



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΡΟΦΙΜΑ, ΔΙΑΤΡΟΦΗ & ΥΓΕΙΑ
(FOOD, NUTRITION & HEALTH)**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση εκχυλίσματος μελιτζάνας πλουσίου σε ανθοκυάνες
στις ιδιότητες εδώδιμων μεμβρανών από πολυσακχαρίτες



Αικατερίνη Μαρίνα Ι. Παπαγεωργίου

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ
2024**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ & ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση εκχυλίσματος μελιτζάνας πλουσίου σε ανθοκυάνες
στις ιδιότητες εδώδιμων μεμβρανών από πολυσακχαρίτες

«Effect of anthocyanin-rich eggplant extract on the properties
of edible polysaccharide films»

Αικατερίνη Μαρίνα Ι. Παπαγεωργίου

Εξεταστική επιτροπή:

Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Γαρδέλη Χρυσαιγή, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Τσιρώνη Θεοφανία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Επίδραση εκχυλίσματος μελιτζάνας πλουσίου σε ανθοκυάνες στις ιδιότητες εδώδιμων μεμβρανών από πολυσακχαρίτες

*ΠΜΣ Τρόφιμα, Διατροφή & Υγεία
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Χημείας & Ανάλυσης Τροφίμων*

Περίληψη

Οι εδώδιμες μεμβράνες χρησιμοποιούνται ήδη από τη βιομηχανία τροφίμων ως καινοτόμες και φιλικές προς το περιβάλλον εναλλακτικές. Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στην παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών από αραβικό κόμμα (GA) και πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP), εμπλουτισμένες με ανθοκυάνες από μελιτζάνες, με σκοπό την ενίσχυση της αντιοξειδωτικής τους δράσης και τη χρήση τους σε έξυπνες και ενεργές συσκευασίες. Οι μεμβράνες εξετάστηκαν ως προς τις ιδιότητές τους και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το αραβικό κόμμα αυξάνει το βάρος και το πάχος των μεμβρανών, ενώ η πυκνότητα και η υγρασία δεν επηρεάστηκαν από το είδος του βιοπολυμερούς. Οι μεμβράνες στην πλειοψηφία τους έδειξαν να διατηρούν τον ελαστικό τους χαρακτήρα κατά τη θέρμανση ενώ η θολερότητά τους εμφάνισε διακύμανση ανάμεσα στα δείγματα, με το αραβικό κόμμα να έχει την μεγαλύτερη. Επίσης, οι μεμβράνες δεν παρουσίασαν ιδιαίτερη ευαισθησία στο pH (απουσία αλλαγής χρώματος σε διαφορετικά ρυθμιστικά διαλύματα) και θα χρειαστούν περισσότερες μελέτες, ώστε να εφαρμοστούν σε έξυπνες συσκευασίες παρακολούθησης της αλλοίωσης τροφίμων. Ωστόσο, όλες οι μεμβράνες είχαν αυξημένη αντιοξειδωτική ικανότητα και η ενσωμάτωσή τους σε ενεργές συσκευασίες τροφίμων μπορεί να συμβάλλει στην παρεμπόδιση της οξείδωσης των προϊόντων και την παράταση της διάρκειας ζωής τους.

Επιστημονική περιοχή: Χημεία τροφίμων

Λέξεις κλειδιά: Εδώδιμες μεμβράνες, ανθοκυάνες, πολυσακχαρίτες

Effect of anthocyanin-rich eggplant extract on the properties of edible polysaccharide films

MSc Food, Nutrition & Health

Department of Food Science & Human Nutrition

Laboratory of Food Chemistry & Analysis

Abstract

Nowadays, the food industry is already using edible films as an innovative and environment friendly alternative. The present research focuses on the development of edible films by mixing gum arabic (GA) and/or high methoxy pectin (HMP), with anthocyanin-rich eggplant extract, in order to increase the films' antioxidant activity and ability to be used in intelligent and active food packaging. The films were tested for their properties and the results showed that GA increased the weight and thickness of the films, while the density and moisture content were not affected by the type of biopolymer. The elastic behavior of the films was retained upon heating, whereas their opacity levels displayed variation between samples, with GA demonstrating the highest level of opacity. Moreover, the films were not pH-sensitive (no color change in different buffers) and current findings do not support their application in smart packaging to monitor food spoilage. However, the antioxidant ability of films was enhanced by the anthocyanin-rich extract and their integration into active food packaging can contribute to preventing oxidation of products and extending their shelf life.

Scientific area: Food chemistry

Keywords: Edible films, anthocyanins, polysaccharides

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα της παρούσας διπλωματικής κ. Ευαγγελίου Βασιλική, για την άψογη συνεργασία, βοήθεια και υποστήριξη, καθώς και τις καθηγήτριες Γαρδέλη Χρυσαιγή και Τσιρώνη Θεοφανία που βρίσκονται στην εξεταστική επιτροπή της διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στη φίλη και συνάδελφο Μαριλένα, με την οποία συνεργαστήκαμε άψογα καθόλη τη διάρκεια του πειράματός μας και φυσικά στον αδερφό μου, Γιώργο για την απεριόριστη αγάπη και υποστήριξη.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα.....	6
Ευρετήριο Πινάκων & Γραφημάτων.....	7
I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	8
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Βιοπολυμερή.....	8
1.1. Εισαγωγή στα Πολυμερή.....	8
1.2. Βιοπολυμερή (ή Υδροκολλοειδή).....	10
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φαινολικό περιεχόμενο	20
2.1. Πολυφαινόλες και συνολικό φαινολικό περιεχόμενο.....	20
2.2. Φαινολικές και Αντιοξειδωτικές ενώσεις στην μελιτζάνα.....	22
2.3. Μέθοδοι προσδιορισμού φαινολικών και αντιοξειδωτικών συστατικών...	24
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εδώδιμες μεμβράνες.....	26
3.1. Σύσταση	26
3.2. Ιδιότητες.....	27
3.3. Μέθοδοι παρασκευής.....	29
3.4. Εφαρμογές στα τρόφιμα.....	31
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	33
1. Σκοπός.....	33
2. Αντιδραστήρια, όργανα και σκεύη	33
2.1. Αντιδραστήρια.....	33
2.2. Όργανα και σκεύη	34
3. Εκτέλεση προσδιορισμών.....	35
3.1. Παραλαβή ανθοκυανών και παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών	35
3.2 Μελέτη εκχυλίσματος και χαρακτηρισμός εδώδιμων μεμβρανών.....	37
4. Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	41
4.1. Μελέτη εκχυλίσματος.....	41
4.2. Μελέτη μεμβρανών	43
4.2.1. Βάρος	43
4.2.2. Πάχος	44

4.2.3.	Πυκνότητα.....	45
4.2.4.	Υγρασία.....	45
4.2.5.	Χρώμα.....	46
4.2.6.	Θολερότητα.....	48
4.2.7.	Ευαισθησία μεμβρανών στο pH.....	49
4.2.8.	Αντιοξειδωτική ικανότητα.....	50
4.2.9.	Δυναμική μηχανική ανάλυση.....	51
5.	Συμπεράσματα.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		55

Ευρετήριο Πινάκων & Γραφημάτων:

Πίνακας 1 - Πήξη πηκτινών ανάλογα με το βαθμό εστεροποίησης.....	15
Πίνακας 2 - Θρεπτική αξία ακατέργαστης μελιτζάνας.....	22
Πίνακας 3 - Αναλυτική σύσταση μεμβρανών.....	43
Πίνακας 4 - Βάρος μεμβρανών.....	43
Πίνακας 5 - Πάχος μεμβρανών.....	44
Πίνακας 6 - Πυκνότητα μεμβρανών.....	45
Πίνακας 7 - Ποσοστό υγρασίας μεμβρανών.....	45
Πίνακας 8 - Χρώμα μεμβρανών.....	47
Πίνακας 9 - Θολερότητα μεμβρανών.....	48
Πίνακας 10 - Αντιοξειδωτική ικανότητα μεμβρανών.....	50
Γράφημα 1 - Φάσμα διαλυμάτων σε pH 2, 4, 6, 8, 10 και 12.....	41
Γράφημα 2 - Καμπύλη συντελεστή αποθήκευσης (E') συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	51
Γράφημα 3 - Καμπύλη συντελεστή απόσβεσης (tanδ) συναρτήσει της θερμοκρασίας.....	52

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Βιοπολυμερή

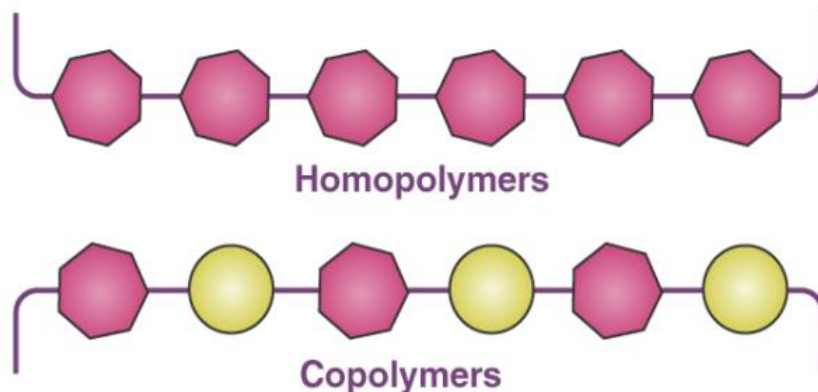
1.1. Εισαγωγή στα Πολυμερή

Ως πολυμερή χαρακτηρίζονται τα μακρομόρια (μόρια με μεγάλο μοριακό βάρος), που αποτελούνται από πολλά μονομερή (μικρές και επαναλαμβανόμενες μονάδες) συνδεδεμένα μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Τα μόρια με μικρό αριθμό επαναλαμβανόμενων μονάδων (λιγότερες από 20) ονομάζονται ολιγομερή (MacGregor, 2003).

Ταξινομούνται βάσει του είδους των δομικών μονάδων, της αρχιτεκτονικής της αλυσίδας και την προέλευση. Πιο συγκεκριμένα:

1) Ταξινόμηση βάσει του είδους των δομικών μονάδων (Εικόνα 1):

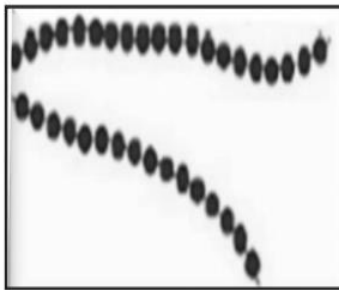
- ♦ **Ομοπολυμερή (homopolymers):** Σχηματίζονται από ένα και μόνο είδος μονομερούς.
- ♦ **Συμπολυμερή (copolymers):** Σχηματίζονται από δύο ή περισσότερα διαφορετικοί είδη μονομερών, συνδεδεμένα στην ίδια πολυμερική αλυσίδα.



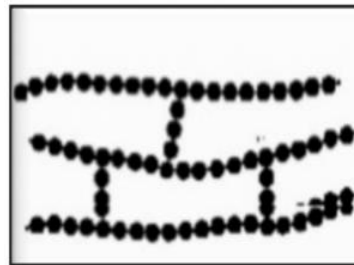
Εικόνα 1 - Ομοπολυμερή και Συμπολυμερή (πηγή: Google)

2) Ταξινόμηση βάσει της αρχιτεκτονικής της πολυμερικής αλυσίδας (Bhatt, et al., 2022):

- ♦ **Γραμμικά πολυμερή (linear):** Οι επαναλαμβανόμενες μονάδες ενώνονται μεταξύ τους από άκρη σε άκρη σε μια απλή, ενιαία αλυσίδα.
- ♦ **Διασταυρούμενα πολυμερή (crosslinked):** Οι γειτονικές πολυμερείς αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους με διασταυρούμενες συνδέσεις, σε μια τρισδιάστατη δομή δικτύου.
- ♦ **Διακλαδισμένα πολυμερή (branched):** Έχουν πλευρικές αλυσίδες ή κλάδους που αναπτύσσονται έξω από την κύρια αλυσίδα.



Linear polymers



Cross-linked chain polymers



Branched chain polymers

Εικόνα 2 - Ταξινόμηση πολυμερών βάσει αρχιτεκτονικής της πολυμερικής αλυσίδας

(πηγή: Google)

3) Ταξινόμηση με βάση την προέλευση (Bhatt, et al., 2022):

- ♦ **Φυσικά πολυμερή:** Προέρχονται κατευθείαν από τη φύση (μετάξι, μαλλί)
- ♦ **Συνθετικά πολυμερή:** Τεχνητά πολυμερή που παραλαμβάνονται στο εργαστήριο με πολυμερισμό χημικών μορίων (πολυαιθυλένιο PE, πολυστυρένιο PS).

Ο βαθμός πολυμερισμού DP (degree of polymerization) αναφέρεται στον αριθμό των μονάδων μονομερούς που συνδέονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα πολυμερές. Αντιπροσωπεύει το μήκος της αλυσίδας του πολυμερούς και είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του πολυμερούς.

Υπολογίζεται ως ο λόγος του μοριακού βάρους ενός πολυμερούς προς το μοριακό βάρος της επαναλαμβανόμενης μονάδας:

$$DP = \frac{M_W}{M_0}$$

όπου M_W είναι το μέσο μοριακό βάρος του πολυμερούς και M_0 το μοριακό βάρος της επαναλαμβανόμενης μονάδας ή μονομερούς. Ο βαθμός πολυμερισμού παίζει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων καθώς και της λειτουργικότητας των πολυμερών (MacGregor, 2003).

1.2. Βιοπολυμερή (ή Υδροκολλοειδή)

Τα βιοπολυμερή είναι πολυμερή (αλυσίδες μακρομορίων) που προέρχονται από φυσικές πηγές (π.χ.: σπόροι, κυτταρικά τοιχώματα, φύκια, ζώα, μικροοργανισμοί) και η βιοσύνθεσή τους γίνεται αποκλειστικά από ζωντανούς οργανισμούς. Μερικές από τις λειτουργίες που έχουν τα βιοπολυμερή στους οργανισμούς είναι η κατακράτηση υγρών, η επιδιόρθωση πληγών, η αποθήκευση ενέργειας και η δημιουργία στερεών δομών. Όσον αφορά στα τρόφιμα, τα βιοπολυμερή τους προσδίδουν ενυδάτωση, ιξώδες, ικανότητα σχηματισμού πηκτών, γαλακτωμάτων και αφρών (Ευαγγελίου, 2020). Έτσι, τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία τροφίμων έχει στρέψει το ενδιαφέρον της στα βιοπολυμερή. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο υλικά με βάση τα βιοπολυμερή επειδή αποτελούν φιλικές προς το περιβάλλον, βιοδιασπώμενες, θερμοανθεκτικές και μη τοξικές εναλλακτικές λύσεις έναντι των πλαστικών. Επίσης, τα υλικά συσκευασίας με βάση τα βιοπολυμερή βοηθούν στη διατήρηση της ποιότητας και στην παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων και όταν αναμιγνύονται με άλλα βιοπολυμερή παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές και μικροβιακές ιδιότητες. Παραδείγματα βιοπολυμερών που χρησιμοποιούνται σε συσκευασίες τροφίμων είναι το άμυλο, η χιτοζάνη, η κυτταρίνη και η ζελατίνη (Khalid, et al., 2022).

1.2.1 Ιξώδες Διαλυμάτων Βιοπολυμερών και Πηκτές Βιοπολυμερών

Το ιξώδες (ή εσωτερικό ιξώδες), δηλαδή το μέτρο του όγκου που καταλαμβάνει κάθε απομονωμένο μόριο, συμβάλλει στην κατανόηση της συμπεριφοράς των διαλυμάτων βιοπολυμερών. Στα αραιά διαλύματα δεν παρατηρείται μεταβολή του ιξώδους ενώ όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των διαλυμάτων τα μόρια αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν ένα πιο περίπλοκο δίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, στους πολυσακχαρίτες ορίζεται μια «κρίσιμη συγκέντρωση» στην οποία καθίστανται σημαντικές οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μορίων. Αυτή η συγκέντρωση καθορίζει τον διαχωρισμό των αραιών από τα πυκνά διαλύματα, στην οποία οι αλυσίδες των μορίων κινούνται ανεξάρτητα ή περιπλέκονται, αντίστοιχα.

Παρόλο που όλα τα υδροκολλοειδή μπορούν να προσδώσουν ιξώδες σε υδατικά διαλύματα, δεν μπορούν όλα να σχηματίσουν πηκτές. Οι πηκτές των βιοπολυμερών αποτελούνται από ένα συνεχές δίκτυο βιολογικών μακρομορίων διεσπαρμένο από ένα υγρό, συνήθως νερό. Το δίκτυο δημιουργείται από διασταυρώσεις των αλυσίδων του βιοπολυμερούς και ο σχηματισμός του προκαλείται από κάποια αλλαγή, για παράδειγμα στο pH, στη θερμοκρασία ή στην ιονική ισχύ. Οι ιδιότητες της πηκτής που προκύπτει επηρεάζεται από τις ίδιες παραμέτρους (Ευαγγελίου, 2020).

Μερικά υδροκολλοειδή δεν μπορούν να πήξουν από μόνα τους αλλά όταν δρουν συνεργιστικά σε μίγματα σχηματίζουν πηκτές. Ο σχηματισμός ή μη πηκτής εξαρτάται θερμοδυναμικά από τη σχέση:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

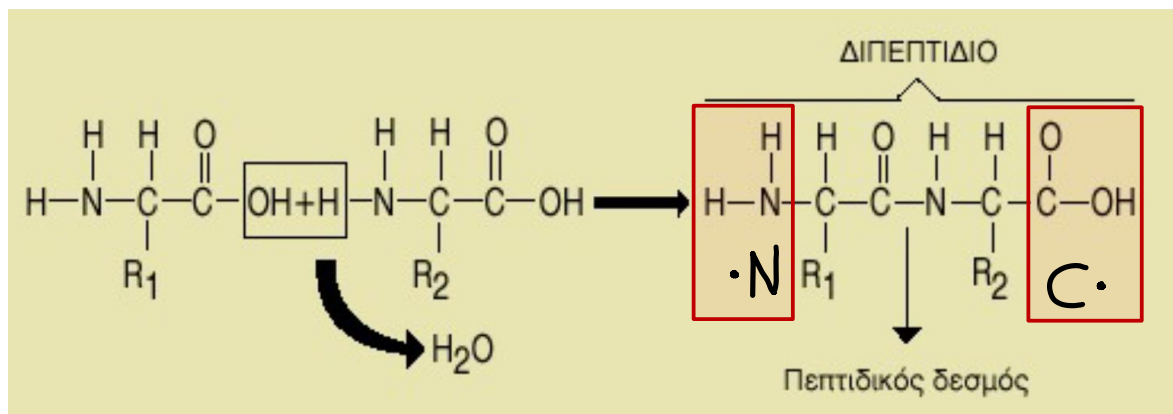
Για να σχηματιστεί τελικά η πηκτής, θα πρέπει η ΔG να έχει αρνητική τιμή (Ευαγγελίου, 2020).

1.2.2 Ταξινόμηση και παραδείγματα Βιοπολυμερών

Τα βιοπολυμερή μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση τη σύσταση, τη δομή και τη λειτουργία τους. Η κατανόηση αυτών των κατηγοριών είναι σημαντική για τη μελέτη των ιδιοτήτων και των αλληλεπιδράσεων τους σε ζωντανούς οργανισμούς. Παραδείγματα βιοπολυμερών αποτελούν οι πρωτεΐνες, οι πολυσακχαρίτες και τα νουκλεϊκά οξέα (DNA, RNA) (MacGregor, 2003).

A. Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες αποτελούνται από αμινοξέα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με πεπτιδικούς δεσμούς (δηλαδή μια αμινομάδα ενός αμινοξέος συνδέεται με μια καρβοξυλομάδα του γειτονικού αμινοξέος) (Εικόνα 3). Για τη σύνθεση των πρωτεϊνών χρησιμοποιούνται δεκαεννέα διαφορετικά αμινοξέα ως μονομερή, τα οποία ποικίλουν ως προς τη φύση της πλευρικής τους ομάδας R. Οι αλυσίδες των αμινοξέων σχηματίζουν ολιγοπεπτίδια ή πολυπεπτίδια, ανάλογα με το μήκος τους.



Εικόνα 3 - Πεπτιδικός δεσμός (πηγή: Ευαγγελίου, 2020)

Η τελική διαμόρφωση της δομής μιας πρωτεΐνης εξετάζεται σε διάφορα επίπεδα, από το πιο απλό της πρωτοταγούς δομής μέχρι το πιο σύνθετο της τεταρτοταγούς. Αναλυτικότερα, η πρωτοταγής δομή σταθεροποιείται με πεπτιδικούς δεσμούς και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες της πρωτεΐνης καθώς και τις επόμενες δομές της. Η δευτεροταγής δομή είναι ο τρόπος οργάνωσης τοπικά στον χώρο των πολυπεπτιδικών αλυσίδων και σταθεροποιείται με δεσμούς υδρογόνου. Η

τριτοταγής δομή καθορίζει την αναδίπλωση της αλυσίδας και το σχήμα που θα λάβει στον χώρο ενώ σταθεροποιείται με ομοιοπολικούς, πολικούς δεσμούς, δεσμούς υδρογόνου και δυνάμεις van der Waals. Τέλος, η τεταρτοταγής δομή απαντάται σε πρωτεΐνες με περισσότερες από μία πεπτιδικές αλυσίδες (υπομονάδες) και καθορίζει τη συνένωση και τη διευθέτησή τους στο χώρο (Ευαγγελίου, 2020).

Βασική ιδιότητα των πρωτεϊνών αποτελεί η μετουσίωση, δηλαδή η καταστροφή των παραπάνω δομών, με δραστικές συνθήκες. Κατά τη μετουσίωση οι πεπτιδικοί δεσμοί παραμένουν αναλλοίωτοι, άρα η πρωτοταγής δομή μένει άθικτη. Η μετουσίωση μπορεί να είναι αντιστρεπτή ή όχι και τα σημαντικότερα αποτελέσματα της είναι η μειωμένη διαλυτότητα, η ελάττωση ή καταστροφή της ενζυμικής δραστηριότητας, η αύξηση του ιξώδους της πρωτεΐνης, η μη δυνατή κρυστάλλωση της πρωτεΐνης και η μεταβολή της ικανότητάς της να σχηματίζει δεσμούς με το νερό.

B. Πολυσακχαρίτες

Η δομική μονάδα των πολυσακχαριτών είναι οι μονοσακχαρίτες ή σάκχαρα και οι περισσότεροι έχουν πέντε (πεντόζες) ή έξι άτομα άνθρακα (εξόζες) και πολλές ομάδες υδροξυλίου (OH). Για τη δημιουργία των πολυσακχαριτών, περισσότεροι από 10 μονοσακχαρίτες συνδέονται με γλυκοζιτικό δεσμό, μεταξύ του υδροξυλίου του πρώτου άνθρακα του ενός μονοσακχαρίτη και το υδροξύλιο ενός εκ των 2^{ου}, 3^{ου}, 4^{ου} ή 6^{ου} άνθρακα του επόμενου. Ταυτόχρονα, υπάρχουν δύο πιθανές διαμορφώσεις, με αποτέλεσμα οκτώ πιθανούς συνδυασμούς για κάθε γλυκοζιτικό δεσμό.

Οι πολυσακχαρίτες ανάλογα με το είδος των σακχαριτών που τους αποτελούν διακρίνονται σε ομοπολυσακχαρίτες (ένα είδος σακχάρου) και ετεροπολυσακχαρίτες (τουλάχιστον δύο είδη σακχάρων) (Ευαγγελίου, 2020).

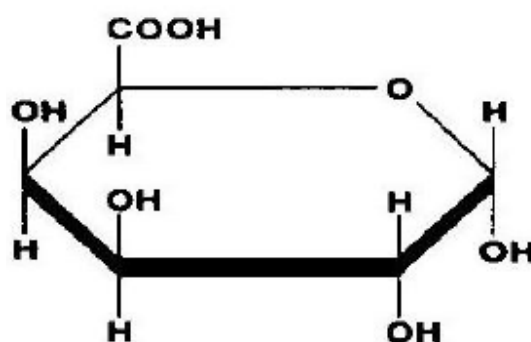
Γ. Νουκλεϊκά οξέα

Τα νουκλεϊκά οξέα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη μετάδοση γενετικών πληροφοριών από τη μια γενιά στην άλλη, καθιστώντας τα απαραίτητα για την κληρονομικότητα. Αποτελούνται από μονομερείς μονάδες που ονομάζονται

νουκλεοτίδια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με φωσφοδιεστερικούς δεσμούς. Τα πιο διαδεδομένα νουκλεϊκά οξέα είναι το δεοξυριβονουκλεϊκό (DNA) και το ριβονουκλεϊκό (RNA). Το DNA κωδικοποιεί τη γενετική πληροφορία σε πολύπλοκους οργανισμούς και βρίσκεται στους πυρήνες των κυττάρων, ενώ το RNA εμπλέκεται στη βιοσύνθεση πρωτεϊνών, μεταφέροντας το κωδικοποιημένο μήνυμα από το DNA στον μηχανισμό σύνθεσης πρωτεϊνών. Τα νουκλεϊκά οξέα έχουν μια συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων, η οποία καθορίζει τις πληροφορίες που μεταφέρονται και τις πρωτεΐνες που συμμετέχουν στη διαδικασία (MacGregor, 2003).

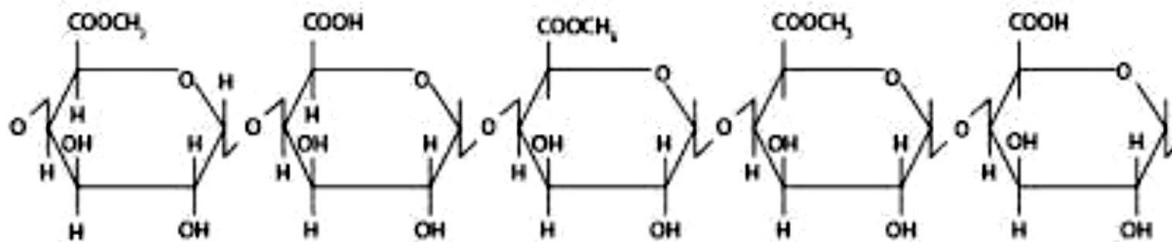
1.2.3 Πηκτίνη

Η πηκτίνη είναι ένας ετεροπολυσακχαρίτης που βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτικών ιστών και κυρίως στις φλούδες των μήλων και των εσπεριδοειδών. Λειτουργεί ως δομικό υλικό και χρησιμοποιείται ευρέως από τη βιομηχανία τροφίμων ως πηκτωματοποιητής και σταθεροποιητής. Αποτελείται από 200 ως 1000 μονάδες α-D-γαλακτουρονικό οξύ (Εικόνα 4) ενωμένες με α-1,4-γλυκοζιτικό δεσμό (Ευαγγελίου, 2020).



Εικόνα 4 - D-γαλακτουρονικό οξύ (πηγή: Ευαγγελίου, 2020)

Ταυτόχρονα, υπάρχουν διακλαδώσεις ραμνόζης μέσω (1→2) δεσμών, πλευρικές αλυσίδες από σάκχαρα (π.χ. γαλακτόζη, αραβινόζη, ξυλόζη κ.ά.), καθώς και άλλοι υποκατάστατες όπως μεθανόλη, οξικό οξύ και αμινικές ομάδες (Εικόνα 5).



Εικόνα 5 - Πηκτίνη (πηγή: Ευαγγελίου, 2020)

Το ποσοστό των εστεροποιημένων ομάδων γαλακτουρονικού οξέος από μεθανόλη, στο σύνολο της περιεκτικότητας γαλακτουρονικού οξέος, λέγεται βαθμός εστεροποίησης (DE). Ο βαθμός εστεροποίησης χρησιμοποιείται για τη διάκριση των πηκτινών σε πηκτίνες υψηλής μεθυλίωσης (high methoxy, HM) με DE > 50%, πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης (low methoxy, LM) με DE < 50% και πηκτικά οξέα με DE < 10%. Επίσης, στα φυτά απαντάται και η πρωτοπηκτίνη, η μητρική μη υδατοδιαλυτή πηκτινική ουσία. Η σημαντικότερη λειτουργία των πηκτινών είναι η δημιουργία πηκτών και οι συνθήκες της διαφοροποιούνται ανάλογα με την κατηγορία πηκτινών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1:

Πίνακας 1 - Πήξη πηκτινών ανάλογα με το βαθμό εστεροποίησης (πηγή: Ευαγγελίου, 2020)

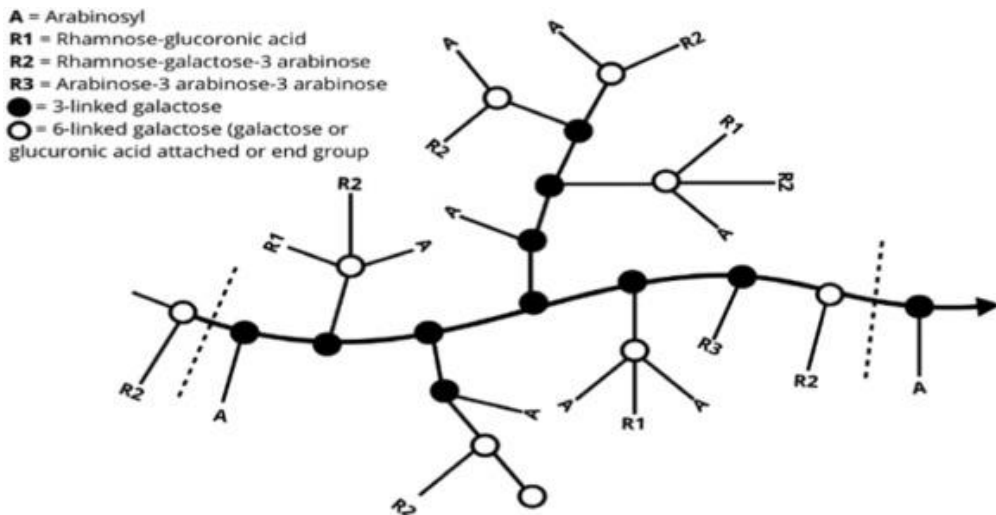
ΠΗΞΗ ΗΜ ΠΗΚΤΙΝΩΝ	ΠΗΞΗ LM ΠΗΚΤΙΝΩΝ
Συγκέντρωση πηκτίνης 0,3% - 1%	Συγκέντρωση πηκτίνης 0,3% - 1%
pH = 2,8 – 3,5	pH = 2,5 – 6,5
Παρουσία 60% - 65 % σακχάρων	Παρουσία ιόντων ασβεστίου
Ψύξη	Ψύξη
Μη αντιστρεπτή πηκτική	Αντιστρεπτή πηκτική

Η ικανότητα πήξης των πηκτινών επηρεάζεται σημαντικά τόσο από ενδογενείς παράγοντες, όπως το μοριακό βάρος, η περιεκτικότητα σε γαλακτουρονικό οξύ, ο βαθμός εστεροποίησης και η παρουσία πλευρικών αλυσίδων, όσο και από εξωγενείς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH, τα μεταλλικά κατιόντα και η παρουσία συνδυαλυτών.

Η πηκτίνη βρίσκει ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για την παρασκευή μαρμελάδων, ζελέ καθώς και γαλακτοκομικών προϊόντων και ροφημάτων με βάση το γάλα, λόγω του σταθεροποιητικού και γαλακτωματοποιητικού ρόλου της. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται στην κατασκευή εδώδιμων μεμβρανών με λειτουργικές ιδιότητες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα και ως ενεργές συσκευασίες για την καλύτερη συντήρηση των τροφίμων. Τέλος, παρουσιάζει ευεργετικές ιδιότητες και για την υγεία του ανθρώπου. Αναλυτικότερα, ο προβιοτικός χαρακτήρας των πηκτινών προάγει την ανάπτυξη ωφέλιμων μικροβιακών πληθυσμών στο έντερο και εμφανίζει αντιβακτηριακές, αντιφλεγμονώδεις και αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Ακόμα, σε έρευνες έχουν γίνει αναφορές σε αντικαρκινικές επιδράσεις καθώς και καρδιαγγειακή προστασία (Calvete-Torre, et al., 2022).

1.2.4 Αραβικό κόμμι

Το αραβικό κόμμι (Gum Arabic, GA), είναι ένα φυσικό κόμμι που προέρχεται από τον χυμό δύο ειδών ακακίας, *Vachellia (Acacia) seyal* και *Acacia Senegal*. Εμπορικά, το κόμμι συλλέγεται κυρίως από άγρια δέντρα, ως επί το πλείστον στο Σουδάν (80%) και σε όλο το Σαχέλ (Verma, et al., 2021). Από χημική άποψη (Εικόνα 6), το αραβικό κόμμι αποτελείται από μια ομάδα μακρομορίων με υψηλή αναλογία υδατανθράκων (~ 97%), οι οποίοι αποτελούνται κυρίως από μονάδες D-γαλακτόζης και L-αραβινόζης και χαμηλή αναλογία πρωτεϊνών (< 3%). Η χημική σύσταση αυτή μπορεί να διαφέρει ελαφρώς, ανάλογα με την προέλευσή, το κλίμα, την εποχή συγκομιδής, την ηλικία του δέντρου και τις συνθήκες επεξεργασίας (Montenegro, et al., 2012).



Εικόνα 6 – Αραβικό κόμμι: χημική δομή (Verma, et al., 2021)

Το αραβικό κόμμι είναι ένα ετερογενές υλικό με υδρόφιλα και υδρόφοβα τμήματα και οι φυσικοχημικές του ιδιότητες εξαρτώνται από την ισορροπία αυτών των αλληλεπιδράσεων. Πιο αναλυτικά:

- Υψηλή διαλυτότητα στο νερό, καθιστώντας έτσι εύκολο τον σχηματισμό σταθερών διαλυμάτων.
- Το ιζώδες που παρουσιάζει το αραβικό κόμμι όταν διαλύεται σε νερό, συμβάλλει στην ικανότητά του να λειτουργεί ως πηκτωματοποιητής.
- Ικανότητα αλληλεπίδρασης τόσο με τη φάση του νερού όσο και με τις ελαιώδεις φάσεις στα γαλακτώματα. Έτσι αποτρέπεται η συσσώρευση σταγονιδίων λαδιού, διατηρείται σταθερή η διασπορά και σταθεροποιούνται τα γαλακτώματα.
- Ικανότητα μικροενθυλάκωσης, δηλαδή το αραβικό κόμμι προστατεύει ενεργά συστατικά ή ενώσεις μέσα σε μικρά σωματίδια ή κάψουλες.

Χρησιμοποιείται ευρέως ως σταθεροποιητής, πυκνωτικό μέσο, γαλακτωματοποιητής ή για ενθυλάκωση στη βιομηχανία τροφίμων, και σε μικρότερο βαθμό στην κλωστοϋφαντουργία, την κεραμική, τη λιθογραφία και τη φαρμακευτική βιομηχανία. Στη βιομηχανία τροφίμων, το αραβικό κόμμι βρίσκει εφαρμογή στη ζαχαροπλαστική, την αρτοποιία, τα γαλακτοκομικά, τα αναψυκτικά και ως παράγοντας μικροενθυλάκωσης. Επιπλέον, πρόσφατες μελέτες έχουν επισημάνει τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του αραβικού κόμμι, τον ρόλο του στο μεταβολισμό των

λιπιδίων καθώς και τα ευεργετικά αποτελέσματα στις θεραπείες για εκφυλιστικές ασθένειες όπως νεφρική, καρδιαγγειακή και γαστρεντερική ανεπάρκεια (Montenegro, et al., 2012).

1.2.5 Συστήματα δύο βιοπολυμερών

Τα βιοπολυμερή χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους και πολλές φορές για να επιτευχθούν πιο θεμιτά αποτελέσματα και ιδιότητες στο τελικό προϊόν, γίνεται συνδυασμός βιοπολυμερών. Τα δύο βιοπολυμερή συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, είτε θετικά, είτε αρνητικά. Ανάλογα με την αλληλεπίδραση αυτή, διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

A. Θερμοδυναμική ασυμβατότητα

Το κάθε βιοπολυμερές θέλει να περιβάλλεται από όμοιά του και έτσι προκύπτει αμοιβαία εκτόπιση. Στη περίπτωση πυκνών διαλυμάτων, η εκτόπιση αυτή γίνεται άμεσα ορατή κατά την ανάμιξη, αφού σχηματίζεται θολερότητα και δύο διακριτές φάσεις, με κάθε φάση να είναι πλούσια στο ένα βιοπολυμερές και να έχει μικρή ποσότητα από το άλλο (διαχωρισμός φάσεων). Η έκταση της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας εξαρτάται από τη συγκέντρωση των βιοπολυμερών, το pH και την ιονική ισχύ.

B. Αναμιξιμότητα

Αντίθετα από τη θερμοδυναμική ασυμβατότητα, η αλληλεπίδραση μεταξύ των διαφορετικών βιοπολυμερών μοιάζει με αυτή που έχουν τα όμοια βιοπολυμερή, οπότε προκύπτει η αυθόρμητη ανάμιξή τους.

Γ. Συνεργιστικές αλληλεπιδράσεις

Παράδειγμα τέτοιας αλληλεπίδρασης, είναι η ηλεκτροστατική έλξη ανάμεσα σε ένα πολυανιόν και ένα πολυκατιόν. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, αυτά τα διαλύματα οδηγούνται σε πήξη ή σε καταβύθιση ιζήματος (complex coacervation). Στην δεύτερη περίπτωση, παρατηρείται διαχωρισμός φάσεων, με τη μία φάση να είναι πλούσια σε διαλύτη και την άλλη πλούσια στο σύμπλοκο.

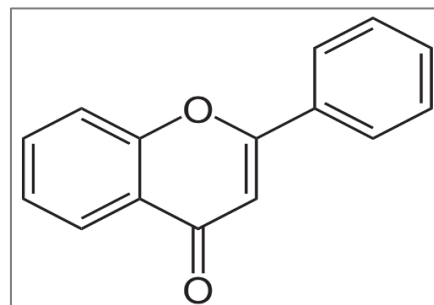
Τα συστήματα των δύο βιοπολυμερών γενικά, συναντώνται είτε σε μορφή διαλύματος είτε ως πηκτές (Ευαγγελίου, 2020).

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Φαινολικό περιεχόμενο

2.1. Πολυφαινόλες και συνολικό φαινολικό περιεχόμενο

Οι πολυφαινόλες είναι βιοδραστικές ενώσεις που βρίσκονται σε διάφορα φυτικά τρόφιμα και ποτά, όπως τα φρούτα, τα λαχανικά, το κόκκινο κρασί και σταφύλια. Συμβάλλουν στη γεύση, το χρώμα, το άρωμα και την αίσθηση των τροφίμων (η οποία χαρακτηρίζεται και ως «σώμα»). Τα φαινολικά παράγωγα που περιέχονται σε πολλά φυσικά προϊόντα, ονομάζονται βιοφαινόλες και χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα φλαβονοειδή και τις ταννίνες. Η δράση των βιοφαινολών είναι κυρίως αντιοξειδωτική και εντοπίζεται στην ικανότητά τους να δεσμεύουν και να αδρανοποιούν τις ελεύθερες ρίζες (Σφλώμος, 2019).

- **Φλαβονοειδή:** Είναι πολύ-υδροξυ-παράγωγα της 2-φαιτυλοβενζο-γ-πυρόνης και ο βασικός τους σκελετός είναι αυτός της φλαβόνης (Εικόνα 7). Περιλαμβάνουν διάφορες κατεχίνες, που ανιχνεύονται σε μεγάλη αναλογία στο τσάι και ανθοκυάνες, που βρίσκονται στα κόκκινα, μωβ, ροζ και μπλε φρούτα και λαχανικά (Σφλώμος, 2019).
- **Ταννίνες:** Είναι πολυμερείς πολύ-φαινολικές ενώσεις, εστέρες του γαλλικού και μ-διγαλλικού οξέος με γλυκόζη. Υπάρχουν σε τροπικά φρούτα, στο τσάι, στον καφέ, στο κακάο, στα σταφύλια και στο κρασί (Σφλώμος, 2017).



Εικόνα 7 - Χημική δομή φλαβόνης (2-φαιτυλο-1,4-βενζοπυρόνης) (Martens, et al., 2005)

2.1.1. Ανθοκυάνες και ανθοκυανιδίνες

Οι ανθοκυανιδίνες είναι φαινολικά παράγωγα της φλαβόνης (Εικόνα 7). Περιέχονται σε διάφορα φυσικά προϊόντα και σε διάφορα άνθη, είναι υδατοδιαλυτές ενώσεις και έχουν χρώμα κυανό ή κόκκινο ή ιώδες. Οι ανθοκυάνες ή ανθοκυανίνες είναι φυσικοί γλυκοζίτες των ανθοκυανιδινών κυρίως με γλυκόζη και πιο σπάνια με αραβινόζη, γαλακτόζη και ραμνόζη (Σφλώμος, 2017).

Η διαφοροποίηση στη χημική δομή των ανθοκυανών συμβάλλει στην ποικιλομορφία των χρωμάτων που παρατηρείται στα διαφορετικά είδη φυτών (Ongkowiyo, et al., 2018), με τα υδροξύλια δημιουργούν κυανές αποχρώσεις ενώ οι μεθυλομάδες ερυθρές (Σφλώμος, 2017). Το pH έχει σημαντική συμβολή στο χρώμα με αποτέλεσμα σε όξινο περιβάλλον οι ανθοκυάνες να έχουν ερυθρό χρώμα (μορφή κατιόντος φλαβυλίου). Το χρώμα αυτό χάνεται με την αύξηση του pH, με την μέγιστη απώλεια χρώματος να εμφανίζεται σε pH 3,2 - 3,5 (μορφή άνυδρης βάσης). Για τιμές pH>4, το χρώμα μεταβάλλεται από μωβ σε μπλε (μορφή βάσης κινόνης) και στη συνέχεια για ουδέτερο ή αλκαλικό pH γίνεται κίτρινο (μορφή χαλκόνης)(Zeng, et al., 2023).

Η χημική δομή των ανθοκυανών επηρεάζει επίσης τη σταθερότητα και τη βιοδιαθεσιμότητά τους. Για παράδειγμα, η παρουσία ορισμένων μορίων σακχάρου μπορεί να ενισχύσει τη σταθερότητά τους, ενώ η προσθήκη ακυλομάδων μπορεί να αυξήσει τη βιοδιαθεσιμότητά τους. Η κατανόηση αυτών των παραμέτρων είναι σημαντική για τη μελέτη των ιδιοτήτων των ανθοκυανών, όπως η αντιοξειδωτική δράση και τα πιθανά οφέλη για την υγεία.

Αναλυτικότερα, έρευνες έχουν αποδείξει την αντιοξειδωτική δράση των ανθοκυανών, η οποία αποδίδεται στην ικανότητά τους να δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες και να αναστέλλουν το οξειδωτικό στρες. Η ενσωμάτωση εκχυλισμάτων πλούσιων σε ανθοκυάνες σε εδώδιμες μεμβράνες ενισχύει τις αντιοξειδωτικές τους δράσεις, καθυστερώντας τη διαδικασία οξείδωσης των τροφίμων. Ειδικότερα, όσο υψηλότερη η ολική περιεκτικότητα σε φαινολικά (TPC) τόσο μεγαλύτερη και η αντιοξειδωτική δράση (Kim, et al., 2018). Άλλη έρευνα αναφέρει πως οι εμπλουτισμένες με ανθοκυάνες βρώσιμες μεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες pH για την παρακολούθηση της φρεσκάδας και της αλλοίωσης των τροφίμων, λόγω της ικανότητας των ανθοκυανών να αλλάζουν χημική δομή και χρώμα σε διαφορετικές τιμές pH (Yong, et al., 2019).

2.2. Φαινολικές και Αντιοξειδωτικές ενώσεις στην μελιτζάνα

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena*) είναι ποώδες, πολυετές φυτό της οικογένειας των Σολανωδών (*Solanaceae*), καλλιεργείται ετησίως και χρειάζεται θερμό κλίμα για να αναπτυχθεί. Σύμφωνα με τα στατιστικά παραγωγής του FAO (Food and Agriculture Organization) η μελιτζάνα είναι η τρίτη σημαντικότερη καλλιέργεια μεταξύ των σολανωδών, μετά την πατάτα και την τομάτα (FAOSTAT, 2020).

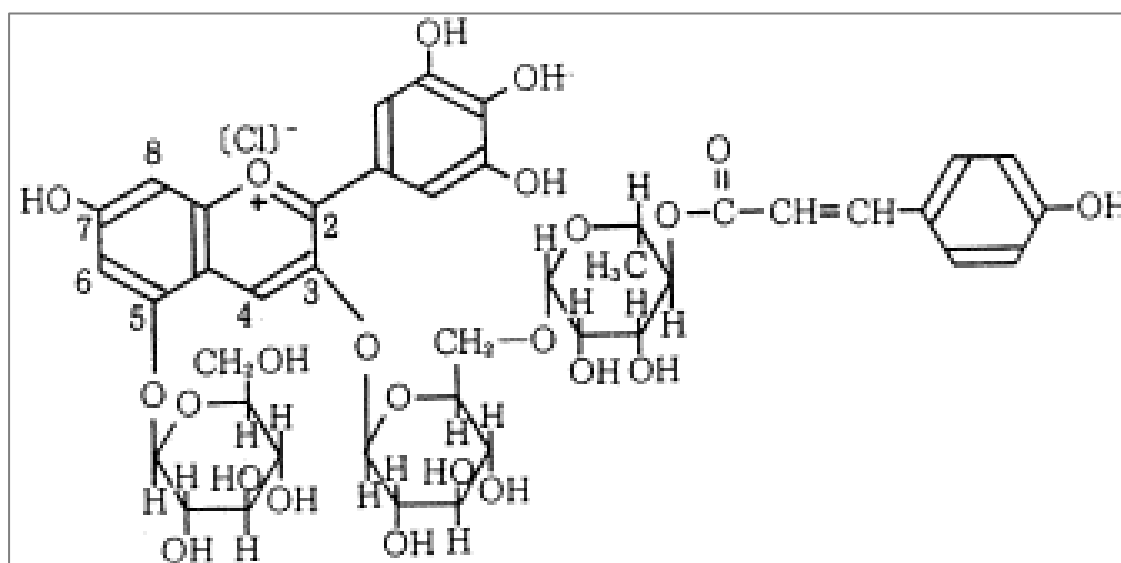
Πίνακας 2 - Θρεπτική αξία ακατέργαστης μελιτζάνας (πηγή: USDA)

Θρεπτική αξία ανά 100 g	
Νερό	92,3 g
Ενέργεια	1094 kJ (25kcal)
Υδατάνθρακες	5,88 g
Σάκχαρα	3,53 g
Φυτικές ίνες	3 g
Λίπος (ολικό)	0,18 g
Πρωτεΐνες	0,98 g
Θειαμίνη (βιτ. B ₁)	0,039 mg
Ριβοφλαβίνη (βιτ. B ₂)	0,037 mg
Νιασίνη (βιτ. B ₃)	0,649 mg
Παντοθενικό οξύ (βιτ. B ₅)	0,281 mg
Βιατιμίνη B6	0,084 mg
Φυλλικό οξύ (βιτ. B ₉)	33 μg
Βιταμίνη A	1 μg
Βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ)	2,2 mg
Βιταμίνη E	0,3 mg
Βιαταμίνη K	3,5 μg
Ασβέστιο, Ca	9 mg
Σίδηρος, Fe	0,23 mg
Μαγνήσιο, Mg	14 mg
Μαγγάνιο	0,232 mg
Φώσφορος, P	24 mg
Κάλιο, K	229 mg
Ψευδάργυρος, Zn	0,16 mg
Νάτριο, Na	2 mg
Χαλκός, Cu	0,081 mg
Σελήνιο, Se	0,3 μg
β-καροτένιο	15 μg
Χολίνη	6,9 mg

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, η μελιτζάνα είναι πλούσια σε φυτικές ίνες, βιταμίνες και ανόργανα συστατικά, ενώ ταυτόχρονα φτωχή σε θερμίδες και λιπαρά (USDA). Περιέχει επίσης, πληθώρα αντιοξειδωτικών ενώσεων, συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών και των ανθοκυανών. Ειδικότερα στο εκχύλισμα από τις φλούδες εντοπίζεται υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες (Jung, et al., 2011).

2.2.1 Οφέλη στην υγεία από την κατανάλωση μελιτζάνας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην μελιτζάνα εντοπίζεται σημαντική ποσότητα ανθοκυανών. Λόγω της ικανότητας τους να εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες, μπορούν να μειώσουν την πιθανότητα εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων και διάφορων μορφών καρκίνου (Sudheesh, et al., 1999). Η νασουσίνη (Εικόνα 8) είναι μια από τις ανθοκυάνες που βρίσκονται στη φλούδα του καρπού και έχει μεγαλύτερη αντιοξειδωτική ικανότητα από άλλες, σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε *in vitro* (Noda, et al., 2000). Επίσης, έρευνες έδειξαν οι ανθοκυάνες έχουν *in vivo* ευεργετικές ιδιότητες στο νευρικό σύστημα και στις εγκεφαλικές λειτουργίες (Μπακογιάννη, 2016).



Εικόνα 8 - Χημική δομή νασουσίνης (πηγή: Google)

2.3. Μέθοδοι προσδιορισμού φαινολικών και αντιοξειδωτικών συστατικών

2.3.1. Μέθοδος DPPH

Η μέθοδος DPPH μετρά την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να δίνουν ηλεκτρόνια ή άτομα υδρογόνου στη σταθερή ελεύθερη ρίζα DPPH· (2,2-διφαινυλ-1-πικρυλυδραζύλιο), με αποτέλεσμα μια αλλαγή χρώματος από μωβ σε κίτρινο/άχρωμο. Η ρίζα αυτή (DPPH·) εμφανίζει μέγιστη απορρόφηση στα 515-520 nm και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μέθοδο DPPH είναι ο διαλύτης, το pH και οι συγκεντρώσεις αντιδραστηρίων και δείγματος (Brand-Williams, et al., 1995).

2.3.2. Μέθοδος ABTS

Η μέθοδος ABTS είναι ένας προσδιορισμός με βάση τη μεταφορά ηλεκτρονίων (ET) που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας ενός δείγματος. Το ABTS, 2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβενζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ) αντιδρά με γαλαζοπράσινο διάλυμα υπερθειικού νατρίου και δημιουργείται η ρίζα του κατιόντος $ABTS^{\cdot+}$, με μέγιστη απορρόφηση στα 734nm. Το αντιοξειδωτικό στο δείγμα μειώνει το $ABTS^{\cdot+}$, με αποτέλεσμα τη μείωση της χρωματικής έντασης, ο βαθμός της οποίας είναι ανάλογος με την αντιοξειδωτική ικανότητα του δείγματος (Huang, et al., 2005).

2.3.3. Μέθοδος FRAP

Μια απλή, αυτοματοποιημένη δοκιμή που μετράει την αναγωγή των ιόντων τρισθενούς σιδήρου (Fe^{3+}) σε δισθενή σίδηρο (Fe^{2+}) από τα αντιοξειδωτικά (οξειδοαναγωγική αντίδραση). Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα είναι οξειδοαναγωγή μεταξύ του δείγματος και του συμπλόκου τρισθενούς σιδήρου με τη 2,4,6-τρι-(2-πυριδυλ-)τριαζίνη (Fe^{3+} -TPTZ), σε χαμηλό pH. Σχηματίζεται ένα έγχρωμο σύμπλοκο σιδήρου-τριπυριδυλτριαζίνης (Fe^{2+} -TPTZ), με έντονο μπλε χρώμα και απορρόφηση σε μήκος κύματος 595nm (Benzie, et al., 1996).

2.3.4. Μέθοδος ORAC

Η ανάλυση ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity – ικανότητα απορρόφησης ριζών οξυγόνου) βασίζεται στην αρχή των αντιδράσεων μεταφοράς ατόμου υδρογόνου και μετρά την ικανότητα των αντιοξειδωτικών να αναστέλλουν την οξείδωση ενός φθορίζοντος μορίου από ρίζες υπεροξυλίου. Η αντίδραση λαμβάνει χώρα μεταξύ της φλουορεσκεΐνης (φθορίζον μόριο) και ομάδα ελεύθερων συνθετικών ριζών, το AAPH 2,2'-αζωδις-(2-αμιδινο-προπάνιο) διϋδροχλωρίδιο. Κατά την εξέλιξη της αντίδρασης, καταναλώνεται η φλουορεσκεΐνη και μειώνεται η ένταση φθορισμού της. Αντιθέτως, με την παρουσία αντιοξειδωτικής ουσίας, η ένταση του φθορισμού αυξάνεται. Για το αποτέλεσμα, συγκρίνεται ο χρόνος της απώλειας φθορισμού του δείγματος με τα αντιοξειδωτικά και ο χρόνος της απώλειας φθορισμού του μάρτυρα (Huang, et al., 2005).

2.3.5. Folin–Ciocalteu

Η χρωματομετρική μέθοδος Folin-Ciocalteu μετρά τη συνολική περιεκτικότητα φαινολικών σε ένα δείγμα με την αναγωγή του αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu. Ο προσδιορισμός βασίζεται στην αντίδραση αναγωγής ενός συμπλόκου φωσφομολυβδικού-φωσφοβολφραμικού οξέος από φαινολικές ενώσεις, που έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ενός μπλε συμπλόκου, το οποίο μετράται φασματοφωτομετρικά στα 765 nm. Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των φαινολικών ενώσεων στο δείγμα (Huang, et al., 2005).

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εδώδιμες μεμβράνες

Οι εδώδιμες ή βρώσιμες μεμβράνες είναι λεπτές στρώσεις με βασικό συστατικό τα βιοπολυμερή, ασφαλείς για κατανάλωση και φιλικές προς το περιβάλλον. Χρησιμοποιούνται σε συσκευασίες τροφίμων ως εναλλακτική λύση στα μη βιοδιασπώμενα και μη βιώσιμα υλικά συσκευασίας. Οι βρώσιμες μεμβράνες εξυπηρετούν πολλές λειτουργίες, όπως η επέκταση της διάρκειας ζωής των φρούτων και των λαχανικών, η παροχή προστασίας από την υπεριώδη ακτινοβολία και η ενσωμάτωση βιοδραστικών παραγόντων για την πρόληψη μικροβιακών μολύνσεων (Chettri, et al., 2023).

3.1. Σύσταση

Τα βιοπολυμερή που χρησιμοποιούνται συνήθως στην παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών είναι οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες, ή ο συνδυασμός τους. Πρόσθετα για την βελτίωση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων των μεμβρανών, είναι οι πλαστικοποιητές και οι γαλακτωματοποιητές. Επίσης, οι βρώσιμες μεμβράνες μπορούν να ενισχυθούν με δραστικές ουσίες, όπως αντιοξειδωτικές, αρωματικές και χρωστικές, για τη βελτίωση της ποιότητας και της σταθερότητας των συσκευασμένων τροφίμων (Matloob, et al., 2023).

3.1.1. Βιοπολυμερή

Οι πρωτεΐνες, που προέρχονται τόσο από φυτά όσο και από ζώα, χρησιμοποιούνται συνήθως για τον σχηματισμό βρώσιμων μεμβρανών και τους παρέχουν καλή μηχανική αντοχή. Περισσότερες πληροφορίες για τη δομή και τις ιδιότητες των πρωτεϊνών ως βιοπολυμερή αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο.

Ομοίως, οι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται ως βιοπολυμερή σε εδώδιμες μεμβράνες, η δομή των οποίων αναλύεται εκτενέστερα στο πρώτο κεφάλαιο. Έχουν αποτελεσματικές ιδιότητες μπλοκαρίσματος αερίων, αλλά δεν διαθέτουν ιδιότητες προστασίας από την υγρασία. Αξιοσημείωτη ιδιότητα των μεμβρανών από πολυσακχαρίτη αποτελεί η ευθραυστότητα, η οποία μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση πλαστικοποιητών.

3.1.2. Πρόσθετα

Αρχικά, οι πλαστικοποιητές είναι ουσίες που προστίθενται στις εδώδιμες μεμβράνες για να βελτιώσουν την ελαστικότητά τους. Βοηθούν στην ενίσχυση της ικανότητας της μεμβράνης να προσαρμόζεται στο σχήμα του τρόφιμου και δρουν ενάντια στην ευθραυστότητά της.

Οι γαλακτωματοποιητές, στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της διασποράς και της σταθερότητας των συστατικών. Βοηθούν στη δημιουργία ενός ομοιόμορφου μείγματος υδρόφοβων και υδρόφιλων συστατικών, αποτρέποντας τον διαχωρισμό φάσεων. Η επιλογή των κατάλληλων γαλακτωματοποιητών είναι σημαντική για τη διασφάλιση της συμβατότητας με άλλα συστατικά της μεμβράνης και για την επίτευξη των επιθυμητών ιδιοτήτων της.

Τέλος, δραστικές ουσίες μπορούν να ενσωματωθούν σε βρώσιμες μεμβράνες ώστε να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητά τους, να βελτιώσουν την ποιότητα, την ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής των τροφίμων που συσκευάζονται, διατηρώντας τη θρεπτική τους αξία. Οι ουσίες αυτές μπορεί να είναι αντιμικροβιακές, αντιοξειδωτικές, αρωματικές ή χρωστικές ενώσεις (Matloob, et al., 2023).

3.2. Ιδιότητες

Οι ιδιότητες των μεμβρανών συμβάλλουν στην αύξηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων, μειώνουν την διαδικασία οξείδωσης, την μεταφορά υγρασίας και την απώλεια αερίων. Οι ιδιότητες αυτές διαχωρίζονται σε φυσικές, μηχανικές και ιδιότητες φραγμού (Das, et al., 2022).

3.2.1. Φυσικές Ιδιότητες

Ένας από τους ρόλους των εδώδιμων μεμβρανών είναι να εμποδίζουν τη μεταφορά υγρασίας μεταξύ του τρόφιμου και του περιβάλλοντος, διατηρώντας την ποιότητα και παρατείνοντας την ζωή των προϊόντων. Για αυτόν τον λόγο, η περιεκτικότητα σε υγρασία των βρώσιμων μεμβρανών είναι από τις σημαντικότερες ιδιότητες τους. Για τον ίδιο λόγο, θα πρέπει να δίνεται βάση και στην πυκνότητα των μεμβρανών.

Επιπροσθέτως, η θολερότητα των εδώδιμων μεμβρανών ορίζει την ποσότητα του φωτός που μπορεί να διαπεράσει την μεμβράνη. Είναι μια κρίσιμη ιδιότητα ειδικά για προϊόντα που έχει σημασία να φαίνονται όμορφα μέσα από τη συσκευασία τους.

Το πάχος θεωρείται εξίσου σημαντική ιδιότητα καθώς έχει μεγάλη επίδραση σε άλλες ιδιότητες όπως η διαπερατότητα υδρατμών, ο ρυθμός μεταφοράς οξυγόνου και η ανθεκτικότητα της μεμβράνης. Έχει παρατηρηθεί, ότι το πάχος της μεμβράνης αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του βιοπολυμερούς καθώς και με την προσθήκη πολυφαινολικών ενώσεων.

Τέλος, το χρώμα των μεμβρανών είναι σημαντική ιδιότητα όσον αφορά την εμφάνιση και την αποδοχή από τον καταναλωτή. Το χρώμα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του πολυμερούς που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της μεμβράνης. Τόσο η προέλευση, όσο και το μέγεθος των σωματιδίων του βιοπολυμερούς επηρεάζει το χρώμα των μεμβρανών, αφού είναι υπεύθυνο για την ομοιομορφία τους (Das, et al., 2022).

3.2.2. Μηχανικές Ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες περιγράφουν την αντίσταση των μεμβρανών στη συνήθη καταπόνηση που μπορεί να προκύψει κατά τη μεταφορά και το χειρισμό βρώσιμων συσκευασμένων με μεμβράνες τροφίμων. Οι πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητες είναι η αντοχή στον εφελκυσμό (TS) και η επιμήκυνση κατά το σπάσιμο (EAB). Η αντοχή σε εφελκυσμό ορίζεται ως η ικανότητα ενός υλικού να αντιστέκεται στο σπάσιμο υπό τάση εφελκυσμού, ενώ η επιμήκυνση κατά το σπάσιμο ενός υλικού ορίζεται ως το μήκος της μεμβράνης που αυξάνεται από το σπάσιμο της. Η αντοχή εφελκυσμού μειώνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του πλαστικοποιητή στο διάλυμα από το οποίο θα προέλθει η εδώδιμη μεμβράνη, ενώ ταυτόχρονα, δεν επηρεάζεται από την συγκέντρωση των υλικών που σχηματίζουν την μεμβράνη. Τέλος, τόσο η αντοχή στον εφελκυσμό όσο και η επιμήκυνση κατά το σπάσιμο επηρεάζονται από την προσθήκη ουσιών, όπως η γλυκερόλη ως πλαστικοποιητής ή οποιαδήποτε γαλακτωματοποιητική ουσία, όπως η λεκιθίνη σόγιας (Das, et al., 2022).

3.2.3. Ιδιότητες Φραγμού

Τα φρούτα και τα λαχανικά διαθέτουν φυσικά χτισμένο προστατευτικό κάλυμμα, τις φλούδες τους, οι οποίες ελέγχουν τη μεταφορά υδρατμών, οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα, καθώς επίσης μειώνουν την απώλεια γεύσης και αρώματος. Από την άλλη πλευρά, τα επεξεργασμένα τρόφιμα δεν έχουν τέτοιο σύστημα φυσικής προστασίας, οδηγώντας στην ανάγκη δημιουργίας εδώδιμων μεμβρανών με καλές ιδιότητες φραγμού. Ο συντελεστής διαπερατότητας υδρατμών (water vapor permeability coefficient, WVPC) των εδώδιμων μεμβρανών, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πολυμερές που χρησιμοποιήθηκε και την υδρόφοβη φύση του. Έρευνα έδειξε ότι οι εδώδιμες μεμβράνες με βάση την πρωτεΐνη προσδίδουν καλύτερες ιδιότητες φραγμού σε σύγκριση με αυτές που έχουν ως βάση πολυσακχαρίτες και λιπίδια. Αυτό συμβαίνει επειδή οι μεμβράνες με βάση τις πρωτεΐνες, αποτελούνται από υδρογόνο, ιοντικούς, υδρόφοβους και ομοιοπολικούς δεσμούς, ενώ άλλες μεμβράνες από άλλα πολυμερή, αποτελούνται από υδρογόνο και ιοντικούς δεσμούς. Από την άλλη πλευρά, οι ιδιότητες φραγμού του διοξειδίου του άνθρακα επηρεάζονται από τη σχετική υγρασία και τη σύνθεση της μεμβράνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε 50% ή μικρότερη σχετική υγρασία, η διαπερατότητα του διοξειδίου του άνθρακα είναι σημαντικά χαμηλότερη, επειδή η διαλυτότητα του CO₂ στο νερό είναι υψηλότερη από άλλα αέρια, όπως το οξυγόνο (Das, et al., 2022).

3.3. Μέθοδοι παρασκευής

Οι εδώδιμες μεμβράνες μπορούν να παρασκευαστούν από βρώσιμα υλικά μέσω διαφορετικών μεθόδων, υγρής είτε ξηρής διεργασίας, χύτευση διαλυτών (solvent casting) και εξώθηση (extrusion), αντίστοιχα. Η χημική δομή και κάποια φυσικά χαρακτηριστικά των βιοπολυμερών καθορίζουν την διαδικασία σχηματισμού των εδώδιμων μεμβρανών. Αναλυτικότερα περιγράφονται δύο μέθοδοι (Suhaq, et al., 2020):

3.3.1. Χύτευση

Η μέθοδος της χύτευσης είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη για σχηματισμό εδώδιμων μεμβρανών. Περιλαμβάνει τρία στάδια για την παρασκευή μεμβρανών από βιοπολυμερή: α) Διαλυτοποίηση του βιοπολυμερούς σε κατάλληλο διαλύτη, β) Χύτευση του διαλύματος σε καλούπι (π.χ.: τρυβλίο Petri), γ) Ξήρανση.

Η διαδικασία ξεκινά με την επιλογή του πολυμερούς ή του μίγματος πολυμερών που θα χρησιμοποιηθεί. Το επιλεγμένο πολυμερές διαλύεται ή διασπείρεται σε κατάλληλο διαλύτη. Στη συνέχεια, το ληφθέν διάλυμα χύνεται σε προκαθορισμένο καλούπι ή γυάλινες πλάκες και ακολουθεί η ξήρανση. Η διαδικασία ξήρανσης παρέχει επαρκή χρόνο για την εξάτμιση του διαλύτη και τη δημιουργία της μεμβράνης που προσκολλάται στο καλούπι. Χρησιμοποιούνται φούρνοι ζεστού αέρα, φούρνοι μικροκυμάτων είτε στεγνωτήρες κενού για ευκολότερη απομάκρυνση των διαλυτών.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευκολία παρασκευής μεμβρανών χωρίς τη χρήση εξειδικευμένου εξοπλισμού, η οποία συνεπάγεται και χαμηλό κόστος. Η χαμηλότερη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των σταδίων επεξεργασίας μπορεί επίσης να είναι ένα προτέρημα, καθώς τα περισσότερα υλικά δεν μπορούν να καλουπωθούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες χωρίς να προκληθεί μια μη αναστρέψιμη δομική αλλαγή στο υλικό.

Μερικά από τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι: α) οι περιορισμένες μορφές (συνήθως εμφανίζονται απλά φύλλα και σωλήνες), β) η πιθανή παγίδευση τοξικού διαλύτη μέσα στη μεμβράνη, γ) η μετουσίωση πρωτεϊνών και άλλων μορίων που εισάγονται στα πολυμερή με τη χρήση διαλυτών, δ) η δημιουργία μικρής ποσότητας μεμβράνης, ε) τα διαφορετικά επίπεδα εξάτμισης και θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή μεμβρανών με διαφορετικά χαρακτηριστικά, στ) ο μεγάλος χρόνος ξήρανσης που απαιτείται, ο οποίος δεν είναι εφικτός για εμπορική παραγωγή.

3.3.2. Εξώθηση

Η εξώθηση είναι από τις κύριες τεχνικές που χρησιμοποιείται σήμερα σε εμπορική κλίμακα. Αυτή η μέθοδος αλλάζει τη δομή των υλικών και βελτιώνει τις φυσικοχημικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

Η διαδικασία εξώθησης, αποτελείται από τρεις ζώνες: α) τη ζώνη τροφοδοσίας, β) τη ζώνη ζύμωσης και γ) τη ζώνη θέρμανσης στο τελικό μέρος/έξοδο από τη μηχανή. Το μείγμα συστατικών της μεμβράνης μεταφέρεται αρχικά στη ζώνη τροφοδοσίας και συμπιέζεται με αέρα. Επειδή αυτή η μέθοδος λειτουργεί καλύτερα με ελάχιστη περιεκτικότητα σε νερό ή διαλύτες, θεωρείται ξηρή διαδικασία. Ωστόσο, για να αυξηθεί η ευελιξία της μεμβράνης, χρειάζονται πλαστικοποιητές. Η καταπόνηση, η θερμοκρασία και η πυκνότητα του μείγματος αυξάνονται όταν τα συστατικά περνούν στη ζώνη ζύμωσης.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ο σύντομος χρόνος επεξεργασίας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι ενισχυμένες μηχανικές και οπτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Είναι μια διαδικασία υψηλής απόδοσης, με χαμηλό κόστος που χρησιμοποιείται στον τομέα των τροφίμων για παραγωγή σε εμπορικό επίπεδο. Επιπλέον, άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν τη μη χρήση διαλυτών, τον εύκολο χειρισμό πολυμερών υψηλού ιξώδους, ένα ευρύ φάσμα συνθηκών επεξεργασίας (θερμοκρασία 70°C - 500°C και πίεση 0 - 500 bar), έναν καλύτερο έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων της βρώσιμου μεμβράνης και περισσότερες μορφές σε σχέση με τη μέθοδο της χύτευσης.

Τα μειονεκτήματα της εξώθησης εστιάζονται κυρίως στον περιορισμό της επεξεργασίας μόνο μιγμάτων που είναι ανθεκτικά στη θερμοκρασία και έχουν χαμηλή υγρασία, γεγονός που περιορίζει τη χρήση ορισμένων πολυμερών. Επίσης, ο εξειδικευμένος εξοπλισμός έχει υψηλότερο αρχικό κόστος και υψηλότερο κόστος συντήρησης.

3.4. Εφαρμογές στα τρόφιμα

Η αποτελεσματικότητα των εδώδιμων μεμβρανών σε τρόφιμα όπως φρούτα, λαχανικά, κρέας κ.α., επηρεάζεται από τις τεχνικές που εφαρμόζονται, οι οποίες

εξαρτώνται από τη φύση των τροφίμων, τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς τους και τον πρωταρχικό στόχο της επικάλυψης (Suhag, et al., 2020).

Οι εδώδιμες λειτουργικές μεμβράνες συσκευασίας χρησιμοποιούνται τόσο για ενεργές όσο και για έξυπνες συσκευασίες τροφίμων με σκοπό την βελτίωση της διάρκειας ζωής και την παρακολούθηση της ποιότητας των τροφίμων, αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, η ενεργή συσκευασία ενσωματώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ της συσκευασίας, του προϊόντος και του περιβάλλοντος έτσι ώστε να βελτιωθεί η διάρκεια ζωής του προϊόντος. Σύμφωνα με τον κανονισμό 450/2009 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ως «ενεργά υλικά και αντικείμενα» ορίζονται τα υλικά και τα αντικείμενα που προορίζονται να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής ή να διατηρήσουν ή να βελτιώσουν την κατάσταση του συσκευασμένου τρόφιμου (ΕΚ/450, 2009). Είναι σχεδιασμένα έτσι, ώστε σκοπίμως να περιέχουν συστατικά τα οποία αποδεσμεύουν ή απορροφούν ουσίες από τα συσκευασμένα τρόφιμα ή το περιβάλλον τους.

Επιπλέον, η έξυπνη συσκευασία έχει την ικανότητα να παρακολουθεί τις αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες, να παρέχει πληροφορίες και να εκδίδει προειδοποιήσεις για την κατάσταση της ποιότητας του τρόφιμου, κερδίζοντας έτσι την αποδοχή από τον τελικό καταναλωτή. Σύμφωνα με τον κανονισμό 450/2009 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ως «νοήμονα υλικά και αντικείμενα» ορίζονται τα υλικά και τα αντικείμενα που ελέγχουν την κατάσταση του συσκευασμένου τρόφιμου ή του περιβάλλοντος του (ΕΚ/450, 2009). Τέτοιες συσκευασίες συνήθως περιέχουν ετικέτες που υποδεικνύουν αλλαγές στην ποιότητα των συσκευασμένων τροφίμων και προειδοποιούν σχετικά με το εσωτερικό τους περιβάλλον, όπως αλλαγές στη θερμοκρασία, το pH, την υγρασία, τη σύνθεση των περιεχόμενων αερίων και την παραγωγή αλλοιογόνων ουσιών που μεταβάλλουν τη φυσική, χημική και μικροβιακή κατάσταση του προϊόντος (Roy, et al., 2023).

Μέχρι σήμερα, οι εδώδιμες μεμβράνες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων για την αύξηση της διάρκειας ζωής ορισμένων προϊόντων, την καθυστέρηση της διαδικασίας ωρίμανσης φρούτων και λαχανικών, τον έλεγχο ή αναστολή της ενζυμικής αμαύρωσης, την ενσωμάτωση λειτουργικών συστατικών και τον περιορισμό του αποχρωματισμού και της αφυδάτωσης των τροφίμων (Chettri, et al., 2023).

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Σκοπός

Η παρούσα μελέτη ασχολήθηκε αρχικά με την απομόνωση ανθοκυανών από μελιτζάνες και στη συνέχεια με την δημιουργία εδώδιμων μεμβρανών από πολυσακχαρίτες παρουσία του εκχυλίσματος ανθοκυανών. Ακολούθησε μελέτη των μεμβρανών προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης τους ως έξυπνες και ενεργές συσκευασίες. Οι πολυσακχαρίτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το αραβικό κόμμι, η πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης καθώς και συνδυασμοί τους σε διάφορες αναλογίες. Πιο συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν μεμβράνες με αραβικό κόμμι (GA) σε συγκέντρωση 10% w/w, με πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP) σε συγκέντρωση 1,5% w/w, με τον συνδυασμό τους σε συγκεντρώσεις GA=1,5% w/w & HMP=1,5% w/w καθώς και GA=5% w/w & HMP=0,75% w/w. Οι μεμβράνες που προέκυψαν μελετήθηκαν ως προς μια σειρά από ιδιότητες όπως οι φυσικοχημικές, οι μηχανικές, οι ιξωδοελαστικές, οι οπτικές, οι αντιοξειδωτικές κ.α.

2. Αντιδραστήρια, όργανα και σκεύη

2.1. Αντιδραστήρια

- Πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (High Methoxyl Pectin, HMP, με βαθμό εστεροποίησης 65% - 69%, GENU® pectin 150 USA-SAG type A medium rapid test)
- Αραβικό κόμμι
- Γλυκερόλη (ως πλαστικοποιητής), Merck (Darmstadt, Germany)
- Αιθανόλη 99,8%, PanReac AppliChem GmbH (Darmstadt, Germany)
- Ανθρακικό νάτριο Na₂CO₃
- Αντιδραστήριο DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl), Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany)
- Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu's Carlo Erba Reagents S.A.S. (Val-de-Reuil, France)

- Απεσταγμένο νερό

2.2. Όργανα και σκεύη

- Δοκιμαστικοί σωλήνες
- Υάλινα τρυβλία Petri (διαμέτρου 9cm)
- Υάλινα ποτήρια ζέσεως 10mL, 50mL, 100mL, 500mL
- Σιφώνια 1mL, 2mL, 5mL, 10mL
- Κυψελίδες χαλαζία 1cm
- Πιπέτες Pasteur 3mL
- Μηχανική πιπέτα 1000μl
- Εστία με μαγνητικό αναδευτήρα
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Αναδευτήρας Vortex
- Φυγόκεντρος
- Ξηραντήρας
- Αναλυτικός ζυγός ακριβείας 0,0001g EMB 2000-2, Kern & Sohn GmbH, (Balingen, Germany)
- Μικρόμετρο Halex (Munich, Germany)
- Φούρνος (Mettler, Schwabach, Germany)
- Φασματοφωτόμετρο UV-Vis UV1800, Shimadzu Europa GmbH (Duisburg, Germany)
- Χρωματόμετρο LC 100, Lovibond (Dortmund, Germany)
- Δυναμικός μηχανικός αναλυτής 242E Artemis (Netzsch, Germany)

3. Εκτέλεση προσδιορισμών

3.1. Παραλαβή ανθοκυανών και παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών

3.1.1. Παραλαβή ανθοκυανών από μελιτζάνες

Αρχικά, αφαιρέθηκαν οι φλούδες από τις μελιτζάνες. Κάθε φλούδα αφαιρέθηκε κατά μήκος του καρπού σε λωρίδες, με κοφτερό μαχαίρι και κόπηκε σε μικρότερα κομμάτια, με τη χρήση ψαλιδιού (Εικόνα 9). Στη συνέχεια, 100g φλοιών εκχυλίστηκαν σε 500mL διαλύματος αιθανόλης 80% με 1% HCl στο ψυγείο (4°C) για 1 ημέρα (Εικόνα 10). Το εκχύλισμα φυγοκεντρήθηκε (6000xg) στους 4°C για 15 λεπτά, συμπυκνώθηκε με τη χρήση περιστροφικού αναδευτήρα στους 35°C και αποθηκεύτηκε στην κατάψυξη (-20°C) στο σκοτάδι.



Εικόνα 9 - Προετοιμασία φλοιών μελιτζάνας



Εικόνα 10 - Εκχύλισμα δείγματος μετά από 1 ημέρα

3.1.2. Παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών

Ακολούθως, παρασκευάστηκαν 4 διαφορετικές μεμβράνες με βάση είτε την πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP), είτε το αραβικό κόμμι (GA), ή μίγματά τους. Πιο συγκεκριμένα, το 1^ο δείγμα περιείχε 10% w/w GA, το 2^ο δείγμα 1,5% w/w HMP, το 3^ο δείγμα 1,5% w/w GA και 1,5% w/w HMP ενώ το 4^ο δείγμα 5% w/w GA και 0,75% w/w HMP. Για τα διαλύματα σχηματισμού των μεμβρανών (Film forming solutions), αρχικά διαλύθηκε η απαιτούμενη ποσότητα βιοπολυμερούς (ή βιοπολυμερών, στην περίπτωση των μιγμάτων) σε απεσταγμένο νερό, υπό θέρμανση (90°C) και ήπια ανάδευση. Ακολούθησε η προσθήκη 1,50g γλυκερόλης ως πλαστικοποιητής και έπειτα τα διαλύματα τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο ώστε να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου. Στη συνέχεια, προστέθηκε η απαιτούμενη ποσότητα εκχυλίσματος ώστε η συγκέντρωση του τελικού διαλύματος να είναι 10% w/w. Το βάρος του διαλύματος ρυθμίστηκε στα 100g και έπειτα, 30g από κάθε διάλυμα μεταφέρθηκαν σε γυάλινα τρυβλία Petri (διαμέτρου 9cm) και ξηράθηκαν σε φούρνο στους 50°C, για περίπου 20 ώρες. Οι μεμβράνες που προέκυψαν, αποκολλήθηκαν και διατηρήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel μέχρι την ανάλυσή τους. Τρεις μεμβράνες μελετήθηκαν ανά σύσταση.

3.2 Μελέτη εκχυλίσματος και χαρακτηρισμός εδώδιμων μεμβρανών

3.2.1. Περιεκτικότητα του εκχυλίσματος σε ολικές φαινολικές ουσίες (TPC) και ανθοκυάνες (TAC)

Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες του εκχυλίσματος προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Folin-Ciocalteu. Αρχικά, 0,5mL εκχυλίσματος αναμίχθηκαν με 2,25mL νερό και 0,25mL αντιδραστήριο Folin – Ciocalteu. Ακολούθησε έντονη ανάδευση του μίγματος στο Vortex, παραμονή στο σκοτάδι για 8 λεπτά και προσθήκη 2mL διαλύματος Na_2CO_3 7,5% w/v. Το μίγμα αναδεύτηκε ξανά με Vortex και παρέμεινε στο σκοτάδι για 60 λεπτά, σε θερμοκρασία δωματίου. Η απορρόφηση μετρήθηκε με φασματοφωτόμετρο στα 765nm, με τη βοήθεια τυφλού δείγματος (δηλαδή 2,75mL νερό και 0,25mL Folin). Η μέθοδος εφαρμόστηκε τρεις φορές για κάθε δείγμα και το ολικό φαινολικό περιεχόμενο προσδιορίστηκε με τη χρήση πρότυπης καμπύλης αναφοράς γαλλικού οξέος. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος (gallic acid equivalent, GAE) ανά 0,5mL δείγματος (mg GAE/ 0,5mL).

Η συνολική περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες μετρήθηκε με τη μέθοδο του διαφορικού pH (Kerio, et al., 2013). Το εκχύλισμα (0,5 mL) διαλύθηκε σε ρυθμιστικά διαλύματα (4 mL) pH = 1 και pH = 4,5 (με χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων οξικού νατρίου (0,4M) και χλωριούχου καλίου (0,025M) ρυθμισμένα σε pH 1 και pH 4,5, αντίστοιχα). Η απορρόφηση του διαλύματος μετρήθηκε στα 520nm και στα 700nm. Η περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη προσδιορίστηκε ως εξής:

$$\text{Συνολική περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη} \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}_{\text{εκχυλ}}} \right) = \frac{A * M_W * D_F * 1000}{1 * \epsilon}$$

Όπου:

A η διαφορά στην απορρόφηση του δείγματος που υπολογίζεται από την εξίσωση

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm})_{at\ pH=1} - (A_{520nm} - A_{700nm})_{at\ pH=4.5}$$

M_W το μοριακό βάρος της ανθοκυανίνης (449,2 g/mol),

D_F ο παράγοντας αραίωσης και

ϵ η γραμμομοριακή απορρόφηση cyanidin-3-glucoside (26.900).

3.2.2. Ευαισθησία στο pH εκχυλίσματος και μεμβρανών

Προκειμένου να προσδιοριστεί η ευαισθησία στο pH του εκχυλίσματος, διαλύθηκαν 2mL από το εκχύλισμα σε 20mL διαφορετικών ρυθμιστικών διαλυμάτων (pH: 2, 4, 6, 8, 10, 12), για 3 λεπτά, ώστε να καταγραφεί η αλλαγή του χρώματος των διαλυμάτων (από κάμερα). Έπειτα καταγράφηκε το ορατό φάσμα του κάθε διαλύματος από 450 ως 700nm, σε φασματοφωτόμετρο.

Η ίδια διαδικασία για την καταγραφή αλλαγής χρώματος με τη χρήση κάμερας ακολουθήθηκε και για τον έλεγχο της ευαισθησίας των μεμβρανών στο pH.

3.2.3. Βάρος

Για τη μέτρηση του βάρους (g) κάθε μεμβράνης χρησιμοποιήθηκε αναλυτικός ζυγός ακριβείας 0,01g.

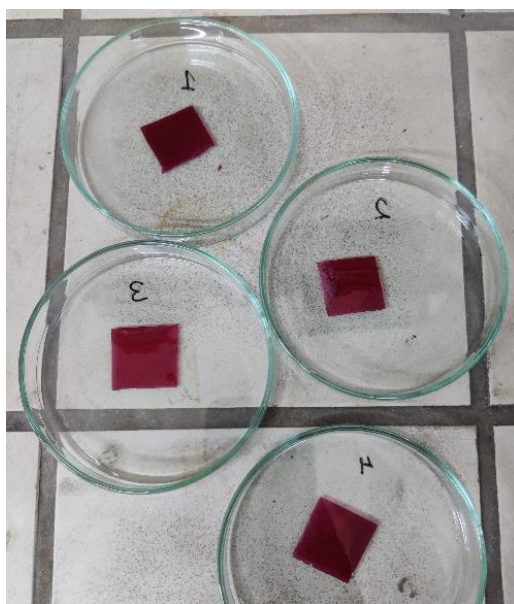
3.2.4. Πάχος

Σε κάθε μεμβράνη το πάχος (μm) μετρήθηκε σε πέντε τυχαία σημεία με τη χρήση μικρομέτρου (με ακρίβεια 0,01mm) και έπειτα υπολογίστηκε η μέση τιμή για κάθε μεμβράνη.

3.2.5. Υγρασία

Αρχικά, κόπηκαν τετράγωνα κομμάτια εμβαδού 4cm² από κάθε μεμβράνη, τα οποία ζυγίστηκαν σε αναλυτικό ζυγό και καταγράφηκε η αρχική τους μάζα (m_i). Στη συνέχεια, ξηράνθηκαν σε συμβατικό φούρνο στους 105°C για 18 ώρες (Εικόνα 11), ώστε το βάρος τους να καταγραφεί ξανά (m_d). Μετρήθηκαν τρεις μεμβράνες για κάθε σύσταση και η περιεκτικότητα σε υγρασία (%) υπολογίστηκε από την εξίσωση:

$$\text{Περιεκτικότητα σε υγρασία (\%)} = (m_i - m_d) * m_i^{-1} * 100$$



Εικόνα 11 - Προετοιμασία δειγμάτων για μέτρηση υγρασίας

3.2.6. Χρώμα

Οι χρωματικές παράμετροι του συστήματος CIELAB μετρήθηκαν με χρωματόμετρο. Οι μετρήσεις έγιναν σε πέντε τυχαία σημεία στην επιφάνεια των μεμβρανών και οι παράμετροι που καταγράφηκαν ήταν οι εξής:

- η φωτεινότητα L^* : τιμές από 0 (μαύρο) ως 100 (λευκό)
- η παράμετρος a^* : τιμές θετικές και αρνητικές, για κόκκινο και πράσινο, αντίστοιχα
- η παράμετρος b^* : τιμές θετικές και αρνητικές, για κίτρινο και μπλε, αντίστοιχα
- C^* (Chroma), Χρωματική πυκνότητα: προσδιορίζει την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος
- Χροιά h (hue angle): μετράται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση παίρνοντας τιμές 0° για το κόκκινο-πορφυρό, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλέ.

3.2.7. Θολερότητα

Για τη μέτρηση της θολερότητας κόπηκαν ορθογώνια κομμάτια από τις μεμβράνες και τοποθετήθηκαν στις κυψελίδες φασματοφωτόμετρου. Μετρήθηκε το φάσμα απορρόφησης (400-800nm) και η περιοχή κάτω από την καταγεγραμμένη καμπύλη ορίστηκε ως θολερότητα. Μετρήθηκαν κομμάτια και από τις τρεις μεμβράνες για κάθε σύσταση και υπολογίστηκε η μέση τιμή.

3.2.8. Αντιοξειδωτική ικανότητα

Προκειμένου να μετρηθεί η αντιοξειδωτική ικανότητα των μεμβρανών, χρησιμοποιήθηκε η χρωματομετρική μέθοδος DPPH. Αρχικά, διαλύθηκαν 0,125g από την μεμβράνη σε 15mL απεσταγμένου νερού και έμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για 24 ώρες (δείγμα). Εν συνεχεία, παρασκευάστηκε διάλυμα που αποτελείται από 0,5mL δείγματος, 1,5mL απεσταγμένο νερό και 2mL διαλύματος DPPH, σε υδατικό διάλυμα αιθανόλης (80% v/v), καθώς και διάλυμα-μάρτυρας αποτελούμενο από 2mL νερό και 2mL διαλύματος DPPH. Τα προς μέτρηση διαλύματα και το διάλυμα-μάρτυρας, παρέμειναν σε απόλυτο σκοτάδι για 30 λεπτά, σε θερμοκρασία δωματίου. Κατόπιν, φωτομετρήθηκαν στα 517nm με τη χρήση φασματοφωτομέτρου και η αντιοξειδωτική ικανότητα (AA) υπολογίστηκε με βάση τις μετρήσεις απορρόφησης (absorbance, Abs) του μάρτυρα και του εκάστοτε δείγματος, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$AA (\%) = \frac{Abs_{\mu\acute{\alpha}ρτυρα} * Abs_{\delta\acute{\epsilon}\iota\gamma\mu\alpha\tau\omicron\varsigma}}{Abs_{\mu\acute{\alpha}ρτυρα}} * 100\%$$

3.2.9. Δυναμική μηχανική ανάλυση

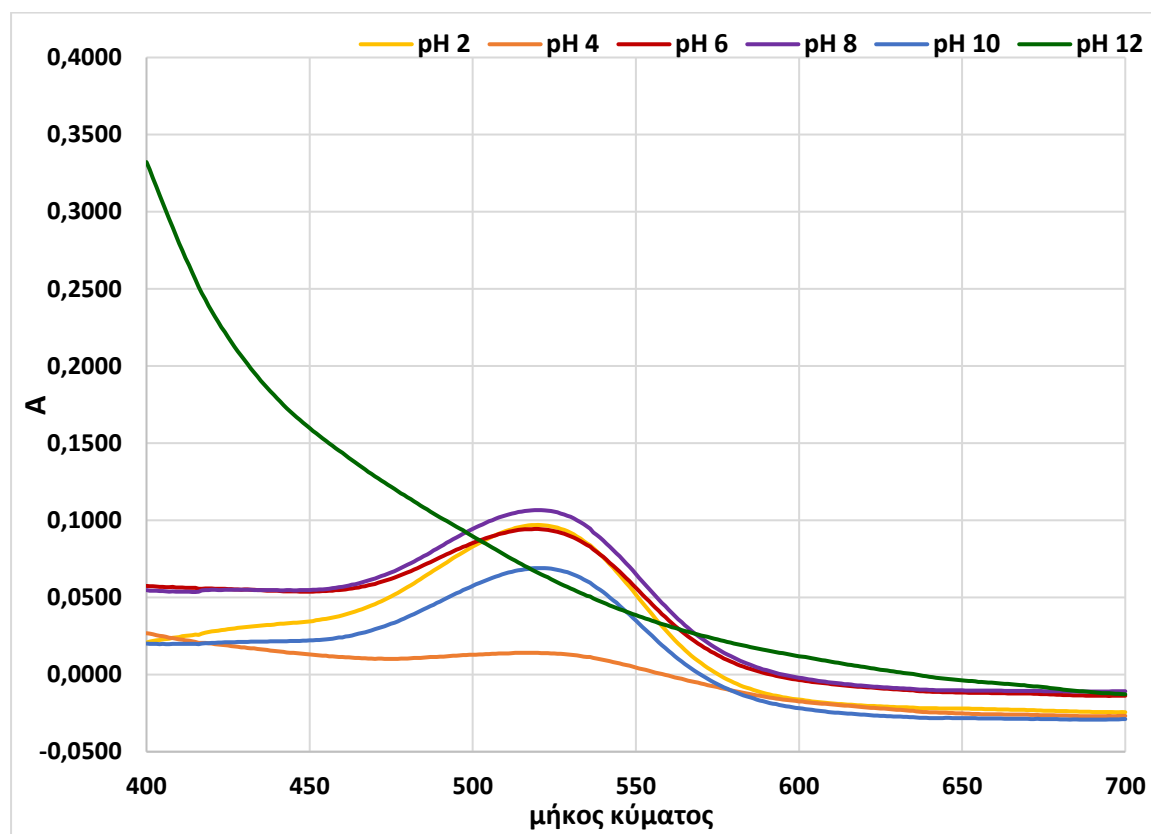
Η δυναμική μηχανική ανάλυση (DMA) των μεμβρανών (15mm × 6,5mm × 0,03mm) πραγματοποιήθηκε σε δυναμικό μηχανικό αναλυτή σε λειτουργία εφελκυσμού. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν από 30°C έως 100°C, σε συχνότητα 1Hz και ρυθμό θέρμανσης 2°C/min. Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των μεμβρανών, χρησιμοποιήθηκαν καμπύλες συντελεστή αποθήκευσης (E') και συντελεστή απόσβεσης (tanδ) συναρτήσεως της θερμοκρασίας.

4. Αποτελέσματα – Συζήτηση

4.1. Μελέτη εκχυλίσματος

Αρχικά, υπολογίσθηκε η περιεκτικότητα του εκχυλίσματος σε ανθοκυανίνη, που βρέθηκε ίση με 289,48mg/mL. Σύμφωνα με τους Yong, et al. (2019), η περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνη στα εκχυλίσματα μωβ και μαύρης μελιτζάνας ήταν 93,10 και 173,17mg/g, αντίστοιχα.

Κατόπιν, μελετήθηκε η ευαισθησία του εκχυλίσματος στο pH κι αν αυτή συνοδεύεται από αλλαγή χρώματος λόγω της παρουσίας των ανθοκυανών. Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται το φάσμα (450nm ως 700nm) του εκχυλίσματος σε pH 2 - 12 ενώ στην Εικόνα 12 φαίνεται η εικόνα του εκχυλίσματος για τα διαφορετικά pH.



Γράφημα 1 - Φάσμα διαλυμάτων σε pH 2, 4, 6, 8, 10 και 12



**Εικόνα 12 - Εκχύλισμα σε ρυθμιστικά διαλύματα με pH 2, 4, 6, 8, 10 και 12
(από αριστερά προς τα δεξιά)**

Σύμφωνα με το γράφημα, και σε συνδυασμό με την Εικόνα 12, για τα pH 2 και 4, η μέγιστη απορρόφηση παρουσιάστηκε στα 520nm λόγω της ύπαρξης των ανθοκυανινών με τη μορφή του κόκκινου κατιόντος φλαβυλίου. Η ένταση της κορυφής ήταν μειωμένη στο pH 4, όπως ήταν αναμενόμενο για αυτό και το εκχύλισμα δείχνει άχρωμο. Στα pH 6, 8 και 10 το εκχύλισμα δεν φάνηκε να παρουσιάζει κάποια απόχρωση ενώ στο pH 12 παρουσίασε κίτρινο χρώμα λόγω της ύπαρξης των ανθοκυανινών με τη μορφή της χαλκόνης. Η μέγιστη απορρόφηση δεν έδειξε να παρουσιάζει σημαντική μετατόπιση.

Σε αντίστοιχα πειράματα, οι Yong et al. (2019) ανέφεραν ότι το χρώμα του εκχυλίσματος μωβ μελιτζάνας σε εύρος pH 2–6, 7–10 και 11–13 ήταν ροζ, μπλε και κίτρινο, αντίστοιχα, ενώ της μαύρης στις ίδιες περιοχές pH ήταν κόκκινο/ροζ, μωβ και κίτρινο, αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, οι κορυφές μέγιστης απορρόφησης των συγκεκριμένων εκχυλισμάτων μετατοπίστηκε από 520nm (pH=2) σε 580nm (pH=13) (Yong, et al., 2019). Σε παρόμοια μελέτη, εξετάστηκε η ικανότητα αλλαγής χρώματος σε εκχύλισμα μαύρου ρυζιού πλούσιο σε ανθοκυανίνη. Το εκχύλισμα αποδείχτηκε ευαίσθητο στο pH, καθώς όσο αυξάνονταν η τιμή του pH η μέγιστη απορρόφηση μεταβαλλόταν ανάλογα και το χρώμα σταδιακά άλλαζε από μωβ σε κόκκινο, άχρωμο, πράσινο και κιτρινοπράσινο (Zeng, et al., 2023). Ταυτόχρονα, ανέφεραν και μετατόπιση των κορυφών μέγιστης απορρόφησης των συγκεκριμένων εκχυλισμάτων μετατοπίστηκε από 520nm σε 600nm.

Είναι πιθανό η παρατηρούμενη συμπεριφορά να οφείλεται σε υπερβολική αραίωση του εκχυλίσματος αλλά και στη σύσταση του εκχυλίσματος.

4.2. Μελέτη μεμβρανών

Οι τέσσερις μεμβράνες που παρασκευάστηκαν (τρεις για κάθε διαφορετική σύσταση, Πίνακας 3), μετρήθηκαν αρχικά ως προς τις ιδιότητές τους. Αναλυτικότερα, μετρήθηκαν το βάρος, το πάχος, η πυκνότητα, η υγρασία, το χρώμα, η θολερότητα, οι μηχανικές ιδιότητες και η αντιοξειδωτική τους ικανότητα. Παρακάτω παρουσιάζονται λεπτομερώς όλα τα αποτελέσματα.

Πίνακας 3 - Αναλυτική σύσταση μεμβρανών

	Αραβικό κόμμι (GA)	Πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP)	Εκχύλισμα	Γλυκερόλη
GA	10,0%	0,0%	10,0%	1,5%
HMP	0,0%	1,5%	10,0%	1,5%
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	1,5%	1,5%	10,0%	1,5%
GA(5%)-HMP(0,75%)	5,0%	0,75%	10,0%	1,5%

4.2.1. Βάρος

Σχετικά με το βάρος, σύμφωνα με τον Πίνακα 4, οι μεμβράνες με βάση την πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP) και τον συνδυασμό της με το αραβικό κόμμι [GA(1,5%) - HMP(1,5%)] ήταν στατιστικά όμοιες μεταξύ τους και είχαν το μικρότερο βάρος (~ 1,22g). Επίσης, διέφεραν στατιστικά σημαντικά από τη μεμβράνη με βάση το αραβικό κόμμι (GA), που είχε το μεγαλύτερο βάρος (3,84g) καθώς και από τον συνδυασμό GA(5%) - HMP(0,75%) με βάρος ίσο με 2,42g.

Πίνακας 4 - Βάρος μεμβρανών

Δείγμα	Βάρος (g)
GA	3,84 ^a ± 0,14
HMP	1,13 ^b ± 0,21
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	1,31 ^b ± 0,24
GA(5%)-HMP(0,75%)	2,42 ^c ± 0,47

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μεμβράνες που είχαν σαν κύριο συστατικό ή σε μεγαλύτερη αναλογία το αραβικό κόμμι, ήταν αυτές με το μεγαλύτερο βάρος. Γενικά, όπως ήταν αναμενόμενο, το μεγαλύτερο βάρος το επέδειξαν οι μεμβράνες με τις μεγαλύτερες συνολικές συγκεντρώσεις βιοπολυμερών. Για παράδειγμα, η GA με το μεγαλύτερο βάρος περιείχε 10% βιοπολυμερή ενώ η HMP με το μικρότερο μόλις 1,5%. Το εκχύλισμα δεν φάνηκε να συνέβαλε σημαντικά στο βάρος προφανώς επειδή προστέθηκε σε όλες τις μεμβράνες στην ίδια συγκέντρωση.

4.2.2. Πάχος

Όσον αφορά στο πάχος (Πίνακας 5), οι HMP καθώς και οι GA(1,5%) - HMP(1,5%) μεμβράνες επέδειξαν στατιστικά το ίδιο πάχος που ήταν το μικρότερο μεταξύ των μεμβρανών (~ 0,21mm). Οι υπόλοιπες μεμβράνες δηλαδή οι GA και GA(5%) - HMP(0,75%) είχαν επίσης στατιστικά το ίδιο πάχος που ήταν ~ 0,58mm.

Πίνακας 5 - Πάχος μεμβρανών

Δείγμα	Πάχος (mm)
GA	0,59 ^a ± 0,04
HMP	0,19 ^b ± 0,03
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	0,23 ^b ± 0,06
GA(5%)-HMP(0,75%)	0,57 ^a ± 0,07

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Όπως και στο βάρος, η συνολική συγκέντρωση των βιοπολυμερών στο δείγμα ήταν καθοριστική για το πάχος των μεμβρανών, για αυτό το λόγο η GA (10%) και η GA(5%) - HMP(0,75%) ήταν αυτές με το μεγαλύτερο πάχος. Ομοίως, το εκχύλισμα δεν φαίνεται να συνέβαλε ούτε στο πάχος, αφού προστέθηκε σε όλες τις μεμβράνες στην ίδια συγκέντρωση.

4.2.3. Πυκνότητα

Ως προς την πυκνότητα, όλες οι μεμβράνες (Πίνακας 6) δεν φάνηκε να παρουσιάζουν κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά ($\sim 1,38\text{g}/\text{cm}^3$).

Πίνακας 6 - Πυκνότητα μεμβρανών

Δείγμα	Πυκνότητα
GA	1,65 ^a ± 0,18
HMP	1,43 ^a ± 0,31
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	1,42 ^a ± 0,25
GA(5%)-HMP(0,75%)	1,01 ^a ± 0,17

Δηλαδή, η χρήση διαφορετικού πολυμερούς δεν βρέθηκε να έχει κάποια επίδραση στην πυκνότητα των μεμβρανών, οι οποίες παρουσίασαν παρόμοια συμπαγή δομή.

4.2.4. Υγρασία

Η περιεκτικότητα σε υγρασία των μεμβρανών που παρασκευάστηκαν, σύμφωνα με τον Πίνακα 7, δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεμβρανών. Σε όλες τις μεμβράνες η υγρασία είναι περίπου 0,095%.

Πίνακας 7 - Ποσοστό υγρασίας μεμβρανών

Δείγμα	Υγρασία
GA	0,11 ^a ± 0,04
HMP	0,06 ^a ± 0,01
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	0,09 ^a ± 0,00
GA(5%)-HMP(0,75%)	0,12 ^a ± 0,01

Επομένως, όπως και στην πυκνότητα, τα διαφορετικά πολυμερή δεν είχαν επίδραση στην υγρασία των μεμβρανών. Ωστόσο, σε μεμβράνες από χιτοζάνη, ενισχυμένες με εκχύλισμα ανθοκυανών, η περιεκτικότητα σε υγρασία επηρεάστηκε σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση και την περιεκτικότητα των ανθοκυανών στα εκχυλίσματα, σύμφωνα με έρευνα (Yong, et al., 2019).

4.2.5. Χρώμα

Οι χρωματικές παράμετροι του συστήματος CIELAB που καταγράφηκαν (L^* , a^* , b^* , Chroma και hue), παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Γενικά, οι μεμβράνες δεν ήταν ιδιαίτερα φωτεινές. Η υψηλότερη φωτεινότητα παρατηρήθηκε στα δείγματα HMP και GA(5%) - HMP(0,75%), με τιμή $L^* \sim 28,4$, συγκριτικά με τα GA και GA(1,5%) - HMP(1,5%) με τιμή $L^* \sim 21,97$.

Οι μεμβράνες είχαν θετικές τιμές για την παράμετρο a^* , που σημαίνει επικράτηση της κόκκινης απόχρωσης, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω της παρουσίας των ανθοκυανών. Οι μεμβράνες HMP και GA(1,5%) - HMP(1,5%) ήταν στατιστικά όμοιες με τη μεγαλύτερη τιμή ($\sim 44,37$) ενώ οι GA και GA(5%) - HMP(0,75%) εμφάνισαν τη μικρότερη τιμή (~ 40).

Οι τιμές της παραμέτρου b^* ήταν θετικές για όλες τις μεμβράνες, με την GA(1,5%) - HMP(1,5%) να έχει την μεγαλύτερη τιμή (21,37) και την GA(5%) - HMP(0,75%) την μικρότερη (8,80).

Οι τιμές της παραμέτρου Chroma (c^*) προσδιορίζουν την καθαρότητα του χρώματος η οποία φάνηκε να ελαττώνεται όσο αυξανόταν η συγκέντρωση του αραβικού κόμμεος. Δηλαδή, οι μεμβράνες με το περισσότερο αραβικό κόμμι [GA και GA(5%) - HMP(0,75%)] ήταν στατιστικά όμοιες με τιμή $c^* = 42,86$, και είχαν χαμηλότερη ένταση χρώματος σε σχέση με τις άλλες [HMP και GA(1,5%) - HMP(1,5%)] που είχαν τιμή $c^* = 48,4$. Επομένως, η πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης φάνηκε να προσδίδει πιο καθαρό χρώμα στις μεμβράνες, έναντι του αραβικού κόμμεος.

Όλες οι τιμές της παραμέτρου hue ήταν κοντά στις 0 μοίρες που υποδηλώνουν πιο έντονη την πορφυρή χροιά έναντι των υπολοίπων. Η μεμβράνη GA(5%) - HMP(0,75%) είχε την χαμηλότερη τιμή ($13,44^\circ$) ενώ η GA(1,5%) - HMP(1,5%) την υψηλότερη ($26,44^\circ$). Ενδιάμεση τιμή επέδειξαν οι μεμβράνες με μόνο ένα βιοπολυμερές χωρίς να υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά στην τιμή τους.

Πίνακας 8 - Χρώμα μεμβρανών

Δείγμα	L*	a*	b*	Chroma	hue (°)
GA	23,48 ^a ± 1,99	40,63 ^{a,c} ± 1,17	13,98 ^a ± 1,69	42,63 ^a ± 1,00	18,91 ^a ± 1,80
HMP	27,44 ^b ± 2,54	45,63 ^b ± 2,16	17,74 ^b ± 2,52	48,65 ^b ± 2,43	19,59 ^a ± 2,23
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	20,46 ^a ± 3,43	43,11 ^{b,c} ± 2,49	21,37 ^c ± 1,48	48,15 ^b ± 2,13	26,44 ^b ± 2,25
GA(5%)-HMP(0,75%)	29,36 ^b ± 3,34	39,50 ^a ± 6,19	8,80 ^d ± 2,22	43,09 ^a ± 5,65	13,44 ^c ± 2,76

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Γενικότερα, οι σχετικά χαμηλές τιμές του L*, οι θετικές τιμές του a* και οι χαμηλές τιμές του hue μπορούν να περιγράψουν καλύτερα την μωβ-πορφυρή απόχρωση που είχαν οι μεμβράνες (Εικόνα 13), η οποία ήταν αναμενόμενη και μπορεί να δικαιολογηθεί από το πλούσιο σε ανθοκυάνες εκχύλισμα που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 13 - Μεμβράνες 10% δείγμα, 1,5% HMP

4.2.6. Θολερότητα

Η αποδοχή και η απήχηση των εδώδιμων μεμβρανών στους καταναλωτές μπορεί να επηρεαστεί από τη θολερότητα, δηλαδή από την ποσότητα του φωτός που επιτρέπεται να τις διαπεράσει (Narayanan, et al., 2023). Η θολερότητα των δειγμάτων, όπως υπολογίστηκε από το φάσμα απορρόφησής τους στο φασματοφωτόμετρο, παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9 - Θολερότητα μεμβρανών

Δείγμα	Θολερότητα
GA	418,39 ^a ± 8,37
HMP	188,18 ^b ± 5,75
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	246,72 ^c ± 23,11
GA(5%)-HMP(0,75%)	168,97 ^b ± 0,49

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Το δείγμα HMP είχε στατιστικά την ίδια θολερότητα με το GA(5%) - HMP(0,75%), που ήταν και η μικρότερη θολερότητα μεταξύ των δειγμάτων (~178,58). Παρόλο που το δείγμα, GA έδειξε τη μεγαλύτερη θολερότητα, με τιμή 418,39 η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη είναι αυτή του μίγματος των βιοπολυμερών με ίσες συγκεντρώσεις. Συνεπώς, η θολερότητα δεν φαίνεται να σχετίζεται άμεσα με την συγκέντρωση του αραβικού κόμματος, όταν πρόκειται για μεμβράνη με μίγμα βιοπολυμερών, παρόλο που η μεμβράνη GA εμφάνισε περισσότερο από δύο φορές μεγαλύτερη θολερότητα σε σχέση με την HMP.

Ωστόσο, η θολερότητα σχετίζεται με το πάχος των μεμβρανών, με τις μεμβράνες μεγαλύτερου πάχους να είναι πιο θολές (Andrade-Mahecha, et al., 2012). Στην προκειμένη περίπτωση, αυτό ισχύει για την GA που ήταν η παχύτερη και ταυτόχρονα είχε και την μεγαλύτερη θολερότητα. Αντιθέτως, η GA(5%)-HMP(0,75%) είχε τη μικρότερη θολερότητα, παρόλο που ήταν στατιστικά όμοια με την GA όσον αφορά στο πάχος.

4.2.7. Ευαισθησία μεμβρανών στο pH

Οι μεμβράνες με βάση την πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (HMP) εμβαπτίστηκαν σε διαλύματα διαφορετικών pH, από 2 έως 12, και παρατηρήθηκε το χρώμα τους. Σύμφωνα με την Εικόνα 14, οι μεμβράνες διατήρησαν το χρώμα τους σε τιμές pH 2, 6, 8 και 10, το έχασαν σε τιμή pH = 4, ενώ για την ακραία τιμή pH = 12 άλλαξαν σε κιτρινωπή απόχρωση. Σε σχέση με το εκχύλισμα, διατήρησαν την ευαισθησία του για pH 2, 4 και 12.



Εικόνα 14 – Μεμβράνες (HMP) σε ρυθμιστικά διαλύματα με pH 2, 4, 6, 8, 10 και 12 (από αριστερά προς τα δεξιά)

Σε παρόμοια μελέτη, οι μεμβράνες που αναπτύχθηκαν με ανάμειξη χιτοζάνης με εκχύλισμα μωβ ή μαύρης μελιτζάνας, πλούσιο σε ανθοκυανίνη, ήταν ευαίσθητες στο pH και έδειξαν αξιοσημείωτες αλλαγές χρώματος σε διαφορετικά ρυθμιστικά διαλύματα. Πιο συγκεκριμένα, το χρώμα τους άλλαξε από μωβ σε πράσινο/μπλε με την αύξηση της τιμής του pH. Επίσης, στις ίδιες συνθήκες pH και στα ίδια επίπεδα ενσωμάτωσης εκχυλίσματος, οι μεμβράνες που προέρχονταν από το εκχύλισμα μαύρης μελιτζάνας ήταν πιο σκούρες. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στη διαφορά στη σύνθεση και την περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες ανάμεσα στα εκχυλίσματα (Yong, et al., 2019). Σε μια άλλη έρευνα, μελετήθηκαν μεμβράνες ενισχυμένες με εκχύλισμα μαύρου ρυζιού πλούσιο σε ανθοκυανίνη. Οι μεμβράνες διατήρησαν την ευαισθησία στο pH του εκχυλίσματος, γεγονός που τους επιτρέπει να λειτουργούν ως έξυπνοι δείκτες για τις αλλαγές του pH. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά το χρώμα των μεμβρανών ήταν μωβ σε pH από 1 ως 4, έπειτα γινόταν πιο ανοιχτό και μετατοπιζόταν προς το μπλε καθώς αυξανόταν το pH, για τιμές pH > 5 το μπλε χρώμα γινόταν πιο βαθύ και σε pH 13 ήταν κιτρινοπράσινο (Zeng, et al., 2023).

Στην παρούσα μελέτη, η μη αλλαγή χρώματος στις τιμές pH 6, 8 και 10, δεν καθιστά τις μεμβράνες απόλυτα κατάλληλες ως δείκτες pH σε ενεργές συσκευασίες. Ωστόσο, η απουσία χρώματος σε pH = 4 και το κίτρινο χρώμα σε pH = 12 είναι ενθαρρυντικά στοιχεία προς αυτή τη κατεύθυνση που μπορούν να αξιοποιηθούν σε επόμενες έρευνες.

4.2.8. Αντιοξειδωτική ικανότητα

Στον Πίνακα 10 φαίνονται τα αποτελέσματα για το ποσοστό δέσμευσης των ελεύθερων ριζών από τις μεμβράνες που παρασκευάστηκαν (αντιοξειδωτική ικανότητα).

Πίνακας 10 - Αντιοξειδωτική ικανότητα μεμβρανών

Δείγμα	AA (%)
GA	89,34 ^{a,b} ± 0,92
HMP	86,03 ^a ± 0,89
GA(1,5%)-HMP(1,5%)	89,73 ^{a,b} ± 1,07
GA(5%)-HMP(0,75%)	95,01 ^b ± 0,85

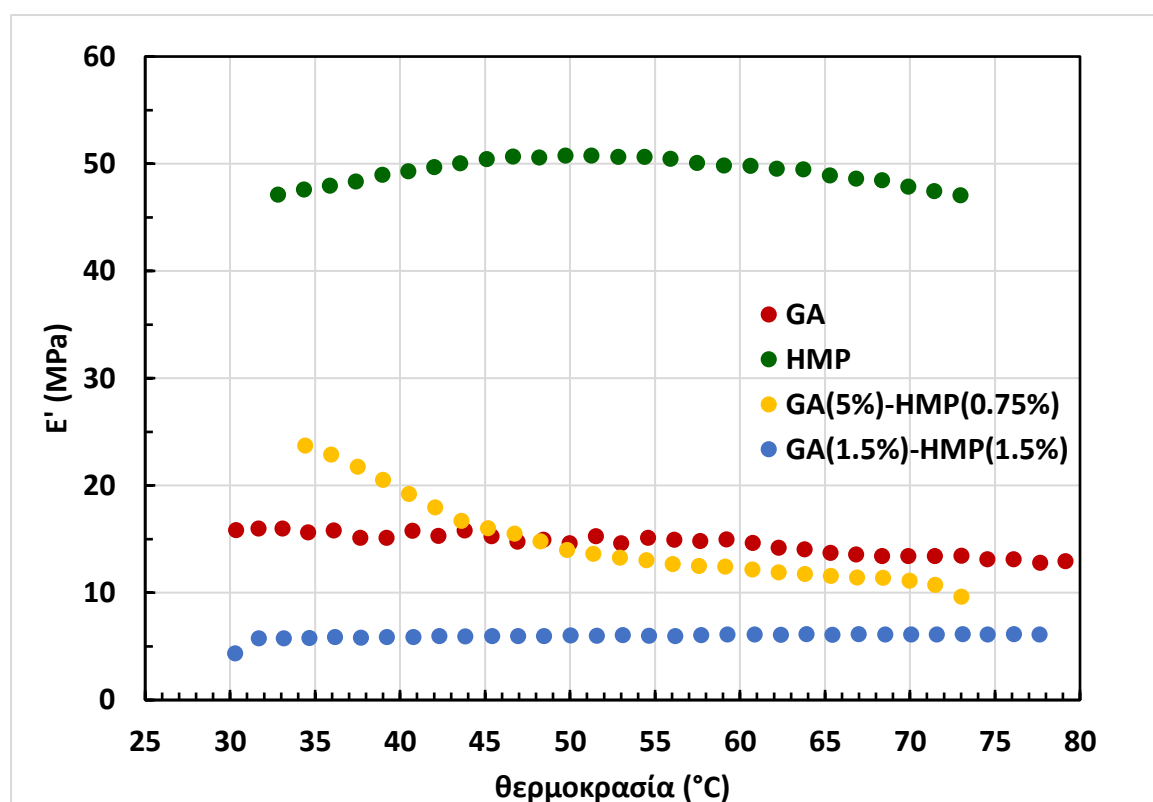
*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Τα δείγματα GA, GA(1,5%) - HMP(1,5%) και GA(5%) - HMP(0,75%) είναι στατιστικά όμοια και παρουσιάζουν την υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα (~91,36%). Άρα, τα δείγματα που περιέχουν αραβικό κόμμι παρουσιάζουν ελάχιστα υψηλότερη αντιοξειδωτική ικανότητα, σε σχέση με το δείγμα που έχει ως μοναδικό βιοπολυμερές την πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης. Σε παρόμοια συμπεράσματα ως προς το αραβικό κόμμι οδηγήθηκε κι άλλη έρευνα. Οι Xu, et al., (2019) ανέπτυξαν ενεργές μεμβράνες με βάση την χιτοζάνη (CS) και το αραβικό κόμμι (GA), ενσωματωμένα με αιθέριο έλαιο κανέλας και διερεύνησαν την επίδραση των αναλογιών CS/GA στη δομή και στις φυσικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες των μεμβρανών. Τα αποτελέσματά τους υπέδειξαν πως η αντιοξειδωτική δραστηριότητα επηρεάστηκε από την περιεκτικότητα σε αραβικό κόμμι και μάλιστα, αυξήθηκε σημαντικά όταν άλλαξε η αναλογία CS/GA από 1:0 σε 1:2 (Xu, et al., 2019).

Στην έρευνα των Yong, et al., (2019) που αναφέρθηκε και προηγουμένως, η αντιοξειδωτική ικανότητα των μεμβρανών χιτοζάνης ενισχύθηκε αξιοσημείωτα από τα εκχύλισμα μωβ και μαύρης μελιτζάνας, λόγω των περιεχόμενων ανθοκυανών, τεκμηριώνοντας έτσι την πιθανή εφαρμογή τους ως ενεργά αλλά και ως έξυπνα υλικά συσκευασίας τροφίμων. Στην παρούσα μελέτη, οι μεμβράνες παρουσίασαν επίσης πολύ υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα και άρα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ενεργά υλικά σε συσκευασίες τροφίμων.

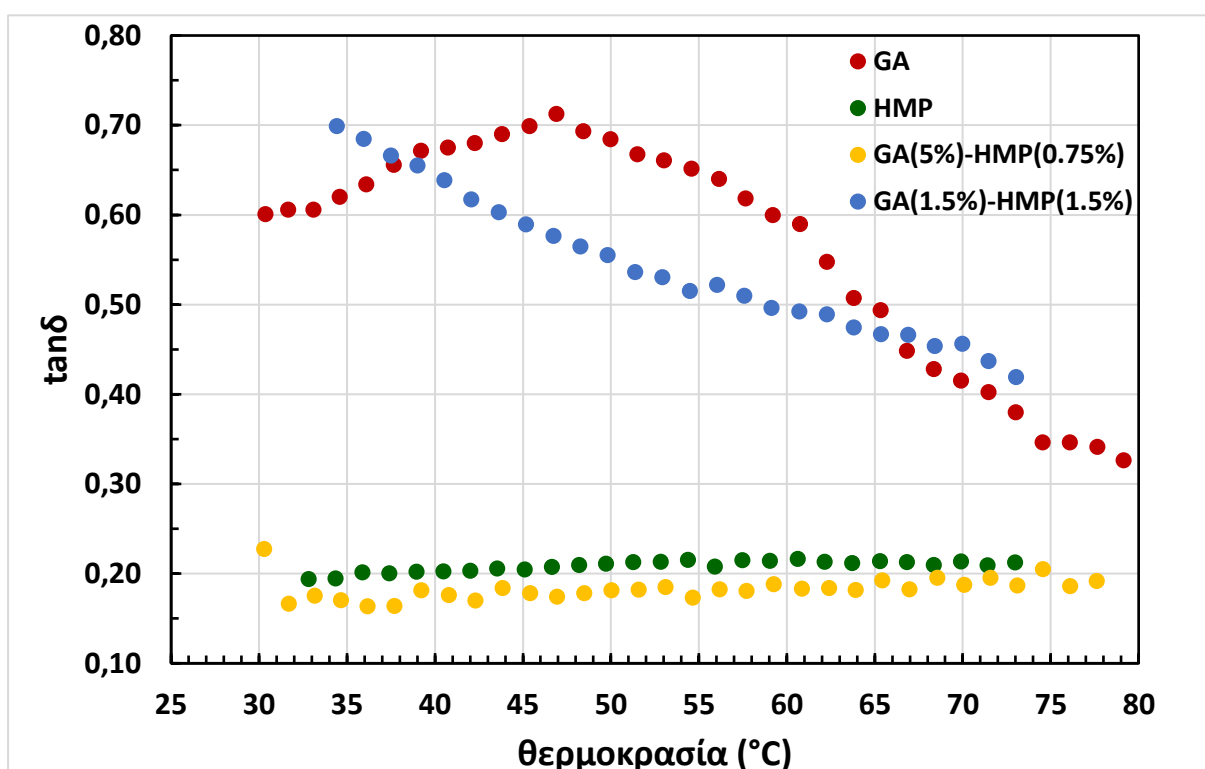
4.2.9. Δυναμική μηχανική ανάλυση

Για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των μεμβρανών στον δυναμικό μηχανικό αναλυτή, κατασκευάστηκαν καμπύλες συντελεστή αποθήκευσης (E') και συντελεστή απόσβεσης ($\tan\delta=E''/E'$) συναρτήσει της θερμοκρασίας, Γράφημα 2 και 3 αντίστοιχα.



Γράφημα 2 - Καμπύλη συντελεστή αποθήκευσης (E') συναρτήσει της θερμοκρασίας

Σύμφωνα με το Γράφημα 2, οι μεμβράνες διατηρούν τον ελαστικό τους χαρακτήρα κατά τη θέρμανση, με μόνη την μεμβράνη GA(5%) - HMP(0,75%) να δείχνει μια μείωση με τη θέρμανση. Στο σύνολο των μεμβρανών, την μεγαλύτερη τιμή του E' παρουσιάζει η HMP μεμβράνη ενώ την μικρότερη η GA(1,5%) - HMP(1,5%). Η GA(5%) - HMP(0,75%), για θερμοκρασίες μέχρι $\sim 48^\circ\text{C}$, παρουσιάζει υψηλές τιμές του E' , τις δεύτερες υψηλότερες μετά από αυτές της HMP. Όσον αφορά στο Γράφημα 3, παρατηρείται ότι οι HMP και GA(5%) - HMP(0,75%) μεμβράνες παρουσιάζουν χαμηλές τιμές της $\tan\delta$, το οποίο συμφωνεί με το Γράφημα 2 και τον ελαστικό τους χαρακτήρα. Οι άλλες δυο μεμβράνες παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές $\tan\delta$ με ταυτόχρονη κορυφή ($\sim 47^\circ\text{C}$, η GA μεμβράνη) ή συνεχή μείωση με τη θερμοκρασία [η GA(1,5%) - HMP(1,5%)], που σχετίζονται με αλλαγές στον χαρακτήρα του δικτύου της μεμβράνης.



Γράφημα 3 - Καμπύλη συντελεστή απόσβεσης ($\tan\delta$) συναρτήσει της θερμοκρασίας

5. Συμπεράσματα

Η βιομηχανία τροφίμων ήδη χρησιμοποιεί εδώδιμες μεμβράνες για πολλούς λόγους, αλλά τα τελευταία χρόνια οι έρευνες επικεντρώνονται στις έξυπνες και ενεργές συσκευασίες. Οι έξυπνες συσκευασίες, επιτρέπουν στον καταναλωτή να ελέγχει και να παρακολουθεί την ποιότητα και τη φρεσκάδα ενός προϊόντος, ενώ οι ενεργές αλληλεπιδρούν με το προϊόν, καθυστερώντας τη διαδικασία οξείδωσης, άρα και την αλλοίωση. Σε αυτόν τον σκοπό, συμβάλλουν οι ανθοκυάνες, οι οποίες είναι φυσικές χρωστικές ουσίες, με σημαντική αντιοξειδωτική δράση. Μπορούν να ενσωματωθούν σε εδώδιμες μεμβράνες για συσκευασίες τροφίμων και να αποτρέψουν την αλλοίωση των τροφίμων ή να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες pH για την παρακολούθηση της φρεσκάδας.

Στην παρούσα μελέτη δημιουργήθηκαν εδώδιμες μεμβράνες με αραβικό κόμμα ή/και πηκτική υψηλής μεθυλίωσης ως πολυσακχαρίτες, εμπλουτισμένες με εκχύλισμα ανθοκυανών από μελιτζάνες και στη συνέχεια εξετάστηκαν ως προς τις ιδιότητες τους. Οι μεμβράνες GA και GA(5%) - HMP(0,75%), είχαν μεγαλύτερο βάρος και πάχος από τις υπόλοιπες, ενώ όλες οι μεμβράνες παρουσίασαν στατιστικά ίδιες τιμές στην πυκνότητα και την υγρασία. Οι μεμβράνες διατήρησαν τον ελαστικό τους χαρακτήρα κατά τη θέρμανση, εκτός από την GA(5%) - HMP(0,75%), ενώ η HMP φάνηκε να είναι η πιο ελαστική.

Επιπροσθέτως, η θολερότητα ήταν μεγαλύτερη για το δείγμα GA και μικρότερη για τα δείγματα HMP και GA(5%) - HMP(0,75%), καθιστώντας έτσι τα δεύτερα καταλληλότερα για διάφανες συσκευασίες τροφίμων. Το χρώμα όλων των μεμβρανών ήταν παρόμοιο και αναμενόμενο με βάση το εκχύλισμα που χρησιμοποιήθηκε, με χαμηλές τιμές L^* (χαμηλή φωτεινότητα), θετικές τιμές για τις παραμέτρους a^* (επικράτηση κόκκινου) και b^* καθώς και χαμηλές τιμές για την παράμετρο hue (πορφυρή απόχρωση). Αξιοσημείωτη ήταν η διαφορά στις τιμές της παραμέτρου Chroma, που αποδεικνύει ότι η καθαρότητα του χρώματος αυξάνεται όσο μειώνεται η συγκέντρωση του αραβικού κόμματος.

Σχετικά με την ευαισθησία στο pH τόσο του εκχυλίσματος όσο και των μεμβρανών, οι μόνες αλλαγές που παρατηρήθηκαν ήταν το κόκκινο χρώμα σε pH 2, η

απουσία χρώματος σε $\text{pH}=4$ και το κίτρινο χρώμα σε $\text{pH}=12$. Έτσι, για τις συγκεκριμένες μεμβράνες απαιτούνται περισσότερες έρευνες, για να επιτευχθεί αλλαγή χρώματος στις ενδιάμεσες τιμές pH και να είναι κατάλληλες για έξυπνες συσκευασίες παρακολούθησης της αλλοίωσης των τροφίμων. Από την άλλη πλευρά, η αντιοξειδωτική ικανότητα όλων των μεμβρανών ήταν αρκετά υψηλή ώστε να καθιστά τα δείγματά μας ικανά να παρεμποδίσουν την οξείδωση των προϊόντων τροφίμων και την παράταση της διάρκειας ζωής τους.

Ως εκ τούτου, μελλοντικές έρευνες με περισσότερα δείγματα που θα επικεντρωθούν στη βελτίωση όλων των ιδιοτήτων των μεμβρανών και κατά κύριο λόγο στην ευαισθησία τους στο pH , μπορούν να διευρύνουν τις προοπτικές εφαρμογής τους σε διάφορα προϊόντα διατροφής.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andrade-Mahecha, Margarita M., Tapia-Blacido, Delia R. and Menegalli, Florencia C. 2012. Physical–chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica*L.) flour and starch from different geographical origin. 2012.

Benzie, Iris F.F. and Strain, J.J. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*. July 15, 1996, Vol. 239, 1, pp. 70-76.

Bhatt, Shubham, et al. 2022. Different aspects of polymers – A review article. *Materials Today Proceedings*. 2022, Vol. 64, 2.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 1995, Vol. 28, 1, pp. 25-30.

Calvete-Torre, Ines, et al. 2022. Prebiotic potential of apple pomace and pectins from different apple varieties: Modulatory effects on key target commensal microbial populations. *Food Hydrocolloids*. 2022, Vol. 133.

Chettri, Shristy, Sharma, Neha and Mohite, Ashish M. 2023. Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*. March 2023, 154, pp. 213-632.

Das, Dipak, et al. 2022. Improvement in properties of edible film through non-thermal treatments and nanocomposite materials: A review. *Food Packaging and Shelf Life*. June 2022, 32.

FAOSTAT. 2020. Food and Agriculture Organization of United States. [Ηλεκτρονικό] 2020. <https://www.fao.org/faostat/en>.

Huang, Dejian, Ou, Boxin and Prior, Ronald L. 2005. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *J Agric Food Chem*. Mar 23, 2005, Vol. 53, 6.

Jung, Eun-Ju, et al. 2011. Antioxidant activity of different parts of eggplant. *Journal of Medicinal Plants Research*. September 16, 2011, Vol. 5, 18, pp. 4610-4615.

Kerio, L.C., et al. 2013. Total polyphenols, catechin profiles and antioxidant activity of tea products from purple leaf coloured tea cultivars. *Food Chemistry*. February 15, 2013, Vol. 136, 3-4, pp. 1405-1413.

Khalid, Muhammad Yasir and Arif, Zia Ullah. 2022. Novel biopolymer-based sustainable composites for food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*. September 2022, Vol. 33.

Kim, Sujin, Baek, Su-Kyoung and Song, Kyung Bin. 2018. Physical and antioxidant properties of alginate films prepared from Sargassum fulvellum with black chokeberry extract. *Food Packaging and Shelf Life*. December 2018, 18, pp. 157-163.

MacGregor, E Ann. 2003. Biopolymers. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. 2003, pp. 207-245.

Martens, Stefan and Mithöfer, Axel. 2005. Flavones and flavone synthases. *Phytochemistry*. October 2005, Vol. 66, 20, pp. 2399-2407.

Matloob, Anam, et al. 2023. A Review on Edible Coatings and Films: Advances, Composition, Production Methods, and Safety Concerns. Aug 15, 2023, Vol. 8, 32, pp. 28932–28944.

Montenegro, Mariana A., et al. 2012. Gum Arabic: More Than an Edible Emulsifier. [book auth.] Dr. Johan Verbeek. *Products and Applications of Biopolymers*. 2012.

Narayanan, Gopika Puthussery, et al. 2023. Fabrication Of Butterfly Pea Flower Anthocyanin-Incorporated Colorimetric Indicator Film Based On Gelatin/Pectin For Monitoring Fish Freshness. *Food Hydrocolloids for Health*. 2023, Vol. 4.

Noda, Yasuko, et al. 2000. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels. *Toxicology*. August 7, 2000, Vol. 148, 2-3, pp. 119-123.

Ongkowijoyo, Paulina, Luna-Vital, Diego A and Mejia, Elvira Gonzalez de. 2018. Extraction techniques and analysis of anthocyanins from food sources by mass spectrometry: An update. *Food Chemistry*. Jun 1, 2018, 250, pp. 113-126.

Qiu, Liqing, et al. 2023. Fabrication of sodium alginate/apricot peel pectin films incorporated with rose anthocyanin-rich extract for monitoring grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) freshness. *Food Packaging and Shelf Life*. 2023, 39.

Roy, Swarup, et al. 2023. Agar-based edible films and food packaging application: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*. November 2023, 141, pp. 104-198.

Sudheesh, S, et al. 1999. Antioxidant activity of flavonoids from *Solanum melongena*. *Phytother Res*. Aug 13, 1999, Vol. 13, 5, pp. 393–396.

Suhag, Rajat, et al. 2020. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*. October 2020, 136.

USDA. United States Department of Agriculture. *USDA Nutrient Database*. [Online] <https://plants.usda.gov>.

Verma, Chandrabhan and Quraishi, M.A. 2021. Gum Arabic as an environmentally sustainable polymeric anticorrosive material: Recent progresses and future opportunities. *International Journal of Biological Macromolecules*. August 1, 2021, Vol. 184, pp. 118-134.

Xu, Tian, et al. 2019. Structure, physical and antioxidant properties of chitosan-gum arabic edible films incorporated with cinnamon essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*. August 2019, 134, pp. 230-236.

Yong, Huimin, et al. 2019. Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*. 2019, 94.

Zeng, Fansen, et al. 2023. Intelligent pH indicator composite film based on pectin/chitosan incorporated with black rice anthocyanins for meat freshness monitoring. *Food Chemistry: X*. March 30, 2023, 17.

EK/450. 2009. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ αριθ. 450/2009 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 29ης Μαΐου 2009 σχετικά με τα ενεργά και νοήμονα υλικά και αντικείμενα που προορίζονται να έλθουν σε επαφή με τρόφιμα. s.l. : Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 2009.

Ευαγγελίου, Β. 2020. Βιοπολυμερή (ή Υδροκολλοειδή) Τροφίμων. Αθήνα : Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου, 2020.

Μπακογιάννη, Αικατερίνη. 2016. Ανάλυση καρπών διαφόρων γενοτύπων του φυτού *Solanum melongena* L. ως προς την περιεκτικότητα σε δευτερογενείς μεταβολίτες και τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πάτρα : s.n., 2016. Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία.

Σφλώμος, Κωνσταντίνος. 2019. Διατροφή του Ανθρώπου. 2η . Αθήνα : Εκδόσεις Τσότρας, 2019.

— . **2017.** Χημεία Τροφίμων. Αθήνα : Εκδόσεις ΝΟΤΑ, 2017.