κιτρικό οξύ, όχι μόνο χρησιμοποιείται συχνά στο όξινο μαρινάρισμα για τη βελτίωση της ικανότητας συγκράτησης νερού και της ευαισθησίας των μυών του βοείου κρέατος, αλλά χρησιμοποιείται επίσης συνήθως ως χηλικός παράγοντας για τον έλεγχο της δραστηριότητας των προ-οξειδωτικών μετάλλων. Ακόμα, τα διαλύματα μαρινάδας μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν φυσικά ή αποξηραμένα συστατικά, μπαχαρικά, βότανα και άλλα εκχυλίσματα, για τα οποία πολλές μελέτες έχουν αναφέρει ότι προσφέρουν αντιβακτηριακά, αντιφλεγμονώδη, αντιαλλεργικά, ηπατοπροστατευτικά, αντιθρομβωτικά, αντικαρκινογόνα, καρδιοπροστατευτικά και αγγειοδιασταλτικά αποτελέσματα. Τα μπαχαρικά και τα βότανα, που προστίθενται σε μαρινάδες, ενισχύουν σημαντικά την ασφάλεια του κρέατος και τον έλεγχο ή την ελαχιστοποίηση της οξείδωσης των λιπιδίων (11).

3.1 Δέσμευση ύδατος

Το βασικό χαρακτηριστικό του μαριναρίσματος είναι η αύξηση της δέσμευσης νερού του κρεατοσκευάσματος, που προκαλείται από τη μείωση του pH του κάτω από το ισοηλεκτρικό σημείο. Σε μελέτες των μυών του βοείου κρέατος, η ελάχιστη ενυδάτωση εμφανίστηκε στο pH 5,0, το οποίο αντιστοιχεί στο μέσο ισοηλεκτρικό σημείο των κύριων μυοϊνδιακών πρωτεϊνών, με τη μέγιστη ενυδάτωση να συμβαίνει σε τιμές pH 3,5 και 10,5. Θεωρείται ότι αυτή η δέσμευση νερού σχετίζεται με τη διόγκωση των μυϊκών ινών, η οποία συμβαίνει επίσης στο μέγιστο σε αυτές τις δύο τιμές pH. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι η προσθήκη οξέος κάτω από το ισοηλεκτρικό σημείο πρωτονιώνει αρνητικά φορτισμένες καρβοξυλομάδες στην πρωτεΐνη για να σπάσει τον δεσμό υδρογόνου με τις αμινομάδες. Η συνολική αύξηση των θετικών φορτίων οδηγεί επίσης σε ηλεκτροστατική άπωση και άνοιγμα της πρωτεϊνικής δομής. Αυτό δημιουργεί επιπλέον χώρο για να δεσμευτεί περισσότερο νερό (12).

3.2 Παρουσία οργανικών οξέων και μείωση του pH

Η προσθήκη οργανικών οξέων και οι αλλαγές στο pH που σχετίζονται με το μαρινάρισμα μπορούν να βοηθήσουν στην παράταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Το οξικό οξύ περιέχεται σε διάφορα προϊόντα, όπως το ξύδι, και είναι αποτελεσματικό στην αναστολή των βακτηρίων, δεδομένου ότι, έχοντας $pK=4,75$, είναι στην αδιάσπαστη μορφή στο pH της μαρινάδας (η αδιάσπαστη μορφή του οξέος

είναι ο δραστικός αναστολέας). Αν και ορισμένα βακτήρια είναι ανθεκτικά στο οξύ, άλλα, ιδιαίτερα οι οργανισμοί τροφικής δηλητηρίασης, αναστέλλονται παρουσία αυτού και έτσι το μαρινάρισμα μπορεί να αυξήσει την ασφάλεια των κρεατοσκευασμάτων, καθώς και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους.

Μια εξέταση ορισμένων εμπορικών μαρινάδων έδειξε ότι είχαν μικρή επίδραση στην τρυφερότητα και ότι η μεγαλύτερη επίδραση ήταν στη γεύση του κρέατος. Αυτό δείχνει ότι οι δυνατότητες μαρινάριατος για τη βελτίωση της υφής του κρέατος και την παράταση της διάρκειας ζωής δεν είχαν αξιοποιηθεί πλήρως. Πιο πρόσφατα, τα μπαχαρικά καθώς και τα οργανικά οξέα στις μαρινάδες έχουν αποδειχθεί ότι έχουν αντιμικροβιακή δράση, αυξάνοντας έτσι την διατηρησιμότητα των προϊόντων κρέατος (11).

4. Φυσικά συντηρητικά

Η προσθήκη συντηρητικών είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος συντήρησης και έχει τα πλεονεκτήματα της άνετης λειτουργίας, της χαμηλής τιμής και των σταθερά αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Τα συντηρητικά τροφίμων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριους τύπους: φυσικά και συνθετικά χημικά συντηρητικά. Η χρήση χημικών συντηρητικών, όπως το νιτρώδες νάτριο, είναι τα πιο περιζήτητα μέτρα στη βιομηχανία συντήρησης κρέατος.

Ωστόσο, πολλά εθνικά πρότυπα υγιεινής τροφίμων έχουν θέσει μέγιστα όρια για τα χημικά συντηρητικά, επειδή μελέτες έχουν δείξει ότι, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα τεχνητά συντηρητικά μπορεί να προκαλέσουν πιθανή βλάβη στο ανθρώπινο σώμα, όπως αλλεργίες, άσθμα και καρκίνο (11). Κατά συνέπεια, τα φυσικά, φρέσκα, πράσινα επισημασμένα τρόφιμα χωρίς συνθετικά πρόσθετα και συντηρητικά έχουν κερδίσει την αυξανόμενη προσοχή των καταναλωτών. Ως εκ τούτου, η βιομηχανία τροφίμων μειώνει σταδιακά τη χρήση συνθετικών προσθέτων και χημικών συντηρητικών για την επεξεργασία κρέατος και δεσμεύεται να βελτιώσει την ποιότητα των προϊόντων κρέατος. Έτσι, με έμφαση στον «πράσινο» καταναλωτισμό, οι ερευνητές έχουν επικεντρωθεί στην αντικατάσταση των συνθετικών προσθέτων τροφίμων με φυσικά συντηρητικά.

4.1 Συντηρητικά από φυτικές πηγές

Τα βότανα και τα μπαχαρικά έχουν χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα για τη θεραπεία τροφιμογενών ασθενειών και την πρόληψη της αλλοίωσης των τροφίμων.

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα βότανα και τα φυτικά προϊόντα έχουν κερδίσει την προσοχή των ερευνητών ως συντηρητικά τροφίμων, λόγω των αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων τους. Επιπλέον, αυτά τα φυσικά αντιμικροβιακά έχουν λιγότερες επιπτώσεις και ευρύτερη πρόσβαση από ό, τι τα χημικά συντηρητικά.

Ορισμένα συντηρητικά φυτικής προέλευσης, όπως τα μπαχαρικά, όχι μόνο παρέχουν μια ιδιαίτερη γεύση στα τρόφιμα, αλλά επίσης αναστέλλουν τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών που προσβάλλουν το κρέας και αποτρέπουν την οξείδωση και την αλλοίωση τους, παρουσιάζοντας έτσι σαφή οφέλη για τη συντήρηση του.

Υπάρχουν πολλοί τύποι φυτικών συντηρητικών όπως πολυφαινόλες τσαγιού (TPs), καρκεύματα και αιθέρια έλαια (EOs), συμπεριλαμβανομένης της θυμόλης, της καρβακρόλης, της λιναλοόλης, της κιτράλης, της κιτρονελλόλης, της γερανιόλης, της ευκαλυπτόλης, καθώς και τα λιμονένιο, κύμινο, μάραθο και κάρδαμο (13).

4.2 Αντιμικροβιακή δράση

Αρκετοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να ενσωματώσουν TPs σε διάφορα σύμπλοκα για την παραγωγή νέων βιοδραστικών υλικών συσκευασίας για να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων με βάση το κρέας. Ερευνητές διερεύνησαν τις αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές δραστηριότητες των TPs χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ε-πολυλυσίνης (ε-PL) και TPs σε κομμάτια βοείου κρέατος, τα οποία διατηρήθηκαν στα 25 βαθμών Κελσίου για 12 ημέρες. Αυτός ο συνδυασμός ανέστειλε την ανάπτυξη των οργανισμών αλλοίωσης, αύξησε τις τιμές pH και TVB-N των κομματιών βοείου κρέατος κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου, γεγονός που υποδηλώνει ότι η συνδυασμένη χρήση TPs με ε-PL είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για τη συντήρηση του κρέατος.

Τα μπαχαρικά και τα βότανα είναι πλούσια σε βιοδραστικές ενώσεις όπως βιταμίνες C και E, καροτενοειδή και φαινολικές ενώσεις, φλαβονοειδή κ.λπ., τα οποία μπορούν να εμποδίσουν την ανάπτυξη βακτηρίων διαταράσσοντας τη δομή των μικροβιακών μεμβρανών. Σύμφωνα με μελέτες, η αντιβακτηριακή δράση των εκχυλισμάτων αιθανόλης δεντρολίβανου έναντι της *L. monocytogenes* στο βόειο κρέας. Η εφαρμογή 45% εκχυλίσματος αιθανόλης δεντρολίβανου για το *L. monocytogenes* στο βόειο κρέας οδήγησε σε μείωση της επώασης κατά 2 λογαριθμικές αποικίες (CFU)/g στους 4 °C για 9 ημέρες.

Στο κρέας κοτόπουλου, διερευνήθηκε η επίδραση του αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου στην αναστολή της *Salmonella Enteritidis* και στις προστατευτικές επιδράσεις αλλοίωσης στους 4 και 18 °C. Τα 5 mg/mL αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου προκάλεσαν τη μείωση των κολοβακτηριδίων, των αερόβιων βακτηρίων, των βακτηρίων γαλακτικού οξέος και των αναερόβιων βακτηρίων στους 18 °C για 24 ώρες. Σε σύγκριση με το μη επεξεργασμένο κρέας κοτόπουλου, παρατηρήθηκαν μειώσεις 1,75 log CFU/g (κολοβακτηρίδια), 0,87 log CFU/g (αερόβια βακτήρια), 1,05 log CFU/g (βακτήρια γαλακτικού οξέος) και 1,28 log CFU/g (αναερόβια βακτήρια) στην ομάδα που υποβλήθηκε σε θεραπεία με αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου στους 18 °C. Το έλαιο δεντρολίβανου μείωσε το *S. enteritidis* κατά περισσότερο από 2 log CFU/g στους 18 °C, αλλά λιγότερο από 1 log CFU/g στους 4 °C (17).

Σύμφωνα με άλλη μελέτη, διερευνήθηκε η αντιβακτηριακή δράση του αιθέριου ελαίου φασκόμηλου (0,625%) στην επιβίωση του *L. monocytogenes* στο βόειο κρέας, το οποίο μαγειρεύτηκε σε κενό αέρος (*sous vide*) και παρέμεινε αποθηκευμένο σε ψυκτική αποθήκευση (2 ή 8 °C) για 28 ημέρες (14). Ανιχνεύθηκε μείωση κατά 1 log CFU/g της *L. monocytogenes* στις ομάδες που έλαβαν θεραπεία με αιθέριο έλαιο φασκόμηλου σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου στους 2 °C. Αν και εκθετική αύξηση παρατηρήθηκε από την ημέρα 14, ανιχνεύθηκαν χαμηλότεροι αριθμοί *L. monocytogenes* περίπου 1 log CFU/g σε δείγματα επεξεργασμένα με αιθέριο έλαιο φασκόμηλου αποθηκευμένα στους 8 °C.

Τέλος, η αντιβακτηριακή δράση και η παράταση της διάρκειας ζωής αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας μια βρώσιμη επίστρωση χιτοζάνης που περιέχει αιθέριο έλαιο κανέλας 0,6% σε φέτες ψητής πάπιας, υπό συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (30% διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)/70% άζωτο (N₂)) κατά την αποθήκευση στους 2 ± 2 °C για 21 ημέρες [15]. Η βρώσιμη επικάλυψη με αιθέριο έλαιο κανέλας έδειξε συνολικό βιώσιμο αριθμό μειωμένο κατά 1 log CFU/g σε σύγκριση με τον έλεγχο μετά από 14 ημέρες αποθήκευσης. Αυτό ήταν παρόμοιο με τα αποτελέσματα των μετρήσεων *Enterobacteriaceae*. Ο αριθμός των βακτηρίων γαλακτικού οξέος ήταν χαμηλότερος από αυτόν του μάρτυρα μέχρι την ημέρα 7 της αποθήκευσης, αλλά δεν υπήρχε σημαντική διαφορά από την ημέρα 11 της αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη του *Vibrio* spp. καθυστέρησε χρησιμοποιώντας βρώσιμη επικάλυψη με αιθέριο έλαιο κανέλας εντός της προηγούμενης περιόδου αποθήκευσης ως αποτέλεσμα της αλληλούχησης της μικροβιακής ποικιλομορφίας (12).

4.3 Αντιοξειδωτική δράση

Τα φυτά είναι πιθανή πηγή πολύτιμων βιοδραστικών ουσιών και έχουν αξιολογηθεί ως φυσικά αντιοξειδωτικά για τη βελτίωση της χημικής ποιότητας του κρέατος και των προϊόντων κρέατος. Σήμερα, πολλές μελέτες έχουν γίνει για τη χρήση διαφορετικών φαρμακευτικών φυτών ως ισχυρών αντιοξειδωτικών πηγών για τη συντήρηση των τροφίμων και τη βελτίωση της διατροφικής ποιότητας των προϊόντων κρέατος. Τα περισσότερα από τα φυτά (βότανα και μπαχαρικά) έχουν σχετικά υψηλά μακροθρεπτικά συστατικά (όπως πρωτεΐνες, λίπη και υδατάνθρακες), μικροθρεπτικά συστατικά (μέταλλα και βιταμίνες) και λιγότερο αντιθρεπτικές ιδιότητες. Πρόσθετα με αντιοξειδωτικές ιδιότητες έχουν αναπτυχθεί για τον έλεγχο της οξείδωσης των λιπιδίων και του σχηματισμού των προϊόντων δευτερογενούς διάσπασης στα τρόφιμα. Το συνολικό αντιοξειδωτικό δυναμικό φυτικών υλικών όπως μαγειρικά βότανα, μπαχαρικά, λαχανικά, καθώς και φρούτα και προϊόντα ελαιούχων σπόρων σχετίζεται με το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C), την άλφα τοκοφερόλη (βιταμίνη E), το β-καροτένιο (πρόδρομος της βιταμίνης A), πολλά φλαβονοειδή και άλλες φαινολικές ενώσεις.

Τα μπαχαρικά και τα βότανα χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα για τη γεύση τους και συχνά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις φαινολικών συστατικών. Οι κύριες αντιοξειδωτικές φαινολικές ενώσεις στα φυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες, συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών διτερπενίων (καρνοσικό οξύ και καρνοσόλη), των φλαβονοειδών (κερσετίνη και κατεχίνη), των φαινολικών οξέων (γαλλικό, ροσμαρινικό οξύ και καφεϊκό οξύ) και των πτητικών ελαίων (καρβακρόλη, ευγενόλη, θυμόλη και μενθόλη). Τα φυτικά εκχυλίσματα που λαμβάνονται από διάφορες πηγές όπως φρούτα, λαχανικά, βότανα και μπαχαρικά έχουν αποδειχθεί ότι διαθέτουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε φαινολικές ενώσεις (14).

Ακόμα, τα φυτικά αιθέρια έλαια δρουν ως αρωματικοί και συντηρητικοί παράγοντες. Διαφορετικές ιδιότητες των ΕΟ οφείλονται στα φλαβονοειδή, τα αλκαλοειδή και τα τερπενοειδή ως τους σημαντικότερους δευτερογενείς μεταβολίτες στην ΕΟ. Προκειμένου να μειωθούν ή να ανασταλούν οι οξειδωτικές αντιδράσεις στις τροφές

με βάση το κρέας, τα αντιοξειδωτικά συστατικά χρησιμοποιούνται συνήθως σε μέσο επίπεδο. Η υψηλότερη συγκέντρωση μπορεί να προκαλέσει διάφορες παρενέργειες μέσω της προ-οξειδωτικής δράσης. Δεδομένα από επιστημονικές εκθέσεις δείχνουν ότι τα περισσότερα φυτά περιέχουν μια μεγάλη ποικιλία συστατικών με αντιοξειδωτική δράση. Τα εκχυλίσματα φρούτων, ελαιούχων σπόρων, βοτάνων και μπαχαρικών και τα αιθέρια έλαια είναι οι σημαντικότερες πηγές αντιοξειδωτικών που χρησιμοποιούνται στο κρέας και τα προϊόντα κρέατος.

Table 3: Use of herbs and spices extracts as antioxidant in meat and meat products

Type of treatment	Meat product	Impact on product	References
Soy sauce	Raw beef patties	The combined addition of soy sauce and ascorbic acid greatly improved color stability and retarded lipid oxidation.	(Kim <i>et al.</i> , 2013)
Olive and wine extracts	Cooked beef and pork	Olive extract showed more stronger antioxidant activity than wine extract	(DeJong and Lanari 2009)
Cloudberry, beetroot or willow herb	Pork patties	cloudberry extract was as potent as quercetin	(Rey <i>et al.</i> , 2005)
Rosemary extract	Liver pâtés	Decreased the amount of sodium nitrite used in pates	(Doolaege <i>et al.</i> , 2012)
	Liver pâtés	Rosemary effectively retarded oxidation	(Haile 2015)
Green tea, chestnut and grape	Liver pâtés	Green tea (<i>camellia sinensis</i>) and grape extracts were more effective antioxidants	(Pateiro <i>et al.</i> , 2014)
Jabuticaba peel extract	Bologna sausages	Sensory attributes and shelf life were improved	(de Almeida <i>et al.</i> , 2015)
Strawberry tree and dog rose extract	Frankfurters	Applying of phenolic extracts decreases oxidation reactions without changing their color and texture properties.	(Armenteros <i>et al.</i> , 2013)
Rosemary extract and whey powder	Wiener sausages	The oxidation was retarded	(Coronado <i>et al.</i> , 2002)
Olive and tea extract	Cooked beef and pork	Tea (<i>Camellia sinensis</i>) showed better antioxidant activity than olive extract	(DeJong and Lanari 2009)
<i>Ulam raja</i> leaves extract (UREX), green tea extract (GTE)	Beef patties	UREX showed a strong lipid oxidation inhibitory effect vs. GTE	(Reihani <i>et al.</i> , 2014)
<i>Caesalpinia decapetala</i> (CD)	Beef patties	TBARS levels were significantly lower and color stability was higher in the samples containing plant extracts or BHT than the control.	(Gallego <i>et al.</i> , 2015)
Curry leaves extract	Chicken patties	Lipid oxidation was reduced in the samples	(Devatkal <i>et al.</i> , 2012)
Ganghwayakssuk	Chicken patties	oxidative stress was reduced	(Hwang <i>et al.</i> , 2013)
Du-zhong	Pork patties	Du-zhong leaf extract decreased TBARS formation the same as BHT	(Xu <i>et al.</i> , 2010)
Sappan wood extract, rehmania or angelica extracts	Meat	TBARS values was decreased of	(Han and Rhee 2005)
Rosemary and oregano extracts	Beef burgers	PUFA and MUFA were decreased while slight increase of SFA content were observed	(Trindade <i>et al.</i> , 2010)
Rosemary	Chicken nuggets	Rosemary extracts improved the oxidative stability in frozen chicken nuggets.	(Rocio Teruel <i>et al.</i> , 2015)
	Pork sausages	The rosemary extract was more effective for inhibiting increased TBARS values or loss of red color in raw frozen sausage and equally effective as BHA/BHT in lowering lipid oxidation of precooked-frozen sausage	(Sebranek <i>et al.</i> , 2005)

Εικόνα 3: Πίνακας βοτάνων και μπαχαρικών που δρουν ως αντιοξειδωτικά σε προϊόντα κρέατος

Στην περίπτωση των φυσικών συντηρητικών φυτικής προέλευσης, είναι απαραίτητο να εξεταστεί η μορφή που εφαρμόζεται στα τρόφιμα [12]. Παρασκευάζονται συνήθως με τη μορφή εκχυλισμάτων χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες, νερό και αιθέρια έλαια. Τα φυτικά εκχυλίσματα που λαμβάνονται από δεντρολίβανο, κάστανο, φασκόμηλο, βακκίνιο, ρίγανη, σπόρους σταφυλιού και άλλα έχουν χρησιμοποιηθεί ως συντηρητικά κρέατος. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για την εφαρμογή φυτικών ουσιών σε προϊόντα κρέατος με τη μορφή αιθέριου ελαίου, επειδή η αντιβακτηριακή επίδραση του τύπου αιθέριου ελαίου είναι καλύτερη από εκείνη του τύπου εκχυλίσματος. Ωστόσο, είναι δύσκολο να εφαρμοστούν μεγάλες ποσότητες αιθέριου ελαίου στα τρόφιμα λόγω των ξεχωριστών οργανοληπτικών ιδιοτήτων του. Οι πρόσφατες εξελίξεις προσπάθησαν να λύσουν αυτό το πρόβλημα εφαρμόζοντας αιθέρια έλαια με άλλες αντιβακτηριακές ουσίες. Το πλεονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι ότι μειώνει τις ποσότητες αιθέριων ελαίων με έντονη γεύση και αυξάνει τις αντιοξειδωτικές και αντιβακτηριακές επιδράσεις μέσω συνεργιστικών επιδράσεων. Όσον αφορά τη βιομηχανική προοπτική, εάν τα συνθετικά συντηρητικά δεν μπορούν να αντικατασταθούν πλήρως με φυσικά συντηρητικά, λόγω βιομηχανικών προβλημάτων, όπως το αυξανόμενο οικονομικό κόστος ή η πολυπλοκότητα της διαδικασίας παραγωγής του προϊόντος, θα μπορούσαν να αντικατασταθούν σταδιακά με τη σύνθεση μιας μικτής σύνθεσης συνθετικών συντηρητικών και φυσικών συντηρητικών.

5. Κάπνισμα

Τα καπνιστά προϊόντα κρέατος παράγονται και καταναλώνονται σε διάφορες χώρες σε όλο τον κόσμο και η παραγωγή τους, σε συνδυασμό με τη χρήση μεθόδων αλάτισης και ξήρανσης έχει μακρά παράδοση. Χαρακτηρίζονται από χαμηλή ενεργότητα νερού (a_w) και υψηλές συγκεντρώσεις αλατιού, γεγονός που αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην ανάπτυξη μικροοργανισμών, αυξάνοντας έτσι τη διατηρησιμότητά τους (18). Ακόμα, ο καπνός μπορεί να συνεισφέρει χιλιάδες αρωματικές και αντιμικροβιακές ενώσεις όπως οργανικά οξέα (π.χ. οξικό, μυρμηκικό, βουτυρικό, ισοβουτυρικό και προπιονικό οξύ), καρβονύλια και φαινόλες (αντιοξειδωτικά), συμβάλλοντας στην πήξη των επιφανειακών πρωτεϊνών και στην αναστολή των μικροοργανισμών (17). Παρόλα αυτά, επειδή η αντιμικροβιακή δράση του καπνού περιορίζεται στα εξωτερικά στρώματα του προϊόντος, λίγα χιλιοστά από

την επιφάνειά του, συνιστάται να συνδυάζεται με άλλες μεθόδους, όπως αυτές της αλάτισης, της ξήρανσης και του μαριναρίσματος.

Η διαδικασία της κάπνισης διαχωρίζεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, την ψυχρή, τη θερμή και την ηλεκτροστατική κάπνιση. Στην περίπτωση της πρώτης, η θερμοκρασία του καπνού κυμαίνεται μεταξύ 18-20 βαθμούς Κελσίου και η σχετική υγρασία ρυθμίζεται αρχικά στο 95% και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά στο 85%, ενώ για τη δεύτερη θερμοκρασία του καπνού μέσα στον θάλαμο κάπνισης αυξάνεται σταδιακά από 30-35 σε 75-80 βαθμούς Κελσίου και η σχετική υγρασία διατηρείται πάντα μεγαλύτερη από 60%. Η ηλεκτροστατική κάπνιση αποτελεί μια ιδιαίτερη μορφή επεξεργασίας των κρεατοσκευασμάτων, στην οποία ο καπνός παράγεται με συμβατικές μεθόδους και στη συνέχεια οδηγείται σε ηλεκτρόδια που έχουν διαφορά τάσης 20-60 V. Υπό αυτές τις συνθήκες τα συστατικά του καπνού ιονίζονται και αποκτούν θετικό φορτίο, ενώ παράλληλα επικάθονται στα προϊόντα κρέατος πολύ γρήγορα, επειδή ο μυϊκός ιστός φέρει κατά κανόνα αρνητικό φορτίο (2).

5.1 Αντιμικροβιακή δράση

Οι φαινόλες υψηλού σημείου ζέσεως εμφανίζουν ισχυρή βακτηριοστατική δράση και σε συνδυασμό με άλλα συστατικά (οξικό οξύ, φορμαλδεΰδη) περιορίζουν το μικροβιακό φορτίο στην επιφάνεια του προϊόντος. Από τις φαινόλες, πιο δραστικές είναι η γουαϊακόλη και τα μεθυλο- και προπυλο- παράγωγά της, η 4-μεθυλογουαϊακόλη, η κατεχόλη, η μεθυλοκατεχόλη, η 2,6-διμεθοξυφαινόλη και η πυρογαλλόλη. Η αντιμικροβιακή δράση αυτών των ενώσεων είναι ανάλογη της συγκέντρωσής τους στο προϊόν και αποδίδεται στο γεγονός ότι παρατείνουν τη φάση προσαρμογής της βακτηριακής ανάπτυξης. Από τις καρβονυλικές ενώσεις, η φορμαλδεΰδη αποτελεί το κυριότερο συστατικό του καπνού με μικροβιοκτόνο δράση. Η αναλογία της στον καπνό είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο ατελέστερη είναι η καύση του ξύλου, συνήθως δε κυμαίνεται από 1 έως 2 g ανά m³ καπνού. Σε συγκέντρωση 40 μg ανά cm, η φορμαλδεΰδη αναστέλλει την ανάπτυξη του *C. botulinum*. Η συγκέντρωσή της στα καπνιστά προϊόντα κρέατος μπορεί να φθάσει έως και 5 mg ανά 100 g προϊόντος. Η αντιμικροβιακή δράση των καρβοξυλικών οξέων είναι μάλλον περιορισμένη και συνδέεται κυρίως με την πτώση του pH στην επιφάνεια των καπνιστών προϊόντων. Το κλάσμα των αλκοολών που περιέχεται επιπροσθέτως στον καπνό δεν παρουσιάζει αντιμικροβιακή δράση.

Σε συνθήκες ψυχρού καπνίσματος, παρατηρείται προσρόφηση αντιμικροβιακών ουσιών στην επιφάνεια, όπως φαινόλες, οξικό οξύ, φορμαλδευδη και κρεσόλη. Όταν η θερμοκρασία της διεργασίας αυτής ανεβαίνει, όπως συμβαίνει στο θερμό κάπνισμα, προκαλείται μετουσίωση των πρωτεϊνών του κρέατος, μείωση της aw και καταστροφή ορισμένων θερμοευαίσθητων μικροοργανισμών, πχ οι μικρόκοκκοι και οι σταφυλόκοκκοι (18).

5.2 Οφέλη χρήσης υγρού καπνού σε κρεατοσκευάσματα

Παρόμοια αντιμικροβιακά οφέλη έχει και ο υγρός καπνός. Ο υγρός καπνός (liquid smoke) είναι ένα φυσικό συμπύκνωμα συστατικών καπνού, που εφαρμόζεται στο προϊόν μετά την επεξεργασία στην επιφάνεια του και έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει αντιλιστερικές ιδιότητες. Σύμφωνα με πείραμα που διεξήχθη σε λουκάνικα Φρανκφούρτης (19), η ανάπτυξη της *L. monocytogenes* στους 4°C καταστέλλεται ($P < 0,05$) με την προσθήκη υγρού καπνού σε επίπεδα 2,5, 5 και 10% σε μια περίοδο 12 εβδομάδων αποθήκευσης. Τα πρότυπα ανάπτυξης έδειξαν ότι, αν και η *L. monocytogenes* προσαρμόστηκε στους 4°C, η προσθήκη 2,5% υγρού καπνού κατέστειλε την ανάπτυξη ($P < 0,05$) και επέκτεινε τη λογαριθμική φάση σε σύγκριση με 0% (μάρτυρας) για να επιτευχθεί τελική πυκνότητα κυττάρων 6,20 και 7,47 log cfu/mL ξεβγάλματος σε χαμηλό και υψηλό επίπεδο εμβολιασμένο στις 12 εβδομάδες. Ομοίως, η ανάπτυξη του *L. monocytogenes* σε λουκάνικα που έλαβαν θεραπεία με 5% υγρό καπνό καταστέλλεται περαιτέρω σε σύγκριση με 0 και 2,5% θεραπείες ($P < 0,05$) και εμφάνισε αντιμικροβιακή δράση. Παρόλα αυτά, οφείλει να σημειωθεί ότι οι μελέτες σχετικά με την αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ως συστατικού δεν είναι επαρκείς.

Με βάση τα αποτελέσματα, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι ο υγρός καπνός μπορεί να προστεθεί ως συστατικό σε κρεατοσκευάσματα για να καταστείλει την ανάπτυξη της *L. monocytogenes*. Οι εταιρείες Φρανκφούρτης που παρασκευάστηκαν με υγρό καπνό έδειξαν πολλά υποσχόμενες εφαρμογές, καθώς ήταν σε θέση να αποτρέψουν την ανάπτυξη της *L. monocytogenes* στους 4°C υπό κενό και χωρίς να επηρεάσουν ($P > 0,05$) οργανοληπτικές ιδιότητες. Ο υγρός καπνός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση για τον έλεγχο της *L. monocytogenes* σε προϊόντα RTE. Επιπλέον, η προσθήκη υγρού καπνού μπορεί να καλύψει την τρέχουσα ζήτηση των καταναλωτών για ένα φυσικό και καθαρό επισημασμένο προϊόν (19).

5.3 Αντιοξειδωτικές ιδιότητες

Το λιπιδικό κλάσμα των καπνιστών προϊόντων κρέατος είναι ανθεκτικό στην οξείδωση, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στις αντιοξειδωτικές ιδιότητες φαινολικών ενώσεων του καπνού με υψηλό σημείο ζέσεως, οι οποίες εντοπίζονται στην έμμορφη φάση. Ορισμένες από τις ενώσεις αυτές είναι πιο αποτελεσματικές από γνωστά αντιοξειδωτικά, όπως η βουτυλ-υδροξυανισόλη (BHA, E320) και το βουτυλ-υδροξυτολουόλιο (BHT, E321), όταν χρησιμοποιούνται σε παρόμοιες συγκεντρώσεις. Πιο ισχυρή αντιοξειδωτική δράση εμφανίζουν οι φαινόλες πυρογαλλόλη (CH, (OH)), ρεζορκινόλη (1,3-βενζενεδιόλη, CHO), 3-μεθυλοκατεχόλη (2,3-διυδροξυτολουόλιο, CHO₂), 4-μεθυλοκατεχόλη (3,4-διυδροξυτολουόλιο, CHO₂), κατεχόλη (1,2-διυδροξυβενζόλιο, CHO₂), υδροκινόνη (1,4-διυδροξυβενζόλιο, CH₆O₂), 1-ναφθόλη (CHO), 4-μεθυλογουαϊακόλη (2-μεθοξυ-4-μεθυλοφαινόλη, CH₁₀O₂), 4-βινυλογουαϊακόλη (2-μεθόξυ-4-βινυλοφαινόλη, C₈H₁₀O₂) και trans-4-προπενυλοσυριγκόλη (4-προπένυλο-2,6-διμεθοξυφαινόλη, CHO). Λιγότερο δραστικές εμφανίζονται οι φαινόλες γουαϊακόλη, συριγκόλη, 4-μεθυλοσυριγκόλη (2,6-διμεθοξυ-4-μεθυλοφαινόλη, C₈H₁₀O₃) και 4-βινυλοσυριγκόλη (2,6-διμεθοξυ-4-βινυλοφαινόλη, CH₂O₃). Οι φαινόλες με χαμηλό σημείο ζέσεως έχουν μικρή αντιοξειδωτική δράση (2).

6. Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία του κρέατος αποτελεί μια από τις αρχαιότερες πρακτικές και πιθανότατα συνέβη για πρώτη φορά τυχαία όταν το νωπό κρέας εκτέθηκε σε φωτιά ή / και θερμότητα.



Εικόνα 4: Θάλαμος θερμικής επεξεργασίας παραδοσιακών λουκάνικων Φρανκφούρτης

Ανεξάρτητα από την προέλευση της, όχι μόνο βελτιώνει τη γευστικότητα, αλλά και μειώνει τη συχνότητα αλλοίωσης με μερική καταστροφή βακτηρίων. Έτσι, το μαγείρεμα του κρέατος βελτιώνει τις ιδιότητες διατήρησης και παρατείνει τη διάρκεια αποθήκευσης. Η θερμική επεξεργασία συμβάλλει στη σταθερότητα των προϊόντων κρέατος, αλλά διαδραματίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην παροχή ποικιλίας προϊόντων κρέατος, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την τροποποίηση των διαδικασιών μαγειρέματος. Η θερμική επεξεργασία έχει τις ακόλουθες επιδράσεις στο κρέας και στα προϊόντα με βάση το κρέας (20):

1. καταστρέφει σημαντικό αριθμό μικροοργανισμών και βελτιώνει τη διάρκεια αποθήκευσης των προϊόντων κρέατος, εάν δεν έχει μολυνθεί μετά την επεξεργασία
2. βελτιώνει τη γευστικότητα του κρέατος εντείνοντας τη γεύση και αλλοιώνοντας την υφή
3. αναπτύσσει το χρώμα
4. μειώνει την περιεκτικότητα σε νερό του κρέατος, ειδικά στην επιφάνεια, η οποία με τη σειρά της μειώνει τη δραστηριότητα του νερού και βελτιώνει την ευκολία αποφλοίωσης των περιβλημάτων στα προϊόντα αλλαντικών και παρατείνει τη διάρκεια ζωής τους

5. τροποποιεί την υφή ή την τρυφερότητα του κρέατος και των προϊόντων με βάση το κρέας
6. πήζει και μετουσιώνει τις πρωτεΐνες του κρέατος, αλλοιώνοντας ταυτόχρονα τη διαλυτότητά τους και σταθεροποιώντας το χρώμα του αλλαντικού
7. αδρανοποιεί τα ενδογενή πρωτεολυτικά ένζυμα και αποτρέπει την ανάπτυξη γεύσεων λόγω πρωτεόλυσης

6.1 Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας

Οι συμβατικές μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας που χρησιμοποιούνται για νωπό ή επεξεργασμένο κρέας μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες:

Μαγείρεμα σε ξηρή θερμότητα

Το μαγείρεμα γίνεται από τον θερμό αέρα που περιβάλλει το κρέας, κυρίως χρησιμοποιώντας φούρνο ζεστού αέρα. Το ψήσιμο σε φούρνο ή τηγάνι είναι μαγείρεμα ξηρής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ζεστού αέρα στο φούρνο. Το τηγάνισμα λαδιού ή το τηγάνισμα θεωρούνται επίσης ξηρό μαγείρεμα. Το ξηρό μαγείρεμα είναι κατάλληλο για τρυφερά κομμάτια κρέας και βρώσιμα υποπροϊόντα. Το ξηρό μαγείρεμα χρησιμοποιείται και σε καπνιστήρια.

Μαγείρεμα με υγρή θερμότητα

Αυτό συνιστάται για σκληρό κρέας με περισσότερο συνδετικό ιστό. Η παρουσία νερού διευκολύνει την υδρόλυση του κολλαγόνου. Το υγρό μαγείρεμα πρέπει να γίνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε χαμηλότερη θερμοκρασία για μετατροπή κολλαγόνου σε ζελατίνη. Ως εκ τούτου, το μαγείρεμα πραγματοποιείται με θερμότητα που μεταφέρεται μέσω νερού ή ρεύματος.

Συνδυασμένη θερμική επεξεργασία

Πρακτικά, πολλές πρακτικές θερμικής επεξεργασίας είναι συνδυασμός ξηρής και υγρής θέρμανσης. Ένα τέτοιο μαγείρεμα μπορεί να έχει πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων. Το ψήσιμο είναι μια πρακτική συνδυαστικής θερμικής επεξεργασίας (21).

6.2 Καταστροφή βακτηρίων και βελτίωση της σταθερότητας

Το μαγείρεμα εκτελεί μια πολύ σημαντική λειτουργία προκαλώντας καταστροφή αλλοιώσεων και παθογόνων οργανισμών. Ο αριθμός των οργανισμών που καταστρέφονται εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία μαγειρεύεται το προϊόν,

πόσο καιρό διατηρείται το προϊόν σε αυτή τη θερμοκρασία και τον τύπο των βακτηρίων στο προϊόν. Το κρέας δεν αποστειρώνεται κανονικές συνθήκες μαγειρέματος, και το καθαρό αποτέλεσμα είναι απλώς μια μείωση του συνολικού βακτηριακού φορτίου και μια επέκταση της διάρκειας αποθήκευσης. Με σωστό χειρισμό για να αποφευχθεί η επαναμόλυνση του προϊόντος, μαζί με ψύξη για να επιβραδύνει τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων και η διάρκεια αποθήκευσης παρατείνεται. Η διάρκεια αποθήκευσης θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από τη φροντίδα που λαμβάνεται για την πρόληψη της επαναμόλυνσης και την ελαχιστοποίηση των ευνοϊκών συνθηκών για την ανάπτυξη των οργανισμών που εξακολουθούν να υπάρχουν στο κρέας. Διαφορετικά παθογόνα μπορεί να είναι ένα πρόβλημα. Η *Listeria monocytogenes* είναι το σημερινό επίκεντρο πολλών ερευνών σχετικά με τα έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα κρέατος. Τα βακτήρια δεν είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη θερμότητα, αλλά όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες. Εάν ένα έτοιμο προς κατανάλωση προϊόν μολυνθεί με *Listeria* μετά την επεξεργασία, κατά τη διάρκεια της συσκευασίας ή του τεμαχισμού και δεν χρησιμοποιούνται επεξεργασίες μετά τη συσκευασία για την καταστροφή των βακτηρίων, αυτό μπορεί να είναι ένα πρόβλημα.

Πολλές ανακλήσεις έχουν πραγματοποιηθεί λόγω αυτού του παθογόνου. Πρέπει να τηρούνται ειδικές εσωτερικές θερμοκρασίες των μαγειρεμένων προϊόντων για τον έλεγχο άλλων παθογόνων όπως *Salmonella* spp., *Campylobacter jejuni* και *Escherichia coli* (20). Οι συνδυασμοί χρόνου και θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο διαφορετικών παθογόνων παραγόντων. Στην παρασκευή καπνιστών κρεάτων. Το μαγείρεμα γίνεται κυρίως για την παραγωγή ενός επιτραπέζιου έτοιμου προϊόντος. Ωστόσο, το μαγείρεμα παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην παράταση της διάρκειας ζωής τέτοιων προϊόντων. Αν και το ωμό κρέας υπόκειται σε αλλοίωση μέσα σε λίγες ημέρες, τα τελικά ωριμασμένα προϊόντα κρέατος μπορούν κανονικά να αποθηκευτούν για αρκετές εβδομάδες μετά το μαγείρεμα, με σωστή συσκευασία και ψύξη.

6.3 Επιφανειακή ξήρανση

Η μείωση της υγρασίας στην επιφάνεια του κρέατος και των προϊόντων κρέατος εξυπηρετεί διάφορους σκοπούς.

Η μείωση της επιφανειακής υγρασίας μειώνει τη δραστηριότητα του νερού στην επιφάνεια και έτσι μειώνει την ανάπτυξη μικροβίων. Η μειωμένη επιφανειακή υγρασία παίζει βασικό ρόλο στην πρόληψη όχι μόνο της ανάπτυξης του επιζώντος βακτηρίου, αλλά και της ανάπτυξης οποιωνδήποτε βακτηρίων που μπορεί να επαναμολύνουν την επιφάνεια του προϊόντος (20).

6.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την καταστροφή των μικροοργανισμών

Το μαγείρεμα μειώνει σημαντικά το μικροβιακό φορτίο στο κρέας, καθώς οι περισσότεροι από τους αλλοιωμένους και παθογόνους οργανισμούς είναι ευαίσθητοι στη θερμότητα. Το μαγείρεμα μειώνει επίσης την ανάπτυξη βακτηρίων μειώνοντας τη δραστηριότητα του νερού. Η θέρμανση σκοτώνει τα βακτήρια με αδρανοποίηση ενζύμων, μετουσίωση πρωτεϊνών και αυξημένη διαπερατότητα της μεμβράνης. Η επίδραση της θέρμανσης στα βακτήρια εξαρτάται από την αντοχή τους στη θερμότητα, το περιβάλλον και το είδος των βακτηρίων.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την επίδραση της θέρμανσης στους μικροοργανισμούς (21) είναι:

- i. Συγκέντρωση κυττάρων - περισσότερο σπόριο/κύτταρο περισσότερη αντίσταση
- ii. Τα θετικά κατά Gram βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά από τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια
- iii. Τα σπορογόνα βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά από τους μη σπορογόνα, καθώς τα βακτηριακά σπόρια μπορούν να επιβιώσουν στους 120°C
- iv. Τα βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα στη λογαριθμική φάση ανάπτυξης
- v. Οι ζυμομύκητες και τα καλούπια είναι γενικά πιο ευαίσθητα στη θερμότητα από τα βακτήρια
- vi. Τα ανώριμα σπόρια είναι λιγότερο ευαίσθητα. Η απόδοση της θέρμανσης εξαρτάται επίσης από το ιστορικό θερμοκρασίας των βακτηρίων και το ρυθμό θέρμανσης
- vii. Η σύνθεση του μέσου έχει μεγάλη επίδραση στην αντοχή στη θερμότητα
- viii. Η υγρή θερμότητα είναι πιο αποτελεσματική από την ξηρή θερμότητα
- ix. Οι μικροοργανισμοί είναι πιο ανθεκτικοί στη θερμότητα σε ουδέτερο pH.

Οι πρωτεΐνες θερμικού σοκ σχηματίζονται όταν τα βακτήρια εκτίθενται σε υψηλή θερμοκρασία. Αυτές οι πρωτεΐνες τείνουν να μειώνουν ή να αποτρέπουν τη μετουσίωση της πρωτεΐνης από τη θερμότητα. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να βοηθήσουν στην απόφαση του προγράμματος θερμικής επεξεργασίας για τη θανάτωση παθογόνων παραγόντων.

Τα σπόρια που σχηματίζονται από αναερόβια βακτήρια των γενών *Bacillus* και *Clostridium* είναι ανθεκτικά στη θερμότητα. Αυτά τα σπόρια μπορεί να επιβιώσουν σε ανεπαρκή θερμική επεξεργασία και να προκαλέσουν αλλοίωση του κονσερβοποιημένου κρέατος. Αυτή η αντίσταση εξαρτάται από τη συγκέντρωση και το περιβάλλον στο οποίο τα σπόρια έχουν αυξηθεί. Το κρέας, τα ψάρια και τα πουλερικά ταξινομούνται ως τρόφιμα χαμηλής οξύτητας με εύρος pH από 5 έως 6,8. Οι κοινοί οργανισμοί αλλοίωσης σε αυτή την ομάδα τροφίμων είναι *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Micrococci* κλπ. Το *Clostridium botulinum* είναι ένα από τα πιο ανθεκτικά στη θερμότητα βακτήρια που αναμένονται στα τρόφιμα. Ωστόσο, το *B. stearothermophilus* είναι πιο ανθεκτικό στη θερμότητα από το *C. botulinum*. Η αντοχή στη θερμότητα ποικίλλει μεταξύ διαφορετικών οργανισμών (24).

7. Κονσερβοποίηση

Η διαδικασία συντήρησης τροφίμων σε γυάλινα βάζα εφευρέθηκε από τον Nicolas Appert το 1809 ως απάντηση σε μια πρόκληση από τον Ναπολέοντα να βρει έναν τρόπο να τροφοδοτήσει τον στρατό του. Καθώς το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των στρατών αυξανόταν, γινόταν πιο δύσκολο να παρέχεται τροφή όταν ο στρατός ήταν εν κινήσει.

Όταν ο Appert ανακάλυψε για πρώτη φορά τη διαδικασία κονσερβοποίησης, δεν είχε καμία γνώση της επιστήμης της βακτηριολογίας ή της αποσύνθεσης των τροφίμων. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 14 ετών πειραματισμού χρησιμοποιώντας δοκιμές και λάθη, ανακάλυψε ότι τα τρόφιμα που θερμαίνονται σε θερμοκρασίες άνω των 212 βαθμών και κλιμακώνονται σε γυάλινα μπουκάλια θα μπορούσαν να διατηρηθούν ασφαλή για ανθρώπινη κατανάλωση για μεγάλες χρονικές περιόδους. Ο Appert προτιμούσε τη χρήση γυάλινων μπουκαλιών για τη συντήρηση των τροφίμων. Δεδομένου ότι η διαδικασία συντήρησης που ανακαλύφθηκε ήταν αρχικά ως απάντηση σε μια ανάγκη να τροφοδοτήσουν τα στρατεύματα σε μακρά εκστρατεία, τα γυάλινα μπουκάλια παρουσίασαν πρόβλημα λόγω του κινδύνου θραύσης κατά τη μεταφορά. Μέχρι το 1822, ο Appert είχε ανακαλύψει πώς να αποθηκεύει διατηρημένα τρόφιμα σε κονσέρβες από επικασσιτερωμένο χάλυβα, λύνοντας το πρόβλημα της απώλειας τροφίμων κατά τη μεταφορά μεγάλων αποστάσεων. Με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία αναπτύχθηκε για τη μαζική παραγωγή διατηρημένων τροφίμων σε μεταλλικά δοχεία. Από εκεί προήλθε η λέξη "κονσερβοποίηση".

Ο κύριος λόγος για την κονσερβοποίηση κρεατοσκευασμάτων είναι η παροχή ασφαλών προϊόντων που έχουν επιθυμητή γεύση, υφή και εμφάνιση. Η επιτυχής παραγωγή εμπορικά αποστειρωμένων κονσερβοποιημένων προϊόντων κρέατος έχει ως αποτέλεσμα όλοι οι βιώσιμοι μικροοργανισμοί είτε να καταστραφούν είτε να καταστούν αδρανείς, ενώ ταυτόχρονα αδρανοποιεί τα ένζυμα που βρίσκονται στο κρέας (22).

Διαφορετικά είδη κρεατοσκευασμάτων απαιτούν συγκεκριμένες μεθόδους παρασκευής ανάλογα με τη χημική σύνθεση του συγκεκριμένου εμπορεύματος. Τα εμπορικά αποστειρωμένα κονσερβοποιημένα προϊόντα κρέατος γενικά φτάνουν σε εσωτερική θερμοκρασία τουλάχιστον 107 ° C, αλλά αυτή η θερμοκρασία μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο 101 ° C, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλάτι και νιτρώδη

άλατα. Αυτή η σοβαρή θερμική επεξεργασία μπορεί να οδηγήσει σε αισθητές αλλαγές στη γεύση, την υφή και στο χρώμα. Οι φυσικές καθώς και οι χημικές αλλαγές είναι λειτουργίες τόσο του χρόνου, όσο και της θερμοκρασίας στην οποία υποβάλλεται το κρέας.

Ανάλογα με τύπο του προϊόντος και τη προβλεπόμενη μέθοδο συντήρησής του, οι κονσέρβες κρεάτων υφίστανται μία από τις τρεις παρακάτω διαδικασίες:

7.1 Παστερίωση

Η παστερίωση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να αναφερθεί σε μια ήπια διαδικασία θέρμανσης, συνήθως σε λιγότερο από 100 βαθμούς Κελσίου. Με τον ορισμό, ο όρος υποδηλώνει ότι το προϊόν δεν είναι αποστειρωμένο και επομένως εξακολουθεί να φιλοξενεί μικροοργανισμούς. Κατά συνέπεια, τα παστεριωμένα προϊόντα πρέπει να ψύχονται συνεχώς, έτσι ώστε οι μικροοργανισμοί που επιβιώνουν να πολλαπλασιάζονται αργά, αν όχι καθόλου, και έτσι να επιτύχουν μια αποδεκτή διάρκεια ζωής. Αυτό δείχνει λιγότερο σοβαρή θερμική επεξεργασία, γενικά κάτω από το σημείο βρασμού.

Η παστερίωση έχει σχεδιαστεί κυρίως για να καταστρέψει τα παθογόνα και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής, αποτρέποντας τη μικροβιακή αλλοίωση. Τα παστεριωμένα προϊόντα εξακολουθούν να περιέχουν ζωντανό οργανισμό ικανό για ανάπτυξη. Όλα τα παθογόνα σκοτώνονται, αλλά θερμοφιλοι και σπορογόνοι μικροοργανισμοί μπορεί να επιβιώσουν. Ωστόσο, το προϊόν είναι ασφαλές στο ψυγείο και μπορεί να παραμείνει πολύ καιρό αφού τα σπόρια δεν μπορούν να βλαστήσουν.

Τα παστεριωμένα κρέατα θεωρούνται επίσης μερικές φορές ως ημιδιατηρημένα κρέατα, επειδή δεν είναι σταθερά στο ράφι για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς αποθήκευση στο ψυγείο. Αυτή η σύσταση συχνά αγνοείται από την ιδέα ότι όλα τα κονσερβοποιημένα προϊόντα κρέατος είναι στείρα. Ωστόσο, τα παστεριωμένα αλλαντικά είναι συγκριτικά ανθεκτικά στην αλλοίωση λόγω του παράγοντα *perigo*. Αυτή είναι μια άγνωστη ουσία που παράγεται από την αντίδραση νιτροδών με το μέσο όταν τα αλλαντικά θερμαίνονται για παστερίωση, γεγονός που αναστέλλει την ανάπτυξη των *Clostridia*, των κύριων οργανισμών αλλοίωσης στο κονσερβοποιημένο κρέας. Η παστερίωση ως θερμική επεξεργασία χαμηλής θερμοκρασίας είναι κατάλληλη για χοιρινό κρέας, λόγω της μεγαλύτερης ευαισθησίας του σε θερμική βλάβη από άλλα κρέατα (23).

7.2 Αποστείρωση

Η αποστείρωση σημαίνει πλήρη καταστροφή μικροοργανισμών, η οποία είναι αποτέλεσμα θερμικής επεξεργασίας στους 121°C για 15 λεπτά ή το ισοδύναμό της. Μέσω αυτής της μεθόδου, τα προϊόντα είναι σταθερά πάνω από ένα έτος σε θερμοκρασία δωματίου. Η μεταφορά θερμότητας μέσω της τροφής στο δοχείο είναι αργή, επομένως για να επιτευχθεί πραγματική στειρότητα μπορεί να χρειαστούν αρκετές ώρες. Η αποστείρωση του κρέατος γίνεται σε κατάσταση που είναι αρκετή για να σκοτώσει όλα τα μικρόβια και τα σπόρια και η απόδοση επεξεργασίας θερμότητας μετράται από την επιβίωση του σπορίου *Clostridium botulinum*. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία, απαιτείται ατμοαντιδραστήρας με ελεγχόμενη πίεση και γνώση της αντοχής στη θερμότητα των βακτηριακών σπορίων. Η πλήρης στειρότητα συνήθως δεν επιτυγχάνεται στην κονσερβοποίηση κρέατος, επειδή χρειάζεται πολύ υψηλή θέρμανση, η οποία καταστρέφει την ποιότητα κατανάλωσης του κρέατος. Λόγω της υψηλής θέρμανσης, η γευστικότητα του κρέατος μειώνεται και τροποποιείται η υφή. Η ποιότητα του ωμού κρέατος παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των κονσερβοποιημένων προϊόντων κρέατος (23).

7.3 Εμπορική αποστείρωση

Η «εμπορική αποστείρωση» είναι μια πρακτική στη βιομηχανία κονσερβοποίησης, όπου η θέρμανση αρκεί μόνο για να σκοτώσει τα βακτήρια που δεν προκαλούν σπόρια. Στην εμπορική πρακτική κονσερβοποίησης δεν επιτυγχάνεται πλήρης στειρότητα. Ορισμένα βακτήρια μπορούν να σχηματίσουν σπόρια, τα οποία χρειάζονται πολύ σοβαρή θέρμανση για να θανατωθούν, αλλά αυτή η θέρμανση μειώνει την ποιότητα κατανάλωσης του κρέατος. Πρακτικά είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί πλήρης στειρότητα χωρίς να καταστραφεί η ποιότητα του προϊόντος. Ως εκ τούτου, αναπτύσσεται μια σχετικά ήπια διαδικασία που συχνά ονομάζεται "εμπορική αποστείρωση", που εξασφαλίζει σταθερότητα στο ράφι για μεγάλο χρονικό διάστημα σε θερμοκρασία δωματίου. Για «εμπορική αποστείρωση» τα δοχεία επεξεργάζονται στους 100-107°C. Στα εμπορικά αποστειρωμένα κονσερβοποιημένα προϊόντα κρέατος όλοι οι οργανισμοί καταστρέφονται ή αδρανοποιούνται. Αυτό σημαίνει βαθμό αποστείρωσης κατά τον οποίο καταστρέφονται όλοι οι παθογόνοι και τοξινικοί οργανισμοί και όλοι οι άλλοι οργανισμοί αλλοίωσης. Αυτό το είδος προϊόντος μπορεί να περιέχει μερικούς αριθμούς ανθεκτικών στη θερμότητα σπορίων, αλλά κανονικά

δεν θα πολλαπλασιαστούν. Σε ανοιχτό βραστήρα χρειάζεται πολύς χρόνος για "εμπορική αποστείρωση». Τα εμπορικά αποστειρωμένα προϊόντα κρέατος έχουν διάρκεια ζωής δύο ετών ή περισσότερο. Τρόφιμα χαμηλής οξύτητας, όπως το κρέας, με pH πάνω από 4,6 μπορούν να αλλοιωθούν από πολλά μεσόφιλα και θερμοφιλα βακτήρια και απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία για να καταστούν εμπορικά αποστειρωμένα.

Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με αγωγιμότητα και μεταφορά. Στην περίπτωση στερεού κρέατος όπως το ζαμπόν, η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγιμότητα και αργή διαδικασία. Ωστόσο, σε χαλαρά συσκευασμένα κομμάτια με υγρό ή σάλτσα, η μεταφορά θερμότητας γίνεται με μεταφορά, η οποία είναι ταχύτερη (23).

7.4 Καταστροφή μικροοργανισμών

Το κρέας, όντας τροφή χαμηλής οξύτητας, χρειάζεται περισσότερο χρόνο ή θερμοκρασία για την αποτελεσματική θανάτωση των βακτηρίων. Η εμπορική αποστείρωση ενός προϊόντος επιτυγχάνεται με θέρμανση στους 121°C σε πίεση 15lbs για 15 λεπτά. Η ασφάλεια και σταθερότητα κονσερβοποιημένων αλλαντικών ανθεκτικών στο ράφι είναι αποτέλεσμα των συγκεντρώσεων αλάτων (NaCl) και νιτρωδών και της θερμικής διαδικασίας. Σε σύγκριση με τα κονσερβοποιημένα προϊόντα, των οποίων η ασφάλεια εξαρτάται μόνο από τη θερμική επεξεργασία (γενικά αναφέρεται ως "κονσερβοποιημένα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας"), η θερμοδιαδικασία για το SSCCM είναι σχετικά ήπια και επιτρέπει την επιβίωση σημαντικού αριθμού βακτηριακών σπορίων. Αυτοί με τη σειρά του πρέπει να αναστέλλονται επαρκώς από την ανάπτυξη με το συνδυασμό άλατος/νιτρωδών. Η αποτελεσματικότητα αυτού του συνδυασμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προηγούμενη θερμική διαδικασία (25).

Προκειμένου το SSCCM να επιτύχει τον ίδιο βαθμό ασφάλειας με τα κονσερβοποιημένα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας, η διαφορά στην καταστροφή των σπορίων πρέπει να αντισταθμίζεται πλήρως από την αναστολή. Για κονσερβοποιημένα τρόφιμα χαμηλής οξύτητας, ασφάλεια από την επιβίωση και η ανάπτυξη του *C. botulinum* θεωρείται εγγυημένη με την εφαρμογή του "botulinum cook" που είναι η θερμική διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή ενός υποθετικού αριθμού σπόρων 10¹² *C. botulinum*. Αυτή η διαδικασία, γνωστή και ως

θεραπεία 12D, ολοκληρώνεται μετά από περίπου 2,4 λεπτά στους 121 ° C (250 ° F). Επειδή η καταστροφή των σπορίων προχωρά κατά μήκος μιας λογαριθμικής ευθείας γραμμής (όπως μια χημική αντίδραση πρώτης τάξης), ο χρόνος που απαιτείται για μια καταστροφή 1 D (90%) στους 121°C είναι 0,2 λεπτά ($D_{121} = 0.2$ λεπτά). Η αποτελεσματικότητα της θερμικής διεργασίας πάνω ή κάτω από τους 121°C διέπεται από την τιμή z (γενικά 10°C για σπόρια *C. botulinum*), που είναι το διάστημα θερμοκρασίας που προκαλεί δεκαπλάσια αύξηση ή μείωση του ρυθμού καταστροφής σπορίων, π.χ. $D_{131} = 0,02$ min (24).

8. Ξήρανση

Γενικά, η ξήρανση είναι η μείωση του a_w των ευπαθών προϊόντων, όπως τα κρεατοσκευάσματα, που επιτυγχάνεται με την αφαίρεση νερού, η οποία περιορίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών. Είναι μια πολύπλοκη λειτουργία που περιλαμβάνει παροδική μεταφορά θερμότητας και μάζας μαζί με φυσικούς μετασχηματισμούς όπως συρρίκνωση, διόγκωση, κρυστάλλωση ή μετάβαση γυαλιού και χημικές ή βιοχημικές αντιδράσεις που προκαλούν αλλαγές στο χρώμα, την υφή και την οσμή. Η εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του υλικού τροφίμων πραγματοποιείται σε οποιαδήποτε θερμοκρασία, αλλά σε υψηλότερη θερμοκρασία, ο ρυθμός ξήρανσης είναι υψηλότερος, ειδικά στην αρχή της διαδικασίας. Η ξήρανση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία έχει ως αποτέλεσμα ένα ακατάλληλα αποξηραμένο προϊόν λόγω της επίδρασης σκλήρυνσης της θήκης. Παρ' όλα αυτά, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος και τα χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος είναι επίσης σημαντικά (27).

Το αποξηραμένο κρέας και τα προϊόντα κρέατος μπορούν να οριστούν ως ολόκληροι μύες ή αλεσμένα και σχηματισμένα προϊόντα κρέατος που έχουν υποβληθεί σε αφυδάτωση, με αποτέλεσμα μοναδικές οργανοληπτικές ιδιότητες και αυξημένη σταθερότητα. Τα πιο συνηθισμένα αποξηραμένα στον αέρα προϊόντα περιλαμβάνουν ωριμασμένα ζαμπόν, biltong (Νότια Αφρική), pastirma (Τουρκία), bundner fleisch (Ελβετία), βόειο κρέας jerky (ΗΠΑ), rougan και shafu (PR Κίνα) κ.λπ. Το Jerky ταξινομείται από το U.S. D.A. ως θερμικά επεξεργασμένο και σταθερό στο ράφι έτοιμο προς κατανάλωση προϊόν κρέατος με a_w 0,85 και αναλογία υγρασίας προς πρωτεΐνη 0,75:1. Το Kilishiis είναι ένα προϊόν κρέατος ενδιάμεσης υγρασίας των τροπικών που παρασκευάζεται από λιαστό άπαχο βόειο κρέας εγχυμένο με μπαχαρικά

και απολιπανθείσα πάστα αραχίδας. Είναι ένα πλούσιο θρεπτικό σνακ με παρατεταμένη διάρκεια ζωής σε θερμοκρασία δωματίου για αρκετούς μήνες.



Εικόνα 5: Beef jerky (αποξηραμένο προϊόν από μοσχάρι)

Οι διαδικασίες προξήρανσης όπως η θέρμανση, το μαγείρεμα, η κατάψυξη και η απόψυξη συμβάλλουν στη μείωση της εσωτερικής αντίστασης στη μεταφορά μάζας. Το μαγείρεμα προκαλεί μετουσίωση πρωτεϊνών με αποτέλεσμα την ευκολότερη κίνηση του νερού και τεράστιες απώλειες νερού από τα κελύφη ενυδάτωσης. Η ξήρανση είναι μια ενεργοβόρα διαδικασία συντήρησης τροφίμων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι στεγνωτηρίων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων:

Οι ξηραντήρες πρώτης γενιάς αποτελούνται από στεγνωτήρια τύπου ντουλαπιού και κρεβατιού (π.χ. κλίβανος, δίσκος, δίσκος φορτηγού, τούνελ και περιστροφικοί ξηραντήρες) χρησιμοποιούν ζεστό αέρα, κατάλληλο για φρούτα, λαχανικά, τεμαχισμένα προϊόντα κ.λπ.

Οι ξηραντήρες δεύτερης γενιάς περιλαμβάνουν ξηραντήρες ψεκασμού και τυμπάνου, που προορίζονται για αφυδατωμένες σκόνες και νιφάδες. Οι ξηραντήρες τρίτης γενιάς περιλαμβάνουν λυοφιλιωτικούς και οσμωτικούς ξηραντήρες που χρησιμοποιούνται για πλάσμα και βιολογικά προϊόντα.

Η τεχνολογία αφυδάτωσης τέταρτης γενιάς περιλαμβάνει υψηλό κενό, ρευστοποίηση και χρήση μικροκυμάτων, ραδιοσυχνότητας, παραθύρου διάθλασης και προσέγγισης εμποδίων που αντιπροσωπεύει τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της επεξεργασίας τροφίμων. κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ξήρανση των τροφίμων επιτυγχάνεται μέσω διαφορετικών τεχνικών, όπως η χρήση πηγών θερμότητας ή πίεσης για την απομάκρυνση του νερού από το εσωτερικό του προϊόντος και της μηχανικής ενέργειας για την απομάκρυνση του νερού από την επιφάνειά του (μεταφορά, στάγδην κ.λπ.) (28).

8.1 Δραστηριότητα νερού (aw)

Το νερό στα τρόφιμα, η θέση και η διαθεσιμότητά του, είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιακή ανάπτυξη και την ενζυματική δραστηριότητα. Η κατάσταση του νερού στα τρόφιμα εκφράζεται από τον συντελεστή δραστηριότητάς του, ένα μέτρο του θερμοδυναμικού χημικού δυναμικού του νερού στο σύστημα. Ο συντελεστής ενεργότητας ή ενεργότητα νερού (aw) εκφράζεται ως ο λόγος της τάσης ατμών του νερού στα τρόφιμα (p) προς την τάση ατμών καθαρού νερού (p₀) στην ίδια θερμοκρασία. Τα αποξηραμένα προϊόντα έχουν συνήθως aw κάτω από 0,7. Όσο χαμηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε νερό, μικρότερη είναι η δραστηριότητα του νερού, αλλά η περιεκτικότητα σε νερό και aw δεν είναι ευθέως ανάλογη. Η προσθήκη χλωριούχου νατρίου όχι μόνο βοηθά στην ξήρανση αλλά και καταστέλλει το επίπεδο aw των τροφίμων. Το ενεργό νερό θα μπορούσε να είναι πιο σημαντικό για τη σταθερότητα των τροφίμων από τη συνολική ποσότητα νερού που υπάρχει. Η οξείδωση των λιπιδίων είναι υψηλότερη σε πολύ υψηλές και πολύ χαμηλές δραστηριότητες νερού, επειδή υπάρχει αυξημένη κίνηση των προ-οξειδωτικών στην πρώτη και η οξείδωση αυξάνεται στην τελευταία περίπτωση. Το νερό αναστέλλει την αρχική οξείδωση των λιπιδίων, αλλά προάγει τη δευτερογενή αντίδραση των προϊόντων αποικοδόμησης λιπιδίων με πρωτεΐνη στην αύξηση aw (28).

8.2 Ωφέλιμη δράση μπαχαρικών

Το μπαχαρικό είναι οποιαδήποτε αρωματική φυτική ουσία που χρησιμοποιείται στο σύνολό της, σπασμένη ή αλεσμένη μορφή κυρίως για να καρυκεύσει τα τρόφιμα και όχι για να συνεισφέρει θρεπτικά συστατικά. Το μείγμα μπαχαρικών μειώνει σημαντικά την τιμή θειοβαρβιτουρικού οξέος (TBA) σε προμαγειρεμένα αφυδατωμένα προϊόντα κρέατος. Εκτός από τις αρωματικές τους επιδράσεις,

ορισμένες έχουν αντιμικροβιακές επιδράσεις σε παθογόνα φυτών και ανθρώπων. Μπορεί επίσης να βελτιώσει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων διατροφής φυσικά και με ασφάλεια. Το καρύκευμα είναι το αποξηραμένο πράσινο κάρυ όπως το σκόρδο, το τζίντζερ και το κρεμμύδι βοηθούν στη βελτίωση της γεύσης του αποξηραμένου κρέατος και των προϊόντων κρέατος. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η αντιμικροβιακή δράση του σκόρδου και των οργανοθειούχων ενώσεων που προέρχονται από το σκόρδο διερευνήθηκε ευρέως τόσο έναντι βακτηρίων αλλοίωσης τροφίμων όσο και παθογόνων που μεταδίδονται με τρόφιμα. Εκτός από την αντιμικροβιακή του δράση, το σκόρδο έδειξε επίσης αποτελεσματική αντιοξειδωτική δράση τόσο *in vivo* όσο και *in vitro*. Εκτός από αντιβακτηριακό, αντικό, αντιμυκητιασικό και αντιπρωτοζωικό, έχει επίσης ευεργετικές επιδράσεις στο καρδιαγγειακό και ανοσοποιητικό σύστημα (28).

8.3 Συντηρητική δράση του αλάτος

Το χλωριούχο νάτριο (NaCl) είναι ένα βασικό συστατικό που παρέχει μια σειρά από διαφορετικά χαρακτηριστικά και έχει χρησιμοποιηθεί ως συντηρητικό για την πρόληψη της αλλοίωσης και την αύξηση της διάρκειας ζωής του επεξεργασμένου κρέατος, εκτός από την παροχή χαρακτηριστικής γεύσης, χρώματος και τρυφερότητας. Η κύρια λειτουργία του αλατιού είναι να δεσμεύει τα μόρια του νερού και να μειώνει τη δραστηριότητα του νερού (a_w) του προϊόντος προκαλώντας αφυδάτωση. Ένα υψηλό επίπεδο αλατότητας μπορεί να επηρεάσει τις συνθήκες υπό τις οποίες μπορούν να επιβιώσουν τα παθογόνα. Το αλάτι που προστίθεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας επηρεάζει την αλλαγή της ικανότητας του άπαχου κρέατος να συγκρατεί νερό. Η προσθήκη κοινού αλατιού στα επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος επηρεάζει όχι μόνο τη γεύση αλλά και τη δέσμευση και τη συντήρηση, αυξάνοντας έτσι τη διατηρησιμότητα των κρεατοσκευασμάτων (28).

8.4 Μέθοδοι ξήρανσης

8.4.1 Ξήρανση σε ρεύμα αέρα/στον ήλιο

Η ξήρανση στον ήλιο είναι η παλαιότερη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος ξήρανσης από πολλούς αγρότες τα τελευταία χρόνια. Είναι μια μακρύτερη διαδικασία και εκθέτει το κρέας σε εκτεταμένη μόλυνση από μικροοργανισμούς. Αυτή η μόλυνση μπορεί να αποφευχθεί με ξήρανση του κρέατος σε μηχανικούς ξηραντήρες. Τα αποξηραμένα στον ήλιο δείγματα έχουν υψηλότερες λειτουργικές ιδιότητες, επίπεδο αποδοχής, πρωτεΐνες και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά σε σύγκριση

με τα δείγματα που έχουν αποξηραθεί σε φούρνο. Συνιστάται η ξήρανση των δειγμάτων κρέατος στον ήλιο, υπό τον όρο ότι γίνεται υπό συνθήκες υγιεινής. Οι συνδυασμοί χλωριούχου νατρίου και υποανασταλτικών επιπέδων αντιμικροβιακών παραγόντων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στον έλεγχο/αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης στον ήλιο. Οι πρόσφατες προσπάθειες για τη βελτίωση της ξήρανσης στον ήλιο έχουν οδηγήσει σε ηλιακή ξήρανση. Χρησιμοποιεί τον ήλιο ως πηγή θέρμανσης, αλλά ο ειδικά σχεδιασμένος αφυγραντήρας αυξάνει τη θερμοκρασία και το ρεύμα αέρα για να επιταχύνει το χρόνο στεγνώματος. Η συμβατική διαδικασία ξήρανσης των τροφίμων χρησιμοποιείται εκτενώς ως τεχνική συντήρησης, αλλά η ξήρανση σε φούρνο είναι η απλούστερη και ταχύτερη από την ξήρανση στον ήλιο. Η ηλιακή ξήρανση θεωρείται ως η καλύτερη λόγω του χαμηλού κόστους και του μικρότερου αριθμού μικροοργανισμών σε σύγκριση με τη διαδικασία ξήρανσης φούρνου.

Η ξήρανση με μεταφορά θερμού αέρα είναι μια διαδικασία όπου η ξήρανση είναι επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία θερμού αέρα σε κλειστά ερμάρια. Σε αυτή τη διαδικασία, η θερμότητα μεταφέρεται από τον θερμό αέρα στη στερεά επιφάνεια η οποία μεταφέρεται έτσι από την επιφάνεια στο εσωτερικό με αγωγιμότητα και η συρρίκνωση είναι υπερβολική, περίπου 80%.

Σε μελέτες που έγιναν σε beef jerky με σημείο ενδιαφέροντος τα μικροβιολογικά, χημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του *Stizostedion lucioiperca* που αποξηραίνεται στον ήλιο και στους ξηραντήρες θερμού αέρα, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές pH των δειγμάτων που στεγνώθηκαν στον ήλιο ήταν χαμηλότερες, ο συνολικός αριθμός ψυχρόφιλων βακτηρίων (TPB) και ζυμομυκήτων των δειγμάτων που ξηράνθηκαν στους 65 ° C και ο υψηλός ρυθμός ροής αέρα ήταν οι χαμηλότεροι και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων που στεγνώθηκαν στους 55 ° C και ο υψηλός ρυθμός ροής αέρα είχαν τα υψηλότερα σημεία.

8.4.2 Ξήρανση υπό κενό

Η ξήρανση υπό κενό ξεχωρίζει ως εναλλακτική μέθοδος για την ξήρανση με ζεστό αέρα που εξασφαλίζει χαμηλότερη θερμοκρασία ξήρανσης και σχετικά υψηλότερο ρυθμό ξήρανσης (50-80 ° C) εξασφαλίζοντας λιγότερη οξείδωση. Αυτή η μέθοδος μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία απομάκρυνσης της υγρασίας υπό χαμηλή πίεση και είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για προϊόντα, τα οποία είναι ευαίσθητα σε θερμική βλάβη. Στην πραγματικότητα, η χαμηλή θερμική καταπόνηση, η πολύ χαμηλή περιεκτικότητα

σε οξυγόνο και η χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία στο τελικό προϊόν είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της ξήρανσης υπό κενό. Τα κρεατοσκευάσματα εκτίθενται σε περιβαλλοντική πίεση κατά την ξήρανση υπό κενό που είναι σημαντικά μικρότερη από την ατμοσφαιρική πίεση, γεγονός που διασφαλίζει ότι το νερό εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κενού, ο αέρας και οι ατμοί διαστέλλονται, δημιουργώντας μια πορώδη δομή στα τρόφιμα και δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη αναλογία επιφάνειας προς όγκο για επιταχυνόμενη μεταφορά θερμότητας και μάζας.

Η ξήρανση υπό κενό είναι ικανή να επιταχύνει τη μεταφορά μάζας, ωστόσο, μειώνοντας τη μεταφορά θερμότητας στον θάλαμο χαμηλής θερμοκρασίας λόγω έλλειψης μέσου ξήρανσης. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται γενικά σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ξήρανσης. Οι ιδιότητες των σκονών κοτόπουλου που λαμβάνονται με διαφορετικές μεθόδους ξήρανσης, π.χ. κενό, κενό μικροκυμάτων και ξήρανση υπέρυθρου κενού. Το αποτέλεσμα έδειξε ότι η ξήρανση με κενό μικροκυμάτων εξασφάλισε θετικό αποτέλεσμα για τη μείωση της απορρόφησης υγρασίας και τη διατήρηση της οργανοληπτικής ποιότητας των σκονών κοτόπουλου σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ξήρανσης.

Σε μια άλλη μελέτη, ορισμένες ιδιότητες των αποξηραμένων σκόνης κοτόπουλου κενού-ραδιοσυχνότητας συγκρίθηκαν με την ξήρανση υπό κενό και την ξήρανση με κενό μικροκυμάτων (915 MHz και 2.450 MHz). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αποξηραμένες σκόνες κενού-ραδιοσυχνότητας είχαν το μικρότερο χρόνο στεγνώματος (100 λεπτά), τη χαμηλότερη υγρασκοπικότητα (2,17%) και την υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης νερού (254,80%) και τέλος καλύτερη γεύση και χρώμα.

8.4.3 Ξήρανση με υπερήχους

Η διαδικασία υπερήχων χρησιμοποιείται συνήθως ως τεχνική προεπεξεργασίας για τη μείωση της θερμοκρασίας ή του χρόνου ξήρανσης. Η διαδικασία υπερήχων διακόπτει τη συνέχεια των κυτταρικών μεμβρανών στα τρόφιμα και, ως εκ τούτου, αυξάνεται η μεταφορά θερμότητας και μάζας μεταξύ του κυττάρου και του εξωκυτταρικού περιβάλλοντός του. Οι ρυθμοί μεταφοράς αλλάζουν ανάλογα με τη συχνότητα και την πίεση των ηχητικών κυμάτων. Η σπηλαίωση, από την άλλη πλευρά, είναι ένας άλλος σημαντικός μηχανισμός που εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης με υπερήχους, καθώς παρέχει την απομάκρυνση του αυστηρά συνδεδεμένου νερού. Η

διαδικασία υπερήχων επηρεάζει θετικά τη διαδικασία ξήρανσης των τροφίμων όσον αφορά τη βελτίωση της ποιότητας των αποξηραμένων προϊόντων και τη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά την ξήρανση.

Παρατηρήθηκε ότι η τεχνική ξήρανσης κενού υπερήχων σε αποξηραμένα κρέατα είχε αποτέλεσμα σε μικρότερο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας χαμηλότερη ενέργεια. Σε μια άλλη μελέτη, το αποξηραμένο κρέας υπερήχων-κενού έδειξε υψηλότερη αξία επανυδάτωσης και πορώδες και χαμηλότερη τιμή υπεροξειδίου από το αποξηραμένο δείγμα κενού. Αυτές οι μελέτες έδειξαν ότι η υπερηχητική ξήρανση κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική μέθοδος ξήρανσης για ξήρανση κρέατος χάρη στις ιδιότητες υψηλότερης ποιότητας και μικρότερους χρόνους στεγνώματος. Σε μια άλλη μελέτη, στην οποία το υπερκρίσιμο CO₂ εφαρμόστηκε σε συνδυασμό με υπερήχους υψηλής ισχύος προκειμένου να ενισχυθεί η διάρκεια ζωής και η ασφάλεια του ωμού κρέατος κοτόπουλου, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πέτυχε πλήρη αδρανοποίηση (6 log CFU / g) μεσοφιλικών βακτηρίων και ζυμών και μυκήτων μαζί με τις υπερκρίσιμες διεργασίες CO₂ και ξήρανση σε φούρνο κάτω από 75 ° C, χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας, έδειξε μόνο περιορισμένη αδρανοποίηση (4 log CFU/g).

8.4.4 Ξήρανση με χρήση μικροκυμάτων

Η ξήρανση με φούρνο μικροκυμάτων είναι μια ταχύτερη μέθοδος λόγω της ογκομετρικής θέρμανσης. Εδώ η ενέργεια μικροκυμάτων που απορροφάται από το υλικό τροφίμων μετατρέπεται σε θερμότητα. Στους ξηραντήρες μικροκυμάτων, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (στην περιοχή συχνοτήτων 300-300.000 MHz) που μεταδίδονται στο προϊόν προκαλούν μοριακή κίνηση με δύο μηχανισμούς: Περιστροφή ιοντικών μερών και περιστροφή διπολικών τμημάτων. Τα διπολικά μόρια νερού στη δομή των τροφίμων ευθυγραμμίζονται ένα εκατομμύριο φορές ανά δευτερόλεπτο σε κατεύθυνση ηλεκτρικού πεδίου ανάλογα με τη συχνότητα μικροκυμάτων που εφαρμόζεται. Λόγω αυτής της κίνησης των μορίων νερού, λαμβάνει χώρα τριβή και το φαγητό θερμαίνεται κατ'όγκο. Η θέρμανση μικροκυμάτων παράγει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι της συμβατικής ξήρανσης στη μείωση του χρόνου και τη βελτίωση της ποιότητας των τροφίμων. Τα προϊόντα αποξηραμένου κρέατος σε φούρνο μικροκυμάτων έχουν καλύτερη ιδιότητα επανυδάτωσης, χαμηλότερη aw και καλύτερη μικροβιακή ποιότητα από τα προϊόντα αποξηραμένου κρέατος με ζεστό αέρα. Οι υψηλότερες ακτινοβολίες μικροκυμάτων

αυξάνουν την προς τα έξω ροή ατμών, εμποδίζοντας την κατάρρευση της δομής των ιστών και αυξάνοντας την ικανότητα επανυδάτωσης των αποξηραμένων προϊόντων.

8.4.5 Λυοφιλίωση

Η λυοφιλίωση αποτελεί εφαρμογή της βιομηχανίας τροφίμων από τη δεκαετία του 1960. Πολλοί τύποι όπως δίσκος, multibatch, σήραγγα, ψεκασμός κενού και ξηραντήρες συνεχούς κατάψυξης χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον κλάδο. Αποτρέποντας την ανάπτυξη μικροοργανισμών και την υποβάθμιση που προκαλείται από την οξείδωση, η λυοφιλίωση ξεχωρίζει ως αποτελεσματική μέθοδος για την παράταση της διάρκειας ζωής οποιουδήποτε κρεατοσκευάσματος. Η μέθοδος μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία απομάκρυνσης κατεψυγμένου νερού χρησιμοποιώντας εξάχνωση. Υπάρχουν τρία κύρια στάδια: κατάψυξη, πρωτογενής ξήρανση και τέλος δευτερογενής ξήρανση. Κατά τη διάρκεια του σταδίου κατάψυξης, η περιεκτικότητα των τροφίμων σε ελεύθερο νερό ψύχεται σε επίπεδο όπου όλο το υλικό βρίσκεται σε παγωμένη κατάσταση. Οι συνθήκες στο στάδιο κατάψυξης είναι ζωτικής σημασίας για τον καθορισμό του σχήματος του πάγου, του μεγέθους των κρυστάλλων και της κατανομής, γεγονός που προκαλεί πόρους με διαφορετικά μεγέθη που δημιουργούνται κατά την εξάχνωση του πάγου.

Η πρωτογενής ξήρανση είναι το πιο απαιτητικό και μακρύτερο στάδιο της λυοφιλίωσης. Κατά τη διάρκεια της πρωτογενούς ξήρανσης, η πίεση των υδρατμών μειώνεται κάτω από την πίεση ίση με το τριπλό σημείο και παρέχεται η απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για την απομάκρυνση του κατεψυγμένου νερού με την τεχνική της εξάχνωσης και του μη κατεψυγμένου νερού με εκρόφηση στο ξηρό στρώμα. Στο στάδιο δευτερογενούς ξήρανσης, το μη κατεψυγμένο νερό που απορροφάται στην πορώδη επιφάνεια και στις πολικές ομάδες εντός της αποξηραμένης τροφής απομακρύνεται με εκρόφηση. Καθώς οι απελευθερούμενοι υδρατμοί απορροφώνται από την επιφάνεια του συμπυκνωτή υπό εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες, εφαρμόζεται μια διαδικασία υψηλού κενού στα κατεψυγμένα τρόφιμα, η οποία επιτρέπει στην τελική περιεκτικότητα σε υγρασία του προϊόντος να φτάσει το 1-3%.

Η λυοφιλίωση είναι η μέθοδος ξήρανσης που παράγει το τελικό προϊόν υψηλότερης ποιότητας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ξήρανσης λόγω της απουσίας υγρού νερού και των χαμηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για τη διεργασία, οι περισσότεροι ρυθμοί αντίδρασης αλλοίωσης είναι πολύ χαμηλοί. Επιπλέον, αποφεύγεται η συρρίκνωση και άλλες δομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της λυοφιλοποίησης,

σχηματίζοντας μια πορώδη δομή υφής. Αυτά τα πορώδη προϊόντα που λαμβάνονται με λυοφιλοποίηση έχουν καλύτερες ιδιότητες επανυδάτωσης. Επιπλέον, οι ιδιότητες των λυοφιλοποιημένων δειγμάτων είναι σε μεγάλο βαθμό παρόμοιες με τις ιδιότητες των νωπών προϊόντων. Το λυοφιλωμένο κρέας πουλερικών έχει γεύση και μοιάζει αρκετά με το νωπό κρέας πουλερικών εάν εφαρμόζονται σωστές συνθήκες επεξεργασίας για το πάχος του δείγματος. Επιπλέον, η λυοφιλοποίηση ήταν χρήσιμη για την παράταση της διάρκειας ζωής του ωμού κρέατος στήθους κοτόπουλου έως και τέσσερις μήνες (29).

8.4.6 Ξήρανση εν ψυχρώ

Η διαδικασία ψυχρής ξήρανσης περιλαμβάνει διάφορα στάδια που ξεκινούν με τον αέρα που εισέρχεται στο κύτταρο ξήρανσης, διατηρείται σε ψυχρή επιφάνεια κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου και στη συνέχεια διατηρεί την υγρασία από την ψυχρή επιφάνεια και, τέλος, χρησιμοποιεί αυτόν τον αέρα στη διαδικασία ξήρανσης. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης, η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, ο ρυθμός ροής αέρα και η σχετική υγρασία. Ο χρόνος στεγνώματος μπορεί να μειωθεί με την ενίσχυση της θερμοκρασίας του αέρα καθώς και με την εφαρμογή χαμηλής θερμοκρασίας αέρα και αντίστοιχα χαμηλής σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια της ψυχρής ξήρανσης.

Η διαδικασία ψύξης για ευαίσθητα στη θερμότητα τρόφιμα είναι μια τεχνική συντήρησης τροφίμων που παρατείνει τη διάρκεια ζωής και αποτρέπει την αλλοίωση. Η ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία διαδραματίζει θετικό ρόλο στην ποιότητα των βιολογικών υλικών παρά τον μεγάλο χρόνο επεξεργασίας τους. Αυτή η διαδικασία ξήρανσης μπορεί να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση της οξείδωσης των λιπιδίων και των αντιοξειδωτικών απωλειών. Διαπιστώθηκε ότι η ξήρανση σε χαμηλή θερμοκρασία είχε θετική επίδραση στην ποιότητα των δειγμάτων, ενώ η παράταση του χρόνου ξήρανσης και τα δείγματα που στεγνώθηκαν στους 4°C είχαν την καλύτερη ποιότητα. Αναφέρθηκε επίσης ότι η ξήρανση με κρύο αέρα είχε περισσότερα πλεονεκτήματα στην πραγματική παραγωγή, καθώς η διαδικασία ξήρανσης και οι συνθήκες υγιεινής ήταν εύκολο να ελεγχθούν σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση.

Η ξήρανση με κρύο αέρα έχει περισσότερα πλεονεκτήματα στην πραγματική παραγωγή, καθώς η διαδικασία ξήρανσης και οι συνθήκες υγιεινής ήταν εύκολο να

ελεγχθούν σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση. Για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά ξήρανσης των φετών βοείου κρέατος που έχουν αποξηρανθεί σε διαφορετικές χαμηλές θερμοκρασίες (10, 15 και 20 ° C) και τους ρυθμούς ροής αέρα (1, 2, 3 και 4 m / s). Τα αποτελέσματα έδειξαν ταχύτερο χρόνο στεγνώματος για φέτες βοείου κρέατος με θερμοκρασία ξήρανσης 10 ° C και ρυθμό ροής αέρα 4 m / s σε αυτό το στεγνωτήριο.

8.4.7 Ξήρανση παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (PEF)

Η ξήρανση παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (PEF) είναι γνωστή ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία συντήρησης τροφίμων χάρη στη διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων και την αδρανοποίηση των βλαστικών βακτηρίων και των κυττάρων ζύμης. Ωστόσο, λίγες δημοσιεύσεις έχουν ασχοληθεί με τις δυνατότητες του PEF για την επιτάχυνση των διαδικασιών ξήρανσης κρέατος μέχρι τώρα και οι υπάρχουσες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στις διαδικασίες τρυφεροποίησης, ασφάλειας τροφίμων, υπερψύξης και άλμης. Το παλμικό ηλεκτρικό πεδίο (PEF) άρχισε πρόσφατα να προσελκύει περισσότερη προσοχή από επιστήμονες και τεχνολόγους κρέατος λόγω της ικανότητας τροποποίησης στη δομή της μεμβράνης, ενισχύοντας παράλληλα τη μεταφορά μάζας. Η διαδικασία PEF περιλαμβάνει την πρόκληση ηλεκτρικού πεδίου υψηλής έντασης ($>0,1 \text{ kV cm}^{-1}$) σε τρόφιμα τοποθετημένα μεταξύ δύο διαφορετικών ηλεκτροδίων, ενώ η ενέργεια μεταφέρεται στο τρόφιμο σε μορφή παλμού βραχέων κυμάτων (από χιλιοστά του δευτερολέπτου έως μικροδευτερόλεπτα).

Η PEF είναι γνωστό ότι είναι μια μη θερμική τεχνολογία, αλλά η εισροή ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα σε κάποιο βαθμό και υπάρχει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, η οποία μπορεί να επηρεάσει ευαίσθητες ενώσεις όπως οι πρωτεΐνες. Ο συνδυασμός θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να έχει θερμοηλεκτρική επίδραση στις μεμβράνες των μυϊκών κυττάρων του βοείου κρέατος. Όταν το ηλεκτρικό πεδίο παραβιάζει το κρίσιμο όριο, θα μπορούσε να αλλάξει τις μυϊκές ίνες και να επηρεάσει διάφορες ποιοτικές ιδιότητες όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού, η τρυφερότητα και το χρώμα.

Διαπιστώθηκε ότι ο PEF θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση του NaCl στα αλατισμένα προϊόντα κρέατος. Το PEF δεν επηρεάζει το χρώμα, την απόδοση, το οξειδωτικό προφίλ και τη μικροβιολογική σταθερότητα των προϊόντων, αλλά ενισχύει την αλμύρα βελτιώνοντας τη διάχυση του αλατιού και την παροχή νατρίου που οδήγησε σε καλύτερη αντίληψη κατά τη μάσηση. Αυτό το εύρημα είναι πολύ

σημαντικό επειδή η αλμύρα είναι πολύ μειωμένη στα προϊόντα κρέατος χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο. Για το λόγο αυτό, ο PEF μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό εργαλείο για την παραγωγή προϊόντων κρέατος χαμηλής περιεκτικότητας σε νάτριο και οργανοληπτικά αποδεκτών (30).

8.4.8 Ξήρανση με αντλία θερμότητας

Η ξήρανση με αντλία θερμότητας εφαρμόζεται σε ευαίσθητα στη θερμότητα τρόφιμα λόγω της ικανότητάς της να ελέγχει ανεξάρτητα τις παραμέτρους λειτουργίας. Η ξήρανση με αντλία θερμότητας αποτελείται κυρίως από αντλία θερμότητας και υποσυστήματα ξήρανσης. Η αντλία θερμότητας αποτελείται από βαλβίδα πεταλούδας, συμπυκνωτή, εξατμιστή και συμπιεστή. Για τον κύκλο της αντλίας θερμότητας, το ψυκτικό συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή για να καλύψει τις ανάγκες θερμότητας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης. Ο εξατμιστής παρέχεται στην ουρά του στεγνωτηρίου προκειμένου να ανακτηθεί η απορριπτόμενη θερμότητα από την εξάτμιση του στεγνωτηρίου. Το ψυκτικό χρησιμοποιείται για την απορρόφηση θερμότητας από τα καυσαέρια του στεγνωτηρίου και την εξάτμισή του στον εξατμιστή. Στη συνέχεια συμπιέζεται στον συμπιεστή και αποστέλλεται πίσω στον συμπυκνωτή για να ολοκληρωθεί ο κύκλος. Οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) και οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) χρησιμοποιούνται ευρέως ως ψυκτικά μέσα.

Τα συστήματα ξήρανσης αντλιών θερμότητας χωρίζονται σε δύο ομάδες: σε αυτά που εφαρμόζουν υψηλές (45°C έως 110°C) και χαμηλές (-20°C έως 45°C) θερμοκρασίες. Τα συστήματα ηλιακής, μικροκυματικής, υπέρυθρης ακτινοβολίας και αντλίας θερμότητας ραδιοσυχνότητων χρησιμοποιούνται για εφαρμογές ξήρανσης σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ χημικά, κενού και ψύξης με μεθόδους αφύγρανσης χρησιμοποιούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η ξήρανση με αντλία θερμότητας συνοδεύεται από ορισμένα στοιχεία συμπεριλαμβανομένου του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας, της αποδοτικής αφυδάτωσης με χαμηλή θερμοκρασία, του ευρέος φάσματος συνθηκών ξήρανσης και των φιλικών προς το περιβάλλον χαρακτηριστικών σε σύγκριση με τη συμβατική ξήρανση με μεταφορά. Ωστόσο, μια διαδικασία ξήρανσης με αντλία θερμότητας θα αύξανε τον χρόνο στεγνώματος και θα οδηγούσε σε εγγενές πρόβλημα ομοιόμορφης ξήρανσης, επιδεινώνοντας έτσι το προϊόν διατροφής. Ως εκ τούτου, αποτελεί μια μέθοδο ξήρανσης που προτιμάται λιγότερο στη βιομηχανία τροφίμων. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, μέθοδοι προεπεξεργασίας υψηλής απόδοσης, όπως οσμωτική αφυδάτωση, παλμικό κενό,

υπερηχογράφημα, κατάψυξη-απόψυξη και επικάλυψη με βάση το αλγινικό νάτριο, σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν στο προϊόν ξήρανσης με αντλία θερμότητας.

Γενικά, η απόδοση των ξηραντών ορίζεται από τον ειδικό ρυθμό εξαγωγής υγρασίας (SMER) και αυτός ο δείκτης υπολογίζεται ως ο λόγος της υγρασίας που αφαιρείται (kg) προς την εισροή ενέργειας στον ξηραντήρα. Η ξήρανση με αντλία θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας έχει υψηλότερη τιμή SMER (0,3–5,0) από άλλες μεθόδους ξήρανσης του ήλιου (0,84), θερμού αέρα (0,1–1,3), κενού (0,7–1,2), ψύξης (0,4) και, ως εκ τούτου, η μέθοδος αντλίας θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας είναι πιο αποτελεσματική. Επιπλέον, ο ξηραντήρας αντλίας θερμότητας έχει βρεθεί ότι έχει χαμηλότερο κόστος λειτουργίας από άλλες συμβατικές μεθόδους ξήρανσης, καθώς μπορεί να εξαγάγει και να χρησιμοποιήσει την λανθάνουσα ενέργεια του αέρα και των υδρατμών για να στεγνώσει το προϊόν. Από την άλλη, τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου ξήρανσης είναι ότι απαιτεί πολύ υψηλό κόστος κεφαλαίου και εξακολουθεί να χρησιμοποιεί παραδοσιακά μη φιλικά προς το περιβάλλον ψυκτικά μέσα στον κύκλο ψύξης, επειδή αυτά τα ψυκτικά μέσα είναι γνωστό ότι προκαλούν καταστροφή του όζοντος και, κατά συνέπεια, πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα.

8.4.9 Ξήρανση παραθύρων διάθλασης

Το στέγνωμα παραθύρων διάθλασης είναι μια καινοτόμος τεχνική αφαίρεσης νερού. Αυτό το σύστημα ξήρανσης μπορεί να μετατρέψει διάφορα υγρά προϊόντα καθώς και φρούτα, λαχανικά, φυτά και άλλα παρόμοια προϊόντα σε συμπυκνώματα και σκόνες προστιθέμενης αξίας. Η μέθοδος ξήρανσης παραθύρων διάθλασης έχει πρόσφατα κερδίσει δημοτικότητα στη βιομηχανία τροφίμων λόγω της υψηλής ποιότητας των αποξηραμένων προϊόντων, της πλήρους ξήρανσης σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, του μηδενικού κινδύνου διασταυρούμενης μόλυνσης και του εξοπλισμού που είναι σχετικά φθηνός σε σύγκριση με τον λυοφιλιωτήρα.

Στην ξήρανση παραθύρων διάθλασης, η θερμότητα μεταφέρεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους, όπως αγωγιμότητα, μεταφορά και ακτινοβολία. Η θερμική ενέργεια που λαμβάνεται από το ζεστό νερό μεταδίδεται από τον διαφανή πλαστικό μεταφορικό ιμάντα στο εμποτισμένο υλικό με αγωγιμότητα και ακτινοβολία. Η μεταφορά θερμικής ενέργειας από το τρόφιμο στον ατμοσφαιρικό αέρα γίνεται με μεταφορά και με εξατμιστική ψύξη του υλικού. Στο τελευταίο στάδιο της ξήρανσης, η μεταφορά θερμότητας με αγωγιμότητα γίνεται πιο κυρίαρχη και ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς το προϊόν αρχίζει να επιβραδύνεται. Το τμήμα ψύξης του

συστήματος ξήρανσης ακρωτηριάζεται για τη μείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος, κατά προτίμηση κάτω από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, με στόχο τη διευκόλυνση της αφαίρεσης του προϊόντος από τον ιμάντα.

Η φυσική και ρεολογική συμπεριφορά καθώς και τα μικροβιολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της σκόνης κρέατος που παράγεται από την ξήρανση παραθύρων διάθλασης. Αναφέρθηκε ότι η σκόνη κρέατος είχε καλές φυσικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένης της πυκνότητας 0,81 g / cm³, του πορώδους 0,67 και της αναλογίας επανυδάτωσης 2,8. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια θεραπεία 100 ° C και 2 mm θα μπορούσε να μειώσει τον αριθμό αερόβιων βακτηρίων από 6,1 σε 3,7 log CFU / g (30).

8. Ψύξη/Κατάψυξη

Οι θερμοκρασίες ψύξης και κατάψυξης θεωρούνται δύο από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους για την καθυστέρηση ή την αναστολή της ανάπτυξης μικροοργανισμών στα προϊόντα κρέατος κατά τη μεταφορά ή την αποθήκευση, καθώς μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ασφάλειας και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής τέτοιων προϊόντων (31). Από τα αρχαία χρόνια, ο άνθρωπος διαπίστωσε τις συντηρητικές ιδιότητες της ψύξης του κρέατος και των προϊόντων του, γεγονός που οδήγησε στην αποθήκευση τέτοιων προϊόντων σε φυσικές σπηλιές, όπου οι θερμοκρασίες ήταν σχετικά χαμηλές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι αρχές του τεχνητού σχηματισμού πάγου και της μηχανικής ψύξης χρονολογούνται περίπου από το 1750 και οι εμπορικές επιχειρήσεις που βασίζονται στη μηχανική ψύξη χρησιμοποιήθηκαν 100 χρόνια αργότερα. Η ψύξη είναι ζωτικής σημασίας για την υγιεινή του κρέατος, την ασφάλεια, τη διάρκεια ζωής, την εμφάνιση και την ποιότητα διατροφής. Η ψύξη στον αέρα μειώνει τη θερμοκρασία της επιφάνειας του κρέατος και ενισχύει την ξήρανση του, ενώ και τα δύο μειώνουν την ανάπτυξη βακτηρίων. Η αύξηση της ταχύτητας του αέρα και/ή η μείωση της θερμοκρασίας (και οι δύο ελεγχόμενες) μειώνουν το χρόνο ψύξης (32).

8.1 Ψύξη

Ο βασικός στόχος της ψύξης και άλλων τεχνικών μείωσης της θερμοκρασίας είναι να επιβραδύνει ή να περιορίσει το ρυθμό αλλοίωσης, καθώς η πτώση της θερμοκρασίας κάτω από το βέλτιστο εύρος μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη μικροβίων. Η ψύξη

είναι ζωτικής σημασίας για την υγιεινή του κρέατος και των προϊόντων του, την ασφάλεια, τη διάρκεια ζωής τους, την εμφάνιση και τη διατροφική τους ποιότητα. Βοηθά επίσης στην πρόληψη της μετουσίωσης των πρωτεϊνών που μπορεί να οδηγήσει σε βακτηριακή επίθεση, καθώς είναι πιο ευαίσθητες σε μετουσιωμένες πρωτεΐνες από τις φυσικές πρωτεΐνες.

Στη μέθοδο ψυχρής αποθήκευσης, χρησιμοποιείται θερμοκρασία όχι μικρότερη από την κρυοσκοπική, στην οποία αρχίζει η ψύξη ενός βιολογικού συστήματος. Η μέθοδος αυτή διευκολύνει την επιβράδυνση των βιολογικών διεργασιών που εμφανίζονται στις πρώτες ύλες και τη μείωση της δραστηριότητας των μικροοργανισμών. Κατά τη μείωση της θερμοκρασίας, η μείωση της βιολογικής και βιοχημικής δραστηριότητας στις πρώτες ύλες και τους μικροοργανισμούς μπορεί να εξηγηθεί από την εξάρτηση ενός ρυθμού χημικής αντίδρασης από μια θερμοκρασία και τη μείωση της διαπερατότητας της μικροβιακής κυτταροπλασματικής μεμβράνης. Η μέθοδος ψυκτικής αποθήκευσης δίνει την ευκαιρία να διατηρηθούν οι πρώτες ύλες με ελάχιστες αλλαγές στις φυσικές της ιδιότητες. Η επιφανειακή θερμοκρασία των προϊόντων κρέατος μειώνεται με ταχύτερο ρυθμό με ψύξη στον αέρα, η οποία βελτιώνει την ξήρανση του κρέατος και ελαχιστοποιεί τη μικροβιακή αλλοίωση.

8.2 Κατάψυξη

Η κατάψυξη είναι μια εξαιρετική μέθοδος διατήρησης των αρχικών χαρακτηριστικών του κρέατος και των προϊόντων του. Το κρέας περιέχει περίπου 50-75% κατά βάρος νερό, ανάλογα με το είδος, και η διαδικασία κατάψυξης μετατρέπει το μεγαλύτερο μέρος του νερού σε πάγο. Το φαινόμενο της κατάψυξης κρέατος είναι γρήγορο και σχεδόν το 75% του υγρού των ιστών παγώνει στους -5°C . Ο ρυθμός κατάψυξης αυξάνεται με μειώσεις της θερμοκρασίας, σχεδόν το 98% του νερού παγώνει στους -20°C και ο πλήρης σχηματισμός κρυστάλλων συμβαίνει στους -65°C . Ωστόσο, περισσότερο από το 10% του νερού που δεσμεύεται από τους μυς (χημικά δεσμευμένο σε συγκεκριμένες θέσεις όπως καρβονυλικό και αμινομάδα πρωτεϊνών και δεσμοί υδρογόνου) δεν θα παγώσει. Ο ρυθμός κατάψυξης (αργός και γρήγορος) επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα του κατεψυγμένου κρέατος. Η ταχεία κατάψυξη παράγει κρέας καλύτερης ποιότητας από την αργή κατάψυξη.

Η γρήγορη κατάψυξη παράγει μικροσκοπικούς ενδοκυτταρικούς κρυστάλλους πάγου και έτσι μειώνει την απώλεια στάγδην κατά την απόψυξη. Η υπερταχεία κατάψυξη

περιλαμβάνει κατάψυξη τροφίμων μεταξύ -25 C έως -18 C . Ο ρυθμός κατάψυξης εξαρτάται όχι μόνο από το μεγαλύτερο μέρος του κρέατος και τις θερμικές του ιδιότητες (π.χ. ειδική θερμική και θερμική αγωγιμότητα), αλλά και από τη θερμοκρασία του ψυκτικού περιβάλλοντος, από τη μέθοδο εφαρμογής της ψύξης και, με μικρότερα τεμάχια κρέατος, από τη φύση του χρησιμοποιούμενου υλικού περιτυλίγματος.

Μια θερμοκρασία $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ έχει προταθεί ως ιδανικές συνθήκες αποθήκευσης για το κατεψυγμένο κρέας για να αποφευχθούν εντελώς οι αλλαγές ποιότητας. Σε αυτές τις χαμηλές θερμοκρασίες, οι ενζυμικές αντιδράσεις, η οξειδωτική τάγγιση και η ανακρυστάλλωση του πάγου είναι πιθανό να είναι ελάχιστες και έτσι λίγες αλλοιώσεις θα συμβούν κατά την αποθήκευση. Η μικροβιακή ανάπτυξη σταματά στους -12°C και η ολική αναστολή του κυτταρικού μεταβολισμού στους ζωικούς ιστούς εμφανίζεται κάτω από τους -18°C . Ωστόσο, οι πλήρεις αλλαγές ποιότητας του κρέατος μπορούν να αποφευχθούν σε θερμοκρασία -55°C .

Η κρυογονική κατάψυξη προσφέρει ταχύτερους χρόνους κατάψυξης σε σύγκριση με τη συμβατική κατάψυξη αέρα λόγω των μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ του κρυογόνου και του προϊόντος κρέατος και του υψηλού ρυθμού μεταφοράς επιφανειακής θερμότητας που προκύπτει από το βρασμό του κρυογόνου. Η κρυογενική κατάψυξη δεν απαιτεί μηχανικό ψυκτικό εξοπλισμό. απλά μια δεξαμενή κρυογόνου και κατάλληλο εξοπλισμό ψεκασμού. Ωστόσο, ενδέχεται να υπάρχει κάποια παραμόρφωση του σχήματος του προϊόντος που προκαλείται από την κρυογονική διαδικασία που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην εμπορική εφαρμογή. Επιπλέον, το κόστος του κρυογονικού υγρού είναι σχετικά υψηλό και, ως εκ τούτου, μπορεί να περιορίσει την εμπορική εφαρμογή του.

8.3 Υπερψύξη

Η μέθοδος της υπερψύξης χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία κατά την οποία κάποιο μέρος του νερού που υπάρχει σε ένα συγκεκριμένο προϊόν καταψύχεται. Κατά τη διάρκεια της υπερψύξης, η θερμοκρασία του προϊόντος μειώνεται έως $1-2\text{ C}$ για αρχική επιφανειακή κατάψυξη. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, το προϊόν επιτυγχάνει την ομοιόμορφη θερμοκρασία με εξισορρόπηση της κατανομής πάγου που διατηρείται κατά την αποθήκευση και τη διανομή του προϊόντος. Αυτή η διαδικασία μέχρι πρότινος, δεν είχε εφαρμογή σε

κρεατοσκευάσματα, αλλά είχε χρησιμοποιηθεί κυρίως για θαλασσινά. Παρόλα αυτά, με την άνοδο της τεχνολογίας, όλο και περισσότερα προϊόντα κρέατος συντηρούνται με αυτήν την μέθοδο.

Η υπερψύξη είναι χρήσιμη για την αναστολή της μικροβιακής ανάπτυξης και μπορεί να μειώσει τη χρήση κατάψυξης/απόψυξης, μειώνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος, την εργασία και την απώλεια βάρους. Ο πάγος εμποδίζει τα υπερψυγμένα προϊόντα κρέατος από την αύξηση της θερμοκρασίας σε κακές ψυκτικές αλυσίδες. Ωστόσο, καταγράφεται αυξημένη απώλεια στάγδην κατά την αποθήκευση του κρέατος. Η υπερψύξη θεωρείται ότι παρατείνει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος για 1,4-4 φορές σε σύγκριση με τη συμβατική ψύξη κρέατος. Μελέτες έχουν δείξει ότι η μέθοδος αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για πουλερικά και ήταν αποτελεσματική στη διατήρηση της φρεσκάδας τους σε σύγκριση με τον πάγο και την κατεψυγμένη αποθήκευση. Ομοίως, ο χρόνος αποθήκευσης τους μπορεί να διπλασιαστεί μέσω υπερψύξης (21,4 C και 23,6 C) σε σύγκριση με την ψύξη με πάγο. Σε θερμοκρασίες υπερψύξης, το μεγαλύτερο μέρος της μικροβιακής δραστηριότητας αναστέλλεται ή τερματίζεται. Οι χημικές και φυσικές αλλαγές μπορεί να προχωρήσουν και, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακόμη και να επιταχυνθούν. Η υπερψύξη, ως εμπορική πρακτική, μπορεί να μειώσει τη χρήση της κατάψυξης/απόψυξης για ρυθμιστικά μέσα παραγωγής και, ως εκ τούτου, να μειώσει το κόστος εργασίας, ενέργειας και βάρους προϊόντος. Ο πάγος που υπάρχει στα προϊόντα υπερψύξης προστατεύει το κρέας από την αύξηση της θερμοκρασίας σε κακές ψυκτικές αλυσίδες, ωστόσο, μπορεί να συμβεί κάποια αύξηση στην απώλεια στάγδην προϊόντος κατά την αποθήκευση.

8.4 Πάγωμα πρόσκρουσης

Η χρήση της τεχνολογίας πρόσκρουσης είναι μία από τις τελευταίες τεχνικές που εισάγονται εμπορικά για τη συντήρηση του κρέατος και άλλων προϊόντων διατροφής. Η τεχνολογία πρόσκρουσης αυξάνει την επιφανειακή μεταφορά θερμότητας στα συστήματα ψύξης και κατάψυξης αέρα. Πρόσκρουση είναι η διαδικασία κατεύθυνσης ενός πίδακα ή πίδακες υγρού σε μια στερεή επιφάνεια για να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή. Οι πίδακες αερίου πρόσκρουσης πολύ υψηλής ταχύτητας (20 – 30 m/s), «διασπών» το στατικό επιφανειακό οριακό στρώμα αερίου που περιβάλλει ένα τρόφιμο. Το προκύπτον μέσο γύρω από το προϊόν είναι πιο ταραχώδες και η ανταλλαγή θερμότητας μέσω αυτής της ζώνης γίνεται πολύ πιο αποτελεσματική.

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ο υψηλότερος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω της τεχνολογίας σύζευξης πρόσκρουσης με κρουογονικό σύστημα κατάψυξης. Αυτή η διαδικασία ενισχύει την αποτελεσματικότητα της μεταφοράς θερμότητας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ταχεία κατάψυξη σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κατάψυξης. Αναφορές έχουν δείξει ότι η κατάψυξη πρόσκρουσης είναι πιο αποτελεσματική για εκείνα τα τρόφιμα που έχουν υψηλή αναλογία επιφάνειας προς βάρος, δηλαδή τεμάχια κρέατος. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για να διερευνηθεί η δυνατότητά της να επεξεργαστεί την επίδραση αυτής της τεχνολογίας κατάψυξης στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μυϊκών τροφών

Η κατάψυξη πρόσκρουσης είναι η πλέον κατάλληλη για προϊόντα με υψηλή αναλογία επιφάνειας προς βάρος (π.χ. μπιφτέκια) ή για προϊόντα που απαιτούν κατάψυξη κρούστας. Δοκιμές έχουν δείξει ότι τα προϊόντα με πάχος μικρότερο από 20 mm παγώνουν πιο αποτελεσματικά σε περιβάλλον μεταφοράς θερμότητας πρόσκρουσης. Κατά την κατάψυξη προϊόντων πάχους άνω των 20 mm, μπορούν να επιτευχθούν τα οφέλη της κατάψυξης πρόσκρουσης. Ωστόσο, οι συντελεστές επιφανειακής μεταφοράς θερμότητας αργότερα στη διαδικασία κατάψυξης θα πρέπει να μειωθούν για να εξισορροπηθεί η συνολική απόδοση της διεργασίας.

8.5 Κατάψυξη με χρήση υψηλής πίεσης

Η κατάψυξη τροφίμων με χρήση υψηλής πίεσης (200-400 MPa) έχει προσελκύσει ερευνητές τα τελευταία χρόνια με ειδικές αναφορές στην κατάψυξη μετατόπισης πίεσης (PSF). Στη διεργασία αυτή, εφαρμόζεται υψηλή πίεση κατά την ψύξη του τροφίμου σε θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν που εμποδίζει την αλλαγή φάσης και στη συνέχεια τα τρόφιμα καταψύχονται μετά την απελευθέρωση αυτής της πίεσης (33).

Όταν απελευθερώνεται η πίεση του συστήματος, σχηματίζονται ομοιόμορφοι και μικροί κρύσταλλοι πάγου στα τρόφιμα λόγω της ταχείας πυρήνωσης. Μέσω μελετών διαπιστώθηκε ότι μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μικροβιακή μείωση στα καπνιστά προϊόντα κρέατος, παρόλα αυτά, φαίνεται ότι η μέθοδος αυτή χρειάζεται να μελετηθεί περισσότερο σε σχέση με τις περιπτώσεις κρέατος και προϊόντων τους.

Η υψηλή πίεση παρέχει τρεις διαφορετικές μεθόδους κατάψυξης ανάλογα με τις εφαρμοζόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η κατάψυξη υψηλής πίεσης ταξινομείται ως κατάψυξη που προκαλείται από πίεση, κατάψυξη μετατόπισης πίεσης (PSF) ή κατάψυξη με υποβοήθηση πίεσης. Μεταξύ αυτών των μεθόδων, η PSF έχει αξιολογηθεί ως η πιο αποτελεσματική. Μέσω αυτής, αναφέρθηκε ότι το σημείο πήξης του νερού μειώθηκε στους 20 C με αυξανόμενη πίεση έως 210 MPa. Μετά την πτώση της θερμοκρασίας, το νερό υφίσταται μια δραστική μετάβαση φάσης που οδηγεί σε στιγμιαία κατάψυξη. Στην πραγματικότητα, αυτό το φαινόμενο χωρίζεται σε δύο διαδικασίες, δηλαδή, αύξηση της θερμοκρασίας από μια υπερψυγμένη κατάσταση (20 C) στο σημείο κατάψυξης (~0 C) λόγω απελευθέρωσης λανθάνουσας θερμότητας (πρωτογενής κατάψυξη), ακολουθούμενη από μετάβαση φάσης πάγου-νερού και τέλος κατάψυξης (δευτερογενής κατάψυξη). Τα τρόφιμα που υποβλήθηκαν σε PSF έδειξαν λιγότερη βλάβη στους ιστούς σε σύγκριση με τα εμπορικά κατεψυγμένα τρόφιμα, ενώ ακόμη διαπιστώθηκε ότι η ποσότητα και το μέγεθος των κρυστάλλων πάγου ήταν στενά συνδεδεμένα με την έκταση της υπερψύξης και τη διάρκεια της μετάβασης φάσης, αντίστοιχα (34).

9. Cold plasma/Ψυχρό πλάσμα

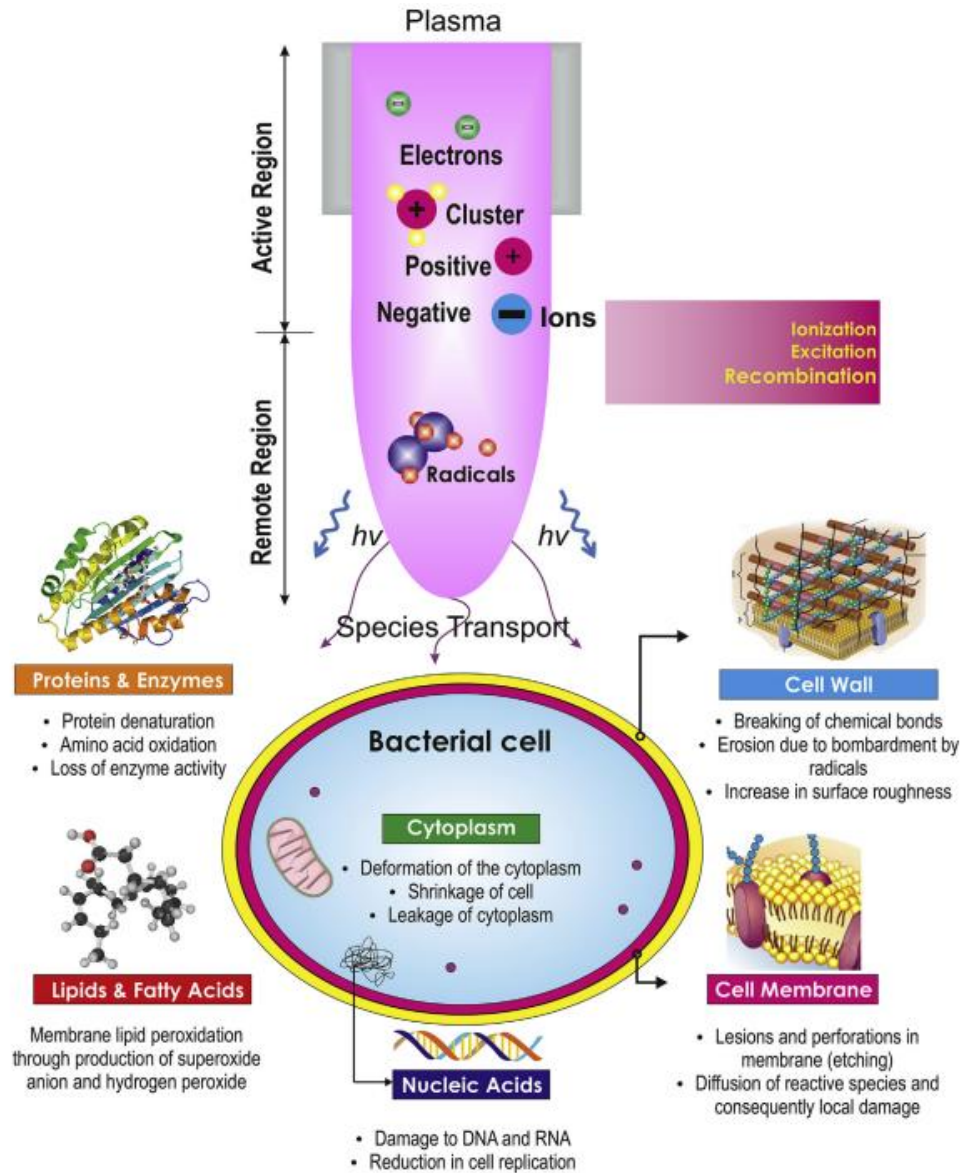
Μεταξύ των μη θερμικών προσεγγίσεων, η επεξεργασία ψυχρού πλάσματος για την ασφάλεια και την ποιότητα του κρέατος και των προϊόντων κρέατος είναι μια πολύ πρόσφατη καινοτομία. Το πλάσμα μπορεί να περιγραφεί ως ένα αέριο που είναι τουλάχιστον μερικώς ιονισμένο και είναι ένα σύνολο μυριάδων υποατομικών και μοριακών οντοτήτων, εκτός από τα κβάντα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (φωτόνια UV και ορατό φως). Ανάλογα με την κατάσταση της θερμοδυναμικής ισορροπίας μεταξύ ηλεκτρονίων και ιόντων, το πλάσμα μπορεί να ταξινομηθεί σε θερμικό (ζεστό) ή κρύο. Σε αντίθεση με το θερμικό πλάσμα, στο ψυχρό πλάσμα, η θερμοκρασία ηλεκτρονίων (T_e) είναι πολύ υψηλότερη από την παγκόσμια θερμοκρασία αερίου ($T_e \gg T_g$) και τη θερμοκρασία σχηματισμού ιόντων, γι' αυτό αναφέρονται επίσης ως πλάσμα μη ισορροπίας.

Αντίθετα, μεγάλο μέρος της ενέργειας στο ψυχρό πλάσμα αποθηκεύεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Το ψυχρό πλάσμα μπορεί να προκληθεί και να διατηρηθεί μέσω ηλεκτρικής εκκένωσης σε ένα αέριο σε ατμοσφαιρικές ή χαμηλές πιέσεις, χρησιμοποιώντας την κορώνα, την εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού (DBD) ή τις διαμορφώσεις εκκένωσης τόξου ολίσθησης. Με απλά λόγια, το ψυχρό πλάσμα είναι ένα ιονισμένο αέριο που παράγεται υπό ατμοσφαιρικές συνθήκες ή συνθήκες χαμηλής πίεσης.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του ψυχρού πλάσματος μη ισορροπίας είναι η ικανότητά του να παράγει ένα μοναδικό κοκτέιλ «ενός δοχείου» βιολογικά δραστικών παραγόντων, όπως τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS) και τα αντιδραστικά είδη αζώτου (RNS), ενώ παραμένει κοντά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, γεγονός που επιτρέπει την ασφαλή εφαρμογή του σε βιολογικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων των τροφίμων. Τα αντιδραστικά είδη και η συγκέντρωσή τους στο πλάσμα ποικίλλουν ανάλογα με πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του αερίου στο οποίο επάγεται το πλάσμα, της διαμόρφωσης της πηγής πλάσματος, της ισχύος εισόδου στο αέριο, της διάρκειας της επεξεργασίας και των επιπέδων υγρασίας.

Αρκετές πρόσφατες μελέτες έχουν αποδείξει τις δυνατότητες της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος ως μια νέα παρέμβαση για τη διασφάλιση της ασφάλειας του κρέατος, συμπεριλαμβανομένου του χοιρινού, του κοτόπουλου και του βοείου κρέατος. Αυτό οφείλεται στην ικανότητα του ψυχρού πλάσματος να αδρανοποιεί αποτελεσματικά

ευρύ φάσμα μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των σπορίων, των βιοφίλμ και ακόμη και ορισμένων ιών σε μια σειρά τροφίμων.



Εικόνα 6: Σχηματική απεικόνιση της δράσης του ψυχρού πλάσματος στις δομές των βακτηριακών κυττάρων με αποτέλεσμα την απώλεια λειτουργικότητας και την αποστείρωση

9.1 Αντιμικροβιακή δράση

Τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS) από το πλάσμα αλληλεπιδρούν αρνητικά με ζωτικά κυτταρικά βιομόρια, όπως το DNA, οι πρωτεΐνες και τα ένζυμα στα κύτταρα. Τα ROS θα μπορούσαν ενδεχομένως να μεταβάλουν τη λειτουργία των βιολογικών

μεμβρανών μέσω αλληλεπίδρασης με λιπίδια που προκαλούν το σχηματισμό ακόρεστων υπεροξειδίων λιπαρών οξέων και οξειδωσης των αμινοξέων στις πρωτεΐνες. Κατά την έκθεση σε έντονα ηλεκτρικά πεδία, η κυτταρική μεμβράνη του βακτηρίου θα μπορούσε να σπάσει λόγω της ηλεκτροστατικής τάσης που αναπτύχθηκε κατά την αλληλεπίδραση των ROS με κυτταρικό τοίχωμα (πεπτιδογλυκάνη) των θετικών κατά Gram βακτηρίων.

Η λύση των μικροοργανισμών συμβαίνει κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας πλάσματος, επειδή ο μικροοργανισμός υποβάλλεται σε ριζικό βομβαρδισμό υψηλής έντασης στην κυτταρική επιφάνεια. Ο βομβαρδισμός των ριζών προκαλεί βλάβη στην κυτταρική επιφάνεια που οι μικροοργανισμοί δεν μπορούν να επουλώσουν γρήγορα, με αποτέλεσμα την ταχεία καταστροφή του ζωντανού κυττάρου (35). Η δράση των αντιδραστικών ειδών και των φορτισμένων σωματιδίων στο μη θερμικό πλάσμα καταστρέφει τις κυτταρικές μεμβράνες και παράγει μετουσίωση του DNA και των χημικών δεσμών, γεγονός που οδηγεί το κύτταρο να γίνει μη βιώσιμο. Αν και ο μηχανισμός πίσω από την αλληλεπίδραση μεταξύ ειδών πλάσματος και μικροοργανισμών είναι ακόμα άγνωστος, ορισμένες διαδικασίες όπως η οξειδωση και η υπεροξειδωση συμβαίνουν τόσο έξω όσο και μέσα στο κύτταρο και καταλύονται κυρίως από ιόντα πλάσματος. Πολλαπλές μελέτες έχουν δείξει ότι η ψυχρή επεξεργασία πλάσματος κρέατος και προϊόντων κρέατος ήταν αποτελεσματική για την αδρανοποίηση ορισμένων παθογόνων όπως ο χρυσίζων σταφυλόκοκκος, η *Salmonella enterica* και το *Campylobacter jejuni* (στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα και κοτόπουλο), *Escherichia coli* και *Listeria monocytogenes* (παστό χοιρινό φιλέτο) και *Salmonella typhimurium* (μπέικον).

9.2 Αντικατάσταση των νιτρωδών αλάτων σε προϊόντα κρέατος

Εκτός από τη αντιμικροβιακή δράση, μια άλλη εφαρμογή θα μπορούσε να είναι η χρήση νερού επεξεργασμένου με κρύο πλάσμα ως πιθανού παράγοντα αντικατάστασης των νιτρωδών αλάτων σε προϊόντα κρέατος. Στο παρελθόν, μελέτες έχουν αναφέρει ότι η ψυχρή επεξεργασία υγρών με πλάσμα μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή νιτρωδών, που προκύπτει από την αλληλεπίδραση πλάσματος-νερού. Οι Jung et al. (36) διερεύνησαν την επίδραση της άμεσης επεξεργασίας ψυχρού πλάσματος του κουρκούτι κρέατος κατά τη διάρκεια της ανάμειξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν σταδιακή αύξηση του επιπέδου νιτρωδών στη σύνθεση του κρέατος έως και 65,96 ppm, μετά από 30 λεπτά θεραπείας με πλάσμα. Αυτό το επίπεδο νιτρωδών εξασφάλισε την ανάπτυξη ενός

συγκεκριμένου ροζ χρώματος μετά τη θέρμανση, γεγονός που επιβεβαίωσε ότι η ψυχρή επεξεργασία πλάσματος αντικαθιστά την προσθήκη νιτροδών στα προϊόντα κρέατος.

10. Υπερήχοι

Ο υπέρηχος θεωρείται μια μη θερμική, αναδύομενη τεχνολογία με μεγάλες δυνατότητες και ευρείες δυνατότητες εφαρμογής στη βιομηχανία επεξεργασίας κρεατοσκευασμάτων. Χρησιμοποιεί ηχητικά κύματα με υψηλότερες συχνότητες από το ανθρώπινο ακουστικό όριο και το πεδίο εφαρμογής του στην επεξεργασία τροφίμων είναι δυνατό σε συχνότητες μεταξύ 20-100 kHz. Όταν τα κύματα των υπερήχων διαδίδονται μέσω ενός μέσου, προκαλούν συμπίεση και αραιώση των σωματιδίων του, προκαλώντας το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Η σπηλαίωση δημιουργεί μεγάλο αριθμό μικροσκοπικών φυσαλίδων, οι οποίες γίνονται ασταθείς και καταρρέουν μετά από διαδοχικούς κύκλους κυμάτων υπερήχων, παράγοντας υψηλές τοπικές θερμοκρασίες και πιέσεις. Επιπλέον, η κατάρρευση των φυσαλίδων σπηλαίωσης δημιουργεί μικροπίδακες υψηλής ταχύτητας (100-340 m/s), οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν φυσικές διαταραχές στο κρέας. Αυτά τα περιστατικά προκαλούν αλλαγές στα βιολογικά υλικά (διαταραχή της κυτταρικής μεμβράνης, μεταβολή της πρωτεϊνικής δομής, παραγωγή γαλακτώματος και χημικές αντιδράσεις), που αποτελούν τη βάση της εφαρμογής τους στη μεταποίηση τροφίμων (36).

Ο υπέρηχος κυμαίνεται από 20 kHz έως 10 MHz και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: 1) υψηλής έντασης (>5 W / cm² ή 10-1000 W / cm²) και χαμηλής συχνότητας (20-100 kHz). 2) μέσης έντασης και ενδιάμεσης συχνότητας (100 kHz–1 MHz) και 3) χαμηλής έντασης (<1 W/cm²) και υψηλής συχνότητας (1–10 MHz) [9]. Τρεις διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή υπερήχων σε προϊόντα: α) άμεση εφαρμογή. β) σύζευξη με τη συσκευή και γ) εμφάνιση σε λουτρό υπερήχων (40).

10.1 Αντιμικροβιακή δράση

Στο τέλος των κύκλων συμπίεσης και αραιώσης της ενέργειας υπερήχων, σχηματίζονται κυρίως οι φυσαλίδες αρνητικής πίεσης και σπηλαίωσης, προκαλώντας τη θραύση των κυτταρικών τοιχωμάτων και τη μείωση της κυτταρικής διαπερατότητας. Ορισμένες παράμετροι όπως η συχνότητα και το πλάτος των κυμάτων υπερήχων και η θερμοκρασία και το ιξώδες του υγρού μέσου επηρεάζουν τον βαθμό σπηλαίωσης. Κατά τη διάρκεια της κατάρρευσης των φυσαλίδων σπηλαίωσης, παράγονται ρίζες υδροξυλίου. Οι ρίζες υδροξυλίου ανασυνδυάζονται για να σχηματίσουν υπεροξειδίο

του υδρογόνου και μοριακό υδρογόνο, τα οποία έχουν αντιμικροβιακή δράση λόγω διαφορετικών μηχανισμών, όπως η μικροροή, η οποία προκαλεί λέπτυνση της κυτταρικής μεμβράνης και βλάβη του DNA.

Η αδρανοποίηση των *Salmonella typhimurium*, *Salmonella derby*, *Salmonella infantis*, *Yersinia enterocolitica* και ενός μη παθογόνου *Escherichia coli* μελετήθηκαν σε εμβολιασμένα δείγματα που υποβλήθηκαν σε υπερηχογράφημα 30-40 kHz για 0,5-4,0 δευτερόλεπτα. Ο συνολικός αριθμός των βιώσιμων βακτηρίων μειώθηκε κατά 1,1 log CFU cm⁻² μετά από θεραπεία για 1 s και 3,3 log CFU cm⁻² μετά από θεραπεία για 4 s. Η μείωση των επιπέδων μικροοργανισμών στο δέρμα χοίρου ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από τη μείωση που βρέθηκε στο κρέας (41).

10.2 Χρήση των υπερήχων για μείωση της προστιθέμενης ποσότητας άλατος

Η χρήση τεχνολογίας υπερήχων για τη μείωση του αλατιού που προστίθεται στις διαδικασίες της βιομηχανία; κρέατος βασίζεται στην κατανόηση των διαδικασιών μεταφοράς μάζας και πώς μπορούν να τροποποιήσουν τις κυτταρικές μεμβράνες βοηθώντας διαδικασίες όπως η σκλήρυνση, το μαρινάρισμα, η ξήρανση και το μαλάκωμα του ιστού. Ο υπέρηχος κατά τη διάρκεια της αλάτισης μπορεί να βοηθήσει στην κατανομή του αλατιού στον ιστό, παρέχοντας μεγαλύτερη αισθητηριακή αντίληψη του αλατιού, ακόμη και όταν η συνολική περιεκτικότητα σε πρόσθετο χλωριούχο νάτριο είναι χαμηλότερη. Η δυνατότητα μιας τεχνολογίας ταχείας σκλήρυνσης, σε συνδυασμό με αυξημένο κέρδος όσον αφορά τη προστιθέμενη ποσότητα αλατιού, μπορεί να υποστηρίξει τη μείωση του χλωριούχου νατρίου που προστίθεται στο διάλυμα άλμης (39).

Στη μελέτη τους, οι Barretto et al. (38) αξιολόγησαν τα αποτελέσματα της μείωσης του NaCl και της θεραπείας με υπερήχους (20 kHz, 600 W/cm², 10 λεπτά) σε μαγειρεμένο χοιρινό ζαμπόν. Οι συγγραφείς επιβεβαίωσαν ότι η εφαρμογή υπερήχων βελτίωσε την υφή και επέτρεψε μείωση κατά 32% της περιεκτικότητας σε νάτριο στο μαγειρεμένο ζαμπόν. Πρόσφατα, η εφαρμογή υπερήχων (25 kHz, 60% πλάτος, 20 λεπτά) σε γαλακτώματα κρέατος που παρασκευάζονται με βασικό ηλεκτρολυμένο νερό έδειξε τη δυνατότητα μείωσης έως και 30% του χλωριούχου νατρίου, χωρίς μείωση της τεχνολογικής ποιότητας.

10.3 Ικανότητα συγκράτησης νερού

Έχει επίσης αποδειχθεί ότι ο υπέρηχος διευκολύνει την απελευθέρωση των μυοινιδιακών πρωτεϊνών, οι οποίες είναι υπεύθυνες για τις ιδιότητες δέσμευσης του κρέατος, όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού (ΙΣΝΕ), η ευαισθησία και η συνοχή των προϊόντων κρέατος. Οι αλλαγές στην ΙΣΝΕ εξαρτώνται από τις μεταθανάτιες αλλαγές στη μυοινιδιακή δομή και επομένως η τρυφερότητα του κρέατος σχετίζεται με τις διαφορές στην κατανομή του νερού κατά τη μετατροπή των μυών σε κρέας. Η υφή του κρέατος εξαρτάται από την ΙΣΝΕ του κρέατος, το οποίο επηρεάζεται από τη θέρμανση. Όταν το κρέας με υπέρηχους μαγειρεύτηκε στους 50 ° C, ήταν μαλακότερο από το χειριστήριο. Ωστόσο, όταν μαγειρεύτηκε στους 70 ° C, ήταν σκληρότερο από το κρέας χωρίς υπέρηχους, καθώς φαίνεται ότι η επεξεργασία με υπέρηχους μειώνει την απώλεια νερού στην ψύξη, την απόψυξη και το μαγείρεμα μεταξύ 50 και 70 ° C. Η επεξεργασία με υπέρηχους θα μπορούσε να βοηθήσει στην αλλαγή των ιδιοτήτων υφής του κρέατος και στην αύξηση της ΙΣΝΕ μετά την απόψυξη και τη θερμική επεξεργασία χωρίς επίδραση στο pH του επεξεργασμένου κρέατος.

10.4 Αδρανοποίηση ενζύμων

Η πρώτη αδρανοποίηση του ενζύμου με υπέρηχους εφαρμόστηκε στην καθαρή πεψίνη πριν από σχεδόν 60 χρόνια και ο μηχανισμός αδρανοποίησής της εξηγήθηκε από τη σπηλαιώση. Από τότε, έχει αποδειχθεί ότι ο υπέρηχος είναι μια αποτελεσματική μέθοδος αδρανοποίησης των ενζύμων όταν χρησιμοποιείται μόνος του ή με θερμοκρασία και πίεση. Υπάρχουν πολλά ένζυμα τα οποία αδρανοποιούνται με υπέρηχους όπως η οξειδάση της γλυκόζης, η υπεροξειδάση, η πηκτίνη μεθυλοεστεράση, η πρωτεάση και η λιπάση, η υπεροξειδάση και η πολυφαινολοοξειδάση. Ο υπέρηχος δημιουργεί συνεχείς κραδασμούς και παράγει σταθερές φυσαλίδες σπηλαιώσης οι οποίες καταρρέουν λόγω της ακραίας τοπικής αύξησης της πίεσης (1000 P) και της θερμοκρασίας (5000 K). Επίσης, λόγω των κρουστικών κυμάτων, παρατηρείται ισχυρή διάτμηση και μικροροή, παρατηρείται το παρακείμενο υγρό. Όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν τροποποίηση της δευτερογενούς και τριτοταγούς δομής της πρωτεΐνης λόγω της διάσπασης του υδρογόνου ή αλληλεπίδρασης Van der Waals στις πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Αυτές οι αλλαγές προκαλούν απώλεια δραστηριότητας πολλών ενζύμων.

Η ακραία πίεση και θερμοκρασία οδηγούν επίσης σε διάσπαση ομολυτικών μορίων νερού δημιουργώντας ενδιάμεσα προϊόντα υψηλής ενέργειας όπως ελεύθερες ρίζες

υδροξυλίου και υδρογόνου. Οι ελεύθερες ρίζες που σχηματίζονται μπορεί να αντιδράσουν με κάποια υπολείμματα αμινοξέων που συμμετέχουν στη σταθερότητα του ενζύμου, στη δέσμευση του υποστρώματος ή στην καταλυτική λειτουργία με επακόλουθη αλλαγή στη βιολογική δραστηριότητα. Τέτοιες ελεύθερες ρίζες θα μπορούσαν να ανασυνδυαστούν με υπολείμματα αμινοξέων των ενζύμων. Αυτά τα υπολείμματα σχετίζονται με τη σταθερότητα της δομής, τη δέσμευση του υποστρώματος και τις καταλυτικές λειτουργίες. Η διάσπαση του ιστού λόγω της εφαρμογής υπερήχων είναι ένα σημαντικό κριτήριο. Καθώς αυξάνεται η ποσότητα του ιστού διύλισης, αυξάνεται η επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τα ένζυμα και τις ελεύθερες ρίζες. Για παράδειγμα, οι οξειδάσες συνήθως αδρανοποιούνται με υπερήχους, ενώ οι καταλάσες επηρεάζονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Η υπερηχογραφική σταθερότητα των μεμονωμένων πρωτεϊνών ποικίλλει μεταξύ των ενζύμων και εξαρτάται επίσης από τις συνθήκες θεραπείας με υπερήχους, τη σύνθεση του μέσου θεραπείας, το pH θεραπείας και εάν είναι δεσμευμένες (π.χ. πρωτεΐνες συνδεδεμένες με μεμβράνη) ή ελεύθερες (π.χ. κυτταροπλασματικές πρωτεΐνες). Η αδρανοποίηση των ενζύμων γενικά αυξάνεται με την αύξηση της ισχύος υπερήχων, της συχνότητας υπερήχων, του χρόνου έκθεσης, του επιπέδου πλάτους, της έντασης σπηλαίωσης, της θερμοκρασίας επεξεργασίας και της πίεσης επεξεργασίας, αλλά μειώνεται καθώς αυξάνεται ο όγκος που υποβάλλεται σε θεραπεία (42).

Πρόσφατες μελέτες κατέδειξαν την πιθανή εφαρμογή υπερήχων υψηλής έντασης σε συστήματα κρέατος, κυρίως στο αλάτισμα, το μαλάκωμα, το μαγείρεμα, την ομογενοποίηση και τον μικροβιακό έλεγχο. Η επίδραση των υπερήχων στο σχηματισμό και τη σταθερότητα του γαλακτώματος κρέατος αναφέρθηκε ότι έχει επίσης θετικές επιδράσεις στην ποιότητά του. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν καλύτερη σταθερότητα και βελτιωμένες παραμέτρους υφής του γαλακτώματος (μάσημα, συνεκτικότητα και σκληρότητα), χωρίς αρνητική επίδραση στις πρωτεΐνες και την οξείδωση των λιπιδίων (38).

11. Συσκευασία

Η συσκευασία συχνά παραβλέπεται ως μέσο παράτασης της διάρκειας ζωής των προϊόντων κρέατος. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές βασίζονται στην απομάκρυνση του οξυγόνου και την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα μέσα στη συσκευασία, που συνδέεται με τον καλό έλεγχο της θερμοκρασίας. Δύο εκ των

δημοφιλέστερων τεχνικών είναι η συσκευασία υπό κενό, καθώς και η συσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Στη συσκευασία κενού, δημιουργείται ένα περιβάλλον με έλλειψη οξυγόνου γύρω από το προϊόν, το οποίο μειώνει τον ρυθμό ανάπτυξης μικροβίων, ενώ στις συσκευασίες MAP (Modified Atmosphere Packaging), τα κρεατοσκευάσματα συντηρούνται σε ένα περιβάλλον με καθορισμένη συγκέντρωση ορισμένων αερίων, με σκοπό την διατήρηση της μικροβιολογικής, κυρίως, σταθερότητας. Τόσο η συσκευασία κενού όσο και η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας χρησιμοποιούνται ευρέως.

Μια ακόμα ενδιαφέρουσα περίπτωση συσκευασίας είναι τα συνδυαστικά συστήματα. Τα συνδυαστικά συστήματα είναι μια στρατηγική που χρησιμοποιείται για τα κόκκινα κρέατα, στα οποία οι συσκευασίες λιανικής πώλησης σε φιλμ διαπερατό σε οξυγόνο συσκευάζονται σε μια «μητρική» σακούλα διοξειδίου του άνθρακα για μεγάλο χρονικό διάστημα αποθήκευσης. Η αφαίρεση των συσκευασιών από τη «μητρική» σακούλα πριν από τη λιανική έκθεση θα επέτρεπε την ανάπτυξη χρώματος ως αποτέλεσμα της επαφής του προϊόντος με το οξυγόνο από τον αέρα που διαχέεται στη συσκευασία.

Άλλοι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία αποθήκευσης, οι ιδιότητες του φιλμ συσκευασίας και η αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης οξυγόνου, επηρεάζουν τον βαθμό παράτασης της διάρκειας ζωής. Τα συστήματα συσκευασίας τροποποιημένης και ελεγχόμενης ατμόσφαιρας χρησιμοποιούν αυξημένο επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα για να εμποδίσουν την ανάπτυξη μικροβίων είτε παρουσία είτε απουσία οξυγόνου.

Στην περίπτωση των κόκκινων κρεάτων, οι συσκευασίες υψηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο τροποποιημένης ατμόσφαιρας (60-80% O₂, 40-20% CO₂) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ενισχύσουν το χρώμα και να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής της παγωμένης λιανικής πώλησης. Ωστόσο, τέτοια συστήματα δεν είναι κατάλληλα για παρατεταμένη αποθήκευση σε ψύξη, καθώς απαιτείται ατμόσφαιρα χαμηλού οξυγόνου για την επιβράδυνση της ανάπτυξης οργανισμών αλλοίωσης.

Τα κορεσμένα συστήματα διοξειδίου του άνθρακα, με επίπεδα υπολειμματικού οξυγόνου κάτω από 0,1%, συμβάλλουν στην παράταση της ζωής των κόκκινων κρεάτων σε σχέση με εκείνη που επιτεύχθηκε στο κενό υπό παρόμοιες συνθήκες αποθήκευσης (44).

11.1 Είδη αερίων

Η ακριβής επιλογή του μείγματος αερίων που χρησιμοποιείται στις συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας επηρεάζεται από τους τύπους μικροοργανισμών που μπορούν να αναπτυχθούν στο προϊόν, την ευαισθησία του προϊόντος σε O₂ και CO₂ και τις απαιτήσεις σταθεροποίησης χρώματος (π.χ. διατήρηση της οξυμυοσφαιρίνης στο νωπό κρέας και της νιτροσομυοσφαιρίνης στα παστά προϊόντα κρέατος). Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι αυτά που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα - οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο. Μια μεγάλη ποικιλία άλλων αερίων έχει διερευνηθεί πειραματικά για τη δυνατότητά τους να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους. Τα αέρια που έχουν εξεταστεί περιλαμβάνουν αργό, άνθρακα μονοξείδιο, χλώριο, ήλιο, υδρογόνο, μονοξείδιο του αζώτου, όζον και διοξείδιο του θείου. Το υποξείδιο του αζώτου μπορεί επίσης να βρει περαιτέρω εμπορικές εφαρμογές, μπορεί επίσης να βρει περαιτέρω εμπορικές εφαρμογές, δεδομένου ότι υποστηρίζεται ότι αναστέλλει την οξείδωση του λίπους. Μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο σε συνδυασμό με αργό για την αναστολή της ανάπτυξης τάγγισης κατά τη διάρκεια των εργασιών επεξεργασίας. Ωστόσο, η χρήση αερίων εκτός των O₂, CO₂ και N₂ έχει περιοριστεί λόγω ανησυχιών για την ασφάλεια, νομοθεσίας, δυσμενούς ανταπόκρισης των καταναλωτών, κόστους και αρνητικών επιπτώσεων στις οργανοληπτικές ιδιότητες των συσκευασμένων προϊόντων.

Για κρέατα που απαιτούν υψηλά επίπεδα οξυγόνου για να διατηρήσουν το χρώμα και επομένως μια εμφάνιση αποδεκτή από τον καταναλωτή, η συσκευασία σε ατμόσφαιρα με υψηλό οξυγόνο είναι κοινά χρησιμοποιούμενη. Η εφαρμογή οξυγόνου υψηλής πίεσης, για την απόκτηση κρέατος υπερκορεσμένου με οξυγόνο, έχει υποστηριχθεί ότι βελτιώνει τη σταθερότητα του χρώματος και μειώνει το στάγδην για τα κόκκινα κρέατα. Με πιο ανοιχτόχρωμα κρέατα όπως το κοτόπουλο, η επίδραση στο χρώμα πιθανότατα δεν θα ήταν τόσο μεγάλη, αν και η μείωση της στάγδην θα μπορούσε να βοηθήσει στην εμφάνισή τους. Σε μια αερόβια ατμόσφαιρα με έως και 25% CO₂, τα πουλερικά έχουν αυξημένη διάρκεια ζωής και συγκεντρώσεις άνω του 25% είναι επίσης ευεργετικές, αν και μπορεί να αναπτυχθούν δυσάρεστες γεύσεις στο μαγειρεμένο κρέας (44).

Ο έλεγχος των επιπέδων οξυγόνου στις συσκευασίες με τη χρήση σαρωτών ή βελτιωμένων μεμβρανών υψηλού φραγμού είναι ένας ακόμη τομέας ενδιαφέροντος. Όταν απαιτούνται πολύ χαμηλά επίπεδα οξυγόνου και η μεμβράνη συσκευασίας είναι

διαπερατή από το οξυγόνο, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν απορροφητές οξυγόνου ή σαρωτές για να απορροφήσουν το αέριο καθώς εισέρχεται στη συσκευασία. Εάν, για παράδειγμα, σαρωτές οξυγόνου υπάρχουν σε μια συσκευασία ατμόσφαιρας διοξειδίου του άνθρακα, θα ανταγωνιστούν με το κρέας για οξυγόνο.

Η χημική οξείδωση του κρέατος, που οδηγεί σε σχηματισμό μεταμυοσφαιρίνης, μπορεί να οδηγήσει σε φθορά του προϊόντος καθώς εμφανίζεται επιφανειακή αμαύρωση. Αν και, θεωρητικά, το μέσο που απορροφά το οξυγόνο θα αποτρέψει τον αποχρωματισμό, θα πρέπει να θυμόμαστε ότι η ικανότητα απορρόφησης οξυγόνου του κρέατος και του σαρωτή σχετίζεται με την επιφάνειά τους και, εκτός εάν ο καθαριστής είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός ή έχει μεγάλη επιφάνεια, μπορεί να εμφανιστεί αποχρωματισμός καθώς η απορρόφηση οξυγόνου μπορεί να είναι πολύ αργή για να αποτρέψει μη αναστρέψιμες αλλαγές χρώματος.

Κατά τον έλεγχο του επιπέδου οξυγόνου ή άλλων αερίων στη συσκευασία, η διαπερατότητα αερίου της μεμβράνης συσκευασίας είναι σημαντική. Αυτό με τη σειρά του επηρεάζεται από τον τύπο της μεμβράνης, το πάχος και τυχόν επικαλύψεις (π.χ. αντιθαμβωτική) που έχουν εφαρμοστεί σε αυτήν. Επί του παρόντος, μόνο το αλουμινόχαρτο παρέχει ένα απόλυτο, εύκαμπτο φράγμα στο οξυγόνο, αλλά δεν επιτρέπει στον καταναλωτή να δει το προϊόν. Ορισμένα πακέτα αλουμινίου έχουν παράθυρα από διαφορετικό υλικό, αλλά αυτό επιτρέπει κάποια είσοδο οξυγόνου. Αναπτύσσονται και άλλες διαυγείς μεμβράνες υψηλού φραγμού, ιδίως τύποι επικαλυμμένων με γυαλί και διοξείδιο του πυριτίου, ενώ έχουν επίσης διερευνηθεί επικαλύψεις οξειδίου του αργιλίου. Έχει προταθεί ότι η περιβαλλοντική νομοθεσία θα ενθαρρύνει τη χρήση μεμβρανών με επικάλυψη οξειδίου αντί για φύλλα και επιμεταλλωμένες μεμβράνες.

Ο εμποτισμός του филм με σταθεροποιητικά πρόσθετα όπως η α-τοκοφερόλη έχει επίσης προταθεί και αποδειχθεί ότι μειώνει το κιτρίνισμα του филм και το τριχωτό των αρωμάτων στα προϊόντα κρέατος. Θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και άλλες δυνατότητες, όπως η ενσωμάτωση οργανικών οξέων στο филм για τη μείωση της ανάπτυξης των μικροβίων της επιφάνειας και, ως εκ τούτου, την παράταση της διάρκειας ζωής. Αν και δεν παρατείνουν τη διάρκεια ζωής αυτή καθαυτή, οι δείκτες εντός της συσκευασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των πελατών σχετικά με την κατάσταση του περιεχομένου της συσκευασίας πριν από το άνοιγμα.

Οι αλλαγές στη σύνθεση του αερίου κατά την αποθήκευση μπορούν να παρέχουν έμμεση ένδειξη της κατάστασης του προϊόντος. Οι ευαίσθητες στο διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο ετικέτες, οι οποίες αλλάζουν χρώμα σε καθορισμένες συγκεντρώσεις αερίων, θα μπορούσαν να έχουν δυνατότητες ως μη καταστροφικοί δείκτες πριν από την αλλοίωση και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση ελαττωματικών συσκευασιών και παραβίασης προϊόντων. Οι δείκτες θερμοκρασίας χρόνου, οι οποίοι δείχνουν κατάχρηση αποθήκευσης του προϊόντος, εμπίπτουν επίσης σε αυτήν την κατηγορία δεικτών εντός συσκευασίας.

11.2 Συσκευασία κενού (VP)

Τα υλικά συσκευασίας κενού για πρωτογενή τεμάχια είναι συνήθως τρεις στρώσεις συνεξώθησης οξικού αιθυλοβινυλίου/χλωριούχου πολυβινυλιδενίου/οξικού αιθυλοβινυλίου, οι οποίες γενικά έχουν διαπερατότητα O₂ μικρότερη από 15,5 ml m⁻² (24 h)⁻¹ σε 1 ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της στιβάδας χλωριούχου πολυβινυλιδενίου Η έλλειψη του O₂ σε συσκευασίες μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις οξειδωτικές επιδεινωτικές αντιδράσεις και να μειώσει την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων, η οποία συνήθως προκαλεί χρωστικές ουσίες σε κατάσταση δεοξυμυοσφαιρίνης. Οι συσκευασίες κενού χαμηλού O₂ για τεμάχια κρέατος λιανικής πώλησης είναι συνήθως συστήματα συσκευασίας κενού δέρματος (VSP) για την τοποθέτηση της κοπής λιανικής πώλησης σε δίσκο στυρολίου ή πολυπροπυλενίου φραγμού και μεμβράνες φραγμού στεγανοποίησης κενού που συρρικνώνονται λόγω θερμότητας για να συμμορφώνονται με το σχήμα του προϊόντος. Ο εξοπλισμός συσκευασίας VSP αφαιρεί τον ατμοσφαιρικό αέρα ή “ξεπλένει” τον αέρα από τη συσκευασία με αέρια μείγματα όπως N₂, CO₂ ή μείγματα N₂ και CO₂ πριν από τη θερμική σφράγιση των στρωμάτων μεμβράνης.

Η κοινή κατασκευή για τους επάνω και κάτω ιστούς συσκευασίας είναι πολυμερές φραγμού νάilon χλωριούχου πολυβινυλιδενίου ή αιθυλενοβινυλικής αλκοόλης, στρώμα φραγμού και ιονομερές. Το νάilon παρέχει όγκο, σκληρότητα και χαμηλό σημείο τήξης, ενώ το στρώμα φραγμού εμποδίζει τη διείσδυση ατμών και το ιονομερές δίνει τα απαραίτητα χαρακτηριστικά στεγανοποίησης. Μια παραλλαγή του VSP είναι η μεμβράνη καλύμματος να έχει εξωτερικό φραγμό και εσωτερικά διαπερατά από τον αέρα στρώματα, έτσι ώστε πριν από τη λιανική έκθεση, το εξωτερικό στρώμα μεμβράνης φραγμού να ξεφλουδίζεται από το διαπερατό στρώμα, έτσι ώστε ο αέρας

να μπορεί στη συνέχεια να έρθει σε επαφή με το προϊόν κρέατος και να οδηγήσει σε καλύτερο χρώμα.

11.3 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP)

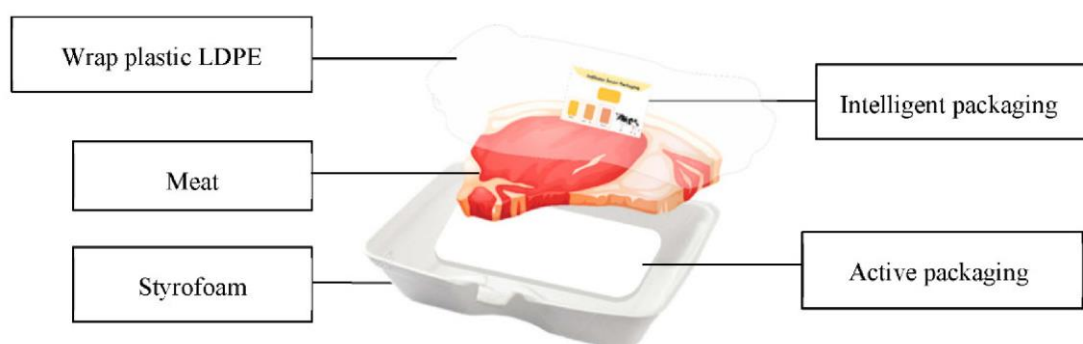
Το MAP για το κρέας απαιτεί ένα φράγμα είτε υγρασίας είτε διείσδυσης αερίου μέσω υλικών συσκευασίας για τη διατήρηση ενός σταθερού περιβάλλοντος συσκευασίας κατά την αποθήκευση. Για κάθε τύπο MAP, είναι απαραίτητο να αφαιρεθεί ή να αλλάξει η κανονική σύνθεση του ατμοσφαιρικού αέρα και να συμπεριληφθούν τόσο αερόβιοι όσο και αναερόβιοι τύποι συσκευασίας κρέατος. Τα κύρια αέρια στον ξηρό αέρα κατ' όγκο στο επίπεδο της θάλασσας είναι N₂ (78%), O₂ (20,99%), αργό (0,94%) και CO₂ (0,03%), αλλά τα ποσοστά ποικίλλουν όταν υπολογίζονται κατά βάρος. Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας με μειωμένο οξυγόνο είναι άμεσα διαθέσιμη, αλλά χρησιμοποιείται λιγότερο, παρόλο που η συσκευασία κενού είναι η πιο οικονομική συσκευασία. Η ανάπτυξη συρρικνούμενου φιλμ για χρήση σε οριζόντιο εξοπλισμό πλήρωσης-σφράγισης μορφής εξαλείφει την υπερβολική χρήση φιλμ και τις ρυτίδες. Το χαμηλό σε O₂ MAP μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δέσμη φραγμού με ανοξική ατμόσφαιρα N₂ και CO₂. Το N₂ είναι ένα αδρανές αέριο που δεν αντιδρά με χρωστικές κρέατος ούτε απορροφάται από το κρέας, επομένως, διατηρεί την ακεραιότητα της συσκευασίας με την παρουσία του στη συσκευασία.

Το μονοξειδίο του άνθρακα (CO) έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε συστήματα λιανικής συσκευασίας χαμηλής περιεκτικότητας σε O₂. Το κρέας μπορεί να εκτεθεί σε CO πριν από τη συσκευασία ή το CO μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την έκπλυση συσκευασιών VSP με αέριο πριν από τη σφράγιση, αλλά οι μικρές ποσότητες CO εξακολουθούν να επαρκούν για να προσδώσουν το επιθυμητό χρώμα κόκκινου κρέατος. Η πλειοψηφία των MAP για το νωπό ή επεξεργασμένο κρέας ήταν με υψηλό περιβάλλον O₂ (περίπου 80% O₂) που επιτρέπει επαρκή διάρκεια ζωής για μεταποιητές και λιανοπωλητές με ελεγχόμενα συστήματα διανομής.

11.4 Ενεργή συσκευασία (AP)

Η ενεργή συσκευασία (AP) είναι η ενσωμάτωση συγκεκριμένων ενώσεων σε συστήματα συσκευασίας που αλληλεπιδρούν με το περιεχόμενο ή το περιβάλλον για να διατηρήσουν ή να παρατείνουν την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Η έξυπνη συσκευασία παρέχει την ανίχνευση των ιδιοτήτων των τροφίμων ή του

περιβάλλοντος συσκευασίας για την ενημέρωση του επεξεργαστή, του λιανοπωλητή ή / και του καταναλωτή για την κατάσταση του περιβάλλοντος ή του τροφίμου. Στην AP, οι κύριες ενεργές τεχνολογίες ενισχύουν κυρίως την προστασία ή τη διάρκεια ζωής του προϊόντος ως απόκριση στις αλληλεπιδράσεις του προϊόντος, της συσκευασίας και του περιβάλλοντος, αν και μπορεί να εκτελεί άλλες λειτουργίες. Η AP μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη σκόπιμη τροποποίηση του περιβάλλοντος της συσκευασίας σε καθορισμένο χρόνο ή κατάσταση με παθητικά ή ενεργητικά μέσα, αλλά χωρίς τις εισροές και τη συνεχή παρακολούθηση που απαιτείται με τη συσκευασία ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (CAP). Τα έξυπνα συστήματα συσκευασίας έχουν εξαρτήματα που αισθάνονται το περιβάλλον και επεξεργάζονται τις πληροφορίες και στη συνέχεια επιτρέπουν τη δράση για την προστασία του προϊόντος διεξάγοντας λειτουργίες επικοινωνίας. Οι λειτουργίες και οι τεχνολογίες AP περιλαμβάνουν έλεγχο υγρασίας, διαπερατές μεμβράνες O₂, σαρωτές ή απορροφητές O₂, γεννήτριες O₂, ελεγκτές CO₂, ελεγκτές οσμών, ενίσχυση γεύσης, αφαίρεση αιθυλενίου, αντιμικροβιακούς παράγοντες και υποδοχείς μικροκυμάτων εκτός από δείκτες συγκεκριμένων ενώσεων και συσκευασία ελέγχου θερμοκρασίας.



Εικόνα 7: Ενεργή συσκευασία

11.5 Αντιμικροβιακή συσκευασία

Ένας πολλά υποσχόμενος τύπος δραστικής συσκευασίας είναι η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών ουσιών στα υλικά συσκευασίας τροφίμων για τον έλεγχο της ανεπιθύμητης ανάπτυξης μικροοργανισμών στην επιφάνεια των τροφίμων. Η αντιμικροβιακή συσκευασία είναι μια τεχνολογία που θα μπορούσε να παρατείνει τη διάρκεια ζωής και να βελτιώσει την ασφάλεια των τροφίμων τόσο στα συνθετικά πολυμερή όσο και στις βρώσιμες μεμβράνες. Ο όγκος της αγοράς για αντιμικροβιακή

χρήση σε πολυολεφίνες προβλέπεται να αυξηθεί από 3300 τόνους το 2006 σε 5480 τόνους το 2024.

Οι αντιμικροβιακές μεμβράνες μπορούν να οριστούν ως τέσσερις βασικές κατηγορίες ως εξής:

(1) Ενσωμάτωση αντιμικροβιακών ουσιών σε φακελλίσκο συνδεδεμένο με τη συσκευασία από την οποία απελευθερώνεται η βιοδραστική ουσία κατά την περαιτέρω αποθήκευση.

(2) Άμεση ενσωμάτωση του αντιμικροβιακού στη μεμβράνη συσκευασίας. Όταν εφαρμόζεται σε υλικό θερμής εξώθησης, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η θερμοαντοχή και η αντοχή σε διάτμηση του αντιμικροβιακού.

(3) Επικάλυψη της συσκευασίας με υλικό που λειτουργεί ως φορέας για το πρόσθετο. Η ουσία δεν θα υποβληθεί σε υψηλές θερμοκρασίες ή δυνάμεις διάτμησης. Επιπλέον, θα μπορούσε να εφαρμοστεί ως μεταγενέστερο βήμα.

(4) Αντιμικροβιακά μακρομόρια με ιδιότητες σχηματισμού φιλμ. Τα φακελάκια περιλαμβάνουν σαρωτές O₂, γεννήτριες CO₂, γεννήτριες διοξειδίου του χλωρίου, ενώ οι βιοδραστικοί παράγοντες που διασκορπίζονται στη συσκευασία μπορεί να είναι μεμβράνες καθαρισμού O₂, ιόντα αργύρου, τρικλοζάνη, βακτηριοσίνες, μπαχαρικά, αιθέρια έλαια, ένζυμα και άλλα πρόσθετα. Η εξώθηση του αντιμικροβιακού παράγοντα στο φιλμ έχει ως αποτέλεσμα λιγότερη επαφή προϊόντος με παράγοντα από την εφαρμογή του παράγοντα στην επιφάνεια του φιλμ.

Ωστόσο, οι παράγοντες που συνδέονται με την επιφάνεια του φιλμ είναι πιθανό να περιορίζονται σε ένζυμα ή άλλες πρωτεΐνες, επειδή η μοριακή δομή πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να διατηρεί τη δραστηριότητα στο κυτταρικό τοίχωμα του μικροοργανισμού ενώ είναι συνδεδεμένη με το πλαστικό. Μια άλλη προσέγγιση είναι η απελευθέρωση δραστικών παραγόντων στην επιφάνεια του τροφίμου, καθώς η αργή μετανάστευση των αντιμικροβιακών παραγόντων στην επιφάνεια του προϊόντος βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και βοηθούν στη διατήρηση υψηλών συγκεντρώσεων. Οι συσκευασίες με ελεύθερο χώρο απαιτούν πτητικές δραστικές ουσίες για να μεταναστεύσουν μέσω του ελεύθερου χώρου και των κενών μεταξύ της συσκευασίας και των τροφίμων.

11.6 Δυνητικοί αντιμικροβιακοί παράγοντες σε συσκευασία προϊόντων κρέατος

Οι αντιμικροβιακές ουσίες ορίζονται ως βιοκτόνα σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ, αλλά θα επιτρέπονται στις συσκευασίες τροφίμων μόνο εάν δεν υπάρχει άμεσος αντίκτυπος στην ποιότητα των συσκευασμένων τροφίμων. Αυτό απαιτεί η μετανάστευση παραγόντων στα τρόφιμα να είναι τυχαία και όχι σκόπιμη, ο παράγοντας να μην μπορεί να παρέχει συντηρητική δράση στα τρόφιμα και ο παράγοντας να μην μπορεί να επιτρέψει την επιλογή αντοχής στα βιοκτόνα στους μικροοργανισμούς. Δυνητικοί αντιμικροβιακοί παράγοντες για χρήση σε συστήματα συσκευασίας τροφίμων είναι οργανικά οξέα, όξινα άλατα, όξινοι ανυδρίτες, παραβενζοϊκά οξέα, αλκοόλη, βακτηριοσίνες, λιπαρά οξέα, εστέρες λιπαρών οξέων, χηλικοί παράγοντες, ένζυμα, μέταλλα, αντιοξειδωτικά, αντιβιοτικά, μυκητοκτόνα, αέρια αποστείρωσης, απολυμαντικοί παράγοντες, πολυσακχαρίτες, φαινολικά, πτητικές ουσίες φυτών, εκχυλίσματα φυτών και μπαχαρικών και προβιοτικά. Αντιμικροβιακές ενώσεις που έχουν αξιολογηθεί σε δομές φιλμ είναι τα οργανικά οξέα και τα άλατά τους, τα ένζυμα, οι βακτηριοσίνες, η τρικλοζάνη, οι ζεόλιθοι αργύρου και μυκητοκτόνα.

Η τρικλοζάνη, σε δόση 500 και 1000 mg kg⁻¹ σε φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE), παρουσίασε αντιμικροβιακή δράση έναντι παθογόνων βακτηρίων στη δοκιμασία διάχυσης άγαρ, αλλά δεν μείωσε αποτελεσματικά την ανάπτυξη μικροοργανισμών στο κρέας στήθους κοτόπουλου σε VP στους 7 °C. Οι βιοδραστικές επικαλύψεις επιφανειών στα υλικά συσκευασίας μπορεί να έχουν δραστηριότητα που βασίζεται στη μετανάστευση ή την απελευθέρωση μέσω εξάτμισης στον ελεύθερο χώρο και μπορεί να είναι βακτηριοσίνες, μπαχαρικά ή αιθέρια έλαια. Η εξέταση τεσσάρων μεμβρανών πολυαιθυλενίου που διαφέρουν ως προς την περιεκτικότητα σε οξικό αιθυλένιο βινύλιο και ερουκαμίδη και επικαλυμμένες με τρεις διαφορετικές βακτηριοσίνες, έδειξε αντιμικροβιακή δράση έναντι των περισσότερων στελεχών-δεικτών, με κατανομή αντιμικροβιακού παράγοντα και τραχύτητα του φιλμ που σχετίζεται με τη δραστηριότητα της συσκευασίας.

Ένας από τους πιο ελπιδοφόρους τομείς είναι η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών όπως βακτηριοσίνες και φυτικά εκχυλίσματα στην ενεργή συσκευασία και η σύνδεσή τους με βιοδιασπώμενες συσκευασίες όπως μαλγινικό, ζεΐνη (φυσικό) ή συνθετική πολυβινυλική αλκοόλη (PVA) για τη μείωση των αποβλήτων και επίσης, είναι φιλική προς το περιβάλλον. Αντιμικροβιακοί παράγοντες όπως η νισίνη και το διοξείδιο του

χλωρίου έχουν δείξει αποτελεσματικότητα κατά των βακτηρίων, αλλά απαιτούνται περαιτέρω τεχνικές εξελίξεις για την εμπορική εφαρμογή. Τα φακελάκια ClO₂ γρήγορης και βραδείας αποδέσμευσης μείωσαν τα CFU κατά 1-1,5 log σε συσκευασίες κρέατος στήθους κοτόπουλου μετά από 15 ημέρες, χωρίς να ανιχνεύεται οσμή από αισθητηριακά μέλη, αλλά το χρώμα του κοτόπουλου δίπλα στο ClO₂ επηρεάστηκε αρνητικά. Η νισίνη που ενσωματώθηκε στο πολυγαλακτικό οξύ είχε αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα έναντι τροφιμογενών παθογόνων όπως η *L. monocytogenes*, η *Escherichia coli* O157:H7 και η *Salmonella enteritidis* όταν αξιολογήθηκαν σε μέσα καλλιέργειας και υγρά τρόφιμα. Οι ίδιες προσεγγίσεις για τη χρήση παραγόντων για τον έλεγχο μικροοργανισμών μπορούν επίσης να εφαρμοστούν για τον έλεγχο οξειδωτικών διεργασιών. Το εκχύλισμα δενδρολίβανου, όταν ενσωματώθηκε σε μεμβράνη πολυπροπυλενίου (PP), ενίσχυσε τη σταθερότητα της μυοσφαιρίνης και των καπνιστών μπιριζολών βοείου κρέατος αναστέλλοντας τη μετμυοσφαιρίνη και την οξείδωση των λιπιδίων (45).

11.7 Βρώσιμες επικαλύψεις

Οι βρώσιμες επικαλύψεις έχουν προταθεί ως μέσο παράτασης της διάρκειας ζωής εμποδίζοντας τη μετανάστευση υγρασίας και άλλων συστατικών από το ένα μέρος του τροφίμου στο άλλο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, για το διαχωρισμό των σαλτσών από το κρέας, για το διαχωρισμό της ενζυμικής δραστηριότητας ή του όξινου επιδέσμου από το κρέας και για τη διατήρηση του παστού κρέατος μακριά από το μη ωριμασμένο κρέας για την πρόληψη προβλημάτων χρώματος. Οι βιοδραστικές βρώσιμες επικαλύψεις ενσωματώνουν μια αντιμικροβιακή ένωση σε μια βρώσιμη επικάλυψη, η οποία εφαρμόζεται με εμβάπτιση ή ψεκασμό στα τρόφιμα. Οι βρώσιμες επικαλύψεις πολυσακχαριτών, πρωτεϊνών και λιπιδίων μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα του νωπού, κατεψυγμένου και μεταποιημένου κρέατος και προϊόντων πουλερικών, για παράδειγμα, καθυστερώντας την απώλεια υγρασίας, μειώνοντας την οξείδωση και τον αποχρωματισμό των λιπιδίων, βελτιώνοντας την εμφάνιση του προϊόντος και λειτουργώντας ως φορέας προσθέτων τροφίμων.

Μεμβράνες από καλαμπόκι zein έχουν χρησιμοποιηθεί σε πειράματα με φέτες, μαγειρεμένο στήθος γαλοπούλας και μείωσαν την ποσότητα οξείδωσης των λιπιδίων, όπως μετρήθηκε από την περιεκτικότητα σε εξενάλη και το μαγαιάτικο/ζεστό άρωμα, σε σύγκριση με παρόμοιο προϊόν συσκευασμένο σε μεμβράνη πολυβινυλοχλωριδίου. Δυστυχώς, το ζέιν προσέδωσε μια άσχημη γεύση και άρωμα στο προϊόν. Οι βρώσιμες

επικαλύψεις θα μπορούσαν επίσης να εμποτιστούν με αντιμικροβιακούς και αντιοξειδωτικούς παράγοντες για να παραταθεί περαιτέρω η διάρκεια ζωής (46).

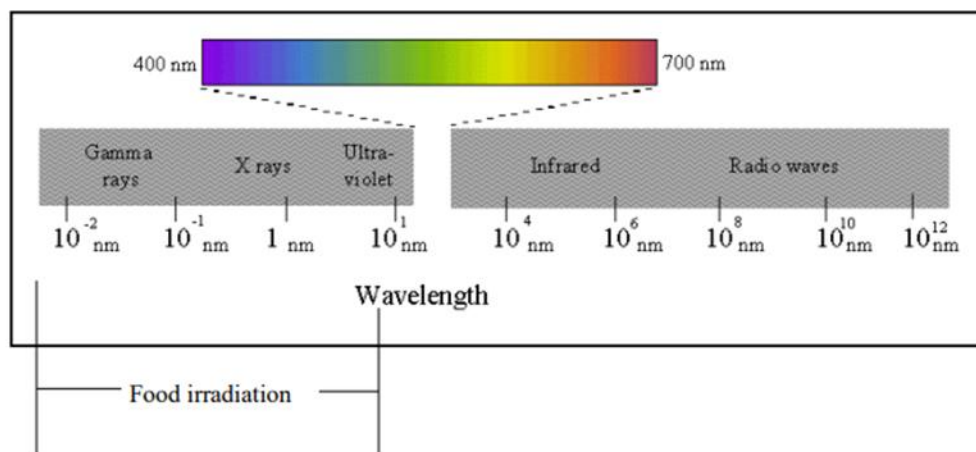
12. Ακτινοβολία

Η ακτινοβόληση τροφίμων είναι μια τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων. Ονομάζεται και «ψυχρή παστερίωση» επειδή σκοτώνει επιβλαβή βακτήρια χωρίς τη χρήση θερμότητας. Η ακτινοβόληση των τροφίμων είναι η διαδικασία έκθεσης των τροφίμων σε μια προσεκτικά ελεγχόμενη ποσότητα ενέργειας με τη μορφή σωματιδίων ή ακτίνων υψηλής ταχύτητας. Είναι μια ψυχρή διαδικασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αδρανοποιήσει την αλλοίωση και τα βακτήρια που προκαλούν ασθένειες σε στερεά τρόφιμα όπως το κρέας, τα πουλερικά, τα θαλασσινά και τα μπαχαρικά. Δεδομένου ότι η ακτινοβόληση είναι μια διαδικασία ψυχρής παστερίωσης, τα τρόφιμα παραμένουν στην ίδια φυσική κατάσταση μετά την ακτινοβόληση όπως πριν. Παρόμοια με τις άλλες διαδικασίες μικροβιακής αδρανοποίησης, όπως η θερμική παστερίωση, η ακτινοβολία δεν μπορεί να αντιστρέψει την αλλοίωση των τροφίμων. Από μικροβιολογική άποψη, η ακτινοβόληση των τροφίμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του αριθμού των παθογόνων και των μικροοργανισμών αλλοίωσης, οδηγώντας σε παρατεταμένη διάρκεια ζωής και μείωση των αποβλήτων τροφίμων λόγω αλλοίωσης (38).

12.1 Πηγές ακτινοβολίας

Υπάρχουν τρεις τύποι ιονίζουσας ακτινοβολίας (Εικ. 8), οι οποίοι μπορούν δυνητικά να χρησιμοποιηθούν στην ακτινοβόληση τροφίμων:

1. Ακτίνες γάμμα από τα ραδιονουκλεΐδια του καισίου 137 (^{137}Cs) ή του κοβαλτίου 60 (^{60}Co)
2. Ακτίνες X που παράγονται από μηχανικές πηγές που λειτουργούν σε επίπεδο ενέργειας 5MeV ή χαμηλότερο από αυτό, και
3. Ηλεκτρόνια που παράγονται από μηχανικές πηγές που λειτουργούν σε ή κάτω από ένα ενεργειακό επίπεδο 10 MeV (επίσης γνωστό ως E-Beam).



Εικόνα 8: Φάσμα ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία τροφίμων

12.2 Επίδραση της ακτινοβολίας σε μικροοργανισμούς

Οι μικροοργανισμοί ποικίλλουν σημαντικά στην ανταπόκρισή τους στην ακτινοβολία. Οι ιοί και τα βακτήρια που σχηματίζουν σπόρια είναι τα πιο ανθεκτικά, ακολουθούμενα από ζύμες και μύκητες μούχλας, ωστόσο, τα φυτικά βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα. Προσχηματισμένες βακτηριακές ή μυκητιακές τοξίνες είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στην ακτινοβολία, καθώς δεν περιέχουν γενετικό υλικό.

12.3 Μηχανισμοί δράσης της ακτινοβολήσης

Το DNA είναι πολύ ευαίσθητο στην ακτινοβολήση. αδρανοποίηση βακτηρίων, ζυμομυκήτων και μυκήτων μούχλας προκύπτει κυρίως από βλάβη στο DNA, κατά συνέπεια οι διαφορετικές ευαισθησίες αυτών των μικροοργανισμών στην ακτινοβολήση αντικατοπτρίζουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων επισκευής του DNA τους. Η βλάβη του μικροβιακού κυττάρου που προκαλείται από την ακτινοβολήση μπορεί να αποδοθεί στις άμεσες ή έμμεσες επιδράσεις της ακτινοβολίας στα μόρια DNA.

12.3.1 Άμεση λειτουργία

Στον άμεσο τρόπο δράσης, η ακτινοβολία χτυπά απευθείας το μόριο DNA, διαταράσσοντας έτσι τη μοριακή δομή του. Μια τέτοια δομική αλλαγή οδηγεί σε κυτταρική βλάβη ή ακόμα και κυτταρικό θάνατο.

12.3.2 Έμμεση δράση

Στην έμμεση δράση, η ακτινοβολία χτυπά τα μόρια του νερού, το οποίο είναι το κύριο συστατικό του μικροβιακού κυττάρου και άλλων οργανικών μορίων μέσα στο κύτταρο,

έτσι παράγονται ελεύθερες ρίζες όπως ιόντα υδροξυλίου (OH⁻) και άτομα υδρογόνου (H). Οι ελεύθερες ρίζες χαρακτηρίζονται από τη παρουσία ενός μη συζευγμένου ηλεκτρονίου στη δομή του, το οποίο είναι πολύ αντιδραστικό και επομένως αντιδρά με τα μόρια DNA και προκαλεί δομική βλάβη στα μόρια τους. Το αποτέλεσμα αυτού του έμμεσου τρόπου δράσης της ακτινοβολίας στα μόρια DNA είναι η βλάβη της κυτταρικής λειτουργίας ή ο θάνατός της. Ο αριθμός των ελεύθερων ριζών που παράγονται από την ιονίζουσα ακτινοβολία εξαρτάται από τη συνολική δόση της. Η βλάβη του μικροβιακού κυττάρου από την ακτινοβολία σχετίζεται κυρίως με το σχηματισμό διασυνδέσεων στο DNA, προκαλώντας παραμόρφωση του μορίου και συνεπώς καταστολή της αντιγραφής του. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες προκαλούν ρωγμές στο δίκλωνο DNA με την ίδια συνέπεια (39).

12.4 Πλεονεκτήματα της ακτινοβόλησης κρεατοσκευασμάτων

Η ακτινοβόληση των προϊόντων κρέατος προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι της παραδοσιακής συντήρησης τροφίμων με χημικές ή θερμικές μεθόδους, που περιλαμβάνουν:

1. Λόγω της βαθιάς διείσδυσης της ιονίζουσας ακτινοβολίας, τα προϊόντα διατροφής μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία στη σφραγισμένη ή τελική συσκευασία τους. Αυτό περιορίζει τον κίνδυνο μόλυνσης των τροφίμων μετά την επεξεργασία αποστείρωσης.
2. Κατά τη διάρκεια της ακτινοβόλησης, δεν απαιτούνται πτητικές ή τοξικές χημικές ουσίες. Επιπλέον, με τη χρήση ακτινοβολίας ακτίνων X ή δέσμης e, δεν παράγονται τελικά προϊόντα που ενδέχεται να απαιτούν την απόρριψη.
3. Κατά τη διάρκεια της ακτινοβολίας, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ελάχιστη. Επιπλέον, η αποστείρωση ακτινοβολίας δεν εξαρτάται από τη θερμότητα, καθώς είναι αποτελεσματική στο περιβάλλον και στις θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν.
4. Η ακτινοβολία μπορεί να αποστειρώσει τρόφιμα και προϊόντα με μεταβλητό μέγεθος, πάχος ή πυκνότητα και ομοιογενή ή ετερογενή συστήματα.
5. Η διαδικασία ακτινοβόλησης τροφίμων μπορεί να αποφέρει υψηλό επίπεδο διασφάλισης στείρωσης, εξασφαλίζοντας ότι λιγότεροι από 10⁶ μικροοργανισμοί επιβιώνουν από τη θεραπεία αποστείρωσης τροφίμων.

6. Μόνο μία μεταβλητή παρακολουθείται κατά την ακτινοβόληση των τροφίμων, δηλαδή η δόση/χρόνος έκθεσης, καθιστώντας έτσι τη διαδικασία αποστείρωσης απλούστερη και εύκολη στον έλεγχο (38).

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι που συμβάλλουν στην αύξηση της διατηρησιμότητας των κρεατοσκευασμάτων, χωρίς να θέσουν σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Ελέγχοντας τη θερμοκρασία, την aw, το pH και τη μικροβιακή δραστηριότητα μεταξύ άλλων, ο χρόνος ζωής και η ασφάλεια των προϊόντων κρέατος αυξάνονται, γεγονός που ευνοεί και προστατεύει τον καταναλωτή. Η επιστημονική και τεχνολογική πρόοδος εξελίσσει και βελτιώνει τεχνικές συντήρησης που χρησιμοποιούνται από αρχαιοτάτων χρόνων, ενώ μέσω αυτής, προκύπτουν νέες περισσότερο στοχευμένες και αποτελεσματικές τεχνικές. Στο μέλλον, μέθοδοι και διεργασίες που δεν έχουν ακόμα μελετηθεί στον βαθμό που τις καθιστά ασφαλείς για ευρεία χρήση, όπως και πιθανές παρενέργειες αυτών, θα μελετηθούν περισσότερο εις βάθος και θα αποτελέσουν και αυτές πιθανές μεθόδους συντήρησης του κρέατος και των προϊόντων του.

Βιβλιογραφία

- (1) Sharma R, Garg P, Kumar P, Bhatia SK, Kulshrestha S. Microbial Fermentation and Its Role in Quality Improvement of Fermented Foods. *Fermentation*. 2020; 6(4):106.
- (2) Wójciak K.M., Dolatowski Z.J. (2012). Oxidative stability of fermented meat products. *Acta Sci.Pol. Technol. Aliment.* 11 (2), 99-109
- (3) Kołożyn-Krajewska D., Dolatowski Z.J. (2009). Probiotics in fermented meat products. *Acta Sci.Pol. Technol. Aliment.* 8 (2), 61-74
- (4) B.J. Juven, R. Gertshovki, The Effect of Salting on the Microbiology of Poultry Meat, *Journal of Food Protection*, Volume 39, Issue 1, 1976, Pages 13-17
- (5) Ji Wang, Xu-Hui Huang, Yu-Ying Zhang, Shengjie Li, Xiuping Dong, Lei Qin, Effect of sodium salt on meat products and reduction sodium strategies — A review, *Meat Science*, Volume 205, 2023,
- (6) Esbelin, J.; Santos, T.; Hébraud, M. Desiccation: An environmental and food industry stress that bacteria commonly face. *Food Microbiol.* 2018, 69, 82–88

- (7) Barcenilla C, Álvarez-Ordóñez A, López M, Alvseike O, Prieto M. Microbiological Safety and Shelf-Life of Low-Salt Meat Products—A Review. *Foods*. 2022
- (8) Coral Barcenilla, Avelino Álvarez-Ordóñez, Mercedes López, Ole Alvseike & Miguel Prieto. (2022) Microbiological Safety and Shelf-Life of Low-Salt Meat Products—A Review. *Foods* 11:15, pages 2331.
- (9) VLAHOVA-VANGELOVA, D. and S. DRAGOEV, 2014. Marination: effect on meat safety and human health. A review. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 20: 503-509
- (10) Woods, L. F. J., & Church, P. N. (1999). Strategies for extending the shelf-life of poultry meat and products. In *Poultry Meat Science Symposium Series*. Richardson, RL and Mead, GC (eds.). CABI, Publishing, UK (Vol. 25, pp. 297-312).
- (11) Wen, L., He, H., Liu, Y., Wang, W., Du, P., Hu, P. & Ma, Y. (2024). Research progress on natural preservatives of meat and meat products: classifications, mechanisms and applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- (12) Yu HH, Chin Y-W, Paik H-D. Application of Natural Preservatives for Meat and Meat Products against Food-Borne Pathogens and Spoilage Bacteria: A Review. *Foods*. 2021; 10(10):2418.
- (13) Stojanović-Radić, Z.; Pejčić, M.; Joković, N.; Jokanović, M.; Ivić, M.; Šojić, B.; Škaljac, S.; Stojanović, P.; Mihajilov-Krstev, T. Inhibition of *Salmonella* Enteritidis growth and storage stability in chicken meat treated with basil and rosemary essential oils alone or in combination. *Food Control* 2018, 90
- (14) Moura-Alves, M.; Gouveia, A.R.; de Almeida, J.M.M.M.; Monteiro-Silva, F.; Silva, J.A.; Saraiva, C. Behavior of *Listeria monocytogenes* in beef Sous vide cooking with *Salvia officinalis* L. essential oil, during storage at different temperatures. *LWT* 2020, 132, 109896.
- (15) Chen, X.; Chen, W.; Lu, X.; Mao, Y.; Luo, X.; Liu, G.; Zhu, L.; Zhang, Y. Effect of chitosan coating incorporated with oregano or cinnamon essential oil on the bacterial diversity and shelf life of roast duck in modified atmosphere packaging. *Food Res. Int.* 2021
- (16) Aminzare, M., Hashemi, M., Ansarian, E., Bimakr, M., Hassanzad Azar, H., Mehrasbi, M. R., ... & Afshari, A. (2019). Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: A review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(5), 417-426.
- (17) Abustam, E., Said, M. I., Yusuf, M., & Ali, H. M. (2019, March). Effect of aging time on changes in smoke flour compounds on meatballs and fresh meat of Bali beef. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 247, No. 1, p. 012026). IOP Publishing.

- (18) Plavsic, D., Okanovic, D., Gubic, J., & Njezic, Z. (2015). Microbiological and chemical evaluation of dried smoked meat product. *Procedia Food Science*, 5, 239-242.
- (19) Morey, A., Bratcher, C. L., Singh, M., & McKee, S. R. (2012). Effect of liquid smoke as an ingredient in frankfurters on *Listeria monocytogenes* and quality attributes. *Poultry science*, 91(9), 2341-2350.
- (20) Boles, J. A. (2010). Thermal processing. *Handbook of meat processing*, 169.
- (21) MANDAL, P. K., Mahendrakar, N. S., & Sachindra, N. M. (2011). Thermal Processing of Meat. In *Technology of Muscle Foods*, 285-321.
- (22) Pearson, A.M., Tauber, F.W. (1984). The Canning Process. In: *Processed Meats*. Springer, Dordrecht.
- (23) A.H.W. Hauschild, B. Simonsen, Safety of Shelf-Stable Canned Cured Meats, *Journal of Food Protection*, Volume 48, Issue 11, 1985
- (24) Thippareddi, H., & Sanchez, M. (2006). Thermal processing of meat products. *Thermal Food Processing New Technologies and Quality Issue*; Taylor & Francis: New York, NY, USA.
- (25) Oster, K. V. (2011). *The Complete Guide to Preserving Meat, Fish, and Game: Step-by-step Instructions to Freezing, Canning, and Smoking*. Atlantic Publishing Company.
- (26) Binkerd, E. F., & Kolari, O. E. (1975). The history and use of nitrate and nitrite in the curing of meat. *Food and cosmetics toxicology*, 13(6), 655-661.
- (27) Mishra, B., Mishra, J., Pati, P., & Rath, P. (2017). Dehydrated meat products: A review. *Int. J. Livest. Res*, 7(22), 10-22.
- (28) Arnau, J., Serra, X., Comaposada, J., Gou, P., & Garriga, M. (2007). Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. *Meat science*, 77(1), 81-89.
- (29) Aykın Dinçer, E. (2023). Dried meat products obtained by different methods from past to present. *Food Reviews International*, 39(5), 2457-2476.
- (30) Pinton, M. B., dos Santos, B. A., Lorenzo, J. M., Cichoski, A. J., Boeira, C. P., & Campagnol, P. C. B. (2021). Green technologies as a strategy to reduce NaCl and phosphate in meat products: An overview. *Current Opinion in Food Science*, 40, 1-5
- (31) Al-Jasser, M. S. (2012). Effect of cooling and freezing temperatures on microbial and chemical properties of chicken meat during storage.

- (32) Zhou, G. H., Xu, X. L., & Liu, Y. (2010). Preservation technologies for fresh meat—A review. *Meat science*, 86(1), 119-128.
- (33) Evans, J. (2009). Food chilling and freezing technologies: Potential for energy saving.
- (34) Choi, M. J., Min, S. G., & Hong, G. P. (2016). Effects of pressure-shift freezing conditions on the quality characteristics and histological changes of pork. *LWT-Food Science and Technology*, 67, 194-199
- (35) Misra, N. N., & Jo, C. (2017). Applications of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 74-86.
- (36) Akhtar, J., Abrha, M. G., Teklehaimanot, K., & Gebrekirstos, G. (2022). Cold plasma technology: Fundamentals and effect on quality of meat and its products. *Food and Agricultural Immunology*, 33(1), 451-478.
- (37) Jung, S.; Lee, J.; Lim, Y.; Choe, W.; Yong, H.I.; Jo, C. Direct infusion of nitrite into meat batter by atmospheric pressure plasma treatment. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2017, 39, 113–118. (36) Sena Vaz Leães, Y.; Basso Pinton, M.; Terezinha de Aguiar Rosa, C.; Sasso Robalo, S.; Wagner, R.; Ragagnin de Menezes, C.; Smanioto Barin, J.; Cezar Bastianello Campagnol, P.; José Cichoski, A. Ultrasound and basic electrolyzed water: A green approach to reduce the technological defects caused by NaCl reduction in meat emulsions. *Ultrason. Sonochem.* 2020, 61, 104830.
- (38) Alarcon-Rojo, A. D., Carrillo-Lopez, L. M., Reyes-Villagrana, R., Huerta-Jiménez, M., & Garcia-Galicia, I. A. (2019). Ultrasound and meat quality: A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 55, 369-382
- (39) C. Ozuna, A. Puig, J.V. García-Pérez, A. Mulet, J.A. Cárcel, Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations, *J. Food Eng.* 119 (2013) 84–93
- (40) Barretto, T. L., Sanches, M. A. R., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Telis-Romero, J., & da Silva Barretto, A. C. (2023). Recent advances in the application of ultrasound to meat and meat products: Physicochemical and sensory aspects. *Food Reviews International*, 39(7), 4529–4544.
- (41) Alma Delia Alarcon-Rojo, Luis Manuel Carrillo-Lopez, Raul Reyes-Villagrana, Mariana Huerta-Jiménez, Ivan Adrian Garcia-Galicia, Ultrasound and meat quality: A review, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 55, 2019, Pages 369-382, ISSN 1350-4177

- (42) A.D. Alarcon-Rojo, H. Janacua, J.C. Rodriguez, L. Paniwnyk, T.J. Mason, Power ultrasound in meat processing, *Meat Science*, Volume 107, 2015, Pages 86-93,
- (43) Ercan, S. S., & Soysal, C. (2013). Use of ultrasound in food preservation.
- (44) Wang, H. H., Chen, J., Bai, J., & Lai, J. (2018). Meat packaging, preservation, and marketing implications: Consumer preferences in an emerging economy. *Meat Science*, 145, 300-307.
- (45) Frank Vandendriessche, Meat products in the past, today and in the future, *Meat Science*, Volume 78, Issues 1–2, 2008,
- (46) Τεχνολογία κρέατος και προϊόντων του, Συγγραφείς: Σπυρίδων Β. Ραμαντάνης
- (47) Joshua Ajibola, O. (2020). An overview of irradiation as a food preservation technique. *Novel Research in Microbiology Journal*, 4(3), 779-789.
- (48) Indiarto, R., Irawan, A. N., & Subroto, E. (2023). Meat irradiation: A comprehensive review of its impact on food quality and safety. *Foods*, 12(9), 1845.

