

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ: ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ**



**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Τίτλος: Καινοτόμες μέθοδοι ψυχρού πλάσματος για  
ασφάλεια και ποιότητα κρέατος**

**ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΦΟΙΒΟΣ**

**Επιβλέπων καθηγητής: Αλέξανδρος Γκόβαρης<sup>1</sup>**

**ΛΑΡΙΣΑ**

**2024**

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η διπλωματική εργασία είναι εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και κανένα μέρος της δεν είναι αντιγραμμένο από έντυπες ή ηλεκτρονικές πηγές, μετάφραση από ξενόγλωσσες πηγές και αναπαραγωγή από εργασίες άλλων ερευνητών ή φοιτητών. Όπου έχω βασιστεί σε ιδέες ή κείμενα άλλων, έχω προσπαθήσει με όλες μου τις δυνάμεις να τα προσδιορίσω σαφώς μέσα από την καλή χρήση αναφορών ακολουθώντας την ακαδημαϊκή δεοντολογία και την αποφυγή λογοκλοπής.

## Περίληψη

Το ψυχρό πλάσμα αποτελεί μια καινοτόμο μη θερμική τεχνολογία επεξεργασίας τροφίμων. Πρόκειται για ένα μερικώς ή πλήρως ιονισμένο αέριο που περιέχει δραστικά χημικά είδη, τα οποία μπορούν να εξουδετερώσουν μικροοργανισμούς ή ένζυμα σε τρόφιμα, όπως το κρέας. Στην επεξεργασία κρέατος, το ψυχρό πλάσμα επιδεικνύει ισχυρή αντιμικροβιακή δράση έναντι σημαντικών παθογόνων που προκαλούν τροφιμογενείς λοιμώξεις, όπως οι *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* O157, *Campylobacter jejuni* και διάφορα είδη *Salmonella*, καθώς και κατά ιών όπως ο Tulane. Το ψυχρό πλάσμα μπορεί επίσης να βελτιώσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και το χρώμα του κρέατος. Η αρνητική επίδρασή του στην οξείδωση του λίπους μπορεί να μειωθεί μέσω της κατάλληλης ρύθμισης των παραμέτρων παραγωγής του (π.χ. τάση, συχνότητα, χρόνος) ή με την προσθήκη αντιοξειδωτικών ουσιών, όπως τα αιθέρια έλαια από βότανα.

**Λέξεις κλειδιά:** ψυχρό πλάσμα, αντιμικροβιακή δράση, ποιότητα κρέατος, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

## Abstract

Cold plasma is a cutting-edge non-thermal food processing technology. It involves a partially or fully ionized gas containing reactive chemical species that are effective against microorganisms or enzymes in foods, including meat. In meat processing, cold plasma exhibits strong antimicrobial properties against significant foodborne pathogens such as *Listeria monocytogenes*, *Salmonella Typhimurium*, *Escherichia coli* O157, *Campylobacter jejuni*, and various *Salmonella* species, as well as viruses like the Tulane virus. Additionally, cold plasma can enhance the sensory properties and color of meat. Its negative effect on lipid oxidation can be minimized by optimizing the conditions under which the plasma is generated (e.g., voltage, frequency, time) or by adding antioxidant compounds such as essential oils from herbs.

**Key words:** cold plasma, antimicrobial activity, meat quality, sensory characteristics.

# Περιεχόμενα

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Περίληψη .....                                                                                         | 3  |
| Abstract.....                                                                                          | 3  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΡΕΑΣ .....                                                                                | 1  |
| 1.1. Βασικά είδη κρέατος.....                                                                          | 1  |
| 1.1.1. Χοιρινό .....                                                                                   | 1  |
| 1.1.2. Βοδινό .....                                                                                    | 1  |
| 1.1.3. Αρνίσιο/Πρόβειο .....                                                                           | 2  |
| 1.1.4. Κοτόπουλο .....                                                                                 | 2  |
| 1.2. Ποιότητα κρέατος .....                                                                            | 3  |
| 1.3. Θρεπτική αξία κρέατος .....                                                                       | 4  |
| 1.3.1. Πρωτεΐνες .....                                                                                 | 4  |
| 1.3.2. Λίπος .....                                                                                     | 5  |
| 1.3.3. Υδατάνθρακες.....                                                                               | 6  |
| 1.3.4. Άλατα .....                                                                                     | 6  |
| 1.3.5. Βιταμίνες .....                                                                                 | 7  |
| 1.4. Κρέας και Δημόσια Υγεία .....                                                                     | 9  |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ .....                                      | 10 |
| 2.1. Κρέας και κρεατοσκευάσματα .....                                                                  | 10 |
| 2.1.1. Νωπό κρέας .....                                                                                | 10 |
| 2.1.2. Κιμάς.....                                                                                      | 11 |
| 2.1.3. Πουλερικά .....                                                                                 | 11 |
| 2.2 Βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.....                        | 12 |
| 2.2.1. Χρόνος .....                                                                                    | 12 |
| 2.2.2. Θερμοκρασία.....                                                                                | 13 |
| 2.2.3. Υγρασία και τιμή ενεργότητας νερού $a_w$ .....                                                  | 14 |
| 2.2.4. pH .....                                                                                        | 15 |
| 2.2.5. Οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό .....                                                      | 16 |
| 2.3. Κυριότεροι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο κρέας και προκαλούν τροφικές<br>δηλητηριάσεις ..... | 17 |
| 2.3.1. Staphylococcus aureus .....                                                                     | 17 |
| 2.3.2. Listeria Monocytogenes .....                                                                    | 18 |
| 2.3.3. Salmonella .....                                                                                | 19 |
| 2.3.4. Escherichia coli.....                                                                           | 20 |
| 2.3.5. Clostridium Perfringens .....                                                                   | 21 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΨΥΧΡΟ ΠΛΑΣΜΑ .....                                                                         | 23 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. Τι είναι το πλάσμα;.....                                                                                                                      | 23 |
| 3.2. Σχεδίαση τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος.....                                                                                                    | 25 |
| 3.3. Μέθοδοι παραγωγής ψυχρού πλάσματος.....                                                                                                       | 27 |
| 3.3.1. Εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού .....                                                                                                         | 27 |
| 3.3.2. Πλάσμα εκκένωσης κορώνας.....                                                                                                               | 27 |
| 3.3.3. Εκκένωση δέσμης πλάσματος .....                                                                                                             | 28 |
| 3.3.4. Εκκένωση πλάσματος μικροκυμάτων.....                                                                                                        | 28 |
| 3.4. Τρόπος δράσης και χρήση στην μικροβιολογική ασφάλεια τροφίμων.....                                                                            | 29 |
| 3.5. Ψυχρό πλάσμα εναντίον των ιών.....                                                                                                            | 31 |
| 3.5.1. Είδη ιών .....                                                                                                                              | 31 |
| 3.5.2 Αντιδρώντα είδη αδρανοποίησης ιών .....                                                                                                      | 34 |
| 3.5.3 Τρόποι απενεργοποίησης ιών .....                                                                                                             | 34 |
| 3.6. Μειονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος .....                                                               | 35 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Εφαρμογές ψυχρού πλάσματος στο κρέας και τα<br>προϊόντα του .....                                                                      | 36 |
| 4.1. Εφαρμογές με σκοπό την αντιμικροβιακή δράση .....                                                                                             | 36 |
| 4.1.1. Συνδυασμός πλάσματος με οξικό οξύ εναντίον της <i>Salmonella Typhimurium</i> .                                                              | 36 |
| 4.1.2. Αιθέριο έλαιο θυμαριού/νανοϊνες ινώδους μεταξιού επεξεργασμένο με πλάσμα<br>εναντίον της <i>Salmonella Typhimurium</i> .....                | 37 |
| 4.1.3. Ψυχρό πλάσμα εναντίον της φυσικής μικροχλωρίδας κοτόπουλου σε<br>συσκευασμένο προϊόν .....                                                  | 39 |
| 4.1.4. Ψυχρό πλάσμα υψηλής τάσης για απολύμανση εργαλείων κοπής .....                                                                              | 40 |
| 4.1.5. Ψυχρό πλάσμα DBD για μικροβιακή αλλοίωση φιλέτων στήθους κοτόπουλου ...                                                                     | 42 |
| 4.1.6. Ψυχρό πλάσμα στον παστοურμά εναντίον της <i>Listeria monocytogenes</i> και του<br><i>Staphylococcus aureus</i> .....                        | 43 |
| 4.1.7. Επίδραση διαφόρων αντιοξειδωτικών σε επεξεργασμένα με πλάσμα DBD<br>μπιφτέκια ως προς την μικροβιακή τους αλλοίωση .....                    | 43 |
| 4.2. Εφαρμογές ψυχρού πλάσματος ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του<br>κρέατος και των προϊόντων του .....                                 | 44 |
| 4.2.1. Βοδινά μπιφτέκια: επίδραση επεξεργασίας πλάσματος DBD στο χρώμα, την<br>μυοσφαιρίνη και τα λιπίδια.....                                     | 44 |
| 4.2.2. Επίδραση ψυχρού πλάσματος στο προφίλ των λιπαρών οξέων χοιρινού κρέατος<br>και κοτόπουλου .....                                             | 48 |
| 4.2.3. Επίδραση ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά<br>ψητού βοδινού κρέατος σε ξυλάνθρακα και σε υπέρθερμο ατμό ..... | 50 |
| 4.2.4. Επίδραση ψυχρού πλάσματος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παστοურμά .....                                                                   | 51 |
| 4.2.5. Επίδραση ψυχρού πλάσματος DBD στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά<br>κοτόπουλου .....                                                          | 52 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.6. Επίδραση του ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά στο κρέας κοτόπουλου .....                    | 53 |
| 4.2.7. Επίδραση διαφόρων αντιοξειδωτικών σε επεξεργασμένα με πλάσμα DBD μπιφτέκια ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους ..... | 53 |
| 4.2.8. Αξιολόγηση χρήσης ψυχρού πλάσματος στην ποιότητα συσκευασμένου κοτόπουλου .....                                               | 56 |
| Συμπεράσματα.....                                                                                                                    | 57 |
| Βιβλιογραφία .....                                                                                                                   | 58 |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΡΕΑΣ

## 1.1. Βασικά είδη κρέατος

### 1.1.1. Χοιρινό

Το χοιρινό κρέας έχει μεγάλη κατανάλωση σε παγκόσμια κλίμακα. Ταξινομείται στα είδη των κόκκινων κρεάτων, γεγονός που οφείλεται στην περιεκτικότητά του σε μυοσφαιρίνη, μια πρωτεΐνη η οποία είναι υπεύθυνη για το κόκκινο αυτό χρώμα στο κρέας. Η χημική σύσταση του κρέατος μπορεί να ποικίλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως το είδος, το φύλο και την ηλικία του ζώου, το είδος της διατροφής του, την μεταχείριση πριν και κατά τη σφαγή, καθώς και τη διάρκεια και τις συνθήκες ωρίμανσης και συντήρησης του κρέατος. Συγκεκριμένα για το χοιρινό κρέας, η σύστασή του αποτελείται κυρίως από νερό, πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Το νερό αποτελεί περίπου το 60-70% του χοιρινού κρέατος, συμβάλλοντας στην υφή και την υγρασία του. Οι πρωτεΐνες, που κυμαίνονται γύρω στο 20%, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την επιδιόρθωση των ιστών του σώματος. Τα λιπίδια, περίπου στο 10-30%, παρέχουν ενέργεια και είναι υπεύθυνα για τη γεύση και την τρυφερότητα του κρέατος. Οι υδατάνθρακες, αν και σε μικρότερη ποσότητα, παίζουν ρόλο στην ωρίμανση και τη γεύση του κρέατος (Παπαδοπούλου, 2015).

Εκτός από τα κύρια αυτά συστατικά, το χοιρινό κρέας περιέχει επίσης βιταμίνες, όπως οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β, ένζυμα που συμβάλλουν στη διάσπαση των πρωτεϊνών και στη βελτίωση της γεύσης, καθώς και χρωστικές που επηρεάζουν το χρώμα του κρέατος. Αυτά τα δευτερεύοντα συστατικά παίζουν σημαντικό ρόλο στη συνολική διατροφική αξία και την ποιότητα του χοιρινού κρέατος. Συγκριτικά με άλλα είδη, το χοιρινό κρέας είναι πιο ευαίσθητο σε βακτηριακή μόλυνση και τροφιμογενείς ασθένειες, ενώ η τιμή αγοράς του είναι σχετικά χαμηλή (Joseph, 2018).

### 1.1.2. Βοδινό

Αποτελεί χαρακτηριστικό είδος των κόκκινων κρεάτων με μεγάλη ποικιλία στα προϊόντα που παράγονται από αυτό. Συγκεκριμένα για το βοδινό κρέας, η σύστασή του αποτελείται κυρίως από νερό, πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Το νερό αποτελεί περίπου το 60-75% του βοδινού κρέατος, συμβάλλοντας στην υφή και την υγρασία του. Οι πρωτεΐνες, που κυμαίνονται γύρω στο 18-22%, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την επιδιόρθωση των ιστών του σώματος. Τα λιπίδια, περίπου στο 2-13%, παρέχουν ενέργεια και είναι υπεύθυνα για τη γεύση και την τρυφερότητα του κρέατος. Οι υδατάνθρακες, αν και σε μικρότερη ποσότητα, παίζουν ρόλο στην ωρίμανση και τη γεύση του κρέατος.

Εκτός από τα κύρια αυτά συστατικά, το βοδινό κρέας περιέχει επίσης βιταμίνες, όπως οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β (Β12, Β6, νιασίνη, ριβοφλαβίνη), ένζυμα που

συμβάλλουν στη διάσπαση των πρωτεϊνών και στη βελτίωση της γεύσης, καθώς και χρωστικές όπως η μυοσφαιρίνη που επηρεάζουν το χρώμα του κρέατος (Joseph, 2018).

### **1.1.3. Αρνίσιο/Πρόβειο**

Αποτελεί ένα είδος κρέατος που στην Ελλάδα καταναλώνεται ευρέως. Το αρνίσιο κρέας προέρχεται από πρόβατα ηλικίας λιγότερο από ένα χρόνο, ενώ το πρόβειο και αίγιο προέρχεται από ενήλικα πρόβατα και αίγες αντίστοιχα. Για το αρνίσιο και πρόβειο κρέας, η σύστασή του αποτελείται κυρίως από νερό, πρωτεΐνες, λιπίδια και υδατάνθρακες. Το νερό αποτελεί περίπου το 60-70% του αρνίσιου και πρόβειου κρέατος, συμβάλλοντας στην υφή και την υγρασία του. Οι πρωτεΐνες, που κυμαίνονται γύρω στο 16-20%, είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη και την επιδιόρθωση των ιστών του σώματος. Τα λιπίδια, περίπου στο 15-20%, παρέχουν ενέργεια και είναι υπεύθυνα για τη γεύση και την τρυφερότητα του κρέατος. Οι υδατάνθρακες, αν και σε πολύ μικρότερη ποσότητα, παίζουν ρόλο στην ωρίμανση και τη γεύση του κρέατος.

Εκτός από τα κύρια αυτά συστατικά, το αρνίσιο κρέας περιέχει επίσης βιταμίνες, όπως οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β (Β12, Β6, νιασίνη, ριβοφλαβίνη), ένζυμα που συμβάλλουν στη διάσπαση των πρωτεϊνών και στη βελτίωση της γεύσης, καθώς και χρωστικές όπως η μυοσφαιρίνη που επηρεάζουν το χρώμα του κρέατος. Το αρνίσιο κρέας είναι πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά που είναι σημαντικά για την υγεία. Περιέχει υψηλά επίπεδα ψευδαργύρου, που είναι απαραίτητος για το ανοσοποιητικό σύστημα και τη θεραπεία των τραυμάτων, καθώς και σεληνίου, που έχει αντιοξειδωτικές ιδιότητες και συμβάλλει στην καλή λειτουργία του θυρεοειδούς. Επιπλέον, οι βιταμίνες του συμπλέγματος Β που περιέχονται στο αρνίσιο κρέας, όπως η Β12 και η Β6, είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία του νευρικού συστήματος και την παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων.

Συγκριτικά με άλλα κρέατα, το αρνίσιο κρέας έχει μια ευνοϊκή αναλογία ωμέγα-6 προς ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, η οποία είναι χαμηλότερη και ενδεχομένως πιο βέλτιστη για την υγεία, συμβάλλοντας στη μείωση των φλεγμονών και στην καλή λειτουργία της καρδιάς. Παρά τη διατροφική του αξία, η τιμή αγοράς του αρνίσιου κρέατος είναι συχνά υψηλότερη σε σχέση με άλλα κρέατα, γεγονός που το καθιστά ένα πιο ακριβό προϊόν για τον καταναλωτή (Joseph, 2018).

### **1.1.4. Κοτόπουλο**

Είναι δημοφιλές όπως το χοιρινό και το βοδινό κρέας και ανήκει στην κατηγορία των πουλερικών ή αλλιώς στα λευκά κρέατα. Όσον αφορά την τιμή του είναι αρκετά χαμηλή, ενώ επίσης η περιεκτικότητά του είναι υψηλή σε πρωτεΐνες και χαμηλή σε λίπος. Ακόμη, το κοτόπουλο αποτελεί ικανοποιητική πηγή μετάλλων και βιταμινών, όπως σελήνιο, κάλιο, φώσφορο και βιταμίνες του συμπλέγματος Β. Επιπλέον, ο ζωμός κοτόπουλου προσφέρει μια σημαντική πηγή ζελατίνης, γεγονός που οφείλεται στην μικρότερη πυκνότητα οστών του κοτόπουλου σε σύγκριση με άλλα κρέατα, με αποτέλεσμα η εξαγωγή κολλαγόνου και ζελατίνης να είναι πιο εύκολη. Ωστόσο, η βακτηριακή μόλυνση με στελέχη όπως το *E. coli* και η *Salmonella* αποτελεί σύνηθες

φαινόμενο στο κοτόπουλο και ως εκ τούτου, απαιτούνται αυστηρές διαδικασίες υγιεινής κατά το χειρισμό ωμού κρέατος κοτόπουλου. (Joseph, 2018).

## 1.2. Ποιότητα κρέατος

Ο όρος ποιότητα του κρέατος αναφέρεται στο σύνολο των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών του. Συγκεκριμένα, η ποιότητα είναι το σύνολο των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, της θρεπτικής αξίας, της υγιεινολογικής και τοξικολογικής κατάστασης και των τεχνολογικών ιδιοτήτων ενός συγκεκριμένου κομματιού κρέατος (Παπαβέργου, 2015).

Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που συμβάλλουν στην ποιότητα του κρέατος είναι η γεύση, το άρωμα, η τρυφερότητα, η σύσταση, το χυμώδες, η ανάπτυξη των μυϊκών μαζών και η εμφάνιση και το χρώμα στην επιφάνεια και την διατομή. Επιπλέον, η θρεπτική αξία αφορά την σύσταση του κρέατος σε διάφορα μακρο- και μικρο-συστατικά. Μακροσυστατικά αποτελούν το κορεσμένο και ακόρεστο λίπος, οι πρωτεΐνες (κυρίως υψηλής βιολογικής αξίας), οι υδατάνθρακες και η υγρασία, ενώ μικροσυστατικά αποτελούν οι βιταμίνες και τα ανόργανα άλατα. Η υγιεινή του κατάσταση εξαρτάται από το πλήθος και την παρουσία παθογόνων βακτηρίων, την πιθανή παρουσία τοξινών τους και την ύπαρξη κάθε προέλευσης τοξικών καταλοίπων. Τέλος, όσον αφορά τις φυσικοχημικές ιδιότητες, αυτές ενδιαφέρουν κυρίως την βιομηχανία και όχι τόσο τον καταναλωτή και αποτελούνται από την ικανότητα συγκράτησης νερού (ΙΣΝ), την ενεργότητα νερού ( $a_w$ ), το pH, το ιξώδες, το δυναμικό οξειδοαναγωγής, κ.ά (Higgs, 2005).

Περνώντας στους παράγοντες που διαμορφώνουν την ποιότητα του κρέατος, είναι οι ακόλουθοι:

1. Η κατηγορία του κρέατος
2. Το είδος του ζώου
3. Η φυλή του ζώου
4. Η ηλικία του
5. Το φύλο του
6. Η κατάσταση της υγείας του
7. Η γενετική του κατάσταση
8. Η ποιότητα της διατροφής του
9. Η κατάσταση ευζωΐας του στην εκτροφή
10. Οι χειρισμοί που έγιναν σε αυτό κατά την μεταφορά στο σφαγείο και αμέσως πριν την σφαγή
11. Ο τρόπος αναισθητοποίησης
12. Η τεχνολογία της σφαγής
13. Η ενδεχομένως χρησιμοποιηθείσα ηλεκτροδιέγερση
14. Η σωστή ωρίμανση

Γενικά, το κρέας χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ποιότητας ανάλογα με τις ιδιότητές του. Αυτό της 1<sup>ης</sup> ποιότητας περιλαμβάνει ικανοποιητική ανάπτυξη μυών, λίγο συνδετικό ιστό και μικρή ποσότητα λίπους διηθημένη μέσα στους μύες. Όσον αφορά το χρώμα είναι πιο ανοιχτόχρωμο και στην επιφάνεια τομής είναι πιο ομοιόμορφο κι ευχάριστο. Το άρωμα και η οσμή είναι επίσης ευχάριστα υποδεικνύοντας την φρεσκάδα του κρέατος, η γεύση είναι ανεπτυγμένη, η τρυφερότητα αυξημένη, η δύναμη κοπής μικρή και ο κόκκος κρέατος λεπτός. Τα κρέατα 2<sup>ης</sup> ποιότητας έχουν μικρότερη ανάπτυξη μυϊκών μαζών, περισσότερο συνδετικό ιστό, σκουροκόκκινο χρωματισμό, λιγότερη τρυφερότητα, ενώ η δύναμη κοπής είναι αυξημένη. Τέλος, τα κρέατα 3<sup>ης</sup> ποιότητας έχουν μεγάλη ποσότητα συνδετικού ιστού, συμπεριλαμβανομένων μυϊκών περιτονιών, τένοντες και λιπώδη ιστό. Επίσης, διακρίνονται για την μικρή τρυφερότητά τους και την αυξημένη δύναμη κοπής, ενώ χρησιμοποιούνται κυρίως για παραγωγή κιμά και βραστών φαγητών, όπως είναι διάφορες σούπες, διότι με το βράσιμο γίνονται πιο μαλακά και τρυφερά (Koochmaraie, 1996).

### **1.3. Θρεπτική αξία κρέατος**

Το άπαχο κρέας συμπεριλαμβάνεται στην διαίτα του ανθρώπου ως ένα από τα σημαντικότερα τρόφιμα. Η κατανάλωσή του παρέχει σημαντικά θρεπτικά συστατικά στον άνθρωπο με ευεργετικές επιδράσεις, βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες, στην υγεία του οργανισμού. Θρεπτικά στοιχεία είναι οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες, τα λίπη, τα άλατα και οι βιταμίνες, των οποίων η απορρόφηση από τον ανθρώπινο οργανισμό συμβάλλει στην ανάπτυξη και την συντήρηση των ιστών του και ρυθμίζει άλλες βασικές λειτουργίες (Μπλούκας, 2017).

#### **1.3.1. Πρωτεΐνες**

Οι πρωτεΐνες αποτελούν αναγκαίο στοιχείο για την ανάπτυξη και συντήρηση του ανθρώπινου οργανισμού, την αποκατάσταση ζημιωμένων ιστών και την διατήρηση ενός ισχυρού αμυντικού συστήματος. Στον ανθρώπινο οργανισμό λαμβάνει χώρα ο μεταβολισμός, κατά τον οποίο πραγματοποιείται η διάσπαση των πρωτεϊνών των τροφίμων σε αμινοξέα και ακολούθως ανασυντίθενται οι πρωτεΐνες του σώματος. Η πρόσληψη των πρωτεϊνών από τα τρόφιμα πρέπει να γίνεται καθημερινά, διότι στο ανθρώπινο σώμα δεν είναι δυνατή η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων πρωτεϊνών. Αρνητικές συνέπειες στην υγεία προκαλεί η ανεπάρκεια πρόσληψης πρωτεϊνών, η οποία είναι πιο σύνηθες να συμβεί σε μικρά παιδιά και σε γυναίκες κατά την εγκυμοσύνη (Μπλούκας, 2017).

Στο άπαχο κρέας περιέχονται πρωτεΐνες σε ποσοστό 18% με 23%, ενώ στο μαγειρεμένο 25% με 31%. Γενικά το κρέας θεωρείται από τα τρόφιμα με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως υψηλής ποιότητας. Οι πρωτεΐνες του κρέατος είναι προφανώς μεγαλύτερης βιολογικής αξίας συγκριτικά με τις φυτικές. Επιπλέον, όσον αφορά την ποιότητα των πρωτεϊνών μεταξύ διαφόρων ειδών κρέατος, δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές (Higgs, 2005).

Η υψηλή αυτή βιολογική αξία των πρωτεϊνών που βρίσκονται στο κρέας, οφείλεται στην περιεκτικότητα μεγάλων ποσοτήτων και σε ισορροπημένη αναλογία μεταξύ τους, όλων των απαραίτητων αμινοξέων που χρειάζεται ο άνθρωπος, ο οποίος δεν έχει την δυνατότητα σύνθεσης των συγκεκριμένων αμινοξέων σε ικανοποιητικές ποσότητες κι επομένως η λήψη τους πρέπει να γίνεται από την τροφή. Οι πρωτεΐνες των μυϊκών ινιδίων και οι σαρκοπλασματικές πρωτεΐνες είναι οι πιο πλούσιες σε απαραίτητα αμινοξέα, σε αντίθεση με τις πρωτεΐνες του συνδετικού ιστού, όπως το κολλαγόνο, οι οποίες είναι φτωχές σε απαραίτητα αμινοξέα και συνεπώς είναι χαμηλής βιολογικής αξίας (Seuss, 1990)

### 1.3.2. Λίπος

Το καταναλωτικό κοινό με την πάροδο του χρόνου, αλλάζοντας τις ανάγκες και τις συνήθειές του, προτιμά κρέας με λιγότερη περιεκτικότητα σε λίπος. Σε σύγκριση με τα σάκχαρα και τις πρωτεΐνες, το λίπος αποδίδει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας και συγκεκριμένα 9 kcal/g. Στον οργανισμό μέσω του λίπους πραγματοποιείται η μεταφορά λιποδιαλυτών συστατικών και ειδικότερα οι βιταμίνες A, D, E και K, οι οποίες είναι λιποδιαλυτές. Ακόμη, το λίπος περιέχει τα απαραίτητα λιπαρά οξέα, που δεν μπορεί να παράγει ο ανθρώπινος οργανισμός, όπως το λινελαϊκό, το α-λινολενικό και το αραχιδονικό οξύ και επιπλέον, βελτιώνει την γεύση του κρέατος (Μπλούκας, 2017)

Όσον αφορά την λιποπεριεκτικότητα του κρέατος, αυτή εξαρτάται από

- το είδος του ζώου,
- την ηλικία του και
- την προέλευση του τεμαχίου του σφάγιου.

Στο άπαχο κρέας το λίπος αποτελείται κυρίως από μονοακόρεστα και κορεσμένα λιπαρά οξέα, με το ελαϊκό, το παλμιτικό και το στεατικό οξύ να βρίσκονται σε μεγαλύτερη αναλογία. Στο αρνίσιο κρέας σε σύγκριση με το βοδινό και το χοιρινό, το στεατικό οξύ βρίσκεται σε αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα. Επίσης, τα ακόρεστα λιπαρά οξέα είναι υψηλότερα κατά 10-15% στο κοτόπουλο και το χοιρινό, σε σχέση με το βοδινό και το αρνίσιο κρέας. Όσον αφορά τα πολυακόρεστα λιπαρά οξέα, σε μεγαλύτερη αναλογία βρίσκεται το λινελαϊκό οξύ (4-18,9%) και στην συνέχεια το α-λινολενικό οξύ. Η περιεκτικότητα του χοιρινού κρέατος σε λινελαϊκό οξύ είναι 5-6 φορές μεγαλύτερη από το αρνίσιο και το βοδινό κρέας (Enser et al, 1996)

**Πίνακας 1.1** Μέση περιεκτικότητα βασικών ειδών κρεάτων σε πρωτεΐνες, λίπος και ενέργεια (Μπλούκας, 2017).

| Είδος κρέατος | Πρωτεΐνη (%) | Λίπος (%) | Ενέργεια kJ/100g |
|---------------|--------------|-----------|------------------|
| Βοδινό        | 20           | 5         | 517              |
| Αρνίσιο       | 21           | 9         | 679              |

|                       |    |   |     |
|-----------------------|----|---|-----|
| Χοιρινό               | 21 | 7 | 615 |
| Κοτόπουλο χωρίς δέρμα | 21 | 4 | 508 |

### 1.3.3. Υδατάνθρακες

Το γλυκογόνο αποτελεί τον κύριο υδατάνθρακα του μυϊκού ιστού των ζωντανών ζώων. Αφότου έρθει η σφαγή του ζώου, ωστόσο, η μεγαλύτερη ποσότητα γλυκογόνου αποικοδομείται σε γλυκόζη και ακολούθως σε L(+) –γαλακτικό οξύ, το οποίο συμβάλλει στην μείωση του pH του κρέατος. Η περιεκτικότητα του κρέατος σε γλυκογόνο είναι λιγότερη από 0,2% και η συνολική περιεκτικότητά του σε γλυκογόνο και προϊόντα αποδόμησης αυτού, είναι περίπου στο 1% (Higgs, 2005).

### 1.3.4. Άλατα

Τα άλατα είναι ανόργανα στοιχεία, η χρήση των οποίων συμβάλλει στην ομαλή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού. Καθώς είναι ηλεκτρολύτες, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι στην διατήρηση της οσμωτικής και ηλεκτροχημικής ισορροπίας στα όργανα του σώματος. Επιπρόσθετα, συμμετέχουν στην ρύθμιση διαφόρων βιολογικών μεταβολών, επηρεάζουν την διαδικασία μεταβολισμού και συμβάλλουν ως δομικά στοιχεία στον σχηματισμό των δοντιών και των οστών (Μπλούκας, 2017).

Το κρέας αποτελεί ιδιαίτερα καλή πηγή μαγνησίου, καλίου, σεληνίου και ψευδαργύρου, ενώ είναι επίσης η καλύτερη πηγή αφομοιώσιμου σιδήρου σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες τροφές. Ακόμη, ο φωσφόρος που περιέχει είναι ικανός να καλύψει το 20-25% των αναγκών ενός ενήλικα ανθρώπου. Από τα είδη των κρεάτων, αυτό που ξεχωρίζει ως προς την περιεκτικότητά του σε άλατα, είναι το βοδινό, το οποίο αποτελεί εξαιρετική πηγή ψευδαργύρου και σιδήρου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην υψηλότερη περιεκτικότητα του βοδινού σε μυοσφαιρίνη, η οποία συμβάλλει και στο ερυθρότερο χρώμα του βοδινού έναντι παραδείγματος χάρη του χοιρινού. Επιπλέον, επειδή το κρέας έχει χαμηλή περιεκτικότητα νατρίου, αντίστοιχα έχει υψηλή αναλογία καλίου/νατρίου, που υποστηρίζεται ότι έχει θετικές επιδράσεις στους ανθρώπους με προβλήματα υπέρτασης (Seuss, 1990).

**Πίνακας 1.2** Περιεκτικότητα κρέατος σε mg/100g (Μπλούκας, 2017).

| Είδος κρέατος | Κάλιο | Μαγνήσιο | Σίδηρος | Ψευδάργυρος |
|---------------|-------|----------|---------|-------------|
| Βοδινό        | 300   | 20       | 3,2     | 4           |
| Χοιρινό       | 400   | 30       | 1,3     | 2,5         |

|           |     |    |     |     |
|-----------|-----|----|-----|-----|
| Πρόβειο   | 400 | -  | 2,1 | 3   |
| Κοτόπουλο | 350 | 40 | 2   | 2   |
| Συκώτι    | 300 | 46 | 2   | 7,5 |
| Νεφρά     | 260 | 20 | 7,2 | 1,7 |

Ως προς τον σίδηρο, η ανεπάρκειά του και η σιδηροπενική αναιμία λόγω έλλειψης σιδήρου, είναι πολύ συχνές διατροφικές διαταραχές παγκοσμίως. Στα παιδιά με σιδηροπενική αναιμία εμφανίζεται αδυναμία συγκέντρωσης, διάσπαση προσοχής και υπερκινητικότητα, ενώ στους ανθρώπους γενικά μπορεί να προκαλέσει μόνιμες εγκεφαλικές βλάβες. Το κρέας και τα προϊόντα του έχουν σημαντική συμβολή στην κάλυψη των αναγκών σε σίδηρο, αφού αρχικά αποτελούν πλούσια πηγή σιδήρου, η απορρόφηση του σιδήρου που περιέχουν γίνεται με ευκολία από τον οργανισμό και συμβάλλουν στην αύξηση της απορροφητικότητας του σιδήρου που περιέχουν διάφορα άλλα τρόφιμα (Seuss, 1990).

Όσον αφορά τον ψευδάργυρο, αυτός συμβάλλει στην ενεργοποίηση διαφόρων ενζύμων, όπως της ινσουλίνης και μετέχει σε ποικίλες λειτουργίες του οργανισμού. Το κρέας είναι πολύ σημαντική πηγή ψευδαργύρου και συμβάλλει θετικά στην απορρόφησή του από τον οργανισμό σε ποσοστό 20-40%. Ακόμη, ύστερα από την διακοπή του θηλασμού, προτείνεται η αυξημένη ποσότητα κρέατος στην διατροφή των μικρών παιδιών, αφού αυτό περιέχει επαρκείς ποσότητες και ψευδαργύρου και σιδήρου (Seuss, 1990).

### 1.3.5. Βιταμίνες

Οι βιταμίνες είναι θρεπτικά στοιχεία, που χρειάζονται για τον ανθρώπινο οργανισμό, διότι συμβάλλουν στην ρύθμιση βασικών λειτουργιών του, όπως η ανάπτυξη, η διατήρηση της υγείας του και η αναπαραγωγή του. Η σύνθεση των βιταμινών δεν είναι δυνατή από τον άνθρωπο, επομένως η πρόσληψή τους πρέπει να πραγματοποιηθεί από τα τρόφιμα. Σε περίπτωση που οι ποσότητες βιταμινών που προσλαμβάνονται είναι υψηλότερες από τις αναγκαίες, τότε οι περίσσιες ποσότητες των λιποδιαλυτών βιταμινών αποθηκεύονται στο λίπος, ενώ αυτές των υδατοδιαλυτών βιταμινών αποβάλλονται με την ούρηση (Seuss, 1990).

Όσον αφορά το κρέας, αποτελεί σημαντική πηγή της βιταμίνης D και των βιταμινών του συμπλέγματος B. Ακόμη, έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και σε άλλες λιποδιαλυτές βιταμίνες. Ωστόσο, πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε βιταμίνη C και γενικά σε όλες τις βιταμίνες, έχουν τα νεφρά και το συκώτι που προέρχονται από όλα τα είδη των ζώων (Μπλούκας, 2017).

**Πίνακας 1.3** Περιεκτικότητα του κρέατος ανά 100g σε βιταμίνες (Seuss, 1990).

| Άπαχο<br>μαγειρεμένο<br>κρέας | B1<br>(μg) | B2<br>(μg) | B6<br>(μg) | B12<br>(μg) | C<br>(μg) |
|-------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-----------|
| Χοιρινό                       | 700        | 360        | 420        | 0,8         | 1         |
| Βοδινό                        | 100        | 260        | 380        | 2,7         | 1         |
| Μοσχαρίσιο                    | 70         | 350        | 305        | 1,8         | 1         |
| Αρνίσιο                       | 105        | 280        | 150        | 2,6         | 1         |
| Χοιρινό<br>συκώτι             | 260        | 2200       | 570        | 18,8        | 24        |

Οι βιταμίνες του συμπλέγματος B είναι υδατοδιαλυτές και η περιεκτικότητα του κρέατος σε αυτές, καλύπτουν τις ημερήσιες ανάγκες του ανθρώπου. Έτσι, συγκριτικά με το λιπαρό κρέας, το άπαχο περιέχει υψηλότερη ποσότητα βιταμινών B. Κατά την διαδικασία μαγειρέματος, εντοπίζονται απώλειες βιταμινών του συμπλέγματος B, οι οποίες εξαρτώνται από τον τρόπο μαγειρέματος και την θερμοκρασία που χρησιμοποιείται (Μπλούκας, 2017).

Αρχικά, η βιταμίνη B1, γνωστή και ως θειαμίνη, εντοπίζεται κυρίως στο χοιρινό, του οποίου η περιεκτικότητα σε θειαμίνη είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα είδη κρέατος. Η βιταμίνη αυτή θεωρείται απαραίτητη για τον οργανισμό, διότι αποτελεί προσθετική ομάδα ποικίλων ενζύμων και συμβάλλει στην διάσπαση των υδατανθράκων και στην απελευθέρωση της ενέργειάς τους. Όταν παρατηρείται έλλειψη της θειαμίνης, τα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι αρνητικά για την ανάπτυξη στα παιδιά, μαζί με κόπωση, ανορεξία και ιλίγγους (Μπλούκας, 2017).

Ως προς την βιταμίνη B12, το βοδινό και το πρόβειο κρέας συμβάλλουν σημαντικά στην κάλυψη ημερήσιων αναγκών στην βιταμίνη αυτή, σε σχέση τα τρόφιμα φυτικής προέλευσης. Η λειτουργία της B12 ως συνένζυμο είναι καίρια σε διάφορες μεταβολικές διεργασίες, ενώ μαζί με το φολικό οξύ και τον σίδηρο, συμβάλλει στην δημιουργία των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Από την άλλη, η ανεπάρκεια της βιταμίνης αυτής μπορεί να οδηγήσει σε κακοήθη μεγαλοβλαστική αναιμία, στην οποία παρατηρούνται μεγαλύτερα σε μέγεθος ερυθρά αιμοσφαίρια, αλλά λιγότερα σε ποσότητα, που έχουν ως αποτέλεσμα επικίνδυνες διαταραχές στην ανθρώπινη υγεία. Τα συμπτώματα

εμφανίζονται σε παιδιά και σε χορτοφάγους ενήλικες, οι οποίοι δεν προσλαμβάνουν ικανοποιητική ποσότητα της B12 από την τροφή τους (Seuss, 1990).

Όσον αφορά την βιταμίνη D, αυτή αποτελεί λιποδιαλυτή βιταμίνη, η οποία ενεργεί ως ορμόνη, ρυθμίζοντας τον μεταβολισμό του ασβεστίου και του φωσφόρου, συμβάλλοντας στην απορρόφησή τους από το έντερο και την αποθήκευσή τους στα οστά. Ακόμη, βοηθά στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος και στην προστασία κατά της φυματίωσης, του διαβήτη, της στεφανιαίας νόσου, της μυϊκής εξασθένησης και κάποιων μορφών καρκίνου. Πλούσια πηγή της βιταμίνης D αποτελεί και το κρέας. Στα νήπια και τα παιδιά, η ανεπάρκειά της προκαλεί ραχίτιδα και στους ενήλικες προκαλεί οστεομαλάκυνση (Seuss, 1990).

#### **1.4. Κρέας και Δημόσια Υγεία**

Μπορεί το κρέας να αποτελεί πλούσια πηγή θρεπτικών συστατικών, που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη, την διατήρηση και την σωστή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού, ωστόσο υπάρχει συσχετισμός της κατανάλωσης του κρέατος με διάφορα προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων. Θεωρείται ότι λόγω της περιεκτικότητας του κρέατος σε υψηλές ποσότητες λιπών, χοληστερόλης, κορεσμένων λιπαρών οξέων και πουρινών, μπορεί να προκαλέσει άμεσα ή έμμεσα κάποιες ασθένειες, όπως η υπέρταση, η παχυσαρκία, ο καρκίνος, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και η ποδάγρα (Seuss, 1990).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΡΕΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΤΟΥ

### 2.1. Κρέας και κρεατοσκευάσματα

#### 2.1.1. Νωπό κρέας

Γενικά, το νωπό κρέας αποτελεί ένα προϊόν, το οποίο αλλοιώνεται εύκολα εξαιτίας των παρακάτω λόγων:

- Είναι άφθονο σε θρεπτικά συστατικά, τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη, βακτηρίων, ζυμών και μυκήτων.
- Η περιεκτικότητά του σε υγρασία είναι αρκετά υψηλή, γεγονός ευνοϊκό για την ανάπτυξη μεγάλου πλήθους μικροοργανισμών, με την τιμή της ενεργότητας νερού  $a_w$  να είναι σχεδόν 0,99.
- Το pH έχει τιμή από 5,0 έως 7,0, που είναι επίσης κατάλληλο για την ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών.
- Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό στην επιφάνεια του κρέατος είναι υψηλό, οπότε εκεί ευνοείται η ανάπτυξη μικροοργανισμών αυστηρά αερόβιων και προαιρετικά αερόβιων. Αντίθετα, στο εσωτερικό του κρέατος το οξειδοαναγωγικό δυναμικό είναι χαμηλό, οπότε εκεί αναπτύσσονται μόνο αναερόβιοι μικροοργανισμοί.

Οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο περιβάλλον προέλευσης του κρέατος ή οι μικροοργανισμοί που μολύνουν το προϊόν κατά την σφαγή, την επεξεργασία και την αποθήκευσή του, αποτελούν την μικροχλωρίδα του νωπού κρέατος. Αυτή, αποτελείται κατά το πλείστον από Gram αρνητικά βακτήρια των γενών *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, είδη της οικογένειας *Enterobacteriaceae*, είδη των γενών *Micrococcus* και *Staphylococcus*, κ.ά. Ακόμη, σε μικρότερο πληθυσμό μπορεί να βρίσκονται βακτήρια των γενών *Bacillus*, *Enterococcus* και *Clostridium*, διάφορα γαλακτικά βακτήρια, καθώς και μύκητες και ζύμες (Κοτζεκίδου, 2009).

Η ύπαρξη παθογόνων μικροοργανισμών στο νωπό κρέας είναι εξαρτώμενη από τις συνθήκες υγιεινής του σφαγείου, το πόσο γρήγορα πραγματοποιείται η ψύξη κατευθείαν μετά την σφαγή και την θερμοκρασία στον χώρο σφαγής και αποστέωσης. Παραδείγματα παθογόνων μικροοργανισμών που μπορεί να βρίσκονται στο νωπό κρέας και οφείλονται σε μόλυνση από τον εντερικό σωλήνα των ζώων, αποτελούν η *Salmonella*, το *Clostridium perfringens*, ο *Staphylococcus aureus* και τα παθογόνα στελέχη της *Escherichia coli*. (Jay et al, 2005).

### 2.1.2. Κιμάς

Ο κιμάς αποτελεί ένα προϊόν κρέατος με μικροβιακό φορτίο υψηλότερο από τα τεμάχια κρέατος, γεγονός που οφείλεται στα ακόλουθα αίτια:

- 1) Η ανάπτυξη των αερόβιων βακτηρίων, τα οποία σε χαμηλότερες θερμοκρασίες οδηγούν στην αλλοίωση του κιμά, ευνοείται από την μεγαλύτερη επιφάνειά του.
- 2) Σημαντική οδός μόλυνσης θεωρούνται και τα μηχανήματα κοπής του κιμά, τα οποία τον μολύνουν με εντερόκοκκους, σταφυλόκοκκους, κολοβακτηριοειδή και μικρόκοκκους.
- 3) Το μικροβιακό του φορτίο έχει σχέση ανάλογη με την περιεκτικότητά του σε λίπος, δηλαδή όσο η περιεκτικότητα αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και το φορτίο.
- 4) Ακόμη, το μικροβιακό φορτίο του κιμά θεωρείται πως είναι 10 με 100 φορές υψηλότερο από τα αυτοτελή κομμάτια κρέατος από τα οποία έχει προέλθει.

Η μικροχλωρίδα του κιμά που μόλις έχει παραχθεί, αποτελείται κυρίως από γαλακτοβάκιλλους, ψευδομονάδες, μικρόκοκκους και βακτήρια της οικογένειας Enterobacteriaceae και η ολική αερόβια μικροχλωρίδα στους 22°C είναι μικρότερη από 10<sup>6</sup>/g. Επιπλέον, το *Clostridium perfringens* αποτελεί τον βασικότερο παθογόνο μικροοργανισμό που βρίσκεται στον κιμά, με πληθυσμό συνήθως χαμηλότερο από 10<sup>2</sup>/g. Μπορεί το φορτίο της οικογένειας Enterobacteriaceae να είναι υψηλό, ωστόσο στον κιμά δεν απαντώνται συνήθως σαλμονέλες. Σε περίπτωση που βρεθούν σαλμονέλες στον κιμά, το γεγονός αυτό οφείλεται σε επιμόλυνση από άλλο προϊόν μετά την θερμική επεξεργασία ή σε ανεπαρκή θερμική επεξεργασία. Τέλος, βακτήρια των γενών *Alcaligenes*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Moraxella* και *Psychrobacter* αποτελούν τους βασικότερους μικροοργανισμούς που οδηγούν τον κιμά σε αλλοίωση και συμβάλλουν στην αύξηση της τιμής του pH του, καθώς κατά την διαδικασία ανάπτυξής τους σχηματίζονται αμίνες (Jay et al, 2005).

### 2.1.3. Πουλερικά

Στα νωπά πουλερικά η μικροχλωρίδα αποτελείται κατά το πλείστο από βακτήρια των γενών *Campylobacter*, *Listeria*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Vagococcus*, *Acinetobacter* και από κάποιες ζύμες των γενών *Rhodotorula* και *Candida*. Επίσης, κατά την διαδικασία ψύξης των σφαγίων, πραγματοποιείται σημαντική ελάττωση του πληθυσμού των βακτηρίων της οικογένειας Enterobacteriaceae, που είναι υπεύθυνα για την μόλυνση των σφαγίων κατά την διαδικασία απεντέρωσης (Κοτζεκίδου, 2009).

Ο εντερικός σωλήνας των πουλερικών αποτελεί τον βασικότερο βιότοπο των σαλμονελλών, των οποίων η κυριότερη πηγή μετάδοσής τους στον άνθρωπο είναι τα πουλερικά. Ακόμη, η μετάδοση των σαλμονελλών στα πουλερικά συμβαίνει μέσω των πτηνοτροφών, η μόλυνση των οποίων μπορεί να οφείλεται σε ανθρώπους, ζώα και έντομα. Στα πουλερικά, επιπλέον, μπορεί να βρίσκονται και διάφοροι άλλοι μικροοργανισμοί, όπως ο *Staphylococcus aureus*, το *Clostridium perfringens*, η *Escherichia coli* και τα κολοβακτηριοειδή (Κοτζεκίδου, 2009).

Η αλλοίωση των νωπών πουλερικών, που η αποθήκευσή τους γίνεται σε θερμοκρασίες ψύξης, οφείλεται πρωτίστως σε ψυχρότροφα βακτήρια των γενών *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* και *Corynebacterium* και δευτερευόντως σε βακτήρια και ζύμες της οικογένειας *Enterobacteriaceae*. Κατά την αλλοίωση των πουλερικών, εμφανίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως μια γλοιώδης ουσία στην επιφάνεια των σφαγίων, καθώς και όξινη οσμή από την εντερική κοιλότητα, γεγονός που οφείλεται στην ανάπτυξη των προαναφερθέντων βακτηρίων και των εντεροκόκκων (Jay et al, 2005).

Κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμό της επιφανειακής αλλοίωσης των σφαγίων των πουλερικών, είναι η απαλλαγή ή η ύπαρξη ελάχιστων μικροοργανισμών στο εσωτερικό των ιστών των πουλερικών και η ανάπτυξη των μικροοργανισμών αυτών δεν ευνοείται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι, επιτυγχάνεται ο περιορισμός των υπεύθυνων, για την αλλοίωση των πουλερικών, μικροοργανισμών στην επιφάνεια. Όταν, ωστόσο, στην επιφάνεια των πουλερικών επικρατούν συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας, τότε ευνοείται η ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων, όπως είναι για παράδειγμα οι ψευδομονάδες. Οι αερόβιοι αυτοί μικροοργανισμοί συμβάλλουν στην δημιουργία μικροσκοπικών αποικιών, η ένωση των οποίων οδηγεί στην χαρακτηριστική ουσία που σχηματίζεται όταν τα πουλερικά αλλοιώνονται (Jay et al, 2005).

Όσον αφορά τις δυσάρεστες οσμές, αυτές εμφανίζονται πριν από τον σχηματισμό της γλοιώδους ουσίας, υπεύθυνοι μικροοργανισμοί στα πουλερικά είναι κυρίως οι ψευδομονάδες, βακτήρια των γενών *Moraxella* και *Acinetobacter*, καθώς και το είδος *Shewanella putrefaciens*. Η ανάπτυξη του τελευταίου ευνοείται ιδιαίτερα σε θερμοκρασία 5° C και η ύπαρξη δυσάρεστων οσμών, που οφείλονται στην παραγωγή μεθυλομερκαπτάνης, διμεθυλοσουλφιδίου και H<sub>2</sub>S, έρχεται μέσα σε 7 ημέρες (Jay et al, 2005).

## **2.2 Βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών**

### **2.2.1. Χρόνος**

Κάποια βακτήρια, σε περίπτωση που επικρατούν άριστες συνθήκες για την ανάπτυξή τους, μπορούν να αναπαράγονται σε 15-20'. Από την μεριά τους οι περισσότερες ζύμες αναπαράγονται σε μεγαλύτερο χρόνο 2-4 ώρες. Όσον αφορά την καμπύλη ανάπτυξης των βακτηρίων, μεγαλύτερη διάρκεια έχουν η φάση προσαρμογής και η φάση λογαριθμικής ανάπτυξης. Τελικό στάδιο αποτελεί η φάση της θνησιμότητας, όπου τα κύτταρα σταδιακά πεθαίνουν και πρέπει να γίνει η μεταφορά τους σε ένα καινούργιο πιο ευνοϊκό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κατανάλωση, από τα βακτήρια, των θρεπτικών συστατικών που υπήρχαν στο περιβάλλον, καθώς και στα τοξικά προϊόντα που δημιουργούνται από τον μεταβολισμό των βακτηρίων. Η διάρκεια της διαδικασίας αυτής ποικίλλει και μπορεί να είναι το λιγότερο 48-72 ώρες και πιο σπάνια αρκετές εβδομάδες. (ICMSF, 1980).

### 2.2.2. Θερμοκρασία

Ο ρόλος της θερμοκρασίας για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών αποτελεί καίριας σημασίας. Από αυτήν εξαρτάται τόσο η ικανότητα ανάπτυξης, όσο και η ικανότητα επιβίωσης των μικροοργανισμών. Πολλοί παράγοντες επηρεάζονται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όπως είναι το μέγεθος του κυττάρου, οι απαιτήσεις θρεπτικών συστατικών, τα προϊόντα τα οποία παράγονται από τον μεταβολισμό που μπορεί να είναι τοξίνες και χρωστικές, διάφορες ενζυματικές αντιδράσεις και η χημική σύνθεση των κυττάρων. (ICMSF, 1980).

Η ανάπτυξη του κάθε μικροοργανισμού εξαρτάται από μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή θερμοκρασίας, όπου εκτός αυτού του εύρους θερμοκρασιών, η ανάπτυξη δεν είναι εφικτή. Ακόμη, υπάρχει μια τιμή, στην οποία η ανάπτυξη επιτυγχάνεται με γρήγορο ρυθμό και ονομάζεται άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης. Σύμφωνα με το εύρος θερμοκρασιών ανάπτυξης, υπάρχει μια διάκριση μεταξύ των μικροοργανισμών σε ψυχρόφιλους, ψυχρότροφους, μεσόφιλους και θερμόφιλους. (Κοτζεκίδου, 2009).

**Πίνακας 2.1** Θερμοκρασία ανάπτυξης των βακτηρίων (ICMSF, 1980).

| Ομάδα μικροοργανισμών | Ελάχιστη  | Άριστη | Μέγιστη |
|-----------------------|-----------|--------|---------|
| Ψυχρόφιλοι            | -5 έως +5 | 12-18  | 20      |
| Ψυχρότροφοι           | -5 έως +5 | 20-30  | 35      |
| Μεσόφιλοι             | 10        | 30-40  | 45      |
| Θερμόφιλοι            | 45        | 50-60  | >70     |

Σε γενικές γραμμές, όταν η θερμοκρασία παρουσιάζει τιμές αρκετά μικρότερες από την άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης, παρατηρείται επιβίωση και μικρός ρυθμός ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Αντίθετα, όταν η τιμή της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από την άριστη, παρατηρείται, κατά το πλείστον, δραστική ελάττωση του ρυθμού ανάπτυξης. Η μέγιστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι τις περισσότερες φορές μερικούς βαθμούς Κελσίου, συγκεκριμένα 3-10°C, υψηλότερη από την άριστη. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει αυτήν την μέγιστη τιμή, εντοπίζεται αναστολή της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και πραγματοποιείται η καταστροφή των κυττάρων τους. Επιπλέον, όταν η θερμοκρασία φτάνει κοντά στην ελάχιστη τιμή ανάπτυξης,

παρατηρείται, επίσης, μια σταδιακή μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών (Κοτζεκίδου, 2009).

### 2.2.3. Υγρασία και τιμή ενεργότητας νερού $a_w$

Είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη των μικροοργανισμών εξαρτάται από την παρουσία νερού στο τρόφιμο. Ωστόσο, η ανάπτυξή τους δεν είναι δυνατή ούτε στο χημικώς καθαρό νερό, ούτε απουσία νερού. Το νερό αποτελεί τον πιο αποτελεσματικό διαλύτη κι έχει σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση αντιδράσεων μέσα στο κύτταρο. Ακόμη, υπάρχει σε μεγάλη αναλογία μέσα στο κύτταρο, διευκολύνοντας την είσοδο διαλυτών θρεπτικών συστατικών. Το νερό είναι χρήσιμο για τους μικροοργανισμούς, όμως, μόνο σε υγρή, καθώς δεν είναι διαθέσιμο γι' αυτούς σε κρυσταλλική μορφή πάγου και όταν υφίσταται η χημική του δέσμευση σε πυκνά διαλύματα σακχάρων ή αλάτων (ICMSF, 1980).

Ο όρος ενεργότητα νερού αναφέρεται στην διαθέσιμη για τους μικροοργανισμούς ποσότητα νερού, με σκοπό να λάβουν χώρα οι μεταβολικές τους λειτουργίες στα τρόφιμα, όπως στο κρέας ή σε ένα διάλυμα. Επίσης, δεν υπάρχει βακτήριο, ζύμη ή μύκητας, του οποίου η ανάπτυξη να μπορεί συμβεί σε καθαρό νερό, δηλαδή σε ενεργότητα νερού 1,0, διότι δεν υπάρχουν σ' αυτό θρεπτικά συστατικά (Κοτζεκίδου, 2009).

**Πίνακας 2.2** Ελάχιστες τιμές  $a_w$  για την ανάπτυξη των βασικότερων μικροοργανισμών που απαντώνται στο κρέας (ICMSF, 1980).

| Βακτήρια                        | Ελάχιστη τιμή $a_w$ |
|---------------------------------|---------------------|
| <i>Clostridium perfringens</i>  | 0,95                |
| Enterobacteriaceae              | 0,93                |
| <i>Escherichia coli</i> O157:H7 | 0,95                |
| <i>Listeria monocytogenes</i>   | 0,92                |
| <i>Pseudomonas</i> spp.         | 0,96                |
| <i>Salmonella</i> spp.          | 0,94                |

|                       |      |
|-----------------------|------|
| Staphylococcus aureus | 0,86 |
|-----------------------|------|

#### 2.2.4. pH

Όλοι οι μικροοργανισμοί έχουν μια μέγιστη, μια ελάχιστη και μια άριστη τιμή pH, όπου αναπτύσσονται. Τα βακτήρια σε σύγκριση με τους μύκητες και τις ζύμες, είναι λιγότερο ανθεκτικά σε όξινες συνθήκες. Επιπλέον, η πλειοψηφία των τροφίμων έχουν ουδέτερο ή όξινο pH. Στα τρόφιμα με pH μικρότερο από 4,5, αλλοιώσεις προκαλούν κυρίως οι ζύμες και οι μύκητες και όχι τόσο εύκολα τα βακτήρια. Τα πιο πολλά βακτήρια αναπτύσσονται σε ουδέτερο pH, ενώ αυτά που παράγουν οξέα ευνοούνται σε συνθήκες με χαμηλή οξύτητα και τα πρωτεολυτικά βακτήρια ευνοούνται σε ουδέτερο ή pH μεγαλύτερο του 7,0. (ICMSF, 1980).

**Πίνακας 2.3** Ελάχιστη τιμή pH για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που απαντώνται στο κρέας (Κοτζεκίδου, 2009).

| Βακτήρια                 | Ελάχιστη τιμή pH |
|--------------------------|------------------|
| Clostridium perfringens  | 5,0              |
| Escherichia coli O157:H7 | 4,5              |
| Listeria monocytogenes   | 4,1              |
| Pseudomonas spp.         | 5,0              |
| Salmonella spp.          | 4,0              |
| Staphylococcus aureus    | 4,0              |

### 2.2.5. Οξυγόνο και οξειδοαναγωγικό δυναμικό

Το είδος των μικροοργανισμών, οι οποίοι αναπτύσσονται στα τρόφιμα και οι μεταβολές που προκαλούν σε αυτά, εξαρτάται και από το οξυγόνο και το οξειδοαναγωγικό δυναμικό του προϊόντος. Κατά την διαδικασία αποικοδόμησης των οργανικών ή ανόργανων ενώσεων, με τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν, πραγματοποιείται η παροχή ενέργειας σε όλους τους μικροοργανισμούς. Συγκεκριμένα, λαμβάνει χώρα η οξείδωση της πηγής ενέργειας και η αναγωγή μίας άλλης ένωσης. Ο ορισμός του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Eh) είναι ο εξής: «οξειδοαναγωγικό δυναμικό η τάση ενός αμφίδρομου συστήματος να παίρνει ή να δίνει ηλεκτρόνια» και η μονάδα μέτρησής του είναι σε mV. Οι τιμές Eh των οξειδωτικών ενώσεων είναι θετικές, ενώ οι τιμές των αναγωγικών ενώσεων είναι αρνητικές (ICMSF, 1980).

Στο κρέας, βασικότερες αναγωγικές ενώσεις αποτελούν οι σουλφυδριλικές ομάδες. Το είδος των μικροοργανισμών που θα αναπτυχθούν, εξαρτάται από την συγκέντρωση αυτών των οξειδωτικών/αναγωγικών ουσιών που βρίσκονται στο κάθε τρόφιμο (Κοτζεκίδου, 2009).

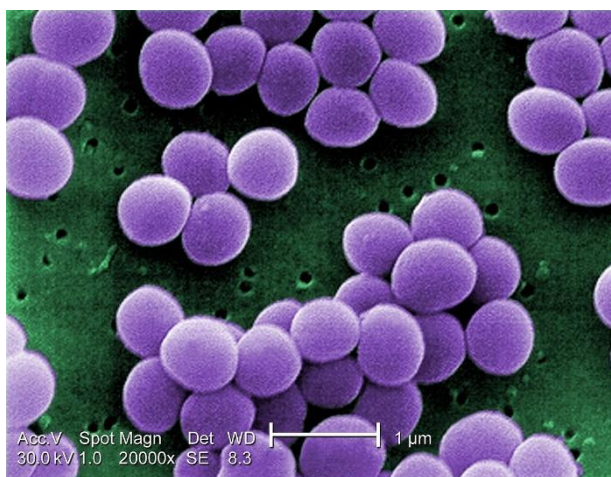
Κατά την διαδικασία ανάπτυξης των μικροοργανισμών, παρατηρείται στο περιβάλλον ανάπτυξής τους, μεταβολή στο οξειδοαναγωγικό δυναμικό, κάτι που συμβαίνει επίσης και στο pH. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού Eh από τους αερόβιους μικροοργανισμούς και όχι από τους αναερόβιους. Αυτό συμβαίνει, διότι κατά την ανάπτυξη των αερόβιων μικροοργανισμών, η συγκέντρωση του O<sub>2</sub> του υποστρώματος ελαττώνεται και συνεπώς ελαττώνεται και το Eh. Ωστόσο, η ελάττωση του Eh δεν σημαίνει και την ελάττωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροοργανισμών. Αυτό συμβαίνει καθώς τα κύτταρα έχουν την ικανότητα να αφομοιώνουν ενώσεις δέκτες-υδρογόνου ή δότες-οξυγόνου, κάτι που οδηγεί στην αύξηση της συγκέντρωσης των αναγωγικών ενώσεων και την μείωση της συγκέντρωσης των οξειδωτικών ενώσεων του υποστρώματος. Ακόμη, κατά την ελάττωση του Eh σχηματίζονται και κάποιοι δευτερεύοντες μεταβολίτες των μικροοργανισμών αυτών, όπως για παράδειγμα το H<sub>2</sub>S, που οδηγεί στην ελάττωση του Eh μέχρι την τιμή -300mV. Μεγάλη συγκέντρωση H<sub>2</sub>S στο υπόστρωμα εμφανίζεται σε αναερόβιες συνθήκες, καθώς λαμβάνει χώρα η αντίδραση του H<sub>2</sub>S με το O<sub>2</sub> (ICMSF, 1980).

Τα αυστηρά αερόβια βακτήρια, όπως είναι οι ψευδομονάδες, οι μικρόκοκκοι, γένη του *Bacillus subtilis*, κ.ά., κατά την αναπνοή χρησιμοποιούν το O<sub>2</sub> ως τελικό δέκτη ηλεκτρονίων. Μόνο εφόσον υπάρχει πολύ διαθέσιμο οξυγόνο, θεωρούνται καίριο κομμάτι της μικροχλωρίδας ενός τροφίμου, κάτι που συμβαίνει στην επιφάνειά του όταν αυτό αποθηκεύεται και εκτίθεται σε ατμοσφαιρικό αέρα. Επίσης, τα προαιρετικά αναερόβια βακτήρια, όπως είναι βακτήρια των γενών *Enterobacter*, *Lactobacillus*, κ.ά. έχουν την δυνατότητα χρήσης του O<sub>2</sub> ως τελικό δέκτη ηλεκτρονίων, όμως όταν το διαθέσιμο οξυγόνο δεν είναι αρκετό, οδηγούνται στην χρήση υψηλού αριθμού ιόντων, οι οποίοι είναι δέκτες ηλεκτρονίων. Τέλος, τα αυστηρά αναερόβια βακτήρια, όπως είναι αυτά του γένους *Clostridium*, έχουν την δυνατότητα ανάπτυξης ή μόνο απουσία οξυγόνου ή μόνο σε χαμηλές τιμές Eh. Γι' αυτό αναπτύσσονται και αλλοιώνουν κυρίως τρόφιμα συσκευασμένα σε κενό, καθώς και κονσερβοποιημένα τρόφιμα (Κοτζεκίδου, 2009).

## 2.3. Κυριότεροι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στο κρέας και προκαλούν τροφικές δηλητηριάσεις

### 2.3.1. *Staphylococcus aureus*

Η πλειονότητα των στελεχών του *S. aureus* έχουν την δυνατότητα παραγωγής εντεροτοξινών, με σημαντικότερη την εντεροτοξίνη κοαγκουλάση, είναι προαιρετικά αναερόβια, όμως η ανάπτυξή τους είναι ευνοϊκότερη σε αερόβιο περιβάλλον παρά σε αναερόβιο. Το σύνολο των στελεχών του *S. aureus*, τα οποία παράγουν κοαγκουλάση, δεν είναι τοξιγενή (Jay et al, 2005).



**Εικόνα 1:** *Staphylococcus aureus* (Κοτζεκίδου, 2009)

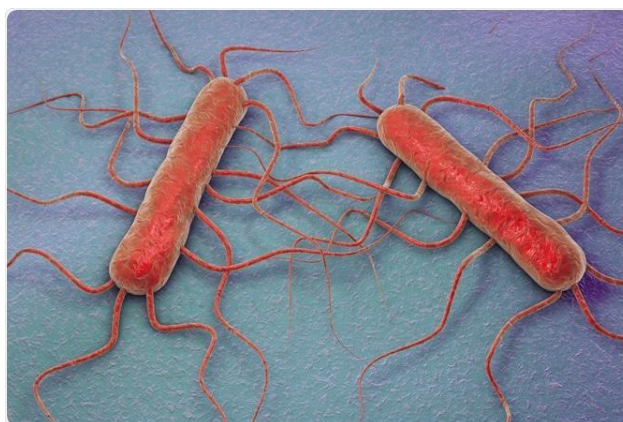
Όσον αφορά τον παράγοντα θερμοκρασία, η ανάπτυξη του *S. aureus* πραγματοποιείται από 7° C ως 48° C, με την παραγωγή εντεροτοξίνης να είναι δυνατή σε θερμοκρασίες από 10° C ως 46° C και άριστη θερμοκρασία παραγωγής της, από 40-45° C. Ο ρυθμός παραγωγής της εντεροτοξίνης μπορεί να ελαττωθεί με την μείωση της θερμοκρασίας ανάπτυξης του μικροοργανισμού. Επιπρόσθετα, οι τιμές pH, στις οποίες είναι δυνατή η ανάπτυξη του *S. aureus*, κυμαίνονται από 4,0 έως 9,8, με άριστη να είναι η τιμή 6,0-7,0. Σε αερόβιες συνθήκες σε σχέση με αναερόβιες, η απαιτούμενη ελάχιστη τιμή pH για την ανάπτυξη του *S. aureus* είναι μικρότερη, όπως για παράδειγμα στο κρέας όπου σε αερόβιο περιβάλλον η ελάχιστη τιμή pH είναι 4,8, ενώ σε αναερόβιο η αντίστοιχη τιμή είναι 5,5. Για τα πιο πολλά στελέχη του *S. aureus* είναι δυνατή η ανάπτυξή τους σε συγκέντρωση NaCl 10%, αλλά κάποια άλλα στελέχη μπορούν να αναπτυχθούν και σε μεγαλύτερη συγκέντρωση 20%. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση NaCl, τόσο αυξάνεται και η ελάχιστη τιμή pH ανάπτυξης του *S. aureus*. Ακόμη, σημαντικό ρόλο παίζει και η ενεργότητα νερού  $a_w$ , όπου η ελάχιστη τιμή ανάπτυξης του συγκεκριμένου μικροοργανισμού είναι 0,86 σε αερόβιες συνθήκες και 0,90 σε αναερόβιες. Επιπλέον, ο *S. aureus* ως προς τα νιτρώδη άλατα εμφανίζει ανθεκτικότητα. Η μείωση του ρυθμού ανάπτυξής του και ο σχηματισμός τοξίνης μπορούν να επιτευχθούν με συνδυασμό αύξησης της ποσότητας των νιτρώδων, μείωσης της τιμής pH του προϊόντος κρέατος και αύξησης της ποσότητας οξυγόνου του περιβάλλοντος. Σημαντικό είναι, επίσης, το

γεγονός ότι σε προϊόντα με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, όπως είναι το κρέας και τα προϊόντα του, παρατηρείται επιτάχυνση της παραγωγής τοξίνης (Jay et al, 2005).

Γενικά, ο *S. aureus* μπορεί να βρεθεί στον αέρα, το γάλα, σε απόβλητα, το νερό, όμως ο φυσικός βιότοπός του είναι η ρινική κοιλότητα, ο εντερικός σωλήνας και το δέρμα ζώων και ανθρώπων. Ακόμη, δεν προκαλεί ορατές μεταβολές με το μάτι στην εμφάνιση ή την οσμή του προϊόντος. Κάποια τρόφιμα που δύναται να προκαλέσουν τροφολοξίνωση από *S. aureus*, είναι το κρέας και τα προϊόντα του, τα πουλκερικά, το γάλα, τα ψάρια, κ.ά. Τα συμπτώματα που εμφανίζονται από προσβολή με *S. aureus* είναι ναυτία, εμετός, σιελόρροια, διάρροια και κράμπες, ενώ στις περισσότερες των περιπτώσεων παρατηρείται υποθερμία (Jay et al, 2005).

### 2.3.2. *Listeria monocytogenes*

Η *Listeria monocytogenes* αποτελεί ένα Gram θετικό βακτήριο σε σχήμα ραβδίου, το οποίο δεν σχηματίζει σπόρια. Το εύρος θερμοκρασιών στο οποίο αναπτύσσεται είναι 1-45°C, με άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης από 30°C έως 37°C. Επίσης, αναπτύσσεται σε pH από 4,1 έως 9,6, με άριστη τιμή pH για την ανάπτυξη του βακτηρίου να είναι 6-8. Η ελάχιστη τιμή του για την ανάπτυξη της *Listeria monocytogenes*, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η σύνθεση του θρεπτικού υποστρώματος, η ενεργότητα νερού  $a_w$ , η θερμοκρασία επώασης του μικροοργανισμού και την συγκέντρωση άλατος (Doyle et al, 2007).



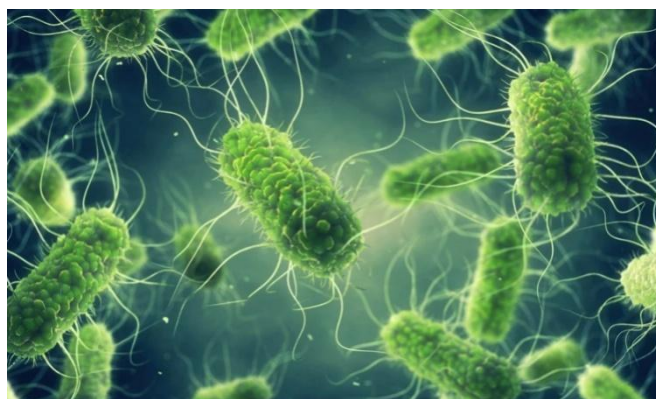
**Εικόνα 2:** *Listeria monocytogenes* (Κοτζεκίδου, 2009)

Όσον αφορά την ανθεκτικότητα του βακτηρίου στην θερμοκρασία, οι D-τιμές του βακτηρίου στο κρέας είναι χαμηλές. Για παράδειγμα, σε θερμοκρασία 70°C στο βοδινό κρέας και τα πουλκερικά, η D-τιμή κυμαίνεται από 6,6 ως 8,4 δευτερόλεπτα. Ακόμη, στην κρεατόπαστα, η χρήση της οποίας γίνεται για την παραγωγή αλλαντικών, η αντίστοιχη D-τιμή στους 62° C είναι 61 δευτερόλεπτα. Με την επιπλέον προσθήκη συστατικών αλλαντοποίησης, η τιμή D αυξάνεται στα 7,1 δευτερόλεπτα, κάτι που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το NaCl, τα νιτρώδη, η λακτόζη και η γλυκόζη συμβάλλουν στην προστασία των κυττάρων της *Listeria*. (Doyle et al, 2007).

Η *Listeria monocytogenes* στη φύση βρίσκεται στα φυτά, το νερό, το έδαφος, τα κόπρανα ζώων, κ.ά. Τρόφιμα στα οποία έχει εντοπιστεί το βακτήριο είναι το χοιρινό κρέας, τα πουλερικά, ο κιμάς και διάφορα άλλα τρόφιμα όπως ψάρια και γάλα. Αναφερόμενοι στην δημόσια υγεία, η εμφάνιση λιστερίωσης είναι σπανιότερη σε υγιείς ενήλικες, αλλά κυρίως εμφανίζεται σε νεογνώντα, ηλικιωμένους και άτομα σε ανοσοκαταστολή, με ποσοστό θνησιμότητας 20-30%. Τα συμπτώματα της λιστερίωσης είναι παρόμοια με αυτά της μηνιγγίτιδας και μερικές φορές επιπλέον υπάρχει εμετός, πυρετός, κοιλιακοί πόνοι και διάρροια. (Κοτζεκίδου, 2009).

### 2.3.3. Salmonella

Το γένος της *Salmonella* ανήκει στην οικογένεια *Enterobacteriaceae* και διακρίνονται περισσότεροι από 2.541 ορότυποι. Σήμερα, θεωρείται ότι υπάρχουν 2 είδη *Salmonella*, η *S. enterica* και η *S. bongori*, τα οποία περιλαμβάνουν πολλούς ορότυπους. Το βακτήριο της *Salmonella* είναι Gram αρνητικό, αερόβιο ή προαιρετικά αναερόβιο με σχήμα ραβδίου, παρουσιάζει κινητικότητα, χωρίς να σχηματίζει σπόρια, ενώ εμφανίζει μικρή θερμοανθεκτικότητα. Οι βασικοί ορότυποι που προκαλούν τροφικές δηλητηριάσεις είναι η *S. Typhimurium*, *S. Enteritidis*, *S. Infantis*, κ.ά. (Jay et al, 2005).



**Εικόνα 3:** Βακτήριο της *Salmonella* (Κοτζεκίδου, 2009)

Περνώντας στους παράγοντες που παίζουν ρόλο στην ανάπτυξη του βακτηρίου αυτού, αρχικά η θερμοκρασία ανάπτυξής του, κυμαίνεται από 2-45°C, με άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης τους 37°C. Ακόμη, το pH κυμαίνεται από 4,5 ως 9,5, με άριστη τιμή pH να είναι 6,5 με 7,5. Επίσης, η συγκέντρωση NaCl επηρεάζει την ανάπτυξη της *Salmonella*, όπου παρατηρείται αναστολή σε συγκέντρωση 3-4%. Με την αύξηση της θερμοκρασίας όμως, από τους 10°C σε 30°C, η ανθεκτικότητα της *Salmonella* στο NaCl παρουσιάζει αύξηση. Η αύξηση της ανθεκτικότητάς της στο NaCl παρατηρείται, επιπλέον, σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας ή συσκευασίες κενού. Όσον αφορά την ενεργότητα νερού, η *Salmonella* αναπτύσσεται ταχύτατα σε  $a_w$  0,995, ενώ η ανάπτυξη ελαττώνεται σημαντικά σε  $a_w$  < 0,99. Ακόμη, σε  $a_w$  < 0,93 και σε pH 7,0, παρατηρείται αναστολή της ανάπτυξης του βακτηρίου (Jay et al, 2005).

Πηγή της *Salmonella* αποτελεί το πεπτικό σύστημα ψυχρόαιμων και θερμόαιμων ζώων. Η μετάδοσή της στα τρόφιμα και το νερό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των κοπράνων, μέσω επαφής από άλλα άτομα ή ζώα, ενώ οι μύγες και τα τρωκτικά έχουν

καίριο ρόλο στην μετάδοση της *Salmonella* στα τρόφιμα. Τα τρόφιμα κυρίως που προκαλούν σαλμονέλωση είναι το κρέας, τα πουλερικά καθώς και αυγά. Το κρέας μολύνεται εφόσον ύστερα από την επεξεργασία του υπάρξει επιπλέον μόλυνση από άλλα νωπά σφάγια διατηρημένα για αρκετό χρόνο εκτός ψύξης ή μόλυνση από το προσωπικό. Σε άλλα ζυμούμενα αλλαντικά, λουκάνικα και μπέικον, υπάρχει δυνατότητα μόλυνσης εφόσον λάβει χώρα η διατήρησή τους για υψηλό χρονικό διάστημα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όσον αφορά τους ασθενείς, η εμφάνιση των συμπτωμάτων ύστερα από τροφολοίμωση, γίνεται μετά από 12 με 14 ώρες από την λήψη του προϊόντος και παρουσιάζεται ως εμετός, ναυτία, κοιλιακοί πόνοι και διάρροια. Το ποσοστό θνησιμότητας είναι αρκετά χαμηλό 4,1%, αλλά είναι αυξημένο σε νεογνότητα της τάξης του 5,8% και στους ενήλικες άνω των 50 είναι 21%. (Jay et al, 2005).

#### 2.3.4. *Escherichia coli*

Ως προς τον ορολογικό τους τύπο, γίνεται η κατηγοριοποίηση των στελεχών της *Escherichia coli* σε εντεροπαθογόνα, εντεροτοξικογόνα, εντεροδιεισδυτικά, εντεροπροσκολλητικά, εντεροσυσσωρευτικά και εντεροαιμορραγικά. Το πιο γνωστό εντεροαιμορραγικό στέλεχος είναι το *E. coli* O157:H7, που προκαλεί κρούσματα αιμορραγικής κολίτιδας (Doyle et al, 2007).



**Εικόνα 4:** *Escherichia coli* O157:H7 (Κοτζεκίδου, 2009)

Το συγκεκριμένο στέλεχος, βρισκόμενο σε όξινες συνθήκες, είναι ικανό να αναπτύσσει μηχανισμούς αντοχής στο όξινο στρες και να επιβιώνει ακόμα και σε συνθήκες ψύξης. Η ελάχιστη τιμή pH, στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί είναι 4,0-4,5 και γενικά σε όξινο περιβάλλον, αρκετά υψηλός αριθμός του πληθυσμού του βακτηρίου μπορεί να επιβιώσει. Για παράδειγμα, σε ζυμούμενα αλλαντικά με pH 4,5 είναι δυνατή η επιβίωσή του στους 4°C μέχρι και για 2 μήνες (Doyle et al, 2007).

Ένα βασικό τρόφιμο που δύναται να προκαλέσει τροφική δηλητηρίαση από *E. coli* O157:H7, είναι ο βοδινός κιμάς, στον οποίο δεν έχει γίνει σωστή επεξεργασία, με αποτέλεσμα να προκαλέσει στον άνθρωπο ποικίλα συμπτώματα, όπως διάρροια, αιμορραγική κολίτιδα και αιμολυτικό ουρεμικό σύνδρομο. Πιο ευάλωτη ηλικιακή

ομάδα σε τροφική δηλητηρίαση από *E. coli* O157:H7, είναι τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι (Κοτζεκίδου, 2009).

### 2.3.5. *Clostridium Perfringens*

Το *Clostridium perfringens* αποτελεί Gram θετικό βακτήριο με σχήμα ραβδίου, στου οποίου το άκρο σχηματίζει σπόρια. Είναι αναερόβιος μικροοργανισμός χωρίς την παρουσία κινητικότητας. Οι βασικοί ορολογικοί τύποι που διακρίνονται είναι 5 και η διάκριση αυτή πραγματοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά των τοξινών που παράγουν (Jay et al, 2005).



Εικόνα 5: *Clostridium perfringens* (Κοτζεκίδου, 2009)

Όσον αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του βακτηρίου και τον σχηματισμό των σπορίων του, αρχικά, η θερμοκρασία ευνοεί την ανάπτυξη σε εύρος από 20 έως 50°C, οπότε αποτελεί έναν μεσόφιλο μικροοργανισμό. Η άριστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι από 37 ως 40°C και ο μέγιστος αριθμός σπορίων σχηματίζεται σε 24 ώρες. Ακόμη, για το pH, η ανάπτυξη είναι γρήγορη και ευνοϊκή σε εύρος pH 5,5-8,0, ενώ η ανάπτυξη δεν πραγματοποιείται σε pH υψηλότερο από 8,5 και χαμηλότερο από 5,0. Επιπλέον, όταν η συγκέντρωση αλατιού είναι της τάξης του 5%, συμβαίνει αναστολή της ανάπτυξης του βακτηρίου. Επίσης, η ελάχιστη τιμή της ενεργότητας νερού, που συμβάλλει στην ανάπτυξη του *Clostridium perfringens* είναι 0,97, όταν η ρύθμιση της  $a_w$  γίνεται με σακχαρόζη, και 0,95 όταν γίνεται με NaCl (Jay et al, 2005).

Γενικά, βρίσκεται στον εντερικό σωλήνα των ζώων και του ανθρώπου, καθώς και στο έδαφος. Η μόλυνση των τροφίμων πραγματοποιείται μέσω σκόνης, εδάφους, κοπράνων ζώων, μηχανημάτων επεξεργασίας και προσωπικού. Τρόφιμα που μπορούν να προκαλέσουν τροφική δηλητηρίαση από *Clostridium perfringens* είναι το κρέας, τα κρεατοσκευάσματα, τα πουλερικά, κ.ά. Η τροφολοίμωξη είναι δυνατόν να συμβεί μετά την λήψη τροφίμου, στο οποίο έχει υπάρξει μόλυνση με σπόρια ή βλαστικά κύτταρα εντεροτοξιγενών και το οποίο έχει διατηρηθεί σε ευνοϊκές θερμοκρασίες για την

ανάπτυξη μεγάλου αριθμού βλαστικών κυττάρων. Όσον αφορά τα συμπτώματα από την λοίμωξη αυτή, είναι η διάρροια, η ναυτία, ο πυρετός, οι κοιλιακοί πόνοι και ο εμετός (Jay et al, 2005).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΨΥΧΡΟ ΠΛΑΣΜΑ

Επειδή οι καταναλωτές απαιτούν υψηλής ποιότητας και ασφαλή τρόφιμα, η βιομηχανία τροφίμων τείνει να διερευνήσει εναλλακτικές μεθόδους συντήρησης και να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους επεξεργασίας των τροφίμων (Pignata et al., 2017). Μεταξύ των νέων, μη θερμικών τεχνολογιών επεξεργασίας τροφίμων είναι η μέθοδος ψυχρού πλάσματος. Το ψυχρό πλάσμα παράγεται, όταν μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας εφαρμόζεται σε ένα αέριο, με αποτέλεσμα την παραγωγή πολλών αντιδρώντων ειδών όπως υπερϊώδη φωτόνια, φορτισμένα σωματίδια, ρίζες και άλλα δραστικά είδη αζώτου, οξυγόνου και υδρογόνου. Το ψυχρό πλάσμα έχει βρεθεί αποτελεσματικό για να αδρανοποιεί τα ένζυμα και τους μικροοργανισμούς και απομακρύνει τις τοξίνες ή τις ενώσεις φυτοφαρμάκων στα τρόφιμα (Varilla et al., 2020).

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσία της εφαρμογής ψυχρού πλάσματος στο κρέας και η αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας αυτής στην ποιότητά του.

### 3.1. Τι είναι το πλάσμα;

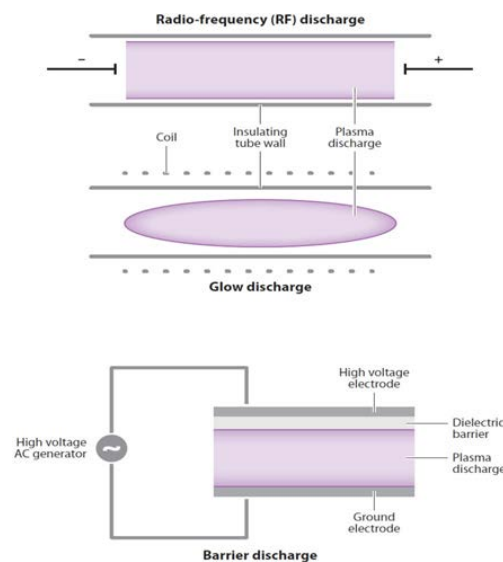
Το πλάσμα χαρακτηρίζεται ως η 4<sup>η</sup> κατάσταση της ύλης. Το ψυχρό πλάσμα αποτελείται από μερικώς ή πλήρως ιονισμένα αέρια, που περιέχουν αντιδραστικά χημικά είδη, όπως ιόντα, ηλεκτρόνια, ουδέτερα μόρια, άτομα και φορτισμένα είδη (Pignata et al., 2017). Γενικά, υπάρχουν 2 τύποι πλάσματος: το θερμικό (πλάσμα ισορροπίας) και το ψυχρό. Το θερμικό πλάσμα περιέχει αντιδραστικά είδη, τα οποία σχηματίζονται σε περιβάλλοντα ή αέρια που έχουν υποστεί θέρμανση από λίγες χιλιάδες έως περισσότερα από 10.000 K. Ακόμη, τα αντιδραστικά ηλεκτρόνια και τα βαρύτερα είδη βρίσκονται τις περισσότερες φορές σε κατάσταση μη ισορροπίας και οι θερμοκρασίες των ηλεκτρονίων που δημιουργούνται είναι μεγαλύτερες από τις θερμοκρασίες βαρύτερων ειδών φορτισμένων και ουδέτερων ιόντων. Ωστόσο, στην τεχνολογία τροφίμων έχει αρνητικές επιδράσεις, λόγω της θερμότητας που παράγεται κατά την παραγωγή του (Dave et al., 2019).

Από την άλλη, το ψυχρό πλάσμα (CP) διακρίνεται για τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες των ελαφρών ηλεκτρονίων συγκριτικά με τα βαριά άτομα και μόρια, που συχνά παραμένουν κοντά στη θερμοκρασία δωματίου. Το CP παράγει μεγάλη ποσότητα ενέργειας σε χαμηλές θερμοκρασίες, σχηματίζοντας διεγερμένα είδη σε μια ηλεκτρική εκκένωση, που δημιουργεί εξαιρετικά διεγερμένα είδη για αδρανοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών. Το ψυχρό πλάσμα παράγεται σε πίεση 1 atm και η θερμοκρασία των ηλεκτρονίων κυμαίνεται από 1 έως 10 eV. Όσον αφορά την τεχνολογία τροφίμων, είναι κατάλληλο για την απολύμανση, διότι δεν περιλαμβάνονται έντονες παράμετροι στο σύστημα (Varilla et al., 2020).

Γενικά, υπάρχουν 3 βασικοί τύποι συστημάτων εκκένωσης ψυχρού πλάσματος:

- 1<sup>ος</sup> τύπος: το πλάσμα εκκένωσης μη θερμικής λάμψης, η παραγωγή του οποίου γίνεται με την εφαρμογή τάσης μεταξύ δύο ηλεκτροδίων σε έναν γυάλινο σωλήνα, μέσα στον οποίο βρίσκεται ένα αέριο χαμηλής πίεσης.
- 2<sup>ος</sup> τύπος: παραγωγή ψυχρού πλάσματος στο κέντρο ενός ηλεκτρικού πηνίου, μέσω μιας εκφόρτισης ραδιοσυχνότητας, χρησιμοποιώντας παλμικό ηλεκτρισμό.
- 3<sup>ος</sup> τύπος: παραγωγή πλάσματος, δημιουργώντας την ροή ρεύματος με την χρήση ενός μονωτικού υλικού μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Το φράγμα εκκένωσης είναι ισχυρά ικανό για την αδρανοποίηση μικροοργανισμών σε φρέσκα συσκευασμένα τρόφιμα, όπου είναι δυνατή η δημιουργία δραστικών ειδών αζώτου (RNS) και οξυγόνου (ROS) κατευθείαν στο εσωτερικό σφραγισμένων συσκευασιών



**Σχήμα 1.** Διαγράμματα τριών βασικών τύπων πλάσματος: Πάνω—εκφόρτιση ραδιοσυχνότητας, μεσαία—εκφόρτιση λάμψης, κάτω—εκφόρτιση φραγμού. Οι μοβ χρωματισμένες ζώνες είναι ψυχρή εκκένωση πλάσματος (Varilla et al., 2020).

Το CP αποτελεί μια πολύ εύχρηστη τεχνολογία στην βιομηχανία τροφίμων, λόγω της χαμηλής του θερμοχωρητικότητας, του πλήθους των εφαρμογών του και το σημαντικότερο λόγω της οικονομικής αποδοτικότητας στην παραγωγή. Η τεχνολογία του ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος συμβάλλει στην απενεργοποίηση των παθογόνων που βρίσκονται στα τρόφιμα, χωρίς ή με ελάχιστη θερμική διαταραχή των τροφίμων. Αυτό πραγματοποιείται με τρεις τρόπους:

- 1) Αντιδράσεις μεταξύ χημικών ενώσεων αντιδραστικών ριζών, μορίων και σωματιδίων με θετικό ή αρνητικό φορτίο και μικροβίων.
- 2) Καταστροφή των δομικών λειτουργιών των κυττάρων και των μεμβρανών των μικροοργανισμών με την χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας.
- 3) Διάσπαση του στόχου δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA) με χρήση υπεριώδους (UV) ακτινοβολίας, η εκπομπή της οποίας γίνεται με τον ανασυνδυασμό ειδών πλάσματος.

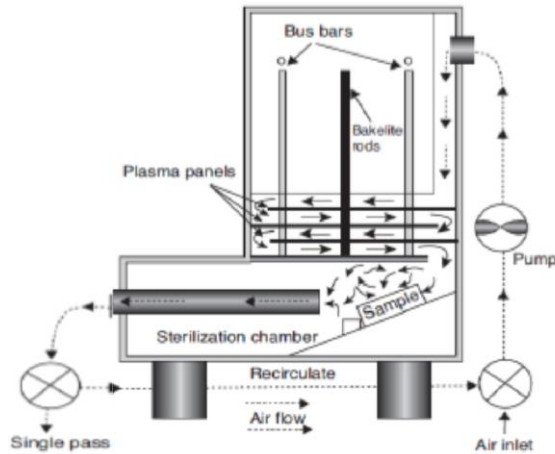
Η αποτελεσματικότητα της αδρανοποίησης μικροβίων με ψυχρό πλάσμα είναι άμεσα εξαρτώμενη από αυτούς τους 3 τρόπους δράσης και μπορεί να γίνει βέλτιστη για συγκεκριμένα προϊόντα διατροφής. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης των τροφίμων με την τεχνολογία ψυχρού πλάσματος εξαρτάται από κάποιους βασικούς παράγοντες, όπως η φυσική δομή του τροφίμου, η περιεκτικότητά του σε λίπος και πρωτεΐνες, η δραστηριότητα του νερού τόσο στο περιβάλλον όσο και στο σύστημα, το φορτίο μικροοργανισμών και οι ιδιότητες σχηματισμού σπορίων (Varilla et al., 2020).

### **3.2. Σχεδίαση τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος**

Η λειτουργία του ψυχρού πλάσματος πραγματοποιείται σε μερικό κενό ή σε ατμοσφαιρική πίεση. Διάφορα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ψυχρού πλάσματος, όπως το άζωτο, το οξυγόνο, καθώς και συνδυασμός μιγμάτων ευγενών αερίων όπως το αργό, το ήλιο και το νέον. Το συνεχές ρεύμα, η χαμηλή ραδιοσυχνότητα και η τάση ραδιοσυχνότητας παράγουν υψηλή ενέργεια στο ψυχρό πλάσμα, η οποία εφαρμόζεται κατά το πλείστον σε ένα ζεύγος ή πολλαπλά ηλεκτρόνια. Για την αποστείρωση των τροφίμων, η αντιμικροβιακή αποτελεσματικότητα του ψυχρού πλάσματος εξαρτάται από την αλληλεπίδραση παραγόμενου πλάσματος-επιφάνειας στόχου. Διακρίνονται 3 κατηγορίες εφαρμογής, που στηρίζονται στον τρόπο τοποθέτησης της πηγής πλάσματος και της επιφάνειας στόχου και οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- 1) Επεξεργασία εξ' αποστάσεως
- 2) Άμεση επεξεργασία
- 3) Στενή εγγύτητα με ένα απ' τα ηλεκτρόδια

Στην 1<sup>η</sup> κατηγορία, δηλαδή την επεξεργασία εξ αποστάσεως, η τοποθέτηση του προϊόντος το οποίο θα επεξεργαστεί με πλάσμα, δεν γίνεται άμεσα στον θάλαμο παραγωγής πλάσματος. Πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας αποτελούν η απλότητα στον σχεδιασμό της και η ευελιξία του φυσικού σχήματος και του μεγέθους του προϊόντος-στόχου. Το ιονιζόμενο αέριο δύναται να είναι άζωτο, αέρας ή μίγμα ευγενών αερίων με ηλεκτρισμό, λέιζερ ή φούρνο μικροκυμάτων. Από την άλλη, μειονέκτημα της κατηγορίας αυτής αποτελεί η αλληλεπίδραση των αντιδραστικών ειδών, τα οποία σχηματίζονται στον θάλαμο παραγωγής πλάσματος, με άλλα είδη πλάσματος όπως φορτισμένα σωματίδια και είδη φωτονίων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε χαμηλότερη δευτερογενή ενέργεια και άρα το δυναμικό για την μικροβιακή αδρανοποίηση δεν είναι τόσο ισχυρό (Ben Gardi et al., 2000).



**Εικόνα 6:** Γεννήτρια πλάσματος απομακρυσμένης έκθεσης (Varilla et al., 2020).

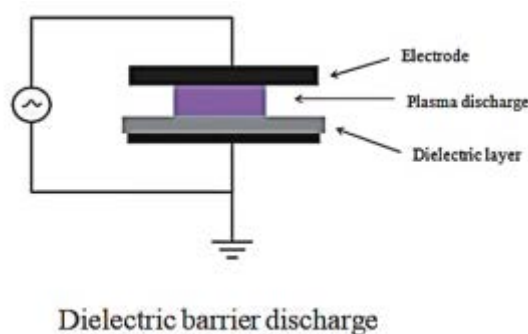
Στην 2<sup>η</sup> κατηγορία, δηλαδή την άμεση επεξεργασία, το προϊόν-στόχος έρχεται σε άμεση επαφή με το πλάσμα που παράγεται. Το τροφοδοτούμενο αέριο είναι κυρίως ήλιο με 0,3 λίτρα/λεπτό και η ραδιοσυχνότητα με συνολική κατανάλωση ισχύος 20mW ως 3W, εξαρτώμενη από τις παραμέτρους επεξεργασίας. Η αποτελεσματικότητα της κατηγορίας αυτής ως προς την μικροβιακή αδρανοποίηση είναι πολύ υψηλότερη, κάτι που οφείλεται στην άμεση επαφή με το προϊόν-στόχο. Επίσης, στην 2<sup>η</sup> αυτή κατηγορία συμβαίνει η αποφυγή ή η ελαχιστοποίηση του ανασυνδυασμού των δημιουργούμενων δραστικών ειδών με άλλα άτομα ή ιόντα. Γενικά, στο σύστημα υπάρχει ευελιξία και μπορεί να γίνει η επεξεργασία προϊόντων διαφόρων σχημάτων και μεγεθών. Ακόμη, σε προϊόντα που περιέχουν υψηλή υγρασία ή ενεργότητα νερού, είναι δυνατή η παραγωγή θερμότητας μέσω αγωγιμότητας, λόγω της εγγύτητας του προϊόντος-στόχου με την υψηλή έκθεση της δημιουργημένης υπεριώδους ακτινοβολίας. Ωστόσο, δεν συνίσταται η επεξεργασία κάποιων προϊόντων κρέατος με αυτό το σύστημα, διότι έχει αρνητικές συνέπειες στην επιφάνειά τους, όπως σημάδια από πήξη πρωτεϊνών και αλλοίωση θρεπτικών συστατικών (Niemira et al., 2011).

Στην τρίτη κατηγορία, τα προϊόντα που υπόκεινται σε επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα έρχονται σε πολύ στενή επαφή με ένα από τα ηλεκτρόδια. Τα συγκεκριμένα προϊόντα εκτίθενται στον μέγιστο δυνατό συνδυασμό ειδών πλάσματος, που περιλαμβάνει υψηλή συγκέντρωση ελεύθερων μοριακών ειδών, αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, αντιδραστικά φορτισμένα σωματίδια, καθώς και ακτινοβολία UV. Είναι ζωτικής σημασίας η σωστή επιλογή των παραμέτρων του πλάσματος, οι οποίες πρέπει να είναι κατάλληλες για το σχήμα και το μέγεθος των προς επεξεργασία προϊόντων. Παρά τους φυσικούς περιορισμούς στο χώρο μεταξύ των ηλεκτροδίων, πλεονέκτημα αποτελεί η ευελιξία στην προσαρμογή των παραμέτρων σχεδίασης των ηλεκτροδίων και της σύνθεσης του αερίου εισόδου. Αυτή η κατηγορία είναι ιδανική για μικρά τρόφιμα, όπως σπόροι και ξηροί καρποί, καθώς και για επίπεδα προϊόντα, όπως το στήθος κοτόπουλου (Ben Gardi et al., 2000).

### 3.3. Μέθοδοι παραγωγής ψυχρού πλάσματος

#### 3.3.1. Εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού

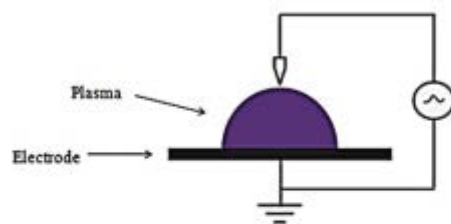
Στην μέθοδο αυτήν γίνεται χρήση μιας διηλεκτρικής ουσίας, η οποία βρίσκεται περίξ 2 επίπεδων μεταλλικών ηλεκτροδίων, τα οποία αποτελούν εμπόδιο στην δημιουργία σπινθήρων και στα ηλεκτρικά ρεύματα. Οποιοδήποτε ουδέτερο αέριο ή συνδυασμός αδρανούς αερίου, σε έναν κλειστό θάλαμο-στόχο, κινείται μέσω 2 ηλεκτροδίων, πραγματοποιείται ο ιονισμός του και σχηματίζονται προϊόντα πλάσματος. Το ένα ηλεκτρόδιο είναι συνδεδεμένο με το έδαφος, ενώ το άλλο με ένα κύκλωμα υψηλής τάσης. Η λειτουργία της εκκένωσης συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος μη ισορροπίας γίνεται τις περισσότερες φορές σε μία μεγάλο εύρος συχνοτήτων αερίου από 0,05 έως 500 kHz και η ενέργεια που είναι απαραίτητη για την λειτουργία κυμαίνεται από 10 έως 100 W. Επιπλέον, η απόδοση της εκκένωσης διηλεκτρικού φραγμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η τάση λειτουργίας, το χρησιμοποιούμενο αέριο και η απόσταση που υπάρχει μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού αποτελεί την καλύτερη πηγή πλάσματος για μεγάλες επιφάνειες (Harikrishna et al., 2023).



**Εικόνα 7:** Εκκένωση διηλεκτρικού φραγμού (Harikrishna et al., 2023).

#### 3.3.2. Πλάσμα εκκένωσης κορώνας

Στην διαδικασία αυτήν, ο σχηματισμός του πλάσματος πραγματοποιείται με μία μεταβαλλόμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε πίεση ατμόσφαιρας. Η εκκένωση κορώνας δημιουργείται κατά μήκος λεπτών συρμάτων ή σε αιχμηρές άκρες. Σε ένα αρκετά μη ομοιόμορφο ηλεκτρικό πεδίο, σε περίπτωση που η ισχύς διάσπασης ξεπεραστεί από τα αέρια, τότε σχηματίζεται ασθενώς ιονισμένο πλάσμα με κάποια φωτεινότητα. Η δημιουργία του συστήματος εκκένωσης κορώνας μπορεί να πραγματοποιηθεί από μία απλή συσκευή, χωρίς ιδιαίτερη πολυπλοκότητα και συνεπώς η διαδικασία είναι οικονομική ως προς το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επηρεάζεται μόνο μια ελάχιστη περιοχή κι επίσης υπάρχει και ανισότητα στην επιφάνεια εφαρμογής της. Τέλος, το πλάσμα εκκένωσης κορώνας πιστεύεται ότι είναι η καλύτερη μέθοδος με στόχο την αποστείρωση των τροφίμων. (Harikrishna et al., 2023).

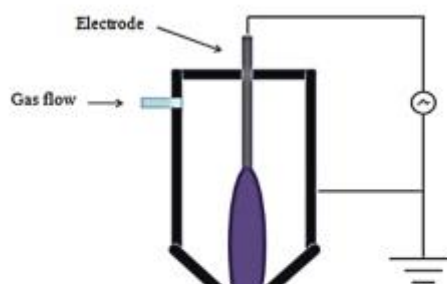


Corona discharge

**Εικόνα 8:** Πλάσμα εκκένωσης κορώνας (Harikrishna et al., 2023).

### 3.3.3. Εκκένωση δέσμης πλάσματος

Στην συγκεκριμένη μέθοδο η ροή του φέροντος αερίου γίνεται με διάφορες ταχύτητες, μέσω 2 παράλληλων ηλεκτροδίων. Ακόμη, γίνεται χρήση ραδιοσυχνοτήτων με σκοπό την δημιουργία πιδάκων πλάσματος ή φλογών σε ατμοσφαιρικές πιέσεις. Η έξοδος των διεγερμένων ειδών πραγματοποιείται μέσω μιας μικροσκοπικής βαλβίδας ή μιας οπής που βρίσκεται κοντά στον ακροδέκτη του ηλεκτροδίου, κάτι που συμβαίνει χάρη στην βοήθεια του φέροντος αερίου, το οποίο συνήθως είναι αργό ή ήλιο, που έχουν μεγάλο ρυθμό ροής. Πλεονέκτημα του συστήματος πίδακα πλάσματος αποτελεί η άμεση εφαρμογή του και η χρήση του μεταξύ επιφανειών. Ωστόσο, η χρήση του είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους για την ροή του αερίου (Harikrishna et al., 2023).



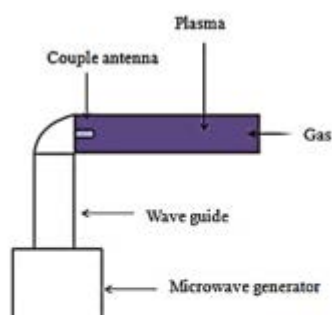
Jet plasma

**Εικόνα 9:** Εκκένωση δέσμης πλάσματος (Harikrishna et al., 2023).

### 3.3.4. Εκκένωση πλάσματος μικροκυμάτων

Οι εκκενώσεις πλάσματος μικροκυμάτων δημιουργούνται από ένα magnetron και πραγματοποιούνται χάρις ένα υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Επιπλέον,

λαμβάνει χώρα η ταλάντωση ηλεκτρονίων από την ακτινοβολία των μικροκυμάτων και δημιουργούνται ιόντα, τα οποία αλληλεπιδρούν με αέρια μόρια και άτομα. Έτσι, το πλάσμα μικροκυμάτων έχει αυξημένο επίπεδο ηλεκτρισμού. Πλεονέκτημα της διαδικασίας αυτής είναι ότι η ρύθμιση των εκκενώσεων που οδηγούνται από μικροκύματα γίνεται δίχως την χρήση ηλεκτροδίων. Από την άλλη, μειονέκτημα αποτελεί ο περιορισμένος χώρος και η απολύμανση των μεγάλων περιοχών πρέπει να γίνεται απευθείας με μια ποικιλία εκκενώσεων. Η εφαρμογή αυτού του συστήματος γίνεται κατά το πλείστο σε επεξεργασίες με υψηλές θερμοκρασίες (Harikrishna et al., 2023).



Microwave discharge

**Εικόνα 10:** Εκκένωση πλάσματος μικροκυμάτων (Harikrishna et al., 2023).

### 3.4. Τρόπος δράσης και χρήση στην μικροβιολογική ασφάλεια τροφίμων

Τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου ROS αποτελούν τα βασικά ενεργά συστατικά για την αντιμικροβιακή δράση των συστημάτων του ψυχρού πλάσματος. Έχει αναφερθεί ότι ο σχηματισμός ROS εντός των κυττάρων των μικροοργανισμών, συμβάλλει στην αποτελεσματική αδρανοποίησή τους και ιδιαίτερα εναντίον του *Staphylococcus aureus*. Γενικά, βρέθηκε ότι μεταξύ της αδρανοποίησης των βακτηρίων που προκαλούν αλλοίωση και της δημιουργίας αντιδραστικών ειδών οξυγόνου υπάρχει μία αρνητική σχέση. Επιπλέον, όταν οι μικροοργανισμοί υφίστανται έκθεση σε υψηλά επίπεδα υπεριώδους ακτινοβολίας, η υπεριώδης ακτινοβολία αποτελεί το κύριο μέσο αποστείρωσης. Η τεχνολογία ψυχρού πλάσματος, επίσης, παράγει είδη αζώτου και υπεροξείδιο του υδρογόνου με αντιμικροβιακές ιδιότητες. Ακόμη, η παραγωγή των ελεύθερων ριζών, όπως είναι το υπεροξείδιο, το υδροξείδιο και τα οξείδια αζώτου, πραγματοποιείται στον αέρα από ηλεκτρικές κενώσεις. Όσον αφορά την αποστείρωση σε υγρά μέσα, καίριο ρόλο έχουν τα υδροξείδια, τα οποία δημιουργούνται από το ψυχρό πλάσμα με διαχωρισμό των μορίων νερού. Η παραγωγή ρίζας υδροξειδίου από το πλάσμα φαίνεται στις ακόλουθες εξισώσεις:

- $O + H_2O \rightarrow 2OH$
- $H_2O + O_3 \rightarrow O_2 + 2OH$
- $H_2O + e \rightarrow OH + H + e$

Το ψυχρό πλάσμα έχει σημαντικές ικανότητες απολύμανσης και χρησιμοποιώντας έναν αρκετά ισχυρό συνδυασμό αυτών των αντιδρώντων ειδών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αδρανοποίηση και θανάτωση των βακτηρίων, με την καταστροφή των επιφανειών τους. (Varilla et al., 2020).

Η τεχνολογία ψυχρού πλάσματος παίζει σημαντικό ρόλο και είναι αποτελεσματική για την αδρανοποίηση παθογόνων βακτηρίων στην εξωτερική επιφάνεια φρέσκων τροφίμων. Για παράδειγμα στα ψάρια, μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική τεχνολογία για την ελάττωση των βακτηρίων που προκαλούν αλλοιώσεις, όπως είναι οι ψευδομονάδες, τα αερόβια ψυχρότροφα βακτήρια και τα βακτήρια γαλακτικού οξέος. Επιπλέον, στα λιπαρά ψάρια η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα οδήγησε στην ελάττωση του πληθυσμού βακτηρίων και για την αδρανοποίηση αυτή των βακτηρίων, καίριοι παράμετροι ήταν ο χρόνος και η τάση του πλάσματος. Το αρνητικό της συγκεκριμένης περίπτωσης είναι ότι με το CP επιταχύνθηκε η διαδικασία οξείδωσης των λιπιδίων. (Albertos et al., 2017).

Ακόμη, η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα δύναται να είναι αποτελεσματική και σε διάφορα φυτικά προϊόντα, καταστρέφοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Σε μία έρευνα πάνω στο μαρούλι Romaine, το οποίο είχε ενοφθαλμιστεί με *E. coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* και *ιό Tulane*, μετά την επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα DBD, παρατηρήθηκε αναστολή των μικροοργανισμών και συγκεκριμένα μείωση 1,1 log CFU για το *E. Coli* O157: H7, μείωση 1,0 log CFU για την *L. Monocytogenes* και μείωση 1,3 log CFU για τον *ιό Tulane*. Επιπρόσθετα, σε μία άλλη μελέτη σε φύτρα από ραπανάκι, εντοπίστηκε ότι η εφαρμογή ψυχρού πλάσματος μπορεί να συμβάλει στην αδρανοποίηση της *Salmonella Typhimurium*, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθεί αλλοίωση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Επίσης, σε έρευνα πάνω στο ραδίκι, βρέθηκε ότι ο συνδυασμός δραστικών ουσιών στην επιφάνειά του, γαλακτικού οξέος και επεξεργασία με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα είχε σημαντική βακτηριοκτόνο δράση, χωρίς αρνητικές συνέπειες στην γεύση, την οσμή, το χρώμα και την ποιότητα του προϊόντος. (Varilla et al., 2020).

Η αποστείρωση με ψυχρό πλάσμα είναι αποτελεσματική, όπως έχει αποδειχθεί από διάφορες μελέτες, και στο κρέας. Σε πείραμα που έγινε σε μηρό κοτόπουλου με δέρμα και σε στήθος κοτόπουλου χωρίς δέρμα, τα οποία επεξεργάστηκαν με πλάσμα DBD, παρατηρήθηκε μείωση των μικροοργανισμών *Salmonella enterica* και *Campylobacter jejuni*, κατά 1,3 έως 1,8 log CFU στο μηρό κοτόπουλου και σχεδόν 2,5 log CFU στο στήθος κοτόπουλου. Σημαντική ελάττωση της μικροχλωρίδας παρατηρήθηκε και στα δύο δείγματα κοτόπουλου, ακόμη και ύστερα από επεξεργασία για μόλις 30 δευτερόλεπτα. (Dirks et al., 2012).

Σε ένα άλλη μελέτη (Varilla et al., 2020) που έγινε σε ωμό χοιρινό κρέας μελετήθηκε η εφαρμογή ψυχρού πλάσματος στις οργανοληπτικές ιδιότητες και την αδρανοποίηση των παθογόνων, ύστερα από χρήση πλάσματος εκκένωσης διηλεκτρικού φραγμού. Τα αέρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν  $He$  και  $He + O_2$  και ο χρόνος εφαρμογής ήταν 5 και 10 λεπτά. Ύστερα από 10 λεπτά επεξεργασίας με πλάσμα και τα αέρια  $He$  και  $He + O_2$ ,

ο πληθυσμός *E. Coli* ελαττώθηκε σε 0,55 log CFU/g και ο πληθυσμός της *L. Monocytogenes* σε 0,59 log CFU/g. Όσον αφορά το χρώμα, δεν υπήρξαν ιδιαίτερες αλλαγές, ωστόσο το pH του χοιρινού κρέατος μειώθηκε σημαντικά. Επιπλέον, στα δείγματα που υπέστησαν θεραπεία με πλάσμα, εντοπίστηκαν σημαντικές μειώσεις στις παραμέτρους της αισθητηριακής ποιότητας.

Σε μία ακόμη έρευνα (Harikrishna et al., 2023) πάνω σε βοδινό κρέας, μελετήθηκε η αδρανοποίηση του *S. aureus* με την επεξεργασία πλάσματος ατμοσφαιρικής πίεσης με ραδιοσυχνότητες (RF), καθώς και οι επιπτώσεις στις φυσικοχημικές ιδιότητές του. Το αέριο εισόδου που χρησιμοποιήθηκε ήταν το αργό και η εφαρμογή πλάσματος πραγματοποιήθηκε για 10 λεπτά στους 30°C. Ο πληθυσμός του *S. aureus* ελαττώθηκε κατά 3-4 log CFU/g δείγματος βοδινού κρέατος. Ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητες, στο χρώμα, την σύνθεση λιπαρών οξέων και , δεν υπήρξαν ουσιαστικές αλλαγές.

### **3.5. Ψυχρό πλάσμα εναντίον των ιών**

Οι ιοί εμφανίζουν την μεγαλύτερη ποικιλομορφία συγκριτικά με τα υπόλοιπα μικρόβια, καθώς η παρουσία τους στην Γη υφίσταται για δισεκατομμύρια χρόνια, κάτι που συνέβαλε στην προσαρμογή και ύπαρξή τους σε όλα τα οικοσυστήματα. Τα παθογόνα γένη των ιών είναι υπεύθυνα για πολυάριθμες μολύνσεις ανθρώπων, ζώων και φυτών ετησίως, με αποτέλεσμα περιπτώσεις νοσηλείας, πολλούς θανάτους και υψηλές απώλειες καλλιιεργειών. Για τον λόγο αυτόν, καίριας σημασίας είναι εύρεση λύσεων για την απενεργοποίηση των επιβλαβών αυτών ιών (Filipić et al., 2020).

Η μετάδοση των ιών μπορεί να λάβει χώρα άμεσα από ένα μολυσμένο άτομο σε κάποιο άλλο ή έμμεσα μέσω μολυσμένων επιφανειών, τροφίμων, αντικειμένων, μέσω του αέρα και του νερού. Ακόμη, βασική οδό μετάδοσης παθογόνων ιών στα τρόφιμα, αποτελεί το μολυσμένο νερό. Καθώς δεν είχε βρεθεί ακόμα η ιδανική μέθοδος απενεργοποίησης των ιών, η εμφάνιση της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος, που είναι φιλική προς το περιβάλλον, χωρίς την παραγωγή τοξικών αποβλήτων και υποπροϊόντων, την χρήση τοξικών χημικών ουσιών, είναι ασφαλής και εύκολη στην λειτουργία της και είχε ως κύριο στόχο την λύση στην απενεργοποίηση των ιών (Filipić et al., 2020).

#### **3.5.1. Είδη ιών**

##### **3.5.1.1. Εντερικοί ιοί**

Έχουν γίνει διάφορες έρευνες πάνω στην απενεργοποίηση ιών με την χρήση της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος, ωστόσο, καθεμία είναι ξεχωριστή, αφού είτε γίνεται χρήση συγκεκριμένης πηγής πλάσματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά, είτε γίνεται επεξεργασία διαφορετικών ιών. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν μελέτες ψυχρού πλάσματος εναντίον ανθρώπινων εντερικών ιών, όπως ο αδενοϊός, νοροϊός και ο ιός της ηπατίτιδας Α, που αποτελούν βασικοί παράγοντες της οξείας γαστρεντερίτιδας, της 2<sup>ης</sup> συχνότερης λοιμώδους νόσου παγκοσμίως, που είναι υπεύθυνη για μεγάλα ποσοστά νοσηλείας και θνησιμότητας. Ωστόσο, η έρευνα σε ανθρώπινους ιούς στα τρόφιμα

είναι συνήθως μια δύσκολο διαδικασία. Συνεπώς, υπάρχει έλλειψη μεθόδων καλλιέργειας και έτσι, για τις μελέτες πραγματοποιείται αντικατάσταση των ιών αυτών από άλλους υποκατάστατους ιούς (Filipić et al., 2020).

Ως υποκατάστατα του νοροϊού, εξαιτίας του παρόμοιου μεγέθους, της μορφολογίας και του γενετικού υλικού, καθώς και της εύκολης καλλιέργειας τους με ασφάλεια, έχει γίνει χρήση κάποιων υποκατάστατων ζωικών ιών, όπως ο murine norovirus (MNV), feline calicivirus (FCV) και ο ιός Tulane (TV). Επίσης, ως υποκατάστατα εντερικών ιών και άλλων ανθρώπινων παθογόνων μπορεί να γίνει η χρήση βακτηριοφάγων. Γενικά, υπάρχει επιτυχία στην αντιμετώπιση των εντερικών ιών και των υποκατάστατών τους σε υδατικά διαλύματα και άλλα υγρά μέσα, και έχει αποδειχθεί ότι ένα συγκεκριμένο υποκατάστατο ιού, συγκριτικά με τον εντερικό ιό-στόχο, μπορεί να απενεργοποιηθεί πιο αποτελεσματικά. Αυτό το γεγονός σηματοδοτεί την προσοχή που πρέπει να υπάρχει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, καθώς οι επιδράσεις της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος μπορεί να διαφέρουν ανάμεσα στα υποκατάστατα και τους αντίστοιχους εντερικούς ιούς (Filipić et al., 2020).

Γενικά, ο νοροϊός αποτελεί ίσως τον πιο προβληματικό εντερικό ιό κι έτσι έγινε διερεύνηση πάνω στην αδρανοποίησή του σε σχέση με τον καλικοϊό των αιλουροειδών (FCV) ως υποκατάστατο, όπου χρησιμοποιήθηκε ψυχρό πλάσμα για αραιωμένα δείγματα κοπράνων, πάνω σε επιφάνεια φύλλων μαρουλιού και ανοξείδωτο χάλυβα. Εντοπίστηκε, λοιπόν, ύστερα από 5 λεπτά επεξεργασίας με ψυχρό πλάσμα DBD, ελάττωση περίπου 2,6 λογαριθμικών μονάδων αντιγράφων γονιδίων και στις 2 επιφάνειες. Λόγω του γεγονότος ότι υπήρχε σχεδόν ίδια επίδραση στον νοροϊό και τον FCV από την επεξεργασία ψυχρού πλάσματος, ο FVC ίσως μπορεί να είναι κατάλληλο υποκατάστατο. Ακόμη, ο καλικοϊός των αιλουροειδών (FCV) ως υποκατάστατο αδρανοποιήθηκε με την χρήση ενός πλάσματος DBD σε γυάλινη επιφάνεια, αποδεικνύοντας ότι κι αυτή η συσκευή είναι ικανή για την απενεργοποίηση των εντερικών ιών σε ποικίλες επιφάνειες. Αντιθέτως, δεν απέδωσε το ίδιο όταν πραγματοποιήθηκε αδρανοποίηση του αδενοϊού σε μια γυάλινη επιφάνεια, χρησιμοποιώντας μια παλμική πηγή υψηλής τάσης, η οποία διατηρούσε το πλάσμα. Επιπλέον, ίσως το πιο πετυχημένο πείραμα που έγινε για την απενεργοποίηση εντερικών ιών σε υγρό μέσο, πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή πλάσματος FVC με χρήση πίδακα πλάσματος για 15 δευτερόλεπτα. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι το ψυχρό πλάσμα DBD έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για επεξεργασία σε συσκευασμένα τρόφιμα, κάτι που στην αδρανοποίηση ιών μη συσκευασμένων τροφίμων δεν έχει το αντίστοιχο επιθυμητό αποτέλεσμα (Filipić et al., 2020).

### **3.5.1.2. Αναπνευστικοί ιοί**

Η αντιμετώπιση των αναπνευστικών ιών γρίπης A και B, καθώς και του respiratory syncytial virus (RSV), έχει λάβει χώρα μόνο με την παλμική πηγή ψυχρού πλάσματος υψηλής τάσης. Στα βρέφη, ο ιός RSV αποτελεί την βασικότερη αιτία πρόκλησης λοιμώξεων του κατώτερου αναπνευστικού συστήματος και στην παιδιατρική είναι από τους κυριότερους ιούς, λόγω της έμμεσης και εύκολης εξάπλωσής του μέσω μολυσμένων επιφανειών. Μπορεί η επεξεργασία ύστερα από 5 λεπτά με ψυχρό πλάσμα να οδήγησε στην πλήρη αδρανοποίηση του RSV σε γυάλινη επιφάνεια, ωστόσο η

μέθοδος είναι αποτελεσματική μόνο για την απολύμανση μικρότερων αντικειμένων, όπως εργαλεία. Έτσι, πέρα από την απολύμανση επιφανειών, είναι ανάγκη, με την ανάλογη τεχνική, να γίνεται και η επεξεργασία του αέρα. (Filipić et al., 2020).

### **3.5.1.3. Ιός HIV**

Μεγάλη πρόκληση για την δημόσια υγεία αποτελεί ο ιός HIV, που είναι πολύ σημαντικό σεξουαλικά μεταδιδόμενο παθογόνο. Με την εφαρμογή τριών βολών από πίδακα πλάσματος για 45 δευτερόλεπτα σε μακροφάγα πριν την μόλυνση με HIV, επιτεύχθηκε ελάττωση της δραστηριότητας του ιού περισσότερο από 67%. Ωστόσο, σε μία άλλη έρευνα παρατηρήθηκε μεγαλύτερη κυτταροτοξικότητα των επεξεργασμένων κυττάρων με ελαττωμένη συγκέντρωση του ιού. Όμως, η συγκεκριμένη μέθοδος ψυχρού πλάσματος βρίσκεται σε αρκετά πρώιμα στάδια και υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί για την εφαρμογή της στην πραγματική ζωή (Filipić et al., 2020).

### **3.5.1.4. Ιοί ζώων**

Η τεχνολογία του ψυχρού πλάσματος έχει αξιοποιηθεί για την αντιμετώπιση τριών σημαντικών ιών των ζώων, συμπεριλαμβανομένων του ιού της νόσου του Newcastle (NDV), του ιού της γρίπης των πτηνών (AIV) και του ιού του αναπαραγωγικού και αναπνευστικού συνδρόμου των χοίρων (PRRSv). Αυτοί οι ιοί αποτελούν σοβαρή απειλή για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και την οικονομική σταθερότητα. Ορισμένα στελέχη του ιού της γρίπης των πτηνών (AIV) μπορούν να προκαλέσουν θνησιμότητα έως και 100% στα κοτόπουλα, ενώ ορισμένα στελέχη του ιού της νόσου του Newcastle (NDV) μπορούν να οδηγήσουν σε θνησιμότητα έως και 100% σε διάφορα είδη πτηνών. Η χρήση ψυχρού πλάσματος ως στάδιο αδρανοποίησης κατά την προετοιμασία εμβολίων για αυτούς τους ιούς έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματική, καθώς επιτρέπει την παραγωγή εμβολίων που είναι οικονομικά, προσφέρουν υψηλή ανοσολογική προστασία και μειώνουν τον κίνδυνο εμφάνισης ασθενειών. Η πλήρης αδρανοποίηση των ιών επιτεύχθηκε μετά από επεξεργασία με πίδακα πλάσματος διάρκειας δύο λεπτών. Επιπλέον, η χρήση των εμβολίων που προετοιμάστηκαν με αυτή τη μέθοδο οδήγησε σε επιτυχή παραγωγή ειδικών αντισωμάτων, με το εμβόλιο NDV να προκαλεί ακόμη υψηλότερους τίτλους αντισωμάτων σε σύγκριση με τα παραδοσιακά αδρανοποιημένα εμβόλια (Filipić et al., 2020).

Όσον αφορά το αναπνευστικό σύνδρομο των χοίρων (PRRSv), αποτελεί σημαντικό πρόβλημα στην βιομηχανία χοιρινού κρέατος από οικονομικής άποψης, καθώς η μετάδοση του γίνεται ως αερολύματα και η μολυσματικότητά του μπορεί να παραμείνει ακόμα και ύστερα από μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η τεχνολογία του ψυχρού πλάσματος δύναται να συμβάλλει και στην παρεμπόδιση της εξάπλωσης του ιού, καθώς και στην αδρανοποίηση της μολυσματικότητάς του, κάτι που γίνεται με φιλτράρισμα βάσει φορτίου και RONS, αντίστοιχα (Filipić et al., 2020).

### 3.5.2 Αντιδρώντα είδη αδρανοποίησης ιών

Στην αδρανοποίηση των ιών, βάσει ποικίλων ερευνών, συμβάλλουν τα αντιδραστικά είδη αζώτου (RNS) και τα αντιδραστικά είδη οξυγόνου (ROS), που αποτελούν το βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος. Από την άλλη, οι αλλαγές θερμοκρασίας και η ακτινοβολία UV έχουν ελάχιστη συνεισφορά στην απενεργοποίηση των ιών ή ακόμα και κανένα αποτέλεσμα. (Filipić et al., 2020).

Το σημαντικότερο ROS για την αδρανοποίηση του ιού FCV και του βακτηριοφάγου T4, έχει αποδειχθεί ότι είναι το μονήρες O<sub>2</sub>. Επιπρόσθετα, το O<sub>2</sub> οδηγεί στην οξειδωτική τροποποίηση των υπολειμμάτων ιστιδίνης και συμβάλλει στην μετατόπιση της μοριακής μάζας των υπολειμμάτων μεθειονίνης. Ακόμη, αντιδρά με την τρυπτοφάνη, την τυροσίνη και την κυστεΐνη και οξειδώνει την γουανίνη. Ως προς το όζον O<sub>3</sub>, βασικό ή δευτερεύοντα παράγοντα απενεργοποίησης του FCV, του αδενοϊού και του βακτηριοφάγου MS2. Επίσης, το υπεροξείδιο του υδρογόνου H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> έχει πρωτεύοντα ρόλο στην αδρανοποίηση του ιού της γρίπης A και του RSV, ενώ αποτελεί δευτερεύοντα παράγοντα στην απενεργοποίηση του PVY, του αδενοϊού και του FCV. Όσον αφορά τα RNS, τα βασικά είδη είναι τα ONOO-, τα NO<sub>x</sub> και τα ONOOH, ενώ θεωρείται ότι έχουν σημαντικό ρόλο στην αδρανοποίηση μόνο του ιού FCV (Filipić et al., 2020).

### 3.5.3 Τρόποι απενεργοποίησης ιών

Το αρχικό σημείο επαφής του ιού με τον ξενιστή αποτελεί το περίβλημα ή αλλιώς το ιικό καψίδιο και σημαντικό είναι, η εξωτερική δομή του ιού να είναι όσο πιο ανέπαφη γίνεται, με σκοπό την ουσιαστική αναγνώρισή του από τους κυτταρικούς υποδοχείς. Όταν γίνει η είσοδος του ιού στο κύτταρο-στόχο, αρχίζει η διαδικασία της αντιγραφής από το γονιδίωμα του ιού (Filipić et al., 2020).

Για τους βακτηριοφάγους λ, MS2 και T4 και για τους ιούς FCV και NDV, έχει γίνει λόγος για βλάβη της καψιδικής πρωτεΐνης και αποικοδόμηση του νουκλεϊκού οξέος. Για τον ιό της γρίπης A με περίβλημα, πέρα από την βλάβη στο νουκλεϊκό οξύ και στα καψίδια, έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στα λιπιδικά συστατικά από το φάκελο. Ο βασικός τρόπος απενεργοποίησης των FCV και του βακτηριοφάγου λ, αποτελεί η αποδόμηση των καψιδικών πρωτεϊνών. Για την έρευνα που έγινε στον ιό FCV, οι κύριοι στόχοι της οξείδωσης ψυχρού πλάσματος, περιλάμβαναν καθορισμένα αμινοξέα σε διάφορες περιοχές της καψιδικής πρωτεΐνης, τα οποία συμβάλλουν στην προσκόλληση του ιού και την είσοδό του στο κύτταρο-στόχο. Η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα είχε ως αποτέλεσμα την αποικοδόμηση νουκλεϊκού οξέος για τους ιούς PVY, FCV, TMV και για αδενοϊό. (Filipić et al., 2020).

Έτσι, η μεγάλη οξειδωτική ισχύς της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος μπορεί να επηρεάσει την δομική και γονιδιωματική σταθερότητα του ιού και συγκεκριμένα τις πρωτεΐνες και τα νουκλεϊκά οξέα. Με την καταστροφή αυτών, οι ιοί δεν καθίστανται πλέον μολυσματικοί, αφού για την αντιγραφή και την μετάφρασή τους, είναι αναγκαίο το γενετικό τους υλικό να είναι άθικτο. (Filipić et al., 2020).

### **3.6. Μειονεκτήματα και περιορισμοί της χρήσης της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος**

Αρχικά, πρόκληση αποτελούν οι αρνητικές συνέπειες της θεραπείας ψυχρού πλάσματος στα επεξεργασμένα τρόφιμα, ως προς τα διατροφικά και αισθητηριακά χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, τα δραστικά είδη οξυγόνου ROS συμβάλλουν στην επιτάχυνση της διαδικασίας οξειδωσης των λιπιδίων στον ιστό των κρεάτων και τα ψάρια, γεγονός που οδηγεί στην μη αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές και στην μείωση της διάρκειας ζωής λόγω οξειδωτικής τάγκισης και αποικοδόμησης των λιπιδίων. (Varilla et al., 2020).

Ακόμη, η τεχνολογία ψυχρού πλάσματος, ύστερα από εκτεταμένη επεξεργασία, επηρεάζει προϊόντα όπως είναι οι χυμοί, αφού οδηγεί στην αποικοδόμηση πολυμερισμένων ολισακχαριτών. Έτσι, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν επιπρόσθετες μελέτες για να κατανοηθεί καλύτερα ο μηχανισμός αποδόμησης των ολιγοσακχαριτών μέσω του ψυχρού πλάσματος. Τέλος, εφόσον η χρήση της θεραπείας ψυχρού πλάσματος αφορά τρόφιμα καθημερινής κατανάλωσης, όπως το κρέας, οφείλεται να κατανοηθεί καλύτερα μέσω ερευνών, και ο μηχανισμός οξειδωσης των λιπιδίων. (Varilla et al., 2020).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

### Εφαρμογές ψυχρού πλάσματος στο κρέας και τα προϊόντα του

#### 4.1. Εφαρμογές με σκοπό την αντιμικροβιακή δράση

##### 4.1.1. Συνδυασμός πλάσματος με οξικό οξύ εναντίον της *Salmonella Typhimurium*

Οι Kang et al. (2022) μελέτησαν την επίδραση αντιμικροβιακής δράσης του ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος (PAAA) για το βακτήριο *Salmonella Typhimurium* σε κρέας κοτόπουλου. Αρχικά, είναι γνωστό ότι το κοτόπουλο και τα προϊόντα του, λόγω των χαρακτηριστικών τους, παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία σε μόλυνση από τροφιμογενή παθογόνα βακτήρια, όπως η *Salmonella*, το *Campylobacter* και στελέχη *Escherichia coli*. Έτσι, η ουσιαστική αδρανοποίηση της *Salmonella spp.* και η ποιοτική διατήρηση του κρέατος κοτόπουλου, αποτελούν βασικό πρόβλημα πολλών βιομηχανιών. Τα οξικά οξέα, όπως το οξικό, το γαλακτικό και το κιτρικό χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες κι έχουν την ικανότητα να μειώνουν το pH, δημιουργώντας ασταθείς συνθήκες για τις κυτταρικές μεμβράνες των βακτηρίων. Ακόμη, σε σχέση με διάφορες μη θερμικές τεχνολογίες, η εγκατάσταση του ψυχρού πλάσματος είναι εύκολη και με χαμηλή τιμή, καθώς επίσης και η επίδρασή του στην ποιότητα του κρέατος και των προϊόντων του είναι ελάχιστη.



Εικόνα 11: Στήθος κοτόπουλου

Στην εργασία αυτή διαπιστώθηκε μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ του πληθυσμού των βακτηρίων και της συγκέντρωσης των οξικών οξέων, όπου ο πληθυσμός μειωνόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης. Συγκεκριμένα, στο δέρμα κοτόπουλου, με την χρήση ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος (PAAA), ο αρχικός πληθυσμός *Salmonella Typhimurium* από 6,91 log CFU/cm<sup>2</sup> ελαττώθηκε κατά 0,17, 1,05 και 2,33 log CFU/cm<sup>2</sup> αφού επωάστηκε για 10 min με αντίστοιχες συγκεντρώσεις 0,2, 0,6 και 0,8%. Επίσης, με τις ίδιες συγκεντρώσεις οξικού οξέος AA, οι μειώσεις του πληθυσμού *Salmonella Typhimurium*, παρατηρήθηκαν αντίστοιχα κατά 0,07, 0,93 και 1,23 log CFU/cm<sup>2</sup>, γεγονός που έδειξε ότι η χρήση του οξικού οξέως ενεργοποιημένο με πλάσμα PAAA σε σχέση με την απλή χρήση με οξικό οξύ AA, είναι πιο αποτελεσματική έναντι της *Salmonella Typhimurium* στο δέρμα

κοτόπουλου. Όσον αφορά τα δείγματα από στήθη και μπούτια κοτόπουλου, η επώασή τους έγινε μόνο με συγκέντρωση 0,8% οξικού οξέος AA και ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος PAAA για 10 min. Ο πληθυσμός *Salmonella Typhimurium*, ύστερα από επεξεργασία με AA ελαττώθηκε κατά 1,35 και 1,56 log CFU/cm<sup>2</sup> στα στήθη και τα μπούτια κοτόπουλου αντίστοιχα, ενώ ύστερα από επεξεργασία με PAAA, ελαττώθηκε κατά 2,33 και 2,75 log CFU/cm<sup>2</sup> αντίστοιχα. Αυτά τα δεδομένα φανέρωσαν την υψηλότερη δραστικότητα της επεξεργασίας με οξικό οξύ ενεργοποιημένο με πλάσμα PAAA συγκριτικά με την χρήση μόνο οξικού οξέος AA έναντι των βακτηρίων στο κρέας κοτόπουλου. (Kang et al., 2022).

#### **4.1.2. Αιθέριο έλαιο θυμαριού/νανοΐνες ινώδους μεταξιού επεξεργασμένο με πλάσμα εναντίον της *Salmonella Typhimurium***

Η έρευνα των Lin et al. (2019) είχε ως στόχο να μελετήσει την αποτελεσματικότητα νανοϊνών αιθέριου ελαίου θυμαριού/ινώδους μεταξιού, οι οποίες είχαν υποστεί επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, εναντίον της *Salmonella Typhimurium* σε κρέας πουλερικών. Τα παθογόνα βακτήρια, όπως η *Salmonella Typhimurium*, αποτελούν σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς μπορούν να προκαλέσουν διάφορες τροφιμογενείς ασθένειες, όπως η σαλμονέλωση. Δεδομένου ότι η *Salmonella Typhimurium* συχνά ανευρίσκεται στο κρέας πουλερικών, είναι εξαιρετικά σημαντικό να βρεθούν αποτελεσματικοί τρόποι για την εξάλειψη του συγκεκριμένου μικροοργανισμού από τα προϊόντα αυτά.

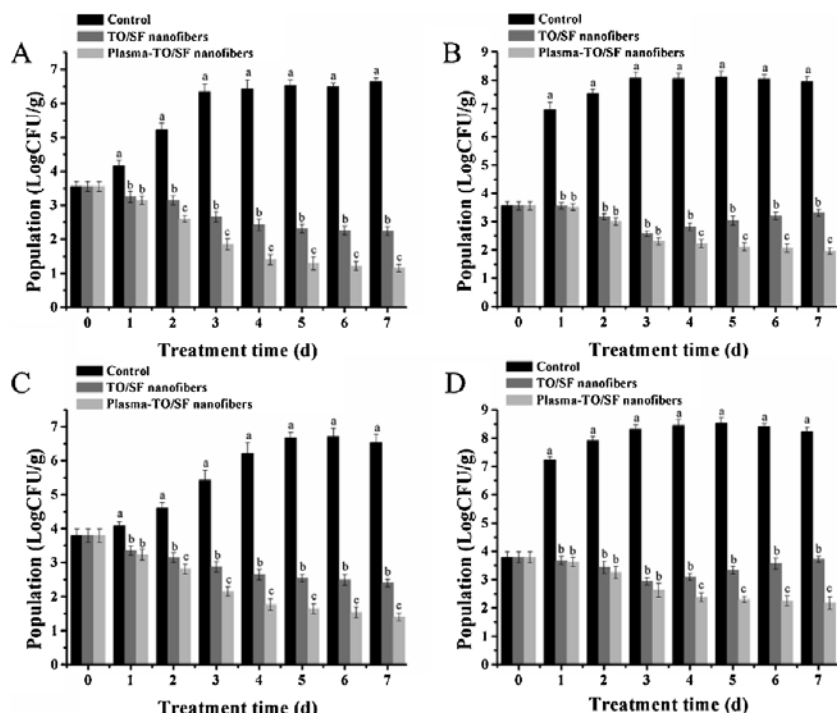
Τα αιθέρια έλαια εντοπίζονται στα αρωματικά φυτά και χάρη στην αντιοξειδωτική και αντιμικροβιακή τους ικανότητα, έχει πραγματοποιηθεί η χρήση τους στα τρόφιμα ως αντιβακτηριδιακοί παράγοντες. Ένα βασικό μειονέκτημά τους αποτελεί η ασταθής και πτητική τους φύση στην θερμότητα, κάτι που περιορίζει την χρήση τους στην συντήρηση των τροφίμων. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την ενθυλάκωση των αιθέριων ελαίων σε νανοΐνες ηλεκτροϊνώσεως, λόγω των πλεονεκτημάτων του μεγάλου πορώδους, της μεγάλης επιφάνειας και της πολύ καλής ολκιμότητας, που συνεισφέρουν στην απελευθέρωση, πάνω στην επιφάνεια των τροφίμων, των αντιβακτηριδιακών τους παραγόντων. Το ινώδες μεταξιού, χάρις την ιδιαίτερη βιοδιασπασιμότητά του, την μη τοξικότητά του, των μηχανικών ιδιοτήτων, της καλής βιοσυμβατότητας και της διαπερατότητας υδρατμών, είναι κατάλληλο για την χρήση του ως υλικό ηλεκτροϊνοποίησης. Ακόμη, η τεχνολογία του ψυχρού πλάσματος έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συμβάλλει στην γρηγορότερη απελευθέρωση των αντιβακτηριδιακών παραγόντων των αιθέριων ελαίων που έχουν ενθυλακωθεί, μεταβάλλοντας την μορφολογία των νανοϊνών. Έτσι, στην συγκεκριμένη μελέτη, οι νανοΐνες αιθέριου ελαίου θυμαριού/ινώδους μεταξιού (TO/SF) δημιουργήθηκαν με ηλεκτροϊνοποίηση, με σκοπό την αντιμετώπιση της *Salmonella Typhimurium* κατά την συντήρηση κρέατος πουλερικών. Επιπρόσθετα, μελετήθηκε η επίδραση του ψυχρού πλάσματος στην απελευθέρωση TO από νανοΐνες. (Lin et al., 2019).

Περνώντας στα αποτελέσματα, η τιμή ελάχιστης ανασταλτικής συγκέντρωσης MIC του αιθέριου ελαίου θυμαριού (TO) κατά της *Salmonella Typhimurium*, ήταν 0,25 mg/ml και η τιμή ελάχιστης βακτηριοκτόνου συγκέντρωσης MBC ήταν 0,5 mg/ml, γεγονός που αποδεικνύει ότι το TO έχει σημαντική αντιμικροβιακή δράση κατά της

*Salmonella Typhimurium*. Ύστερα από 30 λεπτά επεξεργασίας με αιθέριο έλαιο θυμαριού (TO), το σύνολο του αριθμού της *Salmonella Typhimurium* στην ομάδα ελάχιστης ανασταλτικής συγκέντρωσης MIC ελαττώθηκε κατά 99,23%, ενώ μετά από 1 ώρα επεξεργασίας μειώθηκε κατά 99,99%. Στην ομάδα ελάχιστης βακτηριοκτόνου συγκέντρωσης MBC, η μείωση του πληθυσμού ήταν 99,99% και 99,999% για 30' και 1 ώρα αντίστοιχα. (Lin et al., 2019).

Στο *σχήμα 2* φαίνεται η αντιβακτηριακή δράση των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF στο κρέας πουλερικών. Η φόρτωση του TO σε νανοΐνες ινώδους μεταξιού (SF) πραγματοποιήθηκε επιτυχώς και μεταξύ των νανοϊνών TO/SF και των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF δεν υπήρχε ουσιαστική διάκριση όσον αφορά την χημική τους σύνθεση. Στον ρυθμό απελευθέρωσης αιθέριου ελαίου θυμαριού των νανοϊνών πλάσματος TO/SF, σε σχέση με τις νανοΐνες TO/SF, υπήρξε μια αύξηση κατά 23,5% στους 4°C και μια λίγο μεγαλύτερη αύξηση κατά 25% στους 25°C. Συνεπώς η επεξεργασία ψυχρού πλάσματος συνέβαλε σημαντικά στην αύξηση της ποσότητας απελευθέρωσης αιθέριου ελαίου θυμαριού (TO) των νανοϊνών TO/SF. (Lin et al., 2019).

Η αξιολόγηση των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF όσον αφορά την αντιμικροβιακή τους ικανότητα κατά της *Salmonella Typhimurium* σε κρέας προερχόμενο από πουλερικά, πραγματοποιήθηκε για 7 ημέρες στους 4°C και στους 25°C. Η υψηλή θερμοκρασία εννοούσε σημαντικά την ταχύτερη ανάπτυξη του βακτηρίου της *Salmonella Typhimurium*. Αποτελεσματικά, αρχικά στους 4°C, ο πληθυσμός της *Salmonella Typhimurium* ήταν 6,64 log cfu/g στα δείγματα των μαρτύρων, ελαττώθηκε σε 2,24 log cfu/g μετά την θεραπεία με νανοΐνες TO/SF και μειώθηκε ακόμη περισσότερο σε 1,15 log cfu/g ύστερα από την επεξεργασία των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF. Στην θερμοκρασία των 25°C, ο πληθυσμός της *Salmonella Typhimurium* βρέθηκε να είναι σχεδόν 8,06 log cfu/g στην ομάδα των μαρτύρων, μειώθηκε σε 2,5 log cfu/g στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με νανοΐνες TO/SF και ο αριθμός του πληθυσμού μετά τις νανοΐνες πλάσματος-TO/SF ελαττώθηκε σε 1,96 log cfu/g. Επίσης, στο κρέας πάπιας τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια με αυτά στο κρέας κοτόπουλου. Άρα, η χρήση των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF είναι αποτελεσματική στο συσκευασμένο κρέας πουλερικών, λόγω της σημαντικής αντιμικροβιακής της δράσης εναντίον της *Salmonella Typhimurium*. (Lin et al., 2019).



**Σχήμα 2.** Αντιβακτηριακή δράση των νανοϊνών πλάσματος-TO/SF στο κρέας πουλερικών (Lin et al., 2019).

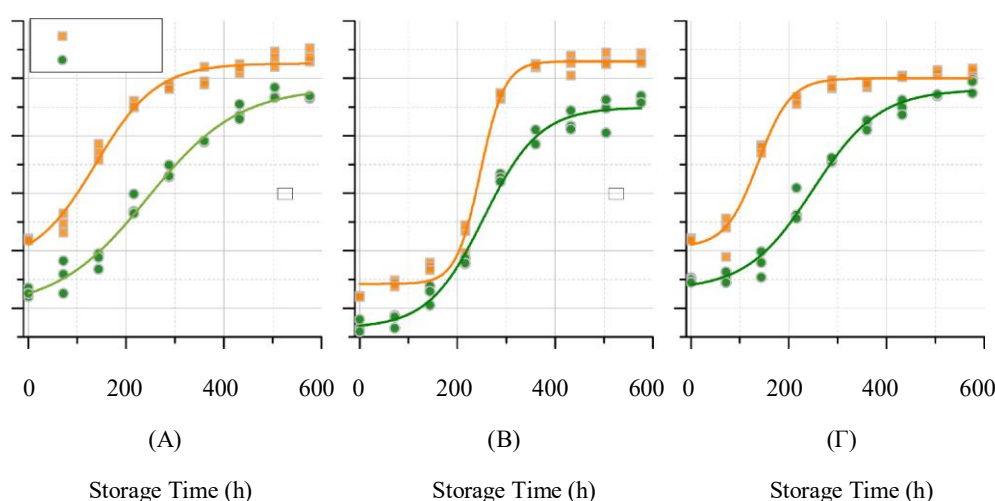
#### 4.1.3. Ψυχρό πλάσμα εναντίον της φυσικής μικροχλωρίδας κοτόπουλου σε συσκευασμένο προϊόν

Η ακόλουθη έρευνα των Moutiq et al. (2020) πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος υψηλής τάσης σε συσκευασία στήθους κοτόπουλου για την ελάττωση της φυσικής μικροχλωρίδας και τις αλλαγές μακροπρόθεσμα στην μικροχλωρίδα εντός συσκευασίας του στήθους κοτόπουλου. Γενικά, τα πουλερικά είναι ευαίσθητα στην αλλοίωση από μικροοργανισμούς, με μεγαλύτερο μικροβιακό φορτίο να εντοπίζεται στα κομμένα τεμάχια συγκριτικά με ολόκληρο το σφάγιο κοτόπουλου. Το ψυχρό πλάσμα αποτελείται από ένα αέριο, το οποίο βρίσκεται σε ιονισμένη κατάσταση, η οποία δημιουργείται όταν το αέριο αυτό εκτίθεται σε ηλεκτρικό πεδίο ιδιαίτερα υψηλής έντασης. Η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα μέσα στην συσκευασία, πραγματοποιείται με την έκθεση της συσκευασίας σε ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, αφού γίνει η σφράγιση του τροφίμου εντός της πλαστικής ή λιγότερο συχνά γυάλινης συσκευασίας, παρουσία αέρα ή τροποποιημένου αερίου.

Στα αποτελέσματα της μικροβιακής ανάλυσης, μετρήθηκε ο πληθυσμός μεσόφιλων και ψυχρότροφων βακτηρίων, τα οποία προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις, καθώς συμβάλλουν στην αλλοίωση του κρέατος κοτόπουλου. Ακόμη, δείκτης υγιεινής για τα πουλερικά, αποτελεί ο αριθμός των Gram αρνητικών βακτηρίων Enterobacteriaceae. Περνώντας στις μετρήσεις σε σχέση με τον χρόνο θεραπείας, για την ομάδα ελέγχου, ο πληθυσμός των μεσόφιλων βακτηρίων ήταν 4,5 log cfu/g, των ψυχρότροφων ήταν 4,6 log cfu/g και των εντεροβακτηριδίων ήταν 3 log cfu/g. Ύστερα από την επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα για 5' στα 100 kV και μετά από 24 αποθήκευσης εντός της συσκευασίας, οι αντίστοιχες μετρήσεις των πληθυσμών βακτηρίων ελαττώθηκαν

και συγκεκριμένα ήταν 2,6 log cfu/g για τα μεσόφιλα, 3 log cfu/g για τα ψυχρότροφα και 1,3 log cfu/g για τα εντεροβακτηριδία. Συνεπώς, τα 5 αυτά λεπτά επεξεργασίας με πλάσμα συνέβαλαν στην μείωση της φυσικής μικροχλωρίδας περίπου κατά 1,5 log cfu/g (Moutiq et al., 2020).

Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η εξέλιξη των μικροβιακών πληθυσμών σε μάρτυρες και σε επεξεργασμένο με πλάσμα κοτόπουλο, το οποίο αποθηκεύτηκε στους 4 °C. Στα αποτελέσματα για τον μικροβιακό πληθυσμό κατά την αποθήκευση, βρέθηκε ότι ο πληθυσμός των μεσόφιλων, ψυχρότροφων και εντεροβακτηριδίων στα δείγματα επεξεργασίας με πλάσμα, ελαττώθηκε αξιοσημείωτα κατά 1 ως 1,5 log cfu/g. Ακόμη, η ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών στα δείγματα επεξεργασίας συγκριτικά με τα δείγματα ελέγχου πραγματοποιήθηκε με πιο αργό ρυθμό. Κατά την τελική φάση της μελέτης αποθήκευσης, ο αριθμός των βακτηρίων στην ομάδα ελέγχου και τα επεξεργασμένα δείγματα, ήταν σχεδόν ίδιος περίπου 10 log cfu/g, αλλά τα επεξεργασμένα δείγματα εμφάνιζαν πάντα μικρότερες τιμές. Στους μάρτυρες ο πληθυσμός των εντεροβακτηριδίων την 10<sup>η</sup> μέρα έφτασε τους 7 log cfu/g, των ψυχρότροφων νωρίτερα κατά την 5<sup>η</sup> μέρα έφτασε τους 7 log cfu/g και των μεσόφιλων έφτασε τους 6 log cfu/g μόλις την 4<sup>η</sup> μέρα. Ωστόσο, στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, ο πληθυσμός των εντεροβακτηριδίων αυτήν την φορά έφτασε στους 7 log cfu/g την 13<sup>η</sup> μέρα, των ψυχρότροφων στους 7 log cfu/g την 12<sup>η</sup> μέρα και των μεσόφιλων έφτασε στους 6 log cfu/g την 10<sup>η</sup> μέρα (Moutiq et al., 2020).

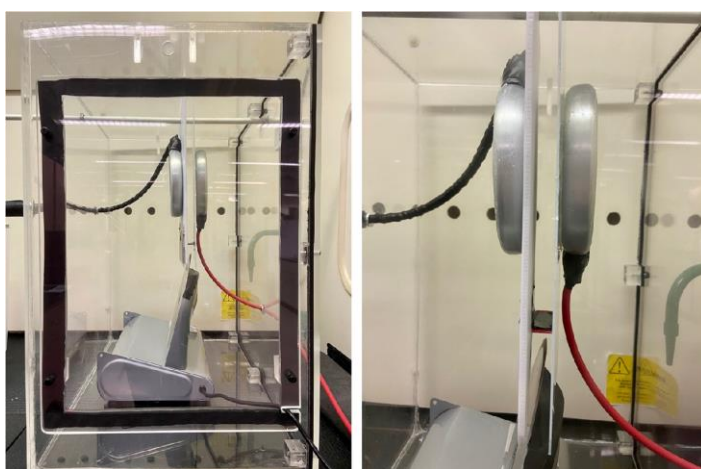


**Σχήμα 3.** Εξέλιξη των μικροβιακών πληθυσμών σε μάρτυρες (■) και σε επεξεργασία με πλάσμα (●) κοτόπουλο αποθηκευμένο στους 4 °C (Moutiq et al., 2020).

#### 4.1.4. Ψυχρό πλάσμα υψηλής τάσης για απολύμανση εργαλείων κοπής

Η έρευνα που ακολουθεί, των Souza et al. (2022) έγινε με στόχο την δημιουργία ενός πρωτοτύπου ενσωμάτωσης ψυχρού πλάσματος σε έναν χειροκίνητο τεμαχιστή κρέατος κατά την διάρκεια λειτουργίας του, με σκοπό την όσο είναι εφικτό μικρότερη διασταυρούμενη μόλυνση κατά τον τεμαχισμό του κρέατος πουλερικών. Κατ' εξακολούθηση πρόβλημα στην βιομηχανία κρέατος αποτελούν οι νέες ή οι διασταυρούμενες μολύνσεις λόγω άμεσης επαφής δύο προϊόντων ή έμμεσης επαφής

προϊόντων με επιφάνειες κοπής. Κατά την διαδικασία επεξεργασίας του κρέατος πουλερικών, κρίσιμο σημείο για ύπαρξη διασταυρούμενης μόλυνσης, που προκαλείται από εντερικά παθογόνα βακτήρια, όπως *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp και *Campylobacter* spp., αποτελεί το βήμα κοπής, όπου μπορεί να γίνεται επανειλημμένη χρήση του ίδιου μαχαιριού σε πολλές παρτίδες. Επίσης, αναφερόμενοι στο ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα υψηλής τάσης (HVACP), αποτελεί μια τεχνική με ικανότητα συνεχούς, *in situ* παροχής απολύμανσης των μαχαιριών που χρησιμοποιούνται κι έτσι ο κίνδυνος διασταυρούμενης μόλυνσης δύναται να μειωθεί. Συγκεκριμένα, το HVACP είναι αποτελεσματικό σε μικρό χρονικό διάστημα, χωρίς μεγάλες εισροές ηλεκτρικής ενέργειας και αέρα, και μπορεί να καταστρέψει τον μικροοργανισμό-στόχο, δίχως αρνητικές συνέπειες στην απόδοση και την ποιότητα του προϊόντος. (Souza et al., 2022).



**Εικόνα 12:** Τεμαχιστής κρέατος σε συνδυασμό με πρωτότυπο ψυχρού πλάσματος υψηλής τάσης.

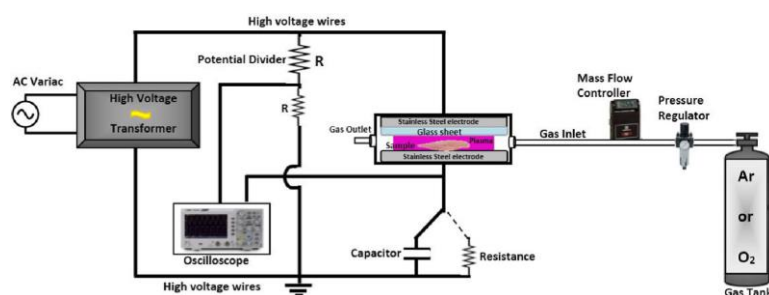
Όσον αφορά την απενεργοποίηση της *Listeria Innocua*, παρατηρήθηκε ότι καίριος ρόλος ήταν αυτός της υγρασίας. Έτσι, σε ίδιο χρόνο επεξεργασίας, σε συνθήκες υψηλής υγρασίας 90%, τα επίπεδα αδρανοποίησης του βακτηρίου ήταν διπλάσια έως τριπλάσια συγκριτικά με αυτά των συνθηκών χαμηλής υγρασίας 30%. Επιπλέον, σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, με την αύξηση του χρόνου επεξεργασίας, λαμβανόταν καλύτερο αποτέλεσμα αδρανοποίησης, καθώς ύστερα από 240 δευτερόλεπτα επεξεργασίας, η αδρανοποίηση κυμαινόταν κατά 3 logs. Περνώντας στην αδρανοποίηση της *Listeria Innocua* στο μαχαίρι από ανοξείδωτο χάλυβα, με υψηλή σχετική υγρασία 90%, καλύτερος χρόνος επεξεργασίας ήταν στα 240 δευτερόλεπτα. Έτσι, σε αυτές τις συνθήκες, στην 1<sup>η</sup> περίπτωση μελέτης, δηλαδή στο «Καθαρό» μαχαίρι, το οποίο αφού καθαρίστηκε, πραγματοποιήθηκε η απολύμανσή του με 70% αλκοόλη πριν τον εμβολιασμό, επιτεύχθηκε μείωση του βακτηρίου κατά 2,74 logs, ενώ στην 2<sup>η</sup> περίπτωση του «Βρώμικου» μαχαιριού, που καθαρίστηκε και απολυμάνθηκε, αλλά ήρθε σε επαφή με το μαγειρεμένο στήθος κοτόπουλου, όπως ένα μαχαίρι στην βιομηχανία πουλερικών, η μείωση ήταν μόνο κατά 0,5 log. Επομένως, η απολύμανση επιφανειών που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα είναι δυσκολότερη, όταν υπάρχει υπολειμματική μόλυνση από τρόφιμα. Στην 2<sup>η</sup> περίπτωση, τα αποτελέσματα

βελτιώθηκαν όταν έγινε ξανά η επεξεργασία στο μαχαίρι με διαφορετική σύνθεση αερίου στις ίδιες συνθήκες υγρασίας και στον ίδιο χρόνο, όπου η μείωση αυτήν την φορά ήταν 1,91 logs. (Souza et al., 2022).

#### 4.1.5. Ψυχρό πλάσμα DBD για μικροβιακή αλλοίωση φιλέτων στήθους κοτόπουλου

Η παρακάτω έρευνα των Abdel-Naeem et al. (2022) πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της εφαρμογής πλάσματος DBD, με χρήση αερίου αργού και οξυγόνου σε χαμηλή τάση 20 kV και σε χρόνους έκθεσης 3 και 5 λεπτά, ως προς την μικροβιακή αλλοίωση φιλέτων στήθους κοτόπουλου.

Γενικά, η κατανάλωση του κοτόπουλου αυξάνεται διαρκώς και λόγω της ευαισθησίας του σε βακτηριακή μόλυνση, καθίσταται εύκολη η εμφάνιση τροφιμογενών ασθενειών. Ωστόσο, οι χημικές και φυσικές επεξεργασίες στα σφάγια κοτόπουλου απαγορεύονται στις Ευρωπαϊκές χώρες, ενώ η ακτινοβόλησή του, παρότι είναι αποτελεσματική διαδικασία απολύμανσης, δεν είναι τόσο δημοφιλής. Μία ρηζικέλευθη τεχνολογία απολύμανσης χωρίς χημικά, αποτελεί το ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, που είναι μία μη θερμική τεχνική επεξεργασίας των τροφίμων, με την χρήση ενός φέροντος αερίου, με ηλεκτρισμό, παράγοντας αντιδραστικά είδη αζώτου και οξυγόνου, των οποίων η αντιμικροβιακή ικανότητα είναι αρκετά ισχυρή (Abdel-Naeem et al., 2022).



**Εικόνα 13:** Σχηματικό διάγραμμα του συστήματος παραγωγής πλάσματος DBD (Abdel-Naeem et al., 2022).

Αποτελεσματικά, όσον αφορά την μικροβιακή ποιότητα των φιλέτων από στήθος κοτόπουλου, τα οποία επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα DBD, παρατηρήθηκε αισθητή μείωση στον αριθμό των ψυχρότροφων, των Enterobacteriaceae και του *S. aureus* σε όλες τις ομάδες δειγμάτων που υπέστησαν θεραπεία, συγκριτικά με τους μάρτυρες. Πιο αποτελεσματική επεξεργασία ήταν αυτή με το Αργό, η οποία έδειξε τον μικρότερο αριθμό βακτηρίων, ενώ ο χρόνος έκθεσης αποδείχθηκε στατιστικά μη σημαντικός. Συγκεκριμένα, το % ελάττωσης του αριθμού των βακτηρίων ήταν πάνω από 1 log CFU/g στην επεξεργασία με το οξυγόνο, πάνω από 2 log CFU/g σε αυτήν με το αργό, ενώ εξαίρεση αποτελούν τα Enterobacteriaceae που ήταν πάνω από 1 log CFU/g ανεξάρτητα από το αέριο που χρησιμοποιήθηκε.

#### **4.1.6. Ψυχρό πλάσμα στον παστευρμά εναντίον της *Listeria monocytogenes* και του *Staphylococcus aureus***

Η παρακάτω έρευνα των Gök et al. (2019) πραγματοποιήθηκε με στόχο την μελέτη της χρήσης ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος (CAP) στον παστευρμά, για την αδρανοποίηση της *Listeria monocytogenes* και του *Staphylococcus aureus*. Ο παστευρμάς είναι ένα προϊόν ξηρού κρέατος μέσης υγρασίας με μεγάλη κατανάλωση σε χώρες όπως η Τουρκία. Η παραγωγή του γίνεται από ορισμένα μέρη σφαγίων αγελάδων ή βουβάλων, όπου συμβαίνει ωρίμανση, στέγνωμα, συμπίεση και επικάλυψη με πάστα ζεμεν. Κατά την παραγωγή του παστευρμά, καθώς αυτή πραγματοποιείται υπό περιβαλλοντικές συνθήκες, είναι δυνατή η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, όπως η *Listeria monocytogenes*, ο *Staphylococcus aureus*, το *Clostridium botulinum*, η *Escherichia coli* O157:H7 και ο *Bacillus cereus*. Καίριας σημασίας για την δημόσια και ανθρώπινη υγεία είναι η αδρανοποίηση των τροφιμογενών αυτών παθογόνων, όπου η χρήση της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική.

Όσον αφορά τα μικροβιολογικά αποτελέσματα, παρατηρήθηκε μείωση του αριθμού του *S. aureus* στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, με την μέγιστη τιμή 5,78 log CFU/cm<sup>2</sup> να εντοπίζεται στα δείγματα ελέγχου και την ελάχιστη 4,93 log CFU/cm<sup>2</sup> στα δείγματα, στα οποία χρησιμοποιήθηκε μόνο πλάσμα αέριου οξυγόνου. Ομοίως, παρατηρήθηκε μείωση και στους αριθμούς της *Listeria monocytogenes* στα επεξεργασμένα με CAP δείγματα, κατά 0,32 έως 0,83 log CFU/cm<sup>2</sup> σε σχέση με τους μάρτυρες. Ακόμη, η επεξεργασία με CAP, οδήγησε στην μείωση του αριθμού των ολικών μεσόφιλων αερόβιων βακτηρίων κατά 0,77 έως 1,41 log CFU/cm<sup>2</sup>, καθώς του αριθμού ζύμης και μούχλας κατά 0,97 ως 1,66 log (Gök et al., 2019).

#### **4.1.7. Επίδραση διαφόρων αντιοξειδωτικών σε επεξεργασμένα με πλάσμα DBD μπιφτέκια ως προς την μικροβιακή τους αλλοίωση**

Η ακόλουθη έρευνα των Gao et al. (2021), πραγματοποιήθηκε με σκοπό την παρατήρηση των επιδράσεων 4 φυσικών αντιοξειδωτικών: της καρνοσίνης, εκχυλίσματος φλοιού πεύκου, εκχυλίσματος ροδιού και εκχυλίσματος δενδρολιβάνου, στην ποιότητα ως προς την μικροβιακή αλλοίωση κιμά προερχόμενου από κρέας κοτόπουλου, ο οποίος έχει συσκευαστεί σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα και έχει επεξεργαστεί με πλάσμα εκκένωσης διηλεκτρικού φραγμού DBD-IPCP. Η μη θερμική επεξεργασία αυτή έχει αρκετά πλεονεκτήματα, καθώς είναι φιλική προς το περιβάλλον, έχει εκτεταμένη έκθεση στον μικροοργανισμό-στόχο σε σχέση με άλλες τεχνικές ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος, διότι η δημιουργία των μορίων με την βακτηριοκτόνο δράση, πραγματοποιείται μέσα στην συσκευασία, όπου και περιέχονται. Επίσης, η DBD-IPCP εμφανίζει ευελιξία με τα υλικά και τις διαμορφώσεις συσκευασίας, με τα τελικά προϊόντα και με την ατμόσφαιρα εντός της συσκευασίας.

Στα αποτελέσματα, αρχικά ως προς την μικροχλωρίδα, την ημέρα 0, μεταξύ των δειγμάτων κιμά κοτόπουλου που περιείχαν αντιοξειδωτικά και του δείγματος ελέγχου, δεν εντοπίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στο συνολικούς αριθμούς

μικροοργανισμών. Διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ούτε στα δείγματα μπιφτεκίων που υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα μεταξύ των 5 περιπτώσεων με αντιοξειδωτικά και του δείγματος ελέγχου, και άρα φαίνεται ότι δεν υφίσταται αλληλεπίδραση μεταξύ επεξεργασιών DBD και των αντιοξειδωτικών. Επιπλέον, μεταξύ των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα και αυτών που δεν επεξεργάστηκαν, πάλι δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές. Όμως, ύστερα από την 5<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε ψύξη, μεταξύ των δειγμάτων που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, εμφανίστηκαν σημαντικές διαφορές. Ανεξάρτητα από το αντιοξειδωτικό, το σύνολο της μικροχλωρίδας αυξήθηκε πάνω από 2 log CFU/g. Έτσι, αποδείχθηκε ότι η αυτούσια χρήση των συγκεκριμένων αντιοξειδωτικών, δεν έχει αντιμικροβιακή δράση (Gao et al., 2021).

Επιπλέον, ύστερα από την 5<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, στα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες διαφορές στον συνολικό αριθμό της μικροχλωρίδας. Στα δείγματα με αντιοξειδωτικά ροδιού και δενδρολίβανου, τα οποία υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, οι μετρήσεις ήταν σημαντικά μειωμένες και συγκεκριμένα κατά 0,31 και 0,65 log CFU/g αντίστοιχα. Οι συνολικές μετρήσεις των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, ανεξαρτήτως αντιοξειδωτικού, ήταν μεγαλύτερες την 5<sup>η</sup> ημέρα σε σχέση με την ημέρα 0, όμως οι μετρήσεις των δειγμάτων μπιφτεκίων κοτόπουλου, τα οποία επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα, την 5<sup>η</sup> ημέρα ήταν σημαντικά ελαττωμένες, ύστερα από την αποθήκευση σε θερμοκρασία ψύξης. Εξαίρεση αποτελούσε το δείγμα με την καρνοσίνη 1%. Ακόμη, τα δείγματα φλοιού πεύκου, BHT, δενδρολίβανου και ροδιού εμφάνισαν μειωμένες μετρήσεις κατά 0,51, 0,64, 0,98 και 1,25 log CFU/g αντίστοιχα, ύστερα από 5 ημέρες αποθήκευσης. Συνεπώς, η επεξεργασία ψυχρού πλάσματος σε μπιφτέκια από κοτόπουλο, που αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία ψύξης, δεν εμπόδισε πλήρως την μικροβιακή ανάπτυξη, αλλά την ανέστειλε σημαντικά. Από τα αντιοξειδωτικά, η πλήρης καταστολή της αδρανοποίησης της μικροχλωρίδας με τεχνολογία ψυχρού πλάσματος, επιτεύχθηκε με την καρνοσίνη (Gao et al., 2021).

## **4.2. Εφαρμογές ψυχρού πλάσματος ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κρέατος και των προϊόντων του**

### **4.2.1. Βοδινά μπιφτέκια: επίδραση επεξεργασίας πλάσματος DBD στο χρώμα, την μυοσφαιρίνη και τα λιπίδια**

Η έρευνα που ακολουθεί, των Wang et al. (2021) έγινε με σκοπό την διερεύνηση των αλλαγών ως προς το χρώμα, την οξείδωση λιπιδίων και την μείωση της μεταμυοσφαιρίνης, που συμβαίνουν σε βοδινά μπιφτέκια, τα οποία έχουν υποστεί επεξεργασία πλάσματος εκκένωσης διηλεκτρικού φραγμού (DBD-CP). Η ποιότητα του κρέατος απαρτίζεται από την ασφάλεια, το χρώμα και την αποδοχή των καταναλωτών. Η τελευταία εξαρτάται άμεσα από την γεύση και την εμφάνιση του κρέατος. Ακόμη, το χρώμα εξαρτάται από την περιεκτικότητα των μυών σε μυοσφαιρίνη (Mb), η οποία

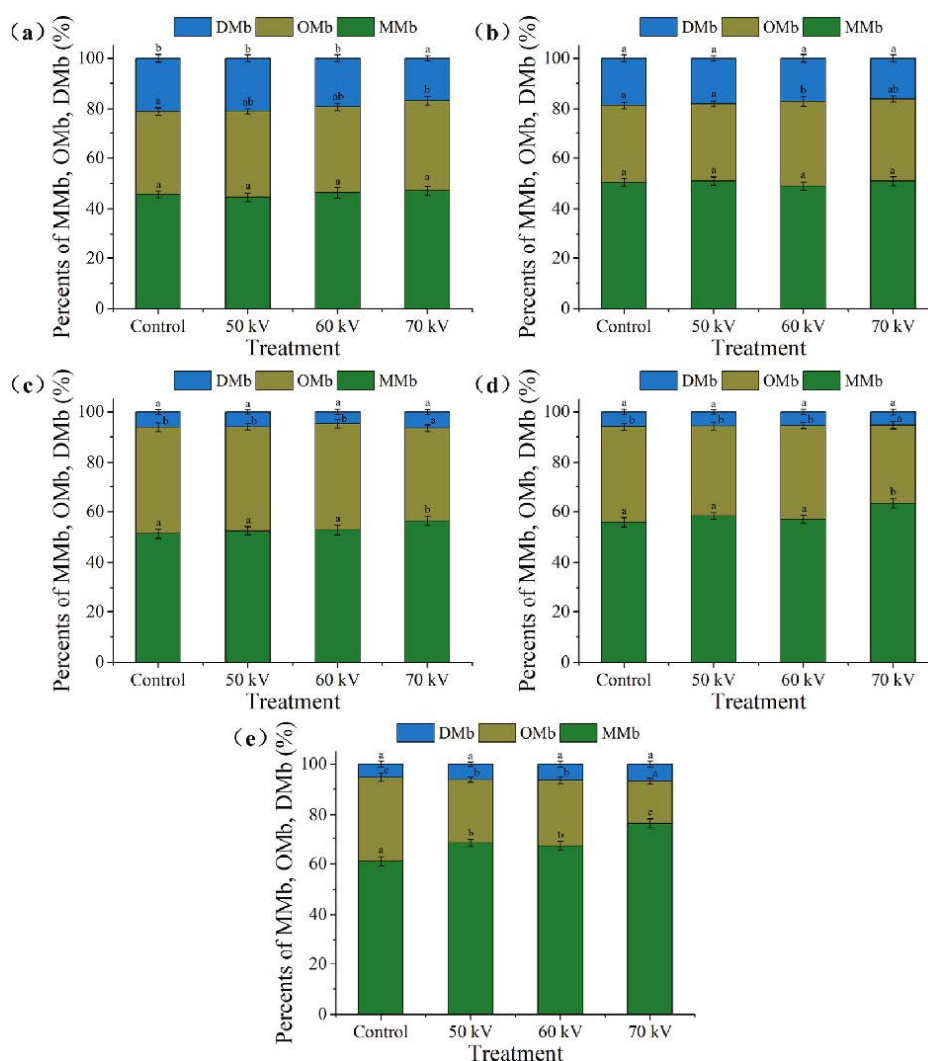
είναι η βασική πρωτεϊνική χρωστική ουσία. Η μυοσφαιρίνη εντοπίζεται κυρίως στην μορφή της οξυμυοσφαιρίνης (OMb), της δεοξυμυοσφαιρίνης (DMb) και της μεταμυοσφαιρίνης (MMb). Το κρέας μπορεί να γίνει ανεπιθύμητο εξαιτίας του καφέ χρώματος, γεγονός που οφείλεται στην συσσώρευση μεταμυοσφαιρίνης στην επιφάνεια του κρέατος. Επιπλέον, η οξείδωση των λιπιδίων δύναται να έχει αρνητικές συνέπειες στην γεύση και το χρώμα του κρέατος, κυρίως του κόκκινου, αφού τα προϊόντα οξείδωσης των λιπιδίων δεν οδηγούν στην παραγωγή αρώματος και η μυοσφαιρίνη οξειδώνεται. Το ψυχρό πλάσμα ως ένα ιονισμένο αέριο που παράγεται σε χαμηλή ή σε ατμοσφαιρική πίεση, από μεριά μικροβιολογικής άποψης, έχει την δυνατότητα παραγωγής ενεργών ειδών αζώτου και οξυγόνου, που συμβάλλουν στην αντιμικροβιακή του δράση.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, αρχικά για το χρώμα, σε σχέση με την ομάδα των μαρτύρων, οι τιμές  $L^*$  των βοδινών μπιφτεκιών που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία πλάσματος στα 60 και 70 kV, ήταν ελαττωμένες και σε αυτά που επεξεργάστηκαν στα 50kV, την ημέρα 0 οι τιμές  $L^*$  δεν είχαν διαφορά. Συνεπώς, η εφαρμοζόμενη τάση είναι ανάλογη της μείωσης των τιμών  $L^*$ . Κατά την αποθηκευτική περίοδο, όμως, στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με πλάσμα δεν άλλαξαν τα επίπεδα των  $L^*$  τιμών. Επιπλέον, μεταξύ των τιμών  $b^*$  των δειγμάτων ελέγχου και των επεξεργασμένων δειγμάτων βοδινών μπιφτεκιών βρέθηκε ότι δεν υπήρχε σημαντικά στατιστική διαφορά κατά την περίοδο αποθήκευσης. Επίσης, οι τιμές  $a^*$  των βοδινών μπιφτεκιών που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με DBD-CP στα 50, 60 και 70kV ελαττώθηκαν κατά 2,43, 4,56, 4,43 αντίστοιχα, σε σχέση με τους μάρτυρες. Σε όλα τα δείγματα, επεξεργασμένα και μη, στην τιμή  $a^*$  εντοπίστηκε μια σταδιακή πτωτική τάση από την ημέρα 0 έως την ημέρα 8. Η τιμή  $a^*$  των επεξεργασμένων δειγμάτων στο τέλος της αποθήκευσης ήταν ακόμη πιο μειωμένη στα 50, 60 και 70kV κατά 4,86, 5,74, 6,80 αντίστοιχα, συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου. Συνεπώς, η αυξημένη τάση επεξεργασίας DBD-CP οδηγεί σε αρνητικές επιπτώσεις στο ερυθρό χρώμα του ωμού κρέατος. Στις διαφορετικές συχνότητες, ωστόσο, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεξεργασμένων δειγμάτων στις τιμές  $a^*$  (Wang et al., 2021).

Το χρώμα καθορίζεται από την περιεκτικότητα σε μυοσφαιρίνη και τις 3 οξειδοαναγωγικές της μορφές, όπου η οξείδωση της δεοξυμυοσφαιρίνης (μωβ χρώμα) και της οξυμυοσφαιρίνης (έντονο κόκκινο χρώμα) σε μεταμυοσφαιρίνη έχει ως συνέπεια τον αποχρωματισμό του κρέατος. Στο *σχήμα 4* φαίνονται οι αλλαγές στη σχετική περιεκτικότητα (%) τριών μορφών μυοσφαιρίνης (συμπεριλαμβανομένων των DMb, OMb, MMb) σε μπιφτέκια βοείου κρέατος που έχουν υποστεί επεξεργασία με DBD-CP σε διαφορετικές τάσεις κατά την αποθήκευση. Αρχικά, η περιεκτικότητα σε DMb ελαττωνόταν σταθερά κατά την αποθήκευση και στα επεξεργασμένα και στα μη επεξεργασμένα δείγματα μπιφτεκιών. Η περιεκτικότητα σε OMb ελαττώθηκε κατά 9,0%, 7,9% και 13,5% στα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία πλάσματος με 50, 60 και 70 kV αντίστοιχα. Από την άλλη στα δείγματα των μαρτύρων δεν εντοπίστηκε σημαντική αλλαγή κατά την αποθηκευτική περίοδο. Η περιεκτικότητα σε MMb των επεξεργασμένων δειγμάτων βοδινών μπιφτεκιών με 50, 60 και 70 kV αυξήθηκε κατά 24,8%, 20,8% και 28,5% αντίστοιχα, ενώ στα μη επεξεργασμένα δείγματα η περιεκτικότητα σε MMb αυξήθηκε κατά την αποθήκευση μόνο κατά 15,3%. Άρα, κατά την περίοδο αποθήκευσης, όσο πιο μεγάλη ήταν η τάση επεξεργασίας των βοδινών

μπιφτεκίων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με πλάσμα, εντοπίστηκε και σημαντικά αυξημένη περιεκτικότητα σε MMb (Wang et al., 2021).

Αξιοσημείωτη διαφορά στην περιεκτικότητα μεταμυοσφαιρίνης μεταξύ των επεξεργασμένων και μη δειγμάτων, δεν υπήρχε τις 2 πρώτες ημέρες που αποθηκεύτηκαν. Μία μικρή αύξηση της περιεκτικότητας σε μεταμυοσφαιρίνη εντοπίστηκε κατά την 4<sup>η</sup> και 6<sup>η</sup> ημέρα στα 50 και 60kV, ενώ στα 70kV εντοπίστηκε σημαντική αύξηση σε σχέση με τους μάρτυρες. Κατά την τελευταία ημέρα αποθήκευσης, παρατηρήθηκε σε όλα τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με πλάσμα, σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας MMb, συγκριτικά με την ομάδα των δειγμάτων ελέγχου. Άρα, η συσσώρευση μεταμυοσφαιρίνης λόγω επεξεργασίας με DBD-CP, γίνεται πιο εμφανής με την πάροδο των ημερών (Wang et al., 2021).

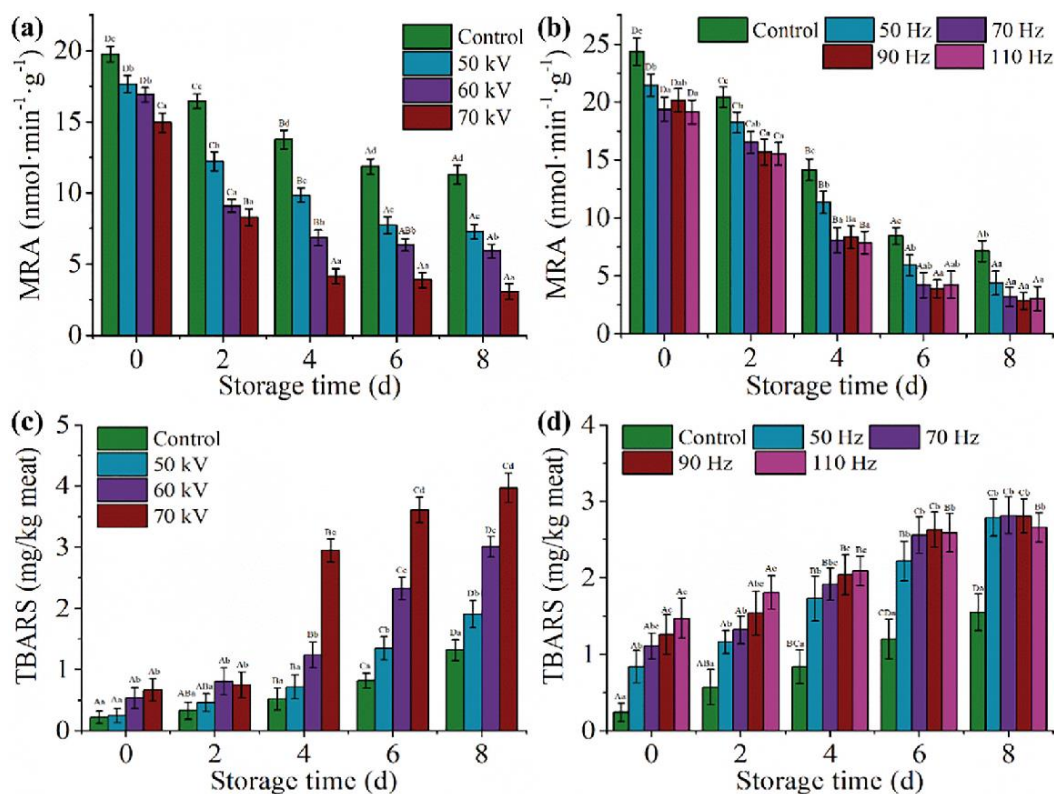


**Σχήμα 4.** Αλλαγές στη σχετική περιεκτικότητα (%) τριών μορφών μυοσφαιρίνης (συμπεριλαμβανομένων των DMb, OMb, MMb) σε μπιφτέκια βοείου κρέατος που έχουν υποστεί επεξεργασία με DBD-CP σε διαφορετικές τάσεις κατά την αποθήκευση (Wang et al., 2021).

Όσον αφορά την δραστηριότητα μείωσης της μεταμυοσφαιρίνης MRA, αυτή αποτελεί δείκτη μέτρησης της ικανότητας των μυών να ελαττώνουν την περιεκτικότητα μεταμυοσφαιρίνης σε μυοσφαιρίνη. Η αύξηση των σχετικών επιπέδων MMb οφείλεται στην οξείδωση των OMb και DMb και η ελάττωση των σχετικών επιπέδων MMb

οφείλεται στην μείωση της MMb. Η δραστηριότητα μείωσης μεταμυοσφαιρίνης MRA κατά την αποθήκευση, ήταν έντονα μικρότερη στα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία με DBD σε σύγκριση με τα δείγματα ελέγχου και όσο μεγάλωνε η τάση επεξεργασίας είχε ως αποτέλεσμα την επιπλέον ελάττωση της MRA. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι η τάση επεξεργασίας έχει σημαντικό ρόλο στην επίδραση του DBD-CP στο MRA στα βοδινά μπιφτέκια. Στο σχήμα 5 απεικονίζονται οι αλλαγές στο MRA και στο TBARS σε μπιφτέκια βοείου κρέατος που έχουν υποστεί επεξεργασία με DBD-CP σε διαφορετικές τάσεις (a, c) ή συχνότητες (b, d) κατά την αποθήκευση. Κατά την 8<sup>η</sup> ημέρα, η δραστηριότητα μείωσης μεταμυοσφαιρίνης, σε σχέση με την ημέρα 0, στα δείγματα των μαρτύρων ελαττώθηκε κατά 42,8% και 58,7%, 64,9% και 79,4% στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με DBD- CP σε τάσεις 50, 60 και 70 kV αντίστοιχα. Όπως φαίνεται τα δείγματα βοδινών μπιφτεκιών που επεξεργάστηκαν στα 70 kV είχαν την πιο πτωτική τάση, άρα όσο μεγαλύτερη τάση, τόσο υψηλότερη επίδραση στο MRA του βοδινού κρέατος. Επίσης, κατά την διάρκεια αποθήκευσης στα μπιφτέκια που επεξεργάστηκαν με DBD-CP, εντοπίστηκε ελάττωση της MRA και σε διαφορετικές συχνότητες. Όμως, η δραστηριότητα μείωσης μεταμυοσφαιρίνης, ανάμεσα στα δείγματα στα 70, 90 και 110 Hz, δεν είχε αξιοσημείωτες διαφορές. Άρα, η επεξεργασία πλάσματος DBD δύναται να συμβάλλει στην ελάττωση του MRA στα βοδινά μπιφτέκια και συγκριτικά υψηλότερη επίδραση σε αυτήν την διαδικασία έχει η τάση επεξεργασίας και όχι τόσο η συχνότητα. (Wang et al., 2021).

Ως προς την ανάλυση TBARS για την οξείδωση των λιπιδίων, πραγματοποιείται κυρίως με σκοπό τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε μηλονοδιαλδεΰδη (MDA), η οποία είναι κύριο δευτερογενές προϊόν οξείδωσης λιπιδίων και στο κρέας αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δείκτη οξείδωσης. Κατά την διάρκεια αποθήκευσης, υπήρξε συσσώρευση και αύξηση του TBARS σε όλα τα δείγματα βοδινών μπιφτεκιών. Συγκεκριμένα, αυτά που υπέστησαν επεξεργασία με πλάσμα στα 60 και 70 kV, είχαν την ουσιαστικότερη διαφορά στην περιεκτικότητα σε MDA. Όμως, τις 4 πρώτες ημέρες, η διαφορά ως προς τις τιμές TBARS ανάμεσα στους μάρτυρες και αυτών στα 50kV δεν ήταν σημαντική. Στα 70kV, η τιμή TBARS των δειγμάτων ήταν υψηλότερη από 2,5 mg/kg την 4<sup>η</sup> ημέρα, ενώ σε 60kV ήταν υψηλότερη από 2,5 mg/kg την 8<sup>η</sup> ημέρα. Ύστερα και από την 8<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, σε όλα τα δείγματα επεξεργασμένα και μη, οι τιμές TBARS ήταν διαφορετικές. Αποδείχθηκε επίσης, ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η τάση επεξεργασίας, τόσο σοβαρότερη ήταν η οξείδωση των λιπιδίων του κρέατος. Ως προς την συχνότητα επεξεργασίας, παρατηρήθηκε ότι η αύξησή της δεν έπαιξε σημαντικό ρόλο στις τιμές TBARS των μπιφτεκιών. (Wang et al., 2021).



**Σχήμα 5:** Αλλαγές στο MRA και στο TBARS σε μπιφτέκια βοείου κρέατος που έχουν υποστεί επεξεργασία με DBD-CP σε διαφορετικές τάσεις (a, c) ή συχνότητες (b, d) κατά την αποθήκευση (Wang et al., 2021).

#### 4.2.2. Επίδραση ψυχρού πλάσματος στο προφίλ των λιπαρών οξέων χοιρινού κρέατος και κοτόπουλου

Η μελέτη των Soro et al. (2022) είχε ως στόχο την αξιολόγηση της επίδρασης της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος (cold plasma, CP) στο προφίλ λιπαρών οξέων (fatty acid profile, FAP) του κρέατος κοτόπουλου και χοιρινού. Τα φρέσκα τρόφιμα, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα σε αλλοιώσεις λόγω της δράσης μικροοργανισμών, της ενζυμικής δραστηριότητας, καθώς και χημικών και φυσικών παραγόντων, όπως είναι η υγρασία, η θερμοκρασία και η σύνθεσή τους. Η τεχνολογία του ψυχρού πλάσματος έχει αποδειχθεί ότι συμβάλλει στην αδρανοποίηση των μικροοργανισμών και επιφέρει διάφορες αλλαγές στη σύνθεση και ποιότητα των τροφίμων. Στο κρέας, η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα οδηγεί σε αλλαγές στο χρώμα και αύξηση της οξειδωσης των πρωτεϊνών και των λιπιδίων, αποτέλεσμα της δημιουργίας ελεύθερων ριζών.

Στα αποτελέσματα της μελέτης, η ανάλυση του προφίλ λιπαρών οξέων (FAP analysis) αποκάλυψε την ταυτοποίηση συνολικά 25 λιπαρών οξέων στο χοιρινό και το κρέας κοτόπουλου. Στα δείγματα μαρτύρων (control samples) χοιρινού και κοτόπουλου παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των λιπαρών οξέων και των ομάδων λιπαρών οξέων FAP. Το κρέας κοτόπουλου εμφάνισε υψηλότερη συγκέντρωση πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (polyunsaturated fatty acids, PUFA) σε σύγκριση με το χοιρινό, όπως το  $\alpha$ -λινολενικό οξύ (alpha-linolenic acid, C18:3n-3c),

το λινολεϊκό οξύ (linoleic acid, C18:2n-6c), το εικοσιπεντανοϊκό οξύ (eicosapentaenoic acid, C22:5n-3c) και το αραχιδονικό οξύ (arachidonic acid, C20:4n-6c).

Σχετικά με την επίδραση του ψυχρού πλάσματος στη σύνθεση των λιπαρών οξέων των δειγμάτων χοιρινού και κοτόπουλου, παρατηρήθηκε ότι στα δείγματα κιμά κοτόπουλου (chicken mince), που επεξεργάστηκαν με διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), υπήρξε αύξηση του νευρονικού οξέος (pernonic acid, C24:1n-9c) κατά περίπου 0,1–0,2%. Ωστόσο, όταν χρησιμοποιήθηκε πεπιεσμένος αέρας (compressed air) για 24 ώρες, δεν παρατηρήθηκε παραγωγή νευρονικού οξέος. Το νευρονικό οξύ είναι σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς τα αντιδραστικά είδη (reactive species) που δημιουργούνται κατά την επεξεργασία με πλάσμα μπορούν να επιφέρουν ποικίλες αλλαγές στην ποιότητα των τροφίμων. Επίσης, καταγράφηκε αύξηση κατά 0,1% στο αραχιδονικό οξύ (arachidonic acid, C20:4n-6c) στα δείγματα κιμά κοτόπουλου που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα και πεπιεσμένο αέρα για 6 λεπτά. Αυτή η αύξηση διατηρήθηκε και μετά την έκθεση των δειγμάτων σε πεπιεσμένο αέρα για 24 ώρες. Παρόμοια αύξηση στο αραχιδονικό οξύ παρατηρήθηκε και στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με πλάσμα και CO<sub>2</sub> μετά από έκθεση 24 ωρών. Επιπλέον, στα δείγματα κιμά χοιρινού (pork mince) που επεξεργάστηκαν με πλάσμα για 6 λεπτά και εκτέθηκαν σε CO<sub>2</sub> κατά τη διαδικασία αποθήκευσης για 24 ώρες, παρατηρήθηκε αύξηση κατά 0,1% στη συγκέντρωση του λαυρικού οξέος (lauric acid, C12:0), μιας ισχυρής αντιμικροβιακής ένωσης.

Αυτές οι αλλαγές στη σύνθεση των λιπαρών οξέων του χοιρινού και του κοτόπουλου που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, δεν είχαν σημαντική επίδραση στους διατροφικούς δείκτες (nutritional indices) και στις ομάδες των κορεσμένων λιπαρών οξέων (saturated fatty acids, SFA), μονοακόρεστων λιπαρών οξέων (monounsaturated fatty acids, MUFA) και πολυακόρεστων λιπαρών οξέων (PUFA) της ομάδας ελέγχου (control group). Ως εκ τούτου, η αύξηση της συγκέντρωσης αυτών των λιπαρών οξέων λόγω της επεξεργασίας με πλάσμα δεν ήταν αρκετά σημαντική ώστε να προκαλέσει αλλαγές στις ομάδες λιπαρών οξέων και στους διατροφικούς δείκτες. Επιπλέον, η έκθεση σε αέριο άζωτο (N<sub>2</sub>) για 24 ώρες στα δείγματα κιμά χοιρινού και κοτόπουλου, δεν είχε σημαντική επίδραση στο προφίλ των λιπαρών οξέων FAP, στις ομάδες λιπαρών οξέων και στους διατροφικούς δείκτες.

Αναφορικά με την επίδραση του νερού ενεργοποιημένου με πλάσμα (plasma-activated water, PAW) στα λιπαρά οξέα των δειγμάτων κοτόπουλου σε σχήμα κύβου, τα αποτελέσματα διέφεραν ανάλογα με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα ή αζώτου. Όταν χρησιμοποιήθηκε PAW με πεπιεσμένο αέρα, δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στο προφίλ των λιπαρών οξέων FAP, στους διατροφικούς δείκτες ή στις ομάδες λιπαρών οξέων των δειγμάτων κοτόπουλου. Αντίθετα, όταν χρησιμοποιήθηκε PAW με άζωτο (N<sub>2</sub>), καταγράφηκε αύξηση στο λινολεϊκό οξύ (linoleic acid, C18:2n-6c) του κρέατος κοτόπουλου κατά 1,44% σε σύγκριση με τους μάρτυρες. Συμπερασματικά, η μέθοδος PAW αποτελεί μια καινοτόμο τεχνολογία για την απολύμανση των τροφίμων, αλλά απαιτείται περαιτέρω αξιολόγηση της ασφάλειας, της ποιότητας και των διατροφικών χαρακτηριστικών των τροφίμων (Soro et al., 2022).

#### **4.2.3. Επίδραση ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ψητού βοδινού κρέατος σε ξυλάνθρακα και σε υπέρθερμο ατμό**

Η έρευνα των Hui et al. (2023) επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της χρήσης ψυχρού πλάσματος κατά τη διαδικασία ωρίμανσης βοδινού κρέατος που έχει ψηθεί με δύο διαφορετικές μεθόδους: υπέρθερμο ατμό (SR) και ξυλάνθρακα (CR). Ένα από τα βασικά ζητήματα που εξετάστηκαν ήταν η παραγωγή ετεροκυκλικών αμινών (HAs) και η ποιότητα της γεύσης του κρέατος. Το ψήσιμο με ξυλάνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη δημιουργία HAs, οι οποίες είναι πιθανώς μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες ενώσεις, ικανές να συνδεθούν ομοιοπολικά με το DNA, μετατρέποντας τα φυσιολογικά κύτταρα σε καρκινικά. Αντίθετα, το ψήσιμο με υπέρθερμο ατμό, μια σύγχρονη τεχνολογία, προσφέρει πλεονεκτήματα τόσο στην ποιότητα του κρέατος όσο και στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα, καθώς απαιτεί λιγότερη ενέργεια και μικρότερο χρόνο επεξεργασίας. Επίσης, ο υπέρθερμος ατμός επιτρέπει τη βαθύτερη διείσδυση της θερμότητας στο κρέας, αποτρέπει την επιτάχυνση της οξείδωσης των λιπιδίων και μειώνει τον σχηματισμό επικίνδυνων ενώσεων όπως τα HAs.

Κατά την ωρίμανση του βοδινού κρέατος με την υποβοήθηση ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος (cold atmospheric plasma, CAP), παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στις τιμές ερυθρότητας (redness value,  $a^*$ ) και κίτρινου χρώματος (yellowness value,  $b^*$ ) των δειγμάτων κρέατος που ψήθηκαν με ξυλάνθρακα (charcoal roasting, CR) και με υπέρθερμο ατμό (superheated steam roasting, SR). Συγκριτικά με το κρέας που ψήθηκε με υπέρθερμο ατμό (SR), το κρέας που ψήθηκε με ξυλάνθρακα (CR) παρουσίασε υψηλότερη τιμή ερυθρότητας. Η χαμηλότερη τιμή ερυθρότητας στο κρέας SR αποδόθηκε στη μικρότερη περιεκτικότητα του σε λιπαρά, στην αυξημένη συγκέντρωση διαλυτών πρωτεϊνών και στη μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας. Ωστόσο, με την εφαρμογή ψυχρού πλάσματος (CAP), η τιμή της ερυθρότητας στα δείγματα που ψήθηκαν με υπέρθερμο ατμό και υποβοηθήθηκαν από ψυχρό πλάσμα (CAP+SR) αυξήθηκε κατά 46%, ενώ στα δείγματα που ψήθηκαν με ξυλάνθρακα και υποβοηθήθηκαν από ψυχρό πλάσμα (CAP+CR) αυξήθηκε μόλις κατά 8%. Συνεπώς, η ωρίμανση με τη βοήθεια ψυχρού πλάσματος (CAP) βελτίωσε σημαντικά τον κορεσμό του χρώματος στο κρέας SR, υποδεικνύοντας ότι οι μέθοδοι θέρμανσης και ωρίμανσης με υποβοήθηση CAP επηρεάζουν καθοριστικά την τιμή ερυθρότητας των βοδινών δειγμάτων. Συνολικά, η συνεργασία του ψυχρού πλάσματος με την επεξεργασία υπέρθερμου ατμού (CAP+SR) αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική στη βελτίωση της ερυθρότητας του ωριμασμένου βοδινού κρέατος σε σχέση με τη συνεργασία του ψυχρού πλάσματος με την επεξεργασία ξυλάνθρακα (CAP+CR) (Hui et al., 2021).

Η αξιολόγηση της οσμής του βοδινού κρέατος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ηλεκτρονικής μύτης (electronic nose). Τα δείγματα της ομάδας κρέατος SR (3η ομάδα) εντοπίστηκαν με έντονα θετικό φορτίο κατά μήκος του άξονα F1, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα, ενώ αντιθέτως τα δείγματα της ομάδας κρέατος CR (1η ομάδα) εντοπίστηκαν με έντονα αρνητικό φορτίο. Αυτό υποδεικνύει σημαντικές διαφορές στην οσμή μεταξύ των ομάδων 1 (CR) και 3 (SR), οι οποίες αποδίδονται στις διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας που εφαρμόστηκαν στα δείγματα της κάθε ομάδας. Επιπλέον, τα δείγματα της ομάδας CR (1η ομάδα) παρουσίασαν βασική απόκριση στους ηλεκτρονικούς αισθητήρες S2, S7, και S9, οι οποίοι είναι ευαίσθητοι σε ετεροκυκλικές ενώσεις θείου ή/και αζώτου. Τα δείγματα της ομάδας CAP+CR (2η

ομάδα) εμφάνισαν βασική απόκριση στους ηλεκτρονικούς αισθητήρες S4, S6, S8 και S10, εκ των οποίων οι S4, S6, και S10 είναι ευαίσθητοι σε αλκάνια, που προέρχονται από πρόδρομες ενώσεις λιπιδίων. Συνεπώς, η ωρίμανση με την υποβοήθηση ψυχρού πλάσματος (CAP) συνέβαλε στην αλλαγή των πτητικών συστατικών του κρέατος CR. Από την άλλη πλευρά, η ωρίμανση με τη βοήθεια του CAP οδήγησε σε διαφοροποιημένες αποκρίσεις στους αισθητήρες για τα δείγματα της ομάδας SR (3η ομάδα) σε σχέση με τα δείγματα CR, με βασικές αποκρίσεις στους αισθητήρες S1 και S3, που είναι ευαίσθητοι σε αρωματικές ενώσεις που περιέχουν βενζόλιο (Hui et al., 2021).

Περνώντας στις προερχόμενες πτητικές ενώσεις λόγω της οξείδωσης των λιπαρών οξέων, περιλαμβάνονται αλκοόλες, κετόνες, αλδεΐδες και καρβοξυλικά οξέα. Το ιδιαίτερο άρωμα του κρέατος επηρεάζεται από την παρουσία μικρής ποσότητας τέτοιων πτητικών ενώσεων. Όμως, σε μεγαλύτερες ποσότητες αυτών, δημιουργείται δυσάρεστη γεύση και τάγκιση στο κρέας και τα προϊόντα του. Έτσι, μεταξύ των δειγμάτων κρέατος των ομάδων 1 (CR) και 3 (SR), δεν βρέθηκαν ουσιαστικές ποσοτικές διαφορές στα πτητικά οξέα λόγω της οξείδωσης των λιπιδίων. Με την εφαρμογή, ωστόσο, της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος, εντοπίστηκε σημαντική ελάττωση των πτητικών ενώσεων στα δείγματα βοδινού κρέατος SR, ενώ στα δείγματα βοδινού κρέατος CR δεν παρατηρήθηκε κάποια ελάττωση των ενώσεων αυτών. Άρα, σημαντικό ρόλο έχει και η επιλογή της μεθόδου θερμικής επεξεργασίας. (Hui et al., 2021).

Τέλος, αναφέροντας τα αποτελέσματα για τις ετεροκυκλικές αμίνες HA, γενικά αποτελούν τις βασικότερες τοξικές ουσίες που σχηματίζονται στα ψητά κρέατα, λόγω της χρήσης υψηλής θερμοκρασίας. Η ταξινόμηση των HA αφορά 2 ομάδες, όπου στην μία βρίσκονται οι πολικές HA, οι οποίες δημιουργούνται μέσω της αντίδρασης Maillard και στην άλλη ομάδα βρίσκονται οι μη πολικές HA, οι οποίες δημιουργούνται μέσω της πυρόλυσης πρωτεϊνών ή αμινοξέων. Στα δείγματα βοδινού κρέατος SR παρατηρήθηκε μικρότερη ποσότητα HAs συγκριτικά με τα δείγματα CR, κάτι που οφείλεται στο ψήσιμο με τον υπέρθερμο ατμό, ο οποίος δεν συμβάλλει ιδιαίτερα στον σχηματισμό ετεροκυκλικών αμινών στο ψητό κρέας. Επιπρόσθετα, στην διαδικασία αυτή μπορεί να ελαττωθεί επιπλέον η δημιουργία HAs, καθώς το χαμηλό οξυγόνο που επικρατεί, δύναται να λιγοστέψει την διάδοση των ελεύθερων ριζών που σχηματίζονται στο κρέας ή την δημιουργία καρβονυλίων κατά την οξείδωση των λιπιδίων. Όσον αφορά την ωρίμανση με την εφαρμογή ψυχρού πλάσματος στα επεξεργασμένα κρέατα με CR και SR, δεν οδήγησε σε αύξηση ούτε των πολικών, ούτε των μη πολικών HA στα δείγματα του βοδινού κρέατος. Έτσι, βασικοί παράγοντες, από τους οποίους εξαρτάται η δημιουργία HA στο κρέας και τα προϊόντα του, επιβεβαιώθηκε ότι είναι ο χρόνος και η θερμοκρασία θέρμανσης. (Hui et al., 2021).

#### **4.2.4. Επίδραση ψυχρού πλάσματος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του παστοურμά**

Η έρευνα των Gök et al. (2019) είχε ως στόχο τη μελέτη της εφαρμογής ψυχρού ατμοσφαιρικού πλάσματος (CAP) στον παστοურμά και την αξιολόγηση των ποιοτικών

χαρακτηριστικών του προϊόντος. Στα αποτελέσματα, αρχικά, παρατηρήθηκε ότι το pH του παστοურμά δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά μετά την επεξεργασία με ψυχρό ατμοσφαιρικό πλάσμα, είτε χρησιμοποιήθηκε οξυγόνο είτε αργό, σε χρόνους έκθεσης 180 ή 300 δευτερολέπτων. Ωστόσο, η σύσταση των αερίων και ο χρόνος έκθεσης επηρέασαν την περιεκτικότητα των δειγμάτων σε υγρασία, η οποία γενικά μειώθηκε. Η ελάχιστη τιμή υγρασίας, 44,54%, επιτεύχθηκε με την εφαρμογή μίγματος 75% Ar / 25% O<sub>2</sub> σε χρόνο έκθεσης 300 δευτερολέπτων.

Επιπλέον, η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα επηρέασε την ενεργότητα νερού (aw) των δειγμάτων, η οποία επίσης μειώθηκε, με την ελάχιστη τιμή να φτάνει το 0,71, χρησιμοποιώντας το ίδιο μίγμα αερίων και χρόνο έκθεσης. Σχετικά με τις τιμές TBARS, οι χρόνοι επεξεργασίας δεν είχαν στατιστικά σημαντική επίδραση, αλλά η σύνθεση των αερίων επηρέασε τις τιμές, με την υψηλότερη να σημειώνεται στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με O<sub>2</sub> για 180 δευτερόλεπτα.

Τέλος, παρατηρήθηκαν αλλαγές στις τιμές χρώματος του παστοურμά, αν και αυτές δεν ήταν πρακτικά σημαντικές. Για παράδειγμα, η τιμή της ελαφρότητας (L\*) αυξήθηκε κατά 3,63 μονάδες με την επεξεργασία με οξυγόνο, ενώ μειώθηκε όταν χρησιμοποιήθηκε αργό. Η τιμή της ερυθρότητας (a\*) μειώθηκε κατά 2,61 μονάδες, και η τιμή του κίτρινου χρώματος (b\*) κατά 2,49 μονάδες (Gök et al., 2019).

#### **4.2.5. Επίδραση ψυχρού πλάσματος DBD στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κοτόπουλου**

Η παρακάτω έρευνα των Abdel-Naeem et al. (2022) πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της εφαρμογής πλάσματος DBD, με χρήση αερίου αργού και οξυγόνου σε χαμηλή τάση 20 kV και σε χρόνους έκθεσης 3 και 5 λεπτά, σε διάφορα χαρακτηριστικά φιλέτων στήθους κοτόπουλου, όπως τα φυσικοχημικά και αισθητηριακά χαρακτηριστικά και η τοπογραφική δομή.

Στο χρώμα των δειγμάτων που υπέστησαν επεξεργασία με αέριο οξυγόνο στα 3' και 5', με βάση τα αποτελέσματα, η φωτεινότητα L\* και το κίτρινο χρώμα b\* αυξήθηκαν, ενώ η ερυθρότητα a\* μειώθηκε σημαντικά. Αυτό ίσως οφείλεται στις αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών που βρίσκονται στο κρέας και των αντιδραστικών ομάδων που δημιουργούνται από το πλάσμα, με αποτέλεσμα την οξείδωση των χρωστικών του κρέατος. Από την άλλη, τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με αέριο αργό σε χρόνους έκθεσης 3' και 5', δεν εμφάνισαν σημαντικές αλλαγές στις τιμές L\*, a\* και b\*. Επιπλέον, η ποιότητα του κρέατος και η καταναλωτική προτίμηση, εξαρτάται και από την τρυφερότητά του που έχει να κάνει με την τιμή διάτμησης. Στο πείραμα αυτό, όλες οι ομάδες δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με πλάσμα DBD, συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, έδειξαν μείωση στις τιμές διάτμησης, με χαμηλότερη τιμή να εντοπίζεται σε αυτά που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με αργό, ενώ ο χρόνος έκθεσης δεν επηρέασε ιδιαίτερα το αποτέλεσμα. Επιπρόσθετα, η απώλεια μαγειρέματος φάνηκε ότι δεν επηρεάστηκε από την θεραπεία με πλάσμα DBD σε σχέση με τους μάρτυρες. Επίσης, για τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά, όλα τα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία με πλάσμα ήταν αισθητά βελτιωμένα, με υψηλότερες βαθμολογίες να έχουν οι ομάδες επεξεργασίας με το αργό. (Abdel-Naeem et al., 2022).

Στα αποτελέσματα για την τοπογραφική δομή, στην ομάδα των μαρτύρων εμφανίστηκε μια δομή καλά οργανωμένη, με μικρούς χώρους μεταξύ των μυών και στενά συσσωρευμένων μεταξύ τους. Στις ομάδες που επεξεργάστηκαν με πλάσμα DBD με αέριο οξυγόνο για 3 και 5 λεπτά, οι μυϊκές ίνες ήταν πηγμένες με κατακερματισμούς και ρωγμές, χάνοντας την κανονική δομή. Επίσης, στην ομάδα που υπέστη επεξεργασία με πλάσμα DBD με χρήση αερίου αργού για 3 λεπτά οι μυϊκές ίνες εμφανίστηκαν κατακερματισμένες, ενώ σε αυτήν με αέριο αργό για 5 λεπτά, η δομή της είχε αρκετές αλλαγές και μορφή εκτεταμένης αποικοδόμησης. Οι περισσότερες αλλαγές εντοπίστηκαν στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με αργό για 5', ενώ οι λιγότερες σε αυτά με οξυγόνο για 3'. (Abdel-Naeem et al., 2022).

#### **4.2.6. Επίδραση του ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος στα ποιοτικά χαρακτηριστικά στο κρέας κοτόπουλου**

Η παρούσα μελέτη των Kang et al. (2022) πραγματοποιήθηκε με σκοπό την διερεύνηση των επιδράσεων του ενεργοποιημένου με πλάσμα οξικού οξέος (PAAA) στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του κρέατος κοτόπουλου.

Παρατηρώντας το pH στα στήθη και τα μπούτια κοτόπουλου, εμφανίστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μαρτύρων και των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με AA και PAAA. Αυτά που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία εμφάνισαν μειωμένο pH σε σχέση με τους μάρτυρες, όμως μεταξύ των δειγμάτων που επεξεργάστηκαν με 0,8% AA και PAAA δεν υπήρχαν ουσιαστικές διαφορές. Όσον αφορά τις τιμές TBARS των δειγμάτων από στήθη και μπούτια κοτόπουλου, εντοπίστηκαν αξιοσημείωτες διαφορές μεταξύ αυτών που επεξεργάστηκαν με 0,8% AA και PAAA και των μαρτύρων, με τα επεξεργασμένα δείγματα να εμφανίζουν συγκριτικά χαμηλότερες τιμές. Ωστόσο, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις τιμές TBARS μεταξύ των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με 0,8% AA και αυτών με PAAA, κάτι που υποδηλώνει ότι το πλάσμα δεν επιδρά ιδιαίτερα στην επεξεργασία. Περνώντας στο χρώμα των δειγμάτων από στήθος και μπούτι που επεξεργάστηκαν με 0,8% AA και PAAA, σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, οι τιμές  $L^*$  αυξήθηκαν, ενώ οι τιμές  $a^*$  και  $b^*$  ελαττώθηκαν. Επίσης, στα δείγματα από μπούτι κοτόπουλο των μαρτύρων και των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία δεν εντοπίστηκαν έντονες διαφορές στις τιμές χρώματος. (Kang et al., 2022).

#### **4.2.7. Επίδραση διαφόρων αντιοξειδωτικών σε επεξεργασμένα με πλάσμα DBD μπιφτέκια ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους**

Η ακόλουθη έρευνα των Gao et al. (2021), πραγματοποιήθηκε με σκοπό την παρατήρηση των επιδράσεων 4 φυσικών αντιοξειδωτικών: της καρνοσίνης, εκχυλίσματος φλοιού πεύκου, εκχυλίσματος ροδιού και εκχυλίσματος δενδρολιβάνου, στην οξείδωση των λιπιδίων LPO (Lipid Peroxides - αναφέρονται σε λιπιδικά υπεροξειδια, τα οποία είναι προϊόντα οξείδωσης των λιπιδίων) και στην ποιότητα κιμά προερχόμενου από κρέας κοτόπουλου, ο οποίος έχει συσκευαστεί σε τροποποιημένη

ατμόσφαιρα και έχει επεξεργαστεί με πλάσμα εκκένωσης διηλεκτρικού φραγμού DBD-IPCP.

Ως προς την επίδραση στο pH των μπιφτεκίων κοτόπουλου, τα δείγματα που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, την *ημέρα 0* το pH στο δείγμα με ρόδι ήταν 5,8, στο δείγμα με καρνοσίνη 6,52, ενώ στον μάρτυρα 5,91. Άρα, η χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών σε μπιφτέκια κοτόπουλου φαίνεται ότι επηρεάζει το pH τους. Επιπλέον, στα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία με CP, το pH αυτών με καρνοσίνη ήταν 6,35, αυτών με BHT 5,77 και αυτό του μάρτυρα ήταν 5,66. Αφότου επήλθε η επεξεργασία IPCP στα δείγματα μπιφτεκίων κοτόπουλου, το pH ήταν μικρότερο και στα 6 δείγματα σε σχέση με αυτά που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα. Επομένως, η επεξεργασία IPCP συμβάλλει στην ελάττωση του pH στα μπιφτέκια κοτόπουλου, χωρίς το είδος του αντιοξειδωτικού να παίζει κάποιο ρόλο στην μείωση αυτή. (Gao et al., 2021).

Μετά από την 5<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης σε ψύξη, μεταξύ των 6 δειγμάτων μπιφτεκίων με αντιοξειδωτικά που δεν υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, υπήρχαν διαφορές στις τιμές του pH. Μεγαλύτερες τιμές είχαν τα δείγματα με καρνοσίνη, δενδρολίβανο και BHT, ενώ οι τιμές των μαρτύρων ήταν 5,98-6,65. Άρα, αποδεικνύεται ότι το pH στα μπιφτέκια κοτόπουλου αυξήθηκε μετά από την αποθήκευση σε συνθήκες ψύξης, ενώ καίριο ρόλο είχε και το αντίστοιχο αντιοξειδωτικό. Επιπρόσθετα, στα δείγματα των μπιφτεκίων κοτόπουλου που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, οι τιμές pH ήταν μικρότερες σε σύγκριση με τα μπιφτέκια χωρίς επεξεργασία CP. Επομένως, το pH των δειγμάτων μπιφτεκίων, επεξεργασμένων με ψυχρό πλάσμα και μη, οδηγήθηκε σε αύξηση κατά την διαδικασία αποθήκευσης. (Gao et al., 2021).

Όσον αφορά το χρώμα των μπιφτεκίων και το πώς επηρεάστηκε από την χρήση αντιοξειδωτικών, αρχικά, στα δείγματα μπιφτεκίων που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, την *ημέρα 0* οι τιμές  $L^*$  ήταν χαμηλότερες συγκριτικά με αυτές του μάρτυρα και άρα η προσθήκη αντιοξειδωτικών συνέβαλε στην μείωση της τιμής ελαφρότητας και εξαρτάται από το είδος του αντιοξειδωτικού. Ακόμη, οι μετρήσεις στις τιμές  $L^*$ , πριν και αργότερα από την επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, των δειγμάτων με καρνοσίνη, BHT, φλοιό πεύκου, δενδρολίβανο και στους μάρτυρες, δεν εμφάνισαν ουσιαστικές διαφορές. Διαφορά υπήρξε μόνο στο δείγμα με το ρόδι, όπου η τιμή  $L^*$  ήταν χαμηλότερη ακριβώς μετά από την επεξεργασία με CP σε σχέση με πριν από την επεξεργασία CP. Επιπλέον, ύστερα από την 5<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, δεν εμφανίστηκαν σημαντικές αλλαγές στις τιμές  $L^*$  των δειγμάτων σε σχέση με την ημέρα 0, είτε είχαν επεξεργαστεί με ψυχρό πλάσμα, είτε όχι. Σε όλα τα δείγματα που δεν υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα, εκτός από αυτό με τον φλοιό πεύκου, οι τιμές  $L^*$  εμφάνισαν μείωση με την πάροδο των ημερών, δηλαδή από την ημέρα 0 προς την ημέρα 5. Άρα, η αποθήκευση σε θερμοκρασία ψύξης φαίνεται ότι συμβάλλει στην ελάττωση της τιμής της ελαφρότητας  $L^*$  στα μπιφτέκια κοτόπουλου, με το αντιοξειδωτικό να έχει ρόλο σε αυτό. Διαφορές στα αποτελέσματα των τιμών  $L^*$ , παρατηρήθηκαν επίσης μετά την 5<sup>η</sup> ημέρα και στα δείγματα μπιφτεκίων κοτόπουλου που υπέστησαν επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα. (Gao et al., 2021).

Ως προς τις τιμές  $a^*$ , την *ημέρα 0*, τα δείγματα που δεν υπέστησαν επεξεργασία με CP, εμφάνισαν ουσιαστικές διαφορές, με το δείγμα καρνοσίνης να έχει την χαμηλότερη

τιμή 3,13 και το δείγμα με τον φλοιό πεύκου την μεγαλύτερη τιμή 14,61. Συνεπώς, η ερυθρότητα στα μπιφτέκια κοτόπουλου μπορεί να επηρεαστεί με την προσθήκη αντιοξειδωτικών. Όμως, στους μάρτυρες που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα και στα δείγματα με ψυχρό πλάσμα καρνοσίνης, φλοιού πεύκου, BHT και δενδρολίβανου, οι τιμές  $a^*$  ήταν χαμηλότερες σε σχέση με τα δείγματα που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα και άρα υπάρχει σύνδεση μεταξύ αντιοξειδωτικού και επεξεργασίας ψυχρού πλάσματος. Ακόμη, αφού αποθηκεύτηκαν για 5 ημέρες, τα δείγματα μπιφτεκιών κοτόπουλου που δεν υπέστησαν επεξεργασία CP και είχαν αντιοξειδωτικά, εμφάνισαν διαφορές στις τιμές  $a^*$  και συγκεκριμένα η ερυθρότητα ελαττώθηκε, χωρίς να υπάρχει σύνδεση μεταξύ αντιοξειδωτικού και αποθήκευσης. Αντίθετα, ύστερα από την 5<sup>η</sup> ημέρα, στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, στις τιμές  $a^*$  αποδείχθηκε ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ αντιοξειδωτικού και χρόνου αποθήκευσης. (Gao et al., 2021).

Όσον αφορά τις τιμές  $b^*$ , τα δείγματα που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα και περιείχαν καρνοσίνη, BHT, ρόδι και φλοιό πεύκου, την *ημέρα 0* είχαν χαμηλότερες τιμές από το δείγμα ελέγχου, ενώ το δείγμα με το δενδρολίβανο είχε μεγαλύτερη τιμή  $b^*$ . Άρα, το δενδρολίβανο αύξησε το κίτρινο χρώμα στα μπιφτέκια. Επίσης, η τιμή  $b^*$  του δείγματος ελέγχου που δεν υπέστη επεξεργασία CP ήταν μεγαλύτερη από του αντίστοιχου που επεξεργάστηκε με ψυχρό πλάσμα και συνεπώς, η επεξεργασία με DBD ελάττωσε το κιτρίνισμα των μπιφτεκιών κοτόπουλου και τα αντιοξειδωτικά από την μεριά τους συνέβαλαν στην προστασία του κίτρινου χρώματος των δειγμάτων. Μετά από αποθήκευση 5 ημερών σε θερμοκρασία ψύξης, στο δείγμα ελέγχου που δεν υπέστη επεξεργασία, η τιμή  $b^*$  ήταν χαμηλότερη από το ίδιο δείγμα ελέγχου την ημέρα 0 και άρα η ψύξη συνέβαλε στην ελάττωση του κιτρινίσματος. Επιπλέον, στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, από την 5<sup>η</sup> μέρα και μετά, υπήρχαν διαφορές στις τιμές  $b^*$  μεταξύ των δειγμάτων με τα αντιοξειδωτικά, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπήρχε αλληλεπίδραση μεταξύ του αντιοξειδωτικού και της επεξεργασίας CP στο κίτρινο χρώμα των μπιφτεκιών κοτόπουλου. Στα δείγματα καρνοσίνης, BHT και στον μάρτυρα οι τιμές  $b^*$  μειώθηκαν με την επεξεργασία CP και η χρήση φυσικών αντιοξειδωτικών μπορεί να συμβάλλει στην προφύλαξη της ελάττωσης του κίτρινου χρώματος. (Gao et al., 2021).

Αναφέροντας τα αποτελέσματα των επιδράσεων των αντιοξειδωτικών στις τιμές TBARS των μπιφτεκιών κοτόπουλου, αρχικά, την ημέρα 0 στα δείγματα που δεν επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα, δεν εντοπίστηκαν διαφορές στους μέσους όρους των τιμών TBARS, άρα η χρήση αντιοξειδωτικών δεν έπαιξε κάποιο ρόλο στην τιμή αυτή. Καθώς τα δείγματα επεξεργάστηκαν με CP, εμφανίστηκε μια σημαντική μείωση της τιμής TBARS στα δείγματα μπιφτεκιών με φλοιό πεύκου και BHT σε σχέση με τον μάρτυρα. Γενικά, τα δείγματα που υπέστησαν επεξεργασία ψυχρού πλάσματος είχαν μεγαλύτερες μέσες τιμές TBARS σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δείγματα. Επομένως, φάνηκε ότι υπήρχε σχέση μεταξύ του αντιοξειδωτικού και της επεξεργασίας με ψυχρό πλάσμα. Το DBD φάνηκε ότι οδήγησε σε αύξηση του LPO στα δείγματα, ανεξάρτητα από το αντιοξειδωτικό που περιείχαν. Ύστερα από 5 ημέρες αποθήκευσης, στα μη επεξεργασμένα δείγματα παρατηρήθηκαν διαφορές στις TBARS τιμές και άρα σύνδεση μεταξύ αντιοξειδωτικού και αποθήκευσης. Η χρήση αντιοξειδωτικού οδήγησε σε μείωση των τιμών των δειγμάτων εκτός από αυτό που περιείχε φλοιό πεύκου και

καρνοσίνη. Κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία ψύξης παρατηρήθηκε αύξηση στο LPO των δειγμάτων μπιφτεκιών. Επιπλέον, οι τιμές TBARS των επεξεργασμένων δειγμάτων με CP αυξήθηκαν με την πάροδο των ημερών ανεξάρτητα από το αντιοξειδωτικό. Αυτό έδειξε ότι κατά την διαδικασία αποθήκευσης σε ψύξη, μεταξύ αντιοξειδωτικού και επεξεργασίας πλάσματος υπήρχε αλληλεπίδραση. Το πιο αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό στην αναστολή LPO στα επεξεργασμένα με CP δείγματα, αποδείχθηκε ότι είναι ο φλοιός πεύκου και το λιγότερο αποτελεσματικό ήταν η καρνοσίνη. (Gao et al., 2021).

#### **4.2.8. Αξιολόγηση χρήσης ψυχρού πλάσματος στην ποιότητα συσκευασμένου κοτόπουλου**

Η ακόλουθη έρευνα των Moutiq et al. (2020) πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αξιολόγηση της τεχνολογίας ψυχρού πλάσματος υψηλής τάσης σε συσκευασία στήθους κοτόπουλου για την παρατήρηση αλλαγών στην ποιότητα του προϊόντος και τις αλλαγές μακροπρόθεσμα στην ποιότητα του στήθους κοτόπουλου εντός της συσκευασίας.

Όσον αφορά τις τιμές χρώματος, αποδείχθηκε ότι οι μάρτυρες και τα δείγματα που επεξεργάστηκαν με ψυχρό πλάσμα δεν είχαν σημαντική στατιστικά διαφορά μεταξύ τους, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η επεξεργασία πλάσματος σε στήθη κοτόπουλου δεν αλλάζει σημαντικά το χρώμα των δειγμάτων. Επιπρόσθετα, για το pH, η τιμή του στα δείγματα της ομάδας ελέγχου κυμαινόταν από 5,6 έως 6,1. Μετά από την επεξεργασία των δειγμάτων στήθους κοτόπουλου, ανεξάρτητα από τον χρόνο επεξεργασίας, παρατηρήθηκε σε όλα τους μείωση στην τιμή του pH, με στατιστικά σημαντικότερη μείωση να εντοπίζεται σε χρόνο μεταξύ 1 και 3 λεπτών και όχι μεταξύ 3 και 5 λεπτών. Ακόμη, περνώντας στην τιμή της ικανότητας συγκράτησης νερού (WHC), στους μάρτυρες μετρήθηκε περίπου στα 24ml/100g. Όμως, η επεξεργασία με ψυχρό πλάσμα αποδείχθηκε ότι την επηρεάζει ανάλογα με τον χρόνο, αφού μετά από επεξεργασία για 5 λεπτά, υπήρξε μια ελάττωση της τιμής γύρω στα 17ml/100g. Ωστόσο, η επεξεργασία μέχρι 3 λεπτά δεν οδήγησε σε σημαντική αλλαγή της ικανότητας συγκράτησης νερού των δειγμάτων. Επίσης, αναφέροντας για την οξείδωση των λιπιδίων, ως δείκτης φθοράς και οξείδωσης στο κρέας και τα προϊόντα του, χρησιμοποιείται η μηλονοαλδευδη (MDA). Σύμφωνα με την δοκιμασία TBARS, δεν φάνηκε να υπάρχει διαφορά στην μέση περιεκτικότητα μηλονοαλδευδης των μαρτύρων και των δειγμάτων που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με πλάσμα σε όλους τους χρόνους επεξεργασίας. (Moutiq et al., 2020).

Ακόμη, κατά την αποθήκευση της συσκευασίας παρατηρήθηκαν τυχόν αλλαγές στο χρώμα και το pH των δειγμάτων. Για το χρώμα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων ελέγχου και των επεξεργασμένων δειγμάτων, ωστόσο την 15<sup>η</sup> ημέρα η τιμή b\* εντοπίστηκε να είναι σημαντικά διαφορετική, ενώ η τιμή L\* ήταν διαφορετική μετά την 9<sup>η</sup> μέρα. Όσον αφορά το pH, μέχρι και την 9<sup>η</sup> μέρα δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στους μάρτυρες και τα επεξεργασμένα δείγματα, αλλά το pH των δειγμάτων της ομάδας ελέγχου, σε σχέση με τα επεξεργασμένα με πλάσμα δείγματα, φάνηκε να αυξάνεται μετά από την 12<sup>η</sup> μέρα. (Moutiq et al., 2020).

## **Συμπεράσματα**

Συμπερασματικά, το κρέας και τα προϊόντα του αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής του ανθρώπου, καθώς έχουν υψηλή θρεπτική αξία σε πρωτεΐνες, λιπίδια και διάφορες βιταμίνες, με κυριότερη την βιταμίνη B12. Έτσι, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η ποιότητα και η ασφάλεια του κρέατος και των προϊόντων του, όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, όπως το χρώμα, η γεύση, κ.ά, και την αντιμετώπιση των μικροοργανισμών που μπορεί να αναπτυχθούν σε αυτό, εφόσον βρουν ευνοϊκές συνθήκες. Η καινοτόμος μέθοδος της τεχνολογίας του ψυχρού πλάσματος έχει αποδειχθεί, βάσει πολλών και ποικίλων μελετών που πραγματοποιήθηκαν, ότι είναι αποτελεσματική για την αδρανοποίηση ενζύμων και μικροοργανισμών και μπορεί, ακόμη, να οδηγήσει σε κρέας υψηλής ποιότητας ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και το χρώμα του.

# Βιβλιογραφία

## Ελληνική

- **Κοτζεκίδου Παρθένα. 2009.** Μικροβιολογία τροφίμων και μικροβιολογική ανάλυση τροφίμων. Εκδόσεις Γιαχούδη., Θεσσαλονίκη 61-65.
- **Μπλούκας. (2017).** Τεχνολογία κρέατος. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα.
- **Παπαβέργου Αικατερίνη. 2015.** Τεχνολογία Τροφίμων Ζωικής Προέλευσης. Σχολή Επιστημών Υγείας – Τμήμα Κτηνιατρικής.
- **Παπαδοπούλου, Ό. Σ. (2015).** Εκτίμηση της αλλοίωσης του κρέατος με σύγχρονες μεθόδους.

## Ξένη

- **Abdel-Naeem, H., et al., (2022).** Decontamination of chicken meat using dielectric barrier discharge cold plasma technology: The effect on microbial quality, physicochemical properties, topographical structure, and sensory attributes. *LWT - Food Science and Technology* 165.
- **Albertos, I., Martín-Diana, A.B., et al. (2017).** Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 44, 117–122.
- **Ben Gardi, B., Roth, J., et al. (2000).** Sterilization and plasma processing of room temperature surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP). *Surf. Coatings Technol.* 131, 528–541.
- **Dave, H., Ledwani, L. & Nema, S. (2019).** Nonthermal plasma: A promising green technology to improve environmental performance of textile industries. In *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 199–249.
- **Dirks, B.P., Dobrynin, D., et al. (2012).** Treatment of Raw Poultry with Nonthermal Dielectric Barrier Discharge Plasma To Reduce *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*. *J. Food Prot.* 75, 22–28.
- **Doyle, M.P. & Beuchat, L.R. 2007.** “Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers”, 3rd ed. ASM Press, Washington DC. p. 390.
- **Enser, M., Hallet, K. et al. (1996).** Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42. pp. 443-456.
- **Filipić, A., Gutierrez-Aguirre, I., et al., (2020).** Cold Plasma, a New Hope in the Field of Virus Inactivation. *Trends in Biotechnology.* pp. 1278-1291.
- **Gao, Y., Yeh, H., et al. (2021).** Effects of different antioxidants on quality of meat patties treated with in-package cold plasma. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 70
- **Gök, V., Aktop, S., et al. (2019).** The effects of atmospheric cold plasma on inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* and some quality characteristics of pastırma —A dry-cured beef product. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 56

- **Harikrishna, S., Anil, P., Shams, R. & Dash, K. (2023).** Cold plasma as an emerging nonthermal technology for food processing: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research* 14
- **Higgs, J. (2005).** The nutritional quality of meat. In *Meat processing-Improving quality*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, pp. 64-104.
- **Hui, T., Fang, Z. et al., (2021).** Effect of cold atmospheric plasma-assisted curing process on the color, odor, volatile composition, and heterocyclic amines in beef meat roasted by charcoal and superheated steam. *Meat Science* 196.
- **ICMSF, 1980.** Microbial Ecology of Foods: Factors Affecting Life and Death of Microorganisms. Vol 1. International Commission on Microbiological Specifications for Foods, Academic Press, Inc., Orlando, Fla.
- **Jay, J.M., Loessner, M.J. & D.A. Golden. 2005.** *Modern Food Microbiology*. 7th ed. Springer, New York.
- **Joseph, M. (2018).** 13 types of meat and their benefits. *Nutrition advance* (Πάρθηκε από την εξής ιστοσελίδα <https://www.nutritionadvance.com/types-of-meat/> στις 08/05/2023)
- **Kang, T., Yim, D. et al., 2022.** Effect of plasma-activated acetic acid on inactivation of Salmonella Typhimurium and quality traits on chicken meats. *Poultry Science* 101:101793.
- **Koohmaraie, M. (1996).** Biochemical factors regulating the toughening and tenderation processes of meat. *Meat Science* 43, pp. 193-201.
- **Lin, L., Liao, X. & Cui, H. (2019).** Cold plasma treated thyme essential oil/silk fibroin nanofibers against Salmonella Typhimurium in poultry meat. *Food Packaging and Shelf Life* 21
- **Moutiq, R., Misra, N. et al., (2020).** In-package decontamination of chicken breast using cold plasma technology: Microbial, quality and storage studies. *Meat Science* 159.
- **Niemira, B.A., Gutsol, A. (2011).** Nonthermal Plasma as a Novel Food Processing Technology. In *Nonthermal Processing Technologies for Food*; Wiley: New York, NY, USA, pp. 271–288.
- **Seuss, J. (1990).** The nutritional value of meat and meat products. A critical look at their constituents as compared with other foods. pp. 1444-1447.
- **Soro, A., Harrison, S., et al. 2022.** Impact of ultraviolet light and cold plasma on fatty acid profile of raw chicken and pork meat. *Journal of Food Composition and Analysis* 114
- **Souza, V., Ilera, A. & Keener, K., (2022).** High voltage atmospheric cold plasma technology as a food safety intervention for decontamination of cutting tools during ready-to-eat poultry meat slicing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 80.
- **Varilla, C., Marcone, M. & Annor, G. (2020).** Potential of Cold Plasma Technology in Ensuring the Safety of Foods and Agricultural Produce: A Review.
- **Wang, X., Wang, Z. et al., (2021).** Changes in color, myoglobin, and lipid oxidation in beef patties treated by dielectric barrier discharge cold plasma during storage. *Meat Science* 176.

