



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Νέες μέθοδοι επεξεργασίας για την ήπια επεξεργασία του
κρέατος και των προϊόντων του**

MSc Thesis

New processing methods for mild processing of meat and its products



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Γκελντής Ανδρέας

Andreas Gkelntis

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Παπαδοπούλου Όλγα

Papadopoulou Olga

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2024

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: KR NKHP61b5ZTIi4H2bbEbg

: 1/82



Faculty of Food Sciences
Department of Food Science and Technology

MSc THESIS

New processing methods for mild processing of meat and its products

Andreas Gkelntis

22003

andreasgeldis@gmail.com

SUPERVISOR

Papadopoulou Olga

AIGALEO 2024

i

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: KR NKHP6ib5ZTIi4H2bbEbg

: 2/82

Επιτροπή Αξιολόγησης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (master thesis) με τίτλο **‘Νέες μέθοδοι επεξεργασίας για την ήπια επεξεργασία του κρέατος και των προϊόντων του’** που παρουσιάστηκε από τον Γκελντή Ανδρέα, υποψηφίου για τον μεταπτυχιακό τίτλο σπουδών στην ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία 28/11/2024

Όλγα Παπαδοπούλου

Ερευνήτρια Β βαθμίδας/ Επιβλέπουσα

Σπυρίδων Κοντελής

Επίκουρος Καθηγητής/ Μέλος

Νικόλαος Χωριανόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής/ Μέλος



Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

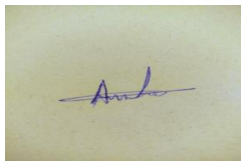
Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Γκελντής Ανδρέας του Ευστάθιου, με αριθμό μητρώου 22003 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (Π.Μ.Σ.) «ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ» του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα 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 μένα 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».

Ο Δηλών

Γκελντής Ανδρέας



iii

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: KRKHP6ib5ZTIi4H2bbEbg

: 4/82

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Παπαδοπούλου Όλγα, Ερευνήτρια Β ΕΛΓΟ ΔΗΜΗΤΡΑ , για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας μου. Επίσης τους όλους τους καθηγητές που μετέφεραν τις γνώσεις τους με μεταδοτικότητα και χαρά και ειδικά την κα Βασιλεία Σινάνογλου Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, στο Εργαστήριο Χημείας, Ανάλυσης & Σχεδιασμού Διεργασιών Επεξεργασίας Τροφίμων Επίσης την κυρία Ε. Παπαπαύλου , γραμματέα του ΠΜΣ για όλες τις πληροφορίες που προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς, στους κοντινούς μου ανθρώπους και τους γονείς μου για την ενθάρρυνση, την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.



Περίληψη

Η επεξεργασία τροφίμων αναφέρεται στην μετατροπή των προϊόντων της κτηνοτροφίας και της γεωργίας, μέσω πολλαπλών μονάδων λειτουργίας, σε πιο εύκολα στο μαγείρεμα ή την κατανάλωση, νόστιμα, μακράς διάρκειας, και ασφαλή για την ανθρώπινη κατανάλωση προϊόντα. Διάφορες παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας και διατήρησης όπως το στέγνωμα, το τηγάνισμα, το κάπνισμα, το πάστωμα, κ.λπ. εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως και αποτελεσματικά στην επεξεργασία βρώσιμων προϊόντων. Η πλειοψηφία των παραδοσιακών μεθόδων επεξεργασίας τροφίμων βασίζεται στην απελευθέρωση θερμότητας για τη μείωση της ανάπτυξης μικροοργανισμών και την αναστολή των μολυσματικών παθογόνων οργανισμών γενικότερα, η οποία καθιστά το φαγητό ασφαλές για κατανάλωση. Αυτές οι θερμικές επεξεργασίες καταναλώνουν υψηλή ενέργεια, παρέχοντας χαμηλή απόδοση παραγωγής. Επιπρόσθετα, υπάρχουν πολλά προϊόντα τροφίμων που απειλούνται από βακτηριακή ή ιογενή μόλυνση για τα οποία η επεξεργασία με θερμότητα δεν είναι η κατάλληλη. Τέτοια προϊόντα τροφίμων, όπως το κρέας, που είναι ευαίσθητα στη θερμότητα μπορεί να υποστούν φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές αλλοιώσεις, όπως η τροποποίηση της γεύσης, του χρώματος και της υφής. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε η ανάγκη για έρευνα προκειμένου να εκμεταλλευτούμε με τον μέγιστο δυνατό τρόπο τις υπάρχουσες τεχνολογίες και να αναπτύξουμε καινοτόμες και αποτελεσματικότερες εναλλακτικές μεθόδους.

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των καινοτόμων τεχνολογιών μη θερμικής και επομένως, ήπιας επεξεργασίας του νωπού κρέατος και των προϊόντων κρέατος. Εξετάζονται διεξοδικά οι εξής μέθοδοι: α) υπερυψηλή υδροστατική πίεση, β) παλμικά ηλεκτρικά πεδία, γ) υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, δ) υπεριώδης ακτινοβολία και ε) ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα παραθέτοντας τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, τους τρόπους εφαρμογής της εκάστοτε μεθόδου μαζί με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές.

Πραγματοποιείται, ακόμα, η προσπάθεια να παραθέσουμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υπάρχουσων μεθόδων χαμηλής θερμοκρασίας επεξεργασίας προκειμένου να διευκολυνθεί η σύγκριση και κατόπιν η αξιολόγηση αυτών.



Abstract

Food processing refers to the transformation of livestock and agricultural products, through multiple operating units, into products that are easier to cook or consume, tasty, long-lasting, and safe for human consumption. Various traditional methods of processing and preservation, such as drying, frying, smoking, salting, etc., continue to be widely and effectively used in the processing of edible products. Most traditional food processing methods rely on the application of heat to reduce the growth of microorganisms and inhibit infectious pathogens in general, making the food safe to consume. These thermal processes consume high energy and provide low production efficiency. Additionally, many food products that are susceptible to bacterial or viral contamination may not be suitable for heat treatment. Such food products, like meat, which are sensitive to heat, may undergo physical, chemical, and microbiological alterations, such as changes in taste, color, and texture. For this reason, the need arose for research to make the most of existing technologies and develop innovative and more effective alternative methods.

The main subject of this thesis is the analysis of innovative non-thermal and therefore mild processing technologies for fresh meat and meat products. The following methods are thoroughly examined: a) ultra-high hydrostatic pressure, b) pulsed electric fields, c) high-intensity ultrasound, d) ultraviolet radiation, and e) cold atmospheric plasma, outlining their specific characteristics, the application methods of each technique, along with the results produced by them.

Moreover, an effort is made to present the advantages and disadvantages of existing low-temperature processing methods to facilitate comparison and subsequent evaluation.



Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπήςiii

Ευχαριστίεςiii

Αφιερώσειςvi

Περίληψηv

Abstract viiv

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Τίτλος Πίνακα Error! Bookmark not defined.

Πίνακας 2. Τίτλος Πίνακα Error! Bookmark not defined.

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Τίτλος Σχήματος..... Error! Bookmark not defined.

Σχήμα 2. Τίτλος Σχήματος..... Error! Bookmark not defined.

κ.ο.κ. Error! Bookmark not defined.



[Δήλωση περί λογοκλοπής](#)iii

[Ευχαριστίες](#)iii

[Αφιερώσεις](#)vi

[Περίληψη](#)

[Abstract](#) vi

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	5
Υψηλή υδροστατική πίεση	5
1.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	5
1.2 Εφαρμογές της ΗΗΡ σε κρέας και προϊόντα κρέατος.....	6
1.3 Βασική αρχή της υπερυψηλής πίεσης	7
1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την χρήση ΗΡΡ	7
α. pH	7
1.3 Επίδραση της ΗΗΡ στο κύτταρο.....	9
1.4 Επίδραση της Υπερυψηλής Πίεσης στα τρόφιμα	10
1.4.1 Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς.....	10
1.4.2 Επίδραση της ΥΠ στα θρεπτικά, ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τροφίμου	11
1.4.3 Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα	12
1.5 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της υπερυψηλής πίεσης	12
1.6 Εξοπλισμός και Λειτουργία της Υπερυψηλής Πίεσης.....	13
1.7 Πάγιο και λειτουργικό κόστος της ΥΠ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	15
Παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF)	15
2.1 Γενικά χαρακτηριστικά	15
2.2 Σύστημα επεξεργασίας PEF - εξοπλισμός	16
2.3 Εφαρμογή PEF	18
2.3.1 Διάρρηξη των ιστών του κρέατος μέσω PEF	18
2.3.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση του κρέατος μέσω PEF	19
2.4 Συμπεράσματα	20



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	21
Ψυχρό Ατμοσφαιρικό Πλάσμα (cold atmospheric plasma, CAP).....	21
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά	21
3.2 Εξοπλισμός	22
3.3 Εφαρμογή	25
3.3.1 Μικροβιακή αδρανοποίηση	25
3.3.2 Αδρανοποίηση βιοφίλμ στις επιφάνειες επεξεργασίας	26
3.3.3 Ωρίμανση	27
3.3.4 Επεξεργασία συσκευασμένων προϊόντων	27
3.4 Συμπεράσματα	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	29
Υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, Ultrasound Radiation (US).....	29
4.1 Γενικά χαρακτηριστικά	29
4.2 Εξοπλισμός	30
4.2.1 Μετατροπέας υπερήχων	30
4.2.2 Ηλεκτρική γεννήτρια	31
4.2.3 Εκπομπέας	31
4.3 Εφαρμογή	32
4.3.1 Φιλτράρισμα	33
4.3.2 Ψύξη	33
4.3.3 Απόψυξη	34
4.3.4 Αλιπάστωση	34
4.3.5 Αποξήρανση	34
4.3.6 Τεμαχισμός	34
4.3.7 Αποστείρωση / παστερίωση	35
4.3.8 Εξαγωγή συστατικών	35
4.3.9 Ενυδάτωση	35
4.4 Συμπεράσματα	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	37
Υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, Ultrasound Radiation (US).....	37
5.1 Γενικά χαρακτηριστικά	37
5.2 Εξοπλισμός	38



5.2.1 Μετατροπέας υπερήχων	38
5.2.2 Ηλεκτρική γεννήτρια	39
5.2.3 Εκπομπέας	39
.....	40
5.2.4 Εφαρμογή	40
5.2.5 Φιλτράρισμα	40
5.2.6 Ψύξη	41
5.2.7 Απόψυξη	41
5.2.8 Αλιπάσωση	42
5.2.9 Αποξήρανση	42
5.2.10 Τεμαχισμός	42
5.2.11 Αποστείρωση / παστερίωση	42
5.2.12 Εξαγωγή συστατικών	43
5.2.13 Ενυδάτωση	43
5.3 Συμπεράσματα	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Υπεριώδης ακτινοβολία Ultraviolet radiation, UV	45
6.1 Γενικά χαρακτηριστικά	45
6.2 Εξοπλισμός	47
6.2.2 Ιμάντες Μεταφοράς με Υπεριώδη Ακτινοβολία UV-C	48
6.2.3 Μονάδες Απολύμανσης Αέρα	48
6.2.4 Απολύμανση Επιφανειών	49
6.3 Εφαρμογή	49
6.4 Συμπεράσματα	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Συμπεράσματα.....	51
Βιβλιογραφία - Αναφορές.....	52
Παράρτημα - Πίνακες.....	58



Εισαγωγή

Η κατανάλωση κρέατος αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα επιβίωσης του ανθρώπινου είδους καθώς και της εξέλιξης της πολιτισμικής μας ανάπτυξης από τα αρχαία χρόνια.

Το κρέας αποτελεί πλούσια πηγή απαραίτητων θρεπτικών συστατικών όπως πρωτεΐνες, σίδηρος, ψευδάργυρος και βιταμίνες Β, τα οποία συμβάλλουν στη διατήρηση της βέλτιστης υγείας του ανθρώπου. Η πρωτεΐνη παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και την αναγέννηση των μυών, καθώς και σε διάφορες μεταβολικές λειτουργίες του ανθρώπινου οργανισμού. Ο σίδηρος είναι απαραίτητος για τη μεταφορά οξυγόνου στο αίμα, ενώ ο ψευδάργυρος βοηθά τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την επούλωση των πληγών. Οι βιταμίνες Β εμπλέκονται στον μεταβολισμό της ενέργειας και τη λειτουργία του νευρικού συστήματος.

Η σημασία της κατανάλωσης κρέατος για τους ανθρώπους είναι πολυδιάστατη, περιλαμβάνοντας διατροφικές, πολιτιστικές, οικονομικές αλλά και περιβαλλοντικές διαστάσεις. Ενώ το κρέας παρέχει ουσιώδη θρεπτικά συστατικά και πολιτιστική σημασία, η παραγωγή και η κατανάλωσή του επίσης δημιουργούν προκλήσεις σχετικά με την αειφορία και τη δημόσια υγεία αλλά και ηθικούς προβληματισμούς.

Η σύγχρονη επεξεργασία κρέατος και η περαιτέρω παραγωγή προϊόντων κρέατος όφειλε να εναρμονιστεί με τις σύγχρονες απαιτήσεις της παγκοσμιοποιημένης αγοράς και να εκμεταλλευτεί επαρκώς τις νέες τεχνολογίες. Οι καταναλωτές απαιτούν ολοένα και υψηλότερης ποιότητας προϊόντα κρέατος, με φυσική γεύση και άρωμα, φρέσκια εμφάνιση, αναλλοίωτη υφή και θρεπτική αξία. Παράλληλα, λαμβάνεται υπόψη η όσο το δυνατό λιγότερη επεξεργασία των προϊόντων αυτών, χωρίς πρόσθετα, όπως συντηρητικά ή υγραντικά, καθώς και η εύκολη επεξεργασία κατά την τελική κατανάλωσή τους.

Επομένως, όλες οι νέες τεχνολογίες επεξεργασίας και συντήρησης στη βιομηχανία του κρέατος, όπως και στη βιομηχανία των τροφίμων γενικότερα, καλούνται να συνδυάσουν και να εναρμονίσουν όλες αυτές τις απαιτήσεις, χωρίς συμβιβασμούς στην ασφάλεια των τελικών προϊόντων.

Καθώς τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μεγάλος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης των συσκευασμένων σε κενό αέρος προϊόντων κρέατος (είτε κομμένα σε κομμάτια ή φέτες, είτε μαριναρισμένα κλπ.), τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας του κρέατος αποκτούν ιδιαίτερη σημασία, εφόσον κατά την επεξεργασία αυτή το προϊόν καθίσταται επιρρεπές σε μολύνσεις. Οι μέθοδοι επεξεργασίας σε ήπιες θερμοκρασίες στοχεύουν στη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των προϊόντων κρέατος ενώ ελαχιστοποιούν τη χρήση πρόσθετων ή σκληρών και άκρως επεμβατικών μεθόδων επεξεργασίας. Με τη διατήρηση των φυσικών χαρακτηριστικών του κρέατος, αυτές οι μέθοδοι βοηθούν στην αποτελεσματικότερη ικανοποίηση της ζήτησης των καταναλωτών για τρόφιμα που είναι τόσο θρεπτικά όσο και νόστιμα.

Απαιτούνται, συμπερασματικά, στη βιομηχανία του κρέατος, νέες τεχνολογίες ήπιας επεξεργασίας που θα εξοντώνουν πιθανούς παθογόνους μικροοργανισμούς, θα εμποδίζουν την ανάπτυξη νέων αλλοιογόνων μικροοργανισμών, θα εξοικονομούν ενέργεια για τις βιομηχανίες και θα είναι φιλικές προς το περιβάλλον εναρμονιζόμενες με τις πλέον σύγχρονες δεοντολογικές και νομικές υποδείξεις του εκάστοτε κράτους.

Στην παρούσα εργασία, επομένως, θα εξεταστούν οι μέθοδοι ήπιας επεξεργασίας νωπού κρέατος, και των προϊόντων αυτού, που παρέχονται από τη σύγχρονη τεχνολογία. Οι καινοτόμες μέθοδοι



που θα αναλυθούν και αφορούν τεχνολογίες χαμηλής θερμικής επεξεργασίας είναι, συνοπτικά, οι εξής:

- Υψηλή υδροστατική πίεση, High hydrostatic pressure (HHP), μέθοδος μη θερμικής επεξεργασίας τροφίμων που χρησιμοποιεί υψηλά επίπεδα υδροστατικής πίεσης για την αδρανοποίηση μικροοργανισμών, ενζύμων και άλλων παραγόντων μόλυνσης.
- Υπερυψηλή υδροστατική πίεση, Ultra-high hydrostatic pressure (UHHP), μέθοδος μη θερμικής επεξεργασίας τροφίμων που υποβάλλει τα τρόφιμα σε σημαντικά υψηλότερες πιέσεις σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους HHP.
- Παλμικά ηλεκτρικά πεδία, Pulsed Electric Field (PEF), μη θερμική μέθοδος επεξεργασίας τροφίμων που χρησιμοποιεί σύντομους και υψηλής τάσης παλμούς προκειμένου να βελτιωθεί η εξαγωγή ενδοκυττάρων συστατικών και να ενισχυθεί η αδρανοποίηση μικροοργανισμών, ενζύμων κλπ.
- Υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, Ultrasound Radiation (US), αφορά υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα προκειμένου να ελέγχεται το μικροβιακό φορτίο των υπό επεξεργασία τροφίμων.
- Υπεριώδης ακτινοβολία, Ultraviolet radiation (UV), δεν χρησιμοποιείται συχνά στην επεξεργασία κρέατος λόγω της περιορισμένης ικανότητάς της να διεισδύσει στον ιστό του αλλά μπορεί να απολυμαίνει τις επιφάνειες ή να αποστειρώνει τα υλικά συσκευασίας στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος.
- Ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, Cold atmospheric plasma (CAP), χρησιμοποιεί χαμηλές θερμοκρασίες για τη δημιουργία πλάσματος για την απολύμανση και την απολίπανση επιφανειών σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Υψηλή υδροστατική πίεση

1.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η επεξεργασία υψηλής πίεσης (HPP) είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία μη θερμικής επεξεργασίας στη βιομηχανία τροφίμων με διαρκώς αυξανόμενη εφαρμογή. Εφαρμόζεται με σκοπό την επίτευξη της μείωσης του μικροβιακού φορτίου και της ενζυμικής δραστηριότητας των τροφίμων, ενώ παράλληλα η αλλοίωση των θρεπτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών είναι πολύ μικρότερη από τις συμβατικές θερμικές μεθόδους συντήρησης (Błaszcak et al., 2017; Γώγου, 2010). Πραγματοποιείται με εφαρμογή πιέσεων 100-1000MPa σε υγρά ή στερεά, συσκευασμένα ή μη τρόφιμα για 3 έως 20 λεπτά συνήθως (Farkas and Hoover, 2001) έχοντας ελάχιστη επίδραση στη γεύση, την υφή και τα διατροφικά χαρακτηριστικά του τροφίμου. Επίσης, χρησιμοποιείται είτε σε υγρά, είτε σε στερεά τρόφιμα που έχουν αρκετά υψηλό ποσοστό υγρασίας όπως οι χυμοί φρούτων, γάλα και κρέας. Τα προϊόντα κρέατος αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τέταρτο των τροφίμων HPP.

Η εντατική έρευνα που διεξήχθη τις τελευταίες δεκαετίες περιέγραψε τις μοριακές επιπτώσεις της HPP σε μικροοργανισμούς και στα ενδογενή συστατικά του κρέατος όπως οι δομικές πρωτεΐνες, οι ενζυμικές δραστηριότητες, το χρώμα του κρέατος και τα λιπίδια, που οδηγούν στον χαρακτηρισμό των μηχανισμών οι οποίοι ευθύνονται για τις περισσότερες αλλαγές στην υφή, το χρώμα και τις οξειδωτικές μεταβολές που παρατηρούνται όταν το κρέας υποβάλλεται σε HPP. Η επεξεργασία με HPP προκαλεί μείωση του αριθμού των βλαστικών μορφών των μικροοργανισμών και αδρανοποίηση των ενζύμων χωρίς όμως να μεταβάλλει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τη θρεπτική αξία του τροφίμου (Smelt, 1998). Η εφαρμογή HPP επιδρά μόνο στους μη ομοιοπολικούς δεσμούς (ιοντικούς, δεσμούς υδρογόνου και υδρόφοβες δυνάμεις) χωρίς να επηρεάζει τους ομοιοπολικούς δεσμούς. Είναι πιθανόν να προκαλέσει εμφανείς μεταβολές σε λειτουργικές και δομικές πρωτεΐνες καθώς και σε μη πρωτεϊνικά μακρομόρια. Επίσης μεταβάλλει τη διαπερατότητα των λιπιδίων (Adams and Moss, 2000). Σε ορισμένες χώρες, η μέθοδος της υψηλής υδροστατικής πίεσης, εφαρμόζεται ευρέως στην ξηρή ωρίμανση ζαμπόν και άλλων προϊόντων κρέατος για να επιτευχθούν οι στόχοι για την ασφάλεια των τροφίμων και οι διεθνείς εμπορικοί κανονισμοί μηδενικής ανοχής για ορισμένα παθογόνα (de Alba et al. 2012, Perez-Baltar et al., 2020). Ταυτόχρονα με την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, η υψηλή υδροστατική πίεση επηρεάζει την οξείδωση των λιπιδίων, τη λιπόλυση, την πρωτεόλυση, το χρώμα και την υφή των προϊόντων κρέατος. Επίσης επιδρά άμεσα στη δράση των αντιοξειδωτικών ενζύμων και μπορεί να επηρεάσει τα επίπεδα των πτητικών ενώσεων που παράγονται από την οξείδωση των λιπιδίων (Andres et.al, 2004b). Η εφαρμογή HPP σε φέτες ζαμπόν οι οποίες έχουν συσκευαστεί υπό κενό, προκαλεί μεταβολή στο χρώμα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Αυξάνεται η σκληρότητα, η αντίσταση στη μάσηση, η φωτεινότητα, η ένταση της οσμής και η αλμυρή γεύση του ζαμπόν και μειώθηκε η ένταση του χρώματος (Clarianna et.al,2011). Επίσης, η υψηλή υδροστατική πίεση χρησιμοποιείται με επιτυχία για την αδρανοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών σε έτοιμα προς κατανάλωση προϊόντα (ready to eat, RTE). Συγκεκριμένα, στα λουκάνικα τα οποία έχουν υποστεί ζύμωση (dry-fermented



sausages, DFS), η εφαρμογή υψηλής υδροστατικής πίεσης στα 600 MPa επιτυγχάνει αδρανοποίηση της *Escherichia coli* η οποία μπορεί να έχει επιβιώσει μετά τη ζύμωση και την ξήρανσή τους (Balamurugan et.al, 2020).

Επιπροσθέτως, η υψηλή υδροστατική πίεση θεωρείται εναλλακτική μέθοδος για την αντιστάθμιση της μείωσης του αλατιού, επειδή εκτός από τη συμβολή της στη μείωση του μικροβιακού φορτίου και την επέκταση της διάρκειας ζωής, έχει επιπτώσεις στις πρωτεΐνες του κοτόπουλου που συμβάλλουν στην ποιότητα, όπως τα φυσικά και τα χαρακτηριστικά υφής των προϊόντων του. (Farkas and Hoover, 2000, Huang et al., 2014, Kovac et al., 2010).

1.2 Εφαρμογές της HHP σε κρέας και προϊόντα κρέατος

Τα προϊόντα κρέατος υψηλής ποιότητας έχουν μοναδική γεύση, υψηλή θρεπτική αξία και άνετη κατανάλωση. Ομοίως, οι καταναλωτές δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη διατροφή, την ασφάλεια και τη φρεσκάδα των προϊόντων κρέατος. Ως τεχνολογία μη θερμικής επεξεργασίας τροφίμων, η HHP παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες στην επεξεργασία κρέατος με τα σημαντικά πλεονεκτήματα. Ακολουθούν τα εξής παραδείγματα ερευνών: Τρυφερότητα και κατακράτηση νερού του κοτόπουλου (Zhou et al., 2018). Πρόβειο κρέας (Xu et al., 2019), βοδινό κρέας (Han et al., 2021, Kaur et al., 2016, Sikes and Tume, 2014), και κρέας κουνελιού (Xue et al., 2017) που επεξεργάστηκαν με HHP είχαν ως αποτέλεσμα την βελτίωσή τους. Για να παραταθεί η διάρκεια ζωής ενός κατεψυγμένου κοτόπουλου, οι Car et al. (2020) κατεργάστηκαν κατεψυγμένο κοτόπουλο με 1 λεπτό 500 MPa και 5 λεπτά 400 MPa HHP και διαπίστωσαν ότι η σαλμονέλα ήταν απενεργοποιημένη στο κοτόπουλο που υποβλήθηκε σε επεξεργασία. Οι Luisa et al. (2023) ερεύνησαν την επίδραση του HHP στην αποστείρωση των μπιφτέκι κοτόπουλου και διαπίστωσε ότι η θεραπεία με 600 MPa/1s μείωσε σημαντικά την αφθονία των ουδετερόφιλων και ψυχρόφιλων μούχλας, ζυμομυκήτων και κολοβακτηριδίων. Η HHP διατηρεί τα ξηρά προϊόντα κρέατος κάτω από τα μικροβιολογικά όρια που ορίζονται από τους κανονισμούς για την ασφάλεια των τροφίμων (Carrapiso et al., 2023, Cava et al., 2021, Trejo et al., 2021). Hereu et al. (2012) συνδύασε πεπτιδία *Streptococcus lactis* (βιοσυντήρηση) με εφαρμογή HHP για τη μελέτη της επίδρασης της *Listeria monocytogenes* σε έτοιμο προς κατανάλωση ζαμπόν και έδειξε ότι η HHP ως μέθοδος μετά την παστερίωση ήταν πιο αποτελεσματική από τη χρήση των πεπτιδίων *Streptococcus lactis* ως αντιμικροβιακό μέτρο, τόσο άμεσα όσο και μακροπρόθεσμα). Η γεύση και το μάσημα των προϊόντων κρέατος σχετίζονται με την υφή, η οποία έχει τραβήξει την προσοχή από ένα ευρύ φάσμα μελετητών (Nielsen et al., 1995). Αρκετές αναφορές έχουν δείξει ότι το μάσημα και η υφή των προϊόντων κρέατος τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία με HHP έχουν βελτιωθεί σημαντικά, όπως στην περίπτωση του μαριναρίσματος καστανού προβάτου (Xu et al., 2019), μπριζόλες βοοειδών (Kaur et al., 2016), μοσχαρίσιες μπριζόλες (Sikes & Tume, 2014), κρέας κοτόπουλου (Yang et al., 2015), χοιρινό φιλέτο (Kim et al., 2020) και χοιρινά λουκάνικα (Chen, Tume, et al., 2018). Ωστόσο, η προώθηση της οξείδωσης του λίπους κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας υψηλής πίεσης δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η υπερβολική πίεση μειώνει σημαντικά τη σταθερότητα του λίπους στους μυς, επιταχύνει τη διαδικασία οξείδωσης του λίπους και καταστρέφει τη γεύση και τη θρεπτική αξία του κρέατος. Η επίδραση της επεξεργασίας υδροστατικής πίεσης στα πρωτογενή και δευτερογενή προϊόντα της οξείδωσης του λίπους και στην οξείδωση της χοληστερόλης ποικίλλει σημαντικά, καθώς εξαρτάται από τη θερμοκρασία επεξεργασίας, την τιμή της πίεσης, τον χρόνο διατήρησης, τον τύπο του μύος και την κατάσταση έκθεσης. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να διερευνηθεί περαιτέρω ο κύριος ανασταλτικός μηχανισμός της επίδρασης της επεξεργασίας υψηλής υδροστατικής πίεσης στην οξείδωση του



λίπους. Επιπλέον, απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για την επέκταση της συνεργαστικής επίδρασης του συνδυασμού HHP με άλλες τεχνολογίες στην οξειδωση του λίπους.

Η κατανόηση των μοριακών επιπτώσεων που προκαλούνται από την υψηλή πίεση επέτρεψε την κατευθυνόμενη χρήση της ως μια μέθοδο ψυχρής παστερίωσης των παθογόνων μικροοργανισμών σε έτοιμα αλλαντικά και προϊόντα κρέατος παρατείνοντας την διάρκεια ζωής τους, επιτρέποντας τη μείωση της σπατάλης τροφίμων και την αύξηση των ορίων της αγοράς σε μια παγκοσμιοποιημένη οικονομία.

1.3 Βασική αρχή της υπερυψηλής πίεσης

Η αρχή Le Chatelier δηλώνει ότι «Όταν μεταβάλλουμε έναν από τους συντελεστές ισορροπίας (συγκέντρωση, πίεση, θερμοκρασία) η θέση της ισορροπίας μετατοπίζεται προς εκείνη την κατεύθυνση που τείνει να αναιρέσει τη μεταβολή που επιφέραμε». Έτσι, ένα τρόφιμο μετά την εφαρμογή HPP δεν θα επιστρέψει στο αρχικό μέγεθος και σχήμα λόγω διαφορών πίεσης αέρα και νερού, εκτός αν αυτό είναι ελαστικό.. Η υδροστατική πίεση αλλάζει τις διατομικές αποστάσεις, επηρεάζοντας τους δεσμούς που εξαρτώνται από την απόσταση. Για παράδειγμα, οι δεσμοί υδρογόνου και οι van der Waals δυνάμεις εξαρτώνται από την απόσταση και επομένως επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την άσκηση πίεσης. Αντιθέτως, οι ομοιοπολικοί δεσμοί δεν επηρεάζονται από την πίεση, επειδή η απόσταση που συνδέει τα άτομα δεν μπορεί να συμπιεστεί περισσότερο.

1.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την χρήση HPP

α. pH

Καθώς το pH μειώνεται, τα περισσότερα μικρόβια γίνονται ευαίσθητα στην HPP. Τα όξινα τρόφιμα με pH μεταξύ 4,0 και 4,5 μπορούν να καταστούν αποστειρωμένα χρησιμοποιώντας πίεση 580 Μpa σε χρόνο 15 λεπτά και θερμοκρασία περίπου 22°C Οι χρόνοι επεξεργασίας είναι δυνατόν να μειωθούν εάν το προϊόν πρόκειται να ψυχθεί όπως για παράδειγμα στα προϊόντα κρέατος όπου οι χρόνοι κυμαίνονται από 5-6 λεπτά.

β. Ενεργότητα ύδατος (aw)

Η μείωση της ενεργότητας ύδατος φαίνεται να προστατεύει τα μικρόβια από την επεξεργασία με HPP. Ωστόσο, αναμένεται ότι τα μικρόβια μπορεί να υποστούν «τραυματισμό» ακόμα και σε χαμηλή ενεργότητα νερού. Κατά συνέπεια, η επίδραση της ενεργότητας νερού μπορεί να είναι δύσκολο να προβλεφθεί και χρειάζονται περαιτέρω έρευνες ανά είδος προϊόντος.

γ. Θερμοκρασία

Η αύξηση της θερμοκρασίας των τροφίμων πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε μικρότερο βαθμό η μείωση κάτω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος αυξάνει τον ρυθμό απενεργοποίησης των μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας HPP. Οι θερμοκρασίες της τάξης των 45 έως 50°C φαίνεται να αυξάνουν τον ρυθμό απενεργοποίησης των παθογόνων και των μικροβίων αλλοίωσης. Οι θερμοκρασίες επεξεργασίας στην περιοχή των 90-110°C σε συνδυασμό με πιέσεις 500-700 Μpa έχουν χρησιμοποιηθεί για την απενεργοποίηση βακτηρίων που σχηματίζουν σπόρια όπως το *Clostridium botulinum*. Επίσης, σε χαμηλές θερμοκρασίες η επίδραση της



HPP αυξάνεται, γεγονός που οφείλεται σε αλλαγές στη δομή της μεμβράνης των κυττάρων. Όσον αφορά το κρέας και τα προϊόντα του οι θερμοκρασία που εφαρμόζεται είναι γύρω στους 3°C.

δ. Περιεκτικότητα τροφίμων σε λίπος

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας υπό πίεση, η θερμοκρασία των διαφόρων συστατικών των τροφίμων αυξάνεται γρήγορα λόγω συμπίεσης και επιστρέφει στην αρχική της τιμή κατά την αποσυμπίεση. Η αύξηση της θερμοκρασίας από την πίεση, των περισσότερων τροφίμων υψηλής υγρασίας, είναι παρόμοια με αυτή του νερού, 3°C ανά 100 Μρα στους 25°C. Ωστόσο, τα λιπαρά τρόφιμα έχουν μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας λόγω πίεσης. Αν και η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού και των τροφίμων με υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας από την πίεση, αυξάνεται γενικά με την αύξηση της αρχικής θερμοκρασίας του προϊόντος, στα λιπαρά τρόφιμα όπως το κρέας δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο.

ε. Σύνθεση τροφίμων

Η ευαισθησία των μικροοργανισμών στην επεξεργασία HHP επηρεάζεται σαφώς από τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου υπάρχουν οι μικροοργανισμοί. Η χημική σύνθεση των τροφίμων είναι σημαντική, καθώς η παρουσία λιπών, πρωτεϊνών, μετάλλων και σακχάρων χρησιμεύει ως προστασία και αυξάνει την μικροβιακή αντίσταση στην πίεση.

στ. Εφαρμοζόμενη πίεση

Οι πιέσεις που εφαρμόζονται κυμαίνονται από 100-1000 Μρα (1000-10000 atm), ανάλογα με την ένταση της επεξεργασίας (Αλεξανδράκης, 2015). Όσο αυξάνεται η ασκούμενη πίεση τόσο εντονότερη γίνεται η διάρρηξη των κυτταρικών τοιχωμάτων των τροφίμων. Όμως, καθώς αυξάνεται η πίεση αυξάνεται το κόστος του εξοπλισμού και η παροχή ενέργειας που χρειάζεται 44 για να λειτουργήσει. Έτσι, επιλέγεται μια βέλτιστη τιμή πίεσης που να ικανοποιεί όλες τις παραμέτρους (Jun Xi et al., 2009).

ζ. Θερμοκρασία συμπεριλαμβανομένης και της αδιαβατικής θέρμανσης

Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διεργασίας ΥΠ μπορεί να είναι μικρότερη από 0 °C έως και μεγαλύτερη από των 100 °C Η θερμοκρασία του τρόφιμου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της διεργασίας λόγω αδιαβατικής θέρμανσης περίπου 3 °C ανά 100 Μρα ανάλογα με τη σύνθεση του τρόφιμου και την περιεκτικότητά του σε νερό. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας των τροφίμων που μοιάζουν με το νερό συμπίπτει με την αλλαγή της πίεσης, τρόφιμα που περιέχουν σημαντική ποσότητα λίπους, συνεπάγεται με μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας του (6-7 °C ανά 100 Μρα) (Γώγου, 2010; Farkas & Hoover, 2000).

η. Χρόνος επεξεργασίας

Ο χρόνος έκθεσης του τρόφιμου στις υπερυψηλές πιέσεις μπορεί να κυμαίνεται από 1 ms, παλμός που επιτυγχάνεται από ταλαντευόμενες αντλίες, έως πάνω από 30 min. Συνήθως, ο χρόνος εφαρμογής υπερυψηλών πιέσεων στην πράξη κυμαίνεται από 3 έως 20 min (Farkas & Hoover, 2000). Παρ' όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και οι χρόνοι συμπίεσης και αποσυμπίεσης των θαλάμων.



1.3 Επίδραση της ΗΡΡ στο κύτταρο

Η ΗΡΡ δεν προσβάλλει μόνο ένα σημείο της κυτταρικής δομής ή λειτουργίας. Ο κυτταρικός θάνατος οφείλεται σε πολλαπλές βλάβες που εμφανίζονται σε διαφορετικά μέρη του κυττάρου. Όταν η βλάβη υπερβεί την ικανότητα επισκευής του κυττάρου, επέρχεται ο κυτταρικός θάνατος. Σε ορισμένες περιπτώσεις το κύτταρο έχει υποστεί βλάβη αλλά μπορεί να επέλθει επιδιόρθωση υπό κατάλληλες συνθήκες μετά την επεξεργασία. Η κυτταρική μεμβράνη είναι ο κύριος στόχος της ΗΡΡ με επιθυμητό αποτέλεσμα κυρίως την πρόκληση αλλαγών διαπερατότητας και διαταραχής της λειτουργικότητας.

Υψηλότερα ποσοστά αδρανοποίησης από την ΗΡΡ αναφέρονται συνήθως σε πιο πολύπλοκους οργανισμούς. Οι οργανισμοί με απλούστερες δομές, όπως τα βακτήρια, είναι συνήθως πιο ανθεκτικοί. Η ΗΡΡ είναι αποτελεσματική στην εξάλειψη των τροφιογενών παρασίτων, όπως *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium parvum*, *Anisakis simplex*, *Trichinella spiralis* και *Ascaris*. Οι μύκητες έχουν ενδιάμεση αντίσταση στην ΗΡΡ, τα μυκήλια μυκήτων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα ενώ έχουν αναφερθεί σπόρια μυκήτων που είναι αρκετά ανθεκτικά στην ΗΡΡ. Οι ζύμες συμπεριλαμβανομένων των *Saccharomyces cerevisiae* και *Zygosaccharomyces bailii* έχουν υψηλή ευαισθησία.

Διαφορές παρατηρούνται μεταξύ διαφορετικών ειδών παθογόνων μικροοργανισμών και διαφορές έχουν επίσης αναφερθεί μεταξύ στελεχών που ανήκουν στο ίδιο γένος ή είδος. Τα θετικά κατά gram βακτήρια είναι γενικά πιο ανθεκτικά από τα gram αρνητικά βακτήρια. Τα βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα κατά τη φάση εκθετικής ανάπτυξης σε σύγκριση με τη φάση στασιμότητας. Σε γενικές γραμμές, η παρουσία πρωτεϊνών που προστατεύουν από δυσμενείς συνθήκες αυξάνουν την αντίσταση στην ΗΡΡ. Τα σπόρια παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην αδρανοποίηση από υψηλή πίεση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα σπόρια που σχηματίζονται από παθογόνα όπως *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* και *Bacillus cereus*.

Οι ιοί διαφέρουν ως προς την αντίσταση στην πίεση ανάλογα με τη δομική πολυπλοκότητά τους.

Οι χημικές, μικροβιολογικές και ενζυμικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο τρόφιμο κατά τη διεργασία είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου επεξεργασίας σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη πίεση. Οι πιέσεις που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία των τροφίμων με ΥΠ φαίνεται να έχουν μικρή επίδραση στους ομοιοπολικούς δεσμούς. Επομένως, τρόφιμα που υπόκεινται σε ΥΠ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν υφίστανται σημαντικές χημικές μεταβολές, διατηρώντας έτσι σχεδόν αναλλοίωτα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους. Παρ'όλα αυτά, κάποιες φορές όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση και ο χρόνος εφαρμογής της ΥΠ, τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα να προκληθούν ανεπιθύμητες συνήθως μεταβολές ακόμα και στην εμφάνιση του προϊόντος. Αυτό παρατηρείται κυρίως σε τρόφιμα πλούσια σε πρωτεΐνες, όπου η προκαλούμενη από την πίεση μετουσίωση των πρωτεϊνών είναι και οπτικά εμφανής. Η παραμόρφωση του κυττάρου και η καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια του κυτταροπλάσματος και το μαλάκωμα του τροφίμου (Γώγου, 2010).



1.4 Επίδραση της Υπερυψηλής Πίεσης στα τρόφιμα

Η διεργασία ΥΠ αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τη βιομηχανία τροφίμων που συνδυάζει την ελάχιστη επεξεργασία του τρόφιμου κάνοντας χρήση ήπιων θερμοκρασιών, την αύξηση της διάρκειας ζωής του, αδραντοποιώντας μικροοργανισμούς και ένζυμα για τη διασφάλιση της ασφάλειάς του καταναλωτή με την ταυτόχρονη διατήρηση της θρεπτικής αξίας, της γεύσης και του αρώματος του τελικού προϊόντος.

1.4.1 Επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς

Τα πρώτα πειράματα εφαρμογής της ΥΠ στα τρόφιμα έγιναν το 1899 από τον Hite, σε γάλα και συνεχίστηκαν με εφαρμογές σε φρούτα και λαχανικά και σε κρέας. Η επίδραση της ΥΠ στους μικροοργανισμούς έχει μελετηθεί πολλά χρόνια διεξοδικά. Ο μηχανισμός της απενεργοποίησης μικροοργανισμών σχετίζεται κυρίως με αλλαγές που συμβαίνουν στην κυτταρική τους μεμβράνη, με τροποποιήσεις στη μορφολογία τους ή σε διάφορα οργανίδια τους ή σε ένζυμα που καταλύουν σημαντικές λειτουργίες μέσα στο κύτταρο (μεταγραφή και μετάφραση διακόπτονται) (Yuste, et al., 2001). Οι πρωτεΐνες της κυτταρικής μεμβράνης μετουσιώνονται και τα φωσφολιπίδια μικραίνουν σε μέγεθος με αποτέλεσμα να μειώνεται η ικανότητα του κυττάρου να απορροφήσει αμινοξέα. Οι υψηλές πιέσεις σταθεροποιούν του δεσμούς υδρογόνου και τα μακρομόρια αυτά γίνονται σταθερότερα (λόγω της μείωσης του όγκου από την εφαρμογή της ΥΠ, τα μόρια τείνουν να λάβουν μορφή με τον μικρότερο δυνατό όγκο). Η μεγάλη άσκηση πίεσης προκαλεί μηχανική καταπόνηση της κυτταρικής μεμβράνης των μικροοργανισμών με αποτέλεσμα να συμβαίνουν αλλοιώσεις πάνω σε αυτή. Επίσης αυξάνεται η διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης με αποτέλεσμα τα συστατικά του κυτταροπλάσματος να διαρρέουν έξω από το κύτταρο, διακόπτοντας ζωτικές λειτουργίες του και οδηγώντας το τελικά στη θανάτωση του. Οι αλλαγές που προκύπτουν στη μορφολογία των κυττάρων των μικροοργανισμών είναι αντιστρεπτές σε χαμηλές πιέσεις, αλλά μη αντιστρεπτές σε υψηλότερες πιέσεις όπου ο μικροβιακός θάνατος οφείλεται στη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (Αλεξανδράκης, 2015). Για παράδειγμα, παρατηρήθηκε ότι στην περίπτωση του *Saacharomyces cerevasiae*, σε πιέσεις περίπου 400 Μρα, η δομή και τα οργανίδια του κυττάρου είχαν παραμορφωθεί σε μεγάλο βαθμό και μεγάλες ποσότητες ενδοκυτταρικού υλικού είχαν διαρρεύσει έξω, ενώ σε 500 Μρα, ο πυρήνας δεν μπορούσε πλέον να αναγνωριστεί και η απώλεια του ενδοκυτταρικού υλικού ήταν σχεδόν πλήρης (Farr, 1990). 47 Ο βαθμός απενεργοποίησης του κάθε μικροοργανισμού με την επεξεργασία της ΥΠ εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι:

(α) οι παράμετροι της διεργασίας (εφαρμοζόμενη πίεση, χρόνος επεξεργασίας και θερμοκρασία). Στις περισσότερες περιπτώσεις με αύξηση της πίεσης και του χρόνου επεξεργασίας, ο ρυθμός απενεργοποίησης μικροοργανισμών μεγαλώνει και η επεξεργασία με ΥΠ γίνεται αποτελεσματικότερη. Επίσης, πολλές φορές η άσκηση της πίεσης πρέπει να συνοδεύεται με ήπια θερμοκρασία, ώστε η απενεργοποίηση των μικροβίων να γίνει πιο αποτελεσματική. Ανάλογα με την ένταση των συνθηκών της ΥΠ μπορεί να δημιουργήσει έναν πληθυσμό τραυματισμένων κυττάρων, τα οποία να αναζωογονηθούν όταν βρεθούν σε περιβάλλον με ευνοϊκές συνθήκες



(β) το είδος του μικροοργανισμού (βακτήρια, ζύμες, σπόρια). Η επεξεργασία με ΥΠ εμφανίζεται αποτελεσματική στην απενεργοποίηση των περισσότερων αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε πίεση πάνω από 200 Μpa και θερμοκρασίες κάτω από 45°C (Cheftel, 1995). Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος τα βλαστικά κύτταρα καταστρέφονται σε πιέσεις μεταξύ 400 και 600ΜPa. Οι κόκκοι είναι πιο ανθεκτικοί από τα ραβδία, γιατί υφίστανται λιγότερες μορφολογικές μεταβολές λόγω της πίεσης. Έχει βρεθεί ότι οι ζύμες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην άσκηση πίεσης. Σε γενικές γραμμές τα θετικά κατά Gram βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά στην πίεση απ' ό,τι τα αρνητικά κατά Gram. Σε αντίθεση με τα βλαστικά κύτταρα, τα σπόρια σε θερμοκρασία περιβάλλοντος αντέχουν σε πιέσεις των 1000ΜPa, και είναι απαραίτητη η αύξηση της θερμοκρασίας στους 70°C, για να επιτευχθεί αξιόλογη καταστροφή τους. Η απενεργοποίηση σπορίων, όπως το *Clostridium botulinum* και τα *Bacillus* spp., μπορεί να επιτευχθεί μέσω συνδυασμού αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης.

(γ) το στέλεχος. Κάποια στελέχη είναι πιο ανθεκτικά στην πίεση από κάποια άλλα.

(δ) το μέσο στο οποίο αναπτύσσεται ο μικροοργανισμός, δηλαδή το είδος του τρόφιμου, το pH του, την ενεργότητα του νερού του, την περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά. Έχει βρεθεί επίσης, ότι μετά τη συμπίεση, υπάρχει πιθανότητα ενεργοποίησης του μικροβιακού πληθυσμού ανάλογα με το περιβάλλον του τρόφιμου στο οποίο ζουν.

(ε) τη φάση ανάπτυξης που βρίσκεται ο μικροοργανισμός. Έχει βρεθεί ότι μικρόβια που βρίσκονται στην εκθετική φάση ανάπτυξης είναι πιο ευαίσθητα στην άσκηση της πίεσης, από αυτά που βρίσκονται στη λανθάνουσα ή στη στατική φάση (Hoover et al., 1989).

Ο συνδυασμός της διεργασίας ΥΠ με άλλες φυσικές μεθόδους (ακτινοβόληση, υπέρηχοι, παλμικά ηλεκτρικά πεδία) ή με χημικές μεθόδους συντήρησης (βακτηριοσίνες, συντηρητικά, αντιοξειδωτικά) έχει προταθεί και έχει μελετηθεί, με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας της διεργασίας (Yuste, et al., 2001). Το γεγονός ότι τα τραυματισμένα λόγω της πίεσης κύτταρα είναι λιγότερο ανθεκτικά στη θερμότητα, εξηγεί την επιτυχία του συνδυασμού της υπερυψηλής πίεσης με ήπια θερμική κατεργασία, ιδίως σε ζωική προέλευσης τρόφιμα, ευαίσθητα στη θέρμανση.

1.4.2 Επίδραση της ΥΠ στα θρεπτικά, ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τρόφιμου

Οι σημαντικότεροι παράμετροι που καθορίζουν κατά κύριο λόγο την αποδοχή ενός τρόφιμου από τους καταναλωτές είναι τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (υφή, χρώμα, γεύση κτλ) και η διατροφική αξία (βιταμίνες, αντιοξειδωτικά κτλ). Οι χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την επεξεργασία των τροφίμων ή κατά τη συντήρηση και αποθήκευσή τους μπορεί να τα υποβαθμίσουν προκαλώντας ανεπιθύμητες μεταβολές στα ποιοτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Η επεξεργασία της ΥΠ λόγω των ήπιων θερμοκρασιών που χρησιμοποιεί μπορεί να βελτιώσει και να επιβραδύνει ενζυμικές και χημικές αντιδράσεις που αλλοιώνουν την ποιότητα του τρόφιμου. Η επίδραση της ΥΠ στα θρεπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων έχει μελετηθεί εκτενώς και έχει βρεθεί ότι η επεξεργασία έχει πολύ μικρή επίδραση στις βιταμίνες (Αλεξανδράκης, 2015). Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα της ΥΠ είναι η διατήρηση της φυσικής γεύσης των τροφίμων, των αρωματικών ενώσεων και των θρεπτικών συστατικών (Okamoto, et al., 1990). Όσον αφορά τα λιπίδια, η ΥΠ προκαλεί την οξείδωση και υδρόλυση τους. Έχει βρεθεί ότι αυξάνεται η παραγωγή ελεύθερων λιπαρών οξέων σε κρέας ψαριού (Wada, 1992), σε κρέας



γαλοπούλας (Dissing et al., 1992). Παράλληλα, η επίδραση της ΥΠ μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο χρώμα και την υφή των τελικών προϊόντων, όπως στα φρούτα και λαχανικά και το κρέας. Επιπλέον, επίδραση της πίεσης στην υφή εξαρτάται από το μέγεθος της εφαρμοζόμενης πίεσης και από τον χρόνο επεξεργασίας, οδηγώντας σε μαλάκωμα του ιστού τους. Σε χαμηλές πιέσεις (έως 100 Mpa) η απώλεια σταθερότητας προκλήθηκε από τη συμπίεση της κυτταρικής μεμβράνης χωρίς τη διάρρηξη της. Σε υψηλότερες πιέσεις (πάνω από 200 Mpa), η αλλαγή στην υφή ήταν αποτέλεσμα της διάρρηξης των κυτταρικών μεμβρανών. Η εφαρμογή της πίεσης σε κορεατικά μπορεί να επηρεάσει την υφή τους (μαλάκωμα του ιστού) (Barbosa-Canovas, 2002) και σε άλλες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στο επεξεργασμένο ζαμπόν που γίνεται ελαφρώς πιο ινώδες. Η ΥΠ έχει βρεθεί πως δεν έχει σημαντική επίδραση σε χρωστικές, όπως είναι τα καροτενοειδή και οι χλωροφύλλες. Ωστόσο λόγω της ρήξη της κυτταρικής μεμβράνης που συμβαίνει με την εφαρμογή της ΥΠ μπορεί να προκληθούν αλλαγές. Η ρήξη αυτή μπορεί να απελευθερώσει χρωστικές, δίνοντας στο τρόφιμο πιο έντονο χρώμα αλλά και να τις καταστρέψει. Παράλληλα, στο κρέας (βοδινό, πουλερικά και ψάρια) σε πιέσεις πάνω από 300 Mpa, η ΥΠ προσδίδει ένα άσπρο-γκρι χρώμα στα τελικά προϊόντα κάνοντας τα να μοιάζουν με μαγειρεμένα. Αυτό αποτρέπει την εφαρμογή της ΥΠ σε κρέας που θα πουληθεί ωμό, καθώς η μαγειρεμένη όψη του είναι ανεπιθύμητη προς τους καταναλωτές (Cheftel, 1997).

1.4.3 Επίδραση της ΥΠ στα ένζυμα

Οι πρωτεΐνες είναι ευαίσθητα μακρομόρια με τρισδιάστατη δομή στο χώρο. Η εφαρμογή της ΥΠ σε πρωτεΐνες, λόγω της μεταβολής της πίεσης (που συνεπάγεται σε μείωση του όγκου) και θερμοκρασίας οδηγώντας σε μετουσίωση τους λόγω της ρήξης των μη ομοιοπολικών δεσμών και αναδιάταξη και αναμόρφωση στα μόρια του διαλύτη που τις περιβάλλει. Σε χαμηλές θερμοκρασίες οι ομοιοπολικοί δεσμοί δεν επηρεάζονται και γ' αυτό η πρωτοταγής δομή των ενζύμων παραμένει αναλλοίωτη κατά τη διεργασία. Αλλαγές στη δευτεροταγή δομή συμβαίνουν μόνο σε εξαιρετικά υψηλές πιέσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δεσμοί υδρογόνου που συγκρατούν τη δευτεροταγή δομή των πρωτεϊνών γίνονται σταθερότεροι σε χαμηλές πιέσεις και καταστρέφονται σε υψηλές. Μεταβολές στην τριτοταγή δομή εμφανίζεται σε πιέσεις άνω των 200 Mpa και της τεταρτοταγής δομής σε σχετικά χαμηλές πιέσεις (<150 Mpa). Η τριτοταγής δομή επηρεάζεται από τη μείωση του όγκου προκαλώντας αλλαγές στις αλληλεπιδράσεις ηλεκτροστατικής και υδροφοβικής φύσης που συγκρατούν την τριτοταγή δομή (Barbosa-Canovas et al., 2002). Η διατάραξη των ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση φορτισμένων ομάδων, οι οποίες προκαλούν αναδιάταξη των μορίων νερού και οδηγούν σε ξεδίπλωμα της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Η μετουσίωση μπορεί να είναι αντιστρεπτή σε χαμηλές πιέσεις αλλά ο χρόνος επαναφοράς τους να είναι μεγάλος και μη αντιστρεπτή σε υψηλές. Η κρίσιμη πίεση, πάνω από την οποία συμβαίνει μη αντιστρεπτή μετουσίωση εξαρτάται από το είδος της πρωτεΐνης. (Hendrickx et al., 1998).

Τα ένζυμα αποτελούν μια ειδική κατηγορία πρωτεϊνών που χαρακτηρίζονται από την έντονη καταλυτική τους δράση και από την εξειδίκευσή τους ως προς το υπόστρωμα στο οποίο δρουν. Τα ένζυμα επηρεάζονται από την πίεση με δυο τρόπους:



(α) σε σχετικά χαμηλές πιέσεις (<200MPa) είναι δυνατόν η ΥΠ να προκαλέσει ενεργοποίηση κάποιων ενζύμων. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη ρήξη των φυτικών ή ζωικών κυττάρων με αποτέλεσμα τα ένζυμα και τα υποστρώματα τους που αρχικά βρίσκονταν σε διαφορετικά κυτταρικά διαμερίσματα, μετά την εφαρμογή της πίεσης και της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης έρχονται πλέον σε επαφή.

(β) σε αρκετά υψηλές πιέσεις (>200MPa) προκαλούν κατά κύριο λόγο απενεργοποίηση. Η απενεργοποίηση μπορεί να είναι αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή άρα να έχουμε ολική ή μερική απενεργοποίηση ενζύμων με εφαρμογή της ΥΠ, ανάλογα της έντασης των συνθηκών και του ίδιου του ενζύμου (χαρακτηριστική κρίσιμη τιμή πίεσης), του pH και του περιβάλλοντος στο οποίο το ένζυμο βρίσκεται. Η αύξηση της πίεσης σε πάνω από την κρίσιμη τιμή οδηγεί σε περαιτέρω απενεργοποίηση του ενζύμου. Από μία τιμή πίεσης και πάνω συνήθως δεν οδηγεί σε περαιτέρω απενεργοποίηση του ενζύμου. Αυτό οφείλεται στο ότι ένα ποσοστό του ενζύμου μετατρέπεται σε μία μορφή πολύ ανθεκτική στην πίεση και ένα άλλο ποσοστό στην ανενεργή μορφή του. Η επίδραση της ΥΠ στην απενεργοποίηση των ενζύμων έχει καταδειχθεί ότι εξαρτάται ισχυρά από το είδος του ενζύμου, το pH, τη φύση του μέσου στο οποίο είναι διασκορπισμένα τα ένζυμα, τη θερμοκρασία και τον χρόνο επεξεργασίας.

1.5 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί της υπερυψηλής πίεσης

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας HHP είναι:

- Αδρανοποίηση αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας
- Καμία ένδειξη τοξικότητας
- Διατήρηση θρεπτικών συστατικών, αρώματος και χρώματος
- Ομοιογένεια στην επεξεργασία του προϊόντος
- Προοπτική μείωσης χρήσης συντηρητικών
- Βελτίωση εμφάνισης σε αρκετές περιπτώσεις
- Πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμικές επεξεργασίες τροφίμων. Εφαρμόζεται σε όλα τα είδη τροφίμων (υγρά και στερεά)
- Φιλική προς το περιβάλλον.(Rahman et al., 2020).
- Δεν έχει καθόλου απόβλητα και τα αέρια που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις ως μέσο μετάδοσης της πίεσης είναι ανακυκλώσιμα, καθώς επίσης έχει και ελάχιστη κατανάλωση νερού.
- Η παστερίωση του τρόφιμου επιτυγχάνεται κατευθείαν σε συσκευασμένο τρόφιμο αυξάνοντας σημαντικά τον χρόνο ζωής του.

Μειονεκτήματα

- Υψηλό κόστος επένδυσης εξοπλισμού
- Χρήση μόνο σε τρόφιμα με υψηλή υγρασία



- Χρήση κυρίως σε μη αυτόματα συστήματα με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να ενσωματωθεί σε γραμμή παραγωγής της βιομηχανίας τροφίμων.
- Περιορισμοί στη συσκευασία
- Χαμηλή επίδραση στα ένζυμα των τροφίμων

1.6 Εξοπλισμός και Λειτουργία της Υπερυψηλής Πίεσης

Τα βασικά μέρη ενός συστήματος HPP είναι ένα δοχείο πίεσης, υγρό μεταφοράς πίεσης, σύστημα διαχείρισης πίεσης και άλλα υποστηρικτικά εξαρτήματα όπως ψύξης ή θέρμανσης. Συνήθως η επεξεργασία HPP μπορεί να γίνει σε μη αυτόματα αλλά και σε ημιαυτόματα συστήματα. Η πίεση εφαρμόζεται ομοιόμορφα και έτσι το τρόφιμο δεν καταστρέφεται. Αφού εισαχθεί το τρόφιμο στο δοχείο πίεσης, αυτό γεμίζεται με το υγρό διάδοσης της πίεσης (νερό). Ο αέρας απομακρύνεται και εφαρμόζεται η υψηλή πίεση μέσω συμπίεσης (άμεσης ή έμμεσης) ή με τη θέρμανση του υγρού.

Ένα τυπικό σύστημα ΥΠ περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη:

(α) ένα θάλαμο υπερυψηλής πίεσης, στον οποίο εισάγονται τα προς επεξεργασία τρόφιμα και το σύστημα σφράγισης του. Τα δοχεία της ΥΠ μπορεί να είναι κάθετα ή οριζόντια. Δοχεία που είναι σχεδιασμένα να αντέχουν πιέσεις μεγαλύτερες των 400 Μρα είναι φτιαγμένα από χάλυβα (για αποφυγή διαβρώσεων) με υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και περιλαμβάνουν δυο ομοαξονικούς κυλίνδρους για λόγους ασφαλείας. Πολλές φορές το διάκενο μεταξύ των δυο κυλίνδρων γεμίζεται με υγρό σε μόνιμη συμπίεση ώστε σε περίπτωση διαρροής ή θραύσης των εσωτερικών κυλίνδρων να αποφευχθεί η καταστροφή του δοχείου πίεσης, αλλά και για να διασφαλιστεί ο μεγαλύτερος χρόνος ζωής του. Το μέσο διάδοσης της πίεσης που χρησιμοποιείται είναι ένα υγρό, συνήθως το νερό με ένα μικρό ποσοστό λαδιού (για αντιδιαβρωτικούς και λιπαντικούς λόγους), το οποίο έχει μικρή συμπιεστότητα και βοηθά στην καλύτερη και αποδοτικότερη διάδοση της πίεσης στο τρόφιμο

(β) μια μονάδα παραγωγής της πίεσης. Αφού αφαιρεθεί από το δοχείο πίεσης ο αέρας, η παραγωγή της πίεσης μπορεί να επιτευχθεί άμεσα, έμμεσα, ή με θέρμανση του μέσου διάδοσης. Στην άμεση συμπίεση με πιστόνι, ένα ρευστό τρόφιμο συμπιέζεται κατευθείαν από τη μικρότερη πλευρά ενός εμβόλου. Η μεγαλύτερη πλευρά του εμβόλου είναι συνδεδεμένη με μια αντλία χαμηλής πίεσης, η οποία επιτρέπει τον πολλαπλασιασμό της πίεσης. Η άμεση συμπίεση είναι γρήγορη, αλλά δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα, επειδή υπάρχει το ενδεχόμενο της ανεπάρκειας της στεγανότητας του εμβόλου (Αλεξανδράκης, 2015). Στην έμμεση συμπίεση, το μέσο διάδοσης της πίεσης αντλείται μέσα από ένα μεγάλο δοχείο (δεξαμενή) προς το δοχείο πίεσης μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή τιμή της πίεσης. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στις περισσότερες μονάδες ΥΠ. Η άσκηση της υπερυψηλής πίεσης επιτυγχάνεται μέσω της πλήρωσης του θαλάμου με το υγρό χαμηλής συμπιεστότητας, που συνήθως είναι το νερό ή η γλυκόλη (Αλεξανδράκης, 2015; Patras et al, 2009). Ο τρίτος τρόπος συμπίεσης επιτυγχάνεται με θέρμανση του μέσου διάδοσης (νερό, γλυκόλη) το οποίο διαστέλλεται. Η μέθοδος αυτή ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται συνδυασμός πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας, όπως για παράδειγμα στη μικροβιακή απενεργοποίηση (Ohlsson et al, 2002).



(γ) ένα σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας, το οποίο συνήθως βρίσκεται μέσα στο θάλαμο. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω ενός μανδύα ο οποίος περιβάλλει το δοχείο πίεσης. Μέσα στο μανδύα κυκλοφορεί ένα ψυκτικό/θερμαντικό μέσο, ανάλογα με τις ανάγκες.

(δ) ένα σύστημα ελέγχου όλου του συστήματος που περιλαμβάνει όλα τα όργανα και τις συσκευές (Farkas & Hoover, 2000). Συνοπτικά, ένας κύκλος επεξεργασίας με ΥΠ ολοκληρώνεται ως εξής:

Το πρώτο βήμα είναι η φόρτωση των συσκευασμένων τροφίμων σε κενό στα καλάθια μεταφοράς, τα οποία στη συνέχεια φορτώνονται στη μηχανή HPP με μηχανισμό μετάδοσης για να λάβουν λειτουργία εξαιρετικά υψηλής πίεσης που μεταδίδεται από υγρό μέσο. Αυτό το μέσο είναι συνήθως νερό, αιθανόλη, προπυλενογλυκόλη ή ένα μείγμα αυτών των υγρών (Li et al., 2021). Κατά την επιλογή άλλων ρευστών, ο χειριστής πρέπει να λάβει υπόψη τις ιδιότητες πρόληψης διάβρωσης και την επίδραση της πίεσης στο ιξώδες και τη θερμότητα του ρευστού (Aganovic et al., 2021). Στη συνέχεια, το σύστημα συμπιέζεται και διατηρείται για ορισμένο χρονικό διάστημα. Ακολουθεί μια σύντομη αποσυμπίεση και εκφόρτωση που διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα έως λεπτά (San Martín et al., 2002). Στη συνέχεια ανοίγουν οι βαλβίδες εκκένωσης, ακολουθούμενες από τα βύσματα και το προϊόν βγαίνει από τον θάλαμο εργασίας. Επιστρέφοντας στη θέση φόρτωσης/εκφόρτωσης είναι το σκάφος. Μόλις βρεθεί σε αυτή τη θέση, η επόμενη παρτίδα φορέων φορτώνεται αυτόματα και προετοιμάζεται για έναν νέο κύκλο επεξεργασίας και οι επεξεργασμένοι φορείς παρτίδας ωθούνται στη γραμμή εκφόρτωσης (Τα κύρια βήματα της επεξεργασίας τροφίμων HHP είναι η φόρτωση προϊόντος, η πλήρωση νερού, η συμπίεση, συγκράτηση πίεσης και διαρροή πίεσης

1.7 Πάγιο και λειτουργικό κόστος της ΥΠ

Η διεργασία με ΥΠ είναι μια πολύ υποσχόμενη μέθοδος για την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του προϊόντος, είναι πιο ακριβή από τις άλλες συμβατικές μεθόδους (αποστείρωση). Για αυτό το λόγο ακόμα χρησιμοποιείται για συγκεκριμένα προϊόντα, τα οποία με τις άλλες μεθόδους χάνουν θρεπτικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Τέτοια είναι οι φρέσκοι χυμοί φρούτων, τα θαλασσινά και τα αλλαντικά. Τα τελευταία 20 χρόνια, το κόστος επεξεργασίας με ΥΠ έχει μειωθεί σημαντικά και συνεχίζει να μειώνεται λόγω των τεχνικών βελτιώσεων και με την ένταξη στην αγορά νέων βιομηχανιών παραγωγής μονάδων ΥΠ. Σήμερα, το κόστος ενός προϊόντος επεξεργασμένου με ΥΠ κυμαίνεται από 0,10–0,30 €/kg. Το συνολικό κόστος της επένδυσης αφορά το κόστος της αγοράς και της εγκατάστασης της μονάδας που είναι σχετικά μεγάλο (από 500.000 € έως και 6.000.000 €) και από την άλλη το λειτουργικό κόστος, το οποίο είναι σαφώς μικρότερο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF)

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) είναι μια μη θερμική τεχνολογία που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, η οποία χαρακτηρίζεται από χαμηλή παραγωγή θερμότητας, σύντομη διάρκεια επεξεργασίας και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες βασισμένες στον ηλεκτρισμό, η PEF επιδρά επιλεκτικά στη μεμβράνη του κυττάρου κατά τη διάρκεια παλμών μικροδευτερολέπτων με τετράγωνο κύμα. Αυτό επιτρέπει την ήπια επεξεργασία τροφίμων χωρίς τις αρνητικές επιπτώσεις της παραγωγής υψηλής θερμότητας. Ως εκ τούτου, η PEF προσφέρει πλεονεκτήματα στη διατήρηση των χαρακτηριστικών των τροφίμων που συνδέονται γενικά με τη φρεσκάδα, όπως η γεύση, το άρωμα, το χρώμα και τα θρεπτικά συστατικά.

Η PEF μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως ο έλεγχος της υφής, η διευκόλυνση της μεταφοράς μάζας, η βοήθεια στην εξαγωγή συστατικών από τα υπό επεξεργασία τρόφιμα, η παστερίωση και η αποστείρωση, ανάλογα με την ένταση της επεξεργασίας. Ενώ η πλειονότητα της έρευνας σχετικά με την PEF έχει επικεντρωθεί σε υγρά και φυτικής προέλευσης τρόφιμα, οι μελέτες για την εφαρμογή της στο κρέας είναι σχετικά περιορισμένες. Η περιορισμένη εφαρμογή της PEF στο κρέας σε σύγκριση με τα φυτικής προέλευσης προϊόντα οφείλεται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά και πρωτεΐνες στο κρέας. Παρ' όλα αυτά, η βιομηχανία κρέατος αναζητά συνεχώς νέες τεχνολογίες για να εξασφαλίσει προϊόντα κρέατος υψηλής ποιότητας. Η τρυφερότητα και η ασφάλεια του κρέατος είναι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του κρέατος και την αποδοχή του από τους καταναλωτές. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της PEF στο κρέας παραμένουν αμφιλεγόμενες λόγω των διακυμάνσεων στα αποτελέσματα ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας και τις μεθόδους αξιολόγησης.

Η PEF είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί ηλεκτρικά κύματα με υψηλό πλάτος τάσης. Σύντομοι ηλεκτρικοί παλμοί (από μικροδευτερόλεπτα έως χιλιοδευτερόλεπτα ο καθένας) υψηλής τάσης (τυπικά 10–80 kV/cm) εφαρμόζονται στο προϊόν που τοποθετείται μεταξύ των ηλεκτροδίων στον θάλαμο επεξεργασίας. Ανάλογα με τις ιδιότητες του επεξεργασμένου προϊόντος και τα επιθυμητά αποτελέσματα, οι συνθήκες της διαδικασίας, όπως η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (kV/cm), η συχνότητα των παλμών, το πλάτος του παλμού, το σχήμα του κύματος παλμού και ο χρόνος έκθεσης μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα. Για παράδειγμα, διαφορετικά εύρη έντασης του ηλεκτρικού πεδίου προκαλούν αναστρέψιμη ή μη αναστρέψιμη διαπερατότητα των κυττάρων.

Η πλειονότητα της έρευνας σχετικά με τη χρήση της PEF αφορά την αδρανοποίηση των ενζύμων και των μικροοργανισμών. Οι υψηλής τάσης παλμοί σπάνε τη μεμβράνη του κυττάρου κάνοντάς την διαπερατή σε μικρά μόρια, προκαλώντας διόγκωση και σπάσιμο των κυττάρων.

Η επίδραση της PEF στους ιστούς καθορίζεται τόσο από τις ιδιότητες του δείγματος όσο και από τις παραμέτρους της PEF. Από την άποψη της καταλληλότητας για επεξεργασία με PEF, η ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, διότι επηρεάζει την αύξηση της θερμοκρασίας. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E , kV/cm) είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την έκταση της επίδρασης του PEF. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:



$$\text{Electric field strength (E)} = \frac{\text{Output voltage (kV)}}{\text{Distance of electrodes gap (cm)}}$$

Απαιτείται επαρκής ένταση πεδίου για να επιτευχθεί η κατάσταση ηλεκτροπόρωσης (μη αναστρέψιμη κατάσταση). Το απαιτούμενο επίπεδο ποικίλλει για κάθε δείγμα και εξαρτάται από το μέγεθος των κυττάρων. Τα στερεά τρόφιμα με μεγάλα κύτταρα συνήθως απαιτούν σχετικά χαμηλότερη ένταση πεδίου για ηλεκτροπόρωση σε σύγκριση με τους μικροοργανισμούς. Το πλάτος του παλμού, μετρημένο σε μικροδευτερόλεπτα, αντιπροσωπεύει τη διάρκεια κατά την οποία η υψηλή τάση διατηρείται για κάθε παλμό με τη μορφή τετραγωνικού κύματος. Για την αποφυγή αύξησης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας με PEF απαιτούνται τα μικρά πλάτη παλμού. Η συχνότητα των παλμών είναι ένας παράγοντας που καθορίζει τον χρόνο επεξεργασίας σε όρους του αριθμού των παλμών. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να εκφραστούν ως συγκεκριμένη ενέργεια (Q, kJ/kg) χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Specific energy (Q)} = \frac{V^2 t}{Rm}$$

όπου V είναι η τάση (kV), t είναι ο χρόνος επεξεργασίας (αριθμός παλμών/συχνότητα), R είναι η αντίσταση (ohm) και m είναι η μάζα του δείγματος (kg). Στην περίπτωση των στερεών τροφίμων η ένταση του πεδίου χρησιμοποιείται συνήθως ως μεταβλητή αντί της συγκεκριμένης ενέργειας, καθώς το πλάτος του παλμού και ο χρόνος επεξεργασίας συχνά διατηρούνται σε σταθερές τιμές.

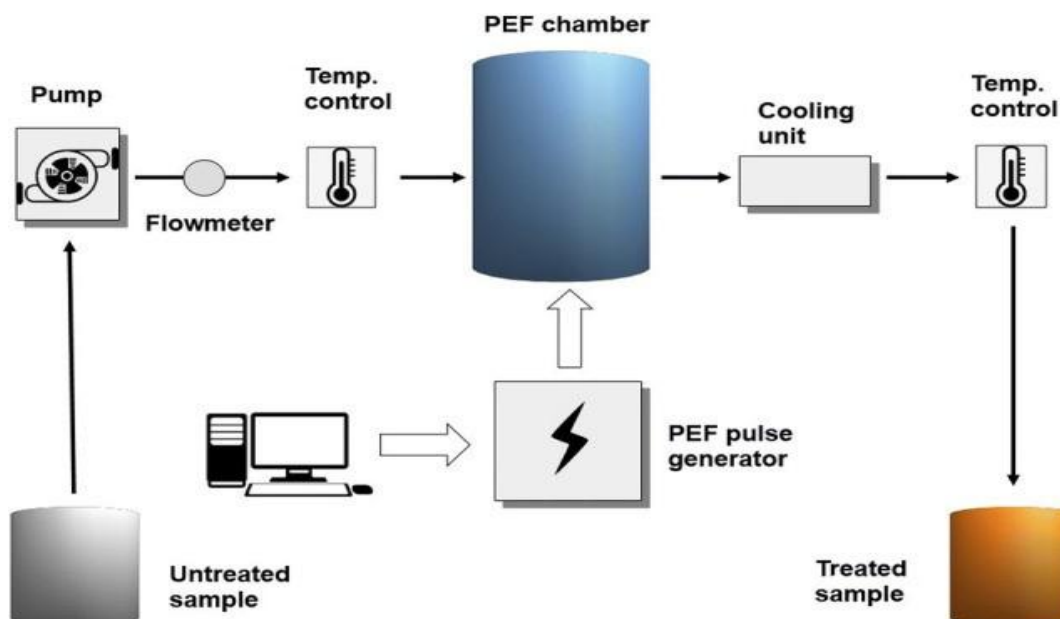
Η σύγχρονη τεχνολογία PEF βασίζεται στην άμεση εφαρμογή ενεργειακών παλμών στο τρόφιμο που τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων για μικρο- έως νανοδευτερόλεπτα με ένταση που κυμαίνεται από 10–80 kV/cm. Ο χρόνος επεξεργασίας με PEF μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τη διάρκεια του παλμού με τον αριθμό των παλμών. Το μέγεθος και η χρονική πορεία του PEF ελέγχονται από μια γεννήτρια τάσης και τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων.

2.2 Σύστημα επεξεργασίας PEF - εξοπλισμός

Μια τυπική μονάδα PEF αποτελείται από τα εξής μέρη: γεννήτρια παλμών υψηλής τάσης, θάλαμο επεξεργασίας, σύστημα διαχείρισης ρευστών, συσκευές ελέγχου και παρακολούθησης. Η διαδικασία ελέγχεται από έναν κεντρικό υπολογιστή που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των παραμέτρων, τον έλεγχο της λειτουργίας της αντλίας και τη συλλογή δεδομένων από τους αισθητήρες που τοποθετούνται μέσα στον θάλαμο. Στα υγρά προϊόντα που επεξεργάζονται με PEF, η επίτευξη ομοιομορφίας του ηλεκτρικού πεδίου είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ομοιόμορφη παστερίωση.



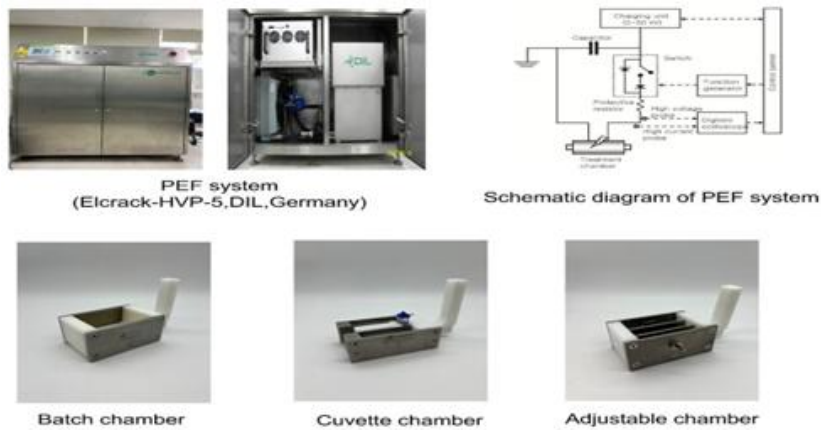
Θαλάμοι επεξεργασίας με διατάξεις παράλληλων πλακών ηλεκτροδίων ή πολλαπλοί θάλαμοι επεξεργασίας PEF τοποθετημένοι σε σειρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αντιμετώπιση των προβλημάτων ανομοιομορφίας.



Αν και γενικά θεωρείται ασφαλής, ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι συστατικά υλικών ηλεκτροδίων μπορεί να απελευθερωθούν στα δείγματα τροφίμων λόγω διάβρωσης. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών για την επεξεργασία PEF σε βιομηχανική κλίμακα και την ελαχιστοποίηση των ανεπιθύμητων αντιδράσεων των ηλεκτροδίων.

Λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με το σύστημα PEF και τα συστατικά του παρέχονται στο Σχ. 1. Το σύστημα PEF συνήθως αποτελείται από δύο κύρια μέρη: τη γεννήτρια παλμών και τον θάλαμο επεξεργασίας. Η προσθήκη άλλων υποσυστημάτων εξαρτάται από το αν το σύστημα λειτουργεί σε συνεχή λειτουργία (για υγρά και στερεά δείγματα) ή σε παρτίδα (single batch).





Εικόνα 2: 2.2

Στη συνεχή λειτουργία, απαιτείται αντλία ή μεταφορέας για τη μεταφορά του δείγματος στον θάλαμο επεξεργασίας. Οι θάλαμοι επεξεργασίας διατίθενται σε τρεις κοινές μορφές: παράλληλες πλάκες, ομοαξονικοί και ομογραμμικοί θάλαμοι. Η επεξεργασία PEF για στερεά τρόφιμα πραγματοποιείται στον θάλαμο παρτίδας, ο οποίος γεμίζεται με ένα χαμηλής αγωγιμότητας μέσο όπως το νερό βρύσης. Σε αντίθεση με τους συνεχείς θαλάμους, οι θάλαμοι παρτίδας έχουν τροποποιηθεί σε διάφορες μορφές. Ο ρυθμιζόμενος θάλαμος που απεικονίζεται στο Σχ. 1Α σχεδιάστηκε για να επιτρέπει τη ρύθμιση του διακένου των ηλεκτροδίων. Αυτή η διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία δειγμάτων χωρίς την ανάγκη μέσου και επιτρέπει την άμεση επαφή με τον θάλαμο χωρίς διάστημα μεταξύ του ηλεκτροδίου και του δείγματος. Ενώ η χρήση θαλάμων παρτίδας είναι κατάλληλη για την προσαρμογή των συνθηκών σε εργαστηριακή κλίμακα, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με τη συνεχή λειτουργία, είναι πιο επιρρεπής σε αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος λόγω της υψηλής έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Επομένως, η επεξεργασία σε λειτουργία παρτίδας θα πρέπει να πραγματοποιείται σε αποδεκτό επίπεδο έντασης PEF για την ελαχιστοποίηση της θέρμανσης.

2.3 Εφαρμογή PEF

2.3.1 Διάρρηξη των ιστών του κρέατος μέσω PEF

Τα κύτταρα που δέχονται ηλεκτρικό ερεθισμό μέσω PEF δημιουργούν προσωρινούς ή μόνιμους πόρους στην μεμβράνη. Ο μηχανισμός της ηλεκτροπόρωσης ή ηλεκτροδιάτρησης μπορεί να εξηγηθεί θεωρητικά· ωστόσο, η απόδειξη της διαπερατότητας της κυτταρικής μεμβράνης δεν είναι εντελώς σαφής σε κυτταρικό επίπεδο. Αυτή η αβεβαιότητα προκύπτει επειδή, ενώ μπορεί να παρατηρηθεί η αναστρέψιμη κατάσταση του κυττάρου που έχει διαταραχθεί από PEF, δεν μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί η αναστρέψιμη κατάσταση. Στο επίπεδο του ιστού, όπως στα λαχανικά ή το κρέας, κυρίως λόγω της ετερογενούς διανομής των μεγεθών των κυττάρων, η παρατήρηση της



αναστρέψιμης κατάστασης μπορεί να είναι αρκετά δύσκολη. Τα αποτελέσματα της PEF στους ιστούς αναλύονται ως μακροσκοπικά φαινόμενα, αντίθετα από το κυτταρικό επίπεδο, και αυτά τα φαινόμενα εξαρτώνται τόσο από την ένταση της PEF όσο και από τις ιδιότητες του ιστού. Όταν ο ιστός εκτίθεται σε PEF, ορισμένα κύτταρα μέσα στον ιστό καταστρέφονται από το ηλεκτρικό πεδίο. Η κατανομή των κατεστραμμένων κυττάρων ποικίλλει ανάλογα με την ένταση και το μέγεθος του κυττάρου. Με άλλα λόγια, τα κατεστραμμένα και ακέραια κύτταρα συνυπάρχουν ετερογενώς. Ο αριθμός των κατεστραμμένων κυττάρων μπορεί να αξιολογηθεί μετρώντας ένα ηλεκτρικό σήμα που προκύπτει από την απελευθέρωση ιόντων από τα κύτταρα. Αυτή η αλλαγή σήματος εκφράζεται σε ηλεκτρική αγωγιμότητα (S/m). Η επεξεργασία PEF επηρεάζει εκλεκτικά την κυτταρική μεμβράνη μέσα στον ιστό, οδηγώντας σε διακυμάνσεις στην απελευθέρωση ιόντων. Μορφολογικά, μπορεί να είναι δύσκολο να διακριθεί ο ακέραιος και τον επεξεργασμένο ιστό. Για παράδειγμα, στη μικροδομή του ιστού που υποβλήθηκε σε PEF, ο κυτταρικός τοίχος μπορεί να φαίνεται ακέραιος, ενώ η κυτταρική μεμβράνη μπορεί να εμφανίζει κάποιο βαθμό αλλοίωσης. Επίσης, στο μυϊκό ιστό όπου δεν υπάρχει κυτταρικός τοίχος, οι μορφολογικές διαφορές μπορεί να είναι ακόμη δυσκολότερο να διακριθούν. Αυτή η επιλεκτική επίδραση μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο τρυφερή υφή, προκαλούμενη από την απελευθέρωση της πίεσης μέσα στο κύτταρο. Επομένως, η PEF μπορεί να μαλακώσει την υφή και να βελτιώσει την αποδοτικότητα της επεξεργασίας. Επιπλέον, η κατεστραμμένη κυτταρική μεμβράνη μπορεί να δημιουργήσει πόρους στον ιστό, αυξάνοντας τα κανάλια μεταφοράς μάζας και επιταχύνοντας τη μεταφορά αυτής.

Η κύρια επίδραση της PEF στο κρέας είναι η μαλάκωσή του η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα κατά την αξιολόγηση της ποιότητάς του. Η βαθμολόγηση της μαλάκωσης σε μακροσκοπική κλίμακα αξιολογείται συνήθως μέσω μηχανικών μετρήσεων. Ωστόσο, διάφορες μελέτες (Bhat κ.ά. (2019), Khan κ.ά. (2017) και Suwandy κ.ά. (2015)) που χρησιμοποίησαν διαφορετικά προϊόντα κρέατος, διαφορετικής έντασης PEF και διαφορετικά μεγέθη δείγματος έχουν παράγει αντιφατικά αποτελέσματα σχετικά με τις επιδράσεις της PEF. Αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι χρησιμοποιούνται υπερβολικά μεγάλα μεγέθη δείγματος κατά την επεξεργασία και τη μέτρηση της υφής σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες, αφού, δηλαδή, το κρέας έχει μαγειρευτεί.

Τα μεγάλα μεγέθη δείγματος χρειάζονται μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας για να επιτύχουν την απαιτούμενη ένταση PEF προκειμένου να επιτευχθεί η εν λόγω μαλάκωση. Επιπλέον, το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μεθόδου επηρεάζεται από τις ιδιότητες του δείγματος, όπως τη σύσταση του λίπους ή την ύπαρξη συνδετικών ιστών. Η παρουσία ή η απουσία της επίδρασης της PEF επιβεβαιώνεται έμμεσα μέσω αλλαγών στα ηλεκτρικά σήματα. Η επαρκής ένταση PEF αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του μυϊκού ιστού επειδή τα κατεστραμμένα κύτταρα απελευθερώνουν ένα ενδοκυτταρικό υγρό, το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρολύτης. Σε μικρότερα μεγέθη δείγματος έχει παρατηρηθεί θετική γραμμική σχέση μεταξύ της έντασης PEF και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Jeong κ.ά. (2023)). Ενώ αυτή η σχέση μπορεί να παρατηρηθεί μέσω αλλαγών στην υφή, η αύξηση της αγωγιμότητας μπορεί να συμβεί και λόγω αλλαγών στην μικροδομή του υπό επεξεργασία προϊόντος.

Ανεξάρτητα από τις μηχανικές μετρήσεις υφής του κρέατος, έχει παρατηρηθεί και η αποδόμηση των πρωτεϊνών αυτού μέσω της PEF, το φαινόμενο της πρωτεόλυσης (Chian κ.ά.(2019), Mungure κ.ά. (2020), O'Dowd κ.ά.(2013)). Η ρήξη και ο κατακερματισμός της δομής των μυοϊνιδίων συνδέεται άμεσα με την μαλακότερη υφή του κρέατος.



2.3.2 Μικροβιακή αδρανοποίηση του κρέατος μέσω PEF

Η πλειονότητα των μελετών σχετικά με την αδρανοποίηση μικροοργανισμών με τη χρήση παλμικού ηλεκτρικού πεδίου έχει διεξαχθεί σε υγρά τρόφιμα λόγω της υψηλότερης έντασης του PEF που απαιτείται για τη διάσπαση των μικροοργανισμών σε σύγκριση με τα στερεά τρόφιμα. Τα μικρότερα μεγέθη κυττάρων στους μικροοργανισμούς απαιτούν υψηλότερες εντάσεις για να προκαλέσουν διάσπαση της μεμβράνης. Ωστόσο, το κρέας μπορεί να αρχίσει να μαγειρεύεται όταν εφαρμόζονται υψηλές εντάσεις, και παράγονται αποτελέσματα που μοιάζουν με αυτά της ωμικής θέρμανσης. Παρόλο που η μικροβιοκτόνος επίδραση στο κρέας είναι περιορισμένη για αυτόν τον λόγο, έχουν διεξαχθεί διάφορες μελέτες σχετικά με την ασφάλεια του κρέατος που έχει υποβληθεί σε PEF.

Η επίδραση της μέτριας έντασης παλμικού ηλεκτρικού πεδίου (MIPEF) με ένταση ηλεκτρικού πεδίου κάτω από 10 kV/cm στην ψυχρή αποθήκευση του κρέατος επεκτείνει χρονικά το όριο για τον συνολικό αριθμό μεσοφιλικών αερόβιων βακτηρίων (Aşik-Canbaz κ.ά. (2022)). Επιπλέον, μειώνεται το πλήθος των συνολικών κολοβακτηριδίων. Ωστόσο, δεν έχει παρατηρηθεί μείωση στον αριθμό των *Listeria monocytogenes* και *Pseudomonas aeruginosa*. Στο κατεψυγμένο και κατόπιν αποψυγμένο κρέας, έχει παρατηρηθεί η καθυστέρηση της αύξησης των αερόβιων βακτηρίων (Faridnia κ.ά. (2015)).

Επειδή η επεξεργασία με PEF για το κρέας συνήθως πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες, η επίτευξη άμεσης επίδρασης παστερίωσης είναι δύσκολη. Ακόμα και στα υγρά τρόφιμα, η επίδραση της παστερίωσης μειώνεται σε θερμοκρασίες κάτω από 25°C. Επομένως, η αδρανοποίηση μικροοργανισμών με PEF στο κρέας είναι σχετικά χαμηλότερη από ό,τι στα υγρά τρόφιμα λόγω της απαίτησης του κρέατος να βρίσκεται σε ψυχρή κατάσταση.

2.4 Συμπεράσματα

Η τεχνολογία PEF μπορεί να έχει διάφορες επιδράσεις στα τρόφιμα ανάλογα με την ένταση που χρησιμοποιείται. Στην περίπτωση του κρέατος, η βασικότερη χρήση της PEF εστιάζει κυρίως στην υφή και την τρυφερότητα, αν και υπάρχουν αντικρουόμενα ευρήματα σχετικά με αυτό το θέμα. Αυτές οι διαφορές μπορούν να αποδοθούν στην ομοιογένεια της επεξεργασίας με PEF και στις διακυμάνσεις στις συνθήκες των μηχανικών μετρήσεων. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες μελέτες φαίνεται να συμφωνούν ότι το PEF μπορεί να διευκολύνει την τρυφερότητα μέσω της αποδόμησης πρωτεϊνών. Σε σύγκριση με την επίδρασή του στα υγρά τρόφιμα, η απενεργοποίηση μικροοργανισμών με PEF στο κρέας είναι σχετικά περιορισμένη, επειδή η απαιτούμενη τάση για την επίτευξη θανατηφόρας επίδρασης συχνά δεν επιτυγχάνεται λόγω των εγγενών ιδιοτήτων του κρέατος. Επιπλέον, η ένταση του PEF πρέπει να ρυθμίζεται προσεκτικά για να αποφεύγεται η απώλεια ποιότητας του κρέατος, όπως η οξείδωση των λιπιδίων. Για να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί, η μελλοντική έρευνα σε αυτόν τον τομέα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη θαλάμων ή συστημάτων που μπορούν να επεξεργάζονται το κρέας με πιο συνεπή και σταθερό τρόπο μέσω της επεξεργασίας με PEF. Επίσης, η καθιέρωση σημείων αναφοράς για τη διασφάλιση της ομοιογένειας



της επεξεργασίας με PEF στην επεξεργασία κρέατος θα είναι σημαντική για την προώθηση της ευρείας υιοθέτησης αυτής της τεχνολογίας στη βιομηχανία κρέατος.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ψυχρό Ατμοσφαιρικό Πλάσμα (cold atmospheric plasma, CAP)

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Το Ψυχρό Ατμοσφαιρικό Πλάσμα (cold atmospheric plasma, CAP) έχει προσελκύσει σημαντική προσοχή για τις πιθανές εφαρμογές του στην επεξεργασία του κρέατος καλύπτοντας τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για ασφαλή, υψηλής ποιότητας και ελάχιστα επεξεργασμένα τρόφιμα. Το CAP παράγεται σε θερμοκρασία κοντά στη θερμοκρασία δωματίου και σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση, δημιουργώντας ένα μείγμα αντιδράσεων που μπορεί να καταπολεμήσει αποτελεσματικά ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών. Αυτό καθιστά το CAP ιδιαίτερα κατάλληλο για τη βιομηχανία κρέατος, όπου η διατήρηση της ασφάλειας και της ποιότητας είναι υψίστης σημασίας.

Το κύριο πλεονέκτημα του CAP έγκειται στην αποτελεσματικότητά κατά την μικροβιακή εξουδετέρωση. Παθογόνοι μικροοργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ιών και μυκήτων, μπορούν να αδρανοποιηθούν αποτελεσματικά. Κατά την διάρκεια της επεξεργασίας του κρέατος, η μικροβιακή μόλυνση είναι η κύρια αιτία των τροφिमογενών ασθενειών και της αλλοίωσης του εκάστοτε προϊόντος. Με την σημαντική μείωση του μικροβιακού φορτίου, το CAP παρατείνει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων κρέατος και ενισχύει την ασφάλεια των τροφίμων χωρίς να αλλοιώνει σημαντικά τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά του κρέατος όπως η γεύση, η υφή και η θρεπτική αξία. Επιπλέον, το CAP παρέχει μια μη θερμική εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους συντήρησης που βασίζονται στη θερμότητα. Τεχνικές όπως η παστερίωση και η κατάψυξη, αν και αποτελεσματικές, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητα του κρέατος, οδηγώντας σε ανεπιθύμητες αλλαγές στην υφή και τη περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά. Το CAP, λειτουργώντας σε χαμηλές θερμοκρασίες, αποφεύγει αυτά τα μειονεκτήματα, διατηρώντας τις φυσικές ιδιότητες του κρέατος ενώ εξασφαλίζει τη μικροβιακή ασφάλεια. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το CAP ιδιαίτερα πολύτιμο για τη διατήρηση των ωμών ή ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων κρέατος.

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στη συντήρηση τροφίμων είναι η αδρανοποίηση των μικροβιακών σπορίων. Τα σπόρια από βακτήρια μπορούν να επιβιώσουν από έντονες μεθόδους συντήρησης και στη συνέχεια να βλαστήσουν, οδηγώντας σε μόλυνση των τελικών προϊόντων. Οι παραδοσιακές μέθοδοι συχνά δεν καταφέρνουν να καταπολεμήσουν αποτελεσματικά αυτά τα ανθεκτικά σπόρια. Αυτή η ισχυρή λύση για ολοκληρωμένο μικροβιακό έλεγχο είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας των προϊόντων κρέατος.

Η ευελιξία του CAP επεκτείνεται και στην εφαρμογή του στη διατάραξη των βιοφίλμ στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Τα βιοφίλμ, που είναι κοινότητες μικροοργανισμών που προσκολλώνται σε επιφάνειες, είναι εξαιρετικά δύσκολο να εξαλειφθούν και μπορούν να αποτελέσουν μια επίμονη πηγή μόλυνσης σε περιβάλλοντα επεξεργασίας τροφίμων. Η ικανότητα του CAP να διαταράσσει και να εξουδετερώσει τα βιοφίλμ υπογραμμίζει περαιτέρω το δυναμικό του ως ένα πολυδιάστατο εργαλείο για την εξασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων στη βιομηχανία κρέατος.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα, η εφαρμογή του CAP στην επεξεργασία κρέατος απαιτεί προσεκτική εξέταση πολλών παραγόντων για τη βέλτιστη απόδοση. Ο σχεδιασμός του εξοπλισμού παραγωγής πλάσματος, οι συνθήκες λειτουργίας και οι συγκεκριμένες ιδιότητες του κρέατος που υποβάλλεται σε επεξεργασία μπορούν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητά του.



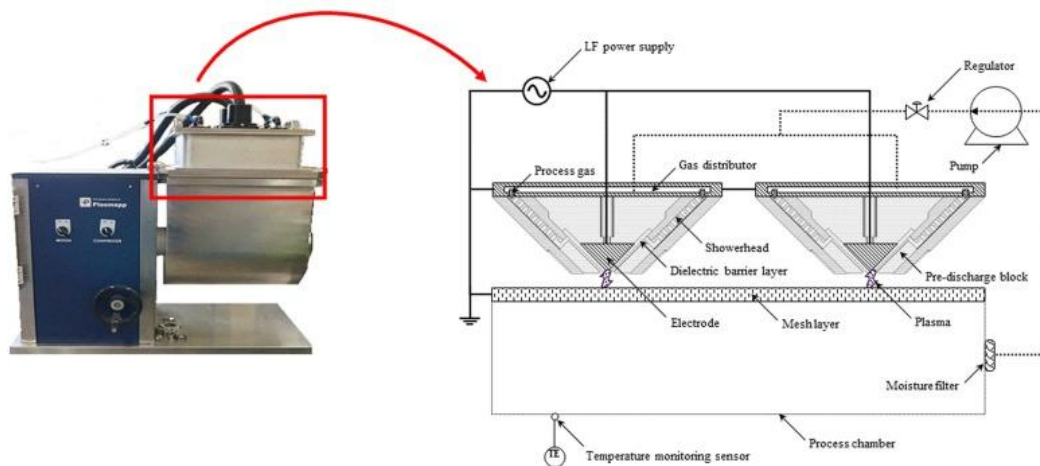
Η τεχνική του CAP περιλαμβάνει την εφαρμογή πλάσματος, δηλαδή ιονισμένων ή μερικώς ιονισμένων αερίων, για την αδρανοποίηση ρυπογόνων παραγόντων των τροφίμων, συμπεριλαμβανομένων μικροβιακών κυττάρων, ενζύμων και τοξινών. Το αέριο που χρησιμοποιείται αποτελείται από πολλά διαφορετικά είδη, συμπεριλαμβανομένων θετικών και αρνητικών ιόντων, ηλεκτρονίων, ελεύθερων ριζών, ατόμων αερίου, μορίων σε αδρανή ή διεγερμένη κατάσταση, ουδέτερων σωματιδίων και κβάντα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όπως ορατό φως και UV φωτόνια (Akhtar κ.ά. 2022, Nwabor κ.ά. 2022). Το πλάσμα δημιουργείται είτε με την επαρκή θέρμανση του αερίου σε έναν κλειστό θάλαμο υπό βαθύ κενό είτε με τη χρήση ραδιοσυχνοτήτων ή μικροκυματικής ενέργειας για την διέγερση των μορίων του αερίου με σκοπό την παραγωγή ελεύθερων ριζών, που είναι τα κύρια συστατικά του πλάσματος. Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ένα μείγμα ευγενών αερίων, όπως ήλιο, άργον ή νέο, ή μπορεί να χρησιμοποιεί ένα βασικό αέριο όπως ο αέρας ή το άζωτο (Pankaj κ.ά., 2018). Το πλάσμα περιέχει αντιδραστικά είδη οξυγόνου (reactive oxygen species, ROS) και αντιδραστικά είδη αζώτου (reactive nitrogen species, RNS) που προκαλούν οξειδωτική βλάβη στις εξωτερικές μεμβράνες και το DNA των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα τον κυτταρικό θάνατο (Afshari και Hosseini, 2014).

Το πλάσμα έχει περιγραφεί ως η τέταρτη κατάσταση της ύλης (δηλαδή, στερεό, υγρό, αέριο και πλάσμα). Σε κατάσταση πλάσματος, τα μόρια διασπώνται στα ατομικά τους στοιχεία, χάνοντας ηλεκτρόνια και αποκτώντας υψηλότερη ενέργεια. Η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας πλάσματος εξαρτάται από παράγοντες όπως η ενέργεια που ορίζεται ως πίεση, θερμοκρασία, η θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ των σωματιδίων και ο τύπος του αερίου που χρησιμοποιείται. Αν και η εφαρμογή πλάσματος απαιτεί υψηλή ενέργεια, πρόσφατες εξελίξεις στη φυσική του πλάσματος έχουν καταστήσει δυνατή τη δημιουργία "ψυχρού πλάσματος" σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και ατμοσφαιρικές πιέσεις. Το μη θερμικό πλάσμα (ψυχρό πλάσμα) έχει επιβεβαιώσει την αποτελεσματικότητά του για χρήση σε ευαίσθητα στη θερμότητα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων του κρέατος και των προϊόντων του κρέατος, σε σύγκριση με τα υψηλής θερμοκρασίας και θερμικά πλάσματα. (Akhtar κ.ά., 2022; Lee κ.ά., 2017; Misra κ.ά., 2016).

3.2 Εξοπλισμός

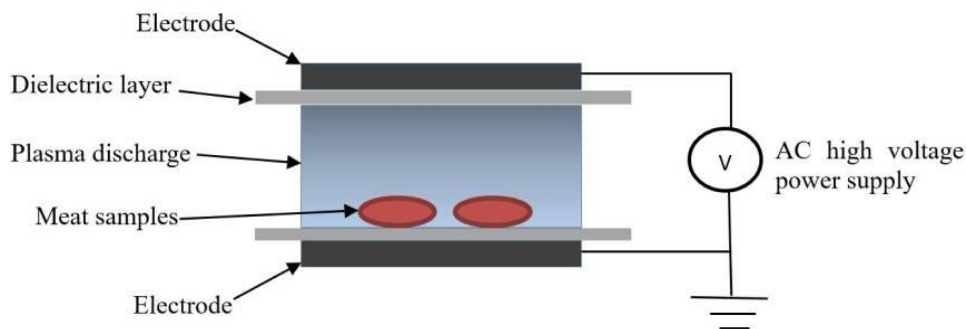
Το ψυχρό πλάσμα παράγεται μέσω του μερικού ιονισμού των αέριων μορίων. Κατά την επεξεργασία τροφίμων, οι μέθοδοι παραγωγής πλάσματος είναι οι εξής: εκκένωση διηλεκτρικού φράγματος (dielectric barrier discharge, DBD), εκτόξευση πλάσματος (plasma jet, PJ), εκκένωση κορώνας (corona discharge, CD), ραδιοσυχνότητα (radiofrequency, RF) και μικροκύματα (microwave, MW). Τα εφαρμοσμένα ηλεκτρικά πεδία και η χωρική κατανομή του φορτίου είναι υπεύθυνα για την ενέργεια των ηλεκτρονίων, η οποία καθοδηγεί την αντιδραστικότητα του πλάσματος, η οποία επηρεάζεται από τη χημική σύσταση του αερίου. Ωστόσο, οι ιδιότητες του πλάσματος επηρεάζονται και από το μέγεθος, τον χρόνο, τη θερμοκρασία και την πυκνότητα των φορτισμένων και δραστικών παραγόντων. Σε πρόσφατη ανασκόπηση που δημοσιεύτηκε από τους Laroque et al., συζητήθηκαν παράγοντες όπως η σύσταση του αερίου, η σχετική υγρασία, το ηλεκτρόδιο και το διηλεκτρικό φράγμα, συμπεριλαμβανομένων των υλικών των ηλεκτροδίων και των διηλεκτρικών, η γεωμετρία και το σχήμα των ηλεκτροδίων, σε σχέση με το σχηματισμό και την ικανότητα ιονισμού των δραστικών παραγόντων του πλάσματος, την απόδοση και την ενέργεια.





Εικόνα 3: 3.1

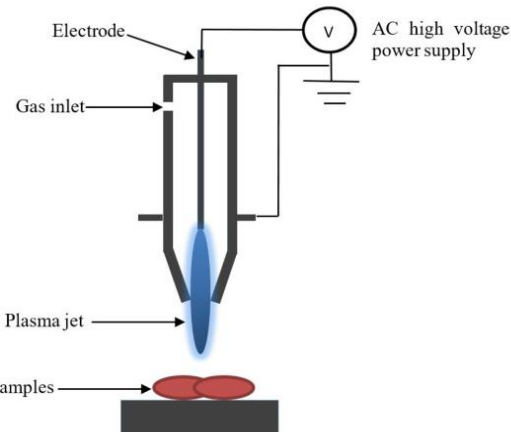
Στην βιομηχανία των τροφίμων υπάρχει περισσότερο ενδιαφέρον για τις μεθόδους παραγωγής πλάσματος DBD και PJ επειδή αποτελούν ασφαλή και χαμηλού κόστους εναλλακτικές λύσεις για την επεξεργασία των τροφίμων. Η μέθοδος DBD είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για την απενεργοποίηση μικροοργανισμών σε φρέσκα προϊόντα διότι το πλάσμα μπορεί να παραχθεί μέσω διηλεκτρικού φράγματος μέσω της διάχυσης ροής ρεύματος μέσα από διηλεκτρικά υλικά μεταξύ ηλεκτροδίων, παρέχοντας τη δυνατότητα κατά τη συσκευασία των προϊόντων κρέατος να δημιουργηθούν αντιδραστικά οξυγόνου και αζώτου απευθείας μέσα σε σφραγισμένες συσκευασίες.



Εικόνα 4: 3.2

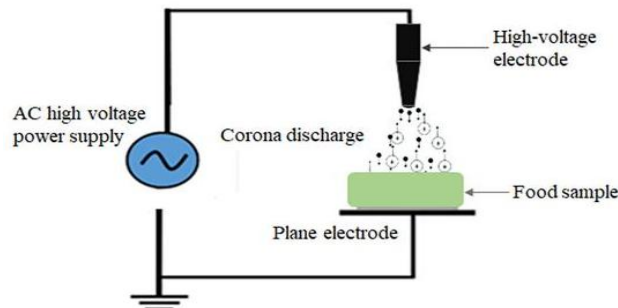
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου PJ ένα εισερχόμενο αέριο ρέει μεταξύ των ηλεκτροδίων ενώ το εξωτερικό ηλεκτρόδιο είναι γειωμένο. Το κεντρικό ηλεκτρόδιο κινείται από πηγή υψηλής τάσης για να παράγει ελεύθερα ηλεκτρόνια που συγκρούονται με τα μόρια του αερίου και δημιουργούν τους διάφορους δραστικούς παράγοντες.





Εικόνα 5: 3.3

Στο ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα κατατάσσεται και η μέθοδος CD. Επιτυγχάνεται μέσω του ρεύματος που κυκλοφορεί από ένα ηλεκτρόδιο με υψηλή δυναμική προς ένα χώρο γεμάτο αέρα ή άλλα αέρια, ιονίζοντάς τα κατά τη διαδικασία και δημιουργώντας μια περιοχή πλάσματος γύρω από το ηλεκτρόδιο. Μπορεί να τροφοδοτηθεί με υψηλής έντασης εναλλασσόμενη ή συνεχή τάση. Αντίθετα με τις άλλες διαμορφώσεις ηλεκτροδίων, εδώ τα ηλεκτρόδια είναι ασύμμετρα, σχεδιασμένα με ένα λεπτό σύρμα ή βελόνα που αντικρίζει επίπεδη επιφάνεια ή μεγάλη κυλινδρική επίπεδη επιφάνεια. Επιπλέον, τα ισχυρά ηλεκτρικά πεδία που δημιουργούνται παράγονται από σύρματα μικρής διαμέτρου, βελόνες ή αιχμηρά ηλεκτρόδια. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διαδικασία CD συμβαίνει στην άμεση γειτονιά του σημείου του ηλεκτροδίου. Αντίθετα με τη PJ, η



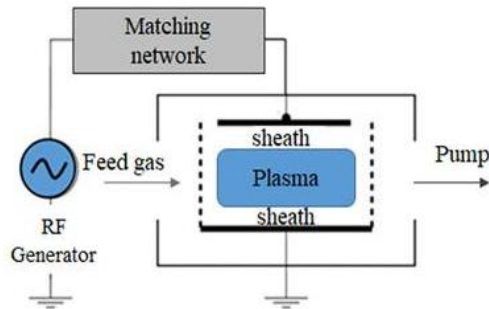
Εικόνα 6: 3.4

μέθοδος CD έχει μια πιο εκτεταμένη κάλυψη της περιοχής των υπό επεξεργασία τροφίμων και παράγει επίσης πιο πυκνό και ενεργητικό πλάσμα σε σύγκριση με την μέθοδο DBD.



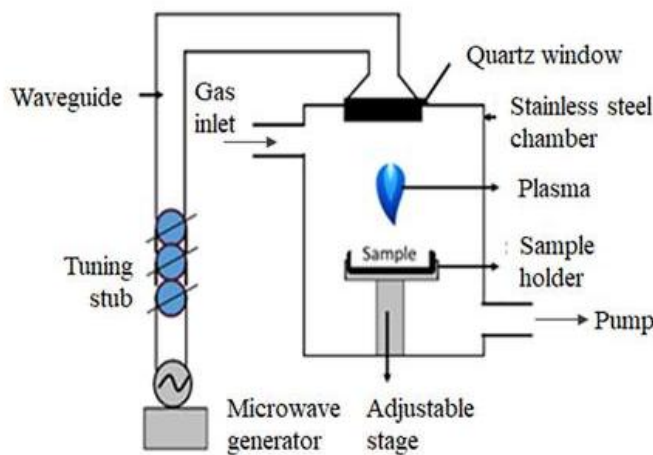
Ωστόσο, το παραγόμενο πλάσμα είναι χαρακτηριστικά ανομοιογενές, περιορίζοντας την εφαρμογή του για ομοιόμορφη επεξεργασία προϊόντων.

Από την άλλη πλευρά, το πλάσμα ραδιοσυχνότητας (RF) δημιουργείται εφαρμόζοντας ένα πεδίο ραδιοσυχνότητας σε ένα ρεύμα αερίου. Σε ένα θάλαμο κενού, υπάρχουν δύο παράλληλα ηλεκτρόδια χωρισμένα από ένα κενό μερικών εκατοστών.



Εικόνα 7: 3.5

Το πλάσμα μικροκυμάτων παράγεται από μία γεννήτρια η οποία καθοδηγεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο θάλαμο επεξεργασίας, τα μικροκύματα απορροφώνται από το αέριο το οποίο θερμαίνεται και ιονίζεται, προκαλώντας την απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ιονιστικές αντιδράσεις λόγω ανελαστικών συγκρούσεων, απελευθερώνοντας ενέργεια σε φωτόνια ορατού φωτός και υπεριώδους ακτινοβολίας. Σε αντίθεση με άλλες πηγές πλάσματος που χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί διακόπτες κεραίας οι οποίες χρησιμοποιούν υψηλής ισχύος παλμούς μικροκυμάτων για τη δημιουργία πλάσματος. Ο σκοπός αυτού του παλμού είναι να αποτρέψει τη βλάβη στους δέκτες των χαμηλού σήματος μικροκυμάτων μέσω του κυκλώματος. Το μικροκυματικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο επιταχύνει τα ηλεκτρόνια των μορίων αερίου για τη δημιουργία πλάσματος.



Εικόνα 8: 3.6



3.3 Εφαρμογή

3.3.1 Μικροβιακή αδρανοποίηση

Η μικροβιακή μόλυνση του κρέατος συμβαίνει κατά τη σφαγή και στην συνέχεια, οι πιθανότητες μόλυνσης ποικίλλουν κατά μήκος της αλυσίδας του νωπού κρέατος. Ο έλεγχος αυτής της μόλυνσης είναι απαραίτητος προκειμένου να αποφευχθεί η παραγωγή κρέατος το οποίο είναι επικίνδυνο για ανθρώπινη κατανάλωση λόγω αλλοίωσης. Το CAP ασκεί την αντιμικροβιακή του δράση κυρίως στην επιφάνεια του επεξεργασμένου τρόφιμου. Επομένως, η επιφανειακή βακτηριακή (ή ιογενής) μόλυνση που προκύπτει από τη σφαγή και την επακόλουθη επεξεργασία θα μπορούσε, τουλάχιστον εν μέρει, να αδρανοποιηθεί πριν από την περαιτέρω επεξεργασία/συσκευασία. Προφανώς, η στοχευμένη εφαρμογή του πλάσματος καθορίζει την αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα της έκθεσης των μικροβιακών οργανισμών στο πλάσμα.

Η επεξεργασία με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα αδρανοποιεί αποτελεσματικά ένα ευρύ φάσμα μικροοργανισμών δημιουργώντας δραστικούς παράγοντες θανατηφόρους για τα κύτταρα. Οι δραστικοί αυτοί παράγοντες μπορεί να είναι αντιδραστικά είδη οξειδωτικού (ROS), αντιδραστικά είδη αζώτου (RNS), υπεριώδης ακτινοβολία, ενεργειακά ιόντα και φορτισμένα σωματίδια. Κατά την εφαρμογή του πλάσματος, οι δραστικοί παράγοντες έχουν αντιμικροβιακές επιδράσεις κυρίως μέσω της επαγωγής του οξειδωτικού στρες, με αποτέλεσμα την απώλεια της κυτταρικής λειτουργίας και τη λύση του κυττάρου. Το επαγόμενο οξειδωτικό στρες ενισχύει την κυτταρική βλάβη μέσω της δημιουργίας πόρων στην μεμβράνη, της υπεροξειδωσίας των λιπιδίων, της αδρανοποίησης ενζύμων και της διάσπασης του DNA. Ταυτόχρονα, το CAP δρα σε πολλαπλά σημεία τόσο των βακτηριακών όσο και των μυκητιακών κυττάρων, προκαλώντας δομικές και λειτουργικές αλλοιώσεις, και τελικά κυτταρικό θάνατο. Ομοίως, προκαλείται και χημική διάσπαση τοξινών, όπως η αφλατοξίνη, η οποία παράγει προϊόντα διάσπασης που είναι λιγότερο τοξικά. Άλλα παραπροϊόντα του πλάσματος, όπως η υπεριώδης ακτινοβολία, το H₂O₂ και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, που δρουν μαζί, ενισχύουν την αδράνεια των μικροβίων.

Τα μαγειρεμένα ή ελαφρώς επεξεργασμένα προϊόντα κρέατος είναι γενικά μικροβιολογικά ασφαλή λόγω του συνδυασμού θερμότητας και νιτρώδους. Ωστόσο, οι μετα-επεξεργαστικές διαδικασίες, όπως η κοπή, το ξεφλουδισμα και η συσκευασία, μπορεί να οδηγήσουν σε επαναμόλυνση της επιφάνειάς τους. Έτσι, το CAP, λόγω της φύσης του, παρέχει μία αποτελεσματική λύση προκειμένου τα επεξεργασμένα αυτά προϊόντα να αποστειρωθούν και πάλι, μόνο όπου είναι απαραίτητο, δηλαδή επιφανειακά.

Ωστόσο, το ερώτημα που εγείρεται είναι αν η μικροβιακή αδρανοποίηση που λαμβάνει χώρα μέσω της επεξεργασίας με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα μπορεί να θεωρηθεί ως μία έμμεση αλλά εξίσου αποτελεσματική μέθοδος συντήρησης του επεξεργασμένου κρέατος. Μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του κρέατος και να προστατεύει παράλληλα τις θρεπτικές, λειτουργικές και οργανοληπτικές του ιδιότητες;

Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί για να διασαφηνίσουν τις επιπτώσεις της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος στις φυσικοχημικές ιδιότητες του κρέατος και των προϊόντων κρέατος, αλλά τα ευρήματα ήταν αντιφατικά. Οι τιμές χρώματος δεν άλλαξαν στην επιφάνεια του στήθους κοτόπουλου ή του δέρματος του μηρού κοτόπουλου καθώς και στο χοιρινό όταν υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα (Cui κ.ά. 2017, Dirks κ.ά. 2012). Ο Kim κ.ά. (2013) ανέφερε σημαντική μείωση του pH του χοιρινού μετά την επεξεργασία με πλάσμα. Τα ευρήματα των πολύ λίγων μελετών που έχουν διεξαχθεί σχετικά με τα αισθητηριακά δεδομένα σε κρέας και προϊόντα κρέατος που έχουν



υποβληθεί σε επεξεργασία με πλάσμα έχουν δείξει ότι το ψυχρό πλάσμα έχει ορισμένες αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένες αισθητηριακές παραμέτρους (εμφάνιση, χρώμα, οσμή) του κρέατος (Kim κ.ά. 2013). Ωστόσο, η αισθητηριακή ανάλυση σε δείγματα μαγειρεμένου χοιρινού και μοσχαρίσιου φιλέτου που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία πλάσματος DBD δεν αποκάλυψε διαφορές στα δείγματα χοιρινού και μοσχαρίσιου όσον αφορά την εμφάνιση, το χρώμα, την οσμή, και παραμέτρους υφής όπως η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η συνοχή και η μάσηση. Ωστόσο, η επεξεργασία με πλάσμα DBD είχε αρνητική επίδραση στις προτιμήσεις των καταναλωτών για τη γεύση και των δύο δειγμάτων κρέατος (Jayasena κ.ά., 2015).

Ο σχηματισμός ριζών και δραστικών παραγόντων οξυγόνου (ROS) κατά τη διάρκεια των επεξεργασιών με πλάσμα μπορεί να προκαλέσει την οξείδωση των λιπιδίων και την παραγωγή σχετικών παραπροϊόντων (Kim κ.ά. 2016a). Αυτό μπορεί να επηρεάσει τις διαφορές στις αισθητηριακές ιδιότητες του κρέατος και των προϊόντων κρέατος, ιδιαίτερα σε πηγές κρέατος με υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος, όπως το χοιρινό (Jayasena κ.ά. 2015). Η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα αύξησε το επίπεδο οξείδωσης των λιπιδίων στο βοδινό, το χοιρινό, τα πουλερικά και τα προϊόντα τους (Cui κ.ά. 2017, Gavahian κ.ά. 2018, Huang κ.ά. 2019, Jayasena κ.ά. 2015, Kim κ.ά. 2013, Rød κ.ά. 2012, Wang κ.ά. 2021, Yong κ.ά. 2017a). Ωστόσο, αρκετοί άλλοι συγγραφείς βρήκαν ότι η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα σε κρέας και προϊόντα κρέατος δεν είχε επίδραση στην οξείδωση των λιπιδίων (Jung κ.ά. 2017b, Kim κ.ά. 2011, Lee κ.ά. 2016a, Lee κ.ά. 2018, Moutiq κ.ά. 2020). Κατά συνέπεια, είναι σαφές ότι το επίπεδο οξείδωσης των λιπιδίων που συμβαίνει σε κρέας και προϊόντα κρέατος επηρεάζεται γενικά από την ισχύ του πλάσματος, τον χρόνο επεξεργασίας, τον τύπο του κρέατος και την αποθήκευση (Akhtar κ.ά. 2022, Rød κ.ά. 2012). Επιπλέον, οι επιστήμονες έχουν προτείνει αρκετές στρατηγικές για τον περιορισμό της οξείδωσης των λιπιδίων από την επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, όπως η εξάλειψη του O₂, η εφαρμογή χαμηλότερης τάσης, η χρήση μικρότερου χρόνου επεξεργασίας, η μείωση της συγκέντρωσης λίπους και ακόρεστων λιπαρών οξέων στο κρέας ή στα προϊόντα κρέατος που πρόκειται να υποβληθούν σε επεξεργασία με πλάσμα και η προσθήκη αντιοξειδωτικών (Gavahian κ.ά. 2018).

3.3.2 Αδρανοποίηση βιοφίλμ στις επιφάνειες επεξεργασίας

Το βιοφίλμ είναι μια συμβιωτική κοινότητα μικροοργανισμών στην οποία τα κύτταρα προσκολλώνται μεταξύ τους και σε μια επιφάνεια. Αυτά τα προσκολλημένα κύτταρα ενσωματώνονται μέσα σε μια γλοιώδη εξωκυτταρική μήτρα που αποτελείται από εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες. Τα κύτταρα μέσα στο βιοφίλμ παράγουν ένα πολυμερή συνδυασμό εξωκυτταρικών πολυσακχαριτών, πρωτεϊνών, λιπιδίων και DNA. Επειδή έχουν τρισδιάστατη δομή και προσομοιάζουν έναν κοινοτικό τρόπο ζωής για τους μικροοργανισμούς, συχνά αναφέρονται ως «Πόλεις μικροβίων». Τα βιοφίλμ μπορεί να σχηματιστούν σε βιοτικές ή αβιοτικές επιφάνειες και για τον λόγο αυτό εμφανίζονται και είναι συνήθη σε νοσοκομειακά και βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Η δημιουργία βιοφίλμ στις επιφάνειες επαφής με τρόφιμα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα ασφαλείας, λόγω της περεταίρω μόλυνσης των προϊόντων που μπορεί να προκύψει από την αποκόλληση κυττάρων βιοφίλμ και την προσκόλληση αυτών στα υπό επεξεργασία τρόφιμα. Η δημιουργία βιοφίλμ σε επιφάνειες επαφής είναι ένας σημαντικός μηχανισμός επιβίωσης των μικροβίων και συχνά οφείλεται στην αντοχή τους στις διαδικασίες συντήρησης και επεξεργασίας των τροφίμων. Η εξωτερική μεμβράνη των βιοφίλμ λειτουργεί ως ένα επιπλέον στρώμα που προστατεύει τα κύτταρα των μικροβίων από τις αντιμικροβιακές επιδράσεις των απολυμαντικών των τροφίμων, των αντιμικροβιακών χημικών και παραγόντων, και των διαδικασιών επεξεργασίας τροφίμων. Επιπλέον,



τα κύτταρα μέσα στην κοινότητα του βιοφίλμ έχουν παρατηρηθεί να αντιστέκονται συνεργατικά στις επιδράσεις των αντιμικροβιακών ενώσεων. Αυτός ο μηχανισμός της διακυτταρικής χημικής επικοινωνίας επιτρέπει στην κοινότητα των κυττάρων να ανταποκρίνεται συντονισμένα στις αλλαγές στο περιβάλλον τους, με αποτέλεσμα την παραγωγή εξουδετερωτικών ενζύμων, καθώς και τοξινών. Αυτό συχνά σχετίζεται με το πρόσθετο προστατευτικό στρώμα της εξωπολυμερικής μεμβράνης που εμποδίζει τη διείσδυση του εκάστοτε αντιμικροβιακού παράγοντα και κατά συνέπεια αλλοιώνει την δοσολογία ή τη συγκέντρωση που απαιτείται για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών.

Η χρήση της τεχνολογίας πλάσματος έχει δείξει υποσχόμενα αποτελέσματα για την αδρανοποίηση των βιοφίλμ. Η έκθεση των βιοφίλμ του *Staphylococcus aureus* και *Escherichia coli* σε CAP προκάλεσε περίπου 70% και 85% διαταραχή στα βιοφίλμ του *S. aureus* και του *E. coli*, αντίστοιχα (Khosravi S κ.ά. 2021). Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα προέκυψε όταν χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία CAP για την αδρανοποίηση των βιοφίλμ του *E. coli* και της *Listeria innocua*. Το πλάσμα ατμοσφαιρικού αέρα προκάλεσε βλάβη τόσο στα επιμέρους βακτηριακά κύτταρα του βιοφίλμ όσο και στην δομική του ακεραιότητα (Patange AD κ.ά.,2021). Οι αυξημένοι δραστικοί παράγοντες οξυγόνου και αζώτου στα βακτηριακά κύτταρα που υποβλήθηκαν σε θεραπεία με πλάσμα ατμοσφαιρικού αέρα απέδειξαν τον πρωταρχικό τους ρόλο στη διαδικασία εξουδετέρωσης των βακτηρίων. Η διείσδυση των ειδών πλάσματος σε δείγματα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος του πλάσματος, ο τρόπος εφαρμογής και η σύνθεση του αερίου που συνθέτει το πλάσμα. Οι δραστικοί παράγοντες πλάσματος διεισδύουν στα βακτηριακά βιοφίλμ, φτάνοντας στα κύτταρα μέσω υδάτινων καναλιών.

3.3.3 Ωρίμανση

Έχει πλέον επαρκώς τεκμηριωθεί ότι η επεξεργασία υγρών με ψυχρό πλάσμα μπορεί να δημιουργήσει νιτρώδες για την ωρίμανση επεξεργασμένου κρέατος (Ercan κ.ά. 2016, Kojtari κ.ά. 2013, Oehmigen κ.ά. 2010). Το νερό ενεργοποιημένο με πλάσμα περιέχει νιτρικά και νιτρώδη, και οι λεπτομερείς αντιδράσεις που εμπλέκονται στη δημιουργία νιτρώδους και νιτρικού σε νερό ενεργοποιημένο με πλάσμα εξηγούνται στην ανασκόπηση που δημοσιεύθηκε από τους Lee κ.ά. (2017). Αξιοσημείωτο είναι ότι το νιτρώδες που σχηματίζεται από το πλάσμα υπό αλκαλικές συνθήκες μπορεί να παραμένει σταθερό (Jung κ.ά. 2015b, Lukes κ.ά. 2014). Επομένως, το ψυχρό πλάσμα έχει αναγνωριστεί ως μια πιθανή νέα μέθοδος ωρίμανσης για τα προϊόντα κρέατος επειδή μπορεί να παρέχει παρόμοια χαρακτηριστικά με τα συνθετικά νιτρώδη (Jung κ.ά. 2015b).

Παρόμοια χαρακτηριστικά ποιότητας κρέατος, όπως το χρώμα, η οξείδωση των λιπιδίων και οι αισθητηριακές ιδιότητες, αναφέρθηκαν σε εμβαπτισμένα λουκάνικα και ζαμπόν από χοιρινό φιλέτο όταν ωρίμασαν χρησιμοποιώντας νερό επεξεργασμένο με πλάσμα και νιτρώδες νάτριο. Σημαντικό είναι ότι τα υπολειμματικά περιεχόμενα νιτρώδους των δύο προϊόντων που ωρίμασαν με νερό επεξεργασμένο με πλάσμα ήταν χαμηλότερα από εκείνα που ωρίμασαν με νιτρώδες νάτριο (Jung κ.ά. 2015, Yong κ.ά. 2017b). Επιπλέον, κονσερβοποιημένο αλεσμένο ζαμπόν που παρασκευάστηκε από μείγμα κρέατος επεξεργασμένο με ψυχρό πλάσμα παρουσίασε παρόμοιες ιδιότητες όσον αφορά το χρώμα, την υπολειμματική περιεκτικότητα σε νιτρώδες, την υφή και τις αισθητηριακές ιδιότητες σε σύγκριση με εκείνα που ωρίμασαν με παρόμοια επίπεδα νιτρώδους χρησιμοποιώντας νιτρώδες νάτριο ή σκόνη σέλινου (Lee κ.ά. 2018).



Οι Yong κ.ά. (2018) μελέτησαν τον μηχανισμό του πράσινου αποχρωματισμού της μυσσφαιρίνης που προκαλείται από το ψυχρό πλάσμα και πρότειναν ότι η νιτροζο-μυσσφαιρίνη, η οποία είναι μια κύρια ένωση για το επιθυμητό ροζ χρώμα, μπορεί να παραχθεί στο κρέας μετά από επεξεργασία με πλάσμα. Επιπλέον, οι Kim κ.ά. (2021) ανέφεραν έναν αποτελεσματικό τρόπο ενίσχυσης του επιπέδου νιτρώδους στη σκόνη κρεμμυδιού χρησιμοποιώντας επεξεργασία με πλάσμα, ώστε να χρησιμοποιηθεί ως φυσικό υλικό με πρόσθετη την ικανότητα ωρίμανσης του κρέατος. Ενδιαφέρον είναι ότι φυσικό νιτρώδες έχει παραχθεί από την *Perilla frutescens*, ένα φυτό χωρίς αρχικό περιεχόμενο νιτρικού, μετά από επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα. Επιπλέον, η προκύπτουσα λυοφιλοποιημένη σκόνη μετά από την επεξεργασία με πλάσμα έχει δείξει αυξημένη αντιμικροβιακή δραστηριότητα έναντι των *C. perfringens* και *S. Typhimurium* σε σύγκριση με εκείνη χωρίς επεξεργασία με πλάσμα (Jung κ.ά. 2017a).

3.3.4 Επεξεργασία συσκευασμένων προϊόντων

Η άμεση έκθεση σε ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί σε ήδη συσκευασμένα προϊόντα. Στην περίπτωση αυτή, το υλικό συσκευασίας χρησιμοποιείται ως ένα διηλεκτρικό φράγμα και εξωτερικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή υψηλής τάσης, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό πλάσματος απευθείας μέσα στην κλειστή συσκευασία. Η αποτελεσματικότητα αυτής της διαδικασίας κατά των παθογόνων μικροοργανισμών που μεταδίδονται με τα τρόφιμα και των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των τελικών προϊόντων. Καθώς τα προϊόντα είναι ήδη σφραγισμένα μέσα στη συσκευασία πριν από την απολύμανση με πλάσμα, ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες για περαιτέρω μόλυνση, γεγονός που θεωρείται σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου. Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η απαίτηση το υλικό συσκευασίας να αντέχει την επεξεργασία με πλάσμα χωρίς αλλοίωση, γεγονός που θα μπορούσε δυνητικά να μολύνει τα τρόφιμα που είναι ήδη σφραγισμένα μέσα.

Μέχρι να λάβει η έκθεση τροφίμων και προϊόντων διατροφής σε ψυχρό πλάσμα την απαραίτητη κανονιστική έγκριση, η εφαρμογή του CAP για την αδρανοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών στις εξωτερικές επιφάνειες των υλικών συσκευασίας αποτελεί μια βιώσιμη λύση, υπό την προϋπόθεση ότι μπορεί να αποδειχθεί ότι το υλικό της συσκευασίας δεν διαταράσσεται από το ψυχρό πλάσμα και επομένως ότι το συσκευασμένο προϊόν δεν χρειάζεται να ταξινομηθεί ως «νέο τρόφιμο» σύμφωνα με τον Κανονισμό της ΕΕ 2015/2283.

3.4 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο της αυξανόμενης ανησυχίας για τα παθογόνα που μεταδίδονται μέσω των τροφίμων, η διασφάλιση της ασφάλειας και της ποιότητας του κρέατος και των προϊόντων κρέατος προς τους καταναλωτές αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη βιομηχανία κρέατος. Πρόσφατα, οι μη θερμικές τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων έχουν προσελκύσει την προσοχή σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας τροφίμων, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας κρέατος και πουλερικών. Το ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα είναι μια αναδυόμενη, πράσινη, οικονομικά αποδοτική, μη θερμική τεχνολογία με υψηλή μικροβιοκτόνο αποτελεσματικότητα χωρίς την ανάγκη χρήσης υψηλών θερμοκρασιών, καθιστώντας το μια ελπιδοφόρα εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους συντήρησης κρέατος. Το ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα μπορεί να παραχθεί με χαμηλή κατανάλωση



ενέργειας απλώς χρησιμοποιώντας αέρα ως μέσο για την παραγωγή αντιδραστικών χημικών ειδών. Ένας μεγάλος αριθμός μελετών έδειξε ότι όχι μόνο η σύνθεση του αερίου, αλλά και ο τρόπος παραγωγής του πλάσματος και η χωροχρονική απόσταση από την πηγή του πλάσματος έως τον στόχο καθορίζουν ποια χημικά είδη θα φτάσουν στην επιφάνεια του στόχου, γεγονός που με τη σειρά του επηρεάζει την ικανότητα του ψυχρού πλάσματος να αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς.

Μέρος των προκλήσεων που σχετίζονται με το ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα είναι η παρουσία δραστικών παραγόντων οξυγόνου (ROS), που προκαλεί οξείδωση των λιπιδίων στους ιστούς του κρέατος και παραγωγή λιπαρών οξέων, αλδεϋδων, υδροξυλικών οξέων και κετοξέων, τα οποία στη συνέχεια οδηγούν σε ανεπιθύμητες γεύσεις και οσμές κατά την αποθήκευση. Αυτές οι ενώσεις επηρεάζουν αρνητικά όχι μόνο την αποδοχή των προϊόντων κρέατος από τους καταναλωτές αλλά και τη διάρκεια ζωής τους. Η υψηλή κατανάλωση αερίου αναφέρεται επίσης ως περιορισμός ή μειονέκτημα της τεχνολογίας, ειδικά για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας. Το υψηλό κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος αποτελεί, επίσης, σημαντική πρόκληση.

Μελέτες έχουν δείξει τη δυναμική και την εφαρμογή της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος στην απορρύπανση των λυμάτων. Η απορρύπανση με ψυχρό πλάσμα μπορεί να μειώσει την ποσότητα των ρύπων στα λύματα (Gururani κ.ά. 2021). Συνεπώς, ο συνδυασμός του ψυχρού πλάσματος με άλλες κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας αποτελεί μία βιώσιμη προοπτική για την επεξεργασία των λυμάτων των βιομηχανικών μονάδων επεξεργασίας τροφίμων.

Παρά ταύτα, ο λεπτομερής μηχανισμός του ψυχρού πλάσματος δεν έχει ακόμη πλήρως διευκρινιστεί. Οι διάφοροι μηχανισμοί, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, παρέχουν κατεύθυνση για περαιτέρω μελέτες. Ωστόσο, καθώς οι τομείς παραγωγής και επεξεργασίας τροφίμων προσαρμόζονται συνεχώς στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των καταναλωτών και τους κανονισμούς, αναμένεται μία αποτελεσματικότερη τεχνολογική μετάβαση. Οι μη θερμικές τεχνολογίες με λιγότερο αντίκτυπο στις αισθητηριακές, γευστικές και λειτουργικές ιδιότητες των τροφίμων έχουν μέχρι στιγμής αποδειχθεί ευεργετικές για τη βιομηχανία τροφίμων, με το ψυχρό πλάσμα να αποτελεί μία από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις. Ωστόσο, είναι σημαντικό να κατανοηθεί πλήρως ο μηχανισμός δράσης της επεξεργασίας με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, ο ρόλος των παραγόμενων ελεύθερων ριζών και να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητά του σε ποικιλία μικροβιακών καταστάσεων.

Η βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διαδικασίας σε συνάρτηση με τον τύπο τρόφιμου και το προϊόν θα πρέπει να αποτελεί κύριο επιστημονικό στόχο για την εναρμόνιση των παραμέτρων και την προώθηση της ευκολίας εφαρμογής της. Επίσης, τα δεδομένα σχετικά με τις χημικές υπολειμματικές επιδράσεις και την πιθανή τοξικότητα των διαφόρων αερίων που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία πλάσματος είναι ελλιπή. Οι επιπτώσεις της συνδυασμένης χρήσης του ψυχρού πλάσματος με άλλες τεχνολογίες θα ήταν επίσης ένα ενδιαφέρον πεδίο για μελλοντική έρευνα, καθώς και η αξιολόγηση της χημικής τροποποίησης των αντιμικροβιακών ενώσεων μετά την έκθεση στο πλάσμα.

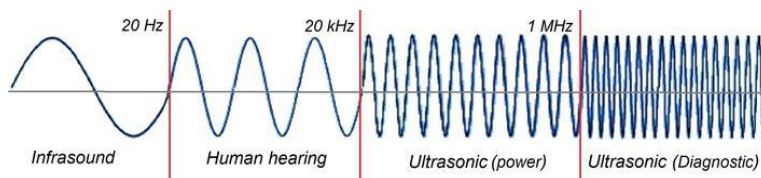


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, Ultrasound Radiation (US)

4.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Οι ήχοι που υπερβαίνουν το εύρος συχνοτήτων το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο, δηλαδή μεγαλύτεροι των 20 kHz, ονομάζονται Υπέρηχοι (Εικ.). Όταν τα ηχητικά κύματα διαδίδονται μέσα από ένα μέσο, παράγουν συμπιεστικές και αραιωτικές κινήσεις στα μόρια του μέσου. Αυτό, κατά συνέπεια, παράγει υψηλή ποσότητα ενέργειας και αύξηση της μεταφοράς μάζας, διαδικασία που βασίζεται στην ανάκλαση και τη διάθλαση των ηχητικών κυμάτων, όπως συμβαίνει και με τα κύματα του φωτός. Οι υπέρηχοι είναι μια αναδυόμενη βιώσιμη τεχνολογία που βελτιώνει την απόδοση πολλών διαδικασιών στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με διαδικασίες που χρησιμοποιούν τη θερμότητα και την πίεση προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητά της. Οι υπέρηχοι που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: χαμηλή και υψηλή ένταση υπερήχων.



Εικόνα 9: 4.1

Οι χαμηλής έντασης ή υψηλής συχνότητας υπέρηχοι αναφέρονται επίσης και ως διαγνωστικοί υπέρηχοι και έχουν συχνότητα μεγαλύτερη των 100 kHz και ένταση κάτω από 1 W/cm². Αυτοί οι υπέρηχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό:

- της δομής του κρέατος (σχήμα, όγκος και διαστάσεις), μέσω της απώλειας ενέργειας κατά την συμπίεση και αποσυμπίεση των ηχητικών κυμάτων και
- της σύνθεσης του κρέατος (φυσικοχημικά χαρακτηριστικά), μέσω της διάθλασής τους με ετερογενή υλικά και της απορρόφησής τους με ομογενή υλικά.

Χρησιμοποιείται ως ένα μη επεμβατικό εργαλείο για την ανάλυση του κρέατος κατά την επεξεργασία και την αποθήκευσή του, χωρίς να λαμβάνεται ο κίνδυνος αλλοίωσης του εκάστοτε προϊόντος.

Οι υπέρηχοι υψηλής έντασης και χαμηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται ως διαταρακτικοί και, συνεπώς, προκαλούν σημαντικές επιδράσεις στις φυσικές, βιοχημικές και μηχανικές ιδιότητες του κρέατος και των προϊόντων αυτού, σε αντίθεση με τους υπέρηχους χαμηλής ισχύος. Η συχνότητά τους κυμαίνεται από 20 έως 100 kHz ενώ η έντασή τους είναι στο εύρος των 10 έως 1000



W/cm². Όταν υπέρηχοι υψηλής έντασης διαπεράσουν ένα υγρό μέσο, σχηματίζονται, μεγαλώνουν και αιφνίδια καταρρέουν πολλές φυσαλίδες ατμού, απελευθερώνοντας υψηλή ποσότητα ενέργειας. Αυτό συμβαίνει όταν, κατά τη διάρκεια της αραιώσης (αποσυμπίεσης) της υπερήχου, η πίεση πέφτει κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση του υγρού. Ο ρυθμός της ταχύτητας των υπερήχων εξαρτάται από τις ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου μέσου. Η ταχύτητα εξάπλωσης του ήχου στα στερεά υλικά είναι υψηλότερη από την ταχύτητα εξάπλωσης του ήχου στα υγρά και μεγαλύτερη στα υγρά από ότι στα αέρια.

Οι υπέρηχοι έχουν ευρεία εφαρμογή σε ομογενοποιητικές διαδικασίες, την αφαίρεση αφρού, τον έλεγχο των μικροδομών, την τροποποίηση των υφιστάμενων χαρακτηριστικών σε λιπαρά προϊόντα, την υπερηχοκρυσταλλοποίηση και τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνικών τροφίμων. Επίσης, χρησιμοποιείται σε διάφορες λειτουργίες επεξεργασίας όπως η κατάψυξη, το στέγνωμα, η μαλάκωση, η απόψυξη κ.λπ.

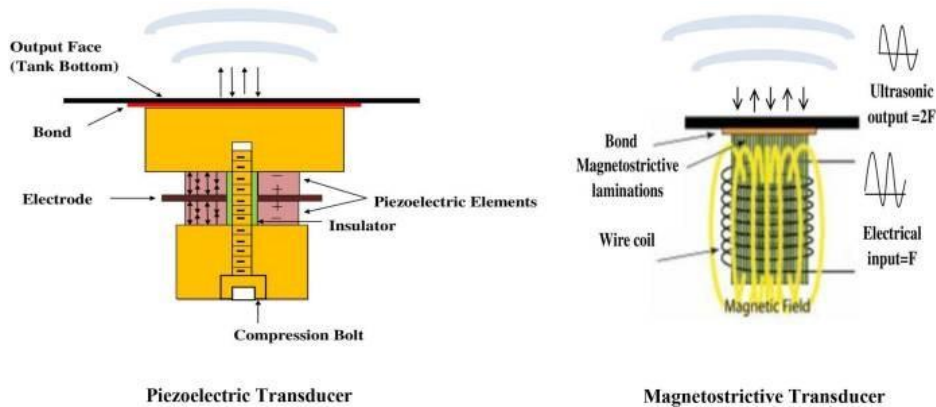
4.2 Εξοπλισμός

Ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται για τη χρήση υπερήχων είναι ένας μετατροπέας, μία γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας και συσκευές εκπομπής ήχου.

4.2.1 Μετατροπέας υπερήχων

Ο μετατροπέας είναι το πιο σημαντικό μέρος των συστημάτων υπερήχων. Ρόλος του είναι να μετατρέπει την μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική ενέργεια σε υπερηχητικές συχνότητες, με ελέγξιμη ένταση, μέσω μηχανικών δονήσεων. Υπάρχουν δύο τύποι μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στην δημιουργία υπερήχων, ο πιεζοηλεκτρικός και ο μαγνητοπεριοριστικός. Ο πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας μετατρέπει μηχανική ενέργεια (όπως πίεση ή δόνηση) σε ηλεκτρική ενέργεια, και αντίστροφα. Όταν εφαρμοστεί πίεση ή δύναμη σε ορισμένα υλικά, όπως σε κρυστάλλους χαλαζία ή σε ορισμένα κεραμικά, αυτά δονούνται πολύ γρήγορα και παράγουν ένα μικρό ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνειά τους, το οποίο στη συνέχεια δημιουργεί τους υπέρηχους (Εικ.2). Ο μαγνητοπεριοριστικός μετατροπέας, χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια που του παρέχεται δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω του, το οποίο, καθώς εναλλάσσεται διαδοχικά, κάνει τον μετατροπέα να αλλάζει συνεχώς μέγεθος. Αυτή η αλλαγή μεγέθους προκαλεί πιέσεις στο υλικό του μετατροπέα οι οποίες στη συνέχεια παράγουν τους υπέρηχους (Εικ.3).





Εικόνα 10: 4.2

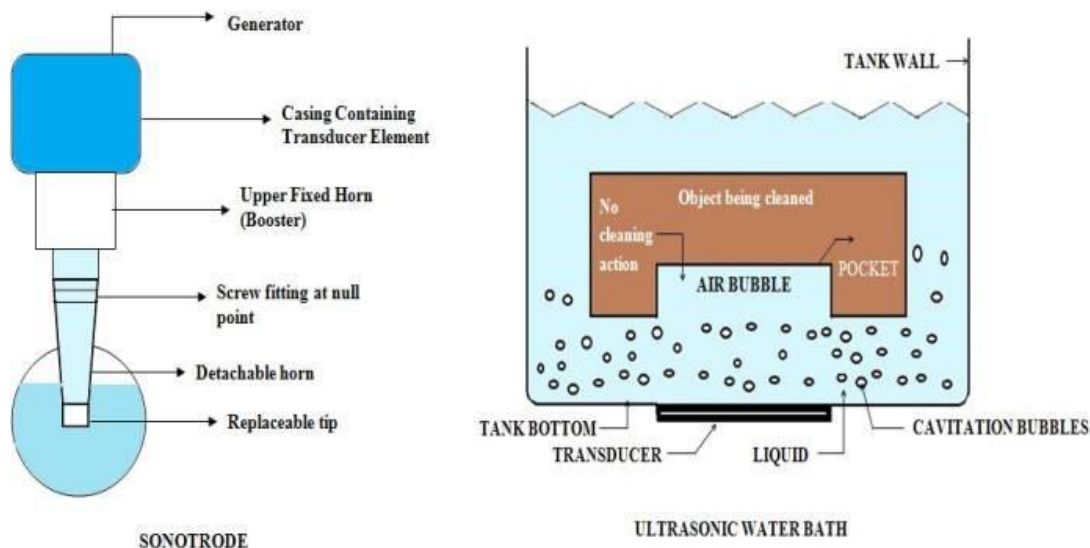
4.2.2 Ηλεκτρική γεννήτρια

Οι ηλεκτρικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στα συστήματα υπερήχων την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να κινήσουν τον μετατροπέα. Γενικά, η ηλεκτρική γεννήτρια παράγει την απαιτούμενη ισχύ ενέργειας για το σύστημα υπερήχων και επιτρέπει τη ρύθμιση της ισχύος μόνο έμμεσα μέσω των ρυθμίσεων ρεύματος (I) και τάσης (V). Το ρεύμα αντιπροσωπεύει το ηλεκτρικό φορτίο που διασχίζει μια περιοχή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μετριέται σε Αμπέρ, η τάση αντιπροσωπεύει την αποθηκευμένη ενέργεια στα ηλεκτρόνια και μετριέται σε Βολτ, και η ηλεκτρική ισχύς είναι το αποτέλεσμα του ρεύματος και της τάσης.

4.2.3 Εκπομπέας

Η λειτουργία του εκπομπέα (αντιδραστήρα) είναι να κατευθύνει και να ενισχύει τα κύματα υπερήχου που παράγονται από τον μετατροπέα στο επεξεργαζόμενο μέσο. Οι κύριοι τύποι εκπομπέων χρησιμοποιούν είτε ηχοδιόδους (sonotrode) είτε θαλάμους εμβύθισης σε νερό (ultrasonic water bath) κατασκευασμένους από ανοξείδωτο χάλυβα (Εικ.)





Εικόνα 11: 4.3

Η ηχητική ενέργεια που παράγεται από τους μετατροπείς μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στα προϊόντα που υποβάλλονται σε επεξεργασία ή ανάλυση για τη σύνθεση ή τη δομή τους. Οι ηχοδίοδοι αποτελούν εργαλεία συγκόλλησης, και έτσι στην περίπτωση της επεξεργασίας τροφίμων χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της κοπής των προϊόντων. Η κοπή μέσω των υπερήχων οδηγεί σε τέλεια τεμαχισμένα προϊόντα, ελαχιστοποιεί τις απώλειες και αυξάνει την παραγωγικότητα.

Η εμβύθιση σε νερό έχει γίνει ευρέως αποδεκτή ως μέθοδος καθαρισμού και απολύμανσης στις λειτουργίες επεξεργασίας τροφίμων. Τα υπερηχητικά κύματα που παράγονται από τον εξοπλισμό στο καθαριστικό υγρό καθιστούν τα τρόφιμα ασφαλή για κατανάλωση και συνήθως χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες αφαίρεσης λιπαρών. Το χαμηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα μετατρέπεται σε υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα μέσω του πιεζοηλεκτρικού μετατροπέα, ο οποίος είναι είτε συνδεδεμένος στον πυθμένα του δοχείου επεξεργασίας είτε βυθισμένος στο υγρό. Ο μετατροπέας παράγει υπερηχητικά κύματα υψηλής έντασης στο διάλυμα, δημιουργώντας διακύμανση στην πίεση του υγρού, και κατά συνέπεια μικρομηχανικά πλήγματα με σχηματισμό και διάσπαση εκατομμυρίων μικροσκοπικών κοιλοτήτων αέρα ή φυσαλίδων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σπηλαιώση (cavitation) και προκαλεί φυσικές μεταβολές στο περιβάλλον υπόστρωμα των βυθιζόμενων τροφίμων. Διασπά μικροοργανισμούς μέσω της εκλέπτυνσης του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων.

4.3 Εφαρμογή



Στις βασικές μονάδες παραγωγής της βιομηχανίας του κρέατος, η χρήση των υπερήχων εφαρμόζεται στις εξής διαδικασίες: φιλτράρισμα, ψύξη, απόψυξη, αλιπάσωση, ξήρανση, τεμαχισμός, αποστείρωση, εξαγωγή συστατικών και ενυδάτωση.

4.3.1 Φιλτράρισμα

Το φιλτράρισμα πραγματοποιείται πολλά χρόνια στην βιομηχανία τροφίμων για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό των στερεών από τα υγρά τους αλλά και για την παραγωγή υγρών χωρίς στερεά. Η συγκέντρωση των υπολειμμάτων, όμως, στην επιφάνεια φίλτραρίσματος αποτελεί μείζον πρόβλημα, το οποίο προκαλεί μείωση της αποδοτικότητας της διαδικασίας αυτής. Ωστόσο, οι υπέρηχοι είναι αποτελεσματικοί ενάντια σε αυτό το ζήτημα. Με την εφαρμογή των υπερήχων κατά τη διαδικασία του φιλτραρίσματος, η στρώση των υπολειμμάτων που συσσωρεύονται στην επιφάνεια της μεμβράνης διαταράσσεται και η διαπερατότητα της μεμβράνης παραμένει ανεπηρέαστη. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ροής. Το φιλτράρισμα μέσω υπερήχων έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και για τη βελτίωση του φιλτραρίσματος των βιομηχανικών λυμάτων που συνήθως αποτελεί μία σκληρή διαδικασία.

Οι υπέρηχοι, μέσω της συνεχούς σπηλαίωσης στην επιφάνεια των φίλτρων, επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής των φίλτρων, αποφράζοντας συνεχώς τις μεμβράνες, και οδηγούν σε ασφαλέστερα και καλύτερης ποιότητας αποτελέσματα. Ωστόσο, η ανάπτυξη σε αυτό τον τομέα είναι περιορισμένη λόγω της χαμηλής ισχύος των αντιδραστήρων, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των υπερήχων όταν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Για το λόγο αυτό, οι εταιρίες παραγωγής συστημάτων φίλτραρίσματος συνδύασαν τους υπέρηχους με τα υπάρχοντα συστήματα δόνησης.

Το φιλτράρισμα χρησιμοποιείται σε διάφορες πτυχές της επεξεργασίας κρέατος, αν και μπορεί να μην είναι τόσο εμφανής όσο σε άλλους κλάδους βιομηχανίας. Κατά την προετοιμασία ζυμών, συχνά πραγματοποιείται φιλτράρισμα για την αφαίρεση ακαθαρσιών, στερεών σωματιδίων και λίπους, προκειμένου να παραχθεί ένα καθαρό και οπτικά ελκυστικό τελικό προϊόν. Επίσης, φιλτράρονται οι μαρινάδες που χρησιμοποιούνται για να δώσουν γεύση και να μαλακώσουν το κρέας αλλά και τα εκχυλίσματα και τα αρώματα που προέρχονται από κρέας ή προϊόντα κρέατος προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα ομοιόμορφο, καθαρό και συνεκτικό μείγμα. Τέλος, οι μονάδες επεξεργασίας κρέατος συχνά παράγουν λύματα που περιέχουν οργανική ύλη, λίπη και άλλους ρύπους, καθιστώντας το φιλτράρισμα απαραίτητη διαδικασία.

4.3.2 Ψύξη

Με τη χρήση των υπερήχων, η ψύξη του κρέατος και των προϊόντων του πραγματοποιείται πιο γρήγορα και ομοιόμορφα. Η πυρήνωση, δηλαδή η διαδικασία μέσω της οποίας μικρά σωματίδια δημιουργούνται και λειτουργούν ως αρχικά σημεία για την ανάπτυξη μεγαλύτερων κρυστάλλων κατά την ψύξη, αποτελείται από δύο κύριες φάσεις: πρωτογενή και δευτερογενή. Η έναρξη ή πρωτογενής πυρήνωση συμβαίνει όταν το επεξεργαζόμενο προϊόν φτάνει τη θερμοκρασία πυρήνωσης, η οποία είναι μικρότερη από την απαιτούμενη θερμοκρασία ψύξης. Κατά τη δευτερογενή φάση, οι πρωτογενείς κρύσταλλοι αναπτύσσονται και δημιουργούν δενδρίτες ώσπου να επιτευχθεί η ψύξη. Οι υπέρηχοι, και πάλι μέσω της σπηλαίωσης, δημιουργούν περισσότερα σημεία για πυρήνωση και μέσω της βίαιης συντριβής των φυσαλίδων διακόπτεται η ανάπτυξη των προανα-



φερθέντων δεντροειδών κρυσταλλικών δομών. Έτσι, δημιουργούνται λεπτότεροι παγοκρύσταλλοι, μειώνοντας τον χρόνο μεταξύ της έναρξης της κρυσταλλοποίησης και του σχηματισμού πάγου, κατά τη διάρκεια της ψύξης, με αποτέλεσμα τη μικρότερη αλλοίωση της κυτταρικής δομής του κρέατος.

4.3.3 Απόψυξη

Για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής των προϊόντων, η ψύξη αποτελεί μια κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο, η επιτυχία της οποίας εξαρτάται από τις συνθήκες απόψυξης. Κατά τη διάρκεια της απόψυξης, τα τρόφιμα υπόκεινται σε μικροβιακές, χημικές και φυσικές αλλαγές και είναι πολύ σημαντικό, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι αλλοιώσεις αυτών, να πραγματοποιείται εξαιρετικά αργά. Οι υπέρηχοι όμως, εάν εφαρμοστούν αποτελεσματικά, και συνδυαστούν με εισαγωγή νερού, επιταχύνουν τον ρυθμό απόψυξης, αποφεύγοντας την θέρμανση της επιφάνειας των τροφίμων, την ανεπιθύμητη αφυδάτωσή τους, διατηρούν τα φυσικά χαρακτηριστικά και αναστέλουν τη λιπιδική οξείδωση.

4.3.4 Αλιπάστωση

Η αλιπάστωση αποτελεί μία κοινή μέθοδο για την επεξεργασία και διατήρηση των τροφίμων, ιδιαίτερα στη βιομηχανία του κρέατος. Με τη χρήση των υπερήχων η χαμηλή αποδοτικότητα της παραδοσιακής αλιπάστωσης μπορεί να βελτιωθεί. Μειώνεται η απαιτούμενη διάρκεια αλιπάστωσης και η περιεκτικότητα σε αλάτι στα τελικά προϊόντα γίνεται ομοιόμορφη. Απαιτούνται, επίσης, διαλύματα μικρότερης συγκέντρωσης σε χλωριούχο νάτριο για την επίτευξη των ίδιων αποτελεσμάτων αλιπάστωσης, διευκολύνοντας στη συνέχεια και την διαδικασία του ξαλμυρίσματος, εάν αυτή είναι επιθυμητή. Τέλος, ελαττώνονται όχι μόνο οι δομικές βλάβες σε κυτταρικό επίπεδο, αλλά και οι αλλαγές στο χρώμα, ειδικά στο ωμό κρέας, αποφεύγεται η δημιουργία κρούστας και το τελικό αποτέλεσμα είναι πιο τρυφερό και λιγότερο αφυδατωμένο.

4.3.5 Αποξήρανση

Η εφαρμογή των υπερήχων στη διαδικασία της αποξήρανσης εφαρμόζεται σε ποικιλία τροφίμων συμπεριλαμβανομένου και του κρέατος και των προϊόντων του. Προκαλεί την ενδοκυττάρια αλλά και εκτός των κυττάρων σπηλαιώση του νερού, δημιουργώντας νέα μικροκανάλια για την αποτελεσματικότερη απομάκρυνση του νερού από το επεξεργαζόμενο τρόφιμο. Ο ρυθμός αποξήρανσης επιταχύνεται, η ποιότητα του προϊόντος διατηρείται και οι θερμοκρασίες που απαιτούνται, σε σχέση με τις μεθόδους συμβατικής αποξήρανσης, είναι χαμηλότερες. Έτσι, μειώνεται η έκθεση του κρέατος σε παρατεταμένη θερμότητα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητές αλλαγές, όπως υπερψήσιμο ή απώλεια γεύσης και θρεπτικών στοιχείων. Παρόλο που ο εξοπλισμός των υπερήχων μπορεί αρχικά να απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης του κρέατος μειώνεται λόγω του μικρότερου απαιτούμενου χρόνου αποξήρανσης. Αυτό συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να μειώσει τα λειτουργικά κόστη στο μακροπρόθεσμο.

4.3.6 Τεμαχισμός

Η χρήση των υπερήχων βελτιώνει και τη διαδικασία της κοπής σε μικρότερα κομμάτια ή φέτες του κρέατος και των προϊόντων του. Η πηγή υπερήχων (sonotrode) συνδέεται με τη λεπίδα τεμαχισμού μέσω ενός άξονα και είναι διαθέσιμη σε διάφορα σχήματα. Η κοπή με υπερήχους απαιτεί χαμηλή



ενέργεια, είναι ακριβέστερη ως προς τις τελικές διαστάσεις του τεμαχιζόμενου προϊόντος και ελαχιστοποιεί τις απώλειες, ειδικότερα κατά την επεξεργασία ετερογενών προϊόντων όπως το κρέας. Οι δονήσεις που προκαλούν οι υπέρηχοι εμποδίζουν τα υπολείμματα από την κοπή να κολλούν στις λεπίδες κι έτσι εμποδίζεται η ανάπτυξη μικροοργανισμών στον εξοπλισμό και η μεταφορά τους στο τελικό προϊόν. Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η συνολική υγιεινή της διαδικασίας και μειώνεται το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους τεμαχισμού.

4.3.7 Αποστείρωση / παστερίωση

Η θερμική αποστείρωση και παστερίωση είναι οι παραδοσιακές τεχνικές για την αδρανοποίηση ενζύμων και μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Υπάρχει σημαντική απώλεια θρεπτικών ουσιών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων γεύσεων και υποβάθμιση των λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων μέσω της θερμικής αυτής επεξεργασίας. Μέσω του φαινομένου της σπηλαιώσης, ο υπέρηχος βοηθάει να εξαλειφθούν οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις. Η εξόντωση των μικροβίων οφείλεται στην λέπτυνση της κυτταρικής μεμβράνης, την παραγωγή ελεύθερων ριζών και την τοπική θέρμανση. Πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι ο υπέρηχος σε συνδυασμό με τη θερμική επεξεργασία μπορεί να εξουδετερώσει τα σπόρια του βακτήριου *Clostridium perfringens* που πιθανό να υπάρχει στο βοδινό κρέας. Ακόμα, η αποστείρωση με τη χρήση υπέρηχων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της τιμής D95. Επιπλέον, επιταχύνει το ρυθμό αποστείρωσης, μειώνει την ένταση και τον χρόνο που απαιτείται για την περαιτέρω θερμική επεξεργασία και τη ζημιά που προκαλείται από αυτή και ελαχιστοποιεί την απώλεια γεύσης. Τέλος, εξοικονομεί αποτελεσματικά ενέργεια προς όφελος των μονάδων επεξεργασίας του κρέατος (Niakousari M., Gahrui H.H., Razmjooei M., Roohinejad S., Greiner R.(2018)).

4.3.8 Εξαγωγή συστατικών

Η αφαίρεση διαφόρων συστατικών από το ακατέργαστο κρέας ή τα παραπροϊόντα κρέατος για την απόκτηση συγκεκριμένων προϊόντων είναι μία συνήθης διαδικασία. Μέσω της εξαγωγής αυτής, επιτυγχάνεται η απόσταξη λιπαρών και ελαίων από τους ζωικούς ιστούς. Οι πρωτεΐνες είναι, επίσης, συστατικό το οποίο είναι απαραίτητο να διαχωριστεί από το κρέας προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως πρόσθετο σε πληθώρα προϊόντων. Ακόμα, πραγματοποιείται η εξαγωγή της ζελατίνης, μία πρωτεΐνη που προέρχεται από ιστούς ζώων πλούσιους σε κολλαγόνο, όπως το δέρμα, τα οστά και οι συνδετικοί ιστοί. Χρησιμοποιείται ευρέως σε τρόφιμα, φαρμακευτικά και βιομηχανικά προϊόντα για τις πυκνωτικές και σταθεροποιητικές της ιδιότητες. Τέλος, από το ακατέργαστο κρέας μπορούμε να αποκτήσουμε εκχυλίσματα αρωμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικά ενισχυτικά γεύσης σε διάφορα τρόφιμα.

Η εξαγωγή των παραπάνω ελαίων και βιοενεργών ενώσεων και μορίων με υπέρηχους είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση που αντιμετωπίζει τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων, οι οποίες απαιτούν υψηλή θερμότητα, μεγάλες ποσότητες διαλύτη και εργασίας. Μέσω της σπηλαιώσης, οι υπέρηχοι βελτιώνουν τη μετατροπή της μάζας των συστατικών προς εξαγωγή από τη στερεή σε υγρή κατάσταση. Επιπροσθέτως, δημιουργούν μικροκανάλια μέσω των οποίων



επιταχύνεται η μεταφορά των συστατικών αυτών. Έτσι, επιτυγχάνεται η εν λόγω εξαγωγή σε λιγότερο χρόνο, ενέργεια, διαλύτη και χαμηλότερες θερμοκρασίες, χαρακτηριστικά κρίσιμα κατά την επεξεργασία του κρέατος, ένα προϊόν εξαιρετικά ευαίσθητο στη θερμοκρασία.

4.3.9 Ενυδάτωση

Η ενυδάτωση κατά την επεξεργασία του κρέατος είναι μια σημαντική διαδικασία που χρησιμοποιείται για να επαναφέρει την υγρασία που έχει χαθεί κατά τη διάρκεια της ξήρανσης του κρέατος. Το κρέας είτε βυθίζεται σε νερό είτε εκθέτεται σε ατμό, με σκοπό να απορροφήσει υγρασία και να επανακτήσει την υφή, τη γεύση και τη ζουμερότητά του. Η ενυδάτωση του κρέατος μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων υγρών που περιέχουν αλάτι, βότανα ή άλλες πρόσθετες γεύσεις και αρωματικές ουσίες, προκειμένου να βελτιωθεί και η ποιότητα του κρέατος ή να ενισχυθεί η γεύση του. Αποτελείται από τρεις διαδοχικές διαδικασίες: το υγρό απορροφάται, το προϊόν διογκώνεται και τα διαλυτά στερεά απομακρύνονται. Οποιοσδήποτε αλλαγές στις ιδιότητες του επανασυσταθέντος προϊόντος είναι αποτέλεσμα μεταβολής στη σύνθεση και τη δομή του.

Η ικανότητα απορρόφησης νερού από το αφυδατωμένο προϊόν εξαρτάται κυρίως από τη διανομή πόρων στη μικροδομή του προϊόντος. Ο ρυθμός απορρόφησης είναι υψηλότερος για τα προϊόντα που βυθίστηκαν σε υγρό που συνοδεύεται από υπερηχητική επεξεργασία σε σχέση με την απλή βύθιση σε υγρό. Για ακόμη μία φορά, το φαινόμενο της σπηλαίωσης δημιουργεί στα προϊόντα επιπλέον πόρους και αυξάνει την εσωτερική πίεση, επιτυγχάνοντας αποτελεσματική ενυδάτωση σε λιγότερο χρόνο και χαμηλότερες θερμοκρασίες, ελαχιστοποιώντας τις αλλοιώσεις των υπό επεξεργασία τροφίμων.

4.4 Συμπεράσματα

Η χρήση των υπερήχων είναι μια περιβαλλοντικά φιλική, πράσινη τεχνολογία που έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη σε διάφορες διαδικασίες στην τροφική βιομηχανία. Αντικαθιστά αρκετές τεχνολογίες με βάση τη θερμότητα, που είναι επιβλαβείς για την ποιότητα του κρέατος. Συμβάλλει αποτελεσματικά στην επεξεργασία του κρέατος σε χαμηλές θερμοκρασίες, στη μικροβιολογική αδρανοποίηση και στην αποστείρωση του εξοπλισμού. Οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής και υψηλότερης ποιότητας, βοηθώντας στη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών τους. Οι υπέρηχοι επιταχύνουν τις διαδικασίες φιλτραρίσματος, αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του φίλτρου, επιταχύνουν την ψύξη, οδηγούν σε μικρότερο μέγεθος παγοκρυστάλλων, ταχύτερη ξήρανση αλλά και απόψυξη, και ελαχιστοποιούν τη σπατάλη νερού. Αποτελούν μια γρήγορη τεχνική επεξεργασίας, μειώνοντας το κόστος παραγωγής και αυξάνοντας την αποδοτικότητα των διαδικασιών και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Ωστόσο, όταν οι υπέρηχοι εφαρμόζονται σε υψηλές εντάσεις οδηγούν σε αυξημένες θερμοκρασίες, οι οποίες έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του κρέατος και των προϊόντων του. Επίσης, η αποτελεσματικότητας της χρήσης των υπερήχων κατά της μικροβιακής και ενζυμικής αδρανοποίησης δεν έχει πλήρως επιτευχθεί. Οι ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται μέσω του φαινομένου της σπηλαίωσης είναι πιθανό να οδηγήσουν σε οξειδωση λιπιδίων και πρωτεϊνών,



ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών και γεύσεων και μείωση της συνολικής φαινολικής περιεκτικότητας λόγω μείωσης της ασκορβικής οξύτητας. Ο συνδυασμός των υπερήχων με θερμοκρασία και πίεση μπορεί, επίσης, να οδηγήσει στη δημιουργία ελεύθερων ριζών που πιθανό να βλάψουν την πρωτεϊνική δομή και να επηρεάσουν αρνητικά την υφή του κρέατος. Έτσι, η ισχύς και ο συνδυασμός της υπερήχου με άλλες μεθόδους επεξεργασίας πρέπει να μελετηθούν εντατικά και να βελτιστοποιηθούν πριν από την εφαρμογή τους.

Μέσα στα χρόνια, αρκετές ερευνητικές μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των υπερήχων στην ενίσχυση και βελτίωση διαφόρων συμβατικών τεχνικών επεξεργασίας στη βιομηχανία τροφίμων. Ωστόσο, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω έρευνας για την εφαρμογή της σε βιομηχανικό επίπεδο προκειμένου να αναλυθεί ο αντίκτυπός της στη μαζική επεξεργασία τροφίμων. Θα πρέπει, ακόμα, να διερευνηθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της υπερήχου στους ανθρώπους που εργάζονται στις μονάδες επεξεργασίας. Τέλος, απαιτείται τεράστια δαπάνη ενέργειας για την βιομηχανοποίηση των υπερήχων, καθιστώντας την περαιτέρω έρευνα απαραίτητη, προτού συνηγορήσουμε στην αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων σε βιομηχανικό επίπεδο.

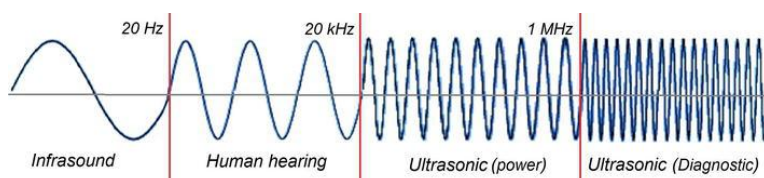


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Υπέρηχοι υψηλής ακτινοβολίας, Ultrasound Radiation (US)

5.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Οι ήχοι που υπερβαίνουν το εύρος συχνοτήτων το οποίο γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο, δηλαδή μεγαλύτεροι των 20 kHz, ονομάζονται Υπέρηχοι (Εικ. 1). Όταν τα ηχητικά κύματα διαδίδονται μέσα από ένα μέσο, παράγουν συμπιεστικές και αραιωτικές κινήσεις στα μόρια του μέσου. Αυτό, κατά συνέπεια, παράγει υψηλή ποσότητα ενέργειας και αύξηση της μεταφοράς μάζας, διαδικασία που βασίζεται στην ανάκλαση και τη διάθλαση των ηχητικών κυμάτων, όπως συμβαίνει και με τα κύματα του φωτός. Οι υπερήχοι είναι μια αναδυόμενη βιώσιμη τεχνολογία που βελτιώνει την απόδοση πολλών διαδικασιών στη βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε συνδυασμό με διαδικασίες που χρησιμοποιούν τη θερμότητα και την πίεση προκειμένου να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητά της. Οι υπερήχοι που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία τροφίμων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: χαμηλή και υψηλή ένταση υπερήχων.



Εικόνα 12: 5.1

Οι χαμηλής έντασης ή υψηλής συχνότητας υπερήχοι αναφέρονται επίσης και ως διαγνωστικοί υπερήχοι και έχουν συχνότητα μεγαλύτερη των 100 kHz και ένταση κάτω από 1 W/cm². Αυτοί οι υπερήχοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό:

- της δομής του κρέατος (σχήμα, όγκος και διαστάσεις), μέσω της απώλειας ενέργειας κατά την συμπίεση και αποσυμπίεση των ηχητικών κυμάτων και
- της σύνθεσης του κρέατος (φυσικοχημικά χαρακτηριστικά), μέσω της διάθλασής τους με ετερογενή υλικά και της απορρόφησής τους με ομογενή υλικά.

Χρησιμοποιείται ως ένα μη επεμβατικό εργαλείο για την ανάλυση του κρέατος κατά την επεξεργασία και την αποθήκευσή του, χωρίς να λαμβάνεται ο κίνδυνος αλλοίωσης του εκάστοτε προϊόντος.

Οι υπερήχοι υψηλής έντασης και χαμηλής συχνότητας χαρακτηρίζονται ως διαταρακτικοί και, συνεπώς, προκαλούν σημαντικές επιδράσεις στις φυσικές, βιοχημικές και μηχανικές ιδιότητες του κρέατος και των προϊόντων αυτού, σε αντίθεση με τους υπερήχους χαμηλής ισχύος. Η συχνότητά τους κυμαίνεται από 20 έως 100 kHz ενώ η έντασή τους είναι στο εύρος των 10 έως 1000



W/cm². Όταν υπέρηχοι υψηλής έντασης διαπεράσουν ένα υγρό μέσο, σχηματίζονται, μεγαλώνουν και αιφνίδια καταρρέουν πολλές φυσαλίδες ατμού, απελευθερώνοντας υψηλή ποσότητα ενέργειας. Αυτό συμβαίνει όταν, κατά τη διάρκεια της αραιώσης (αποσυμπίεσης) της υπερήχου, η πίεση πέφτει κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση του υγρού. Ο ρυθμός της ταχύτητας των υπερήχων εξαρτάται από τις ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου μέσου. Η ταχύτητα εξάπλωσης του ήχου στα στερεά υλικά είναι υψηλότερη από την ταχύτητα εξάπλωσης του ήχου στα υγρά και μεγαλύτερη στα υγρά από ότι στα αέρια.

Οι υπέρηχοι έχουν ευρεία εφαρμογή σε ομογενοποιητικές διαδικασίες, την αφαίρεση αφρού, τον έλεγχο των μικροδομών, την τροποποίηση των υφιστάμενων χαρακτηριστικών σε λιπαρά προϊόντα, την υπερηχοκρυσταλλοποίηση και τις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνικών τροφίμων. Επίσης, χρησιμοποιείται σε διάφορες λειτουργίες επεξεργασίας όπως η κατάψυξη, το στέγνωμα, η μαλάκωση, η απόψυξη κ.λπ.

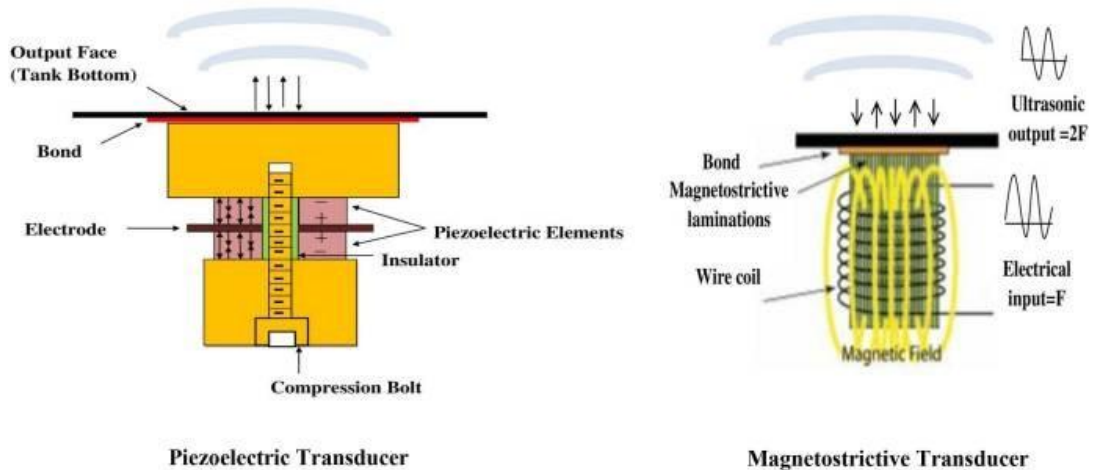
5.2 Εξοπλισμός

Ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται για τη χρήση υπερήχων είναι ένας μετατροπέας, μία γεννήτρια ηλεκτρικής ενέργειας και συσκευές εκπομπής ήχου.

5.2.1 Μετατροπέας υπερήχων

Ο μετατροπέας είναι το πιο σημαντικό μέρος των συστημάτων υπερήχων. Ρόλος του είναι να μετατρέπει την μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια σε ηχητική ενέργεια σε υπερηχητικές συχνότητες, με ελέγξιμη ένταση, μέσω μηχανικών δονήσεων. Υπάρχουν δύο τύποι μετατροπέων που χρησιμοποιούνται στην δημιουργία υπερήχων, ο πιεζοηλεκτρικός και ο μαγνητοπεριοριστικός. Ο πιεζοηλεκτρικός μετατροπέας μετατρέπει μηχανική ενέργεια (όπως πίεση ή δόνηση) σε ηλεκτρική ενέργεια, και αντίστροφα. Όταν εφαρμοστεί πίεση ή δύναμη σε ορισμένα υλικά, όπως σε κρυστάλλους χαλαζία ή σε ορισμένα κεραμικά, αυτά δονούνται πολύ γρήγορα και παράγουν ένα μικρό ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνειά τους, το οποίο στη συνέχεια δημιουργεί τους υπέρηχους (Εικ.2). Ο μαγνητοπεριοριστικός μετατροπέας, χρησιμοποιώντας την ηλεκτρική ενέργεια που του παρέχεται δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο γύρω του, το οποίο, καθώς εναλλάσσεται διαδοχικά, κάνει τον μετατροπέα να αλλάζει συνεχώς μέγεθος. Αυτή η αλλαγή μεγέθους προκαλεί πιέσεις στο υλικό του μετατροπέα οι οποίες στη συνέχεια παράγουν τους υπέρηχους (Εικ.3).





Εικόνα 13: 5.2

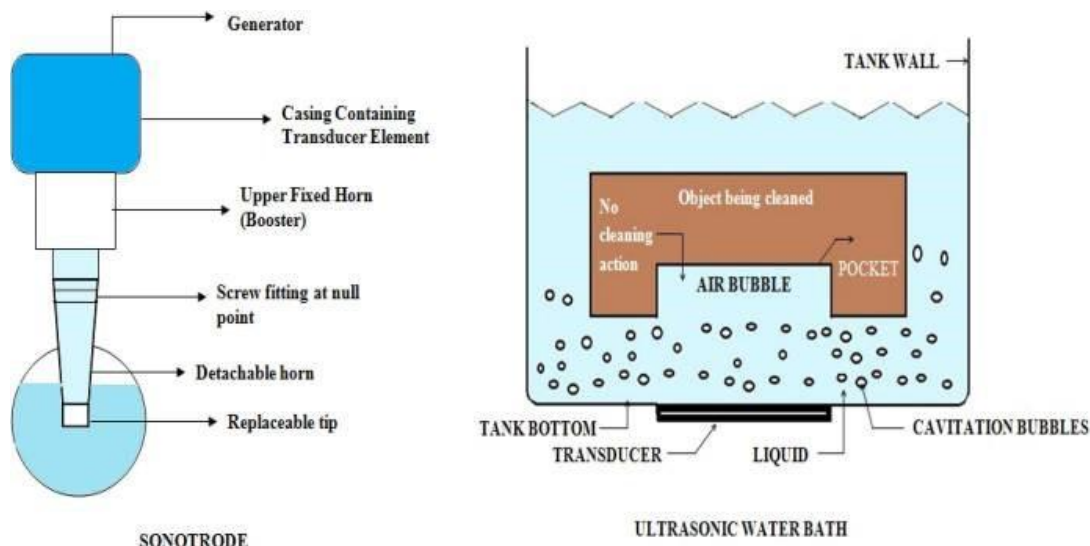
5.2.2 Ηλεκτρική γεννήτρια

Οι ηλεκτρικές γεννήτριες χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στα συστήματα υπερήχων την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για να κινήσουν τον μετατροπέα. Γενικά, η ηλεκτρική γεννήτρια παράγει την απαιτούμενη ισχύ ενέργειας για το σύστημα υπερήχων και επιτρέπει τη ρύθμιση της ισχύος μόνο έμμεσα μέσω των ρυθμίσεων ρεύματος (I) και τάσης (V). Το ρεύμα αντιπροσωπεύει το ηλεκτρικό φορτίο που διασχίζει μια περιοχή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μετριέται σε Αμπέρ, η τάση αντιπροσωπεύει την αποθηκευμένη ενέργεια στα ηλεκτρόνια και μετριέται σε Βολτ, και η ηλεκτρική ισχύς είναι το αποτέλεσμα του ρεύματος και της τάσης.

5.2.3 Εκπομπέας

Η λειτουργία του εκπομπέα (αντιδραστήρα) είναι να κατευθύνει και να ενισχύει τα κύματα υπερήχου που παράγονται από τον μετατροπέα στο επεξεργαζόμενο μέσο. Οι κύριοι τύποι εκπομπέων χρησιμοποιούν είτε ηχοδιόδους (sonotrode) είτε θαλάμους εμβύθισης σε νερό (ultrasonic water bath) κατασκευασμένους από ανοξείδωτο χάλυβα (Εικ.)





Εικόνα 14: 5.3

Η ηχητική ενέργεια που παράγεται από τους μετατροπείς μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας στα προϊόντα που υποβάλλονται σε επεξεργασία ή ανάλυση για τη σύνθεση ή τη δομή τους. Οι ηχοδίοδοι αποτελούν εργαλεία συγκόλλησης, και έτσι στην περίπτωση της επεξεργασίας τροφίμων χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της κοπής των προϊόντων. Η κοπή μέσω των υπερήχων οδηγεί σε τέλεια τεμαχισμένα προϊόντα, ελαχιστοποιεί τις απώλειες και αυξάνει την παραγωγικότητα.

Η εμβύθιση σε νερό έχει γίνει ευρέως αποδεκτή ως μέθοδος καθαρισμού και απολύμανσης στις λειτουργίες επεξεργασίας τροφίμων. Τα υπερηχητικά κύματα που παράγονται από τον εξοπλισμό στο καθαριστικό υγρό καθιστούν τα τρόφιμα ασφαλή για κατανάλωση και συνήθως χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες αφαίρεσης λιπαρών. Το χαμηλής συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα μετατρέπεται σε υψηλής συχνότητας ηχητικά κύματα μέσω του πιεζοηλεκτρικού μετατροπέα, ο οποίος είναι είτε συνδεδεμένος στον πυθμένα του δοχείου επεξεργασίας είτε βυθισμένος στο υγρό. Ο μετατροπέας παράγει υπερηχητικά κύματα υψηλής έντασης στο διάλυμα, δημιουργώντας διακύμανση στην πίεση του υγρού, και κατά συνέπεια μικρομηχανικά πλήγματα με σχηματισμό και διάσπαση εκατομμυρίων μικροσκοπικών κοιλοτήτων αέρα ή φυσαλίδων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται σπηλαίωση (cavitation) και προκαλεί φυσικές μεταβολές στο περιβάλλον υπόστρωμα των βυθιζόμενων τροφίμων. Διασπά μικροοργανισμούς μέσω της εκλέπτυνσης του κυτταρικού τοιχώματος των βακτηρίων.

5.2.4 Εφαρμογή

Στις βασικές μονάδες παραγωγής της βιομηχανίας του κρέατος, η χρήση των υπερήχων εφαρμόζεται στις εξής διαδικασίες: φιλτράρισμα, ψύξη, απόψυξη, αλιπάσωση, ξήρανση, τεμαχισμός, αποστείρωση, εξαγωγή συστατικών και ενυδάτωση.



5.2.5 Φιλτράρισμα

Το φιλτράρισμα πραγματοποιείται πολλά χρόνια στην βιομηχανία τροφίμων για τον αποτελεσματικό διαχωρισμό των στερεών από τα υγρά τους αλλά και για την παραγωγή υγρών χωρίς στερεά. Η συγκέντρωση των υπολειμμάτων, όμως, στην επιφάνεια φιλτραρίσματος αποτελεί μείζον πρόβλημα, το οποίο προκαλεί μείωση της αποδοτικότητας της διαδικασίας αυτής. Ωστόσο, οι υπέρηχοι είναι αποτελεσματικοί ενάντια σε αυτό το ζήτημα. Με την εφαρμογή των υπερήχων κατά τη διαδικασία του φιλτραρίσματος, η στρώση των υπολειμμάτων που συσσωρεύονται στην επιφάνεια της μεμβράνης διαταράσσεται και η διαπερατότητα της μεμβράνης παραμένει ανεπηρέαστη. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ροής. Το φιλτράρισμα μέσω υπερήχων έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και για τη βελτίωση του φιλτραρίσματος των βιομηχανικών λυμάτων που συνήθως αποτελεί μία σκληρή διαδικασία.

Οι υπέρηχοι, μέσω της συνεχούς σπηλαιώσης στην επιφάνεια των φίλτρων, επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής των φίλτρων, αποφράζοντας συνεχώς τις μεμβράνες, και οδηγούν σε ασφαλέστερα και καλύτερης ποιότητας αποτελέσματα. Ωστόσο, η ανάπτυξη σε αυτό τον τομέα είναι περιορισμένη λόγω της χαμηλής ισχύος των αντιδραστήρων, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα των υπερήχων όταν χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Για το λόγο αυτό, οι εταιρίες παραγωγής συστημάτων φιλτραρίσματος συνδύασαν τους υπέρηχους με τα υπάρχοντα συστήματα δόνησης.

Το φιλτράρισμα χρησιμοποιείται σε διάφορες πτυχές της επεξεργασίας κρέατος, αν και μπορεί να μην είναι τόσο εμφανής όσο σε άλλους κλάδους βιομηχανίας. Κατά την προετοιμασία ζωμών, συχνά πραγματοποιείται φιλτράρισμα για την αφαίρεση ακαθαρσιών, στερεών σωματιδίων και λίπους, προκειμένου να παραχθεί ένα καθαρό και οπτικά ελκυστικό τελικό προϊόν. Επίσης, φιλτράρονται οι μαρινάδες που χρησιμοποιούνται για να δώσουν γεύση και να μαλακώσουν το κρέας αλλά και τα εκχυλίσματα και τα αρώματα που προέρχονται από κρέας ή προϊόντα κρέατος προκειμένου να εξασφαλιστεί ένα ομοιόμορφο, καθαρό και συνεκτικό μείγμα. Τέλος, οι μονάδες επεξεργασίας κρέατος συχνά παράγουν λύματα που περιέχουν οργανική ύλη, λίπη και άλλους ρύπους, καθιστώντας το φιλτράρισμα απαραίτητη διαδικασία.

5.2.6 Ψύξη

Με τη χρήση των υπερήχων, η ψύξη του κρέατος και των προϊόντων του πραγματοποιείται πιο γρήγορα και ομοιόμορφα. Η πυρήνωση, δηλαδή η διαδικασία μέσω της οποίας μικρά σωματίδια δημιουργούνται και λειτουργούν ως αρχικά σημεία για την ανάπτυξη μεγαλύτερων κρυστάλλων κατά την ψύξη, αποτελείται από δύο κύριες φάσεις: πρωτογενή και δευτερογενή. Η έναρξη ή πρωτογενής πυρήνωση συμβαίνει όταν το επεξεργαζόμενο προϊόν φτάνει τη θερμοκρασία πυρήνωσης, η οποία είναι μικρότερη από την απαιτούμενη θερμοκρασία ψύξης. Κατά τη δευτερογενή φάση, οι πρωτογενείς κρύσταλλοι αναπτύσσονται και δημιουργούν δενδρίτες ώσπου να επιτευχθεί η ψύξη. Οι υπέρηχοι, και πάλι μέσω της σπηλαιώσης, δημιουργούν περισσότερα σημεία για πυρήνωση και μέσω της βίαιης συντριβής των φυσαλίδων διακόπτεται η ανάπτυξη των προαναφερθέντων δεντροειδών κρυσταλλικών δομών. Έτσι, δημιουργούνται λεπτότεροι παγοκρύσταλλοι, μειώνοντας τον χρόνο μεταξύ της έναρξης της κρυσταλλοποίησης και του σχηματισμού πάγου, κατά τη διάρκεια της ψύξης, με αποτέλεσμα τη μικρότερη αλλοίωση της κυτταρικής δομής του κρέατος.



5.2.7 Απόψυξη

Για να αυξηθεί η διάρκεια ζωής των προϊόντων, η ψύξη αποτελεί μια κοινή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο, η επιτυχία της οποίας εξαρτάται από τις συνθήκες απόψυξης. Κατά τη διάρκεια της απόψυξης, τα τρόφιμα υπόκεινται σε μικροβιακές, χημικές και φυσικές αλλαγές και είναι πολύ σημαντικό, προκειμένου να ελαχιστοποιούνται οι αλλοιώσεις αυτών, να πραγματοποιείται εξαιρετικά αργά. Οι υπέρηχοι όμως, εάν εφαρμοστούν αποτελεσματικά, και συνδυαστούν με εισαγωγή νερού, επιταχύνουν τον ρυθμό απόψυξης, αποφεύγοντας την θέρμανση της επιφάνειας των τροφίμων, την ανεπιθύμητη αφυδάτωσή τους, διατηρούν τα φυσικά χαρακτηριστικά και αναστέλουν τη λιπιδική οξείδωση.

5.2.8 Αλιπάσωση

Η αλιπάσωση αποτελεί μία κοινή μέθοδο για την επεξεργασία και διατήρηση των τροφίμων, ιδιαίτερα στη βιομηχανία του κρέατος. Με τη χρήση των υπερήχων η χαμηλή αποδοτικότητα της παραδοσιακής αλιπάσωσης μπορεί να βελτιωθεί. Μειώνεται η απαιτούμενη διάρκεια αλιπάσωσης και η περιεκτικότητα σε αλάτι στα τελικά προϊόντα γίνεται ομοιόμορφη. Απαιτούνται, επίσης, διαλύματα μικρότερης συγκέντρωσης σε χλωριούχο νάτριο για την επίτευξη των ίδιων αποτελεσμάτων αλιπάσωσης, διευκολύνοντας στη συνέχεια και την διαδικασία του ξαλμυρίσματος, εάν αυτή είναι επιθυμητή. Τέλος, ελαττώνονται όχι μόνο οι δομικές βλάβες σε κυτταρικό επίπεδο, αλλά και οι αλλαγές στο χρώμα, ειδικά στο ωμό κρέας, αποφεύγεται η δημιουργία κρούστας και το τελικό αποτέλεσμα είναι πιο τρυφερό και λιγότερο αφυδατωμένο.

5.2.9 Αποξήρανση

Η εφαρμογή των υπερήχων στη διαδικασία της αποξήρανσης εφαρμόζεται σε ποικιλία τροφίμων συμπεριλαμβανομένου και του κρέατος και των προϊόντων του. Προκαλεί την ενδοκυττάρια αλλά και εκτός των κυττάρων σπηλαιώση του νερού, δημιουργώντας νέα μικροκανάλια για την αποτελεσματικότερη απομάκρυνση του νερού από το επεξεργαζόμενο τρόφιμο. Ο ρυθμός αποξήρανσης επιταχύνεται, η ποιότητα του προϊόντος διατηρείται και οι θερμοκρασίες που απαιτούνται, σε σχέση με τις μεθόδους συμβατικής αποξήρανσης, είναι χαμηλότερες. Έτσι, μειώνεται η έκθεση του κρέατος σε παρατεταμένη θερμότητα, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητές αλλαγές, όπως υπερψήσιμο ή απώλεια γεύσης και θρεπτικών στοιχείων. Παρόλο που ο εξοπλισμός των υπερήχων μπορεί αρχικά να απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας, η συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της αποξήρανσης του κρέατος μειώνεται λόγω του μικρότερου απαιτούμενου χρόνου αποξήρανσης. Αυτό συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και μπορεί να μειώσει τα λειτουργικά κόστη στο μακροπρόθεσμο.

5.2.10 Τεμαχισμός

Η χρήση των υπερήχων βελτιώνει και τη διαδικασία της κοπής σε μικρότερα κομμάτια ή φέτες του κρέατος και των προϊόντων του. Η πηγή υπερήχων (sonotrode) συνδέεται με τη λεπίδα τεμαχισμού μέσω ενός άξονα και είναι διαθέσιμη σε διάφορα σχήματα. Η κοπή με υπερήχους απαιτεί χαμηλή



ενέργεια, είναι ακριβέστερη ως προς τις τελικές διαστάσεις του τεμαχιζόμενου προϊόντος και ελαχιστοποιεί τις απώλειες, ειδικότερα κατά την επεξεργασία ετερογενών προϊόντων όπως το κρέας. Οι δονήσεις που προκαλούν οι υπέρηχοι εμποδίζουν τα υπολείμματα από την κοπή να κολλούν στις λεπίδες κι έτσι εμποδίζεται η ανάπτυξη μικροοργανισμών στον εξοπλισμό και η μεταφορά τους στο τελικό προϊόν. Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η συνολική υγιεινή της διαδικασίας και μειώνεται το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους τεμαχισμού.

5.2.11 Αποστείρωση / παστερίωση

Η θερμική αποστείρωση και παστερίωση είναι οι παραδοσιακές τεχνικές για την αδρανοποίηση ενζύμων και μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Υπάρχει σημαντική απώλεια θρεπτικών ουσιών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων γεύσεων και υποβάθμιση των λειτουργικών ιδιοτήτων των τροφίμων μέσω της θερμικής αυτής επεξεργασίας. Μέσω του φαινομένου της σπηλαίωσης, ο υπέρηχος βοηθάει να εξαλειφθούν οι αρνητικές αυτές επιπτώσεις. Η εξόντωση των μικροβίων οφείλεται στην λέπτυνση της κυτταρικής μεμβράνης, την παραγωγή ελεύθερων ριζών και την τοπική θέρμανση. Πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι ο υπέρηχος σε συνδυασμό με τη θερμική επεξεργασία μπορεί να εξουδετερώσει τα σπόρια του βακτηρίου *Clostridium perfringens* που πιθανό να υπάρχει στο βοδινό κρέας. Ακόμα, η αποστείρωση με τη χρήση υπερήχων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της τιμής D95. Επιπλέον, επιταχύνει το ρυθμό αποστείρωσης, μειώνει την ένταση και τον χρόνο που απαιτείται για την περαιτέρω θερμική επεξεργασία και τη ζημιά που προκαλείται από αυτή και ελαχιστοποιεί την απώλεια γεύσης. Τέλος, εξοικονομεί αποτελεσματικά ενέργεια προς όφελος των μονάδων επεξεργασίας του κρέατος (Niakousari M., Gahrue H.H., Razmjooei M., Roohinejad S., Greiner R.(2018)).

5.2.12 Εξαγωγή συστατικών

Η αφαίρεση διαφόρων συστατικών από το ακατέργαστο κρέας ή τα παραπροϊόντα κρέατος για την απόκτηση συγκεκριμένων προϊόντων είναι μία συνήθης διαδικασία. Μέσω της εξαγωγής αυτής, επιτυγχάνεται η απόσταξη λιπαρών και ελαίων από τους ζωικούς ιστούς. Οι πρωτεΐνες είναι, επίσης, συστατικό το οποίο είναι απαραίτητο να διαχωριστεί από το κρέας προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια ως πρόσθετο σε πληθώρα προϊόντων. Ακόμα, πραγματοποιείται η εξαγωγή της ζελατίνης, μία πρωτεΐνη που προέρχεται από ιστούς ζώων πλούσιους σε κολλαγόνο, όπως το δέρμα, τα οστά και οι συνδετικοί ιστοί. Χρησιμοποιείται ευρέως σε τρόφιμα, φαρμακευτικά και βιομηχανικά προϊόντα για τις πυκνωτικές και σταθεροποιητικές της ιδιότητες. Τέλος, από το ακατέργαστο κρέας μπορούμε να αποκτήσουμε εκχυλίσματα αρωμάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φυσικά ενισχυτικά γεύσης σε διάφορα τρόφιμα.

Η εξαγωγή των παραπάνω ελαίων και βιοενεργών ενώσεων και μορίων με υπερήχους είναι μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση που αντιμετωπίζει τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων, οι οποίες απαιτούν υψηλή θερμότητα, μεγάλες ποσότητες διαλύτη και εργασίας. Μέσω της σπηλαίωσης, οι υπέρηχοι βελτιώνουν τη μετατροπή της μάζας των συστατικών προς εξαγωγή από τη στερεή σε υγρή κατάσταση. Επιπροσθέτως, δημιουργούν μικροκανάλια μέσω των οποίων



επιταχύνεται η μεταφορά των συστατικών αυτών. Έτσι, επιτυγχάνεται η εν λόγω εξαγωγή σε λιγότερο χρόνο, ενέργεια, διαλύτη και χαμηλότερες θερμοκρασίες, χαρακτηριστικά κρίσιμα κατά την επεξεργασία του κρέατος, ένα προϊόν εξαιρετικά ευαίσθητο στη θερμοκρασία.

5.2.13 Ενυδάτωση

Η ενυδάτωση κατά την επεξεργασία του κρέατος είναι μια σημαντική διαδικασία που χρησιμοποιείται για να επαναφέρει την υγρασία που έχει χαθεί κατά τη διάρκεια της ξήρανσης του κρέατος. Το κρέας είτε βυθίζεται σε νερό είτε εκθέτεται σε ατμό, με σκοπό να απορροφήσει υγρασία και να επανακτήσει την υφή, τη γεύση και τη ζουμερότητά του. Η ενυδάτωση του κρέατος μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τη χρήση διαφόρων υγρών που περιέχουν αλάτι, βότανα ή άλλες πρόσθετες γεύσεις και αρωματικές ουσίες, προκειμένου να βελτιωθεί και η ποιότητα του κρέατος ή να ενισχυθεί η γεύση του. Αποτελείται από τρεις διαδοχικές διαδικασίες: το υγρό απορροφάται, το προϊόν διογκώνεται και τα διαλυτά στερεά απομακρύνονται. Οποιοσδήποτε αλλαγές στις ιδιότητες του επανασυσταθέντος προϊόντος είναι αποτέλεσμα μεταβολής στη σύνθεση και τη δομή του.

Η ικανότητα απορρόφησης νερού από το αφυδατωμένο προϊόν εξαρτάται κυρίως από τη διανομή πόρων στη μικροδομή του προϊόντος. Ο ρυθμός απορρόφησης είναι υψηλότερος για τα προϊόντα που βυθίστηκαν σε υγρό που συνοδεύεται από υπερηχητική επεξεργασία σε σχέση με την απλή βύθιση σε υγρό. Για ακόμη μία φορά, το φαινόμενο της σπηλαίωσης δημιουργεί στα προϊόντα επιπλέον πόρους και αυξάνει την εσωτερική πίεση, επιτυγχάνοντας αποτελεσματική ενυδάτωση σε λιγότερο χρόνο και χαμηλότερες θερμοκρασίες, ελαχιστοποιώντας τις αλλοιώσεις των υπό επεξεργασία τροφίμων.

5.3 Συμπεράσματα

Η χρήση των υπερήχων είναι μια περιβαλλοντικά φιλική, πράσινη τεχνολογία που έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη σε διάφορες διαδικασίες στην τροφική βιομηχανία. Αντικαθιστά αρκετές τεχνολογίες με βάση τη θερμότητα, που είναι επιβλαβείς για την ποιότητα του κρέατος. Συμβάλλει αποτελεσματικά στην επεξεργασία του κρέατος σε χαμηλές θερμοκρασίες, στη μικροβιολογική αδρανοποίηση και στην αποστείρωση του εξοπλισμού. Οδηγεί στην παραγωγή προϊόντων με αυξημένη διάρκεια ζωής και υψηλότερης ποιότητας, βοηθώντας στη διατήρηση των θρεπτικών συστατικών τους. Οι υπέρηχοι επιταχύνουν τις διαδικασίες φιλτραρίσματος, αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του φίλτρου, επιταχύνουν την ψύξη, οδηγούν σε μικρότερο μέγεθος παγοκρυστάλλων, ταχύτερη ξήρανση αλλά και απόψυξη, και ελαχιστοποιούν τη σπατάλη νερού. Αποτελούν μια γρήγορη τεχνική επεξεργασίας, μειώνοντας το κόστος παραγωγής και αυξάνοντας την αποδοτικότητα των διαδικασιών και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Ωστόσο, όταν οι υπέρηχοι εφαρμόζονται σε υψηλές εντάσεις οδηγούν σε αυξημένες θερμοκρασίες, οι οποίες έχουν επιβλαβείς επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του κρέατος και των προϊόντων του. Επίσης, η αποτελεσματικότητα της χρήσης των υπερήχων κατά της μικροβιακής και ενζυμικής αδρανοποίησης δεν έχει πλήρως επιτευχθεί. Οι ελεύθερες ρίζες που δημιουργούνται μέσω του φαινομένου της σπηλαίωσης είναι πιθανό να οδηγήσουν σε οξειδωση λιπιδίων και πρωτεϊνών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων οσμών και γεύσεων και μείωση της συνολικής φαινολικής περιεκτικότητας λόγω μείωσης της ασκορβικής οξύτητας. Ο συνδυασμός των υπερήχων με θερμοκρασία και



πίεση μπορεί, επίσης, να οδηγήσει στη δημιουργία ελεύθερων ριζών που πιθανό να βλάψουν την πρωτεϊνική δομή και να επηρεάσουν αρνητικά την υφή του κρέατος. Έτσι, η ισχύς και ο συνδυασμός της υπερήχου με άλλες μεθόδους επεξεργασίας πρέπει να μελετηθούν εντατικά και να βελτιστοποιηθούν πριν από την εφαρμογή τους.

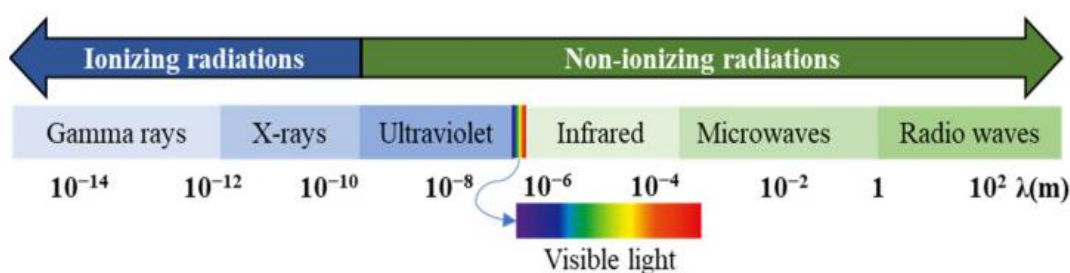
Μέσα στα χρόνια, αρκετές ερευνητικές μελέτες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των υπερήχων στην ενίσχυση και βελτίωση διαφόρων συμβατικών τεχνικών επεξεργασίας στη βιομηχανία τροφίμων. Ωστόσο, θα μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο περαιτέρω έρευνας για την εφαρμογή της σε βιομηχανικό επίπεδο προκειμένου να αναλυθεί ο αντίκτυπός της στη μαζική επεξεργασία τροφίμων. Θα πρέπει, ακόμα, να διερευνηθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις της υπερήχου στους ανθρώπους που εργάζονται στις μονάδες επεξεργασίας. Τέλος, απαιτείται τεράστια δαπάνη ενέργειας για την βιομηχανοποίηση των υπερήχων, καθιστώντας την περαιτέρω έρευνα απαραίτητη, προτού συνηγορήσουμε στην αντικατάσταση των παραδοσιακών μεθόδων σε βιομηχανικό επίπεδο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Υπεριώδης ακτινοβολία Ultraviolet radiation, UV

6.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγραφεί το φως με μήκη κύματος χαμηλότερα από το ορατό φως. Το βιολετί είναι το χρώμα της υψηλότερης συχνότητας του ορατού φωτός. Τα μήκη κύματος του ορατού φωτός είναι εκείνα που βρίσκονται μεταξύ 400 και 700 νανομέτρων. Η υπεριώδης ακτινοβολία ορίζεται συνήθως ως αυτή που έχει μήκος κύματος από 100 έως 380 νανόμετρα σε μια περιοχή τριών μηκών κύματος (Cheng κ.ά., 2020). Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος στην μη ιονίζουσα περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καταλαμβάνοντας μια περιοχή μεταξύ των ακτίνων X (100 nm) και του ορατού φωτός (400 nm).



Εικόνα 15: 6.1

Η υπεριώδης ακτινοβολία χωρίζεται σε τρεις ζώνες μηκών κύματος: UV-A, UV-B, και UV-C. Στο ηλιακό φως, τα μεγάλα (UV-A, 400–320 nm) και μεσαία (UV-B, 280–320 nm) μήκη κύματος έχουν μικροβιοκτόνες ιδιότητες. Τα μικρά μήκη κύματος, ή UV-C (200–280 nm), έχουν υψηλή μικροβιοκτόνα δράση, αλλά δεν είναι δυνατό να εμφανιστούν φυσικά και συνεπώς θα πρέπει να δημιουργηθούν μέσω μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η UV-C έχει αποδειχθεί μια αποτελεσματική τεχνική συντήρησης, η οποία μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της επιθυμητής ποιότητας και της θρεπτικής αξίας του κρέατος και των προϊόντων του κατά την αποθήκευση. Για να είναι αποτελεσματική κατά των ιών, η UV-A και η UV-B απαιτούν μεγαλύτερη διάρκεια έκθεσης (Quevedo κ.ά., 2020).

Η υπεριώδης ακτινοβολία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνεχή ή σε παλμική λειτουργία. Η παλμική λειτουργία είναι πιο αποδοτική για τη μικροβιακή αδρανοποίηση και αποτελεί την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδο (Lima κ.ά., 2018). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οποιαδήποτε απλή πηγή υπεριώδους φωτός παράγει ένα φάσμα υπεριώδους ακτινοβολίας και όχι μόνο ένα μήκος κύματος. Για παράδειγμα, η υπεριώδης ακτινοβολία με μήκος κύματος 185 nm είναι ρυθμισμένη να παράγει υπεριώδη ακτινοβολία στα 185 nm, αλλά μπορεί επίσης να παράγει υπεριώδη ακτινοβολία με μήκη κύματος από 100 έως 240 nm. Η υπεριώδης μικροβιοκτόνος ακτινοβολία



(Ultraviolet germicidal irradiation, UVGI) είναι μια διαδικασία απολύμανσης που χρησιμοποιεί υπεριώδη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (UV-C) για να σκοτώσει ή να αδρανοποιήσει μικροοργανισμούς καταστρέφοντας τα νουκλεϊκά οξέα και διαταράσσοντας το DNA τους, καθιστώντας τους ανίκανους να εκτελέσουν ζωτικές κυτταρικές λειτουργίες. Οι συσκευές UVGI μπορούν να παράγουν αρκετό φως UV-C σε κυκλοφοριακά συστήματα αέρα ή νερού, καθιστώντας τα αφιλόξενα για βακτήρια, ιούς, μύκητες και άλλους παθογόνους μικροοργανισμούς. Για την απολύμανση του αέρα και του νερού, η UVGI μπορεί να συνδυαστεί με μια συσκευή φιλτραρίσματος (Cheng κ.ά., 2020). Οι σταθερές του ρυθμού αδρανοποίησης κάθε μικροοργανισμού προσδιορίστηκαν από κάμπυλες προσαρμογής πληθυσμών που επιβίωσαν, χρησιμοποιώντας συστοιχίες διόδων εκπομπής φωτός UV-C (LED). Για τους ιούς MS2, Qβ, και ΦΧ174, η επεξεργασία με συστοιχία LED UV-C στάματσε αποτελεσματικά τη λοιμογόνο δράση των ιών. Η συστοιχία LED UV-C ήταν επίσης αποτελεσματική στην εξόντωση των βακτηρίων *Salmonella enterica* τύπου typhimurium και *E. coli* O157 (Kim και Kang, 2018). Η UVGI είναι, επίσης, επιτυχής στην αδρανοποίηση του ιού της γρίπης H5N1 και των κορωνοϊών (Cheng κ.ά., 2020).

Οι ιοί είναι μικροσκοπικά, αυτοσυντηρούμενα σωματίδια που αποτελούνται από κρυστάλλους και μακρομόρια, τα οποία αναπαράγονται μόνο μέσα στο κύτταρο ξενιστή, σε αντίθεση με τα βακτήρια. Μετατρέπουν τις πρωτεΐνες από το κύτταρο ξενιστή σε δικές τους πρωτεΐνες. Η υπεριώδης ακτινοβολία σκοτώνει τους ιούς περνώντας ή διαχέοντας ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας μέσω του πρωτεϊνικού περιβλήματος στον πυρήνα του νουκλεϊκού οξέος, καταστρέφοντας το ιικό RNA.

Οι πρωτεΐνες, το RNA και το DNA σε έναν συγκεκριμένο μικροοργανισμό απορροφούν υπεριώδεις φως. Η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από τις πρωτεΐνες στις μεμβράνες σε υψηλή UV δόση καταλήγει τελικά σε διαταραχή της κυτταρικής μεμβράνης και, κατά συνέπεια, στον θάνατο του κυττάρου. Ωστόσο, σε πολύ χαμηλότερες UV δόσεις, η απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας από το DNA (ή το RNA σε μερικούς ιούς) μπορεί να διαταράξει την ικανότητα του μικροοργανισμού να αναπαράγεται. Ένα κύτταρο που δεν είναι σε θέση να αναπαραχθεί είναι ανίκανο να οδηγήσει σε ασθένεια.

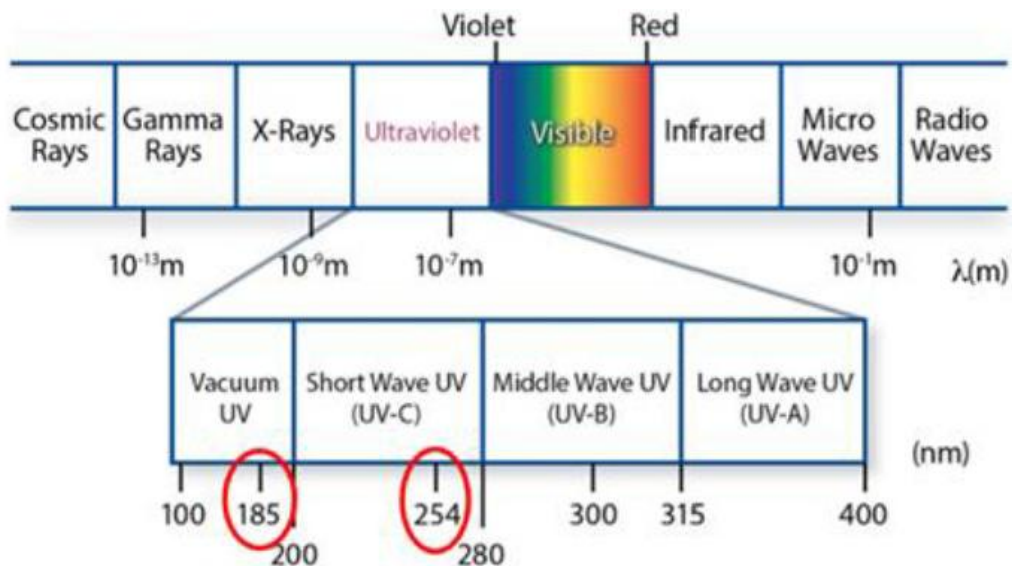
Υπό εργαστηριακά ελεγχόμενες συνθήκες, ο προσδιορισμός των ευαισθησιών όλων των επικίνδυνων ιών στην υπεριώδη ακτινοβολία στο εύρος UV-C και στην ακτινοβολία από προσομοιωτές ηλιακής ακτινοβολίας UV-A/B αποκάλυψε ότι η UV254 (UV-C) εξοντώνει ορισμένους ιούς που βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα, σε επιφάνειες ή και στον αέρα (Grant, 1997). Η υπεριώδης ακτινοβολία είναι μια ήπια μέθοδος επεξεργασίας με πολλά πλεονεκτήματα, όπως η απουσία υποπροϊόντων που μπορεί να αλλοιώσουν την ποιότητα του κρέατος και των προϊόντων του, η απουσία χημικών υπολειμμάτων ή ιονίζουσας ακτινοβολίας, καθώς επίσης και το ότι είναι μια ψυχρή διαδικασία, ξηρή, απλή, αποδοτική και χαμηλού κόστους σε σύγκριση με άλλες μεθόδους αποστείρωσης (Lima et al., 2018). Λόγω όλων αυτών, η υπεριώδης ακτινοβολία χρησιμοποιείται σε πολλά στάδια της βιομηχανίας τροφίμων αλλά και στη βιομηχανία καθαρισμού νερού και ποτών.

Σε μία μονάδα θέρμανσης, εξαερισμού, κλιματισμού και ψύξης (HVACR), το μήκος κύματος της υπεριώδους μικροβιοκτόνου ακτινοβολίας (δηλαδή UV-C) είναι μια αναντικατάστατη μέθοδος. Οι διαχειριστές εγκαταστάσεων επωφελούνται από τη μείωση της διάδοσης αερομεταφερόμενων λοιμογόνων παραγόντων χρησιμοποιώντας τη μικροβιοκτόνο δράση της για να διατηρούν τα ψυγεία καθαρά και να αποφεύγεται η μικροβιακή ανάπτυξη.

Ωστόσο, ορισμένοι ανησυχούν για την παραγωγή όζοντος. Αν και υπάρχουν τέσσερα διακριτά μήκη κύματος στο υπεριώδες φάσμα (UV-A, B, C και κενό-UV), το καθένα δρα σε ένα συγκεκριμένο



επίπεδο ενέργειας, και μόνο ένα είναι ικανό να δημιουργήσει όζον (κενό-UV). Η UV-C, από την άλλη πλευρά, επιτυγχάνει τη μέγιστη μικροβιοκτόνο ένταση γύρω στα 253,7 nm, ενώ το κενό-UV είναι ικανό να δημιουργήσει όζον και λειτουργεί στο εύρος 100–200 nm. Δεδομένου ότι το όζον μπορεί να δημιουργηθεί μόνο σε μήκη κύματος κάτω από 200 nm, το μικροβιοκτόνο μήκος κύματος των 253,7 nm (στρογγυλοποιημένο στα 254 nm) δεν παράγει όζον.



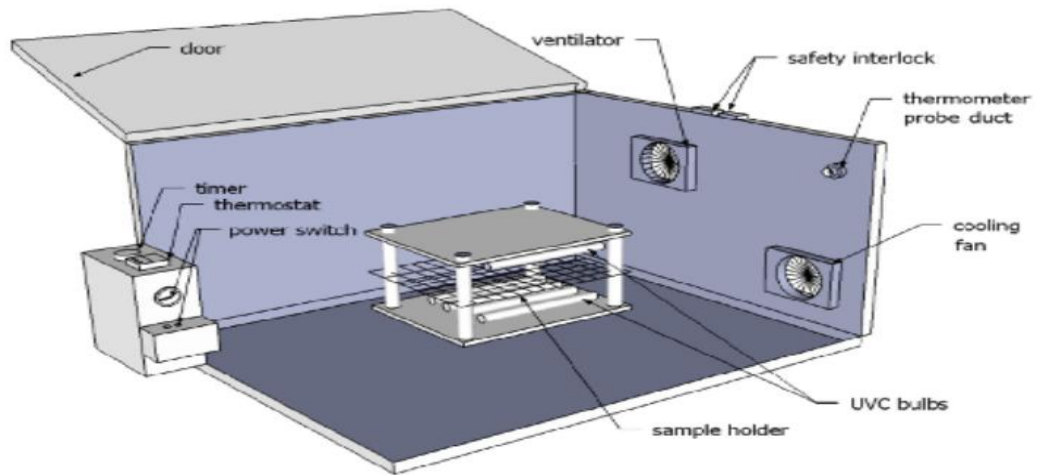
16.62

Εικόνα

6.2 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός υπεριώδους ακτινοβολίας παίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της υγιεινής και της ασφάλειας των προϊόντων κρέατος κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της αποθήκευσης.





Οι θάλαμοι υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C είναι κλειστές μονάδες στις οποίες τα προϊόντα κρέατος εκτίθενται σε υπεριώδες φως UV-C για την εξάλειψη των βακτηρίων και των παθογόνων στην επιφάνειά τους. Αυτοί οι θάλαμοι έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ομοιόμορφη έκθεση του υπεριώδους φωτός σε όλες τις επιφάνειες των προϊόντων κρέατος. Τα προϊόντα κρέατος τοποθετούνται σε ιμάντες μεταφοράς που κινούνται μέσω του θαλάμου, εξασφαλίζοντας ότι όλες οι πλευρές του προϊόντος εκτίθενται επαρκώς στο υπεριώδες φως. Αυτοί οι θάλαμοι είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί για την επεξεργασία παρτίδων και μπορούν να ενσωματωθούν σε διάφορα στάδια της γραμμής παραγωγής. Ο σχεδιασμός των θαλάμων επιτρέπει ελεγχόμενη έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία, βελτιστοποιώντας τη διαδικασία αποστείρωσης χωρίς να επηρεάζει την ποιότητα του κρέατος.

6.2.2 Ιμάντες Μεταφοράς με Υπεριώδη Ακτινοβολία UV-C

Οι ιμάντες μεταφοράς με υπεριώδη ακτινοβολία UV-C αποτελούν συνήθη πρακτική στις συνεχείς διαδικασίες απολύμανσης. Αυτά τα συστήματα μεταφοράς είναι εξοπλισμένα με λάμπες UV-C τοποθετημένες πάνω και/ή κάτω από τους ιμάντες για την απολύμανση των προϊόντων κρέατος καθώς κινούνται κατά μήκος της γραμμής παραγωγής. Η συνεχής κίνηση εξασφαλίζει ότι κάθε προϊόν θα δεχθεί την υπεριώδη ακτινοβολία UV-C, η οποία θα μειώσει αποτελεσματικά το μικροβιακό φορτίο στην επιφάνεια του κρέατος. Οι ιμάντες μεταφοράς με υπεριώδη ακτινοβολία UV-C είναι ευέλικτοι και μπορούν να προσαρμοστούν σε διαφορετικές ταχύτητες και εντάσεις του υπεριώδους φωτός, καθιστώντας τους κατάλληλους για διάφορους τύπους προϊόντων κρέατος και ταχύτητες επεξεργασίας. Αυτός ο εξοπλισμός είναι απαραίτητος για τη διατήρηση της υγιεινής σε περιβάλλοντα υψηλής παραγωγικότητας.





Εικόνα 18: 6.4

6.2.3 Μονάδες Απολύμανσης Αέρα

Οι μονάδες απολύμανσης αέρα με υπεριώδη ακτινοβολία UV-C εγκαθίστανται σε συστήματα HVAC (θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού) στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος για την απολύμανση του αέρα και την πρόληψη της αερομεταφερόμενης μόλυνσης. Αυτές οι μονάδες χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία UV-C για να εξοντώσουν παθογόνους παράγοντες που βρίσκονται στον αέρα, συμπεριλαμβανομένων βακτηρίων, ιών και μυκήτων, εξασφαλίζοντας ότι ο αέρας στον χώρο επεξεργασίας παραμένει καθαρός. Με την ενσωμάτωση μονάδων απολύμανσης αέρα UV-C στο σύστημα HVAC, οι εγκαταστάσεις μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο διασταυρούμενης μόλυνσης και να διατηρήσουν υψηλότερο επίπεδο ποιότητας αέρα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιοχές όπου το κρέας κόβεται, επεξεργάζεται ή συσκευάζεται, καθώς οι αερομεταφερόμενοι παθογόνοι παράγοντες μπορούν εύκολα να εξαπλωθούν και να μολύνουν επιφάνειες και προϊόντα.

6.2.4 Απολύμανση Επιφανειών

Τα συστήματα απολύμανσης επιφανειών με υπεριώδη ακτινοβολία UV-C χρησιμοποιούνται για την απολύμανση των επιφανειών εργασίας, του εξοπλισμού και των περιοχών συσκευασίας στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος. Αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι είτε φορητά είτε σταθερά. Οι φορητές μονάδες είναι ευέλικτες και μπορούν να μετακινηθούν σε διαφορετικές περιοχές ανάλογα με τις ανάγκες, ενώ τα σταθερά συστήματα είναι μόνιμα εγκατεστημένα για να παρέχουν συνεχή απολύμανση. Η απολύμανση επιφανειών με UV-C είναι κρίσιμη για τη διατήρηση



ενός καθαρού και υγιεινού περιβάλλοντος, καθώς μειώνει το μικροβιακό φορτίο στις επιφάνειες που έρχονται σε άμεση επαφή με τα προϊόντα κρέατος. Η τακτική τους χρήση βοηθά στην πρόληψη της συσσώρευσης βακτηρίων και άλλων παθογόνων παραγόντων, εξασφαλίζοντας τη συνολική ασφάλεια του περιβάλλοντος επεξεργασίας.

6.2.5 Φορητές Συσκευές UV-C

Οι φορητές συσκευές UV-C είναι φορητές λάμπες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιτόπια απολύμανση του εξοπλισμού και των δυσπρόσιτων περιοχών. Αυτές οι συσκευές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τους εργαζόμενους που χρειάζονται να στοχεύσουν συγκεκριμένες περιοχές που απαιτούν επιπλέον απολύμανση. Οι φορητές λάμπες UV-C παρέχουν ευελιξία και ακρίβεια, επιτρέποντας στους εργαζόμενους να απολυμαίνουν περιοχές που είναι δύσκολο να φτάσουν με μεγαλύτερο εξοπλισμό. Αυτές οι συσκευές είναι αποτελεσματικές για γρήγορες εργασίες απολύμανσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένων των επιφανειών κοπής, των μαχαιριών και άλλων εργαλείων που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία κρέατος.

6.3 Εφαρμογή

Η υπεριώδης ακτινοβολία έχει εφαρμογή στη βιομηχανία κρέατος για τις αντιμικροβιακές της ιδιότητες. Χρησιμοποιείται για την απολύμανση των επιφανειών των προϊόντων κρέατος, του εξοπλισμού και των υλικών συσκευασίας, βοηθώντας στη μείωση του μικροβιακού φορτίου, συμπεριλαμβανομένων των βακτηρίων όπως *E. coli*, *Salmonella* και *Listeria*. Επιπλέον, τα συστήματα UV χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό του αέρα και του νερού στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας κρέατος, μειώνοντας τον κίνδυνο μόλυνσης από περιβαλλοντικές πηγές.

6.4 Συμπεράσματα

Μέσω της μείωσης της μικροβιακής μόλυνσης, η επεξεργασία με UV βοηθά στην επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων κρέατος. Η UV ακτινοβολία προσφέρει επίσης μια μη θερμική, μη επεμβατική μέθοδο αποστείρωσης η οποία διατηρεί την αισθητηριακή και θρεπτική ποιότητα του κρέατος.

Η UV-C ακτινοβολία (200-280 nm) είναι εξαιρετικά αποτελεσματική στην απενεργοποίηση ενός ευρέος φάσματος παθογόνων καταστρέφοντας το DNA και το RNA τους, αποτρέποντας την αναπαραγωγή τους. Η επεξεργασία με UV δεν απαιτεί την προσθήκη χημικών, αποφεύγοντας τα πιθανά χημικά υπολείμματα στα προϊόντα κρέατος. Σε σύγκριση με τις θερμικές επεξεργασίες, η UV ακτινοβολία είναι ενεργειακά αποδοτική και εφαρμόζεται ήδη εύκολα στις υπάρχουσες γραμμές επεξεργασίας.

Η UV ακτινοβολία έχει, ωστόσο, ορισμένους περιορισμούς και προκλήσεις. Έχει χαμηλή διεισδυτική δύναμη και είναι αποτελεσματική κυρίως στις εκτεθειμένες επιφάνειες, γεγονός που σημαίνει ότι δεν μπορεί να φτάσει σε μικροοργανισμούς που βρίσκονται βαθιά μέσα στο κρέας ή καλύπτονται από σωματίδια. Οι ακανόνιστες επιφάνειες και τα κομμάτια κρέατος που επικαλύπτονται μπορούν να δημιουργήσουν σκιές που προστατεύουν μερικούς μικροοργανισμούς από την έκθεση στην UV ακτινοβολία. Ο εξοπλισμός UV πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να εξασφαλίζει σταθερή



και επαρκή έκθεση, και επιπλέον, η UV ακτινοβολία ενέχει κινδύνους για την ασφάλεια των εργαζομένων, απαιτώντας τον κατάλληλο προστατευτικό εξοπλισμό και πρωτόκολλα ασφαλείας. Η βιομηχανία κρέατος πρέπει επίσης να συμμορφώνεται με τα κανονιστικά πρότυπα σχετικά με τη χρήση της UV ακτινοβολίας.

Οι πρόσφατες εξελίξεις και η έρευνα στη χρήση της UV ακτινοβολίας στη βιομηχανία κρέατος περιλαμβάνουν συνδυαστικές πρακτικές, όπως η χρήση της UV ακτινοβολίας σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους συντήρησης, όπως η ήπια θέρμανση ή οι αντιμικροβιακές επενδύσεις, για την αύξηση της αποτελεσματικότητας. Οι μελέτες επικεντρώνονται επίσης στη βελτιστοποίηση της δόσης UV, του χρόνου έκθεσης και των συνθηκών επεξεργασίας για τη μέγιστη απενεργοποίηση των μικροοργανισμών ενώ διατηρείται η ποιότητα του κρέατος. Τέλος, οι εξελίξεις περιλαμβάνουν τη χρήση της UV ακτινοβολίας για την απολύμανση του εξοπλισμού επεξεργασίας, των συστημάτων αερισμού και ακόμη και των υλικών συσκευασίας για την παροχή επιπρόσθετου επιπέδου ασφαλείας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 Συμπεράσματα

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα αυτής της ερευνητικής εργασίας, κυρίως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία και η υπερυψηλή πίεση έδειξαν να είναι ιδιαίτερα υποσχόμενες νέες τεχνολογίες. Η χρήση τους στα διάφορα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας οδήγησε (α) στην αύξηση της απόδοσης της κάθε διεργασίας, (β) στην παραγωγή προϊόντων με ανώτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά, εμπλουτισμένα με βιοδραστικές και αντιοξειδωτικές ουσίες και (γ) στη μείωση της έντασης των συνθηκών της κάθε διεργασίας. Παράλληλα, η χρήση τους ως προεπεξεργασίες για την ενίσχυση ή/και αντικατάσταση των συμβατικών μεθόδων επεξεργασίας κρέατος είναι μία συμφέρουσα και πολύ ελκυστική προσέγγιση για εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα.



Βιβλιογραφία - Αναφορές

- Adams, M. R., & Moss, M. O. (2000). Food Microbiology. Royal Society of Chemistry.
- Afshari, R., & Hosseini, H. (2014). Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect. *J. Paramed Sci.*, 5:116–120.
- Aganovic, A., Rezaei, M., & Schilling, M. (2021). Effects of High Pressure on Fluid Viscosity and Heat Transfer. *Food Processing and Technology*, 12(4), 333-342.
- Ahmed, Taha, Federico Casanova, Povilas Šimonis, Voitech Stankevič, Mohamed A. E. Gomaa, & Arūnas Stirkė. (2022). Pulsed Electric Field: Fundamentals and Effects on the Structural and Techno-Functional Properties of Dairy and Plant Proteins. *Foods*, 11:1556.
- Akhtar, J., Abrha, M. G., Teklehaimanot, K., & Gebrekirstos, G. (2022). Cold plasma technology: Fundamentals and effect on quality of meat and its products. *Food Agric Immunol.*, 33:451–478.
- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Sci.*, 107:86–93.
- Alarcon-Rojo, A. D., Janacua, H., Rodriguez, J. C., Paniwnyk, L., & Mason, T. J. (2015). Power ultrasound in meat processing. *Meat Sci.*, 107:86–93.
- Alba, M., Bravo, D., Medina, M., & Nuñez, M. (2012). Application of high-pressure processing to dry-cured ham: Effects on structure, colour, and microbiological safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
- Alexandrakis, S. (2015). Εφαρμογές Υψηλής Πίεσης στη Βιομηχανία Τροφίμων. *Τεχνολογία Τροφίμων*.
- Andres, A. I., Moller, J. K. S., Adamsen, C. E., & Skibsted, L. H. (2004). High-pressure treatment of dry-cured ham. Effects on texture and colour formation. *Meat Science*.
- Asik-Canbaz, E., Çömlekçi, S., & Can Seydim, A. (2022). Effect of moderate intensity pulsed electric field on shelf-life of chicken breast meat. *Br Poult Sci.*, 63:641–649.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M. M. (2012). Application of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. A review. *Food Research International*, 48:410-427.
- Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., & Youssef, M. M. (2012). Application of ultrasound in analysis, processing and quality control of food. A review. *Food Research International*, 48:410-427.
- Barbosa-Canovas, G. V. (2002). High Pressure Processing of Foods. *Food Science and Technology International*, 8(4), 233-247.
- Balamurugan, S., Vaidya, R. H., Jayan, H., & Anu, P. (2020). High pressure processing of fermented sausages: Effects on microbial inactivation and product quality. *Journal of Food Science and Technology*.



- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E. D. A. (2019a). Does pulsed electric field have a potential to improve the quality of beef from older animals and how? *Innov Food Sci Emerg Technol.*, 56:102194.
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E. D. A. (2019b). Pulsed electric field: Effect on in-vitro simulated gastrointestinal protein digestion of deer *Longissimus dorsi*. *Food Res Int.*, 120:793–799.
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E. D. A. (2020). The application of pulsed electric field as a sodium reducing strategy for meat products. *Food Chem.*, 306:125622.
- Blaszcak, W., Amarowicz, R., & Gorecka, D. (2017). Non-thermal processing of food: High pressure processing as an alternative to traditional methods. *Journal of Food Engineering*.
- Cap, J., Edwards, R., & Brown, T. (2020). Extending shelf life of frozen chicken using high pressure processing. *Journal of Food Safety*.
- Carrapiso, A., Pino, A., & Ruiz, J. (2023). High pressure processing for dry meat products: Microbiological and quality considerations. *Meat Science*.
- Cava, R., Carballo, J., & Triki, M. (2021). Effects of high pressure processing on dry-cured ham. *Journal of Food Science*.
- Chandrapala, J. (2015). Low intensity ultrasound applications on food systems. *Int. Food Res. J.*, 22:888–895.
- Cheftel, J. C. (1995). High pressure processing of foods. *Food Science and Technology*, 9(2), 113-127.
- Chen, Y., Tume, R., & Wang, S. (2018). High pressure processing of pork sausages: Texture and sensory properties. *Food Quality and Safety*.
- Cheng, N., Moe, P., Valdez Salas, B., Beltran-Partida, E., & Nedev, N. (2020). Inactivation of enveloped viruses (Coronavirus, H5N1 virus) and disinfection of the air with legionella-X 100 via ultraviolet germicidal irradiation (UVGI).
- Cheftel, J. C. (1997). High pressure processing of foods. *Food Science and Technology*, 7(1), 77-90.
- Clarianna, R., Rubio, B., Martinez, B., & Fernandez, M. (2011). Effect of high-pressure processing on quality and microbial inactivation of vacuum-packaged sliced dry-cured ham. *Meat Science*.
- Cui, H., Wu, J., Li, C., & Lin, L. (2017). Promoting anti-listeria activity of lemongrass oil on pork loin by cold nitrogen plasma assist. *J Food Saf.*, 37.
- de Alba, M., Bravo, D., Medina, M., & Nuñez, M. (2012). Application of high-pressure processing to dry-cured ham: Effects on structure, colour, and microbiological safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.
- Dirks, B. P., Dobrynin, D., Fridman, G., Mukhin, Y., Fridman, A., & Quinlan, J. J. (2012). Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to reduce *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*. *J Food Prot.*, 75:22–28.



- Dissing, R., Davidson, M., & Tunstall, B. (1992). High Pressure Effects on Turkey Meat Quality. *Meat Science*, 31(3), 211-220.
- Ercan, U. K., Smith, J., Ji, H. F., Brooks, A. D., & Joshi, S. G. (2016). Chemical changes in nonthermal plasma-treated N-Acetylcysteine (NAC) solution and their contribution to bacterial inactivation. *Sci. Rep.*, 6:20365.
- Farr, S. B. (1990). High Pressure Processing and Cellular Structures. *Microbial Ecology*.
- Farkas, D. F., & Hoover, D. G. (2000). High pressure processing of foods: Effect on food quality and safety. *Food Technology*.
- Farkas, D. F., & Hoover, D. G. (2001). High pressure processing of foods. *Food Technology*.
- Farkas, D. F., & Hoover, D. G. (2001). High Pressure Processing. In: *Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies*, Journal of Food Science Special Supplement, Chicago, Ill., U.S.A., 47-64.
- Faridnia, F., Ma, Q. L., Bremer, P. J., Burritt, D. J., Hamid, N., & Oey, I. (2015). Effect of freezing as pre-treatment prior to pulsed electric field processing on quality traits of beef muscles. *Innov Food Sci Emerg Technol.*, 29:31–40.
- Gallo, M., Ferrara, L., & Naviglio, D. (2018). Application of ultrasound in food science and technology: A perspective. *Food*, 7:164.
- Gavahian, M., Chu, Y. H., Khaneghah, A. M., Barba, F. J., & Misra, N. N. (2018). A critical analysis of the cold plasma induced lipid oxidation in foods. *Trends Food Sci Technol.*, 77:32–41.
- Grant, R. H. (1997). Biologically active radiation in the vicinity of a single tree. *Photochemistry Photobiology*, 65, 974–982
- Gururani P, Bhatnagar P, Bisht B, Kumar V, Joshi NC, Tomar MS, Pathak B (2021) Cold plasma technology: advanced and sustainable approach for wastewater treatment. *Env Sci Poll Res*
- Γώγου, Ν. (2010). Τεχνολογίες μη θερμικής επεξεργασίας τροφίμων. *Τεχνολογία Τροφίμων και Ποτών*.
- Han, J., Zhang, Z., & Lee, J. (2021). High pressure processing of beef: Impacts on quality and safety. *Food Control*.
- Hendrickx, M., Weemaes, C., & Van den Broeck, I. (1998). High pressure processing of proteins. *Food Research International*, 31(5), 485-491.
- Hereu, A., Olivares, A., & Garcia, C. (2012). Combining *Streptococcus lactis* peptides with high pressure processing for *Listeria monocytogenes* control in ready-to-eat ham. *Food Microbiology*.
- Hoover, D. G., & Cutler, C. M. (1989). High pressure processing and microbial inactivation. *Journal of Food Science*, 54(6), 1391-1397.
- • Huang M, Wang J, Zhuang H, Yan W, Zhao J, Zhang J. Effect of in-package high voltage dielectric barrier discharge on microbiological, color and oxidation properties of pork in modified atmosphere packaging during storage. *Meat Sci*. 2019;149:107–113.



- Jayasena DD, Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K, Choe W, Jo C. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiol.* 2015;46:51–57
- Jeong, S. H., Lee, H. B., & Lee, D. U. (2024). Effects of Pulsed Electric Field on Meat Tenderization and Microbial Decontamination: A Review. *Food Sci Anim Resour.*, 44:239–254.
- Jun, X., Wang, X., & Chen, Y. (2009). Optimization of high pressure processing parameters for food safety and quality. *Journal of Food Science and Technology.*
- Jung S, Kim HJ, Park S, Yong HI, Choe JH, Jeon HJ, Choe W, Jo C. The use of atmospheric pressure plasma-treated water as a source of nitrite for emulsion-type sausage. *Meat Sci.* 2015b;108:132–137.
- Jung S, Lee CW, Lee J, Yong HI, Yum SJ, Jeong HG, Jo C. Increase in nitrite content and functionality of ethanolic extracts of *Perilla frutescens* following treatment with atmospheric pressure plasma. *Food Chem.* 2017a;237:191–197.
- Jung S, Lee J, Lim Y, Choe W, Yong HI, Jo C. Direct infusion of nitrite into meat batter by atmospheric pressure plasma treatment. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2017b;39:113–118.
- Karolina Nowosad, Monika Sujka, Urszula Pankiewicz και Radosław Kowalski, The application of PEF technology in food processing and human nutrition. *J Food Sci Technol.* 2021; 58: 397–411
- Kaur, M., Singh, N., & Mangal, R. (2016). Effect of high pressure processing on beef steaks. *International Journal of Food Science and Technology*
- Khan AA, Randhawa MA, Carne A, Ahmed IAM, Barr D, Reid M, Bekhit AEDA. Effect of low and high pulsed electric field on the quality and nutritional minerals in cold boned beef *M. Longissimus et lumborum*. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2017;41:135–143
- Khosravi S, Jafari S, Zamani H, Nilkar M. Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* biofilms by air-based atmospheric-pressure DBD plasma. *Appl Biochem Biotechnol.* 2021;193:3641–3650.
- Kim, J., Hwang, H., & Jo, C. (2020). High pressure processing effects on pork fillets. *Journal of Meat Science and Technology.*
- Kim, J. W., Lee, H. J., Shin, D. J., Baek, K. H., Yong, H. I., Jung, S., & Jo, C. (2021). Enrichment of nitrite in onion powder using atmospheric pressure plasma and egg whites for meat curing. *LWT-Food Sci Technol.*, 135:110050.
- Kim, H. J., Yong, H. I., Park, S., Choe, W., & Jo, C. (2016a). Quality of cold plasma treated foods of animal origin. In: Misra NN, Schlüter O, Cullen PJ, editors. *In Cold plasma in food and agriculture: Fundamentals and applications.* Academic Press.
- Kim HJ, Yong HI, Park S, Choe W, Jo C. Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin. *Curr Appl Phys.* 2013;13:1420–1425.



- Kim HJ, Jayasena DD, Yong HI, Jo C. Quality of cold plasma treated foods of animal origin. In: Misra NN, Schlüter O, Cullen PJ, editors. In Cold plasma in food and agriculture: Fundamentals and applications. Academic Press; San Diego, CA, USA: 2016a. pp. 273–291. • Kim B, Yun H, Jung S, Jung Y, Jung H, Choe W, Jo C. Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. Food Microbiol. 2011;28:9–13.
- Kim JW, Lee HJ, Shin DJ, Baek KH, Yong HI, Jung S, Jo C. Enrichment of nitrite in onion powder using atmospheric pressure plasma and egg whites for meat curing. LWT-Food Sci Technol. 2021;135:110050. • Kojtari A., Ercan U. K., Smith J., Friedman G., Sensening R. B., Tyagi S., Joshi S. G., Ji H. F., Brooks A. D. Chemistry for antimicrobial properties of water treated with non-equilibrium plasma. J. Nanomed. Bioterapeutic Discov. 2013;4:1000120.
- Lee J, Lee CW, Yong HI, Lee HJ, Jo C, Jung S. Use of atmospheric pressure cold plasma for meat industry. Korean J Food Sci Anim Resour. 2017;37:477–485.
- Lee J, Jo K, Lim Y, Jeon HJ, Choe JH, Jo C, Jung S. The use of atmospheric pressure plasma as a curing process for canned ground ham. Food Chem. 2018;240:430–436.
- Lee H, Yong HI, Kim HJ, Choe W, Yoo SJ, Jang EJ, Jo C. Evaluation of the microbiological safety, quality changes, and genotoxicity of chicken breast treated with flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. Food Sci Biotechnol. 2016a;25:1189–1195.
- Lima, F. , Vieira, K. , Santos, M. , & Mendes de Souza, P. (2018). Effects of radiation technologies on food nutritional quality. In: Descriptive Food Science.
- Lukes P, Dolezalova E, Sisrova I, Clupek M. Aqueous-phase chemistry and bactericidal effects from an air discharge plasma in contact with water: Evidence for the formation of peroxyxynitrite through a pseudo-second-order post-discharge reaction of H₂O₂ and HNO₂. Plasma Sources Sci Technol. 2014;23:015019.
- Luisa, C., Martinez, R., & Salas, J. (2023). Impact of high pressure processing on chicken patties: Microbial and textural changes. Meat Science.
- Misra NN, Schlüter O, Cullen PJ. Plasma in food and agriculture. In: Misra NN, Schlüter O, Cullen PJ, editors. In Cold plasma in food and agriculture: Fundamentals and applications. Academic Press; San Diego, CA, USA: 2016. pp. 1–16.
- Moutiq R, Misra NN, Mendonça A, Keener K. In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. Meat Sci. 2020;159:107942.
- Mungure TE, Farouk MM, Birch EJ, Carne A, Staincliffe M, Stewart I, Bekhit AEDA. Effect of PEF treatment on meat quality attributes, ultrastructure and metabolite profiles of wet and dry aged venison Longissimus dorsi muscle. Innov Food Sci Emerg Technol. 2020;65:102457
- Nwabor OF, Onyeaka H, Miri T, Obileke K, Anumudu C, Hart A. A cold plasma technology for ensuring the microbiological safety and quality of foods. Food Eng Rev. 2022;14:535–554.



- Niakousari M., Gahruie H.H., Razmjooei M., Roohinejad S., Greiner R. Innovative Technologies for Food Preservation. Academic Press; Cambridge, MA, USA: 2018. Effects of innovative processing technologies on microbial targets based on food categories: Comparing traditional and emerging technologies for food preservation; pp. 133–185
- Nielsen, S., Young, S., & Kearney, A. (1995). Texture and chewiness of meat products processed with high pressure. *Meat Science*.
- O’Dowd LP, Arimi JM, Noci F, Cronin DA, Lyng JG. An assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigour beef muscle. *Meat Sci*. 2013;93:303–309
- Oehmigen K., Hahnel M., Brandenburg R., Wilke C., Weltmann K. D., von Woedtke T. The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids. *Plasma Process. Polym.* 2010;7:250–257.
- Okomoto, A., Kawaguchi, K., & Suzuki, T. (1990). Effects of High Pressure on Food Components. *Food Chemistry*, 36(2), 115-122.
- Pankaj SK, Wan Z, Keener KM. Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*. 2018;7:4.
- Patange AD, Simpson JC, Curtin JF, Burgess CM, Cullen P, Tiwari BK. Inactivation efficacy of atmospheric air plasma and airborne acoustic ultrasound against bacterial biofilms. *Sci Rep*. 2021;11:1–14.
- Perez-Baltar, A., Mor-Mur, M., & Yuste, J. (2020). High pressure processing of dry-cured meat products. *Food Science and Technology International*.
- Quevedo, R. , Bastias, J. M. , Espinoza, T. , Ronceros, B. , Balic, I. , & Munoz, O. (2020). Inactivation of coronaviruses in food industry: The use of inorganic and organic disinfectants, ozone, and UV radiation. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 257–266.
- Rahman, M. S., Smith, R., & Choudhury, M. (2020). Effects of High Pressure Processing on Enzyme Activity. *Journal of Food Science and Technology*, 57(6), 2127-2136.
- Rød SK, Hansen F, Leipold F, Knøchel S. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiol*. 2012;30:233–238.
- San Martin, M. F., Llorca, I., & Hernandez, M. (2002). Decompression and Unloading Processes in High Pressure Systems. *Journal of Food Science*, 67(5), 1940-1947
- Se-Ho Jeong, Han-Beak Lee και Dong-Un Lee, Effects of Pulsed Electric Field on Meat Tenderization and Microbial Decontamination: A Review. *Food Sci Anim Resour*. 2024;44: 239–254
- Sikes, A., & Tume, R. (2014). High pressure processing of beef: Texture and quality assessment. *Meat Science*.
- Smelt, J. P. P. M. (1998). Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*.



- Sutariya S, Sunkesula V, Kumar R, Shah K. Emerging applications of ultrasonication and cavitation in dairy industry: A review. *Cogent Food & Agriculture*. 2018;4:1549187
- Suwandy V, Carne A, van de Ven R, Bekhit AEDA, Hopkins DL. Effect of repeated pulsed electric field treatment on the quality of cold-boned beef loins and topsides. *Food Bioprocess Technol*. 2015c;8:1218–1228
- Wada, H. (1992). High Pressure Processing Effects on Fish Lipids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2065-2070.
- Xue, C., Liu, L., & Chen, Y. (2017). Processing rabbit meat with high pressure: Effects on texture and color. *Food Science and Technology*.
- Xu, Y., Wu, J., & Li, L. (2019). Effects of high pressure processing on lamb meat quality. *Meat Science*.
- Yang, X., Liu, H., & Zhang, H. (2015). High pressure processing effects on chicken meat quality. *Poultry Science*.
- Yuste, J., González, M., & García, M. (2001). Combination of high pressure and other preservation methods: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 68(2), 141-149.
- Yong HI, Lee H, Park S, Park J, Choe W, Jung S, Jo C. Flexible thin-layer plasma inactivation of bacteria and mold survival in beef jerky packaging and its effects on the meat's physico-chemical properties. *Meat Sci*. 2017A;123:151–156.
- Yong HI, Han M, Kim HJ, Suh JY, Jo C. Mechanism underlying green discoloration of myoglobin induced by atmospheric pressure plasma. *Sci Rep*. 2018;8:9790.
- Yong HI, Park J, Kim HJ, Jung S, Park S, Lee HJ, Choe W, Jo C. An innovative curing process with plasma-treated water for production of loin ham and for its quality and safety. *Plasma Process Polym*. 2017b;15:1700050.
- Zhou, L., Zhang, W., & Zhao, Y. (2018). Tenderness and water retention of chicken meat. *Journal of Food Science*.
- Xu, Y., Wu, J., & Li, L. (2019). Effects of high pressure processing on lamb meat quality. *Meat Science*.

Άρθρα – πηγές

- Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Εναλλακτικές Μέθοδοι Συντήρησης Προϊόντων με Βάση Το Κρέας 2019, Κουμαρά Αικατερίνη
- Διδακτορική διατριβή, Έρευνα και εφαρμογή των τεχνολογιών υπερυψηλής πίεσης και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην παραγωγή υψηλής ποιότητας φυτικών προϊόντων και στην αξιοποίηση των παραπροϊόντων τους 2020, Βαρβάρα Ανδρέου
- <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12670>
- <https://www.intechopen.com/chapters/70818>



Παράρτημα - Πίνακες

Επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στα μικροβιολογικά χαρακτηριστικά του κρέατος.

Δείγμα	Μέθοδος	Δόση	Συνθήκες αποθήκευσης του δείγματος	Μικροβιολογική Επίδραση
Κιμάς βοδινού κρέατος	UV ακτινοβολία + βακτηριοφάγοι	800 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	Αποθήκευση σε ψύξη, 4 °C	Μείωση κατά 99% (2 log) στα επίπεδα της <i>Salmonella</i>
Φέτες ζαμπόν	UV-C ακτινοβολία	408, 2040, 4080, και 6120 mJ/cm^2	Αποθήκευση σε ψύξη, 0, 7, και 14 ημέρες	Μείωση της ανάπτυξης του <i>Yersinia enterocolitica</i> και του <i>Brochothrix thermosphacta</i> , καθώς και του συνολικού μικροβιακού πληθυσμού, χωρίς καμία σημαντική επίπτωση στην ποιότητα του προϊόντος.
Φιλέτα βοδινού, κοτόπουλου και σολομού	UV-C ακτινοβολία	360 J/m^2	Αποθήκευση σε κενό αέρος, 5 ημέρες	Περιορισμός της ανάπτυξης του <i>Pseudomonas</i> sp., αερόβιων βακτηρίων, βακτηρίων γαλακτικού οξέος, <i>Salmonella</i> και <i>Escherichia coli</i> κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης.
Στήθος κοτόπουλου	UV-C ακτινοβολία	0.12–3.6 J/cm^2 , 0–15 min	Αποθήκευση σε ψύξη, 30 min	Η έκθεση του στήθους κοτόπουλου σε ακτινοβολία για τουλάχιστον 1 λεπτό οδήγησε σε μείωση άνω του 90% του <i>Salmonella</i> .
Κρέας κοτόπουλου broiler	UV ακτινοβολία, ενεργό οξυγόνο (AO)	9.4, 18.8 και 32.9 mW/s ανά cm^2	Έως 12 ημέρες σε συσκευασίες κενού, 3–5 °C	Η ακτινοβολία UV μόνη της ή σε συνδυασμό με το AO επηρέασε την επιβίωση του <i>Campylobacter jejuni</i> . Η μείωσή του ήταν μεγαλύτερη όταν ακτινοβολήθηκε στα 32,9 mW/s ανά cm^2 .
Φιλέτα στήθους κοτόπουλου	UV-C ακτινοβολία, ε-φαρμολογία καφεΐνης (20 mM/g)	0–15 J/cm^2	Συσκευασίες φελλιζόλ, –10 °C	Η αδρανοποίηση του <i>E.coli</i> αυξήθηκε με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις καφεΐνης και δόσεις UV-C.
Φιλέτα στήθους	UV-C ακτινοβολία, ε-φαρμολογία καφεΐνης	0–15	Συσκευασίες φελλιζόλ, –10	Μείωση του <i>E. coli</i> > 6 log



κοτόπουλου	(20 mM/g)	J/cm2	°C	
Βοδινό και κοτόπουλο	UV-C και κουρκουμίνη Φωτοδυναμική αδρανοποίηση (PDI)	0.8, 1.6, 2.3, 3.1, 3.9 και 7.8 J/cm ² , για 1, 2, 3, 4, 5 and 10 min	Τοποθέτηση σε ανοξείδωτη σχάρα	Μείωση Escherichia coli και Staphylococcus aureus.
Κοτόπουλο	UV-C ακτινοβολία	0.62, 1.13, και 1.95 mW/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 4 °C, 9 ημέρες	Μείωση των παθογόνων βακτηρίων στα 1,95 mW/cm ² χωρίς να επηρεαστεί η ποιότητα του κοτόπουλου. Η υψηλότερη ένταση UV-C μείωσε το αρχικό βακτηριακό φορτίο και επέκτεινε διάρκεια ζωής.
Βοδινό	UV-C ακτινοβολία	165, 330 και 398 mJ/cm2	Συσκευασίες κενού, 4 °C, 8 εβδομάδες	Το γαλακτικό οξύ και η ακτινοβολία ανέστειλαν την ανάπτυξη του <i>L. monocytogenes</i> και των βακτηρίων γαλακτικού οξέος για 2 εβδομάδες. Το χρώμα του κρέατος διατηρήθηκε για έως και οκτώ εβδομάδες στους 4 °C.

Πηγή: Rossi Indiarito, Arif Nanda Irawan και Edy Subroto, Meat Irradiation: A Comprehensive Review of Its Impact on Food Quality and Safety, 2023, Food.

Επίδραση της υπερϊώδους ακτινοβολίας στα χημικά χαρακτηριστικά του κρέατος.

Δείγμα	Μέθοδος	Δόση	Συνθήκες αποθήκευσης του δείγματος	Χημικά χαρακτηριστικά
Φιλέτα στήθους κοτόπουλου	UV-C ακτινοβολία, εφαρμογή καφεΐνης (20	0–15 J/cm2	Συσκευασίες φελιζόλ, –10	Οι πρωτεΐνες, το ακατέργαστο λίπος, η υγρασία, η συνολική οξύτητα,



	mM/g)		°C	το pH και ο συντελεστής απορρόφησης δεν επηρεάστηκαν.
Κρέας Κοτόπουλου	UV-C φως	0.62, 1.13, και 1.95 mW/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 4 °C, 9 ημέρες	Αυξήθηκαν τα επίπεδα τυραμίνης, καδαβερίνης και πουτρεσκίνης.
Βοδινό κρέας Κορεάτικου ντόπιου κοπαδιού (Hanwoo)	UV ακτινοβολία	4.5 mW s/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 3-5 °C, 9 ημέρες	Οι τιμές λιπιδικής οξείδωσης (TBA) ήταν υψηλότερες, ενώ οι τιμές του πτητικού βασικού αζώτου (VBN) δεν άλλαξαν σημαντικά. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του δείγματος δεν επηρεάστηκαν.
Φιλέτα βοδινού, κοτόπουλου και σολομού	UV-C ακτινοβολία	360 J/m ²	Συσκευασίες κενού, 5 ημέρες	Το pH όλων των δειγμάτων παρέμεινε αμετάβλητο.
Βοδινό	UV-C ακτινοβολία	165, 330 και 398 mJ/cm ²	Συσκευασίες κενού, 4 °C, 8 εβδομάδες	Το pH μειώθηκε.
Βοδινό κρέας Κορεάτικου ντόπιου κοπαδιού (Hanwoo)	UV ακτινοβολία	4.5 mW s/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 3-5 °C, 9 ημέρες	Κατά την αποθήκευση, το pH δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές.

Πηγή: Rossi Indiarito, Arif Nanda Irawan και Edy Subroto, Meat Irradiation: A Comprehensive Review of Its Impact on Food Quality and Safety, 2023, Food.

Οι τιμές a*, L* και b* είναι συνιστώσες του χρωματικού χώρου CIE Lab*, ο οποίος είναι ένα χρωματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει και να ποσοτικοποιήσει το χρώμα με τρόπο πιο ομοιογενή στην αντίληψη από άλλα χρωματικά μοντέλα. Εδώ είναι τι αντιπροσωπεύει κάθε συνιστώσα:

*L (Φωτεινότητα): Αυτή η τιμή υποδεικνύει τη φωτεινότητα του χρώματος, κυμαίνεται από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Μετράει την ένταση της φωτεινότητας στο χρώμα.

*a (Άξονας Κόκκινου-Πράσινου): Αυτή η τιμή αναπαριστά τη θέση στον άξονα κόκκινου-πράσινου. Θετικές τιμές υποδεικνύουν κόκκινους τόνους, ενώ αρνητικές τιμές υποδεικνύουν πράσινους τόνους.

*b (Άξονας Κίτρινου-Μπλε): Αυτή η τιμή αναπαριστά τη θέση στον άξονα κίτρινου-μπλε. Θετικές τιμές υποδεικνύουν κίτρινους τόνους, ενώ αρνητικές τιμές υποδεικνύουν μπλε τόνους.



Μαζί, αυτές οι τιμές παρέχουν μια ολοκληρωμένη περιγραφή της εμφάνισης του χρώματος. Στο πλαίσιο της ποιότητας του κρέατος, αυτές οι τιμές βοηθούν στην αξιολόγηση των αλλαγών στο χρώμα λόγω επεξεργασίας ή συνθηκών αποθήκευσης.

Επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στα φυσικά χαρακτηριστικά του κρέατος.

Δείγμα	Μέθοδος	Δόση	Συνθήκες αποθήκευσης του δείγματος	Φυσικά χαρακτηριστικά
Βοδινό	UV-C ακτινοβολία	165, 330 και 398 mJ/cm ²	Συσκευασίες κενού, 4 °C, 8 εβδομάδες	Μειώθηκαν οι τιμές a*, αλλά οι τιμές L* και b* δεν επηρεάστηκαν. Μετά από 8 εβδομάδες αποθήκευσης, οι τιμές L* και a* ήταν χαμηλότερες από αυτές των μη ακτινοβολημένων δειγμάτων, αλλά οι τιμές b* δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές.
Βοδινό κρέας Κορεάτικου ντόπιου κοπαδιού (Hanwoo)	UV ακτινοβολία	4.5 mW s/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 3–5 °C, 9 ημέρες	Υπήρξε αύξηση στις τιμές L* και b*, ενώ η τιμή a* σε όλα τα δείγματα αρχικά αυξήθηκε μέχρι την έκτη ημέρα και στη συνέχεια μειώθηκε.
Κρέας κοτόπουλου broiler	UV ακτινοβολία, ενεργό οξυγόνο (AO)	9.4, 18.8 και 32.9 mW/s ανά cm ²	Συσκευασίες κενού, 3–5 °C, έως 12 ημέρες	Καμία σημαντική αλλαγή.
Βοδινό κρέας Κορεάτικου ντόπιου κοπαδιού (Hanwoo)	UV	4.5 mWs/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 3–5 °C, 9 ημέρες	Καμία σημαντική αλλαγή στην υγρασία και την υφή του δείγματος.
Φρέσκο βοδινό	UV ακτινοβολία	12.7, 25.5 και 38.2 W.s/cm ²	Συσκευασίες πολυαιθυλενίου σε ψύξη, 3–5 °C, έως 20 ημέρες	Το χρώμα και η τρυφερότητα του δείγματος, καθώς και το ποσοστό ικανότητας συγκράτησης νερού, μειώθηκαν με την αύξηση της δόσης ακτινοβολίας UV, ενώ το επίπεδο του 2-θιοβαρβιτουρικού οξέος αυξήθηκε.



Κρέας κοτόπουλου	UV-C ακτινοβολία	0.62, 1.13, και 1.95 mW/cm ²	Συσκευασμένο σε μεμβράνη PVC, 4 °C, 9 ημέρες	Οι πιο σταθερές τιμές b* ήταν στα 1,13 και 1,95 mW/cm ² . Οι τιμές L*, a* και pH ήταν επίσης παρόμοιες μεταξύ των ομάδων.
---------------------	------------------	--	--	--

Πηγή: Rossi Indiarto, Arif Nanda Irawan και Edy Subroto, Meat Irradiation: A Comprehensive Review of Its Impact on Food Quality and Safety, 2023, Food.

Παραδείγματα εφαρμογών της τεχνολογίας ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος στη συντήρηση προϊόντων κρέατος.

Προϊόν	Παράμετροι επεξεργασίας	Μικροοργανισμοί	Μικροβιολογική μείωση	Μέθοδος	Αέριο	Εφαρμογή
Ωμό στήθος κοτόπουλου	60, 70, ή 80 kV για 60, 180 ή 300s	Psychrophiles	> 1.0 log	DBD	O ₂ και CO ₂	Επεξεργασία μετά την συσκευασία
Φρέσκο και κατεψυγμένο χοιρινό	20 kV, 58 kHz, για 0, 30, 60, 90, και 120s	Escherichia coli O157:H7 και Listeria monocytogenes	1.5 log και > 1.0 log	CD PJ	Αέρας	Συντήρηση
Ζαμπόν	30 kV στα 3.5 kHz	Listeria monocytogenes	4 log CFU/cm ²	DBD	O ₂ + N ₂ + CO ₂ ή CO ₂ + N	Μικροβιολογική αδρανοποίηση



Έτοιμο προς κατανάλωση χοιρινό	10 kV, 2 kHz	Salmonella Typhimurium και Listeria monocytogenes	1.14 log και 1.02 log	DBD	N ₂ , CO ₂	Αποστείρωση
Φρέσκο κρέας	80 kV για 60, 120 ή 300 s	Brochothrix thermosphacta	2 Log	DBD	CO ₂ + O ₂	Επιμήκυνση διάρκειας αποθήκευσης
Μοσχαρίσιο φιλέτο	9 kHz, 8.16, 8.88, 9.44 kV	Staphylococcus aureus, Listeria monocytogenes και Escherichia coli	> 2 log	DBD	Αέρας	Συντήρηση
Ωμό στήθος κοτόπουλου	50 W	Escherichia coli	1.44 log CFU/g	PJ	N ₂ + O ₂	Αποστείρωση

Πηγή: Ozioma Forstinus Nwabor, Helen Onyeaka, corresponding, Taghi Miri, Kechrist Obileke, Christian Anumudu και Abarasi Hart, 2022, A Cold Plasma Technology for Ensuring the Microbiological Safety and Quality of Foods, Food Eng Rev.

Επίδραση της επεξεργασίας με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα στη μικροβιακή αδρανοποίηση του κρέατος και των προϊόντων του

Προϊόν	Μέθοδος	Παράμετροι επεξεργασίας	Μικροοργανισμοί	Μικροβιακή μείωση (Log ₁₀)
Μοσχάρι	PJ	Αέρας, 600 W, 1 min, νερό ενεργοποιημένο με πλάσμα	Συνολικός αριθμός μυκήτων και ενζύμων	1.62 1.76
Μοσχάρι	DBD	20 MHz, 6 kV, 5 min	Escherichia coli	1.82
Φιλέτο μοσχαριού	DBD	9 kHz, 29.9 W	Staphylococcus aureus Listeria monocytogenes	≥2 ≥2



			E. coli	≥2
Φιλέτο μοσχαριού	DBD	N2/O2, 100 W, 10 min	L. monocytogenes E. coli Salmonella Typhimurium	1.90 2.57 2.58
Συσκευασμένο στήθος κοτόπουλου	DBD	Αέρας, 100 kV, 233 W, 60 Hz, 5 min, 24 d αποθήκευση	Mesophiles Psychrophiles Enterobacteriaceae	1.5 1.4 0.5
Στήθος κοτόπουλου	DBD	14.5 W, 10 min	Salmonella	3.7
Συσκευασμένο στήθος κοτόπουλου	DBD	Αέρας, 70 kV, 5 min, 5-d αποθήκευση	Psychrophiles Campylobacter jejuni S. Typhimurium	1.00 0.93 0.65
Δέρμα και στήθος κοτόπουλου	PJ	Ar ή Αέρας, 1 MHz, 2–3 kV, 180 s, απόσταση από το ακροφύσιο έως το δείγμα 5, 8, 12 mm	C. jejuni	0.78–2.55
Στήθος κοτόπουλου	DBD	Αέρας, 100 W, 15 kHz, 10 min	Σύνολο αερόβιων βακτηρίων L. monocytogenes E. coli S. Typhimurium	3.36 2.14 2.73 2.71
Στήθος κοτόπουλου - φιλέτο	DBD	5% N2+30% CO2+65% O2, 80 kV, 180 s	Mesophiles Psychrophiles Pseudomonas spp.	1.0 0.5 0.9
Στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα	DBD	Αέρας, 30 kV, 0.5 kHz, 3 min	Salmonella enterica C. jejuni	2.54 2.45
Μαγειρεμένο στήθος κοτόπουλου	PJ	He, N2, O2, 2 kV, 50 kHz, 2 min	L. monocytogenes	1.37–4.73
Αρνί	DBD	80 kV, 50 Hz, 5 min	Brochothrix thermosphacta	2.0



Χοιρινό φιλέτο	DBD	CO2+N2+O2, 85 kV, 60 s	Συνολικός αερόβιος μικροβιακός πληθυσμός	0.4 (20% CO2+40% N2+40% O2) 0.8 (20% CO2+20% N2+60% O2)
Φρέσκο και κατεψυγμένο χοιρινό	CD PJ	58 kHz, 20 kV, 90–120 s	E. coli L. monocytogenes	1.5 1.0
Χοιρινή ωμοπλάτη	DBD	N2/O2, 100 W, 10 min	L. monocytogenes E. coli S. Typhimurium	2.04 2.54 2.68
Χοιρινό φιλέτο	DBD	He/He+O2, 3 kV, 30 kHz, 10 min, 3 mm απόσταση μεταξύ δείγ- ματος και πηγής DBD	L. monocytogenes E. coli	0.43 (He)/0.59 (He+O2) 0.34 (He)/0.55 (He+O2)
Καπνιστό βοδινό	DBD	Αέρας, 15 kHz, 10 min	L. monocytogenes E. coli S. Typhimurium Aspergillus flavus	2.36 2.65 3.03 3.18
Καπνιστό βοδινό	RF	Ar, 20,000 sccm, 200 W, 3 min	S. aureus	3–4
Καπνιστό χοιρινό	DBD	Αέρας, 4 kHz, 3.8 kV, 40 min	S. aureus Bacillus cereus	7.00 6.00
Ζαμπόν κοτόπουλου	PJ	He, N2, O2, 2 kV, 50 kHz, 2 min	L. monocytogenes	1.94–6.52

Πηγή: Dinesh D. Jayasena, Taemin Kang, Kaushalya N. Wijayasekara, και Cheorun Jo, 2023, Food Sci Anim Resour.

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό
στο docs.gov.gr/validate



Κωδικός εγγράφου: KRKHP6ib5ZTIi4H2bbEbg

: 82/82

Υπογραφή:
ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ
Πατρώνυμο: ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΑΦΜ: 067868655
Ημ. Υπογραφής: 29/11/2024 12:52:58