



**Σχολή Επιστημών Τροφίμων**

**Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και  
εμπλουτισμού με φυσικά αντιοξειδωτικά για την  
παραγωγή τροφίμων με αυξημένη  
διατηρησιμότητα**

**English Title**

**Application of edible coatings and enrichment  
with natural antioxidants assist for the  
production of food with extended shelf life**

**ΑΜΠΣΧΑΡΟΝ ΚΑΡΟΛ/KAROL ABSKHARON**

**(16003)**

**ΜΠΟΥΡΛΗ ΜΑΡΙΑ/MARIA BOURLI (17070)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :**

**ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΑ/GIANNAKOUROU MARIA**

**ΑΙΓΑΛΕΩ/EGALEO 2022**

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο «Εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και εμπλουτισμού με φυσικά αντιοξειδωτικά για την παραγωγή τροφίμων με αυξημένη διατηρησιμότητα» που παρουσιάστηκε από την ΑΜΠΣΧΑΡΟΝ ΚΑΡΟΛ και την ΜΠΟΥΡΛΗ ΜΑΡΙΑ και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία

ΓΙΑΝΝΑΚΟΥΡΟΥ ΜΑΡΙΑ

Ημερομηνία

ΤΡΙΑΝΤΗ ΜΥΡΤΩ

Ημερομηνία

ΡΕΒΕΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ-ΚΥΡΙΑΚΗ

## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Οι κάτωθι υπογράφοντες Αμπσχαρόν Κάρολ του George, με αριθμό μητρώου 16003 και Μπουρλή Μαρία του Ηλία, με αριθμό μητρώου 17070, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμης Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι: «Είμαστε συγγραφείς αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μας».

Οι δηλούντες

ΑΜΠΣΧΑΡΟΝ ΚΑΡΟΛ και ΜΠΟΥΡΛΗ ΜΑΡΙΑ

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα Καθηγήτρια της παρούσας πτυχιακής εργασίας κ. Γιαννακούρου Μαρία του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας τροφίμων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την πολύτιμη αρωγή της καθώς και καθοδήγησής της, για την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Επιπλέον,θα θέλαμε να την ευχαριστήσουμε για την υπέροχη συνεργασία που είχαμε όλο το διάστημα της έρευνας και συγγραφής της πτυχιακής.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να αξιολογήσει αν οι εδώδιμες μεμβράνες που εμπλουτίζονται με φυσικά αντιοξειδωτικά συμβάλουν στην αύξηση της διατηρησιμότητας των τροφίμων. Μία από τις κυριότερες πρώτες ύλες για την παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών είναι οι πολυσακχαρίτες, οι οποίοι μπορούν να είναι ζωϊκής προέλευσης, όπως η χιτοζάνη, φυτικής προέλευσης, όπως η κυτταρίνη, το άμυλο, η πηκτίνη και το αραβικό κόμμι ή θαλάσσιας προέλευσης, όπως είναι τα αλγινικά. Επίσης, εδώδιμες μεμβράνες παρασκευάζονται και από πρωτεΐνες, οι οποίες είναι είτε ζωϊκής προέλευσης, όπως από πρωτεΐνες γάλακτος και αυγού είτε φυτικής προέλευσης όπως με βάση τη ζεΐνη. Ως πρώτη ύλη για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και τα λιπίδια όπως είναι οι κηροί, τα λιπαρά οξέα, τα τριγλυκερίδια, οι ρητίνες και τα αιθέρια έλαια. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά προέρχονται από εκχυλίσματα φυτών, αιθέρια έλαια βοτάνων, μπαχαρικών και ρητινών, ακόμη και πολυφαινολικά συμπυκνώματα από απόβλητα διαφόρων βιολογικών πηγών. Πρόκειται για δραστικές ενώσεις που ανήκουν κυρίως στις βιταμίνες, τα καροτένια και τις πολυφαινόλες. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά μειώνουν τη διαπερατότητα των εδώδιμων μεμβρανών, ενώ δεσμεύουν ελεύθερες ρίζες. Οι εμπλουτισμένες με φυσικά αντιοξειδωτικά εδώδιμες μεμβράνες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στα τρόφιμα, όπως κρέας και κρεατοσκευάσματα, ιχθυηρά, φρούτα και λαχανικά.

**Λέξεις κλειδιά:** εδώδιμες μεμβράνες, αντιοξειδωτικά, χιτοζάνη, αραβικό κόμμι, αλγινικά

## Abstract

The purpose of this dissertation is to evaluate whether edible coatings enriched with natural antioxidants assist in increasing the shelf life of food. One of the main raw materials for the design and manufacture of edible coatings are polysaccharides, which can be of animal origin, such as chitosan, of plant origin, such as cellulose, starch, pectin and gum arabic or marine, based products, such as alginates. Edible coatings are also made from proteins, which are either of animal origin, such as milk and egg proteins, or of vegetable origin, such as zein. Lipids such as waxes, fatty acids, triglycerides, resins and essential oils can also be used as raw materials for the production of edible membranes. Natural antioxidants are usually extracted from plant extracts, essential oils of herbs, spices and resins, and even polyphenolic concentrates from wastes from various biological sources. These are active compounds that belong mainly to vitamins, carotenes and polyphenols. Natural antioxidants reduce the permeability of edible coatings, while binding free radicals. Foods fortified with natural antioxidants find have wide application in foods such as meat and meat products, fish, fruits and vegetables.

**Keywords:** edible membranes, antioxidants, chitosan, gum arabic, alginate

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |            |
|---|------------|
| <b>Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright</b>                 | <b>iii</b> |
| <b>Ευχαριστίες</b>                                      | <b>iv</b>  |
| <b>Περίληψη</b>   | <b>v</b>   |
| <b>Abstract</b>   | <b>vi</b>  |
| <b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>                                      | <b>1</b>   |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>   | <b>3</b>   |
| <b>1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ</b>                           | <b>5</b>   |
| <b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                          | <b>5</b>   |
| <b>1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ</b>                          | <b>6</b>   |
| <b>2. ΕΔΩΔΙΜΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ</b>                            | <b>13</b>  |
| <b>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>                          | <b>13</b>  |
| <b>2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΔΩΔΙΜΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ</b>         | <b>15</b>  |
| <b>2.3 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ</b>                               | <b>15</b>  |
| 2.3.1 Πολυσακχαρίτες Ζωικής Προέλευσης                  | 16         |
| 2.3.2 Πολυσακχαρίτες Φυτικής Προέλευσης                 | 17         |
| 2.3.3 Πολυσακχαρίτες Θαλάσσιας Προέλευσης               | 20         |
| <b>2.4 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ</b>                                    | <b>23</b>  |
| 2.4.1. Πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης                      | 23         |
| 2.4.2 Πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης                      | 27         |
| <b>2.5 ΛΙΠΙΔΙΑ</b>                                      | <b>28</b>  |
| 2.5.1 Κηροί (waxes)                                     | 29         |
| 2.5.2 Λιπαρά οξέα                                       | 32         |
| 2.5.2.1 Τριγλυκερίδια (Triglycerides)                   | 32         |
| 2.5.2.2 Λιπαρά οξέα (Lipid Acids)                       | 32         |
| 2.5.3 Ρητίνες (Resins)                                  | 34         |
| 2.5.4 Αιθέρια έλαια (Essential oils)                    | 35         |
| 2.5.5 Παραγωγή Εδώδιμων Μεμβρανών με την Χρήση Λιπιδίων | 35         |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.6 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών _____                        | 39        |
| <b>3. ΦΥΣΙΚΑ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΣΤΙΣ ΕΔΩΔΙΜΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ _____</b> | <b>42</b> |
| 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ _____                                 | 42        |
| 3.2 ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ _____   | 44        |
| 3.3 ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ _____  | 45        |
| 3.4 ΠΟΛΥΦΑΙΝΟΛΕΣ _____  | 46        |
| 3.4.1 Φλαβανοειδή _____                                       | 48        |
| 3.4.2 Στιλβενοειδή _____                                      | 49        |
| 3.4.3 Φαινολικά οξέα _____                                    | 49        |
| 3.5 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΔΩΔΙΜΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ _____             | 49        |
| <b>4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ _____</b>                                      | <b>54</b> |
| 4.1 ΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΡΕΑΤΟΣ _____                          | 55        |
| 4.2 ΙΧΘΥΗΡΑ _____   | 57        |
| 4.3 ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ _____                                 | 58        |
| 4.4 ΛΟΙΠΑ ΤΡΟΦΙΜΑ _____                                       | 60        |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ _____</b>                                     | <b>61</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ _____</b>                                     | <b>62</b> |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι σύγχρονες τάσεις για την παραγωγή ποιοτικών και ασφαλών προϊόντων, έχει στρέψει το ενδιαφέρον της τεχνολογίας τροφίμων στη συνδυασμένη χρήση πολλαπλών μεθόδων συντήρησης των τροφίμων (τεχνολογία εμποδίων, hurdle technology), έναντι παραδοσιακών τεχνικών συντήρησης, που βασίζοντα σε πιο έντονες συνθήκες θερμοκρασίας (θερμικές επεξεργασίες), οι οποίες όμως συχνά υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα των τροφίμων. Η εναλλακτική αυτή προσέγγιση συντήρησης βασίζεται στη λογική ότι κάθε εμπόδιο συμβάλλει στη δημιουργία ενός επαρκώς δυσμενούς περιβάλλοντος για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Όσον αφορά στις πρώτες ύλες από τις οποίες παρασκευάζονται οι εδώδιμες μεμβράνες, οι κυριότερες κατηγορίες πρώτων υλών για την παραγωγή των εδώδιμων μεμβρανών είναι οι πολυσακχαρίτες, οι πρωτεΐνες και τα λιπίδια, φυτικής ή ζωϊκής προέλευσης και οι συνδυασμοί μεταξύ τους. Στους πολυσακχαρίτες ανήκουν το άμυλο, η χιτοζάνη η πηκτίνη, το αλγινικό, η ξανθάνη και πρόκειται για συστατικά ευρέως διαδεδομένα με επιλεκτική διαπερατότητα στο διοξείδιου του άνθρακα και το οξυγόνο, αλλά υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία (Hassan et al., 2018; Mohamed et al., 2020). Οι κυριότερες πρωτεΐνες που έχουν χρησιμοποιούνται στις εδώδιμες μεμβράνες έχουν απομονωθεί είτε από το γάλα, δηλαδή πρόκειται για καζεΐνες ή πρωτεΐνες ορού γάλακτος είτε από τον αραβόσιτο, δηλαδή η ζεΐνη (Daniloski et al., 2021). Τα λιπίδια, όπως κηρούς, λιπαρά οξέα, ουδέτερα λιπίδια και ρητίνες, έχουν χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς, αλλά δημιουργούν μεμβράνες αδιαφανείς και σχετικά άκαμπτες. Έχουν μεγάλο εύρος εφαρμογών και για τη βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών τους συνδυάζονται συχνά με άλλα συστατικά, όπως με τις πρωτεΐνες (Rhim & Shellhammer, 2005).

Ένας τρόπος να ενισχυθεί η ευεργετική επίδραση των εδώδιμων μεμβρανών στη διατηρησιμότητα του τροφίμου, είναι η ενσωμάτωση συγκεκριμένων ομάδων δραστικών ενώσεων που μπορούν δράσουν ως αντιοξειδωτικά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι βιταμίνες C και E, οι τοκοφερόλες, τα καροτενοειδή, οι πολυφαινόλες όπως τα φλαβονοειδή, τα φαινολικά οξέα, οι λιγνάνες και τα σπιλβένια. Προκειμένου να αναδειχθεί το

πλεονέκτημα που παρέχεται με την εφαρμογή τέτοιων συστημάτων, στην παρούσα εργασία, αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών στο κρέας και τα κρεατοσκευάσματα, τα ψάρια και τα φρούτα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και εμπλουτισμού τους με φυσικά αντιοξειδωτικά για την παραγωγή τροφίμων με αυξημένη διατηρησιμότητα και βελτιωμένες φυσικοχημικές και διατροφικές ιδιότητες.

# 1. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Κάθε χρόνο, περίπου το ένα τρίτο της παραγόμενης τροφής σπαταλάται παγκοσμίως λόγω πολλών παραγόντων όπως οι δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, οι μηχανικές βλάβες, προβλήματα κατά τη μεταφορά, μικροβιακή αποσύνθεση και οξείδωση των τροφίμων. Οι βιομηχανίες τροφίμων σε μία προσπάθεια να μειώσουν αυτή τη σπατάλη Τροφίμων (food waste), εφαρμόζουν διάφορες τεχνικές επεξεργασίας που ως σκοπό έχουν να διαμορφώσουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για τη μέγιστη συντήρηση του τροφίμου, με βιώσιμο όμως κόστος για την επιχείρηση. Ειδικά για τον έλεγχο της ανάπτυξης μικροοργανισμών, οι παράγοντες που συμμετέχουν στην ανάπτυξη των μικροβίων είναι πολλοί, ορισμένοι εξωγενείς και ορισμένοι ενδογενείς, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, τα συστατικά του τροφίμου, η ενεργότητα του νερού, το pH, η οξειδοαναγωγική ικανότητα των συστατικών, τα αέρια της ατμόσφαιρα στα οποία συντηρείται το τρόφιμο, ο χρόνος που απαιτείται από τη στιγμή παρασκευής, μέχρι τη στιγμή της κατανάλωσης, κλπ.

Στη βιομηχανία τροφίμων έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές προσπάθειες για τη διασφάλιση και τη διατήρηση της ασφάλειας των τροφίμων. Η ανάγκη αυτή πηγάζει από βιολογικούς καθώς και φυσικοχημικούς παράγοντες που αυξάνουν τον κίνδυνο εμφάνισης παθογόνων μικροοργανισμών (Khan et al, 2017). Οι μικροοργανισμοί που επιμολύνουν τα τρόφιμα σύμφωνα με τον OSHA δημιουργώντας παθήσεις όπως οι *Botulism*, *Brucellosis*, *Campylobacter enteritis*, *Escherichia coli*, *Hepatitis A*, *Listeriosis*, *Salmonellosis*, *Shigellosis*, *Toxoplasmosis*, *Viral gastroenteritis*, *Taeniasis* καθώς και *Trichinosis* (OSHA, 2015). Παράλληλα, άλλοι μικροοργανισμοί δεν είναι βλαβεροί για την υγεία, ωστόσο αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και υποβαθμίζουν την ποιότητα των τροφίμων γενικά ή και κατά τη συντήρηση. Ταυτόχρονα, ορισμένοι μικροοργανισμοί παράγουν τοξίνες οι οποίες έχει μελετηθεί και έχει αποδειχθεί ότι μπορούν να επιβιώσουν και ύστερα απο μαγείρεμα.

Συγκεκριμένα, οι Khan et al. (2017) επισήμαναν τις επιδράσεις όσον αφορά στην ποιότητα των τροφίμων ύστερα από επεξεργασία ή συνδυασμό μεθόδων επεξεργασίας πάνω σε τρόφιμα. Περιληπτικά, οι μέθοδοι επεξεργασίας περιλαμβάνουν σύμφωνα με τη μελέτη των παραπάνω:

1. Θέρμανση ραδιοσυχνοτήτων (RF) και μικροκυμάτων (MW).
2. Ακτινοβολήση και αποστείρωση τροφίμων
3. Επεξεργασία υψηλής πίεσης
4. Οζονισμό
5. Παλμικό ηλεκτρικό πεδίο
6. Ωμική θέρμανση
7. Ηλεκτρολυμένο νερό
8. Θερμική απενεργοποίηση
9. Παστερίωση και αποστείρωση
10. Χημικά συντηρητικά
11. Οργανικά οξέα
12. Ανόργανα οξέα

Επειδή όμως οι συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας, όπως η εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών έχουν κατηγορηθεί για σημαντική υποβάθμιση των τροφίμων, το ενδιαφέρον έχει στραφεί σε εναλλακτικές, ηπιότερες προσεγγίσεις, και ειδικά στο συνδυασμό τέτοιων μεθόδων συντήρησης, με σκοπό ένα ασφαλές προϊόν, με βελτιωμένα οργανοληπτικά/ θρεπτικά χαρακτηριστικά και παρόμοια αποδοχή από τους καταναλωτές.

## 1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΜΠΟΔΙΩΝ

Η έννοια της τεχνολογίας εμποδίων (Hurdle technology) είναι αρκετά παλιά και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές χώρες για ήπια αλλά αποτελεσματική συντήρηση των τροφίμων. Πρόκειται για τη συνδυασμένη χρήση πολλαπλών βασικών μεθόδων συντήρησης, η οποία εφαρμόζεται εδώ και αιώνες σε όλο τον κόσμο χωρίς σαφή επιστημονική κατανόηση. Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες αποτελεί μία συνειδητή επιλογή που βασίζεται στη βελτιωμένη κατανόηση των κυριότερων παραγόντων που διέπουν τη

συντήρηση των τροφίμων, όπως το pH, η θερμοκρασία, η ενεργότητα του νερού, αλλά, ειδικότερα στηρίζεται στην καλύτερη κατανόηση της επίδρασης που οι παράγοντες αυτοί ασκούν στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών στα τρόφιμα. Κάθε ένας παράγοντας συντήρησης καλείται «εμπόδιο» και όλα τα «εμπόδια» που χρησιμοποιούνται σε ένα προϊόν λειτουργούν αθροιστικά ή/και συνεργιστικά, ώστε να εξασφαλίζουν επαρκή ασφάλεια, μέγιστη ποιότητα και βέλτιστη μικροβιακή σταθερότητα των τροφίμων. Απαιτείται ευρεία γνώση και βαθιά κατανόηση της επίδρασης τόσο των μεμονωμένων εμποδίων όσο και των συνδυασμών, αλλά και της αλληλουχίας εφαρμογής τους στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών στόχων των τροφίμων (Mukhopadhyay & Gorris, 2014).

Οι παράγοντες stress, δηλαδή οι φυσικοί, χημικοί ή περιβαλλοντικοί παράγοντες που δημιουργούν δυσμενές περιβάλλον για την ανάπτυξη ζωντανών κυττάρων, οδηγούν τα κύτταρα να ενεργοποιούν ομοιοστατικούς μηχανισμούς (ομοιοστατική απόκριση) ώστε να καταφέρουν να επιβιώσουν. Οι μικροοργανισμοί συχνά ανταποκρίνονται σε μια επιβαλλόμενη δυσμενή κατάσταση στρες ρυθμίζοντας το σημαντικό βασικό στοιχείο της κυτταρικής φυσιολογίας. Ως εκ τούτου, η συντήρηση των τροφίμων συνήθως επιτυγχάνεται με τη διατάραξη της ομοιόστασης των μικροοργανισμών. Τα εμπόδια ή οι συντηρητικοί παράγοντες διαταράσσουν έναν ή περισσότερους από τους μηχανισμούς ομοιόστασης στον μικροοργανισμό σε κυτταρικό επίπεδο και έτσι περιορίζουν ή εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα παρατεταμένη αδράνεια ή θάνατο (Mukhopadhyay & Gorris, 2014). Διαφορετικοί τύποι ομοιοστατικών αποκρίσεων μικροοργανισμών σε διάφορους παράγοντες στρες δίνονται στον παρακάτω πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Ομοιοστατική απόκριση μικροοργανισμών συναρτήσει διαφορετικών στρεσογόνων παραγόντων

| Παράγοντας stress           | Ομοιοστατική απόκριση  |
|-----------------------------|--|
| Μειωμένα θρεπτικά συστατικά | Καθαρισμός θρεπτικών ουσιών; ολιγοτροφία; «απόκριση στατικής φάσης»· δημιουργία «βιώσιμων μη καλλιεργήσιμων» μορφών                  |
| Χαμηλά επίπεδα pH           | Εξώθηση πρωτονίων κατά μήκος της κυτταρικής μεμβράνης. διατήρηση του κυτταροπλασματικού pH. Διατήρηση της διαμεμβρανικής βαθμίδας pH |

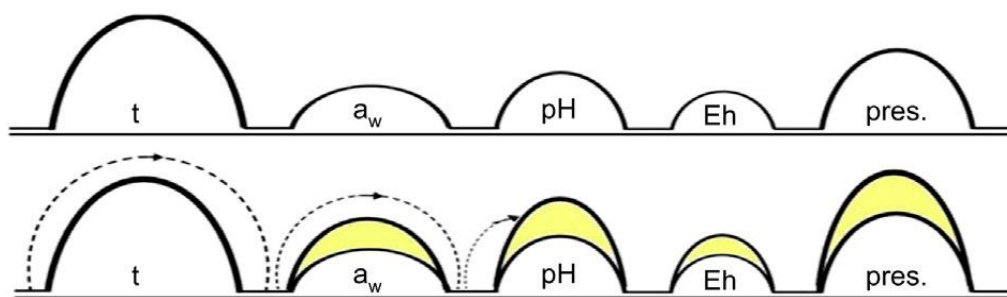
|  |  |
|--|--|
| Χαμηλή θερμοκρασία ανάπτυξης                                       | Απόκριση «ψυχρού σοκ», αλλαγές στα λιπίδια της μεμβράνης για τη διατήρηση ικανοποιητικής ρευστότητας   |
| Υψηλή θερμοκρασία ανάπτυξης  | Απόκριση «θερμικού σοκ»: μεταβολές των λιπιδίων της μεμβράνης  |
| Παρουσία βιοκτόνων   | Ενζυμική προστασία (καταλάση, υπεροξειδάση, υπεροξειδική δισμουτάση) από H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> και ελεύθερες ρίζες που προέρχονται από οξυγόνο |
| Ιοντίζουσα ακτινοβολία   | Φαινοτυπική προσαρμογή; μείωση της διαπερατότητας του κυτταρικού τοιχώματος – μεμβράνης  |
| Ηλεκτρική εκφόρτιση υψηλής τάσης (High voltage electric discharge) | Επιδιόρθωση μονόκλωνων θραυσμάτων στο DNA<br>Χαμηλότερη ηλεκτρική αγωγιμότητα του πρωτοπλάστη των σπορίων  |
| Ανταγωνισμός με άλλους μικροοργανισμούς                            | Δημιουργία αλληλεπιδρώντων κοινοτήτων. Συσσωματώματα κυττάρων που παρουσιάζουν κάποιο βαθμό συμβίωσης, βιοφίλμ   |

Πηγή: Mukhopadyay & Gorris, 2014

Η τεχνολογία εμποδίων βασίζεται στο απλό γεγονός ότι κάθε μικροοργανισμός για να ξεπεράσει ένα εμπόδιο θα πρέπει να καταβάλει μια ορισμένη προσπάθεια. Όσο υψηλότερο είναι ένα εμπόδιο, τόσο μεγαλύτερη είναι αυτή η προσπάθεια. Ορισμένα εμπόδια, όπως η παστερίωση, μπορεί να είναι υψηλά για μεγάλο αριθμό διαφορετικών τύπων μικροοργανισμών, ενώ άλλα, όπως η περιεκτικότητα σε αλάτι, έχουν λιγότερο ισχυρό αποτέλεσμα ή το αποτέλεσμα είναι περιορισμένο στο εύρος των τύπων μικροοργανισμών που επηρεάζει. Κατά την εφαρμογή ενός συνόλου εμποδίων σε συνδυασμό, ωστόσο, η ποσότητα της προσπάθειας που απαιτείται από έναν μικροοργανισμό για να υπερνικήσει την πρόσκρουση των εμποδίων μπορεί να είναι ίση με ένα εμπόδιο σε υψηλή ένταση. Συνδυάζοντας εμπόδια, η επίδραση στους μικροοργανισμούς μπορεί να σχεδιαστεί σκοπίμως για το επιθυμητό αποτέλεσμα, αλλά χρησιμοποιώντας εμπόδια χαμηλότερης έντασης. Αυτό πιθανώς μειώνει τις ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην ποιότητα του προϊόντος, διατηρώντας παράλληλα τη σταθερότητα και την ασφάλεια του προϊόντος, κάτι το οποίο είναι αδιαπραγμάτευτο για τη βιομηχανία τροφίμων.

Η πειραματική επικύρωση του επιθυμητού αντίκτυπου ενός επιλεγμένου συνδυασμού εμποδίων είναι επομένως το κλειδί, αν και το ίδιο θα ισχύει για τα

εμπόδια που εφαρμόζονται μεμονωμένα. Σε κάθε περίπτωση, μεμονωμένα ή συνδυασμένα εμπόδια σταθεροποιούν το τρόφιμο και διασφαλίζουν την ασφάλειά του, διατηρώντας υπό έλεγχο την ανάπτυξη αλλοιώσεων ή παθογόνων μικροοργανισμών, καθώς αυτοί δεν μπορούν να «υπερπηδήσουν» το άτομο ή το σύνολο των εμποδίων που χρησιμοποιούνται (Mukhopadyay & Gorris, 2014). Το σχήμα 1.1 απεικονίζει ένα σύνολο εμποδίων επεξεργασίας τροφίμων που αποτελούνται από ψύξη κατά την αποθήκευση ( $t$ ), χαμηλή ενεργότητα νερού ( $a_w$ ), αύξηση της οξύτητας ( $pH$ ), χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής ( $Eh$ ) και συντηρητικά ( $pres.$ ). Μερικοί από τους μικροοργανισμούς στόχους που υπάρχουν μπορούν να ξεπεράσουν μια σειρά από εμπόδια, αλλά κανένας δεν μπορεί να υπερπηδήσει όλα τα εμπόδια, καθιστώντας το τρόφιμο αρκετά σταθερό και ασφαλές.



Σχήμα 1.1: Παράδειγμα τεχνολογίας εμποδίων σε τρόφιμο

Πηγή: Mukhopadyay & Gorris, 2014

Στον παρακάτω πίνακα 1.2, παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής των εδωδιμων μεμβρανών στην τεχνολογία εμποδίων.

Πίνακας 1.2: Παραδείγματα εφαρμογής των εδωδιμων μεμβρανών στην τεχνολογία εμποδίων

| Τρόφιμο | Εμπόδια που εφαρμόστηκαν                        | Αποτελέσματα   | Αναφορά             |
|---------|---|--|---------------------|
| Τομάτες | 1. Χαμηλή θερμοκρασία<br>2. Επικάλυψη χιτοζάνης | Αύξηση της συγκέντρωσης $CO_2$ στο εσωτερικό της τομάτας κα μείωση | Ghaouth et al, 1992 |

|                                   |   |   |                          |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------|
|                                   |   | του O <sub>2</sub>  |                          |
| Φρεσκοκομμένα μήλα                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Έκπλυση με χλωριωμένο νερό</li> <li>2. Εμβάπτιση σε διάλυμα ασκορβικού οξέος/χλωριούχου νατρίου</li> <li>3. Εδώδιμη επικάλυψη (πηκτίνη σε σκόνη με ίνες μήλου)</li> <li>4. Τοποθέτηση σε διαφανείς δίσκους πολυπροπυλενίου, σφραγισμένοι με μεμβράνη πολυπροπυλενίου πάχους 64 cm</li> <li>5. Παλμικό φως (PL)</li> </ol> | Πηκτίνη και παλμικό φως οδήγησαν σε μείωση του αριθμού των μικροβίων κατά 2 log CFU/g, ενώ τα κομμάτια του μήλου εμφάνισαν υψηλότερη τιμή αντιοξειδωτικής δράσης. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά ήταν αποδεκτά μέχρι την 14 <sup>η</sup> ημέρα | Moreira et al., 2016     |
| Τσιπούρα Gilthead (Sparus aurata) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Θερμική επεξεργασία</li> <li>2. Εδώδιμη μεμβράνη καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνης (CMC)</li> <li>3. Αιθανολικό εκχύλισμα και αιθέρια έλαια <i>Satureja thymbra</i></li> </ol>   | Μείωση του ρυθμού ανάπτυξης του μικροβιακού πληθυσμού, που οδήγησε σε παράταση ζωής του ψαριού κατά 35%   | Choulitoudi et al., 2016 |
| Φιλέτα χελιού (Anguilla Anguilla) | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Κάπνισμα</li> <li>2. Εδώδιμη μεμβράνη καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνης (CMC)</li> <li>3. Εκχύλισμα και αιθέριο έλαιο από δένδρολίβανο</li> </ol>  | Μείωση του ρυθμού ανάπτυξης του μικροβιακού πληθυσμού των <i>Pseudomonas spp</i> και των βακτηρίων γαλακτικού οξέος   | Choulitoudi et al., 2017 |
| Φρεσκοκομμένο πεπόνι              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Εδώδιμη (αλγινική) επικάλυψη</li> <li>2. Συσκευασμένο σε σακούλα πολυπροπυλενίου</li> <li>3. Επαναλαμβανόμενο παλμικό φως (Repetitive pulsed light -LPL)</li> <li>4. Χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης (ψύξη)</li> </ol>   | Παράταση της διάρκειας ζωής κατά 28 και 24 ημέρες συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα και επικαλυμμένα με αλγινικά δείγματα, αντίστοιχα   | Koh et al., 2018         |



|                    |   |  |                            |
|--------------------|---|--|----------------------------|
| Φρεσκοκομμένα μήλα | <p>1. Επικάλυψη καρβοξυμεθυλο-κυτταρίνης (CMC) και aloe vera</p> <p>2. Παράγοντες εναντίον της αμαύρωσης (ασκορβικό οξύ, CaCl<sub>2</sub>, κυστεΐνη, 4-εξυλορεσορκινόλη</p> <p>3. Συσσκευασία πολυπροπυλενίου, αποθηκευμένα στους 5±2°C</p> | <p>Η συνδυασμένη εφαρμογή CMC, ασκορβικού οξέος (5%) και CaCl<sub>2</sub> (0,2%) αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική. Παρατηρήθηκε διατήρηση της ποιότητας, μείωση της αμαύρωσης κατά την αποθήκευση για 7 ημέρες στους 5±2°C</p> | Kumar et al., 2018         |
| Ντοματίνια         | <p>1. Χαμηλή θερμοκρασία</p> <p>2. Εδώδιμες επικαλύψεις</p>   | <p>Η βρώσιμη επικάλυψη με υδρόλυμα πρωτεΐνης ανέστειλε τον πολλαπλασιασμό μούχλας και ζυμομυκήτων</p>  | Quadros et al., 2020       |
| Τομάτες            | <p>Εδώδιμη επικάλυψη με εκχύλισμα <i>Flourensia cernua</i></p>  | <p>Καθυστέρηση της ανάπτυξης παθογόνων μυκήτων και διατήρηση της εμφάνισης του τελικού προϊόντος ως το τέλος της περιόδου αποθήκευσης</p>  | Ruiz-Martinez et al., 2020 |
| Ροδάκινο           | <p>1. Χαμηλή θερμοκρασία</p> <p>2. Εδώδιμη επικάλυψη που περιέχει 1-μεθυλοκυκλοπροπένιο και <i>Aloe arborescens</i></p>   | <p>Επιβράδυνση της διαδικασίας ωρίμανσης του καρπού. Καθυστέρηση της απώλειας μάζας και διατήρηση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των</p>   | Sortino et al., 2020       |

Πηγή: Giannakourou & Tsironi, 2021; Tsironi et al., 2020

## 2. ΕΔΩΔΙΜΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Κατά την παραγωγή, επεξεργασία, διανομή και αποθήκευση, τα τρόφιμα υφίστανται αλλοίωση από χημικές και μικροβιολογικές διεργασίες (Sahraee et al., 2019). Έχουν, λοιπόν, αναπτυχθεί προηγμένα συστήματα συσκευασίας ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα, την ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής των τροφίμων (Rangaraj et al., 2021).

Η συσκευασία τροφίμων παρέχει πολυάριθμες λειτουργίες στα τρόφιμα με κύριο γνώμονα την προστασία τους καθώς και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Οι βιομηχανίες τροφίμων προσπαθούν να προσαρμόζουν τις συσκευασίες ώστε να παρέχουν τις βέλτιστες συνθήκες για τη συντήρηση των προϊόντων διατροφής. Οι συσκευασίες στοχεύουν επίσης στην βελτιστοποίηση του συνόλου των χημικών, φυσικών και βιολογικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ του τροφίμου και του υλικού συσκευασίας, ώστε να διατηρείται η ποιότητα και η φρεσκάδα του τροφίμου για το μέγιστο χρονικό διάστημα (Rangaraj et al., 2021). Παράλληλα, η συσκευασία αποτελεί ένα μέσο επικοινωνίας της βιομηχανίας τροφίμων με τον καταναλωτή. Μέσα από την ετικέτα, ο καταναλωτής ενημερώνεται για το περιεχόμενο, τη σύνθεση του τροφίμου και την παρουσία αλλεργιογόνων ουσιών, την ημερομηνία παρασκευής και την ημερομηνία λήξης του τροφίμου, τη διατροφική του αξία καθώς και τον απαιτούμενο ή προτεινόμενο χειρισμό της συσκευασίας ύστερα από την κατανάλωση.

Ένα από τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιείται συχνά είναι το πλαστικό. Τα πλαστικά με βάση τα ορυκτά έχουν κυριαρχήσει στις βιομηχανίες συσκευασίας λόγω των κύριων πλεονεκτημάτων τους όπως η υψηλή αντοχή, η ευελιξία, η ανθεκτικότητα, η στεγανότητα, το μικρό βάρος και η ευκολία αποστείρωσης. Ωστόσο, η μεγάλη χρήση πλαστικών εγκυμονεί σοβαρές περιβαλλοντικές απειλές καθώς είναι μη βιοδιασπώμενα και η απόρριψή τους γίνεται με ακατάλληλο τρόπο. Επίσης, η συσκευασία από πλαστικό υποβαθμίζει την ποιότητα των τροφίμων λόγω των ενεργών πλαστικοποιητών που εκπλένονται από αυτές τις συνθετικές πολυμερείς

μεμβράνες, γεγονός που αποτελεί σοβαρή απειλή για την ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής του τροφίμου (Rangaraj et al., 2021).

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για υλικά περισσότερο φιλικά στο περιβάλλον, τα οποία όμως να είναι ποιοτικά και ασφαλή για τα τρόφιμα, αλλά και τον καταναλωτή. Μία λύση την οποία η βιομηχανία τροφίμων εξετάζει με ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι οι εδώδιμες μεμβράνες. Οι εδώδιμες μεμβράνες ή αλλιώς βρώσιμες (edible coatings), συνίστανται από εδώδιμες φυσικές πρώτες ύλες όπως πολυσακχαρίτες (άμυλο, σάκχαρο, κ.ά.), πρωτεΐνες, λιπίδια, καθώς και συνδυασμός αυτών. Η παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών με περισσότερες από μία πρώτες ύλες στοχεύει στην παραγωγή μεμβράνης με αντοχή σε περισσότερους από έναν παράγοντες αλλοίωσης του τροφίμου. Για παράδειγμα, μία εδώδιμη μεμβράνη που παρασκευάζεται από τον συνδυασμό πρωτεϊνών και λιπιδίων, έχει μεγαλύτερη αντοχή από τις μεμβράνες που παρασκευάζονται με ένα από τα δύο υλικά μόνο. Για παράδειγμα, ενώ οι πρωτεΐνες έχουν χαμηλή αντοχή στους υδρατμούς και τα λιπίδια αντίστοιχα χαμηλή αντοχή στην οξείδωση, σε συνδυασμό στην ίδια μεμβράνη το ένα συστατικό προστατεύει το άλλο και αντισταθμίζει τις αδυναμίες του με αποτέλεσμα η αντοχή της μεμβράνης να αυξάνεται (Enujiughha & Oyinloye, 2018).

Οι εφαρμογές στις εδώδιμες μεμβράνες περιλαμβάνουν τη χρήση κηρού σε επικαλύψεις σοκολάτας στον τομέα της ζαχαροπλαστικής, μεμβράνες λιπιδίων για προϊόντα με βάση το κρέας και τη χρήση μεμβρανών λιποπρωτεϊνών με βάση το γάλα σόγιας για τη βελτίωση της εμφάνισης και της διατήρησης διαφόρων προϊόντων διατροφής (Daniloski et al., 2021).

Τα φυσικά αντιοξειδωτικά λόγω της προέλευσής τους είναι βιοαποικοδομήσιμα, βιοσυμβατά, με αντιμικροβιακή δράση και εύκολα αποσυνθέσιμα στο περιβάλλον, γεγονός που τους επιτρέπει να λειτουργήσουν ως ιδανικοί τροποποιητές για διαφορετικά βιοπολυμερικά υλικά (Rangaraj et al., 2021). Για παράδειγμα, η αμαύρωση φρέσκων φρούτων και λαχανικών μπορεί να ανασταλεί με τον αποκλεισμό του οξυγόνου και την προσθήκη αναστολέων αμαύρωσης ή ενζύμου σε επικαλύψεις και μεμβράνες (Sahraee et al., 2019)

Στις εδώδιμες συσκευασίες, ανήκουν οι βρώσιμες μεμβράνες και οι βρώσιμες επικαλύψεις. Αν και συχνά αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται ως

ταυτόσημοι, στην πραγματικότητα υπάρχει διαφορά: οι επικαλύψεις χρησιμοποιούνται συνήθως για την επένδυση τροφίμων, ενώ οι μεμβράνες είναι ανεξάρτητες δομές που μπορούν να εφαρμοστούν σε τρόφιμα ή μεταξύ διαφορετικών τμημάτων τροφίμων (Sahraee et al., 2019).

## 2.2 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΔΩΔΙΜΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ

Όσον αφορά στη νομοθεσία, ο κανονισμός 1935/2004 της Ευρωπαϊκής Ένωσης αφορά τρόφιμα που έρχονται σε επαφή με συσκευασία και συγκεκριμένα “κάλυψη και επικάλυψη υλικών”, για παράδειγμα υλικά επικάλυψης τυριών, κρεάτων ή και φρούτων και μπορούν να καταναλωθούν μαζί με αυτά. Ο κανονισμός 450/2009 έχει άμεση συσχέτιση με την απαίτηση των συσκευασιών να είναι έξυπνες και ενεργές, χωρίς να αναφέρονται στις εδώδιμες. Ωστόσο, τα δεδομένα για τις εδώδιμες μεμβράνες ακολουθούν και εφαρμόζουν τους παραπάνω κανονισμούς.

## 2.3 ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ

Οι πολυσακχαρίτες είναι φυσικά πολυμερή, που χρησιμοποιούνται ευρέως για την παρασκευή βρώσιμων μεμβρανών ή επικαλύψεων, όπως για παράδειγμα το άμυλο, η κυτταρίνη, η πηκτίνη και τα παράγωγα τους, όπως τα αλγινικά, η χιτοζάνη και η πολλουλάνη (Hasssan et al., 2018). Πολυσακχαρίτες όπως η πηκτίνη το αλγινικό και η ξανθάνη χρησιμοποιούνται ως βιοπολυμερή υλικά για την δημιουργία επικαλύψεων και βρώσιμων μεμβρανών για την μείωση των παραδοσιακών πλαστικών συσκευασιών (Mohamed et al., 2020).

Οι πολυσακχαρίτες είναι ευρέως διαθέσιμα υλικά στην φύση, είναι μη τοξικά και έχουν επιλεκτική διαπερατότητα στο διοξείδιο του άνθρακα και στο οξυγόνο, με αποτέλεσμα να αξιοποιούνται στην παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων ικανά να παρατείνουν την διάρκεια ζωής των συσκευασμένων τροφίμων. Τέλος η υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία και στους υδρατμούς μπορεί να αποφευχθεί με τον συνδυασμό λιπιδίων ή και

πρωτεϊνών κατά την παραγωγή των μεμβρανών, π.χ. σε μορφή γαλακτώματος (Mohamed et al., 2020).

Γενικότερα οι επικαλύψεις πολυσακχαριτών είναι άχρωμες, δεν παρουσιάζουν λιπαρότητα στην επιφάνεια τους και έχουν μικρή θερμοιδική αξία. Συνήθως αξιοποιούνται στις επικαλύψεις φρούτων, λαχανικών, οστρακόδερμων ή προϊόντων κρέατος με στόχο να παρατείνουν την διάρκεια ζωής του, αφού μειώνουν σημαντικά την αφυδάτωση, την ενζυμική αμαύρωση της επιφάνειας τους και την οξειδωτική τάγγιση των τροφίμων προς συσκευασία και φύλαξη (Hasssan, et al., 2018).

Από τους πολυσακχαρίτες παράγονται κυρίως εδώδιμες επικαλύψεις με κύρια χαρακτηριστικά τον υψηλό φραγμό διαπερατότητας του οξυγόνου, καθώς οι ενώσεις είναι καλά διατεταγμένες, σε σχήμα δικτύου και με την βοήθεια δεσμών υδρογόνου, στον χώρο. Αντιθέτως το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι η υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία, καθώς παρουσιάζουν έναν έντονο υδρόφιλο χαρακτήρα (Hasssan, et al., 2018).

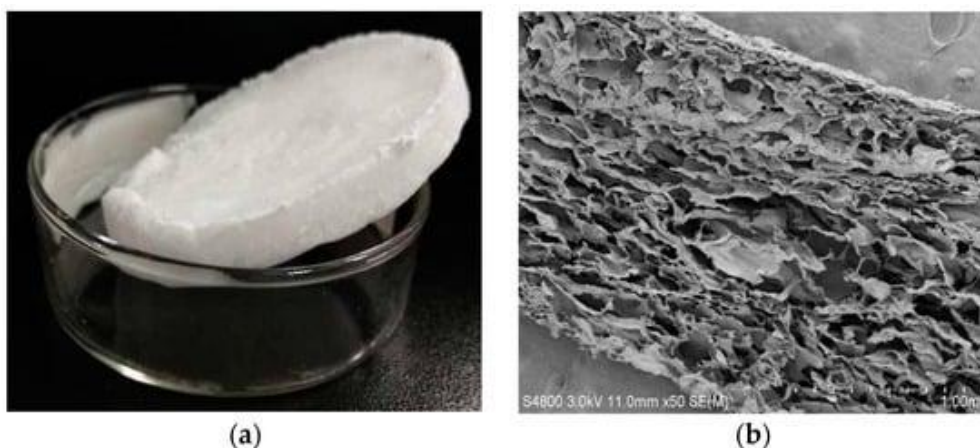
Δεδομένου ότι η φυσική κυτταρίνη και η χιτίνη είναι αδιάλυτες στο νερό, υποβάλλονται σε χημική επεξεργασία πρώτα για να αυξηθεί η διαλυτότητά τους. Η πηκτίνη και το αλγινικό απαιτούν την προσθήκη ιόντων ασβεστίου για να σχηματίσουν δομή δικτύου (gel). Λόγω της σφιχτά συσκευασμένης δομής δικτύου των πολυσακχαριτών, είναι καλοί φραγμοί του διοξειδίου του άνθρακα και του οξυγόνου αλλά είναι φτωχοί στον φραγμό υδρατμών (Hasssan et al., 2018).

### 2.3.1 Πολυσακχαρίτες Ζωικής Προέλευσης

**Η χιτίνη** μετά την κυτταρίνη είναι το δεύτερο πιο συχνό βιοπολυμερές που απαντάται στην φύση. Εμφανίζεται κυρίως στο εξωσκελετό των καρκινοειδών στα κυτταρικά τοιχώματα των μυκήτων καθώς και σε αλλά βιολογικά υλικά. Με την αποακετυλίωση της χιτίνης παρασκευάζεται η χιτοζάνη, πρόκειται για έναν κατιονικό πολυσακχαρίτη υψηλού μοριακού βάρους με μεγάλες ικανότητες σχηματισμού φιλμ, καθώς και αναφερόμενες αντιβακτηριακές και αντιμυκυτιακές δράσεις (Mohamed, et al., 2020).

**Η χιτοζάνη** μπορεί να μορφοποιηθεί σε μεμβράνες, ίνες, σφουγγάρια (sponges) (εικόνα), gel, νανοσωματίδια ή και χάντρες (εικόνα 2.1). Το φιλμ

χιτοζάνης έχει χρησιμοποιηθεί ως υλικό συσκευασίας για την εξαιρετική προστασία μιας ποικιλίας τροφίμων, ειδικά όταν αυτή συνδυάζεται με άλλα υλικά που μπορούν να εμπλουτίσουν την εδώδιμη μεμβράνη. Λόγω των χαρακτηριστικών του, όπως η μη τοξικότητα, η συμβατότητα, η βιοαποικοδομησιμότητα έχει χρησιμοποιηθεί στην βιοϊατρική, την βιομηχανία τροφίμων και την χημική βιομηχανία (Mohamed et al., 2020).



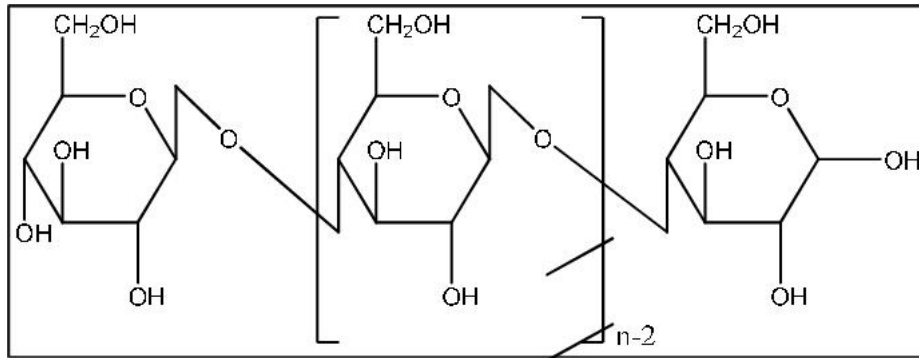
Εικόνα 2.1: Χιτοζάνη μορφοποιημένη σε σφουγγάρι (a) εξωτερική εμφάνιση (b) εσωτερική δομή που έχει ληφθεί με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης

Πηγή: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/16/3890/htm>

Η χρήση μεμβρανών με βάση την χιτοζάνη στις επικαλύψεις τροφίμων βοηθά στη διατήρηση της θερμοκρασίας με την μεταφορά υγρασίας μεταξύ του τροφίμου και του περιβάλλοντος, καθυστερεί την ενζυμική αμαύρωση των φρούτων ελέγχει την αναπνοή και μειώνει την αφυδάτωση. Επιπλέον όταν η χιτοζάνη χρησιμοποιείται ως ένα από τα κύρια συστατικά στην παραγωγή γαλακτωμάτων ενισχύει το τελικό αποτέλεσμα, καθώς βελτιώνει την γεύση, και σταθεροποιεί το χρώμα. Οι μεμβράνες με βάση την χιτοζάνη είναι ιδιαίτερος οπτικά καθαρές, ευέλικτες και σκληρές (Mohamed, et al., 2020).

### 2.3.2 Πολυσακχαρίτες Φυτικής Προέλευσης

**Η κυτταρίνη** είναι η πιο κοινή οργανική ένωση στη γη. Είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης που σχηματίζεται από την ένωση D-γλυκοζών οι οποίες σχηματίζουν β-1,4 γλυκοζιτικούς δεσμούς (εικόνα 2.2).



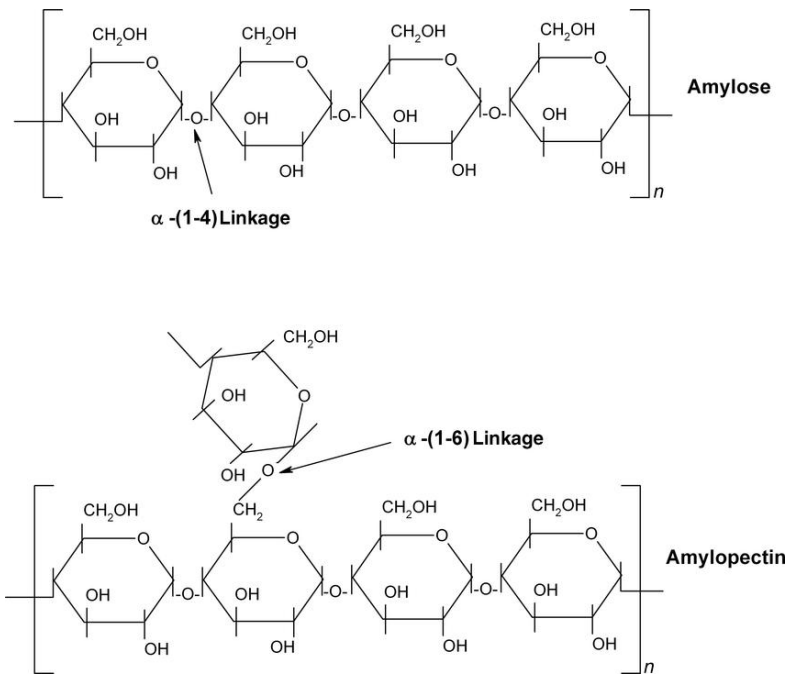
Εικόνα 2.2: Σχηματισμός κυτταρίνης. Διακρίνεται ο ημιακεταλικός δεσμός β-1,4 των γλυκοζών

Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/It-shows-structure-of-cellulose-Source-Edible-films-and-coatings-characteristics-and\\_fig4\\_273063781](https://www.researchgate.net/figure/It-shows-structure-of-cellulose-Source-Edible-films-and-coatings-characteristics-and_fig4_273063781)

Τα παράγωγα της κυτταρίνης χρησιμοποιούνται κυρίως για το σχηματισμό φυσικών εδώδιμων μεμβρανών, καθώς είναι βιοδιασπώμενα, άοσμα και άγευστα. Τα πιο γνωστά παράγωγα της κυτταρίνης που αξιοποιούνται στην παραγωγή μεμβρανών και επικαλύψεων είναι η υδροξυπροπυλο-μεθυλοκυτταρίνη (HPMC), η μεθυλοκυτταρίνη (MC) και η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC). Η καρβοξυ-μεθυλοκυτταρίνη είναι εξαιρετικά κατάλληλο υλικό για τον σχηματισμό βρώσιμων μεμβρανών. Ωστόσο, είναι μία ένωση με υδρόφιλο χαρακτήρα και οι σχηματιζόμενες μεμβράνες από CMC παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα στους υδρατμούς και την υγρασία (Mohamed, et al., 2020).

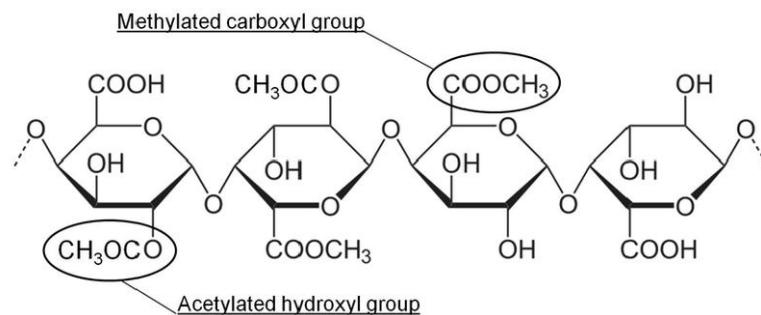
**Το άμυλο** είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης (εικόνα 2.3) και χρησιμοποιείται για την παρασκευή βιοαποικοδομήσιμων μεμβρανών αφού οι μεμβράνες με βάση το άμυλο είναι ημιδιαφανείς ή διαφανείς, είναι άχρωμες, άοσμες και άγευστες. Το άμυλο βρίσκεται με την μορφή ημικρυσταλλικών υδρόφιλων κόκκων. Οι κόκκοι αμύλου απορροφούν τα μόρια νερού που περιβάλλουν τις ελεύθερες υδροξυλομάδες, αναγκάζοντας τους κόκκους αμύλου να διογκωθούν μέχρι να επιτευχθεί μια κρίσιμη συγκέντρωση. Πρόκειται για την απαιτούμενη συγκέντρωση αμύλου όπου οι κόκκοι θα καταλαμβάνουν τον μεγαλύτερο δυνατό χώρο στους 95°C. Κατά τη ψύξη σχηματίζεται gel (Mohamed et al., 2020).





Εικόνα 2.3: Άμυλο. Δομή αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης  
 Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-starch-with-amylose-and-amylopectin-units\\_fig1\\_260165747](https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-starch-with-amylose-and-amylopectin-units_fig1_260165747)

**Η πηκτίνη** είναι μια ομάδα φυσικών πολυσακχαριτών που εντοπίζονται συνήθως στα λαχανικά και τα φρούτα όπως πυρήνας μήλου και φλούδα εσπεριδοειδών. Η πηκτίνη είναι ένας ανιονικός πολυσακχαρίτης με δομικό σκελετό (1-4) α,δ γαλακτουρονικού οξέος (εικόνα 2.4). Χρησιμοποιείται ως σταθεροποιητής, πηκτικό αλλά και ζελέ σε προϊόντα όπως είναι το γιαούρτι, το γάλα, το παγωτό και οι μαρμελάδες. Οι βρώσιμες μεμβράνες πηκτίνης και τα παράγωγά της μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές στην συσκευασία τροφίμων. Το βρώσιμο φιλμ με βάση την πηκτίνη έχει εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, εξαιρετικό φραγμό στο λάδι, στο άρωμα και στο οξυγόνο, αλλά παρουσιάζει υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία, χαμηλή ελαστικότητα και είναι αρκετά εύθραυστο (Mohamed et al., 2020).



Εικόνα 2.4 : Δομή πηκτίνης

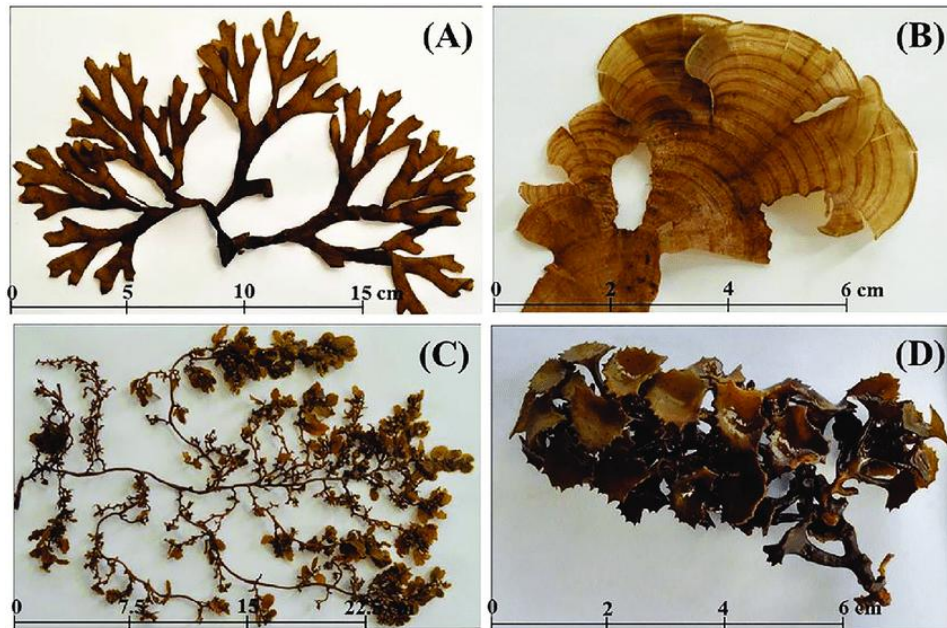
Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Simplified-scheme-of-a-pectin-molecule-with-possible-attached-methyl-and-acetyl-groups\\_fig1\\_270818200](https://www.researchgate.net/figure/Simplified-scheme-of-a-pectin-molecule-with-possible-attached-methyl-and-acetyl-groups_fig1_270818200)

Οι μεμβράνες πηκτίνης, που έχουν εμπλουτισθεί με πολυσθενή κατιόντα όπως του ασβεστίου, παρουσιάζουν ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες. Οι μεμβράνες και τα gel πηκτίνης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην προστασία τροφίμων με χαμηλή υγρασία. Αξιοποιούνται κυρίως στη συσκευασία φρέσκων λαχανικών και φρούτων, όπως τα μήλα, τα βερίκοκα, το αβοκάντο, τα μούρα, το γκουάβα, τα κάστανα, το πεπόνι, τα ροδάκινα, τα καρύδια, την παπάγια, τις ντομάτες και τα καρότα (Mohamed, et al., 2020).

**Το αραβικό κόμμι** συλλέγεται από μίσχους διαφόρων ειδών ακακίας και είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος βιομηχανικός πολυσακχαρίτης που χρησιμοποιείται, καθώς εμφανίζει ιδιότητες σχηματισμού φιλμ και ενθυλάκωσης καθώς και μοναδικές ιδιότητες γαλακτωματοποίησης. Αποτελείται από γαλακτόζη, ραμνόζη, αραβινόζη και γλυκουρονικό οξύ. Έχει εφαρμοστεί σε μπανάνες, ντομάτες και παπάγια για να βελτιώσει τη διάρκεια ζωής και την ποιότητα τους. Τα φρούτα επικαλυμμένα με αραβικό κόμμι ή αμύγδαλο εμφάνισαν σημαντική μείωση στον ρυθμό αναπνοής καθώς και στην παραγωγή αιθυλενίου (Mohamed, et al., 2020).

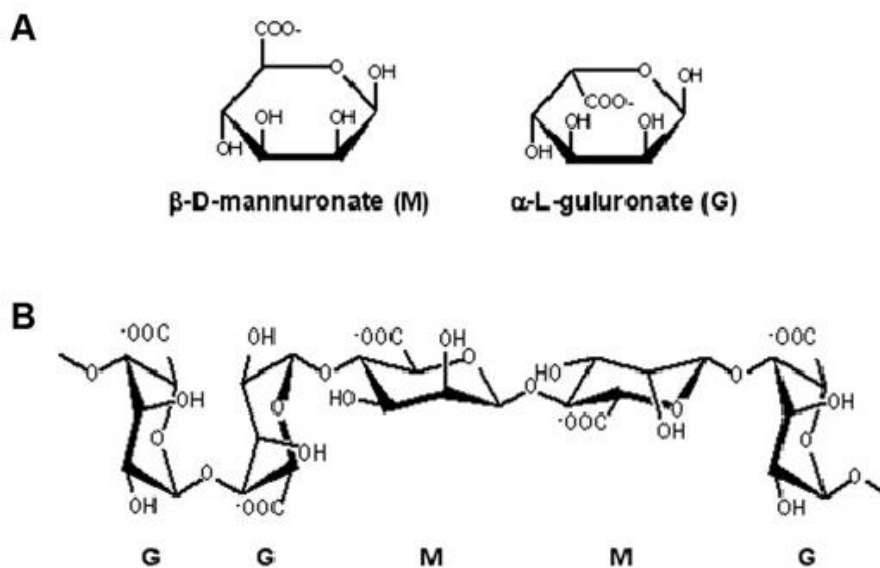
### 2.3.3 Πολυσακχαρίτες Θαλάσσιας Προέλευσης

**Τα αλγινικά** είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης που εκχυλίζεται από τα καφέ φύκια της θάλασσας (brown algae ή *Phaeophyceae*) (εικόνα).



Εικόνα 2.5: Τέσσερα είδη από καφέ φύκια (Phaeophyceae) (Α) *Dictyota dentata*; (Β) *Padina australis*; (Γ) *Sargassum crassifolium* και (Δ) *Turbinaria conoides*.  
 Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Four-species-of-brown-seaweeds-Phaeophyceae-collected-in-from-Panjang-Island-Central\\_fig1\\_337590938](https://www.researchgate.net/figure/Four-species-of-brown-seaweeds-Phaeophyceae-collected-in-from-Panjang-Island-Central_fig1_337590938)

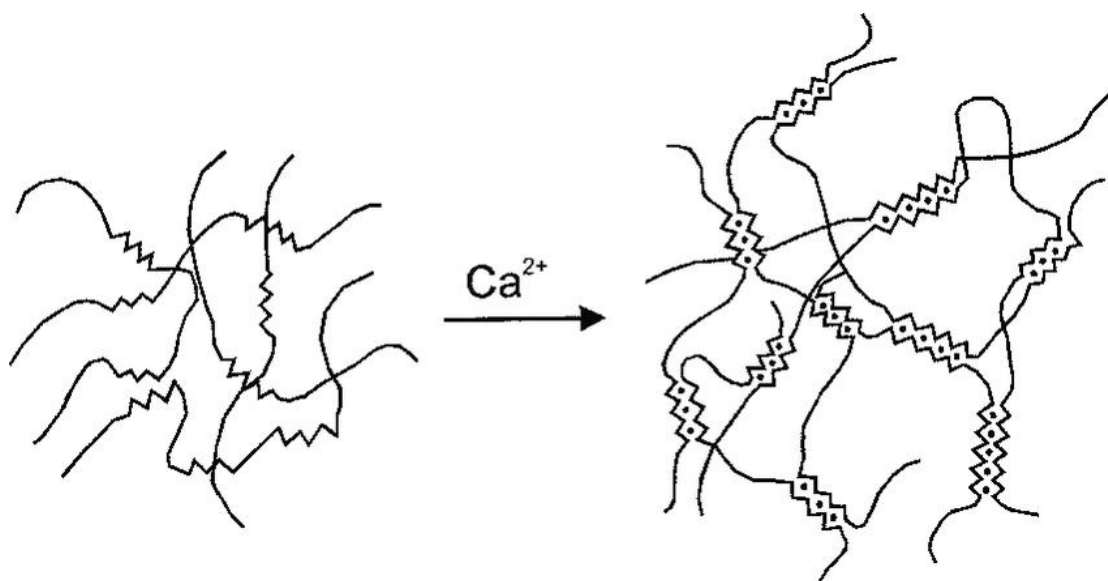
Τα αλγινικά είναι γραμμικά μόρια που σχηματίζονται από την ένωση μονομερών μορίων L-γουλουρονικού οξέος και D-μαννουρονικού οξέος ενωμένες με δεσμούς β-(1-4). Η αναλογία των δύο οξέων L-γουλουρονικού οξέος και D-μαννουρονικού οξέος δεν είναι σταθερή, αλλά διαφέρει και εξαρτάται από την ηλικία του φυτού και την πηγή του αλγινικού (εικόνα).



Εικόνα 2.6: Α. Χημικοί τύποι L-γουλουρονικού οξέος και D-μαννουρονικού οξέος Β. Αλυσίδα των αλγινικών

Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Structural-data-for-alginates-a-the-monomers-in-alginate-b-the-alginate-chain\\_fig1\\_215872035](https://www.researchgate.net/figure/Structural-data-for-alginates-a-the-monomers-in-alginate-b-the-alginate-chain_fig1_215872035)

Με την προσθήκη ιόντων ασβεστίου σχηματίζεται μία ελαστική γέλη. Τα μόρια του α-L γουλουρονικών οξέων δημιουργούν πτυχωτή διαμόρφωση και με τη βοήθεια των κατιόντων ασβεστίου που δεσμεύουν ενώνουν γειτονικές παράλληλες αλυσίδες αλγινικών, δημιουργώντας μία δομή αυγοθήκης (egg box) (εικόνα). Οι επικαλύψεις με βάση το αλγινικό μπορούν να εξασφαλίσουν επιμήκυνση της διάρκειας ζωής των τροφίμων και την καλή ποιότητα αυξάνοντας το φράγμα του νερού, διατηρώντας τη γεύση και καθυστερώντας την οξείδωση του λίπους (Mohamed, et al., 2020).



Εικόνα 2.7: Δομή γέλης αλγινικού με προσθήκη κατιόντων ασβεστίου

Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-calcium-induced-gelation-of-alginate-in-accordance-with\\_fig3\\_9075716](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-the-calcium-induced-gelation-of-alginate-in-accordance-with_fig3_9075716)

Η υψηλή διαπερατότητα των αλγινικών μεμβρανών στο νερό αντιμετωπίζεται με την προσθήκη του ασβεστίου, όπου καθιστά τις μεμβράνες αδιάλυτες στο νερό και μειώνει σημαντικά την διαπερατότητα της υγρασίας, καθώς παράγουν ένα ισχυρό αδιάλυτο πολυμερές ή μια γέλη. Τα gel ασβεστίου-αλγινικού χρησιμοποιούνται σε τρόφιμα όπως τα καβούρια, οι ροδέλες κρεμμυδιού, προϊόντα κρέατος κ.α. Πρέπει να σημειωθεί ότι η

αντίδραση αλγινικών με τα ιόντα του ασβεστίου είναι ιδιαίτερως γρήγορη και είναι ικανή να προκαλέσει προβλήματα στην κάλυψη του τροφίμου και συνεπώς και στην παραγωγή των εδώδιμων μεμβρανών (Mohamed et al., 2020).

## 2.4 ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ

Οι πρωτεΐνες αποτελούν κύριο συστατικό της διατροφής του ανθρώπου και λόγω της ενισχυμένης θρεπτικής τους αξίας, αποτελούν πολύτιμο συστατικό για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών. Από τη βιομηχανία τροφίμων παραδείγματα αξιοποιήσιμων πρωτεϊνών έχουν απομονωθεί από το γάλα και το αυγό (ζωικής προέλευσης), καθώς και από τον αραβόσιτο (φυτικές πρωτεΐνες).

### 2.4.1. Πρωτεΐνες ζωικής προέλευσης

#### ➤ Παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών με βάση τις πρωτεΐνες γάλακτος

Οι πρωτεΐνες που προέρχονται από το γάλα (Daniloski et al., 2021) αποτελούνται κυρίως από καζεΐνες καθώς και πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Οι πρωτεΐνες που αξιοποιούνται για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών προέρχονται κατά κύριο λόγο από το γάλα. Ειδικότερα, το γάλα αποτελεί μία θρεπτικά πλούσια πηγή τροφίμων που περιλαμβάνει μία ποικιλία μικρο- και μακρο-συστατικών, με καθοριστικό ρόλο στην υγεία του ανθρώπου και μάλιστα με τις νέες μεθόδους επεξεργασίας πολλά τρόφιμα βασίζονται στις πρωτεΐνες γάλακτος για την παραγωγή προϊόντων ενισχυμένης αξίας. Η σύνθεση αυτών καθορίζεται από παράγοντες όπως το είδος, το γενετικό υπόβαθρο, η διατροφή και η υγεία του ζώου, η περίοδος γαλουχίας και το πρωτεϊνικό σύστημα από το οποίο απαρτίζεται το γάλα. Τα παραπάνω επιδρούν στην αποτελεσματικότητα του τελικού προϊόντος. Οι κύριες πρωτεΐνες που απαντώνται στο γάλα είναι κατά 80% καζεΐνες οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε  $\alpha_{s1}$ -καζεΐνες,  $\alpha_{s2}$ -καζεΐνες,  $\beta$ -καζεΐνες καθώς και κ-καζεΐνες, οι οποίες φέρουν και γενετικές παραλλαγές η κάθε μια ξεχωριστά και συνδέονται προς σχηματισμό κολλοειδών μικκυλίων ενώ σταθεροποιούνται με φωσφορικό ασβέστιο. Για τον διαχωρισμό τους από το γάλα πραγματοποιείται

επεξεργασία με πυτιά είτε ισοηλεκτρική καταβύθιση με οξύνιση που συντελούν στην πήξη τους και ύστερα συλλέγονται με φυγοκέντριση ή διαχωρισμό μεμβράνης. Έτσι, με την απομόνωση καζεϊνών, τροποποιείται η κολλοειδής φάση. Η εφαρμογή των καζεϊνών ως συστατικό εδώδιμων μεμβρανών στηρίζεται στο γεγονός ότι περιέχουν υδρόφιλες και υδρόφοβες περιοχές και καθώς επικάθονται στο τρόφιμο προσδίδουν προστασία τόσο προς το εσωτερικό όσο και προς το εξωτερικό του τροφίμου. Μάλιστα, η αλκαλική εξουδετέρωση με υδροξείδιο του νατρίου, ασβεστίου προς καζεϊνικό νάτριο και ασβέστιο, προσδίδει θερμική σταθερότητα και έτσι δεν τροποποιούνται και δεν αλλοιώνονται οι ιδιότητες κατά τη θερμική επεξεργασία. Τα καζεϊνικά άλατα διαλυτοποιούνται και διαμορφώνουν τις μεμβράνες για επικάλυψη των τροφίμων δημιουργώντας ένα προϊόν με αντοχή στην πήξη, στην μετουσίωση που συμβαίνει λόγω της θέρμανσης, στην υψηλή συγκέντρωση άλατος καθώς και αντοχή σε ευρεία κλίμακα pH. Ειδικότερα, με χρήση αποβουτυρωμένου γάλακτος υπό συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας και pH (20°C, 4,6) όπου οι καζεΐνες καθιζάνουν με την παρουσία των αλκάλιων αυτών, μπορούν να προσδοθούν οι παραπάνω ιδιότητες σε μία μεμβράνη (Mohamed et al, 2020).

Οι διαμοριακές αλληλεπιδράσεις που δημιουργούν με υδρογόνο και άλλες υδρόφοβες ενώσεις, καθιστούν τα μόρια αυτά αποτελεσματικά εμπόδια στο οξυγόνο, αλλά ταυτόχρονα η υδρόφιλη πλευρά τους δεν αποτελεί καλό φραγμό υγρασίας.

Στις πρωτεΐνες ορού γάλακτος ανήκουν οι:

- α-γαλακταλβουμίνη (α-La)
- β-λακτοσφαιρίνη (β-Lg)
- ορολευκωματίνη (SA)
- ανοσοσφαιρίνες (Ig)
- λακτοφερίνη
- γαλακτοϋπεροξειδάση

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι σφαιρικές και είναι ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες (υφίστανται μετουσίωση). Εκκρίνονται από τον μαστικό αδέντα των θηλαστικών και μπορούν να απομονωθούν με

υπερδιήθηση είτε διήθηση μεμβράνης, χρωματογραφία ανταλλαγής ιόντων, ακολουθούμενη από ξήρανση με ψεκασμό.

Μια ιδιότητα που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την αξιοποίησή τους σε εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις είναι πως η β-λακτοσφαιρίνη όταν υποστεί μετουσίωση, αλλάζει τη θέση των δισουλφιδικών δεσμών και συνεπώς μεταβάλλει την τρισδιάστατη δομή της.

Ένα βασικό μειονέκτημα για την εφαρμογή των πρωτεϊνών γάλακτος στις εδώδιμες μεμβράνες είναι ότι δεν αποτελούν ισχυρό φραγμό έναντι της υγρασίας. Μία λύση για να ενισχυθεί ο φραγμός έναντι της διαπερατότητας σε υγρασία, αλλά και να βελτιωθούν ορισμένα μηχανικά χαρακτηριστικά των εδώδιμων μεμβρανών από πρωτεΐνες γάλακτος, είναι η προσθήκη και ενσωμάτωση πλαστικοποιητών (plasticizers). Οι πλαστικοποιητές ορίζονται ως μη πτητικοί παράγοντες χαμηλού μοριακού βάρους που προστίθενται με πολυμερή και αλλάζουν ορισμένες από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών. Στα τρόφιμα, ένας πλαστικοποιητής συνήθως μπορεί να είναι μονοσακχαρίτης ή δισακχαρίτης, πολυόλη ή νερό και στις εδώδιμες μεμβράνες μπορεί να ενισχύσει την ευκαμψία, την ελαστικότητα, τη σκληρότητα και την αντοχή της μεμβράνης, αλλά να αυξήσει ταυτόχρονα την διαφάνεια και την ανθεκτικότητά της (Kandasamy et al., 2021). Για παράδειγμα, οι Kim & Ustunol, (2001) παρατήρησαν ότι η προσθήκη γλυκερόλης ή σορβιτόλης βελτίωσαν το φράγμα υγρασίας, όπως φάνηκε από την περιεχόμενη υγρασία ισορροπίας (equilibrium moisture content – EMC) και τη διαλυτότητα εδώδιμης μεμβράνης από πρωτεΐνες ορού γάλακτος (Kim & Ustunol, 2001).

Επομένως, όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών με επιθυμητά τεχνολογικά χαρακτηριστικά, όπως καθυστέρηση της απώλειας υγρασίας, της παροχής οξυγόνου, καλής αντοχής σε εφελκυσμό και επιμήκυνσης καθώς διαθέτουν και μεγάλη ευελιξία και ευκινητικότητα. Επιπλέον, φέρουν ουδέτερη οσμή και γεύση, γεγονός ελπιδοφόρο για την αξιοποίησή τους ως συστατικό εδώδιμων μεμβρανών καθώς δεν επηρεάζουν την αντίστοιχη γεύση και οσμή των τροφίμων τα οποία θα συσκευάσουν. Ταυτόχρονα, ελέγχουν την απελευθέρωση και μεταφορά



των περιεχόμενων μορίων. Η χρήση τους βασίζεται κυρίως σε φρέσκα τρόφιμα και αξιοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων εξασφαλίζοντας βελτίωση της ποιότητας και αύξηση της ασφάλειας τους. Η ασφάλεια επιτυγχάνεται καθώς διαθέτουν και ανοσορρυθμιστικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες.

Ωστόσο, τέτοια είδη συσκευασίας δεν αξιοποιούνται τόσο συχνά από τις βιομηχανίες, καθώς η διαδικασία για την παραγωγή τους αλλά και η συλλογή της πρώτης ύλης, είναι ακριβή. Για να έχει η μέθοδος αυτή συσκευασίας τη μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα, μπορούν να συνδυαστούν με βιοδραστικές και διατροφικές φαρμακευτικές ενώσεις για την παραγωγή βιοσυμβατών, βιοδιασπώμενων και βιώσιμων ενεργών συσκευασιών. Συγκεκριμένα, με την παραγωγή βιοδιασπώμενων εδώδιμων μεμβρανών από πρωτεΐνες γάλακτος βρέθηκε ότι έχοντας ως βάση τα βιοπολυμερή, όπως καζεϊνικό νάτριο, βιοδιασπώνται σε ποσοστό 100% σε 24 ώρες, ενώ άλλα συνθετικά βιοπολυμερή που αξιοποιούνται για συσκευασία τροφίμων, όπως βινυλική αλκοόλη και πολυγαλακτικό οξύ, βιοδιασπώνται  $56,3 \pm 0,7\%$  και  $38,0 \pm 4,3\%$  σε 2 βδομάδες.

#### ➤ **Παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών με βάση τις πρωτεΐνες αυγού**

Το αυγό είναι πλούσια πηγή πρωτεϊνών με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση να εντοπίζεται στον κρόκο (Sàez-Orviz et al, 2021). Διαχωρίζεται με τη βοήθεια αραίωσης και έπειτα φυγοκέντρωσης, σε κλάσμα πλάσματος αποτελούμενο κατά κύριο λόγο από λιπίδια που ανέρχονται σε ποσοστό 78%, και κοκκώδες κλάσμα, το οποίο περιλαμβάνει αδιάλυτες στο νερό πρωτεΐνες σε ποσοστό 58%. Το κλάσμα πλάσματος είναι ύψιστης σημασίας για την εφαρμογή του στις εδώδιμες μεμβράνες λόγω της αφριστικής ιδιότητας και ικανότητας να δημιουργεί γαλακτώματα. Γι' αυτό τον λόγο αξιοποιούνται για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών, ωστόσο η χρήση τους είναι περιορισμένη. Αυτό συμβαίνει διότι απαιτείται σημαντικός αριθμός καινοτόμων εφαρμογών για την κλασμάτωση του κρόκου και ειδικότερα του κοκκώδους κλάσματος. Συνήθως, ενισχύονται με βιοδραστικές ενώσεις προκειμένου να γίνουν πιο αξιοποιήσιμες οι παραγόμενες συσκευασίες τους και να

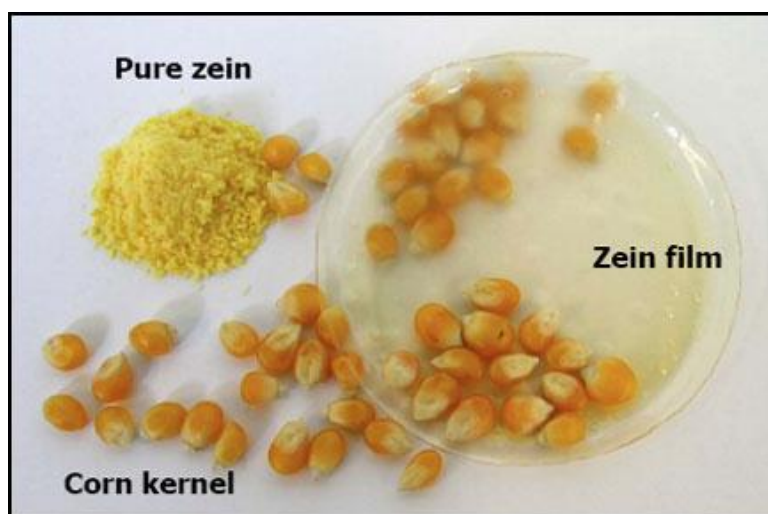


αποτελέσουν μια εναλλακτική και περισσότερο οικολογική επιλογή προς συσκευασία. Συγκεκριμένα, οι Sàez-Orviz et al., (2021) μελέτησαν την αποτελεσματικότητα εδώδιμων μεμβρανών από πρωτεΐνες προερχόμενες από κρόκο αυγού απαλλαγμένο από λιπίδια και εμπλουτισμένες η πρώτη με προβιοτικό, η δεύτερη με πρεβιοτικό και η τρίτη με συνδυασμό και των δύο, σε συγκεκριμένες συγκεντρώσεις. Για τα προβιοτικά, χρησιμοποιούνται κυρίως στελέχη βακτηρίων του γένους *Lactobacillus* και *Bifidobacterium* και οι επικαλύψεις με βιοδραστικές ενώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω συντελούν σε μεγαλύτερη βιωσιμότητα των προβιοτικών, χωρίς να τα αλλοιώνουν κατά τη συντήρηση. Υπό μελέτη βρίσκονται το λακτοβιονικό οξύ, ευρέως γνωστό και χρησιμοποιούμενο ως πρεβιοτικό, το οποίο έχει αναγνωριστεί από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) για τη χρήση αποκλειστικά υπό μορφή άλατος (Cardoso et al., 2019; Alonso et al., 2013).

#### 2.4.2 Πρωτεΐνες φυτικής προέλευσης

##### ➤ Παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών με βάση τη ζεΐνη

Η ζεΐνη (εικόνα 2.8) απαντάται κατά κύριο λόγο στον σπόρο του αραβόσιτου ως αποθηκευτική πρωτεΐνη.



Εικόνα 2.8: Ζεΐνη και εδώδιμη μεμβράνη από ζεΐνη

Πηγή: <https://www.wur.nl/en/show/Encapsulation-properties-of-corn-protein-zein.htm>

Αποτελεί το 44-79% του ενδοσπερμίου του καλαμποκιού. Η εφαρμογή της ζεΐνης στις εδώδιμες μεμβράνες είναι αλληλένδετη με το καλό φραγμό που δημιουργούν στους υδρατμούς καθώς και σε πτητικές ενώσεις. Αυτό οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα της σε υδρόφοβα αμινοξέα που σύμφωνα με τους Tsai & Weng (2019), είναι η αλανίνη, η προλίνη, η λευκίνη, καθώς και το γλουταμινικό οξύ, με το τελευταίο να ανέρχεται σε ποσοστό 21-26%. Έτσι, η ζεΐνη δε διαλύεται σε διαλύματα νερού ή σε αραιό διάλυμα άλατος, ωστόσο μπορεί να διαλυθεί σε διαλύματα αλκοόλης 60-95%. Συγκεκριμένα, ανάλογα με τη συγκέντρωση της αλκοόλης στην οποία διαλύεται, παρουσιάζει την ικανότητα να διασπάται σε διαφορετικά μεγέθη μορίων εμφανίζοντας ποικιλόμορφες ιδιότητες αντίστοιχα προς αξιοποίηση σε εδώδιμες μεμβράνες (Partel et al., 2014).

## 2.5 ΛΙΠΙΔΙΑ

Οι μεμβράνες από πρωτεΐνες ή πολυσακχαρίτες προσφέρουν προστασία κατά της διαπερατότητας του οξυγόνου σε ένα μέτριο ή χαμηλό ποσοστό υγρασίας τους, επίσης έχουν ιδιαίτερα θετικές-καλές μηχανικές ιδιότητες, αλλά έχουν ιδιαίτερος υψηλή διαπερατότητα στην υγρασία λόγω της υδρόφιλης φύσης τους. Αντιθέτως τα λιπίδια έχουν ιδιαίτερος χαμηλή διαπερατότητα στους υδρατμούς, αλλά ως μεμβράνες είναι αρκετά αδιαφανείς και σχετικά άκαμπτοι (Mohamed et al., 2020).

Οι μεμβράνες που παράγονται από λιπίδια και σελάκη (sellac – ζωϊκή ρητίνη) έχουν αυξημένη χρήση στην συσκευασία και αποθήκευση των φρέσκων φρούτων και προϊόντων που παράγονται στη ζαχαροπλαστική. Στόχος τους είναι:

1. η βελτίωση της εξωτερικής τους εμφάνισης,

2. η αύξηση της προστασίας των συσκευασμένων προϊόντων από φυσικές επιμολύνσεις, μειώνοντας έτσι σημάδια όπως οι μώλωπες και οι ρωγμές διατηρώντας έτσι την ακεραιότητα των τροφίμων,
3. η παρεμπόδιση της μεταφοράς, είτε προς, είτε από το τρόφιμο, υγρασίας, οξυγόνου, πτητικών ουσιών - αρωμάτων, καθώς και ελαίων βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα των τροφίμων αλλά και την διάρκεια ζωής τους,
4. η ενίσχυση σε γυαλάδα, εντονότερα και επιθυμητά χρώματα αλλά και μη λιπαρές ή κολλώδεις επιφάνειες στο τρόφιμο (Rhim & Shellhammer, 2005).

Οι ευεργετικές ιδιότητες ορισμένων λιπιδίων, όπως η υψηλή συμβατότητα τους με διάφορους παράγοντες σχηματισμού μεμβρανών (όπως οι πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες), καθώς και ο υψηλός φραγμός διαπερατότητας στους υδρατμούς αλλά και άλλων αερίων όπως (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, κλπ.) τα καθιστούν ιδιαίτερος αξιοποιήσιμα στην παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών και επιστρώσεων στα τρόφιμα (Rhim & Shellhammer, 2005).

Γενικά υπάρχει ένα μεγάλο εύρος από πρώτες ύλες που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή μεμβρανών και επιστρώσεων με βάση τα λιπίδια με σημαντικότερο κριτήριο την υδρόφοβη φάση τους. Τα κύρια λιπίδια που αξιοποιούνται για την παραγωγή βρώσιμων μεμβρανών είναι α) κεριά (waxes) β) τα λιπαρά οξέα, γ) ρητίνες και δ) ουδέτερα λιπίδια (Mohamed, et al., 2020)

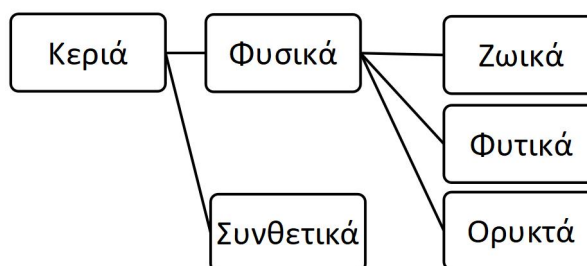
### 2.5.1 Κηροί (waxes)

Η πιο διαδεδομένη πρώτη ύλη λιπαρού για την παρασκευή μεμβρανών είναι οι κηροί, καθώς προσφέρουν την μεγαλύτερη ασφάλεια στα φρέσκα τρόφιμα. Οι κηροί που παράγονται, είτε φυσικά, είτε τεχνητά, είναι μη-πολικές ουσίες οι οποίες συνήθως στην θερμοκρασία δωματίου είναι εύθραυστες έως και συμπαγή στερεά, χονδροειδείς έως λεπτά κρυσταλλικά, σχετικά χαμηλού ιξώδους, ημιδιαφανείς έως και αδιαφανείς. Επίσης, η θερμοκρασία επηρεάζει

την διαλυτότητάς τους, διότι έχουν μια ιδιαίτερως χαμηλή ελαστικότητα. Χημικά οι κηροί είναι ενώσεις εστέρων αλειφατικού οξέος μακράς ανθρακικής αλυσίδας και αλειφατικής αλκοόλης επίσης μακράς ανθρακικής αλυσίδας. Είναι μη-διαλυτές στο νερό και εξαπλώνονται στην επιφάνεια του νερού, ως ένα ξεχωριστό ενιαίο στρώμα που παραμένει συμπαγές και συνεκτικό. Έχουν ιδιαίτερως υψηλή υδροφοβικότητα, η οποία παρατηρείται λόγω της υψηλής διαλυτότητάς τους σε οργανικούς διαλύτες, όπως το εξάνιο, το χλωροφόρμιο και το βενζόλιο. Τα μόρια τους είναι είτε μη πολικά ή πολύ χαμηλής διαλυτότητας στο νερό, όπου και δικαιολογεί σε έναν μεγάλο βαθμό την χρησιμότητά τους ως ασπίδα στην μεταφορά των υδρατμών από και προς το τρόφιμο (Rhim & Shellhammer, 2005).

Οι κηροί διαχωρίζονται σε αυτούς που απαντώνται στην φύση στο περιβάλλον, τους φυσικούς, και αυτούς που παράγονται με τεχνητά μέσα από

διάφορες πρώτες ύλες, τα συνθετικά. Οι φυσικοί κηροί κατατάσσονται σε ζωικούς, φυτικούς και ορυκτούς. Οι ζωικοί συνήθως προέρχονται συνήθως από έντομα όπως η κηρήθρα της



**Σχήμα 2.1: Είδη Κεριών**

μέλισσας, κηρό φάλαινας (spermaceti) ο οποίος εντοπίζεται στην κεφαλή κυρίως του ζώου, λανολίνη (που συνήθως προέρχεται από τρίχες ζώων όπως για παράδειγμα οι τρίχες από πρόβατα). Οι πιο συνηθισμένοι φυτικοί κηροί είναι οι κηροί καρναούμπας, κηροί ζαχαροκάλαμου, κηροί από έλαια jojoba, Ιαπωνικός κηρός, από λάδι πίτουρου ρυζιού καθώς και κηρός candelilla. Τέλος οι συνηθέστεροι ορυκτοί κηροί είναι: ο κηρός παραφίνης, οι μικροκρυσταλλικοί κηροί, ο οζοκερίτης, ο κηρός Montana. Τέλος οι συνθετικοί κηροί με συχνότερη χρήση είναι αυτοί του πολυαιθυλενίου, των εστέρων, αμιδίων και της πολυαιθυλενογλυκόλης (Rhim & Shellhammer, 2005).

Οι κηροί διαφοροποιούνται μεταξύ τους με βάση κριτήρια όπως τον βαθμό οξύτητας, τον αριθμό ιωδίου, τον αριθμό σαπωνοποίησης, τη θερμοκρασία τήξης και στερεοποίησης, το δείκτη διάθλασης, τον βαθμό εστεροποίησης και το ειδικό βάρος. Στον παρακάτω πίνακα 2.1 αναγράφονται οι πιο διαδεδομένοι κηροί, καθώς και οι χαρακτηριστικές τους τιμές μετά από

πειραματικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτά (Rhim & Shellhammer, 2005).

| Κηροί                       | Βαθμός Οξύτητας | Αριθμός Ιωδίου | Αριθμός Σαπωνοποίησης | Θερμοκρασία Τήξης (°C) | Θερμοκρασία Στερεοποίησης (°C) | Δείκτης Διάθλασης | Βαθμός Εστεροποίησης | Ειδικό βάρος      |
|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| <b>Μέλισσες</b>             | 7-36            | 7-16           | 90-149                | 62-65                  | 60-63                          | 1,4338-<br>1,4527 | 60-84                | 0,9272-<br>0,9676 |
| <b>Φάλαινα</b>              | 2-2,5           | 4,8-<br>5,9    | 108-134               | 42-50                  | 45,8                           | -                 | -                    | -                 |
| <b>Λίπος μαλλιού</b>        | 7-15            | 5-30           | 100-110               | 35-42                  | -                              | 1,4789-<br>1,4822 | 85-100               | 0,9320-<br>0,9450 |
| <b>Καρναούμπα</b>           | 2,9-<br>9,7     | 7-14           | 79-95                 | 78-85                  | -                              | 1,4672-<br>1,4720 | -                    | -                 |
| <b>Candelilla</b>           | 12,7-<br>18,1   | 14,4-<br>27    | 35-86,5               | 67-79                  | -                              | 1,4545-<br>1,4620 | -                    | 0,8850            |
| <b>Ouricoury</b>            | 9-20            | 5-8            | 70-100                | 81,5-84                | -                              | 1,4478            | -                    | 0,9700-<br>1,0500 |
| <b>Ζαχαροκάλαμο</b>         | 23-<br>28       | 17             | 65-77                 | 79-81                  | -                              | 1,5100            | -                    | 0,9830            |
| <b>Jojoba</b>               | 2               | 82             | 92                    | 6,8-7,0                | -                              | 1,4650            | -                    | -                 |
| <b>Βατόμουρα</b>            | 3,52            | 2,93           | 208                   | 44,8                   | -                              | -                 | -                    | -                 |
| <b>Ιαπωνικό κερι</b>        | 6-20            | 4,5-<br>12,5   | 206-237               | 45-53                  | -                              | -                 | -                    | 0,8750-<br>0,8770 |
| <b>Κερι πίτουρου ρυζιού</b> | 2,1-<br>7,3     | 11,2-<br>19,4  | 56,9-<br>104,4        | 75,3-<br>79,9          | -                              | -                 | -                    | -                 |
| <b>Οζοκερίτης</b>           | 31-<br>38       | 14-<br>18      | 87-104                | 83-89                  | -                              | 1,4670            | -                    | 1,0200-<br>1,0300 |
| <b>Παραφίνη</b>             | -               | -              | -                     | 63,6                   | -                              | 1,4497            | -                    | -                 |
| <b>Μικροκρυσταλλικά</b>     | -               | -              | -                     | -                      | -                              | 1,4450-<br>1,4460 | -                    | 0,8900-<br>0,9000 |

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικές Τιμές Κηρών

## 2.5.2 Λιπαρά οξέα

### 2.5.2.1 Τριγλυκερίδια (Triglycerides)

Τα τριγλυκερίδια ή αλλιώς τα ουδέτερα λιπίδια είναι εστέρες από διάφορα λιπαρά οξέα και γλυκερόλη. Έχουν ιδιαίτερα αυξημένη πολικότητα σε σύγκριση με τα κεριά, είναι αδιάλυτα στο νερό, και αντιθέτως διανέμονται ισόποσα σε όλη την επιφάνεια του νερού ως μία συνεχόμενη μονοφασική επιφάνεια. Η υδροφοβικότητα των τριγλυκεριδίων εξαρτάται από την δομή τους. Συγκεκριμένα τα τριγλυκερίδια με μεγάλες ανθρακικές αλυσίδες δεν διαλύονται καθόλου στο νερό ενώ τα τριγλυκερίδια με μικρές ανθρακικές αλυσίδες είναι εν μέρει διαλυτά στο νερό (υδατοδιαλυτά). Να σημειωθεί ότι σε τριγλυκερίδια με μεγάλη ανθρακική αλυσίδα είναι πιθανόν να δημιουργηθούν δομές όπως αυτές των μικκυλίων (Rhim & Shellhammer, 2005)

### 2.5.2.2 Λιπαρά οξέα (Lipid Acids)

Τα λιπαρά οξέα θεωρούνται επίσης και ως πολικά λιπίδια, με κύρια χρήση τους να είναι αυτή του γαλακτωματοποιητή. Στον πίνακα 2.2 που ακολουθεί θα αναφερθούν διάφορα λιπαρά οξέα που είναι ευρέως γνωστά στην αγορά, όπου αναγράφεται η κοινή και συνεκτική ονομασία τους, ο αριθμός ανθράκων που έχει η αλυσίδα τους, οι πιθανοί διπλοί δεσμοί, η θερμοκρασία τήξης, αλλά και η προέλευσή τους (Rhim & Shellhammer, 2005)

Πίνακας 2.2: Χαρακτηριστικά Λιπαρών Οξέων

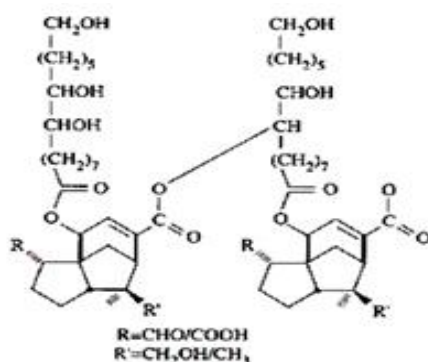
| Κοινή ονομασία λιπαρών οξέων | Συντακτική ονομασία λιπαρών οξέων | Αριθμός Ανθράκων | Διπλοί Δεσμοί | Θερμοκρασία Τήξης (°C) | Που απαντώνται στο περιβάλλον:       |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------|---------------|------------------------|--------------------------------------|
| <b>Καπριλικό</b>             | Δεκανοϊκό                         | 10               | 0             | 31,3                   | Λίπος από το γάλα, λίπος από σπόρους |

|                    |                                 |    |   |       |  |
|--------------------|---------------------------------|----|---|-------|--|
|                    |                                 |    |   |       | ραίμαε   |
| <b>Λαουρικό</b>    | Δωδεκανοϊκό                     | 12 | 0 | 43,9  | Λάδι<br>καρύδας  |
| <b>Μυριστικό</b>   | Δεκατετρανοϊκό                  | 14 | 0 | 54,4  | Βούτυρο,<br>λάδι<br>καρύδας,<br>φοινικέλαιο                                      |
| <b>Παλμιτικό</b>   | Δεκαεξανοϊκό                    | 16 | 0 | 62,9  | Φοινικέλαιο,<br>βούτυρο,<br>λαρδί, λίπος   |
| <b>Στεατικό</b>    | Δεκαοκτανοϊκό                   | 18 | 0 | 69,6  | Λίπος,<br>βούτυρο<br>κακάο, λαρδί  |
| <b>Ελαϊκό</b>      | 9-<br>Δεκαοκτανοϊκό             | 18 | 1 | 16,3  | Ελιά,<br>φιστίκια,<br>λαρδί, λίπος,<br>φοινικέλαιο,<br>αραβοσιτέλαι<br>ο, κανόλα |
| <b>Λινελαϊκό</b>   | 9,12-<br>Δεκαοκτανοϊκό          | 18 | 2 | -5    | Σόγια,<br>κρόκος,<br>ηλίανθος,<br>καλαμπόκι,<br>βαμβακόσπο<br>ρος                |
| <b>Λινολενικό</b>  | 9,12,15-<br>Δεκαοκτανοϊκό       | 18 | 3 | -11   | Σόγια,<br>κανόλα   |
| <b>Αραχιδονικό</b> | 5,8,11,14-<br>Εικοσοτετραενοϊκό | 20 | 4 | -49,5 | Λαρδί, λίπος   |
| <b>Βεχενικό</b>    | Δοκοσανοϊκό                     | 22 | 0 | 80    | Φιστίκια,<br>ελαιοκράμβη   |

### 2.5.3 Ρητίνες (Resins)

Οι ρητίνες συνήθως παράγονται από τα φυτικά κύτταρα όταν ένα δέντρο ή ένας θάμνος έχει τραυματιστεί ή μολυνθεί εκκρίνοντας την ρητίνη στο σημεία που παρουσιάζουν τέτοιου είδους προβλήματα. Ρητίνη επίσης μπορεί να παραχθεί και από έντομα όπως η ρητίνη *Laccifer Lacca* που προέρχεται από το έντομο *Laccifer Lacca Kerria*. Η κύρια απόχρωση των ρητινών είναι μεταξύ καφέ και κίτρινου και συνήθως είναι σε ημι-στερεή ή στερεή κατάσταση (Mohamed, et al., 2020)

Η κύρια ουσία των ζωικών ρητινών είναι η σελάκη ή αλλιώς γομαλάκα, η οποία είναι μια πολύπλοκη χημική ένωση (Πίνακας 2.4) που αποτελείται από πολυμερές ενώσεις σεσκιτερπένιων οξέων που έχουν εστεροποιηθεί με υδρόξυ- αλειφατικά οξέα (Mohamed et al., 2020)



Εικόνα: Χημική ένωση σελάκης

Πηγή Phaechamud, et al., 2016

Οι εδώδιμες μεμβράνες και τα φιλμ που παράγονται από τις ρητίνες διακρίνονται για την γρήγορη ξήρανση τους, την διαφάνεια τους, την στιλπνότητά τους και την μεγάλη ικανότητά τους ως γαλακτώματα. Η εφαρμογή τους στα τρόφιμα είναι ωφέλιμη καθώς παρουσιάζουν φράγματα ενάντια στην μεταφορά υδατμών, αλλά και γενικότερα των αερίων από και προς το τρόφιμο. Επίσης αυξάνουν την διάρκεια ζωής του τροφίμου καθώς μπορεί να την διευρύνουν έως και δώδεκα μέρες αποτρέποντας έτσι μια πρόωρη και πιθανόν προβληματική γήρανσή τους (Mohamed, et al., 2020).



#### 2.5.4 Αιθέρια έλαια (Essential oils)

Τα αιθέρια έλαια είναι ιδιαίτερος εμπλουτισμένα από ουσίες που χαρακτηρίζονται από μεγάλη υδροφοβικότητα και πτητικότητα. Παρουσιάζουν ένα έντονο αντιμικροβιακό περιβάλλον εξαιτίας της σύστασης τους από τερπενοειδή, τερπένια και άλλες αρωματικές ενώσεις, έτσι γίνονται ιδιαίτερος εύχρηστα για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών και φιλμ που μπορούν να προστατεύσουν το τρόφιμο από διάφορες μικροβιακές επιμολύνσεις (Mohamed et al., 2020).

#### 2.5.5 Παραγωγή Εδώδιμων Μεμβρανών με την Χρήση Λιπιδίων

Οι εδώδιμες μεμβράνες παρασκευάζονται με την διάλυση και την διασπορά των πρώτων υλών, με την βοήθεια της χύτευσης, του ψεκασμού της εμφύσησης, της εξώθησης κ.α. Οι βρώσιμες μεμβράνες έχουν τουλάχιστον ένα συστατικό το οποίο θα είναι πολυμερές υψηλού μοριακού βάρους όπως είναι οι πρωτεΐνες, οι πολυσακχαρίτες και τα λιπίδια. Οι πολυμερείς δομές των μακρών ανθρακικών αλυσίδων προσφέρουν μεγάλη συνεκτικότητα και αντοχή στον εφελκυσμό όταν εναποτίθενται από έναν κατάλληλο διαλύτη. Με αυτά τα συστατικά μπορούν να παραχθούν αυτό-υποστηριζόμενες μεμβράνες και επιστρώσεις.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τον σχηματισμό των φιλμ μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις τελικές ιδιότητες των μεμβρανών. Η εφαρμογή θερμών διαλυμάτων σχηματισμού φιλμ σε μια θερμή επιφάνεια λήψης προσδίδει μια καλύτερη συνεκτικότητα στο τελικό προϊόν. Ωστόσο, οι υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες οδηγούν σε έναν έντονο ρυθμό εξάτμισης, ακινητοποιώντας πρόωρα τα μόρια του πολυμερούς, προτού καν αποκτήσουν την ευκαιρία να συνενωθούν και να διαμορφώσουν μία συνεκτική και συνεχή μεμβράνη. Αντιθέτως το προϊόν θα είναι ιδιαίτερος εύθραυστο, με ανομοιόμορφο πάχος σε όλο το μήκος του υμένα, καθώς και με αυξημένη

διαπερατότητα υδρατμών και άλλων αερίων. Τέλος, δεδομένου ότι οι διαλύτες εξατμίζονται ταχύτατα, η πιθανότητα πρόωρης ακινητοποίησης των πολυμερών αλυσίδων είναι μεγαλύτερη σε φιλμ που παράχθηκαν μέσω ψεκασμού από ότι τα φιλμ που σχηματίστηκαν με χύτευση ή εμβάπτιση (Rhim & Shellhammer, 2005).

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας είναι η σχετική υγρασία. Η χαμηλή σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια της ξήρανσης της μεμβράνης μπορεί να αυξήσει τον ρυθμό απομάκρυνσης του διαλύτη, κάτι που πιθανότατα θα οδηγήσει στην παραγωγή εύθραυστων μεμβρανών, ενώ σε περίπτωση υψηλής σχετικής υγρασίας μπορεί να αργήσει ο χρόνος ξήρανσης του υμένα (Rhim & Shellhammer, 2005).

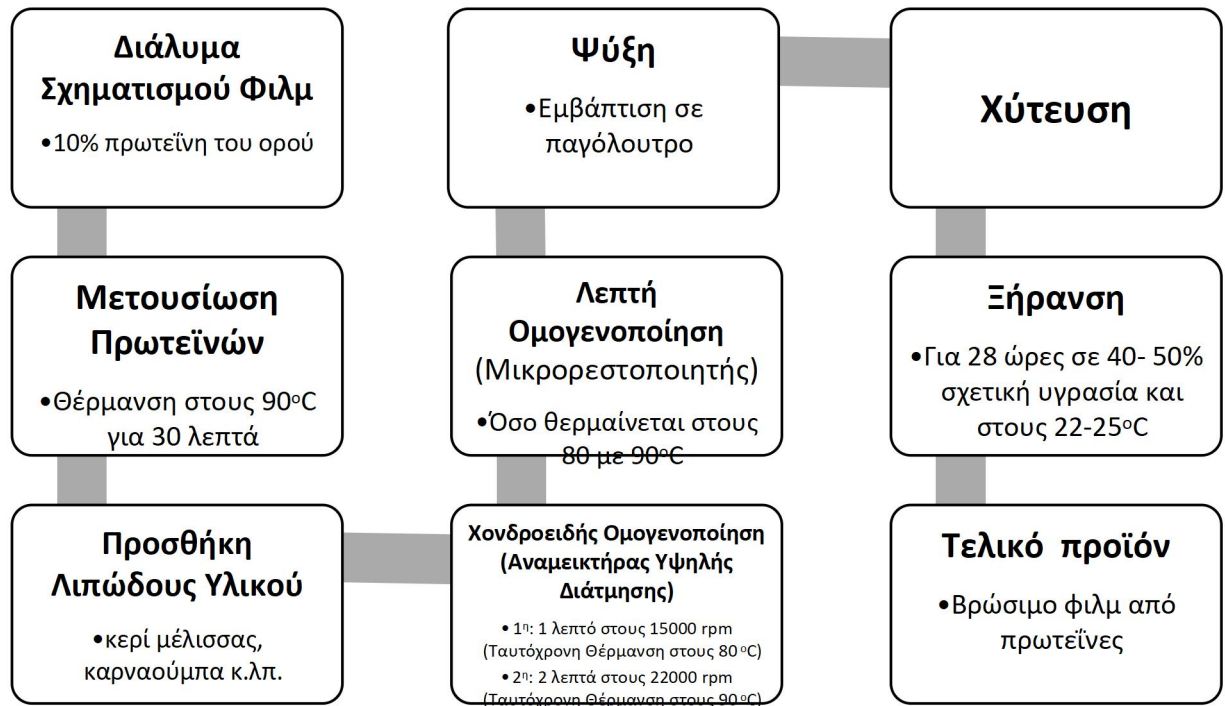
Οι βρώσιμες επικαλύψεις, σε αντίθεση με τις αυτό-υποστηριζόμενες μεμβράνες, έχουν αξιοποιηθεί κυρίως στην συσκευασία φρέσκων φρούτων και λαχανικών με στόχο την μείωση του βάρους και για την διατήρηση της υψηλής ποιότητας του τροφίμου κατά την διάρκεια της εμπορικής του ζωής. Η πιο γνωστή και παλαιότερη μέθοδος επικάλυψης είναι με την χρήση φυσικών κεριών, όπως το κερί μέλισσας και το κερί φάλαινας, και επιχρισμάτων λιπιδίων σε συγκεκριμένα φρούτα και λαχανικά για την μείωση της αφυδάτωσης και της τριβής τους κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους και του χειρισμού και για την βελτίωση της εμφάνισης ενισχύοντας την στιλπνότητά τους. Οι περιορισμοί στη χρήση τους περιλαμβάνουν τις κακές μηχανικές τους ιδιότητες και την λιπαρή εμφάνιση σε ορισμένα προϊόντα. Οι σύνθετες μεμβράνες και επικαλύψεις έχουν αναπτυχθεί σε τέτοιο επίπεδο που μπορούμε να συνδυάσουμε τα πλεονεκτήματα τόσο των λιπιδίων όσο και των υδροκολλοειδών συστατικών. Το συστατικό των λιπιδίων μπορεί να χρησιμεύσει στην σύνθεση ως ένα καλό φράγμα ενάντια στην διαπερατότητά τους από υδρατμούς, ενώ το υδροκολλοειδές συστατικό μπορεί να παρέχει ένα επιλεκτικό φράγμα για το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα (Rhim & Shellhammer, 2005).

Γενικότερα οι σύνθετες μεμβράνες διαχωρίζονται σε 2 υποκατηγορίες με βασικό κριτήριο την μέθοδο παρασκευής, όπου το τελικό προϊόν είτε παράγεται με την μέθοδο της πλαστικοποίησης, είτε με την μορφή γαλακτώματος. Στην πρώτη περίπτωση το τελικό προϊόν είναι σε μορφή διπλής στοιβάδας, υδρόφιλη και υδρόφοβη φάση, όπου το λιπαρό στρώμα

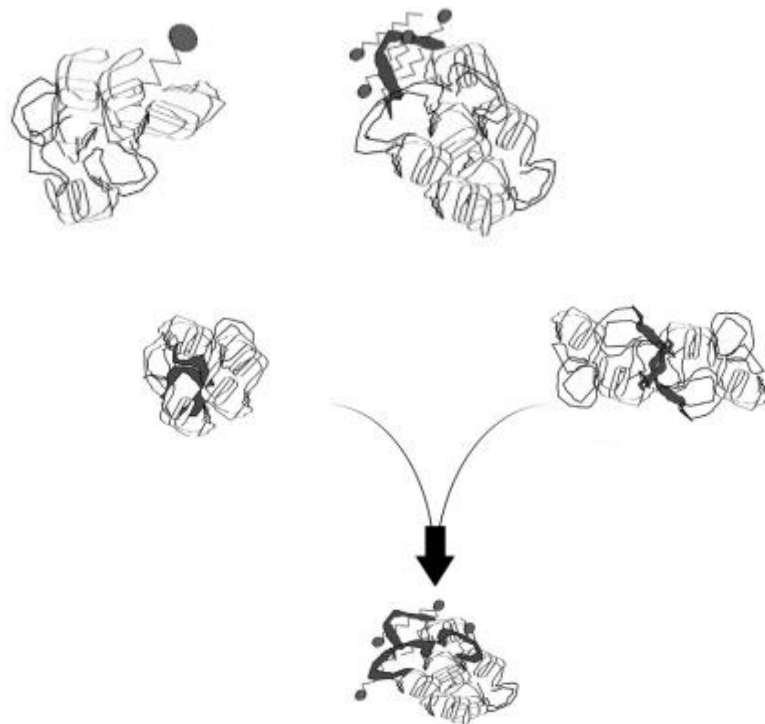
(υδρόφοβη φάση), τοποθετείται ομοιόμορφα πάνω σε ένα προσχηματισμένο φιλμ / στρώμα πρωτεϊνικής κυρίως στοιβάδας (υδρόφιλη φάση) με αποτέλεσμα η λιπόφιλη φάση να είναι ένα ξεχωριστό συνεχές στρώμα που βρίσκεται είτε ενδιάμεσα στην υδρόφιλη φάση είτε από πάνω. Στην δεύτερη περίπτωση το φιλμ σε μορφή γαλακτώματος (η υδρόφοβη ομάδα), ασυνεχής φάση, είναι διασκορπισμένη ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της υδρόφιλης μεμβράνης, (συνεχής φάση) (Rhim & Shellhammer, 2005).

Η διαδικασία γαλακτωματοποίησης της λιπαρής φάσης με την υδατική φάση είναι απαραίτητη πριν τη χύτευση για την αποτελεσματική παραγωγή των βρώσιμων μεμβρανών και επικαλύψεων, καθώς και το μέγεθος των σταγονιδίων της διεσπαρμένης φάσης, διότι επηρεάζει σε υψηλό βαθμό τη σταθερότητα του γαλακτώματος, αλλά και άλλων σημαντικών ιδιοτήτων του όπως για παράδειγμα το ιξώδες. Για την παρασκευή μεμβρανών στην μορφή γαλακτώματος χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές ομογενοποίησης (Galus et al., 2015).

Μία κλασική μέθοδος επεξεργασίας και παραγωγής βρώσιμης μεμβράνης είναι από το συνδυασμό λίπους και πρωτεΐνης του ορού σε μορφή γαλακτώματος (Πίνακας 2.2). Συγκεκριμένα θερμαίνεται το διάλυμα σχηματισμού βρώσιμου φιλμ με πρωτεΐνη ορού γάλακτος 10% στους 90°C για 30 λεπτά με στόχο την μετουσίωση των πρωτεϊνών. Έπειτα προστίθεται το λιπώδες υλικό (κερί μέλισσας, κερί καρναούμπα κ.α.). Ακολουθεί η χονδροειδής ομογενοποίηση, με αναμεικτήρα υψηλής διάτμησης σε δύο στάδια, 1<sup>ο</sup> στάδιο ομογενοποίηση για 1 λεπτό σε 15000 rpm σε θερμοκρασία 80 °C και στο 2<sup>ο</sup> στάδιο για 2 λεπτά σε 22000 rpm σε θερμοκρασία 90 °C. Μετά λαμβάνει χώρα η λεπτή ομογενοποίηση σε μικρορευστοποιητή για 7 λεπτά στους 41 MPa ενώ θερμαίνεται στους 80 με 90°C. Στην συνέχεια ψύχεται το διάλυμα σε παγόλουτρο, πραγματοποιείται χύτευση και τέλος ακολουθεί η ξήρανση για 18 ώρες σε σχετική υγρασία 40-50 % και σε θερμοκρασία 22-25 °C (Rhim & Shellhammer, 2005).



Σχήμα 2.2: Παραγωγή εδωδιμων μεμβρανών λίπους με βάση τις πρωτεΐνες



Εικόνα 2.8: Λιπιδικοί δεσμοί και λιπιδικοί δεσμοί εκτεθειμένοι σε υδρόφοβες περιοχές

## 2.6 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών

Στον παρακάτω πίνακα 2.3 αναφέρονται παραδείγματα εφαρμογών των εδώδιμων μεμβρανών σε διάφορα τρόφιμα.

Πίνακας 2.3 : Εφαρμογές των εδώδιμων μεμβρανών σε διάφορα τρόφιμα

| Τρόφιμο   | Εδώδιμη μεμβράνη   | Αποτέλεσμα   | Αναφορά                |
|---|--|--|------------------------|
| Φρέσκο γκουάβα                                      | Αραβικό κόμμι  | Αύξηση της αντοχής στους υδρατμούς. Μείωση της αναπνοής, της ωρίμανσης και της γήρανσης για 7 ημέρες στο $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ συγκριτικά με φρούτο χωρίς επικάλυψη  | Murmu & Mishra, 2017   |
| Φρέσκια φράουλα                                     | Αραβικό κόμμι (10% και 15% w/v)  | Διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, του χρώματος της σφριγηλότητας τους σε συνθήκες αποθήκευσης $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ για 10 ημέρες. Ενίσχυση της αντιοξειδωτικής τους δράσης. Μείωση του ποσοστού αποσύνθεσης συγκριτικά με τα φρούτα ελέγχου. Δεν παρατηρήθηκε αρνητική επίδραση. | Tahir et al., 2018     |
| Φρέσκο τυρόπηγμα (μέση διάρκεια ζωής: 10-20 ημέρες) | Πρωτεΐνη ορού γάλακτος/ εκχύλισμα <i>Cinnamomum cassia</i> σε συσκευασία κενού | Ισχυρή αντιμικροβιακή δράση. Μείωση του αριθμού ζυμομυκήτων και μούχλας κατά 0,79 έως 1,55 log cfu/g κατά τη διάρκεια 31 ημερών αποθήκευσης  | Mileriene et al., 2021 |
| Φρέσκο χοιρινό κρέας                                | Χιτοζάνη/ζελατίνη + εκχύλισμα σταφυλιού ή                                      | Αποθήκευση στους $4^{\circ}\text{C}$ για 20 ημέρες. 1% χιτοζάνη προστάτεψε το κρέας από την οξείδωση και τη μικροβιακή αλλοίωση. Προσθήκη ζελατίνη 3% και εκχύλισμα σπόρων σταφυλιού 0,5% ενίσχυσε την   | Xiong et al., 2020     |

|                               |  |   |                                   |
|-------------------------------|--|---|-----------------------------------|
|                               |  | αντιοξειδωτική δράση  |                                   |
| Τομάτες                       | Κηρός καντελίλας/<br>Πρωτεΐνη ορού γάλακτος/<br>εκχύλισμα <i>Flourensia<br/>cernua</i>               | Αναστολή ανάπτυξης<br>παθογόνων μυκήτων<br>και διατήρηση οπτικής<br>εμφάνισης συγκριτικά<br>με το δείγμα ελέγχου.<br>Αποθήκευση για 10<br>μέρες στους 25°C  | Ruiz-<br>Martinez et<br>al., 2020 |
| Βόειο<br>κρέας                | Αλγινικό/ εκχύλισμα<br>βασιλικού   | Αύξηση της<br>αντιοξειδωτικής δράσης<br>τους κρέατος με την<br>προσθήκη<br>εκχυλίσματος βασιλικού<br>και μείωση της<br>οξειδωσης των<br>λιπιδίων. Βελτίωση των<br>οργανοληπτικών<br>χαρακτηριστικών του<br>κρέατος κατά την<br>αποθήκευση.  | Alexandre<br>et al., 2021         |
| Τομάτες                       | Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη<br>/αιθέριο έλαιο κάρδαμου  | Αποθήκευση 15<br>ημερών σε<br>θερμοκρασία 25±2°C.<br>Αναστολή της<br>ανάπτυξης των<br>βακτηρίων <i>Escherichia<br/>coli</i> και <i>Listeria<br/>monocytogenes</i> κατά<br>10% συγκριτικά με τους<br>μάρτυρες. Μείωση<br>απώλειας βάρους<br>καρπού κατά<br>7,32±2,4%, διατήρηση<br>της σφριγηλότητας και<br>μείωση του οξειδωτικού<br>στρες. | Das et al.,<br>2022               |
| Φέτες<br>μορταδέλα<br>bologna | Πηκτίνη / Αιθέρια έλαια<br>ή/και εκχυλίσματα<br><i>Thymus vulgaris</i> και<br><i>Thymbra spicata</i> | Μείωση της<br><i>Salmonella<br/>typhimurium</i> ATCC<br>14028 κατά 1,73 log<br>CFU/g. Επίσης, μείωση<br>του συνολικού αριθμού<br>των μεσόφιλων<br>βακτηρίων, των<br>βακτηρίων γαλακτικού<br>οξέος, των ζυμών και<br>της μούχλας.<br>Παράταση του χρόνου<br>ζωής του τροφίμου.   | Gedikoglu,<br>2022                |



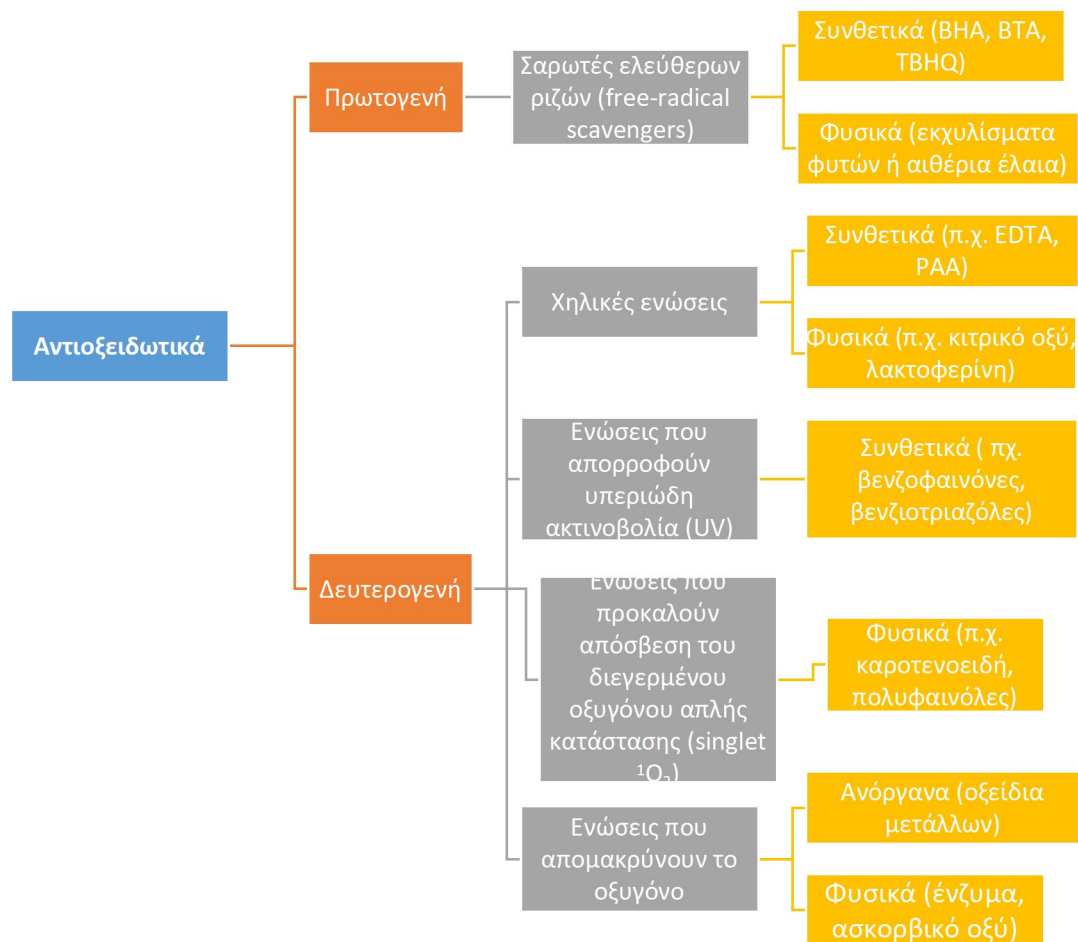
## 3. ΦΥΣΙΚΑ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΑ ΣΤΙΣ ΕΔΩΔΙΜΕΣ MEMBRANES

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ένας σημαντικός αριθμός συνθετικών και φυσικών αντιοξειδωτικών έχει μελετηθεί για την ανάπτυξη εδώδιμων συσκευασιών και επικαλύψεων. Αυτές οι δραστικές ουσίες στις μεμβράνες συσκευασίας μεταναστεύουν στα τρόφιμα ή απορροφούν τις οξειδωτικές ρίζες από τα τρόφιμα για να βελτιώσουν την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του τροφίμου. Για παράδειγμα, συνθετικά αντιοξειδωτικά, όπως βουτυλιωμένο υδροξυ τολουόλιο (BHT), βουτυλιωμένη υδροξυ ανισόλη (BHA) και tert-βουτυλ υδροκινόνη (TBHQ) χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ενεργών μεμβρανών συσκευασίας για τη διατήρηση ευαίσθητων στο οξυγόνο τροφίμων. Ωστόσο, αυτά τα συνθετικά αντιοξειδωτικά ενδέχεται να είναι τοξικά και επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία, και ως εκ τούτου υγιή εναλλακτικά, όπως τα φυσικά αντιοξειδωτικά, εξετάζονται κυρίως για την ανάπτυξη εδώδιμων μεμβρανών. Τέτοια αντιοξειδωτικά περιλαμβάνουν υδατικά και αλκοολούχα εκχυλίσματα φυτών, αιθέρια έλαια από βότανα και μπαχαρικά, ελαιορητίνες και μια μεγάλη ποικιλία πολυφαινολικών συμπυκνωμάτων που λαμβάνονται από διάφορες βιολογικές πηγές αποβλήτων. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι τα ενεργά υλικά συσκευασίας με βάση τα αντιοξειδωτικά φυσικής προέλευσης μπορούν να απελευθερώσουν τις δραστικές ουσίες στα τρόφιμα με ελεγχόμενους ρυθμούς, μειώνοντας έτσι την οξείδωση των λιπιδίων και διατηρώντας την ποιότητα και τη θρεπτική αξία των τροφίμων. Τα αντιοξειδωτικά δρουν, επίσης, ως ισχυρό φράγμα για την είσοδο των παθογόνων μικροοργανισμών από το περιβάλλον στην επιφάνεια του φαγητού (Barbosa-Pereira et al., 2013).

Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται μία ταξινόμηση των αντιοξειδωτικών που χρησιμοποιούνται στις εδώδιμες μεμβράνες συσκευασίας τροφίμων, βασισμένη στο μηχανισμό δράσης τους.





Σχήμα 3.1 : Ταξινόμηση αντιοξειδωτικών με βάση τη δράση τους  
 Πηγή: Rangaraj et al., 2021

Τα φυσικά αντιοξειδωτικά που χρησιμοποιούνται στις βρώσιμες μεμβράνες συσκευασίας είναι πολύπλοκα μόρια τα οποία υπάρχουν κυρίως σε φυτικά εκχυλίσματα, ελαιορητίνες και αιθέρια έλαια. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά που προέρχονται από φυτικά εκχυλίσματα μπορούν να απελευθερώσουν τις δραστικές ενώσεις από τη συσκευασία για να προστατεύσουν τα τρόφιμα από τις ελεύθερες ρίζες, τα οξειδωτικά ενδιάμεσα και τα προϊόντα δευτερογενούς διάσπασης. Επίσης, αυτές οι ενώσεις διαθέτουν καλές αντιμικροβιακές και αντιμυκητιακές ιδιότητες που μπορούν να προστατεύσουν την ποιότητα των τροφίμων. Ως εκ τούτου, δόθηκε πρόσφατα σημαντική προσοχή στην ανάπτυξη νέων αντιοξειδωτικών ενώσεων από διάφορες φυτικές πηγές (Rangaraj et al., 2021).

Οι ελαιορητίνες των βοτάνων περιέχουν κυρίως τα μη πτητικά έλαια, τα οποία αποτελούνται κυρίως από καροτενοειδή, αλκαλοειδή, στεροειδή και

ανθοκυανίνες, τα οποία είναι γενικά αντιοξειδωτικά. Οι θερμοκρασίες ξήρανσης που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή βρώσιμων επικαλύψεων ή μεμβρανών είναι συνήθως αρκετά υψηλές ώστε να εξατμιστούν τα περισσότερα από τα αρωματικά έλαια, επομένως οι ελαιορητίνες είναι πιο κατάλληλες (Sahraee et al., 2019)

Τα φυσικά αντιοξειδωτικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις υποκατηγορίες (Rangaraj et al., 2021) :

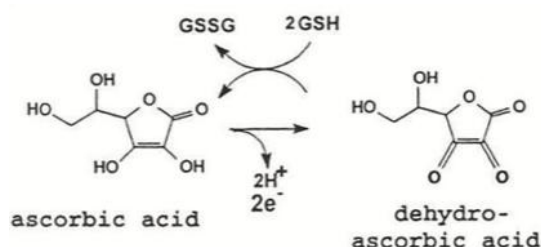
- βιταμίνες (π.χ. βιταμίνες C και E)
- καροτενοειδή (π.χ. καροτίνες και ξανθοφύλλες)
- πολυφαινόλες (π.χ. φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, λιγνάνες και σπιλβένια).

Η αντιοξειδωτική δράση αυτών των ενώσεων εξαρτάται από τα χημικά τους χαρακτηριστικά και τις διαδικασίες εκχύλισης.

### 3.2 BITAMINEΣ

#### Βιταμίνη C

Η βιταμίνη C (L-ασκορβικό οξύ) έχει μοριακό τύπο  $C_6H_8O_6$  και αποτελείται από ένα δακτύλιο λακτόνης με τέσσερις άνθρακες (πενταμελής δακτύλιος), ο οποίος φέρει δύο ενολικά υδροξύλια. Το ασκορβικό οξύ ανάγεται σε δεϋδροασκορβικό οξύ (εικόνα 3.1), αλλά πρόκειται για μία αντιστρέψιμη οξειδοαναγωγική αντίδραση με την βοήθεια της γλουταθειόνης (glutathione – GSH) (Pehlivan, 2016).



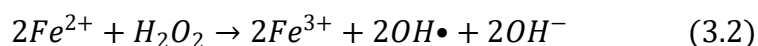
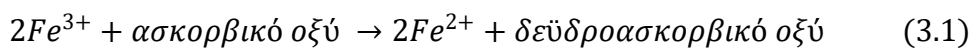
Εικόνα 3.1: Μετατροπή ασκορβικού οξέος σε δεϋδροασκορβικό οξύ

Πηγή: Hamza, 2017

Πρόκειται για μία υδατοδιαλυτή βιταμίνη.

Η βιταμίνη C ή ασκορβικό οξύ εξουδετερώνει τις ελεύθερες ρίζες ( $O_2^{\cdot-}$ ,  $HO_2^{\cdot}$ ,  $OH^{\cdot}$ ,  $RO_2^{\cdot}$ , υποχλωριώδες οξύ  $HClO$  και μοριακό οξυγόνο  $O_2$ ), καθώς προσφέρει άτομα υδρογόνου, τα οποία δεσμεύονται από τα ασύζευκτα ηλεκτρόνια των ελεύθερων ριζών. Το ασκορβικό οξύ μετατρέπεται σε ρίζα ασκορβυλίου, η οποία δεν είναι δραστική (Poljsak et al., 2019).

Επίσης, δρα προοξειδωτικά, μειώνοντας τη συγκέντρωση των οξειδωτικών ουσιών που υπάρχουν σε ένα τρόφιμο. Για παράδειγμα μπορεί να μετατρέψει τον τρισθενή σίδηρο που υπάρχει σε ένα τρόφιμο σε δισθενή σίδηρο (3.1). Ο δισθενής σίδηρος με τη σειρά του δεσμεύει το υπεροξειδίο του υδρογόνου που είναι οξειδωτική ουσία (3.2).



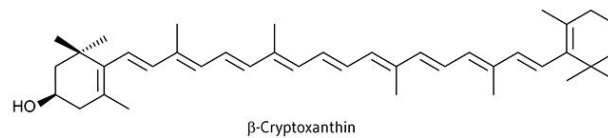
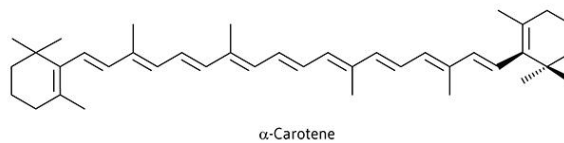
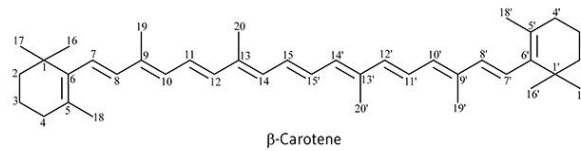
## Βιταμίνη E

Οι τοκοφερόλες είναι αντιοξειδωτικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως ως πρόσθετα τροφίμων καθώς είναι αποτελεσματικές, λιποδιαλυτές και αναστολείς των αντιδράσεων οξείδωσης, λόγω της αποτελεσματικής τους ικανότητας διάσπασης της αλυσίδας, επιδεικνύοντας αποτελεσματικότητα υπέρ της υπεροξειδωσης των λιπιδίων και άλλων οξειδωτικών καταστάσεων που προκαλούνται από την παρουσία ελεύθερων ριζών (Barbosa-Pereira et al., 2013).

## 3.3 ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ

Πολλά τρόφιμα οφείλουν το κίτρινο, πορτοκαλί ή κόκκινο χρώμα τους στα καροτενοειδή που περιέχουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η ντομάτα, οι πιπεριές *Capsicum*, το καλαμπόκι και το καρότο. Πρόκειται για μία κατηγορία βιοδραστικών ενώσεων, οι οποίες είναι λιποδιαλυτές. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες (Briton, 2020):

- Καροτένια, όπως για παράδειγμα β-καροτένιο και λυκοπένιο. Δεν περιέχουν άτομα οξυγόνου
- Ξανθοφύλλες, όπως λουτεΐνη και ζεαξανθίνη. Περιέχουν ένα ή περισσότερα άτομα οξυγόνου ( -OH, -CH=O, -COOH )



Εικόνα 3.2 : Ορισμένες χημικές δομές καροτενοειδών

Πηγή: <https://lpi.oregonstate.edu/mic/dietary-factors/phytochemicals/carotenoids>

### 3.4 ΠΟΛΥΦΑΙΝΟΛΕΣ

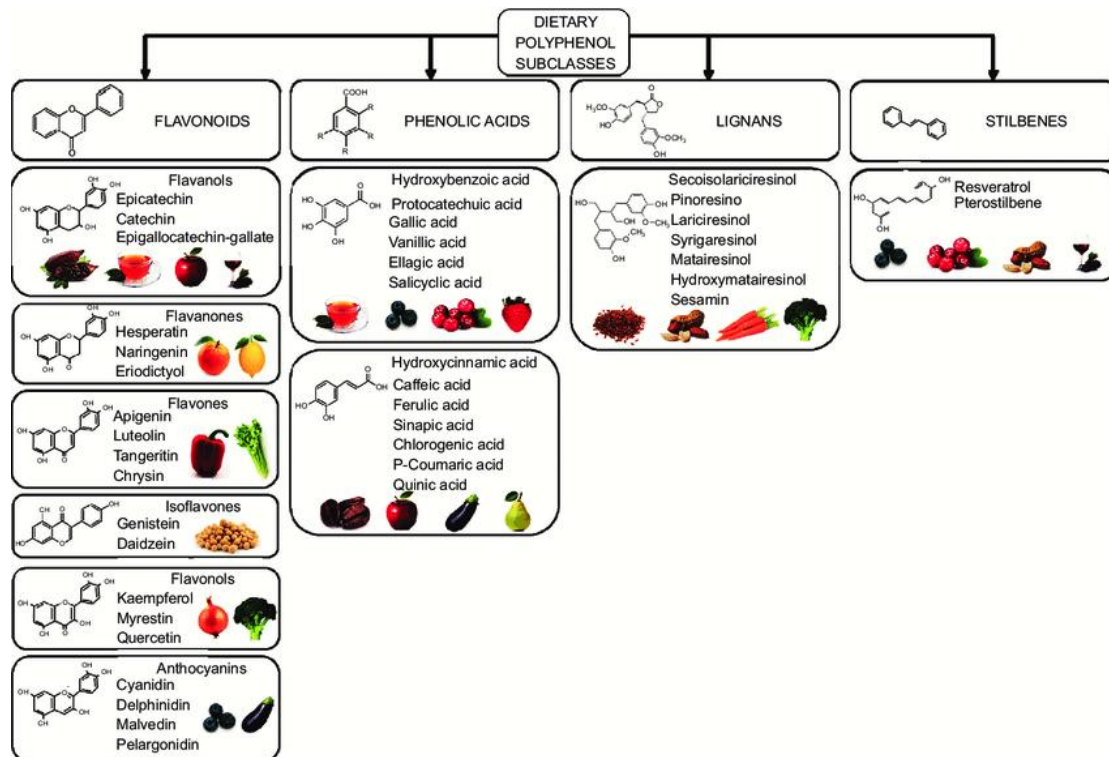
Οι πολυφαινόλες είναι οργανικές ενώσεις με μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες συνδεδεμένες σε έναν δακτύλιο φαινυλίου. Δεν εμπλέκονται στη φυσιολογική ανάπτυξη και ανάπτυξη των φυτών, αλλά έχουν σημαντικό ρόλο στους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών έναντι ιών, βακτηρίων, μυκήτων και φυτοφάγων (Paruc et al., 2017).

Περίπου 800 διαφορετικές πολυφαινόλες έχουν εντοπιστεί σε ένα ευρύ φάσμα φρούτων και λαχανικών, συμπεριλαμβανομένων των μούρων, των δημητριακών ολικής αλέσεως και του κακάο, καθώς και ροφημάτων ή ποτών όπως ο καφές, το τσάι και το κρασί. Είναι ενδιαφέρον ότι το προφίλ και η περιεκτικότητα σε πολυφαινόλες καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τα φυτικά είδη. Ορισμένα τρόφιμα και ποτά μπορεί να είναι ιδιαίτερα πλούσια σε μια συγκεκριμένη κατηγορία, π.χ. φαινολικά οξέα στον καφέ, σιλιβένια και ανθοκυανιδίνες στο κόκκινο κρασί, φλαβονόλες στα εσπεριδοειδή και

ισοφλαβόνες στα προϊόντα σόγιας. Οι κύριες διατροφικές πηγές πολυφαινόλων εξαρτώνται από λίγα τρόφιμα και ποτά ανάλογα με τη χώρα. Για παράδειγμα, η πρόσληψη τσαγιού έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στις ασιατικές χώρες και στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ η πρόσληψη κρασιού, φρούτων, ελιών και ελαιολάδου επηρεάζει την πρόσληψη πολυφαινολικών στη μεσογειακή δίαιτα (Tressera-Rimbaou et al., 2018)

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι η περιεκτικότητα και το προφίλ πολυφαινόλης επηρεάζονται σημαντικά από την ποικιλία των φυτών, τις συνθήκες ανάπτυξης, τη διαχείριση της καλλιέργειας, το στάδιο ωριμότητας κατά τη συγκομιδή, τον χειρισμό μετά τη συγκομιδή, την αποθήκευση και τις μεθόδους επεξεργασίας τροφίμων και αυτοί οι παράγοντες ευθύνονται για τη μεγάλη μεταβλητότητα των φαινολικών ενώσεων σε μεταποιημένα προϊόντα όπως το κρασί και το παρθένο ελαιόλαδο (Tressera-Rimbaou et al., 2018)

Οι πολυφαινόλες μπορούν να υποδιαιρεθούν σε 4 κύριες κατηγορίες, τα φλαβονοειδή, τα στυλβενοειδή, τις λιγνάνες και τα φαινολικά οξέα (διάγραμμα 3.2) (Papurc et al., 2017).



Διάγραμμα 3.2 : Ταξινόμηση πολυφαινόλων, χημική δομή και βασικές διατροφικές πηγές

Πηγή: Woodward et al., 2018

### 3.4.1 Φλαβονοειδή

Οι πιο διαδεδομένες πολυφαινολικές ενώσεις είναι τα φλαβονοειδή. Χημικά, ο σκελετός των φλαβονοειδών αποτελείται από δύο δακτυλίους φαινυλίου (Α και Β) και έναν οξυγονωμένο ετεροκυκλικό δακτύλιο (C), που δίνει μια γενική δομή με σκελετό 15 άνθρακα (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>). Οι φλαβόνες, οι φλαβανόνες, οι φλαβονόλες, οι φλαβανονόλες, οι φλαβαν-3-όλες, οι ισοφλαβόνες, τα νεοφλαβονοειδή, οι χαλκόνες και οι ανθοκυανιδίνες είναι τα πιο ευρέως γνωστά φλαβονοειδή (Paruc et al., 2017):

- Οι φλαβόνες και οι φλαβονόλες είναι τα πιο κοινά φλαβονοειδή, πανταχού παρόντα στο φυτικό βασίλειο, με εξαίρεση τα φύκια και τους μύκητες. Οι μονομερείς φλαβαν-3-όλες (κατεχίνες) και τα παράγωγά τους (επικατεχίνη, γαλλοκατεχίνη) είναι τα κύρια φλαβονοειδή που βρίσκονται στα φύλλα τσαγιού και στους κόκκους κακάο.
- Οι συμπυκνωμένες τανίνες ή οι προανθοκυανιδίνες είναι κοινά συστατικά των ξυλωδών φυτών, αλλά συχνά βρίσκονται σε φρούτα και ποτά, όπως η μπύρα και το κρασί. Αυτές οι πολυμερείς ενώσεις μπορούν να οδηγήσουν στην κατακρήμνιση των πρωτεϊνών και έχουν αντιμικροβιακή δράση.
- Τα ισοφλαβονοειδή έχουν σκελετό ισοφλαβάνης, αλλά είναι δομικά ποικίλα, παρά τη χαμηλή κατανομή τους στο φυτικό βασίλειο. Η γενιστεΐνη και η δαϊδζεΐνη, που βρίσκονται στη σόγια, είναι σημαντικά ισοφλαβονοειδή με αντιοξειδωτική και οιστρογονική δράση.
- Τα νεοφλαβονοειδή έχουν σκελετό 4-φαινυλ κουμαρίνης και σπάνια βρίσκονται σε φυτά κατάλληλα για βρώση.
- Οι χαλκόνες έχουν αρωματική κετόνη 1,3-διφαινυλ-1-προπεν-3-όνης. Οι χαλκόνες βρίσκονται σε φρούτα και λαχανικά με τη μορφή μονομερών, διμερών, ολιγομερών, προϊόντα της αντίδρασης Diels- Alder και ως διάφορα συζυγή. Οι φυτικές χρωστικές, των οποίων το χρώμα αλλάζει από κίτρινο σε πορτοκαλί σε ορισμένα φυτά, όπως τα είδη *Coreopsis* και *Asteraceae*, περιέχουν χαλκόνες, διυδροχαλκόνες και αυρώνες.
- Οι ανθοκυανιδίνες είναι τα κύρια συστατικά των κόκκινων, μπλε και μωβ χρωστικών που κατανέμονται σε πέταλα λουλουδιών, φρούτα και

λαχανικά. Οι γλυκοσιδικές μορφές των ανθοκυανιδινών που βρίσκονται στα φυτά είναι γνωστές ως ανθοκυανίνες. Έχουν εντοπιστεί περισσότερες από 500 ανθοκυανίνες, οι οποίες διαφέρουν ως προς το πρότυπο υδροξυλίωσης ή μεθοξυλίωσης του δακτυλίου Β και γλυκοζυλίωσης με διαφορετικές μονάδες σακχάρου. Το χρώμα των ανθοκυανινών εξαρτάται από το pH (πορτοκαλί ή κόκκινο σε pH 3,0 ή χαμηλότερο, μπλε κόκκινο σε τιμές pH μεταξύ 6 και 7 και μπλε σε βασικές συνθήκες) (Brouillard 1988).

### 3.4.2 Στιλβеноειδή

Τα στιλβеноειδή είναι πολυφαινόλες 1,2-διφαινυλαιθενίου (παράγωγα του στιλβενίου) και έχουν σκελετό 14 άνθρακα (σκελετός C6–C2–C6). Τα στιλβеноειδή μπορεί να έχουν μονομερείς, ολιγομερείς ή πολυμερείς δομές. Λόγω των ποικίλων βιολογικών δράσεων της, όπως αντιοξειδωτικές, αντικαρκινικές, οιστρογονικές και αντιβακτηριδιακές δράσεις, η τρανς-ρεσβερατρόλη έχει προσελκύσει την προσοχή πολλών ερευνητών. Το 3, 4', 5-τριυδροξυ-στιλβένιο (ρεσβερατρόλη) βρίσκεται σε διάφορα φυτά (σταφύλια, μούρα, φιστίκια, κακάο), καθώς και στο κόκκινο κρασί (Paruc et al., 2017).

### 3.4.3 Φαινολικά οξέα

Τα φαινολικά οξέα προέρχονται από το βενζοϊκό οξύ (C1–C6) ή το κινναμικό οξύ (C3–C6). Στα φρούτα και τα λαχανικά, τα υδροξυβενζοϊκά οξέα βρίσκονται σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση, ειδικά σε ελεύθερη μορφή. Στους κόκκους και τους σπόρους, τα υδροξυβενζοϊκά οξέα είναι συνήθως σε δεσμευμένη μορφή (Paruc et al., 2017).

## 3.5 ANTIOΞEIDΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΕΔΩΔΙΜΩΝ ΜΕΜΒΡΑΝΩΝ

Οι κύριοι μηχανισμοί δράσης για την προστασία των τροφίμων από τη διαδικασία οξειδωσης περιλαμβάνουν τη δέσμευση των ελεύθερων ριζών και

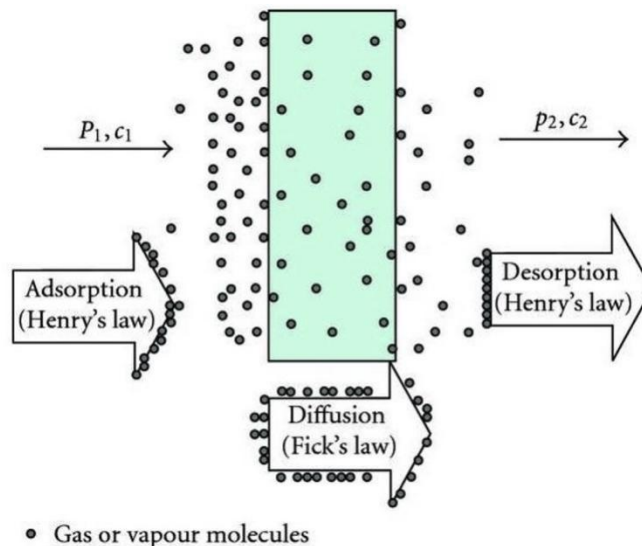
το σπάσιμο της αλυσίδας με την αναστολή των φάσεων έναρξης ή διάδοσης των αλυσιδωτών αντιδράσεων ελεύθερων ριζών της οξειδωσης των λιπιδίων, της χηλίωσης μετάλλων και της απόσβεσης μονήρους οξυγόνου (Barbosa-Pereira et al., 2013).

Η αντιοξειδωτική δράση των εδύδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων και η προστασία που προσφέρουν στα τρόφιμα σχετίζεται, επίσης, με τη διαπερατότητα του οξυγόνου (oxygen permeability – OP) από τις μεμβράνες αυτές. Η αντίσταση στο οξυγόνο των βρώσιμων μεμβρανών και επικαλύψεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η αλληλεπίδραση της αλυσίδας πολυμερών, οι υδρόφιλες/λιπόφιλες ιδιότητες των υλικών και η ατμοσφαιρική υγρασία. Για παράδειγμα, η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει τη διαπερατότητα των αερίων. Οι μεμβράνες που παρασκευάζονται με υδροκολλοειδή μπορεί να είναι καλύτεροι φραγμοί οξυγόνου από τα συνθετικά πολυμερή λόγω των πολλών δεσμών μεταξύ αλυσίδων (ομοιοπολικοί δεσμοί, δεσμοί υδρογόνου και δεσμοί van der Waals) που σχηματίζουν ελικοειδή δίοδο για τα αέρια (Robles-Sánchez et al., 2013).

Τα πολυμερή μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως κρυσταλλικά είτε ως άμορφα. Τα άμορφα πολυμερή συνήθως μελετώνται ως προς την ελαστική ή υαλώδη κατάσταση τους. Η αλλαγή από την υαλώδη στην ελαστική κατάσταση ενός πολυμερούς καθορίζεται από τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (glass transition). Η μετάπτωση γυαλιού είναι η θερμοκρασία κάτω από την οποία ένα πολυμερές θεωρείται στερεό («γυάλινο, glassy state») και πάνω από αυτή τη θερμοκρασία θεωρείται ένα ελαστικό πολυμερές (rubbery state) που έχει ιδιότητες που μοιάζουν με παχύρρευστο υγρό (Sahraee et al., 2019)

Η διαπερατότητα (permeability – P) των αερίων μέσω των πολυμερών λαμβάνει χώρα με ρόφηση, διάχυση και τα στάδια εκρόφησης όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.





Εικόνα 3.3: Αναπαράσταση της διεύθυνσης του οξυγόνου μέσω μιας ομοιογενούς μεμβράσης ( $p$ : πίεση,  $c$ : συγκέντρωση αερίων και ισχύει  $p_1 > p_2$  και  $c_1 > c_2$ )

Πηγή: Sahraee et al., 2019

Η μεταφορά των αερίων μέσω πολυμερών εξαρτάται (Sahraee et al., 2019):

- από τη δομή και την κατάσταση του πολυμερούς (υαλώδης, ελαστική, διογκωμένη)
- Η ρόφηση αερίου σε ελαστικά πολυμερή εξαρτάται από τη διαλυτότητα ( $S$ ). Όσο πιο μεγάλο είναι ένα μόριο τόσο μεγαλύτερη συγγένεια εμφανίζει με το πολυμερές, άρα τόσο μεγαλύτερη διαλυτότητα ( $S$ ) έχει και, κατά συνέπεια, μικρότερη διαπερατότητα ( $P$ ).

Το φαινόμενο της ρόφησης- διάχυσης εξηγείται χρησιμοποιώντας τον νόμο της διαλυτότητας του Henry (Εξίσωση 1) και τον πρώτο νόμο του Fick για τη διάχυση αερίου (Εξίσωση 2), όπου η συγκέντρωση του αερίου ( $C$ ) δεν επηρεάζει τον συντελεστή διάχυσης ( $D$ ).

$$P = \frac{C}{S} \quad (\text{Εξίσωση 1})$$

Όπου:

$P$ : διαπερατότητα

$C$ : συγκέντρωση διηθήματος

$S$ : διαλυτότητα

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (\text{Εξίσωση 2})$$

Όπου:

J: διάχυση αερίου

D: συντελεστής διάχυσης

x: πάχος πολυμερούς

Από την άλλη πλευρά, η μεταφορά αερίων μέσω υαλωδών πολυμερών εξηγείται χρησιμοποιώντας τη θεωρία ελεύθερου όγκου Fujita. Αυτή η θεωρία λέει ότι η διείσδυση ενός αερίου μέσω του πολυμερούς εξαρτάται από την ποσότητα του ελεύθερου όγκου και την ενέργεια για να ξεπεραστούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αλυσίδων. Αντίστοιχα, η ρόφηση αερίου για ένα υαλώδες πολυμερές εξηγείται χρησιμοποιώντας έναν μηχανισμό διπλής ρόφησης, ο οποίος περιλαμβάνει τον νόμο της διαλυτότητας του Henry για διάλυση στη συνεχή φάση και έναν τύπο ρόφησης Langmuir για προσρόφηση σε μικρο-οπές. Παρόμοια με τις μεμβράνες από καουτσούκ, ο νόμος του Fick εφαρμόζεται για να εξηγήσει τη διάχυση αερίων στα υαλώδη πολυμερή (Peresin et al., 2017).

Τα ημικρυσταλλικά πολυμερή αποτελούνται από δύο φάσεις: άκαμπτα και άμορφα. Η διαπερατότητα αερίου σε αυτά τα πολυμερή εξαρτάται από την κατανομή της αδιαπέραστης κρυσταλλικής φάσης στην άμορφη φάση και από οποιαδήποτε διασταύρωση μεταξύ των δύο φάσεων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπερατότητα του πολυμερούς περιλαμβάνουν τη μέθοδο παρασκευής και τις συνθήκες επεξεργασίας για το πολυμερές που, με τη σειρά του, επηρεάζει την ακαμψία, τον ελεύθερο όγκο και τη διασταύρωση των πολυμερικών αλυσίδων και την πολικότητα και την κρυσταλλικότητα των μορίων πολυμερών (Sahraee et al., 2019).

Οι εδωδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις από πολυσακχαρίτες έχουν μικρή διαπερατότητα ως προς το οξυγόνο και αποτελούν καλό φραγμό. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να οφείλεται στον μεγάλο αριθμό δεσμών υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ των μορίων τους και που βοηθούν τις γειτονικές αλυσίδες να συνδέονται στενά μεταξύ τους (Sahraee et al., 2019).

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές διαπερατότητας ορισμένων συνθετικών και βιοαποικοδομήσιμων μεμβρανών στους 23°C και 55±2% υγρασία περιβάλλοντος.

Πίνακας 3.1: Διαπερατότητα οξυγόνου ορισμένων συνθετικών και βιοαποικοδομήσιμων μεμβρανών στους 23°C και 55 ± 2% υγρασία περιβάλλοντος

| Μεμβράνη πολυμερούς  | Διαπερατότητα οξυγόνου (ml.mm/m <sup>2</sup> .day.pa) | Αναφορά                      |
|--|---|------------------------------|
| Πηκτίνη (pectin)   | 1,70 x 10 <sup>-6</sup>                               | Coffin and Fishman, 1994     |
| Χιτοζάνη (chitosan)  | 9,25 x 10 <sup>-6</sup>                               | Caner et al., 1998           |
| Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (polyethylene terephthalate)                               | 4,00-5,00 x 10 <sup>1</sup>                           | Garcia et al., 2000          |
| LPDE   | 1,87 x 10 <sup>3</sup>                                | Garcia et al., 2000          |
| Καζεϊνικό (caseinate)  | 1,44 x 10 <sup>2</sup>                                | Tomasula et al., 2003        |
| Πρωτεΐνη ορού γάλακτος (whey protein)  | 1,85 x 10 <sup>2</sup>                                | Tomasula et al., 2003        |
| Zein (φυτική πρωτεΐνη που εκχυλίζεται από καλαμπόκι)                                 | 1,86 x 10 <sup>-1</sup>                               | Ghanbarzaden et al., 2007    |
| Ζελατίνη βοοειδών (bovine gelatin)   | 4,80 x 10 <sup>-6</sup>                               | Avena-Bustillos et al., 2011 |
| Άμυλο (starch)   | 1,21 x 10 <sup>1</sup>                                | Ghasemlou et al., 2013       |
| Άλας αλγινικού οξέος (alginate)  | 8,94 x 10 <sup>-6</sup>                               | Xiao et al., 2014            |
| Pullulan (εξωκυτταρικός μικροβιακός πολυσακχαρίτης, βρώσιμος και βιοαποικοδομήσιμος) | 0,48 x 10 <sup>-6</sup>                               | Xiao et al., 2014            |

Πηγή: Sahraee et al., 2019

## 4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στον παρακάτω πίνακα 4.1, παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένα παραδείγματα όπου εδώδιμες μεμβράνες εμπλουτίστηκαν με αντιοξειδωτικά και ερευνήθηκε η επίδρασή τους σε ορισμένα τρόφιμα.

Πίνακας 4.1 : Εφαρμογές αντιοξειδωτικών ουσιών σε εδώδιμες μεμβράνες

| Τρόφιμο                             | Εδώδιμη μεμβράνη  | Αποτέλεσμα  | Αναφορά                        |
|-------------------------------------|---|---|--------------------------------|
| Φέτες σολομού (Salmo salar)         | Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο εμπλουτισμένο με τοκοφερόλες | Παράταση του χρόνου αποθήκευσης κατά 70%  | Barbosa-Pereira et al., 2013   |
| Μικρά τεμάχια ωμού χοιρινού κρέατος | Αλγινικό νάτριο/ ασκορβικό οξύ                                | Επιβράδυνση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοιώσεις. Παράταση της διάρκειας ζωής του κρέατος μέχρι 8,9 μέρες (60% περισσότερο από τα δείγματα ελέγχου) | Gammariello et al., 2017       |
| Φρεσκοκομμένα τεμάχια πεπτονιού     | Κόμμι ξανθάνης με ενσωματωμένες νανοκάψουλες β-καροτένιο      | Διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της ποιότητας του πεπτονιού. Αύξηση του χρόνου αποθήκευσης σε 21 ημέρες στους 4°C  | Zambrano-Zaragoza et al., 2017 |
| Σπέρματα ροδιού (ρόγες)             | Χιτοζάνη / ασκορβικό οξύ                                      | Μείωση της ανάπτυξης βακτηρίων και μυκήτων . Παράταση της διάρκειας ζωής ως 21 ημέρες στους 5°C   | Ozdemir & Gokmen, 2017         |
| Μανιτάρια (Agaricus bisporus)       | 1.Χιτοζάνη<br>2.Χιτοζάνη/zein<br>3.Χιτοζάνη/zein/α-τοκοφερόλη | Χιτοζάνη/zein/α-τοκοφερόλη: μικρότερη απώλεια βάρους, περιορισμός της αμαύρωσης και της δραστηριότητας των ενζύμων, χαμηλότερος ρυθμός αναπνοής.                          | Zhang et al., 2020             |

|   |  |   |                    |
|---|--|---|--------------------|
|   |  | Διατήρηση της ποιότητας του ενζύμου.  |                    |
| Χοιρινό φιλέτο σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας υψηλής περιεκτικότητας σε οξυγόνο | Αιθέριο έλαιο ρίγανης / νανογαλάκτωμα σε πηκτίνη/ ρεσβερατρόλη | Αποθήκευση στους 4°C για 15 ημέρες. Επιβράδυνση της οξειδωσης των λιπιδίων και των πρωτεϊνών, διατήρηση της τρυφερότητας του κρέατος. Σημαντική παράταση ζωής.  | Xiong et al., 2020 |
| Φρέσκιες φράουλες ( <i>Fragaria ananassa</i> cv Hongyan)                                  | Χιτοζάνη/ πολυφαινόλες από φλούδα μήλου                        | Αποθήκευση στους 20°C και υγρασία 35-50%. Μείωση της απώλειας βάρους και περιορισμός της αποσύνθεσης. Επιβράδυνση του ρυθμού γήρανσης και διατήρηση της ποιότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Έπαρκής συγκέντρωση πολυφαινολών: 0,50% | Riaz et al., 2020  |

#### 4.1 ΚΡΕΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΡΕΑΤΟΣ

Στη βιομηχανία κρέατος, η οργανοληπτική ποιότητα και η εμφάνιση (χρώμα, υφή και γεύση) είναι σημαντικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αποδοχή του κρέατος και των προϊόντων κρέατος από τους καταναλωτές. Η οξειδωση των λιπιδίων και της μυοσφαιρίνης και τα βακτήρια που αλλοιώνουν το κρέας συμβάλλουν σημαντικά στη μειωμένη διάρκεια ζωής για το κρέας/προϊόντα κρέατος. Η οξειδωση των λιπιδίων μειώνει τη θρεπτική αξία του κρέατος μέσω της αλλοίωσης των απαραίτητων λιπαρών οξέων, με αποτέλεσμα η γεύση να είναι μη αποδεκτή για τους καταναλωτές, δημιουργώντας δυνητικά τοξικά προϊόντα και προάγοντας την οξειδωση άλλων σημαντικών μορίων, όπως η μυοσφαιρίνη. Σημαντικά βακτήρια που σχετίζονται με την αλλοίωση του κρέατος είναι τα *Brochothrix thermosphacta*,

*Carnobacterium spp.*, *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillus spp.*, *Leuconostoc spp.*, *Pseudomonas spp.*, και *Shewanella putrefaciens*. Η αλλοίωση από βακτήρια στο κρέας προκαλεί δυσοσμία, αποχρωματισμό, παραγωγή αερίων, παραγωγή λάσπης και μείωση του pH, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες. Η ακατάλληλη σφαγή, χειρισμός και αποθήκευση μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση του κρέατος με παθογόνα, συμπεριλαμβανομένης της *Salmonella spp.* και *Listeria monocytogenes*, που προκαλούν τροφιμογενείς ασθένειες (Papuc et al., 2017).

Λόγω των αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων τους, οι εμπορικά διαθέσιμες πολυφαινόλες και φυτικά εκχυλίσματα πλούσια σε πολυφαινόλες μπορεί να είναι χρήσιμα για τη διατήρηση κρέατος/προϊόντων κρέατος από οξειδωτική φθορά, βακτηριακή αλλοίωση και ανάπτυξη παθογόνων παραγόντων. Την τελευταία δεκαετία, έχει αποδειχθεί ότι οι φυτικές πολυφαινόλες έχουν θετικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, μειώνουν τις οξειδωτικές διεργασίες, αναστέλλουν την ανάπτυξη πολλών παθογόνων, όπως ορισμένων βακτηρίων, ιών και μυκήτων (Papuc et al., 2017).

Οι Gammariello et al., (2017), σε μελέτη που πραγματοποίησαν, αξιολόγησαν την ικανότητα της επικάλυψη του αλγινικού νατρίου με ασκορβικό οξύ να παρατείνει τη διάρκεια ζωής ωμού χοιρινού κρέατος. Το χοιρινό κρέας είχε αρχικά τεμαχιστεί σε μικρά τεμάχια 2x2x2 cm. Έγινε εμφάπτιση των δειγμάτων ωμού κρέατος σε διάλυμα γαλακτικού νατρίου συγκέντρωσης 40% w/w. Δημιουργήθηκαν 3 ομάδες δειγμάτων όπου υποβλήθηκαν σε διαφορετικές επεξεργασίες: (α) δείγματα ελέγχου (β) κρέας με εδώδιμη μεμβράνη αλγινικού νατρίου (γ) κρέας με εδώδιμη μεμβράνη αλγινικού νατρίου που περιέχει ασκορβικό οξύ σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (500, 1000 και 1500 ppm). Όλα τα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για να παρασκευαστούν σουβλάκια καλαμάκια τα οποία στη συνέχεια συσκευάστηκαν σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (50% O<sub>2</sub>-30% CO<sub>2</sub>- 20% N<sub>2</sub>) και αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία 4 ± 2°C. Αναλύθηκαν τα οργανοληπτικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων κατά την 1<sup>η</sup>, 2<sup>η</sup>, 5<sup>η</sup>, 6<sup>η</sup>, 7<sup>η</sup>, 8<sup>η</sup>, 9<sup>η</sup> και 12<sup>η</sup> ημέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παρουσία ασκορβικού επιβράδυνε τον ρυθμό ανάπτυξης των μικροοργανισμών που προκαλούν αλλοίωση στο κρέας. Αυξήθηκε η διάρκεια ζωής των δειγμάτων και το κρέας

κατάφερε να διατηρήσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του αναλλοίωτα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Βέλτιστα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν σε συγκέντρωση ασκορβικού ίση με 1500 ppm, το οποίο διατηρήθηκε κατά 8,9 ημέρες, δηλαδή περίπου 60% περισσότερο από τα δείγματα ελέγχου (5,5 ημέρες) (Gammariello et al., 2017).

Επίσης, σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Xiong et al (2020), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση του αιθέριου έλαιου ρίγανης, της εδώδιμης επικάλυψης πηκτίνης και της ρεσβερατρόλης σε χοιρινό, στους 4°C για 15 ημέρες. Η προσθήκη ρεσβερατρόλης βοήθησε σημαντικά στη διατήρηση του κρέατος για μεγαλύτερο διάστημα. Η χρωματική αλλαγή, η οξείδωση των λιπιδίων και των πρωτεϊνών επιβραδύνθηκε σημαντικά, ενώ η μικροβιακή ανάπτυξη ελαχιστοποιήθηκε. Το κρέας διατήρησε την τρυφερότητά του (Xiong et al. 2020).

## 4.2 ΙΧΘΥΗΡΑ

Τα θαλασσινά τις τελευταίες δεκαετίες έχουν προσελκύσει την προσοχή των καταναλωτών ως σημαντική πηγή θρεπτικών συστατικών με σημαντικά οφέλη στη διατροφή και την ανθρώπινη υγεία. Η διατροφική σημασία της κατανάλωσης ιχθυηρών και ιχθυελαίων οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε απαραίτητα μακράς αλυσίδας ωμέγα-3 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFAs), όπως το εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) και το εικοσιδυαεξανοϊκό οξύ (DHA), τα οποία προστατεύουν από καρδιακές παθήσεις, καρκίνος, υπέρταση, ρευματοειδής αρθρίτιδα, κατάθλιψη, διαβήτη, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων για την υγεία (Barbosa-Pereira et al., 2013).

Ωστόσο, η υψηλή περιεκτικότητα σε PUFA στους μύς των ιχθυηρών, καθώς και η παρουσία σχετικών προοξειδωτικών ενώσεων, προάγουν την ανάπτυξη ενζυμικής και μη ενζυμικής τάγγισης που οδηγεί σε οργανοληπτικές, φυσικές και διατροφικές απώλειες ποιότητας στα τρόφιμα. Η οξείδωση των λιπιδίων είναι η κύρια αιτία αλλοίωσης των ιχθυηρών κατά την επεξεργασία και αποθήκευσή τους, αποτελώντας βασικό παράγοντα στη διάρκεια ζωής των τροφίμων. Ως συνέπεια αυτής της διαδικασίας φθοράς, σχηματίζονται υδροϋπεροξειδία (πρωτογενής οξείδωση) τα οποία είναι ασταθή και

αποσυντίθενται σχετικά γρήγορα σε ενώσεις μικρότερου μοριακού βάρους όπως αλδεΐδες, κετόνες, αλκοόλες, οξέα, εστέρες ή υδρογονάνθρακες (δευτερογενής οξείδωση). Αυτά τα δευτερογενή οξειδωτικά προϊόντα είναι υπεύθυνα για αλλαγές στο χρώμα, την υφή, την οσμή και τη γεύση στα τρόφιμα (Barbosa-Pereira et al., 2013).

Οι Barbosa-Pereira et al.(2013) πραγματοποίησαν έρευνα με σκοπό την ανάπτυξη ενεργών εδώδιμων μεμβρανών για ιχθυηρά. Επέλεξαν πέντε φυσικά προϊόντα με αντιοξειδωτικές ιδιότητες που περιέχουν τοκοφερόλες και δοκιμάστηκε η αντιοξειδωτική τους δράση in vitro με τη μέθοδο DPPH. Επιπλέον, αυτά τα αντιοξειδωτικά δοκιμάστηκαν επίσης απευθείας στους μύες σολομού *Salmo salar* (φέτες πάχους 1-1,5 cm, από τις οποίες αφαιρέθηκε το δέρμα και τα οστά) και προσδιορίστηκε η οξειδωτική τάγγιση με τη μέθοδο TBAR. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των μεμβρανών ήταν χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (low density polyethylene – LPDE). Δημιουργήθηκαν 11 μεμβράνες στις οποίες ενσωματώθηκαν τα επιλεγμένα αντιοξειδωτικά σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και εξετάστηκε η δράση τους στα ιχθυηρά. Τα αποτελέσματα έδειξαν τη μείωση της οξύτητας των λιπιδίων παρουσία των μεμβρανών που είχαν εμπλουτιστεί σε αντιοξειδωτικά και την παράταση του χρόνου αποθήκευσης ως και 70%. Αυτές οι μεμβράνες θα μπορούσαν, λοιπόν, να χρησιμοποιηθούν ως μελλοντικές ενεργές συσκευασίες από τη βιομηχανία τροφίμων για τη διατήρηση του σολομού ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής του (Barbosa-Pereira et al., 2013).

#### 4.3 ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

Οι Ozdemir & Gokmen, (2017) σε μελέτη που πραγματοποίησαν προσπάθησαν να αξιολογήσουν την επίδραση της εδώδιμης επικάλυψης χιτοζάνης εμπλουτισμένης με ασκορβικό οξύ στην διάρκεια ζωής των σπερμάτων (σπόρων) ροδιού (pomegranate arils). Οι σπόροι ροδιού επικαλύφθηκαν με χιτοζάνη εμπλουτισμένη με ασκορβικό σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και αποθηκεύθηκαν στους  $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$  για 28 ημέρες. Παρατηρήθηκε ότι η περιεκτικότητα των ανθοκυανινών, των οργανικών οξέων και των σακχάρων διατηρήθηκε σταθερή σε όλα τα δείγματα. Η αύξηση της



συγκέντρωσης του ασκορβικού οξέος συσχετίστηκε θετικά με τη διατήρηση του χρώματος των σπόρων ροδιών και την αναστολή της ανάπτυξης βακτηρίων και μυκήτων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με οργανοληπτικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, το προϊόν θεωρήθηκε κατάλληλο για κατανάλωση ως και μετά από 25 ημέρες αποθήκευσης (Ozdemir & Gokmen, 2017).

Οι Riaz et al. (2020) πραγματοποίησαν έρευνα με σκοπό να διερευνήσουν αν οι εδώδιμες μεμβράνες εμπλουτισμένες με πολυφαινόλες από φλοιό μήλου μπορούν να συμβάλλουν στην παράταση της διάρκειας ζωής φρέσκιας φράουλας. Ο φλοιός μήλου ως πηγή πολυφαινολών επιλέχθηκε γιατί περιέχει διυδροχαλκόνες, φλαβανόλες, φλαβον-3-όλες, φαινολικά οξέα, ανθοκυανιδίνες και προκυανιδίνες. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές συγκεντρώσεις πολυφαινολών (0,25%, 0,50%, 0,75% και 1,00%) και η αποθήκευση έγινε σε θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία (RH) 35-40%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η συγκέντρωση των 0,50 g/ml, προκάλεσε επιβράδυνση της γήρανσης ενώ διατηρήθηκε η ποιότητα των φραουλών (Riaz et al., 2020).

Μία σχετικά νέα τεχνική στο τομέα των εδώδιμων μεμβρανών περιλαμβάνει την ενσωμάτωση ενεργών συστατικών, ανάμεσά τους και αντιοξειδωτικές ουσίες, με τη βοήθεια της νανοτεχνολογίας. Τα αντιοξειδωτικά εγκλωβίζονται σε νανοκάψουλες, ενσωματώνονται στο δίκτυο που σχηματίζουν τα μόρια της εδώδιμης μεμβράνης και απελευθερώνονται ελεγχόμενα. Η μεθοδολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή ειδικά στη συντήρηση φρέσκων φρούτων. Οι Zambrano-Zaragoza et al. (2017) εφάρμοσαν σε φρεσκοκομμένα σφαιρικά τεμάχια πεπονιού (*Cucumis melo* var. cantaloupe) εδώδιμη μεμβράνη από κόμμι ξανθάνης (πολυσακχαρίτης) την οποία είχαν εμπλουτίσει με νανοκάψουλες β-καροτένιου. Τα επικαλυμμένα τεμάχια πεπονιού αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία  $4 \pm 1^\circ\text{C}$  και 85% υγρασία για 21 ημέρες. Παρατηρήθηκε ότι κατά τις πρώτες 9 ημέρες υπήρξε σταδιακή απελευθέρωση β-καροτένιου στο πεπόνι και στη συνέχεια ακολούθησε σταδιακή μείωση της περιεκτικότητας του β-καροτένιου. Στο τέλος των 21 ημερών, το πεπόνι είχε διατηρήσει την ποιότητα του και τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά όπως τη σφριγηλότητα και το χρώμα του (Zambrano-Zaragoza et al., 2017).

#### 4.4 ΛΟΙΠΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

Οι Zhang et al. (2020) αξιολόγησαν την αντιοξειδωτική ικανότητα ορισμένων εδώδιμων μεμβρανών χιτοζάνης/zein, εμπλουτισμένων με α-τοκοφερόλη σε λευκό μανιτάρι (*Agaricus bisporus*). Παρασκευάστηκαν τέσσερα δείγματα μανιταριών που συσκευάστηκαν με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Ένα δείγμα λειτούργησε ως μάρτυρας και έμεινε χωρίς συσκευασία. Στο δεύτερο δείγμα εφαρμόστηκε εδώδιμη μεμβράνη χιτοζάνης, στο τρίτο χιτοζάνης / zein και στο τέταρτο χιτοζάνης / zein / α-τοκοφερόλης. Μελετήθηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες και η ενζυμική αμαύρωση στα μανιτάρια, κατά την αποθήκευση του στους 4°C για 12 ημέρες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το δείγμα με εδώδιμη μεμβράνη χιτοζάνης / zein / α-τοκοφερόλης εμφάνισε συγκριτικά τις βέλτιστες αντιοξειδωτικές ιδιότητες (λιγότερη εκτεταμένη αμαύρωση, μικρότερη δραστικότητα ενζύμων), ενώ διατηρήθηκε η ποιότητα του μανιταριού (χρώμα και σφριγηλότητα) (Zhang et al., 2020).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι εδώδιμες μεμβράνες έχουν κινήσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. Αυξάνουν τη διάρκεια ζωής ενός τροφίμου στο ράφι, με ελάχιστη ταλαιπωρία για το τρόφιμο.

Στην τεχνολογία εμποδίων, οι εδώδιμες μεμβράνες συνδυάζονται αποτελεσματικά με άλλες μεθόδους. Σύμφωνα με έρευνες, συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης των μικροβίων και παράταση της διάρκειας ζωής διαφόρων τροφίμων όπως φρούτα (πεπόνι, μήλα, ροδάκινα), ντομάτες, ψάρια (τσιπούρες, χέλια).

Οι πρώτες ύλες για τις εδώδιμες μεμβράνες ενδέχεται να ανήκουν στην κατηγορία των πολυσακχαριτών, των πρωτεϊνών και των λιπιδίων. Οι εδώδιμες μεμβράνες παρασκευασμένες από πολυσακχαρίτες ή πρωτεΐνες δεν έχουν καλή διαπερατότητα στους υδρατμούς, ενώ τα λιπίδια οδηγούν σε άκαμπτες και αδιαφανείς μεμβράνες. Συχνά, για τη βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των εδώδιμων μεμβρανών, μπορούν να συνδυαστούν πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και λιπίδια, αλλά και εμπλουτίζονται με φυσικά αντιοξειδωτικά, όπως είναι οι πολυφαινόλες, οι τοκοφερόλες, η βιταμίνη C. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά έχει αποδειχθεί από έρευνες ότι μπορούν να ενισχύσουν τη διατηρησιμότητα του τροφίμου, καθώς επιβραδύνουν των μικροοργανισμών, μειώνουν τη δράση των ενζύμων, αποτρέπουν την οξειδωτική τάγγιση και αμαύρωση. Με τον τρόπο αυτό, το τρόφιμο διατηρεί τα ποιοτικά και οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά αποδεκτά από τον καταναλωτή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Μελλοντικά, θα πρέπει να συνεχιστεί η έρευνα για την παραγωγή εδώδιμων μεμβρανών εμπλουτισμένα με αντιοξειδωτικά. Είναι χρήσιμο να διερευνηθεί και να βελτιστοποιηθεί η πρακτική εφαρμογή τους σε τρόφιμα ευρείας κατανάλωσης. Η αύξηση της διατηρησιμότητας των τροφίμων επιτρέπει τη μεταφορά και τη διάθεσή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις και για περισσότερο χρόνο. Τέλος, κάθε εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών σε τρόφιμα πρέπει να εξετάζεται η αποδοχή του καταναλωτικού κοινού, καθώς και η ασφάλεια και η ποιότητα του τελικού προϊόντος.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Alexandre, S, Vital, A.C.P., Mottin, C., Do Prado, R.M., Ornaghi, M.G., Ramos, T.R., Guerrero, A., Pilau, E.J., Do Prado, I.N. (2020). Use of alginate edible coating and basil (*Ocimum spp*) extracts on beef characteristics during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3835-3843. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04844-1>
2. Alonso, S., Rendueles, M., & Díaz, M. (2013). Bio-production of lactobionic acid: Current status, applications and future prospects. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1275–1291. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.04.010>
3. Anena-Bustillos, R.J., Chiou, B., Olsen, C.W., Bechtel, P.J., Olson, D.A., McHugh, T.H. (2011). Gelation, Oxygen Permeability, and Mechanical Properties of Mammalian and Fish Gelatin Films. *Journal of Food Science*, 76 (7), E519-E524. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02312.x>
4. Barbosa-Pereira, L., Cruz, J.M., Sendon, R., De Quiros, A.R.B., Ares A., Castro-Lopez, m., Abad, M., Maroto, J., Paseiro-Losada, P. (2013). Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. *Food Control*, 31 (): 236-243. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.036>
5. Bilal Hassan, Shahzad Ali Shahid Chatha, Abdullah Ijaz Hussain, Khalid Mahmood Zia, Naseem Akhtar (2018).Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>
6. Britton, G. (2020). Carotenoid research: History and new perspectives for chemistry in biological systems. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865 (11), 158699. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158699>
7. Caner, C, Vergano, P.J., Wiles, J.L. (1998). Chitosan Film Mechanical and Permeation Properties as Affected by Acid, Plasticizer, and Storage. *Journal of Food Science*, 63 (6), 1049-1053. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1998.tb15852.x>

8. Cardoso, T., Marques, C., Dagostin, J. L. A., & Masson, M. L. (2019). Lactobionic Acid as a Potential Food Ingredient: Recent Studies and Applications. *Journal of Food Science*, *84*, 1672–1681. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14686>
9. Choulitoudi, E., Bravou, K., Bimpilas, A., Tsironi, T., Tsimogiannis, D., Taoukis, P., Oreopoulou, V. (2016). Antimicrobial and antioxidant activity of *Satureja thymbra* in gilthead seabream fillets edible coating. *Food and Bioproducts Processing*, *100* (B), 570-577. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.013>
10. Choulitoudi, E., Ganiari, S., Tsironi, T., Ntzimani, A., Tsimogiannis, D., Taoukis, P., Oreopoulou, V. (2017). Edible coating enriched with rosemary extracts to enhance oxidative and microbial stability of smoked eel fillets. *Food Packaging and Shelf Life*, *12*, 107-113. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.009>
11. Coffin, D.R. and Fishman, M.L. (1994). Physical and mechanical properties of highly plasticized pectin/starch films. *Journal of Applied Polymer*, *54* (9), 1311-1320. <https://doi.org/10.1002/app.1994.070540913>
12. Daniloski, D., Petkoska, A. T., Lee, N. A., Bekhit, A. E.-D., Carne, A., Vaskoska, R., & Vasiljevic, T. (2021). Active edible packaging based on milk proteins: A route to carry and deliver nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology*, *111*, 688–705. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.024>
13. Das, S.K., Vishakha, K., Das, S., Chakraborty, D., Ganguli, A. (2022). Carboxymethyl cellulose and cardamom oil in a nanoemulsion edible coating inhibit the growth of foodborne pathogens and extend the shelf life of tomatoes. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *42*, 102369. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102369>
14. Enujiugha, V. N., & Oyinloye, A. M. (2019). Protein-lipid interactions and the formation of edible films and coatings. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 478–482. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21477-7>
15. Gammariello, D., Incoronato, A.L., Conte, A., Del Nobile, M.A. (2016). Effect of sodium alginate coating with ascorbic acid on shelf life of raw pork meat. *Journal of Food Technology Research*, *3* (1), 1-11. <https://doi.org/10.18488/journal.58/2016.3.1/58.1.1.11>

16. Garcia, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2006). Lipid Addition to Improve Barrier Properties of Edible Starch-Based Films and Coatings, *Journal of Food Science*, 65 (6), 941-944. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb09397.x>
17. Gedikoglu, A. (2022). The effect of Thymus vulgaris and Thymbra spicata essential oils and/or extracts in pectin edible coating on the preservation of sliced bolognas. *Meat Science*, 184, 198698. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108697>
18. Ghanbarzadeh, B, Oromiehie, A.R., Musavi, M., Falcone, P.M., D-Jomeh, Z.E., Rad, E.R. (2007). Study of mechanical properties, oxygen permeability and AFM topography of zein films plasticize by polyols. *Packaging Technology and Science*, 20 (3), 155-163. <https://doi.org/10.1002/pts.750>
19. Ghasemlou, M., Aliheidari, N., Fakmi, R., Shojaea-Aliabadi, S., Keshavarz, B., Cran, M.J., Khaksar, R. (2013). Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate Polymers*, 98 (1), 1117 – 1126. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.026>
20. Ghaouth, A.E., Ponnampalam, R., Castaigne, F., Arul, J. (1992). Chitosan Coating to Extend the Storage Life of Tomatoes. *Horticultural Science (HORTSCI)*, 27 (9), 1016-1018. [https://www.researchgate.net/publication/232041722\\_Chitosan\\_Coating\\_to\\_Extend\\_the\\_Storage\\_Life\\_of\\_Tomatoes](https://www.researchgate.net/publication/232041722_Chitosan_Coating_to_Extend_the_Storage_Life_of_Tomatoes)
21. Giannakourou, M.C. & Tsironi, T.N. (2021). Application of Processing and Packaging Hurdles for Fresh-Cut Fruits and Vegetables Preservation. *Foods*, 10 (4), 830. <https://doi.org/10.3390/foods10040830>
22. Kandasamy, S., Yoo, J., Yun, J., Kang, H.-B., Seol, K.-H., Kim, H.-W., Ham, J.-S. (2021). Application of Whey Protein-Based Edible Films and Coatings in Food Industries: An Updated Overview. *Coatings*, 11 (9), 1056. <https://doi.org/10.3390/coatings11091056>
23. Khan, I., Tango, C. N., Miskeen, S., Lee, B. H., & Oh, D.-H. (2017). Hurdle technology: A novel approach for Enhanced Food Quality and safety – A Review. *Food Control*, 73, 1426–1444. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.010>

24. Kim, S.J & Ustunol, Z. (2001). Solubility and moisture sorption isotherms of whey-protein-based edible films as influenced by lipid and plasticizer incorporation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (9): 4388-4391. <https://doi.org/10.1021/jf010122q>
25. Koh, P.C., Noranizan, M.A., Karim, R., Hanani, Z.A.N., Lasik-Kurdys, M. (2018). Combination of alginate coating and repetitive pulsed light for shelf life extension of fresh-cut cantaloupe (*Cucumis melo L reticulatus* cv. Glamour). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42 (1), e13786. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7723>
26. Kumar, P., Sethi, S., Sharma, R.R., Singh, S., Varghese, E. (2018). Improving the shelf life of fresh-cut “Royal Delicious” apple with edible coatings and anti – browning agents. *Journal of Food science and Technology*, 55 (9), 3767-3778. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3308-6>
27. Mileriene, J., Serniene, L., Henriques, M., Gomes, D., Pereira, C., Kondrotiene, K., Kasetiene, N., Lauciene, L., Sekmokiene, D., Malakauskas M. (2021). Effect of liquid whey protein concentrate-based edible coating enriched with cinnamon carbon dioxide extract on the quality and shelf life of Eastern European curd cheese. *Journal of Dairy Science*, 104 (2), 1504 -1517. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18732>
28. Moreira, M.R., Alvarez, M.V., Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2016). Effects of pulsed light treatments and pectin edible coatings on the quality of fresh cut apples: a hurdle technology approach. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (1): 261-268. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7723>
29. Mukhopadhyay, S. & Gorris, L.G.M. (2014). Hurdle Technology. *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second Edition): 221-227. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00166-X>
30. Murmu, S.B. & Mishra, H.N. (2017). Optimization of the Arabic gum based edible coating formulations with sodium caseinate and tulsi extract for guava. *LWT*, 80, 271-279. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.018>
31. OSHA. (2015). Occupational safety & health administration (Accessed 15 October 2015) <https://www.osha.gov/SLTC/foodbornedisease/>

32. Ozdemir, K.S & Gokmen, V. (2017). Extending the shelf-life of pomegranate arils with chitosan-ascorbic acid coating. *LWT- Food Science and Technology*, 76 (A), 172-180. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.057>
33. Papuc, C., Goran, G.V., Predescu, C.N., Nicorescu, V., Stefan, G. (2017). Plant Polyphenols as Antioxidant and Antibacterial Agents for Shelf-Life Extension of Meat and Meat Products: Classification, Structures, Sources and Action Mechanisms. *Comprehensive Reviews in Food Safety*, 16 (6), 1243-1268. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12298>
34. Pehlivan, F.E. (2016). Chapter 2 - Vitamin C: An Antioxidant Agent. In: Hamza, A.H. (editor). *Vitamin C*, 23-34. 10.5772/intecopen.69660
35. Patel, A. R., & Velikov, K. P. (2014). Zein as a source of functional colloidal nano- and microstructures. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 19, 450–458. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2014.08.001>
36. Peresin, M.S., Kammiovitra, K., Heikkinen, H., Johansson, L.-S., Vartiainen, J., Setälä, H., Osterberg, M., Tammelin, T. (2017). Understanding the mechanisms of oxygen diffusion through surface functionalized nanocellulose films. *Carbohydrate Polymers*, 175, 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.066>
37. Poljsak, B., Jamnik, P., Raspor, P., Pesti, M. (2019). Oxidation - Antioxidation – Reduction Processes in the Cell: Impacts of Environmental Pollution. In: *Encyclopedia of Environmental Health* (2<sup>nd</sup> edition), 831-837. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11733-6>
38. Quadros, C.C, Lima, K.O., Bueno, C.H.L., Fogaca, F.H.S., Prentice, C. (2020). Effect of the edible coating with protein hydrolysate on cherry tomatoes shelf life. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (10). e14760. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14760>
39. Rangaraj, V.M., Rambabu, K. Banat, F., Mittal, V. (2021). Natural antioxidants-based edible active food packaging: An overview of current advancements. *Food Bioscience*, 43 (1), 101251. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101251>
40. Rhim, J.W. & Shellhammer, T.H. (2005). 21-Lipid based edible films and coatings. In book: *Innovations in Food Packaging*: 362-380. <https://doi.org/10.1016/B978-012311632-1/50053-X>



41. Riaz, A., Aadil, R.M., Amoussa, A.M.O., Bashari, M., Abid, M., Hashim, M.M. (2020). Application of chitosan-based apple peel polyphenols edible coating on the preservation of strawberry (*Fragaria ananassa* cv Hongyan) fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45 (1), e15018. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15018>
42. Ruiz-Martinez, J., Aguirre-Joya, J., Rojas, R., Vicente, A., Aguilar-Gonzalez, M.A., Rodriguez-Herrera, R., Alvarez-Perez, O., Torres-Leon, C., Aguilar, C.N. (2020). Candelilla Wax Edible Coating with *Flourensia cernua* Bioactives to Prolong the Quality of Tomato Fruits, *Foods*, 9 (9), 1303. <https://doi.org/10.3390%2Ffoods9091303>
43. Sahraee, S., Milani, J.M., Regenstein, J.M., Kafil, H.S. (2019). Protection of foods against oxidative deterioration using edible films and coatings: A review. *Food Bioscience*, 32, 10451. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100451>
44. Sáez-Orviz, S., Marcet, I., Rendueles, M., & Díaz, M. (2021). Bioactive packaging based on delipidated egg yolk protein edible films with lactobionic acid and *Lactobacillus plantarum* CECT 9567: Characterization and use as coating in a food model. *Food Hydrocolloids*, 119, 106849. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106849>
45. Salah A.A. Mohamed, Mohamed El-Shakhawy, Mohamed Abdel-Monem Shakhawy (2020). Polysaccharides, Protein, Lipid-based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. *Carbohydrate Polymers*, 238 (), 116178. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>
46. Sortino, G., Saletta, F., Puccio, S., Scuderi, D., Allegra, A., Inglese, P., Farina, V. (2020). Extending the Shelf Life of White Peach Fruit with 1-Methylcyclopropene and *Aloe arborescens* Edible Coating. *Agriculture*, 10 (5), 151. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050151>
47. Tahir, H.E., Xiaobo, Z., Mahunu, G.K., Jiyong, S., Zhai, X., Mariod, A.A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of cold-stored strawberry fruit as affected by gum Arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42 (3), e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
48. Thawatchai Phaechamund, Jongjan Mahadlek, Tiraniti Chuenbarn (2016). *In situ* forming gel comprising bleached shellac loaded with antimicrobial

- drugs for periodontitis treatment, 89, 294-303.  
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.138>
- 49.** Tomasula., P.M., Yee, W.C., Parris, N. (2003). Oxygen permeability of films made from CO<sub>2</sub>-precipitated casein and modified casein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (3), 634-639.  
<https://doi.org/10.1021/jf020552w>
- 50.** Tressera-Rimbau, A., Lamuela-Raventos, R.M., Moreno, J.J. (2018). Polyphenols, food and pharma. Current knowledge and directions for future research. *Biochemical Pharmacology*, 156, 186-195.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcp.2018.07.050>
- 51.** Tsai, M.-J., & Weng, Y.-M. (2019). Novel edible composite films fabricated with whey protein isolate and zein: Preparation and physicochemical property evaluation. *LWT*, 101, 567–574.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.068>
- 52.** Tsironi, T., Houhoula, D., Taoukis, P. (2020). Hurdle technology for fish preservation. *Aquaculture and Fisheries*, 5 (2), 65-71.  
<https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.02.001>
- 53.** Woodward, K.A., Draijer, R., Thijssen, D.H.J., Low, D.A. (2018). Polyphenols and Microvascular Function in Humans: A Systematic Review. *Current Pharmaceutical Design*, 24, 203-226.  
<http://dx.doi.org/10.2174/1381612823666171109103939>
- 54.** Xiao, Q., Lu, k., Tong, Q., Liu, C. (2014). Barrier Properties and Microstructure of Pullulan – Alginate-Based Films. *Journal of Food Process Engineering*, 38 (2), 155-161. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12151>
- 55.** Xiong, Y., Chen, M., Warner, R.D., Fang, Z. (2020). Incorporating nisin and grape seed extract in chitosan-gelatine edible coating and its effect on cold storage of fresh pork. *Food Control*, 110, 107018.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107018>
- 56.** Xiong, Y., Li, S., Warner, R.D., Fang, Z. (2020). Effect of oregano essential oil and resveratrol nanoemulsion loaded pectin edible coating on the preservation of pork loin in modified atmosphere packaging. *Food Control*, 114, 107226. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107226>
- 57.** Zambrano-Zaragoza, M.L., Quintanar-Guerrero, D., Real, A.D., Pinon-Segundo, E., Zambrano-Zaragoza, J.F. (2017). The release kinetics of  $\beta$ -

carotene nanocapsules/xanthan gum coating and quality changes in fresh-cut melon (cantaloupe). *Carbohydrate Polymers*, 157, 1874-1882. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.075>

58. Zhang, L., Liu, Z., Sun, Y., Wang, X., Li, L. (2020). Combined antioxidant and sensory effects of active chitosan/zein film containing  $\alpha$ -tocopherol on *Agaricus bisporus*. In: *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100470>