



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

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εφαρμογή πολυσακχαριτών στην ενθυλάκωση εκχυλίσματος
από φλούδες μελιτζάνας πλούσιου σε ανθοκυάνες



Μαρία Ελένη Γ. Κωστοπούλου

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

Εφαρμογή πολυσακχαριτών στην ενθυλάκωση εκχυλίσματος
από φλούδες μελιτζάνας πλούσιου σε ανθοκυάνες

"Application of polysaccharides in the encapsulation
of anthocyanin-rich eggplant peel extract"

Μαρία Ελένη Γ. Κωστοπούλου

Εξεταστική Επιτροπή:

Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Γαρδέλη Χρυσανγή, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Μαντάλα Ιωάννα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Εφαρμογή πολυσακχαριτών στην ενθυλάκωση εκχυλίσματος από φλούδες μελιτζάνας πλούσιου σε ανθοκυάνες

ΠΜΣ Τρόφιμα, Διατροφή & Υγεία

Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου

Εργαστήριο Χημείας & Ανάλυσης Τροφίμων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μια διεθνής τάση προς την προτίμηση φυσικών χρωστικών αντί των συνθετικών στη βιομηχανία τροφίμων. Η επιστημονική κοινότητα έχει εκδηλώσει έντονο ενδιαφέρον για τις ανθοκυάνες, καθώς αναγνωρίζονται για τον σημαντικό ρόλο τους στη διατροφή και την υγεία.

Οι ανθοκυάνες αποτελούν τη μεγαλύτερη και σημαντικότερη ομάδα υδατοδιαλυτών χρωστικών στη φύση και είναι υπεύθυνες για το χρώμα πολλών φρούτων και λαχανικών. Εκτός από την ενίσχυση του χρώματος, οι ανθοκυάνες προσφέρουν σημαντικά θρεπτικά οφέλη, όπως η μείωση της αρτηριακής πίεσης και η πρόληψη του διαβήτη. Παρόλα αυτά, η χαμηλή σταθερότητά τους κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση αποτελεί πρόκληση για την ενσωμάτωσή τους στα τρόφιμα. Αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη προκειμένου να αξιοποιηθούν στο έπακρο οι δυνατότητές τους σε αυτόν τον τομέα. Μια τέτοια προσέγγιση αποτελεί η ενθυλάκωση.

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε η απομόνωση των ανθοκυανών από μελιτζάνες και στη συνέχεια η ενθυλάκωση του εκχυλίσματος σε συστήματα πολυσακχαριτών και πιο συγκεκριμένα σε συστήματα με αραβικό κόμμι, τόσο μόνο του όσο και σε συνδυασμό με πηκτίνη χαμηλής ή υψηλής μεθυλίωσης. Από τις σκόνες που προέκυψαν, αξιολογήθηκαν η αντιοξειδωτική τους ικανότητα μέσω της μεθόδου DPPH και το συνολικό φαινολικό τους περιεχόμενο μέσω της μεθόδου Folin – Ciocalteu. Επιπλέον, αξιολογήθηκε μια σειρά ιδιοτήτων όπως οι φυσικοχημικές και οι οπτικές. Σε ένα δεύτερο στάδιο, οι σκόνες προστέθηκαν σε πηκτές ζελατίνης και μελετήθηκε η επίδραση της παρουσίας τους στο χρώμα και οι αντιοξειδωτικές ικανότητές τους.

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, διαπιστώθηκε υψηλή απόδοση ενθυλάκωσης ανθοκυανών (88,25%) καθώς και υψηλό φαινολικό περιεχόμενο στο εκχύλισμα ανθοκυανών (0,243 mg GAE/0.5 mL). Όσο αφορά τις σκόνες, είχαν μέτρια αντιοξειδωτική δράση (~ 40%) και χαμηλό φαινολικό περιεχόμενο (0,109 mg GAE/0.5 mL). Επιπλέον, φάνηκε πως ο τύπος του βιοπολυμερούς παίζει σημαντικό ρόλο για όλες τις ιδιότητες, αφού η παρουσία διαφορετικών βιοπολυμερών και οι συνδυασμοί τους επηρέασαν τις μετρήσεις με διαφορετικό τρόπο. Τέλος, η ενσωμάτωση των σκονών σε πηκτές ζελατίνης είχε θετικά αποτελέσματα στην αντιοξειδωτική δράση, υπερβαίνοντας αυτήν των σκονών. Ωστόσο, ταυτόχρονα, η εν λόγω διαδικασία δεν είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα σε

σχέση με το χρώμα, καθώς οι περισσότερες πηκτές ήταν λιγότερο φωτεινές και λιγότερο κόκκινες σε σύγκριση με τις σκόρες.

Επιστημονική περιοχή: Χημεία τροφίμων

Λέξεις κλειδιά: Ανθοκυάνες, μελιτζάνα, αραβικό κόμμι, πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης, πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης

Application of polysaccharides in the encapsulation of anthocyanin-rich eggplant peel extract

MSc Food, Nutrition & Health

Department of Food Science & Human Nutrition

Laboratory of Food Chemistry & Analysis

ABSTRACT

In recent years, there has been a global trend towards preferring natural colorants over synthetic ones in the food industry. The scientific community has shown strong interest in anthocyanins due to their recognized role in nutrition and health.

Anthocyanins constitute the largest and most important group of water-soluble pigments in nature and are responsible for the color of many fruits and vegetables. In addition to enhancing color, anthocyanins offer significant nutritional benefits, such as reducing blood pressure and preventing diabetes. However, their low stability during processing and storage poses a challenge for their incorporation into foods. This highlights the need for further research and development to fully leverage their potential in this field. Encapsulation is considered a good approach for overcoming this obstacle.

In this study, the isolation of anthocyanins from eggplants was investigated, followed by encapsulation of the extract in polysaccharides' systems. Gum Arabic, on its own or in mixtures with low or high methoxyl pectin was used. The resulting powders were evaluated for their antioxidant capacity using the DPPH method and their total phenolic content using the Folin-Ciocalteu method. Additionally, a range of properties such as physicochemical and optical properties were assessed. In a second stage, the powders were added to gelatin gels, and the effect of their presence on color and antioxidant capacities was studied.

From the results of the present study, a high encapsulation efficiency of anthocyanins (88.25%) was observed, along with a high phenolic content in the anthocyanin extract (0.243 mg GAE/0.5 mL). Regarding the powders, they exhibited moderate antioxidant activity (~40%) and low phenolic content (0.109 mg GAE/0.5 mL). Furthermore, it became apparent that the type of biopolymer plays a significant role in all properties, as the presence of different biopolymers and their combinations affected the measurements in different ways. Finally, the incorporation of powders into gelatin gels had positive effects on antioxidant activity, surpassing that of powders. However, simultaneously, this process did not yield the desired results in terms of color, as most gels were less bright and less red compared to the powders.

Scientific area: Food Chemistry

Keywords: Anthocyanins, eggplant, gum arabic, high methoxyl pectin, low methoxyl pectin

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου μελέτης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση της.

Καταρχήν, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής διατριβής μου κ. Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την πολύτιμη βοήθεια της καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, την επιστημονική της καθοδήγηση, την επιμονή της, τη συμπαράσταση της καθώς και το αμείωτο ενδιαφέρον της. Επιπλέον, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στην Επίκουρη Καθηγήτρια Γαρδέλη Χρυσανγή και στην Καθηγήτρια Μαντάλα Ιωάννα που απαρτίζουν την επιτροπή εξέτασης της διατριβής μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου για την αμέτρητη συμπαράσταση, βοήθεια και κατανόηση που έδειξε σε όλο αυτό τον δρόμο των σπουδών μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	8
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
I.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ	11
1.1ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	11
1.2 ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ.....	13
1.3ΠΗΚΤΙΝΕΣ	14
1.3.1 ΕΙΔΗ ΠΗΚΤΙΝΩΝ.....	15
1.3.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΗΚΤΙΝΩΝ.....	17
1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....	18
1.5 ΑΡΑΒΙΚΟ ΚΟΜΜΙ	20
1.5.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΡΑΒΙΚΟΥ ΚΟΜΜΕΟΣ.....	20
1.5.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΡΑΒΙΚΟΥ ΚΟΜΜΕΟΣ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ	22
2.1 ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ	22
2.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ.....	22
2.1.2 ΕΔΑΦΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ	23
2.1.3 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ.....	23
2.2 ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΕΣ	24
2.2.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ	25
2.2.2 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ	26
2.2.3 ΟΦΕΛΗ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ.....	26
2.2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΗΣ.....	27
II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	28
1.ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	28
2.ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ, ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΚΕΥΗ.....	28
2.1.ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ.....	28
2.2.ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΚΕΥΗ	29
3.ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΩΝ.....	30
3.1 ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΩΝ	30
3.1.1. ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΩΝ.....	31

3.1.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΝΘΟΚΥΑΝΕΣ (ΤΑC)	31
3.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΟΝΩΝ	32
3.2.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗΣ	32
3.2.2 ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FOLIN-CIOCALTEAU	33
3.2.3 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΚΟΝΩΝ	34
3.2.4 ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ	34
3.2.5 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	35
3.2.6 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	35
3.2.7 ΧΡΩΜΑ	36
3.2.8 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΟΗΣ	36
3.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΠΗΚΤΩΝ	38
3.3.1 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΗΚΤΩΝ	38
3.3.2 ΧΡΩΜΑ ΠΗΚΤΩΝ	39
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	40
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	47
6.ΒΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Διατροφική αξία της μελιτζάνας (ανά 100g νωπού προϊόντος)	24
Πίνακας 2: Κατηγοροποίηση της ρευστότητας και της συνεκτικότητας των δειγμάτων σκόνης βάσει του δείκτη Carr και της αναλογίας Hausner αντίστοιχα	38
Πίνακας 3: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο (TPC) εκχυλίσματος ανθοκυανών και περιεχόμενο ανθοκυανών (TAC).....	40
<i>Πίνακας 4: Απόδοση ενθυλάκωσης ανθοκυανών</i>	40
Πίνακας 5: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες.....	41
Πίνακας 6: Αντιοξειδωτική ικανότητα σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες	41
Πίνακας 7: Διαλυτότητα σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες	41
Πίνακας 8: Υγρασία σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες.....	42
Πίνακας 9: Ικανότητα διαβροχής σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες	42
Πίνακας 10: Τιμές χρωματικών παραμέτρων L*, a*, b*, C* και h* σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες	43
Πίνακας 11: Φαινόμενη πυκνότητα (Bulk density), πυκνότητα στοιβάσεως (Tapped density), ρευστότητα (CI) και συνεκτικότητα (HR) σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες.....	44
Πίνακας 12: Πυκνότητα σωματιδίων (Particle density) και πορώδες σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες ...	44
Πίνακας 13: Αντιοξειδωτική ικανότητα πηκτών ζελατίνης που περιέχουν ανθοκυάνες	45
Πίνακας 14: Τιμές χρωματικών παραμέτρων L*, a*, b*, C* και h* πηκτών ζελατίνης που περιέχουν ανθοκυάνες.....	45

I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Τα πολυμερή είναι πολύ μεγάλα μόρια που αποτελούνται από πολλές επαναλαμβανόμενες υπομονάδες συνδεδεμένες μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Με άλλα λόγια, δημιουργούνται από τον πολυμερισμό πολλών μικρών μορίων που ονομάζονται μονομερή. Η μεγάλη μοριακή τους μάζα συγκριτικά με τις μικρομοριακές ενώσεις δημιουργούν μοναδικές φυσικές ιδιότητες (Baranwal et al. 2022).

Το μονομερές που επαναλαμβάνεται σε όλη τη δομή του πολυμερούς ονομάζεται επαναλαμβανόμενη δομική μονάδα. Έστω -R- η δομική μονάδα, τότε η δομή του πολυμερούς θα παρουσιάζεται με την εξής γενική μορφή: -R-R-R-R-R-R-R-R- ή $(-R-)_n$. Ο αριθμός των επαναλήψεων (n) ονομάζεται βαθμός πολυμερισμού DP (degree of polymerization) και έχει σχέση με το μοριακό βάρος του πολυμερούς και το μήκος της μοριακής αλυσίδας, με αποτέλεσμα να επηρεάζει τόσο τις φυσικές, όσο και τις μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών (Carothers H. 1929).

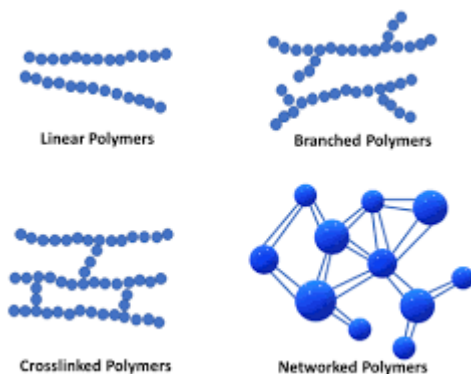
Τα πολυμερή μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις διαφορετικές ιδιότητες τους, οι οποίες περιλαμβάνουν την πηγή προέλευσης, τη δομή και το είδος των δομικών μονάδων.

A) Ταξινόμηση βάσει της προέλευσης

- **Φυσικά Πολυμερή:** Πολυμερή που λαμβάνονται απευθείας από τη φύση και υπάρχουν σε φυσικές πηγές όπως τα φυτά και τα ζώα (κυτταρίνη, φυσικό καουτσούκ) (Caillol S. 2020).
- **Ημισυνθετικά πολυμερή:** Πολυμερή που λαμβάνονται τεχνητά σε εργαστήριο τροποποιώντας τα φυσικά πολυμερή. Τα ημισυνθετικά πολυμερή σχηματίζονται μέσω μιας τεχνητής χημικής επεξεργασίας είτε για να ενισχύσουν είτε για να μειώσουν ορισμένες ιδιότητες τους (οξική κυτταρίνη, νιτροκυτταρίνη).
- **Συνθετικά πολυμερή:** Πολυμερή που δημιουργούνται τεχνητά σε ένα εργαστήριο. Τα συνθετικά πολυμερή λαμβάνονται από χημικές διεργασίες και υποβάλλονται σε επεξεργασία προκειμένου να αποκτήσουν επιθυμητές ιδιότητες ώστε να χρησιμοποιηθούν για τις ανθρώπινες ανάγκες (νάιλον, τεφλόν, πολυαιθυλένιο). Επομένως, τα συνθετικά πολυμερή είναι χημικά πιο ισχυρά από τα φυσικά (Mitura et al. 2020).

B) Ταξινόμηση βάσει τη δομή ενός πολυμερούς

- **Γραμμικά πολυμερή (Linear polymers)** : Κατασκευάζονται με τη χρήση ευθειών και μακριών αλυσίδων μονομερών (Εικόνα 1). Για παράδειγμα, πολυεστέρας, νάιλον, τεφλόν κ.λπ.
- **Πολυμερή Διακλαδισμένης Αλυσίδας (Branched Polymers):** Αυτά είναι πολυμερή που σχηματίζονται από γραμμικά πολυμερή όταν διαιρούνται σε διαφορετικούς κλάδους (Εικόνα 1). Για παράδειγμα, πολυαιθυλένιο, γλυκογόνο, άμυλο κ.λπ.
- **Πολυμερή με σταυροειδείς δεσμούς ή δικτυακά πολυμερή (Crosslinked/ networked Polymers):** Αυτά τα πολυμερή σχηματίζονται με την ένωση δύο γραμμικών πολυμερών μέσω ισχυρών ομοιοπολικών δεσμών (Εικόνα 1). Για παράδειγμα, υαλοβάμβακας, κόλλες και πολυεστέρας.



Εικόνα 1: Ταξινόμηση πολυμερών βάσει της πολυμερικής αλυσίδας (Πηγή: Google.gr).

Γ) Ταξινόμηση βάσει του είδους των δομικών μονάδων

- **Ομοπολυμερή (homopolymers):** Ομοπολυμερή ονομάζονται τα πολυμερή που αποτελούνται μόνο από ένα είδος δομικής μονάδας.
- **Συμπολυμερή (copolymers):** Συμπολυμερή ονομάζονται τα πολυμερή που έχουν προέλθει από δύο ή περισσότερα διαφορετικά μονομερή.

1.2 ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ

Τα βιοπολυμερή είναι τα πολυμερή που παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς. Με άλλα λόγια, είναι μεγάλα μακρομόρια που αποτελούνται από πολλές επαναλαμβανόμενες μονάδες που συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό. Τα βιοπολυμερή παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές τροφίμων και παράλληλα επεκτείνουν τη χρήση τους τόσο στη φαρμακευτική όσο και στην ιατρική βιομηχανία λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους. Στις ιδιότητές αυτές περιλαμβάνονται η ενυδάτωση και η ικανότητα συγκράτησης του νερού, το ιξώδες, η πήξη και η ικανότητα να δρουν ως γαλακτωματοποιητές ή αφριστικοί παράγοντες (Baranwal et al., 2022). Η δράση των βιοπολυμερών ως γαλακτωματοποιητές στα τρόφιμα βελτιώνει το χρώμα, τη γεύση ή την υφή τους. Υπάρχουν πολλές προοπτικές των βιοπολυμερών ως γαλακτωματοποιητές σε διάφορες τεχνολογίες τόσο στα τρόφιμα όσο και στα φαρμακευτικά προϊόντα καθώς και σε πολλούς άλλους τομείς όπως η παραγωγή βιοκαυσίμων, η παραγωγή βιοχημικών λιπασμάτων και η παραγωγή βιοδιασπώμενων πλαστικών προϊόντων. Όλα αυτά συμβάλλουν στη διατήρηση του κύκλου ζωής του άνθρακα, στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος καθώς και ολόκληρης της Γης (Tamang et al. 2022).

Οι βιομηχανίες τροφίμων εστιάζουν το ενδιαφέρον τους σε δύο σημαντικές κατηγορίες βιοπολυμερών, τις πρωτεΐνες και τους πολυσακχαρίτες. Οι πρωτεΐνες είναι πολυμερή αμινοξέων που ενώνονται με πεπτιδικό δεσμό, βρίσκονται σε φυτικούς και ζωικούς ιστούς και σχηματίζονται από την ένωση 20 τύπων αμινοξέων (Runnels et al 2018). Η θερμοκρασία και το pH είναι δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη δομική σταθερότητα των πρωτεϊνών. Οι πολυσακχαρίτες προκύπτουν από την ένωση περισσότερων από 10 μονοσακχαριτών με γλυκοσιδικό δεσμό και αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας στη φύση (Baranwal et al., 2022). Οι πρωτεΐνες και οι πολυσακχαρίτες παίζουν σημαντικό ρόλο ως παράγοντες ενθυλάκωσης διότι προστατεύουν ευαίσθητα στοιχεία από επιβλαβείς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το οξυγόνο, η θερμοκρασία, το pH και η υγρασία. Επιπλέον, αποτρέπουν τις δυσάρεστες οσμές και γεύσεις (Tamang et al. 2022).

Τα βιοπολυμερή έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας λόγω των εντυπωσιακών χαρακτηριστικών τους. Κυρίως οι πολυσακχαρίτες έχουν μελετηθεί ευρέως καθώς έχουν υψηλό μοριακό βάρος και είναι σχετικά εύκαμπτοι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο στο διάλυμα, το οποίο σημαίνει ότι συμβάλλουν σημαντικά στο ιξώδες του διαλύματος. Γενικά, οι πολυσακχαρίτες είναι διαθέσιμοι σε μεγάλες ποσότητες συγκριτικά με τις περισσότερες πρωτεΐνες, και τρεις από αυτούς (η κυτταρίνη, το άμυλο και η χιτίνη) είναι από τα πιο κοινά υλικά στη βιοσφαίρα (Picout et al.2003).

1.3 ΠΗΚΤΙΝΕΣ

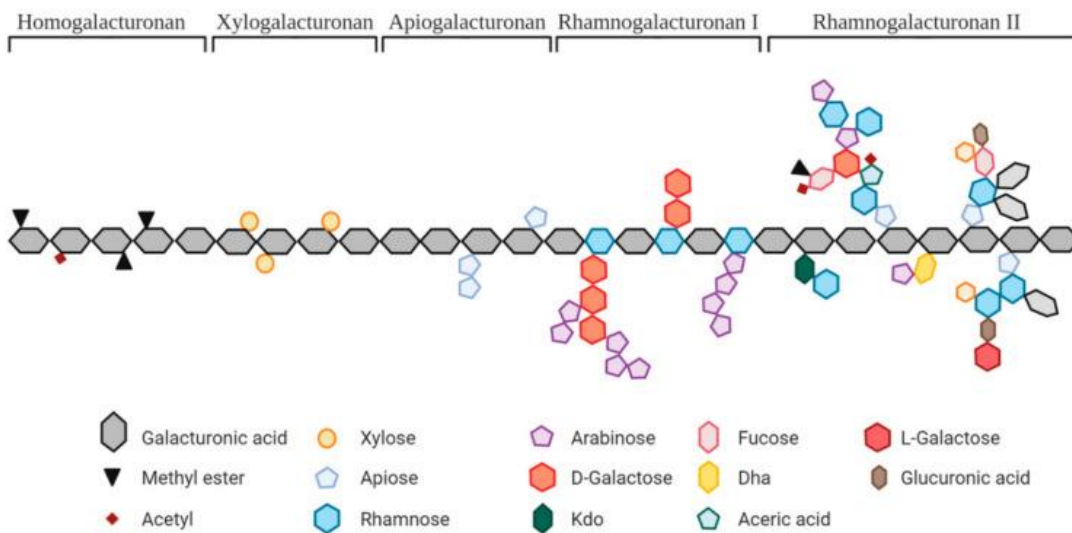
Οι πηκτίνες είναι ετεροπολυσακχαρίτες που βρίσκονται στο κυτταρικό τοίχωμα των φυτών (Pascale et al., 2022). Οι πηκτίνες αποτελούνται από 200 έως 1000 μονάδες α-D-γαλακτουρονικού οξέος, ενωμένες με α-1,4-γλυκοζιτικούς δεσμούς, ενώ ταυτόχρονα διαθέτουν πλευρικές αλυσίδες αποτελούμενες από ουδέτερα σάκχαρα όπως η γαλακτόζη, η αραβινόζη ή ξυλόζη και άλλους υποκαταστάτες όπως μεθανόλη, οξικό οξύ και αμινικές ομάδες. (Lara-Espinoza et al., 2018). Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά όπως το pH, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση ιόντων και η παρουσία συνδιαλυμένης ουσίας, επηρεάζουν την ικανότητα πηκτωματοποίησης των πηκτινών. Η σύνθεση των πηκτινών ποικίλει ανάλογα με την πηγή προέλευσης τους και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η πηκτίνη χρησιμοποιείται ευρέως ως πρόσθετο τροφίμων και η χημική της δομή εξαρτάται από τη βοτανική της προέλευση. Οι τρεις βασικές δομές που συμμετέχουν στη μοριακή διαμόρφωση της πηκτίνης είναι η ομογαλακτουρόνη (HG), η ραμνογαλακτουρονάνη I (RGI) καθώς και η ραμνογαλακτουρονάνη II (RGII) (Εικόνα 2).

Η ομογαλακτουρόνη (HG), που αλλιώς ονομάζεται «λεία περιοχή», είναι η πιο άφθονη περιοχή αφού καταλαμβάνει περίπου το 60%. Αποτελείται από ένα γραμμικό πολυμερές του D-γαλακτουρονικού οξέος με α-(1-4) δεσμούς.

Η ραμνογαλακτουρονάνη I (RGI), που αλλιώς ονομάζεται «τριχωτή περιοχή», αποτελείται από μια ραχοκοκαλιά από επαναλαμβανόμενους δισακχαρίτες που βασίζονται σε μονάδες γαλακτουρονικού οξέος (GalA) και ραμνόζης. Οι περιοχές RGI καταλαμβάνουν περίπου το 15-20% των μορίων πηκτίνης και είναι πολύ διακλαδισμένες δομές με ουδέτερα σάκχαρα, κυρίως αραβινόζη και γαλακτόζη. Το RGI συναντάται συχνά στα καρότα, τις μπάμιες, τις ντομάτες και τις πατάτες.

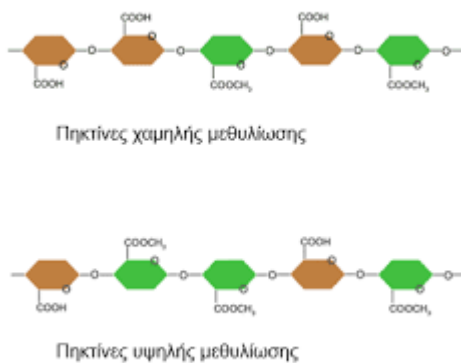
Η ραμνογαλακτουρόνη II (RGII) διαθέτει μια πολύπλοκη διακλαδισμένη δομή που αποτελείται από μια ραχοκοκαλιά HG διακλαδισμένη με L-ραμνόζη, D-γαλακτόζη και άλλα δευτερεύοντα σάκχαρα. Ο RGII αντιπροσωπεύει συνήθως το 10% της πηκτίνης και θεωρείται ως ο πιο πολύπλοκος πολυσακχαρίτης (Pascale et al., 2022).



Εικόνα 2: Δομή της πηκτίνης (Πνευματικά δικαιώματα: Creative Commons—Attribution 4.0 International—CC BY 4.0.).

1.3.1 ΕΙΔΗ ΠΗΚΤΙΝΩΝ

Οι πηκτίνες ταξινομούνται με βάση το βαθμό εστεροποίησης ή βαθμό υποκατάστασης από μεθανόλη (DE ή DM), δηλαδή το ποσοστό των σακχάρων που έχουν εστεροποιηθεί με μεθανόλη. Συνεπώς, οι πηκτίνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τις πηκτίνες υψηλής μεθυλίωσης και τις πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης (Εικόνα 3). Ακόμα, υπάρχουν οι πρωτοπηκτίνες, δηλαδή η μητρική μη υδατοδιαλυτή πηκτινική ουσία που συναντάται στη μεσοκυττάρια στοιβάδα των φυτών. (Pascalle et al., 2022).



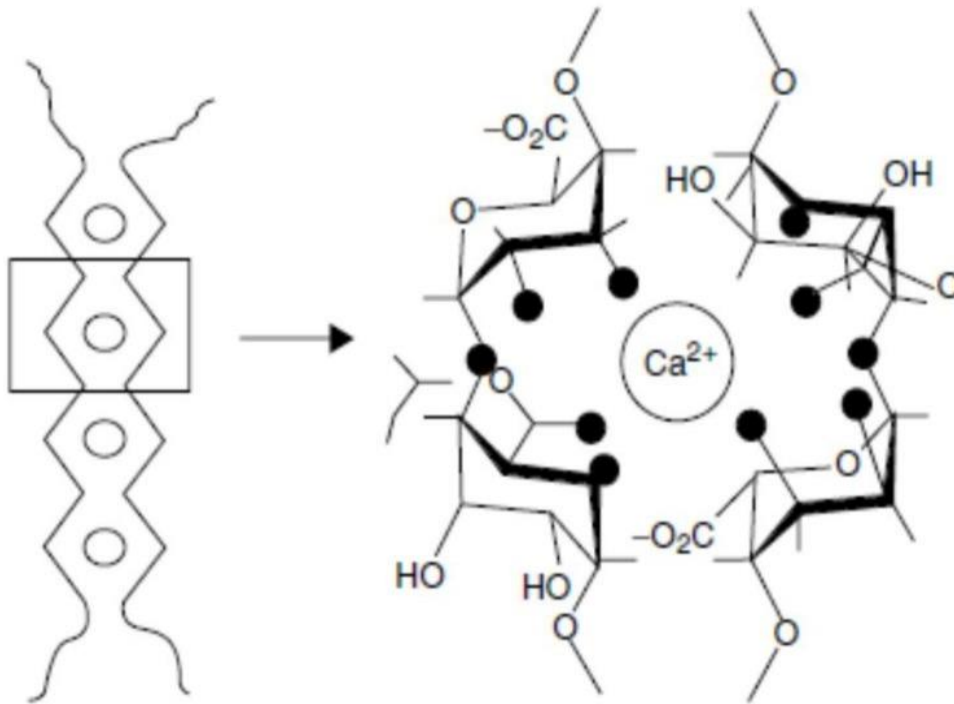
Εικόνα 3: Πηκτίνες υψηλής και χαμηλής μεθυλίωσης (Πηγή: Google.gr)

- **Πηκτίνες υψηλής μεθυλίωσης (High Methoxy Pectins, HM):** Ο βαθμός εστεροποίησης αυτής της κατηγορίας κυμαίνεται συνήθως από 50 έως 80%. Για τον σχηματισμό πηκτών απαιτούνται ειδικές συνθήκες όπως χαμηλό pH (2,8-3,5) και παρουσία διαλυτών στερεών κυρίως σακχαρόζη (55-75%). Η λειτουργία των σακχάρων στο σχηματισμό πηκτών είναι η μείωση της δραστηριότητας του νερού ώστε να σταθεροποιηθούν οι ζώνες διασταύρωσης προάγοντας με αυτό τον τρόπο τις υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις. Η επίδραση των σακχάρων εξαρτάται τόσο από τη μοριακή γεωμετρία του σακχάρου όσο και από τις αλληλεπιδράσεις με τα γειτονικά μόρια του νερού. Οι πηκτές δημιουργούνται με ψύξη και είναι μη αντιστρεπτές (Lara-Espinoza et al., 2018).

Ανάλογα με τον ρυθμό με τον οποίο σχηματίζονται οι πηκτές, οι πηκτίνες υψηλής μεθυλίωσης διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- **Βραδείας πήξης:** ο βαθμός εστεροποίησης κυμαίνεται από 50 έως 60% και για τον σχηματισμό πηκτής απαιτείται θερμοκρασία δωματίου (25-30°C).
 - **Μεσαίας πήξης:** ο βαθμός εστεροποίησης κυμαίνεται από 61 έως 69% και για τον σχηματισμό πηκτής απαιτείται υψηλή θερμοκρασία (~85°C) παρουσία οξέος και σακχάρου.
 - **Ταχείας πήξεως:** ο βαθμός εστεροποίησης κυμαίνεται από 71 έως 90% και πήζουν μόνο παρουσία σακχάρου, με ταυτόχρονη απομάκρυνση νερού.
- **Πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης (Low Methoxy Pectins, LM):** Στις πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης, λιγότερο από το 50% των συνολικών καρβοξυλομάδων είναι εστεροποιημένες. Αυτή η κατηγορία, είναι χημικά πιο σταθερή στην υγρασία και στη θερμότητα καθώς και πιο ανθεκτική στο pH από τις πηκτίνες υψηλής μεθυλίωσης. Έχουν ένα ευρύ φάσμα pH 2,5-6,5. Απαραίτητη για την πήξη τους είναι η παρουσία δισθενών κατιόντων όπως το Ca^{2+} . Αν και δεν είναι αναγκαία η παρουσία σακχάρων για την πήξη πηκτινών χαμηλής μεθυλίωσης, μικρές ποσότητες ζάχαρης γύρω στο 10-20% έχουν την τάση να προσδίδουν την επιθυμητή σταθερότητα. Τέλος, οι πηκτές δημιουργούνται με ψύξη και είναι θερμικά αντιστρεπτές (Lara-Espinoza et al., 2018).

Οι πηκτίνες χαμηλής μεθυλίωσης πήζουν σύμφωνα με το λεγόμενο μοντέλο «egg-box» (Εικόνα 4), όπου μπορούν να σχηματίσουν σταθερά σύμπλοκα με δισθενή κατιόντα, συνηθέστερα με ασβέστιο (Mravec et al. 2017).



Εικόνα 4: Δομή της πηκτικής χαμηλής μεθυλίωσης που ονομάζεται μοντέλο «egg-box» (Lara-Espinoza et al., 2018).

1.3.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΗΚΤΙΝΩΝ

Η πηκτίνη χρησιμοποιείται ευρέως στις βιομηχανίες τροφίμων. Κατέχει σημαντική θέση στην παρασκευή μαρμελάδας και ζελέ καθώς και σε τρόφιμα χαμηλών θερμίδων ως υποκατάστατο ζάχαρης (Thakur et al., 2009). Ακόμη, χρησιμοποιείται ως γαλακτωματοποιητής ή σταθεροποιητικός παράγοντας σε προϊόντα γάλακτος (γιαούρτι, παγωτά) (Li et al., 2021). Στη φαρμακοβιομηχανία, η χρήση της αποσκοπεί στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης στο αίμα και των διαταραχών του γαστρεντερικού συστήματος (Thakur et al., 2009).

Γενικά, οι πηκτίνες έχουν ευεργετικό ρόλο στην ανθρώπινη υγεία. Συγκεκριμένα, η κατανάλωση πηκτινών προκαλεί αύξηση μικροβιακών πληθυσμών που είναι ωφέλιμοι για την γαστρεντερική οδό, αυξάνοντας τα επίπεδα παραγωγής λιπαρών οξέων, επηρεάζοντας θετικά την υγεία. Επιπλέον, η κατανάλωση πηκτινών βοηθάει στη μείωση των επιπέδων χοληστερόλης, αυξάνοντας το ιξώδες στο έντερο με συνέπεια τη μειωμένη απορρόφηση χοληστερόλης από τα χολικά οξέα ή την τροφή. Επιπλέον, οι πηκτίνες θεωρούνται διαλυτές διαιτητικές ίνες και έχουν πολλές ευεργετικές γαστρεντερικές επιδράσεις, όπως την καθυστέρηση της γαστρεντερικής εκκένωσης, τη μείωση του

χρόνου γαστρεντερικής διέλευσης, τη μείωση της απορρόφησης γλυκόζης και την αύξηση της μάζας των κοπράνων (Lara-Espinoza et al., 2018).

Τα πρεβιοτικά ορίζονται ως δύσπεπτα συστατικά τροφίμων που επηρεάζουν ευεργετικά την υγεία του ανθρώπου μέσω κάποιων μηχανισμών. Ένας από αυτούς είναι η επίδρασή τους στους πληθυσμούς μικροχλωρίδας του παχέος εντέρου. Οι πηκτίνες έχουν πρόσφατα ταξινομηθεί ως αναδύομενα πρεβιοτικά με πολλές δυνατότητες. Από την εντερική ζύμωση προέρχονται κύρια προϊόντα (οξικά, προπιονικά και βουτυρικά), τα οποία βοηθούν σημαντικά στην πρόληψη και στη θεραπεία του μεταβολικού συνδρόμου, των εντερικών διαταραχών και του καρκίνου. Τέλος, έχουν θετικές επιδράσεις στη θεραπεία της ελκώδους κολίτιδας, της νόσου του Crohn, της υψηλής αρτηριακής πίεσης, της διάρροιας και της παχυσαρκίας (Emran et al. 2022).

1.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Κάποιες φορές στη βιομηχανία τροφίμων, είναι αναγκαίο να συνδυαστούν δύο βιοπολυμερή ώστε το καθένα να προσδώσει τις ιδιότητες που είναι επιθυμητές για το τελικό προϊόν καθώς πολλές φορές ένα μόνο βιοπολυμερές είναι αδύνατο να πετύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα (Redigueri et al., 2007). Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα δύο βιοπολυμερή αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους είτε θετικά είτε αρνητικά και με βάση τον τρόπο που αλληλοεπιδρούν σχηματίζονται οι εξής κατηγορίες:

➤ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ

Σε αυτή την περίπτωση, τα δύο βιοπολυμερή είναι ανόμοια και δεν αναμειγνύονται μεταξύ τους με αποτέλεσμα να προκύπτει αμοιβαία εκτόπιση. Όταν τα διαλύματα βιοπολυμερών που αναμειγνύονται είναι πυκνά, τότε εμφανίζεται θολερότητα στο διάλυμα. Η θερμοδυναμική ασυμβατότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή αφού δημιουργούνται δύο διακριτές φάσεις όπου η καθεμία διαθέτει μεγάλη ποσότητα από το ένα βιοπολυμερές και μικρή ποσότητα από το άλλο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «διαχωρισμός φάσεων».

Όταν σε ένα σύστημα δύο βιοπολυμερών, έχουν και τα δύο τη δυνατότητα να πήζουν, τότε διακρίνονται τρία είδη πηκτών:

- Πηκτή αλληλοδιείσδυσης (Interpenetrating): Τα δύο βιοπολυμερή πήζουν το καθένα μεμονωμένα και δημιουργούν δύο δίκτυα, τα οποία είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, αλληλοεπιδρώντας μόνο μέσω κάποιων κοινών περιοχών.

- Συζευγμένη πηκτική (Coupled): Τα δύο βιοπολυμερή δημιουργούν ένα ενιαίο δίκτυο καθώς αλληλοεπιδρούν κατευθείαν μεταξύ τους όπως στην περίπτωση που συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς.
- Πηκτές διαχωρισμένης φάσης (Phase-separated): Οι πηκτές διαχωρισμένης φάσης σχηματίζονται όταν οι αλυσίδες δεν αναμειγνύονται ομοιόμορφα μεταξύ τους αλλά δημιουργούν ξεχωριστές περιοχές. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις, τα δύο βιοπολυμερή έχουν την ικανότητα να διατηρηθούν στην ίδια φάση. Αντίθετα, στα συστήματα που είναι πυκνά προκύπτουν δύο διακριτές φάσεις, το ένα βιοπολυμερές σχηματίζει συνεκτικό δίκτυο και το άλλο διασπείρεται στο πρώτο. Μία σημαντική ιδιότητα αυτών των πηκτών είναι το σημείο αναστροφής της φάσης. Σε αυτό το σημείο, το συνεκτικό δίκτυο του ενός βιοπολυμερούς μεταπηδά στην άλλη φάση και αντίστοιχα συμβαίνει με την διασπορά του δεύτερου βιοπολυμερούς. Η τάση για διαχωρισμό φάσεων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο τύπος και η συγκέντρωση των βιοπολυμερών, το pH και η ιοντική ισχύς του περιβάλλοντος διαλύματος (Zhang et al. 2022).

➤ **ΑΝΑΜΙΞΙΜΟΤΗΤΑ**

Σε αυτή την περίπτωση, τα αναμειγνύομενα βιοπολυμερή είναι παρόμοια με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται μια αυθόρμητη ανάμιξη και να προκύπτει ένα ομογενές διάλυμα.

➤ **ΣΥΝΕΡΓΙΣΤΙΚΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ**

Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ δύο βιοπολυμερών προκύπτουν λόγω των φορτίων που φέρουν οι πολυμερείς αλυσίδες. Συγκεκριμένα, οι θετικά φορτισμένες περιοχές μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται με τις αρνητικά φορτισμένες περιοχές. Σε υψηλές συγκεντρώσεις, τα διαλύματα αυτά είτε πήζουν, είτε καταβυθίζεται το ίζημα που δημιουργήθηκε (Ευαγγελίου 2020).

1.5 ΑΡΑΒΙΚΟ ΚΟΜΜΙ

Το αραβικό κόμμι (GA), γνωστό και ως κόμμι Ακακίας, είναι ένας φυσικός πολυσακχαρίτης που χρησιμοποιείται ευρέως ως πρόσθετο τροφίμων και προέρχεται από τα εκκρίματα των δέντρων ακακίας (Elnour et al. 2023).

Το γένος *Acacia* ανήκει στην οικογένεια *Mimosaceae* και στην τάξη *Fabales*. Η ακακία είναι δέντρο ή θάμνος που αναπτύσσεται εγγενώς στις τροπικές περιοχές του κόσμου όπως την Αφρική, την Αυστραλία, τη Μέση Ανατολή και τη νότια Ασία. Το όνομα του γένους «*Acacia*» εισήχθη από τον Philip Miller το 1754 και προέρχεται από το ελληνικό όνομα «άκακία», όρος που χρησιμοποιούσε ο Διοσκουρίδης (40–90 μ.Χ.) για ένα παρασκευασμένο εκχύλισμα από φύλλα και λοβούς *Acacia* (Ashour et al. 2022). Χαρακτηριστικό της ακακίας είναι ότι εκκρίνει το αραβικό κόμμι, το οποίο είναι ένα εξίδρωμα με κολλώδη υφή, σε σχήμα δακρύων ή σφαιρικής μορφής και λαμβάνεται από τους μίσχους και τα κλαδιά των δέντρων *Acacia senegal* και *Acacia seyal* (Εικόνα 5) (Al-Jubori et al. 2023).

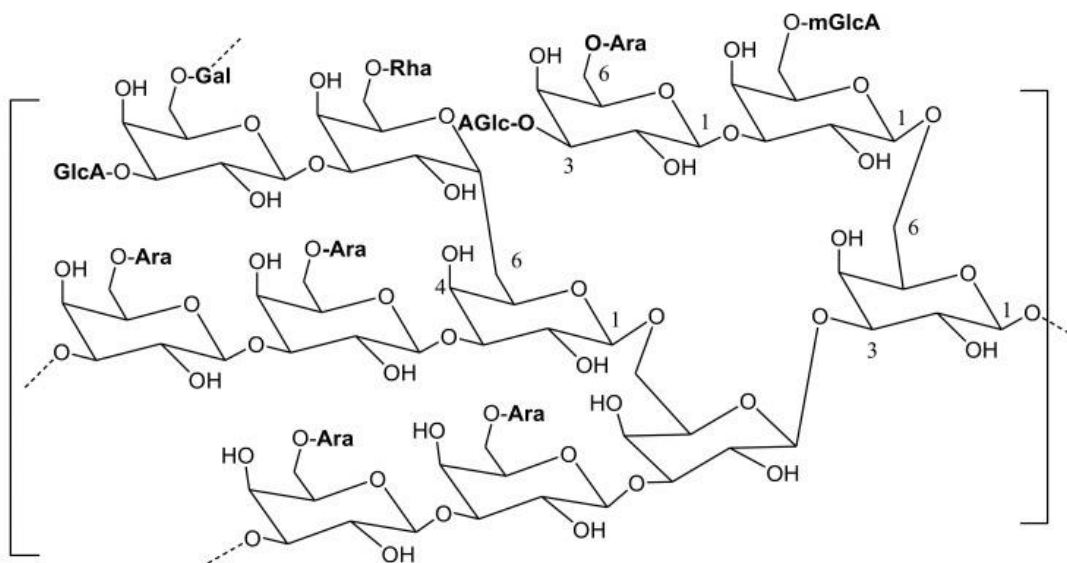


Εικόνα 5: (A) *Acacia seyal* και (B) Αραβικό κόμμι (Al-Jubori et al. 2023).

1.5.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΑΡΑΒΙΚΟΥ ΚΟΜΜΕΟΣ

Δομικά, το αραβικό κόμμι, μια υδατοδιαλυτή διαιτητική ίνα, είναι ένα σύμπλεγμα αραβινογαλακτάνης-πρωτεΐνης, που είναι γνωστό ως αραβίνη, και αποτελείται κυρίως από άλατα ασβεστίου, μαγνησίου και καλίου του αραβικού οξέος (Εικόνα 6) (Ashour et al. 2022). Η δομή του αραβικού οξέος αποτελείται από μια κύρια αλυσίδα (1-3) β-D-γαλακτοπυρανοζυλίου με πλευρικές αλυσίδες, οι οποίες είναι είτε διακλαδισμένες είτε όχι, και αποτελούνται από D-γαλακτόζη, L-αραβινόζη, D-γλυκουρονικό οξύ, L-ραμνόζη και μερικούς υποκαταστάτες μεθυλίου. Η χημική σύνθεση του αραβικού κόμμιος μπορεί να αλλάξει καθώς εξαρτάται τόσο από εδαφικούς και

κλιματικούς παράγοντες όσο και από την πηγή και την ηλικία του δέντρου από το οποίο προήλθε (Mariod 2018).



Εικόνα 6: Η βασική χημική δομή του αραβικού οξέος που υπάρχει στο αραβικό κόμμι (Al-Jubori et al. 2023)

1.5.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΡΑΒΙΚΟΥ ΚΟΜΜΙΟΥ

Η διαθεσιμότητα, οι φαρμακευτικές, διατροφικές και καλλυντικές εφαρμογές του GA έχουν επισημάνει την υψηλή οικονομική του αξία και έχουν προσελκύσει το παγκόσμιο ενδιαφέρον. Στις βιομηχανίες τροφίμων, το αραβικό κόμμι είναι ευρέως γνωστό και χρησιμοποιείται κυρίως για τις γαλακτωματοποιητικές, πυκνωτικές και σταθεροποιητικές του ιδιότητες (Elmour et al. 2023). Σύμφωνα με την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ, το GA αποτελεί μία από τις πιο ασφαλείς διαιτητικές ίνες (Nasir O. 2013). Το αραβικό κόμμι (GA) διαθέτει αντιοξειδωτικές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες, γεγονός που το καθιστά πολλά υποσχόμενο για την υγεία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θεραπεία της φλεγμονής καθώς και να καθυστερήσει την εξέλιξη της χρόνιας νεφρικής ανεπάρκειας. Γενικά, το GA προσδίδει ευεργετικά αποτελέσματα στη νεφρική λειτουργία και προστατεύει τα νεφρά από τραυματισμό I/R (επαναιμάτωση) (Gouda et al. 2022). Έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την αρτηριακή πίεση, τις συγκεντρώσεις χοληστερόλης στο πλάσμα και διεγείρει την εντερική απορρόφηση, εξουδετερώνοντας έτσι τη διάρροια (Nasir O. 2013).

Το αραβικό κόμμι είναι ένας ανιονικός πολυσακχαρίτης καθώς έχει $pK_a = 2,2$ και αποτελεί ένα επιθυμητό υλικό για μικροενθλάκωση λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του όπως την υδατοδιαλυτότητα, το χαμηλό ιξώδες του διαλύματος, την αποτελεσματική επιφανειακή δραστηριότητα και την ικανότητα γαλακτωματοποίησης (Lobato-Guarnido et al. 2023).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ

2.1 ΜΕΛΙΤΖΑΝΑ

Η μελιτζάνα είναι ένα σημαντικό οπωροκηπευτικό και η παραγωγή της σε όλο τον κόσμο υπερβαίνει τους 31 εκατομμύρια τόνους. Παρόλη την παγκόσμια εξάπλωση της, περισσότερο από το 90% της παγκόσμιας παραγωγής της προέρχεται από την Ασία (FAO, 2015). Αποτελεί μια σημαντική σολανώδη καλλιέργεια που κατάγεται από τον Παλαιό κόσμο. Πατρίδα της θεωρείται η Ασία, στην οποία εφευρέθηκε αιώνες πριν και σήμερα καλλιεργείται εκτενώς. Αναφέρεται ότι είχε βρεθεί μια άγρια μορφή μελιτζάνας στην Ινδία με αγκάθια και πικρό καρπό και αργότερα ξεκίνησε η καλλιέργεια της στην Ινδία, στην Κίνα και στην Αφρική. Στις Μεσογειακές χώρες έγινε γνωστή αργότερα, όπου στις αρχές την χρησιμοποιούσαν ως καλλωπιστικό φυτό και περίπου τον 18^ο αιώνα εισήχθη στην διατροφή καθώς μέχρι τότε πίστευαν ότι είναι δηλητηριώδες φυτό λόγω της πικρής γεύσης της. Η διακίνηση της μελιτζάνας έχει πολύ μεγάλη οικονομική σημασία και καλλιεργείται ευρέως για τους καρπούς της που χρησιμοποιούνται κυρίως για κατανάλωση ως λαχανικό (Ολύμπιος Χ. 2015).

2.1.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena*) είναι ένα παγκοσμίως καλλιεργούμενο είδος, που αναπτύσσεται σε όλο τον κόσμο, ειδικά στις ασιατικές χώρες όπως τη Μέση Ανατολή και γύρω από τη λεκάνη της Μεσογείου. Η μελιτζάνα ανήκει στην οικογένεια των σολανωδών (*Solanaceae*), στο γένος *Solanum* και στο υπογένος *Leptostemonum*. Όλα τα φυτά που περιλαμβάνονται στην οικογένεια σολανώδη όπως οι τομάτες, οι πιπεριές, οι πατάτες και ο καπνός, είναι φυτά που αναπτύσσονται τις θερμές εποχές και επομένως δεν έχουν τη δυνατότητα να επιβιώσουν τον χειμώνα στην ύπαιθρο με τους παγετούς (Yarmohammadi et al. 2021).

Η μελιτζάνα κατατάσσεται σε τρεις βοτανικές ποικιλίες:

- *Solanum melongena var. serpentinum*: Περιλαμβάνει ποικιλίες που έχουν μακριούς και στενούς καρπούς με μήκος πάνω από 35cm και διάμετρο περίπου 3cm.
- *Solanum melongena var. esculentum*: Περιλαμβάνει τις ποικιλίες που σχηματίζουν στρογγυλούς ή ωοειδείς καρπούς. Είναι ο πλέον συνηθισμένος τύπος καλλιεργούμενης μελιτζάνας με τους μεγάλους καρπούς. Τα φυτά, που ανήκουν σε αυτή την ποικιλία, είναι θαμνώδη με ύψος 60 έως 120 εκατοστά.

- *Solanum melongena var. depressum*: Περιλαμβάνει ποικιλίες που παράγουν μικρού μεγέθους καρπούς, απιοειδούς σχήματος με ιώδες χρώμα (Ολύμπιος Χ. 2015).

2.1.2 ΕΛΑΦΟΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η μελιτζάνα, λόγω της προέλευσης της, αναπτύσσεται καλύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 22-30°C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 18-24°C κατά τη νύχτα. Στην περίπτωση, που καλλιεργείται σε θερμοκήπια, η ιδανική θερμοκρασία είναι 22-25°C την ημέρα και 18-20°C τη νύχτα. Θερμοκρασίες μικρότερες από 17°C και μεγαλύτερες από 35°C δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες στην ανάπτυξη του φυτού. Αναφέρεται ότι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες με ταυτόχρονη χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία επηρεάζουν αρνητικά τη σύνθεση των ανθοκυανών και αυξάνουν τη διαπνοή με αποτέλεσμα να μαραίνεται το φυτό της μελιτζάνας.

Το φυτό ευδοκίμει σε σχετικά ελαφρά, βαθιά, αμμοπηλώδη και καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία. Το έδαφος πρέπει να είναι απαλλαγμένο από άλατα καθώς σε εδάφη, που διαθέτουν άλατα, αναπτύσσονται περιορισμένα οι μελιτζάνες, τα φύλλα έχουν πιο σκούρο χρώμα και το μέγεθος των καρπών είναι μικρότερο. Το ιδανικό pH για την ανάπτυξη της μελιτζάνας είναι 5,5-7,2. Όσο αφορά τη λίπανση, συνιστάται προσθήκη μαγνησίου κατά τη βασική λίπανση, καθώς το φυτό είναι πολύ ευαίσθητο στην έλλειψη του (Ολύμπιος Χ. 2015).

2.1.3 ΘΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΕΥΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ

Η μελιτζάνα είναι γνωστή για την θρεπτική της αξία καθώς είναι πλούσια σε φυτικές ίνες και μέταλλα (σίδηρος, ασβέστιο, κάλιο, νάτριο και φώσφορος) και διαθέτει χαμηλή περιεκτικότητα σε θερμίδες. Η μελιτζάνα είναι καλή πηγή μαγνησίου, ενός ιχνοστοιχείου που επηρεάζει θετικά τον εγκέφαλο. Θεωρείται ένα από τα πιο υγιεινά λαχανικά για την υγεία του ανθρώπου και κατατάσσεται μεταξύ των 10 κορυφαίων λαχανικών όσον αφορά την αντιοξειδωτικής της ικανότητα (Taher et al. 2017).

Στην ιατρική, αναφέρεται ότι η μελιτζάνα είναι διουρητική και τονωτική, διαθέτει καθαρτικές ιδιότητες καθώς μπορεί να βοηθήσει στη δυσκοιλιότητα και χρησιμοποιείται ως φάρμακο για παθήσεις του στομάχου και των επιληπτικών κρίσεων. Επίσης, αναφέρεται ότι η μελιτζάνα επηρεάζει θετικά τόσο τους ανθρώπους που πάσχουν από διαβήτη όσο και εκείνους που έχουν προβλήματα με το σκώτι τους. Τα φύλλα, ο καρπός και ο χυμός της μελιτζάνας έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες. Αλοιφές παρασκευασμένες από φύλλα μελιτζάνας χρησιμοποιούνται για την επούλωση από εγκαύματα καθώς και για να καταπραΰνουν τις φλεγμονες και τις αιμορροΐδες. Όσο αφορά τον καρπό

της μελιτζάνας, μελέτες έχουν δείξει ότι είναι πλούσιος σε φαινολικά οξέα με ισχυρή αντιοξειδωτική και καρδιοπροστατευτική δράση. Η αντιοξειδωτική δράση οφείλεται στις ανθοκυανίνες που περιέχονται στη σάρκα του καρπού και είναι ευεργετικές για την ανθρώπινη υγεία καθώς προστατεύουν τα εγκεφαλικά κύτταρα από την οξείδωση των ελεύθερων ριζών που προκαλούν καρκινογένεση. Τέλος, ο χυμός της μελιτζάνας μπορεί να μειώσει τα επίπεδα της χοληστερόλης στο αίμα και να επιδιορθώσει ορισμένες βλάβες που προκαλούνται στις αρτηρίες λόγω της χοληστερόλης (Ολύμπιος Χ. 2015).

Πίνακας 1: Διατροφική αξία της μελιτζάνας (ανά 100g νωπού προϊόντος)

Θρεπτικά στοιχεία	Μονάδα	Τιμή
ΝΕΡΟ	G	92,3
ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Kcal	25
ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ	G	1,2
ΛΙΠΗ	G	0,2
ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ	G	5,6
ΑΣΒΕΣΤΙΟ	Mg	9
ΦΩΣΦΟΡΟΣ	Mg	24
ΣΙΔΗΡΟΣ	Mg	0,23
ΝΑΤΡΙΟ	Mg	2
ΚΑΛΙΟ	Mg	229

Πηγή (USDA, 2015)

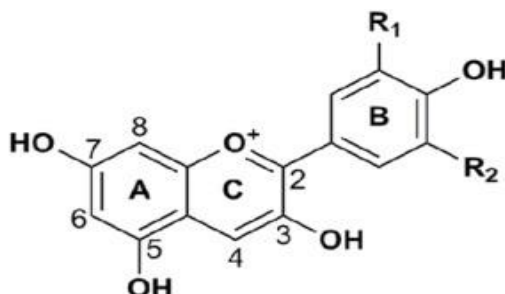
2.2 ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΕΣ

Οι ανθοκυανίνες, μια ομάδα φλαβονοειδών πολυφαινολικών ενώσεων, απαντώνται σε ένα ευρύ φάσμα στο φυτικό βασίλειο. Συντίθενται στο κυτταρόπλασμα και μεταφέρονται στο κενοτόπιο για αποθήκευση ή σε άλλους προορισμούς, όπου λειτουργούν ως βιοενεργά μόρια (Liu et al. 2018). Οι ανθοκυανίνες απαντώνται σε όλους τους φυτικούς ιστούς όπως στα φύλλα, στους μίσχους, στις ρίζες, στα άνθη και στους καρπούς (Merecz-Sadowska et al. 2023). Οι ανθοκυανίνες είναι υδατοδιαλυτές χρωστικές ουσίες που ορίζουν το κόκκινο, μωβ και μπλε χρώμα σε διάφορα όργανα σε ένα ευρύ φάσμα φυτών. Οι ανθοκυανίνες, εκτός από το χρώμα που προσδίδουν στα φυτά, μπορούν να τα προστατεύσουν από διάφορες αβιοτικές και βιοτικές καταπονήσεις, όπως βλάβες λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας και το στρες που οφείλονται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Οι ανθοκυανίνες δεσμεύουν ισχυρά τις ελεύθερες ρίζες των φυτών και χρησιμοποιούνται ευρέως για τις αξιοσημείωτες

ιδιότητες τους όπως τη μείωση της αρτηριακής πίεσης, τη βελτίωση της όρασης, τη μείωση της φλεγμονής και την πρόληψη του καρκίνου (Duan et al. 2021).

2.2.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ

Οι ανθοκυανίνες είναι μια διαφορετική κατηγορία φλαβονοειδών που δίνουν διάφορες αποχρώσεις του κόκκινου, του μωβ και του μπλε στα λουλούδια, τα λαχανικά και τα φρούτα. Δομικά, οι ανθοκυανίνες είναι ανθοκυανιδίνες τροποποιημένες από σάκχαρα και οξέα ακυλίου. Οι ανθοκυανιδίνες αποτελούνται από δύο αρωματικούς δακτυλίους βενζολίου που χωρίζονται από έναν οξυγονωμένο ετερόκυκλο. Περισσότερες από 20 ανθοκυανιδίνες έχουν ανακαλυφθεί, αλλά μόνο έξι από αυτές είναι διαδεδομένες στα φυτά. Η πελαργονιδίνη, η κυανιδίνη και η δελφινιδίνη αποτελούν τις πρωτογενείς ανθοκυανιδίνες, οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό των υδροξυλομάδων στους Β-δακτυλίους τους. Εμφανίζουν πορτοκαλί/κόκκινες, κόκκινες/ματζέντα και βιολετί/μπλε αποχρώσεις, αντίστοιχα. Η πεονιδίνη προέρχεται από την κυανιδίνη με μια απλή Ο-μεθυλίωση, ομοίως, η απλή ή διπλή μεθυλίωση της δελφινιδίνης έχει ως αποτέλεσμα την πετουνιδίνη και τη μαλβιδίνη, αντίστοιχα. Εκτός από τη δομή της ανθοκυανιδίνης, η δομή, η ποσότητα και η θέση των συζευγμένων τμημάτων του σακχάρου και του ακυλίου οδηγούν σε διαφορετικές ανθοκυανίνες (Liu et al. 2018).



Anthocyanidin	R ₁	R ₂	Pepper	Eggplant	Tomato	Potato
Pelargonidin (Pg)	H	H				X
Cyanidin (Cy)	OH	H				X
Delphinidin (Dp)	OH	OH	X	X	X	X
Peonidin (Pn)	OCH ₃	H				X
Petunidin (Pt)	OH	OCH ₃			X	X
Malvidin (Mv)	OCH ₃	OCH ₃			X	X

Εικόνα 7: Η γενική χημική δομή των ανθοκυανιδινών και οι έξι πιο κοινές ανθοκυανιδίνες στα σολανώδη λαχανικά, που υποδεικνύονται με «X».

2.2.2 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ

Η αντιοξειδωτική δράση των ανθοκυανινών είναι υψηλότερη συγκριτικά με άλλα φλαβονοειδή, λόγω του θετικά φορτισμένου ατόμου οξυγόνου (Kong et al., 2003). Οι ανθοκυανίνες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία των ανθρώπων καθώς έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τον κίνδυνο ασθενειών, όπως ο καρκίνος και οι καρδιακές παθήσεις (Naji et al., 2020). Η αντιοξειδωτική δράση των ανθοκυανινών εξαρτάται από τον βαθμό υδροξυλίωσης στον δακτύλιο Β καθώς και από τον τύπο και την έκταση της ακυλίωσης και της γλυκοζυλίωσης (Sadilova et al., 2006). Η υδροξυλίωση στον δακτύλιο Β ενισχύει την αντιοξειδωτική ικανότητα ($-OH > -OCH_3 \gg -H$), επομένως η αντιοξειδωτική ικανότητα των ανθοκυανιδινών μειώνεται (Pojer et al., 2013). Επιπλέον, η γλυκοζυλίωση μειώνει την ικανότητα δέσμευσης των ελεύθερων ριζών των ανθοκυανινών σε σύγκριση με τις άγλυκες μορφές τους. Όσες περισσότερες μονάδες σακχάρου υπάρχουν στις θέσεις C₃ και C₅, τόσο χαμηλότερη είναι η αντιοξειδωτική δράση. Συνοπτικά, η αντιοξειδωτική δράση αυξάνεται με τον αριθμό των υδροξυλομάδων στον Β-δακτύλιο και μειώνεται με τον αριθμό των γλυκοσυλομάδων που συνδέονται με τον δακτύλιο Α και Γ. Το τελευταίο αποτέλεσμα δεν είναι τόσο σοβαρό όταν οι γλυκοσίδες είναι ακυλιωμένες (Sadilova et al., 2006).

2.2.3 ΟΦΕΛΗ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΩΝ

Οι ανθοκυανίνες προσφέρουν σημαντικά οφέλη τόσο στα φυτά όσο και στην υγεία του ανθρώπου. Αρχικά, οι ανθοκυανίνες βοηθούν στην αναπαραγωγή των φυτών διότι μπορούν να προσελκύσουν έντομα επικονιαστές. Εκτός από αυτό, οι ανθοκυανίνες μειώνουν την προσβολή των φυτών από έντομα και παθογόνα, ενώ ταυτόχρονα έχουν τη δυνατότητα να προστατεύουν τα φυτά από πολλές βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις, γεγονός που τα βοηθάει να προσαρμόζονται καλύτερα και ευκολότερα στην κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, είναι γνωστές ως φωτοπροστατευτικοί παράγοντες αφού σκιάζουν και προστατεύουν την περιοχή που γίνεται η φωτοσύνθεση απορροφώντας την περίσσεια ορατού και υπεριώδους φωτός. Οι ανθοκυανίνες, συχνά, συσσωρεύονται σε νεαρούς φυτικούς ιστούς και συγκεκριμένα στην πλευρά των φυτών, η οποία είναι εκτεθειμένη στον ήλιο με αποτέλεσμα να προστατεύονται από τη φωτολεύκανση. Εκτός από τον προστατευτικό ρόλο που διαδραματίζουν κατά την ανάπτυξη των φυτών, οι ανθοκυανίνες βελτιώνουν σημαντικά και την απόδοση των λαχανικών μετά την συγκομιδή τους, καθώς δρουν ως αντιοξειδωτικά. Συγκεκριμένα, οι ανθοκυανίνες εμποδίζουν την υπεροξειδωση των λιπιδίων και διατηρούν την ακεραιότητα της μεμβράνης με αποτέλεσμα να επιβραδύνεται η γήρανση των κυττάρων.

Πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι ανθοκυανίνες έχουν σημαντικές ιδιότητες που προάγουν την υγεία του ανθρώπου και βοηθούν στη μείωση διάφορων χρόνιων και εκφυλιστικών ασθενειών.

Σύμφωνα με τους Watson and Schönlaue (2015), ο κύριος τύπος ανθοκυανινών, τα παράγωγα δελφινιδίνης, συσχετίζονται με τη μείωση της αγγειακής φλεγμονής και την πρόληψη της θρόμβωσης. Επίσης, οι Butelli et al. (2008) μελέτησαν τη διάρκεια ζωής ενός ποντικιού, το οποίο έπασχε από καρκίνο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό το καρκινικό μοντέλο ποντικιού, που ονομαζόταν p53, έζησε περισσότερο καταναλώνοντας ντομάτες πλούσιες σε ανθοκυανίνη. Τέλος, οι Zhao et al. (2009) ανέφεραν ότι οι ανθοκυανίνες μπορούν να προστατεύσουν το ανθρώπινο δέρμα από την ακτινοβολία UV-B (Liu et al. 2018).

2.2.4 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΙΝΗΣ

Ο μεταβολισμός της ανθοκυανίνης επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το φως και η θερμοκρασία. Τόσο η ένταση όσο και η ποιότητα του φωτός αποτελούν σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση της ανθοκυανίνης. Η υψηλή ένταση του φωτός προκαλεί την παραγωγή ανθοκυανίνης σε ένα ευρύ φάσμα φυτών (Maier and Hoecker, 2015). Εκτός από την ένταση, η ποιότητα του φωτός επηρεάζει με τη σειρά της τη βιοσύνθεση των ανθοκυανινών. Οι Matsumaru et al. (1971) ανέφεραν ότι μελιτζάνες με φτωχό χρωματισμό ανθοκυανινών, που αναπτύσσονταν σε θερμοκήπιο με χαμηλή διαπερατότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας, βελτιώθηκαν ως προς την ανάπτυξη τους με την παροχή ακτινοβολίας UV-A. Η θερμοκρασία είναι ένας άλλος σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει το μεταβολισμό της ανθοκυανίνης. Οι Løvdal et al. (2010) έδειξαν ότι προκλήθηκε συσσώρευση ανθοκυανίνης λόγω χαμηλής θερμοκρασίας σε σολανώδη φυτά (Liu et al. 2018).

II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα μελέτη ασχολήθηκε με την απομόνωση ανθοκυανών από φλούδες μελιτζανών και με την ενθυλάκωση του εκχυλίσματος σε διαλύματα αραβικού κόμμεος, μόνο του ή σε μίγματα με πηκτίνες υψηλής και χαμηλής μεθυλίωσης. Οι σκόνες που προέκυψαν μελετήθηκαν ως προς τις φυσικοχημικές, οπτικές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες τους. Στη συνέχεια, οι σκόνες προστέθηκαν σε πηκτές ζελατίνης και μελετήθηκε η επίδραση της παρουσίας τους στο χρώμα καθώς και η αντιοξειδωτική ικανότητα των πηκτών.

2.ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ, ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΚΕΥΗ

2.1.ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

- Πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (**HMP**, με βαθμό εστεροποίησης 65-69%)
Product name and Type: GENU® pectin 150 USA – SAG type A medium rapid set, προερχόμενη από την CPKelco (Lille Skensved, Denmark)
- Πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (**LMP**, με βαθμό εστεροποίησης 30%)
Product name and Type: GENU® pectin LM – 102 AS, προερχόμενη από την CPKelco (Lille Skensved, Denmark)
- Αραβικό κόμμι (Gum Arabic)
- Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu reagent, Carlo Erba Reagents S.A.S. (Val-de-Reuil, France)
- Αντιδραστήριο DPPH (2,2 –Diphenyl-1-picrylhydrazyl), Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany)
- Απεσταγμένο νερό
- Άνυδρο ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3)

- Διάλυμα αιθανόλης, Ethanol 99,8% denatured with IPA, MEK and Bitrex pure (Darmstadt, Germany)
- Γαλλικό οξύ(C₇H₆O₅)
- Πετρελαϊκός αιθέρας

2.2.ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΚΕΥΗ

- Κωνικές φιάλες 50 mL, 100 mL, 250 mL
- Δοκιμαστικοί σωλήνες
- Υάλινα ποτήρια ζέσεως 10mL, 50 mL, 100 mL, 250mL
- Ογκομετρικές φιάλες 100mL
- Ογκομετρικοί κύλινδροι 50 mL,100 mL
- Υάλινο χωνί
- Πλαστικοί σωλήνες falcon
- Υάλινα τρυβλία Petri (9cm, 10cm)
- Κυψελίδες χαλαζία 1 cm
- Πιπέτες Pasteur 3mL
- Μηχανική πιπέτα 1000μl
- Εστία με μαγνητικό αναδευτήρα
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Αναλυτικός ζυγός ακριβείας 0,0001 (EMB 2000 – 2, Kern & Sohn GmbH, Balingen, Germany)
- Ηλεκτρονικός ζυγός
- Υδατόλουτρο υπερήχων
- Φασματοφωτόμετρο UV-Vis
- Χρωματομέτρο (LC 100, Lovibond, Dortmund, Germany)
- Φούρνος (Memmert, Schwabach, Germany)
- Φυγόκεντρος (Z 326 K, Hermle Labortechnik GmbH, Vaihingen, Germany).
- Αναδευτήρας Vortex

3.ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΩΝ

3.1 ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΩΝ

Οι μελιτζάνες, που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, προμηθεύτηκαν από ελληνικό σουπερμάρκετ στην περιοχή της Αττικής. Αρχικά, οι φλούδες συλλέχθηκαν από τις μελιτζάνες χειρωνακτικά. Συγκεκριμένα, οι φλούδες αφαιρέθηκαν κατά μήκος των καρπών σε λωρίδες με τη χρήση ενός μαχαιριού. Οι λωρίδες είχαν ομοιόμορφο πάχος και κόπηκαν σε τετραγωνάκια μικρού μεγέθους (1×1 cm) με τη χρήση ενός ψαλιδιού (Εικόνα 8). Στη συνέχεια, 100g φλούδες εκχυλίστηκαν σε 500 mL διαλύματος αιθανόλης 80% με 1% HCl και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για 24 ώρες. Το διάλυμα εκχυλίσματος φυγοκεντρήθηκε (6000xg) στους 4°C για 15 λεπτά και συμπυκνώθηκε στους 35°C στον περιστροφικό εξατμιστήρα (Εικόνα 9). Μετέπειτα, το εκχύλισμα σκεπάστηκε με αλουμινόχαρτο ώστε να αποφύγει την επαφή με το φως και αποθηκεύτηκε στην κατάψυξη μέχρι να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση.



Εικόνα 8: Φλούδες από μελιτζάνες κομμένες σε τετραγωνάκια μικρού μεγέθους



Εικόνα 9: Το διάλυμα σε περιστροφικό εξατμιστήρα

3.1.1. ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΑΝΘΟΚΥΑΝΩΝ

Για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου χρησιμοποιήθηκε η χρωματομετρική μέθοδος Folin-Ciocalteu, όπως αυτή προτάθηκε από τους Singleton και Rossi (1965). Αρχικά, 0,5mL εκχυλίσματος ανθοκυανών αναμίχθηκε με 2,25mL νερού και 0,25mL αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu. Στη συνέχεια, το μίγμα αναδεύτηκε έντονα για 1 λεπτό με τη χρήση Vortex και παρέμεινε στο σκοτάδι για 8 λεπτά. Μετέπειτα, προστέθηκαν 2mL κορεσμένου διαλύματος ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3 7,5% w/v) και το μείγμα που προέκυψε αναδεύτηκε ξανά με τη χρήση Vortex και τοποθετήθηκε στο σκοτάδι για 60 λεπτά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η απορρόφηση μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης UV-Vis στα 765nm με τη βοήθεια ενός τυφλού διαλύματος, το οποίο περιείχε 2,75mL νερό και 0,25mL Folin. Η μέθοδος επαναλήφθηκε τρεις φορές. Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο προσδιορίστηκε με τη χρήση μίας πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης, που κατασκευάστηκε από γαλλικό οξύ. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά 0,5mL δείγματος (mg GAE/0,5 mL).

3.1.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΟΣ ΣΕ ΑΝΘΟΚΥΑΝΕΣ (TAC)

Η συνολική περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες μετρήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του διαφορικού pH όπως προτάθηκε από τους Kerio et al., 2012. Μία ποσότητα εκχυλίσματος 0,5mL διαλύθηκε σε 4mL 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 700nm. Η περιεκτικότητα σε ανθοκυάνες προσδιορίστηκε με βάση την εξίσωση 1.

$$\text{Συνολική περιεκτικότητα ανθοκυανών} \left(\frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right) = \frac{A * M_w * D_f * 1000}{1 * \epsilon} \quad (1)$$

Όπου:

A: η διαφορά στην απορρόφηση του δείγματος, η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση 2

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{σε pH}=1} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{σε pH}=4,5} \quad (2)$$

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

D_f: ο παράγοντας αραίωσης

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

3.2 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΟΝΩΝ

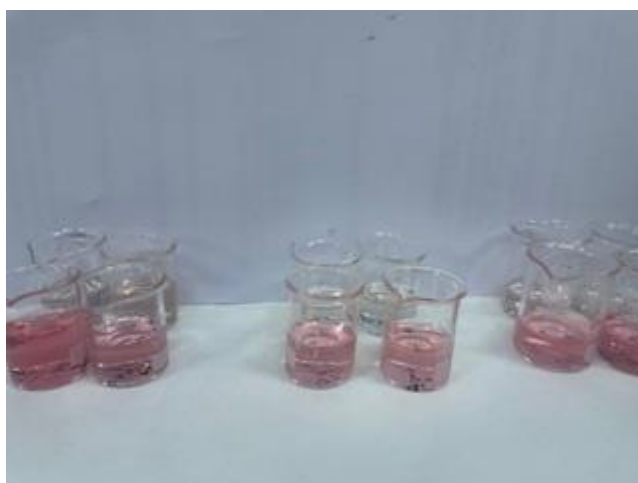
Οι πολυσακχαρίτες που χρησιμοποιήθηκαν για το υπόστρωμα ήταν το αραβικό κόμμι (GA) και οι πηκτίνες υψηλής (HMP) και χαμηλής μεθυλίωσης (LMP). Πιο συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν 3 σκόρες, εκ των οποίων η πρώτη περιείχε μόνο αραβικό κόμμι (GA σκόνη), η δεύτερη αραβικό κόμμι και πηκτίνη υψηλής μεθυλίωσης (GA-HMP σκόνη) και η τρίτη αραβικό κόμμι και πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (GA-LMP σκόνη). Για την παρασκευή τους, σε ποτήρι ζέσεως με απεσταγμένο νερό υπό ανάδευση και θέρμανση στους 90°C, διαλύθηκαν οι απαιτούμενες ποσότητες αραβικού κόμμιος (GA) και πηκτίνης υψηλής μεθυλίωσης (HMP) ή χαμηλής μεθυλίωσης (LMP) όταν ήταν παρούσες. Κατόπιν, το διάλυμα απομακρύνθηκε από τη θερμαντική εστία και τοποθετήθηκε σε λεκάνη με πάγο ώστε να αποκτήσει θερμοκρασία δωματίου. Ακολούθησε η προσθήκη 10g εκχυλίσματος ανθοκυανών. Οι τελικές συγκεντρώσεις GA, HMP, LMP και εκχυλίσματος στα δείγματα ήταν 10, 1, 1 και 10% wt, αντίστοιχα. Τα δείγματα μοιράστηκαν σε τρυβλία (9 cm), όπου το καθένα περιείχε περίπου 30g δείγματος, και έμειναν στο φούρνο στους 50°C για μία μέρα. Ύστερα, τα δείγματα απομακρύνθηκαν από τα τρυβλία με τη βοήθεια ενός χαρτοκόπτη και αλέστηκαν με τη χρήση ενός μύλου έως ότου γίνουν σκόρες.

3.2.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΝΘΥΛΑΚΩΣΗΣ

Το ποσοστό ενθυλάκωσης των ανθοκυανών μετρήθηκε με τη μέθοδο του Idham et al. (2012). Μια ποσότητα σκόνης 0,2g διαλύθηκε σε 5mL απεσταγμένου νερού για τις ολικές ανθοκυανές και αντίστοιχη ποσότητα σκόνης διαλύθηκε σε 5mL άνυδρης αιθανόλης για τις επιφανειακές

ανθοκυάνες. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο υπερήχων για να υποβληθούν σε υπερήχους για 30 λεπτά και φυγοκεντρήθηκαν για 20 λεπτά στα $46.062 \times g$ στους 4°C . Η περιεκτικότητα σε ολικές και επιφανειακές ανθοκυάνες προσδιορίστηκε με τη μέθοδο διαφορικού pH, σύμφωνα με τη μέθοδο που προτάθηκε από τους Lee et al. (2005). Σε αυτή τη μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν δύο ρυθμιστικά διαλύματα: ρυθμιστικό διάλυμα οξικού νατρίου pH 1,0 (0,4M), και ρυθμιστικό διάλυμα χλωριούχου καλίου pH 4,5 (0,025M). Μετέπειτα, αναμείχθηκαν 0,5mL εκχυλίσματος με 4mL buffer. Η απορρόφηση μετρήθηκε στα 520nm και 700nm από το φασματοφωτόμετρο UV-VIS. Το ποσοστό ενθυλάκωσης των ανθοκυανών υπολογίστηκε με την παρακάτω εξίσωση (3).

$$\text{Απόδοση ενθυλάκωσης (\%)} = \frac{\text{Ολικές ανθοκυάνες} - \text{Επιφανειακές ανθοκυάνες}}{\text{Ολικές ανθοκυάνες}} \times 100 \quad (3)$$



Εικόνα 10: Δείγματα σε διάλυμα χλωριούχου καλίου και οξικού νατρίου

3.2.2 ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ FOLIN-CIICALTEAU

Για τον προσδιορισμό του ολικού φαινολικού περιεχομένου χρησιμοποιήθηκε η χρωματομετρική μέθοδος Folin-Ciocalteu, όπως αυτή προτάθηκε από τους Singleton και Rossi (1965). Αρχικά, 1g δείγματος σκόνης αναμείχθηκε με 2,25mL νερού και 0,25mL αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu. Στη συνέχεια, το μίγμα αναδεύτηκε έντονα για 1 λεπτό με τη χρήση Vortex και παρέμεινε στο σκοτάδι για 8 λεπτά. Μετέπειτα, προστέθηκαν 2mL κορεσμένου διαλύματος ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3 7,5% w/v) και το μείγμα που προέκυψε αναδεύτηκε ξανά με τη χρήση Vortex και τοποθετήθηκε στο σκοτάδι για 60 λεπτά, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η απορρόφηση μετρήθηκε σε

φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης UV-Vis στα 765nm με τη βοήθεια ενός τυφλού διαλύματος, το οποίο περιείχε 2,75mL νερό και 0,25mL Folin. Η μέθοδος πραγματοποιήθηκε τρεις φορές για κάθε δείγμα. Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο προσδιορίστηκε με τη χρήση μίας πρότυπης καμπύλης βαθμονόμησης, που κατασκευάστηκε από γαλλικό οξύ. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως mg ισοδύναμα γαλλικού οξέος ανά 0,5mL δείγματος.

3.2.3 ANΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΚΟΝΩΝ

Για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Sun et al. (2015). Μια ποσότητα δείγματος 0,15g προστέθηκε σε υδατικό διάλυμα αιθανόλης DPPH (2mL, 0,1mM) και αφήθηκε σε συνθήκες σκότους για 30 λεπτά μαζί με το τυφλό δείγμα, το οποίο περιείχε 2mL νερό και 2mL διάλυμα αιθανόλης DPPH. Στη συνέχεια, η απορρόφηση μετρήθηκε στα 517nm σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης UV-Vis. Η αντιοξειδωτική ικανότητα (AA) υπολογίστηκε σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$AA (\%) = \frac{\text{Απορρόφηση τυφλού} - \text{Απορρόφηση εκχυλίσματος}}{\text{Απορρόφηση τυφλού}} \times 100\% \quad (4)$$

3.2.4 ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ

Για τον προσδιορισμό της διαλυτότητας των δειγμάτων σκόνης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Ghasemi et al. (2017), με κάποιες τροποποιήσεις. Αρχικά, 250mg δείγματος σκόνης αναμίχθηκαν με 25mL νερού, και το μίγμα που προέκυψε αναδεύτηκε με ήπια ένταση για 1ώρα, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια, αυτό το μίγμα φυγοκεντρήθηκε για 5 λεπτά, στα 6000rpm, σε θερμοκρασία δωματίου, με τη χρήση φυγοκέντρου. Το υπερκείμενο συλλέχθηκε και υπέστη ξήρανση στους 105°C μέχρι να αποκτηθεί σταθερό βάρος και ύστερα ζυγίστηκε σε αναλυτικό ζυγό ακρίβειας 0,01g. Η διαλυτότητα (%) υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 5 και χρησιμοποιήθηκε η ποσότητα σκόνης που διαλύθηκε στο νερό. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις.

$$\text{Διαλυτότητα (\%)} = \frac{\text{ξηρό βάρος}}{\text{βάρος αρχικών βιοπολυμερών}} \times 100 \quad (5)$$

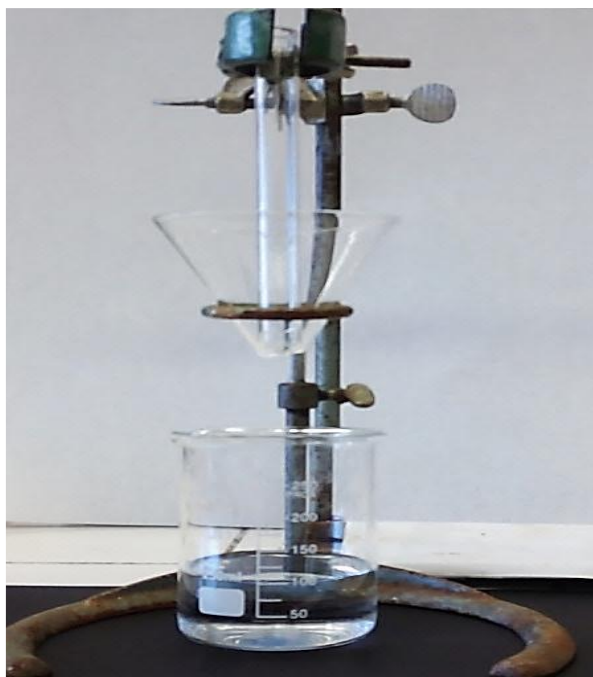
3.2.5 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας σε υγρασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Ghasemi et al. (2017), με κάποιες τροποποιήσεις. Αρχικά, 100mg δείγματος σκόνης αφυδατώθηκαν στο φούρνο στους 105°C μέχρι να αποκτήσουν σταθερό βάρος, και ξαναζυγίσθηκαν σε αναλυτικό ζυγό ακρίβειας 0,1mg αφού έφθασαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Με βάση την εξίσωση 6, προέκυψε η περιεχόμενη υγρασία, όπου το w_1 και το w_2 είναι το αρχικό και τελικό βάρος του δείγματος αντίστοιχα. Για κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις.

$$\text{Περιεχόμενη υγρασία (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (6)$$

3.2.6 ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ ΤΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ

Για τον προσδιορισμό της ικανότητας διαβροχής των σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Plati et al. (2019). Για την εκτίμηση της ικανότητας διαβροχής, σε ένα ποτήρι ζέσεως των 250mL τοποθετήθηκαν 100mL απιονισμένου νερού σε θερμοκρασία δωματίου. Εν συνέχεια, ένα γυάλινο χωνί στηρίχθηκε σε ένα δακτύλιο και τοποθετήθηκε επάνω από το ποτήρι ζέσεως, με συγκεκριμένο τρόπο προκειμένου να υπάρχει απόσταση 10cm μεταξύ του πυθμένα της χοάνης και της επιφάνειας του νερού. Παράλληλα, το άνοιγμα της χοάνης έπρεπε να είναι κλειστό, το οποίο επιτεύχθηκε τοποθετώντας ένα δοκιμαστικό σωλήνα στο κάτω άνοιγμα της χοάνης (Εικόνα 11). Τέλος, τοποθετήθηκε μια ποσότητα δείγματος ($0,1 \pm 0,001g$) γύρω από τον δοκιμαστικό σωλήνα, ο οποίος ανυψώθηκε και τότε άρχισε η καταγραφή του χρόνου. Με αυτό τον τρόπο, μετρήθηκε ο χρόνος που είναι απαραίτητος για να διαβραχούν πλήρως όλα τα σωματίδια της σκόνης που εισήλθαν στο νερό. Τρεις επαναλήψεις έλαβαν χώρα για κάθε σκόνη και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ο μέσος όρος των τριών μετρήσεων.



Εικόνα 11: Διάταξη για τον προσδιορισμό της ικανότητας διαβροχής των σωματιδίων (Plati et al., 2019).

3.2.7 ΧΡΩΜΑ

Για τον προσδιορισμό του χρώματος των δειγμάτων σκόνης, μια ποσότητα αυτών των δειγμάτων τοποθετήθηκε σε πλαστικές κυψελίδες όπου μετρήθηκε το χρώμα από πέντε τυχαία σημεία της επιφάνειας σύμφωνα με το σύστημα CIELAB. Ο παράγοντας L^* (Lightness) εκφράζει τη φωτεινότητα και παίρνει τιμές από 0 έως 100, που αντιστοιχούν στο μαύρο και λευκό χρώμα. Όταν η παράμετρος a^* έχει θετικές τιμές, αντιπροσωπεύει αποχρώσεις του κόκκινου ενώ όταν η τιμή της είναι αρνητική, αντιπροσωπεύει αποχρώσεις του πράσινου. Όσο αφορά την παράμετρο b^* , όταν η τιμή της είναι θετική, είναι ενδεικτική του κίτρινου χρώματος, και του μπλε, όταν η τιμή της είναι αρνητική. Η παράμετρος C^* προσδιορίζει την ένταση του χρώματος και η παράμετρος h^* (hue) προσδιορίζει την απόχρωση. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές για κάθε δείγμα.

3.2.8 ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΟΗΣ

Για τον προσδιορισμό της φαινόμενης πυκνότητας (bulk density, ρ_{ϕ}) και της πυκνότητας στοιβάσεως (tapped density, $\rho_{στ}$) της σκόνης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Jinarong et al. (2008). Αρχικά, 2g σκόνης τοποθετήθηκαν σε στεγνό βαθμονομημένο κύλινδρο των 10mL, με την επιφάνεια να είναι ίσια χωρίς να πραγματοποιηθεί συμπίεση. Η φαινόμενη πυκνότητα της σκόνης μετρήθηκε με βάση την εξίσωση (7), ως το βάρος του δείγματος προς τον ασυμπίεστο όγκο. Στη συνέχεια, η πυκνότητα στοιβάσεως προσδιορίστηκε μετά από 100 φορές χτυπήματος του κυλίνδρου με το χέρι

διατηρώντας το ρυθμό σταθερό. Η τιμή της πυκνότητας στοιβάσεως υπολογίστηκε ως το βάρος του δείγματος ανά μονάδα συμπιεσμένου όγκου όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση (8).

$$\rho_{\text{φαιν}} = \frac{\text{βάρος δείγματος}}{\text{ασυμπίεστος όγκος}} \quad (7)$$

$$\rho_{\text{στοιβ}} = \frac{\text{βάρος δείγματος}}{\text{συμπιεσμένος όγκος}} \quad (8)$$

Για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος όπως προτάθηκε από τους Jinarong et al. (2008), με κάποιες τροποποιήσεις. Συγκεκριμένα, 1g κάθε δείγματος σκόνης τοποθετήθηκε σε στεγνό ογκομετρικό κύλινδρο των 10mL. Στη συνέχεια, έγινε προσθήκη πετρελαϊκού αιθέρα (4mL) και πραγματοποιήθηκε ανάδευση με ήπιο ρυθμό ώστε να διαβραχούν όλα τα σωματίδια του δείγματος. Ύστερα, προστέθηκαν ακόμη 2mL πετρελαϊκού αιθέρα στον κύλινδρο (6mL συνολικά) ώστε να μην απομείνουν σωματίδια στα τοιχώματα του κυλίνδρου. Τέλος, μετρήθηκε ο τελικός όγκος του δείγματος ώστε να υπολογιστεί η πυκνότητα σωματιδίων σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (9).

$$\rho_{\text{σωμ}} = \frac{\text{βάρος δείγματος}}{\text{όγκος πετρελαϊκού αιθέρα με δείγμα-6}} \quad (9)$$

Το πορώδες (ε) υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση (10), καθώς χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της πυκνότητας στοιβάσεως και της πυκνότητας σωματιδίων. Για κάθε δείγμα έγιναν τρεις επαναλήψεις. Η αναλογία Hausner (Hausner, 1967) προέκυψε με βάση την εξίσωση (11) και ο δείκτης συμπιεστότητας Carr (Carr, 1965) με βάση την εξίσωση (12), και είναι ενδεικτικά της συνεκτικότητας και της ρευστότητας των σωματιδίων αντίστοιχα. Για κάθε δείγμα εφαρμόστηκαν τρεις επαναλήψεις.

$$\varepsilon = \frac{\rho_{\text{σωμ}} - \rho_{\text{στοιβ}}}{\rho_{\text{σωμ}}} \times 100 \quad (10)$$

$$\text{Αναλογία Hausner} = \frac{\rho_{\text{στοιβ}}}{\rho_{\text{φαιν}}} \quad (11)$$

$$\text{Δείκτης Carr} = \frac{\rho_{\text{στοιβ}} - \rho_{\text{φαιν}}}{\rho_{\text{στοιβ}}} \times 100 \quad (12)$$

Πίνακας 2: Κατηγοροποίηση της ρευστότητας και της συνεκτικότητας των δειγμάτων σκόνης βάσει του δείκτη Carr και της αναλογίας Hausner αντίστοιχα

Δείκτης Carr (%)	Ρευστότητα	Αναλογία Hausner	Συνεκτικότητα
<15	Πολύ καλή	<1,2	Χαμηλή
15-20	Καλή		
20-35	Μέτρια	1,2-1,4	Μέτρια
35-45	Κακή		
>45	Πολύ κακή	>1,4	Υψηλή

3.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΠΗΚΤΩΝ

Μια ποσότητα σκόνης ίση με 1g διαλύθηκε σε 9g απιονισμένου νερού. Σε ένα άλλο ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκαν 5g ζελατίνης και 85g απιονισμένου νερού και ακολούθησε θέρμανση στους 60°C μέχρι την πλήρη διάλυση της ζελατίνης. Ακολούθως, το διάλυμα ψύχθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και αναμείχθηκε με το διάλυμα της σκόνης (τελικό βάρος δείγματος 100 g). Στη συνέχεια, αναμείχθηκαν οι δύο ποσότητες με αποτέλεσμα να προκύψουν 100g δείγματος. Μετά από ανάδευση, το διάλυμα τοποθετήθηκε στο ψυγείο για 3 ώρες. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκαν πηκτές με συγκέντρωση ζελατίνης 5% wt που περιείχαν 1% wt σκόνης ανθοκυανών για τις οποίες κατόπιν μετρήθηκαν το χρώμα και οι αντιοξειδωτικές ικανότητές τους.

3.3.1 ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΗΚΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Sun et al. (2015). Μια ποσότητα δείγματος 0,15g προστέθηκε σε υδατικό διάλυμα αιθανόλης DPPH (2mL, 0,1mM) και αφέθηκε σε συνθήκες σκότους για 30 λεπτά μαζί με το τυφλό δείγμα, το οποίο περιείχε 2mL νερό και 2mL διάλυμα αιθανόλης DPPH. Στη συνέχεια, η απορρόφηση μετρήθηκε στα 517nm σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης UV-Vis. Η αντιοξειδωτική ικανότητα (AA) υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 4.

3.3.2 ΧΡΩΜΑ ΠΗΚΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό του χρώματος των πηκτών, μια ποσότητα αυτών των δειγμάτων τοποθετήθηκε σε πλαστικές κυψελίδες όπου μετρήθηκε το χρώμα από πέντε τυχαία σημεία της επιφάνειας σύμφωνα με το σύστημα CIELAB, και καταγράφηκαν οι τιμές των παραμέτρων L^* , a^* , b^* , C^* και h^* όπως αναλυτικά περιγράφεται στην παράγραφο 3.2.7.

4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το πρώτο σκέλος της μελέτης είχε στόχο τον προσδιορισμό των ολικών φαινολικών συστατικών του εκχυλίσματος ανθοκυανών με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu και τον προσδιορισμό των ανθοκυανών του εκχυλίσματος.

Πίνακας 3: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο (TPC) εκχυλίσματος ανθοκυανών και περιεχόμενο ανθοκυανών (TAC)

ΕΚΧΥΛΙΣΜΑ ΑΝΘΟΚΥΑΝΩΝ	ΤΙΜΕΣ
ΟΛΙΚΟ ΦΑΙΝΟΛΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ (mg GAE/0,5 mL)	0,243 ^b ± 0,003
ΑΝΘΟΚΥΑΝΕΣ (mg/mL)	289,48 ± 21,56

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 3, το εκχύλισμα ανθοκυανών είχε τιμή ολικού φαινολικού περιεχομένου περίπου ίση με 0,243 mg GAE/0,5 mL. Επιπλέον, η τιμή των ανθοκυανών του εκχυλίσματος ήταν περίπου ίση με 289,48 mg/mL.

Το δεύτερο μέρος της μελέτης επικεντρώθηκε στη δημιουργία GA, GA-HMP και GA-LMP σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες και στη μέτρηση των φυσικοχημικών και οπτικών ιδιοτήτων τους. Συγκεκριμένα, μετρήθηκαν η διαλυτότητα, η περιεχόμενη υγρασία, το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, η αντιοξειδωτική ικανότητα, η ικανότητα διαβροχής, το χρώμα, η φαινόμενη πυκνότητα, η πυκνότητα στοιβάσεως, η πυκνότητα σωματιδίων, το πορώδες, η ρευστότητα και η συνεκτικότητα.

Πίνακας 4: Απόδοση ενθυλάκωσης ανθοκυανών

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	94,72 ^a ± 8,55
GA-HMP	79,88 ^a ± 0,17
GA-LMP	90,16 ^a ± 0,39

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Αρχικά, προκειμένου να ελεγχθεί η επιτυχής ενσωμάτωση των ανθοκυανών στις σκόνες υπολογίστηκε η απόδοση ενθυλάκωσης. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4, όλες οι σκόνες εμφάνισαν στατιστικά την ίδια απόδοση ενθυλάκωσης των ανθοκυανών (~88,25%).

Πίνακας 5: Ολικό φαινολικό περιεχόμενο σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	0,124 ^a ± 0,017
GA - HMP	0,089 ^a ± 0,017
GA - LMP	0,115 ^a ± 0,027

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Ακολούθησε ο προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου σύμφωνα με τη μέθοδο Folin-Ciocalteu. Όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5, οι τιμές του ολικού φαινολικού περιεχομένου είναι στατιστικά ίδιες για όλες τις σκόνες (~0,109 mg GAE/0,5 mL).

Πίνακας 6: Αντιοξειδωτική ικανότητα σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	39,37 ^a ± 5,06
GA - HMP	45,12 ^a ± 1,63
GA - LMP	35,53 ^a ± 4,91

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της αντιοξειδωτικής ικανότητας. Σύμφωνα με τον Πίνακα 6, όλες οι σκόνες εμφάνισαν στατιστικά την ίδια αντιοξειδωτική δράση (~40%).

Πίνακας 7: Διαλυτότητα σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	63,15 ^a ± 1,79
GA - HMP	63,69 ^a ± 1,83
GA - LMP	63,52 ^a ± 0,06

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Όσο αφορά τη διαλυτότητα, σύμφωνα με τις μετρήσεις και όπως φαίνεται στον Πίνακα 7, όλες οι σκόνες εμφάνισαν στατιστικά την ίδια διαλυτότητα (~63,45%).

Πίνακας 8: Υγρασία σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	0,349 ^a ± 0,011
GA - HMP	0,509 ^a ± 0,173
GA - LMP	0,382 ^a ± 0,029

* Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Η μελέτη συνεχίστηκε με τον προσδιορισμό της υγρασίας. Σύμφωνα με τον Πίνακα 8, οι τιμές της υγρασίας είναι στατιστικά ίδιες για όλες τις σκόνες (~0,41%).

Πίνακας 9: Ικανότητα διαβροχής σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	1,86 ^a ± 0,12
GA - HMP	1,20 ^b ± 0,16
GA - LMP	1,57 ^{ab} ± 0,33

* Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Η επόμενη ιδιότητα που προσδιορίστηκε ήταν η ικανότητα διαβροχής των σωματιδίων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 9, η GA-HMP σκόνη εμφανίζει τη μικρότερη στατιστικά τιμή (1,20) άρα έχει τη μεγαλύτερη ικανότητα διαβροχής των σωματιδίων. Αντίθετα, η GA σκόνη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (1,86), άρα έχει τη μικρότερη ικανότητα διαβροχής των σωματιδίων. Η τιμή της σκόνης με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι και την πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (GA – LMP) είναι στατιστικά όμοια τόσο με την τιμή της GA σκόνης όσο και με την τιμή της GA-HMP σκόνης.

Στον Πίνακα 10, παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων του χρώματος. Οι σκόνες με υπόστρωμα GA και GA-HMP είναι το ίδιο φωτεινές ($L^* \sim 41,125$). Η σκόνη με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι και την πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (GA-LMP) διαφέρει στατιστικά από τις άλλες δύο κατηγορίες σκονών και παρουσιάζει τη μικρότερη στατιστικά τιμή ($L^* \sim 24,34$) άρα είναι και λιγότερο φωτεινή από τις άλλες δύο.

Πίνακας 10: Τιμές χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* , C^* και h^* σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

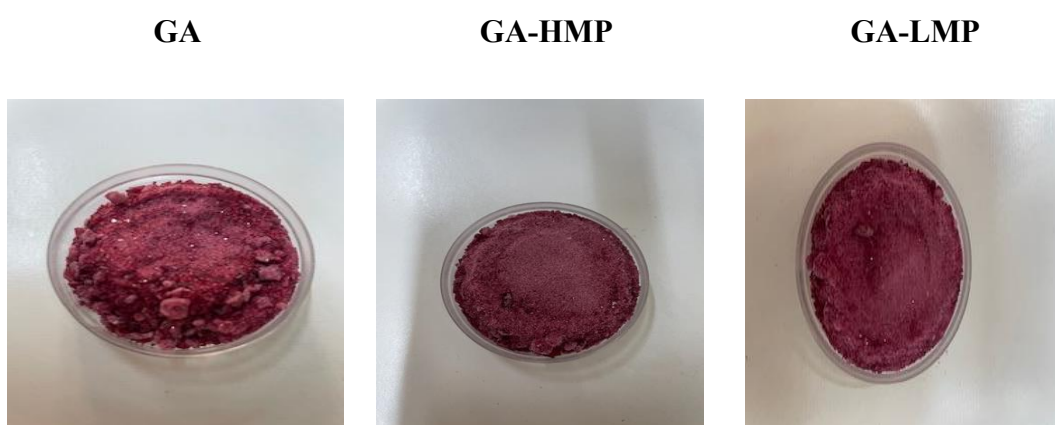
ΔΕΙΓΜΑ	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
GA	40,62 ^a ±0,77	29,18 ^a ±0,48	1,96 ^a ±0,10	29,26 ^a ±0,50	3,86 ^a ±0,14
GA - HMP	41,63 ^a ±2,56	31,33 ^a ±1,25	3,28 ^b ±0,68	31,50 ^b ±1,37	5,87 ^b ±0,90
GA - LMP	24,34 ^b ±1,81	26,77 ^b ±2,16	5,20 ^c ±0,72	26,46 ^c ±1,46	10,97 ^c ±0,56

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Ως προς την παράμετρο a^* , όλες οι σκόνες τείνουν προς τις κόκκινες αποχρώσεις καθώς έχουν θετικές τιμές a . Οι τιμές των GA και GA-HMP σκονών είναι στατιστικά ίδιες ($a^* \sim 30,255$) και οι συγκεκριμένες σκόνες είναι περισσότερο κόκκινες αφού έχουν μεγαλύτερη στατιστικά τιμή από την GA-LMP σκόνη ($a^* \sim 26,77$). Όσο αφορά την παράμετρο b^* , η μεγαλύτερη στατιστικά τιμή εμφανίζεται στη σκόνη GA-LMP (5,20) ενώ η μικρότερη στατιστικά τιμή εμφανίζεται στη GA σκόνη (1,96).

Ως προς την παράμετρο C^* , η GA-HMP σκόνη έχει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (31,50) και διαφέρει στατιστικά τόσο από την GA σκόνη (29,26) όσο και από την GA-LMP σκόνη που έχει τη μικρότερη στατιστικά τιμή (26,46). Όσο αφορά την παράμετρο h^* , η GA-LMP σκόνη έχει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (10,97) και διαφέρει στατιστικά τόσο από την GA-HMP σκόνη (5,87) όσο και από την GA σκόνη που έχει τη μικρότερη στατιστικά τιμή (3,86).

Η Εικόνα 12 που ακολουθεί παρουσιάζει τις φωτογραφίες των σκονών που παρασκευάστηκαν.



Εικόνα 12: Φωτογραφίες των σκονών

Πίνακας 11: Φαινόμενη πυκνότητα (Bulk density), πυκνότητα στοιβάσεως (Tapped density), ρευστότητα (CI) και συνεκτικότητα (HR) σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (g/cm ³)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΒΑΣΕΩΣ (g/cm ³)	CI	HR
GA	0,67 ^a ± 0,01	0,70 ^a ± 0,01	3,36 ^a ±0,04	1,03 ^a ±0
GA - HMP	0,75 ^{a,b} ± 0,03	0,79 ^{a,b} ± 0,06	5,63 ^a ±2,91	1,06 ^a ±0,03
GA - LMP	0,75 ^b ± 0,02	0,82 ^b ± 0,02	8,39 ^a ±0,99	1,09 ^a ±0,01

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Ακολούθησε η μέτρηση των πυκνοτήτων των σκονών. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 11, η σκόνη με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι (GA) παρουσιάζει τη μικρότερη στατιστικά τιμή τόσο στη φαινόμενη πυκνότητα (0,67 g/cm³) όσο και στην πυκνότητα στοιβάσεως (0,70 g/cm³). Οι GA-HMP και GA-LMP σκόνες έχουν ίδια τιμή στη φαινόμενη πυκνότητα (0,75 g/cm³). Όσο αφορά την πυκνότητα στοιβάσεως, η GA-LMP σκόνη εμφανίζει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (0,82 g/cm³). Η τιμή της GA-HMP σκόνης είναι στατιστικά ίδια τόσο με την τιμή της GA σκόνης όσο και με την τιμή της GA-LMP σκόνης. Όσο αφορά τη ρευστότητα (CI) και τη συνεκτικότητα (HR), οι τιμές των παραμέτρων είναι στατιστικά όμοιες μεταξύ τους με τιμές 5,79 και 1,06 αντίστοιχα.

Πίνακας 12: Πυκνότητα σωματιδίων (Particle density) και πορώδες σκονών που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ	ΠΟΡΩΔΕΣ (%)
GA	1,18 ^a ± 0,21	40,72 ^a ± 4,93
GA - HMP	2,45 ^b ± 0,43	67,05 ^b ± 6,04
GA - LMP	2,10 ^b ± 0,17	65,67 ^b ± 8,71

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Με βάση την επόμενη μέτρηση, η σκόνη με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι (GA) έχει τη χαμηλότερη πυκνότητα σωματιδίων (1,18) και το χαμηλότερο πορώδες (40,72 %) και διαφέρει στατιστικά με τις άλλες δυο κατηγορίες σκονών. Οι τιμές των άλλων δύο σκονών είναι στατιστικά ίδιες και στις δύο περιπτώσεις, παρουσιάζοντας μεγαλύτερη πυκνότητα σωματιδίων (~2,275) και μεγαλύτερο πορώδες (~66,36 %).

Στη συνέχεια, ακολούθησε ο σχηματισμός πηκτών ζελατίνης και πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ως προς το χρώμα και την αντιοξειδωτική ικανότητα τους με τη μέθοδο DPPH.

Πίνακας 13: Αντιοξειδωτική ικανότητα πηκτών ζελατίνης που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	ΤΙΜΕΣ
GA	15,46 ^a ± 0,73
GA - HMP	53,79 ^b ± 0,34
GA - LMP	48,27 ^c ± 1,50

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις και όπως παρουσιάζει ο Πίνακας 13, η πηκτή με GA εμφανίζει τη μικρότερη στατιστικά τιμή της αντιοξειδωτικής ικανότητας (15,46%) και διαφέρει στατιστικά τόσο από την πηκτή με GA-LMP (48,27%) όσο και από την πηκτή με GA-HMP που έχει τη μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση, περίπου ίση με 53,79%.

Πίνακας 14: Τιμές χρωματικών παραμέτρων L*, a*, b*, C* και h* πηκτών ζελατίνης που περιέχουν ανθοκυάνες

ΔΕΙΓΜΑ	L*	a*	b*	C*	h*
GA	35,63 ^a ±1,16	4,20 ^a ±0,61	8,08 ^a ±1,18	9,56 ^a ±1,47	56,18 ^a ±7,43
GA - HMP	35,64 ^a ±1,66	3,54 ^a ±0,48	5,05 ^b ±1,23	5,72 ^b ±0,94	54,13 ^a ±6,57
GA - LMP	50,73 ^b ±2,26	5,44 ^b ±0,58	12,68 ^c ±1,91	13,80 ^c ±1,96	65,35 ^b ±3,33

*Διαφορετικά γράμματα δηλώνουν στατιστικώς σημαντική διαφορά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι τιμές των παραμέτρων του χρώματος των πηκτών. Οι πηκτές με GA και GA-HMP είναι το ίδιο φωτεινές (L*~35,635). Η πηκτή με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι και την πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (GA-LMP) διαφέρει στατιστικά από τις άλλες δύο κατηγορίες πηκτών και εμφανίζει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (50,73), άρα είναι και πιο φωτεινή.

Ως προς την παράμετρο a*, όλες οι πηκτές τείνουν προς τις κόκκινες αποχρώσεις καθώς έχουν θετικές τιμές a. Οι τιμές των πηκτών με GA και GA-HMP είναι στατιστικά ίδιες (a*~3,87). Η πηκτή με GA-LMP εμφανίζει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (a*~5,44) με αποτέλεσμα να είναι και περισσότερο κόκκινη από τις άλλες δύο πηκτές. Όσο αφορά την παράμετρο b*, η μεγαλύτερη στατιστικά τιμή εμφανίζεται στην πηκτή με υπόστρωμα το αραβικό κόμμι και την πηκτίνη χαμηλής μεθυλίωσης (GA-LMP) με τιμή 12,68. Η πηκτή με GA-HMP έχει τη μικρότερη στατιστικά τιμή (5,05).

Όσο αφορά την παράμετρο C^* , η πηκτή με GA-LMP έχει τη μεγαλύτερη στατιστικά τιμή (13,80) και διαφέρει στατιστικά τόσο από την πηκτή με GA (9,56) όσο και από την πηκτή με GA-HMP που έχει τη μικρότερη στατιστικά τιμή (5,72). Όσο αφορά την παράμετρο h^* , οι τιμές των πηκτών με GA και GA-HMP είναι στατιστικά ίδιες με τιμή περίπου ίση με 55,16, μικρότερη από εκείνη της πηκτής με GA-LMP (65,35).

5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στη σημερινή εποχή, οι προτιμήσεις των καταναλωτών για φυσικές χρωστικές τροφίμων έχουν αυξηθεί με αποτέλεσμα τη στροφή στην έρευνα για τις ανθοκυάνες. Οι ανθοκυάνες είναι χρωστικές ουσίες που περιέχουν τα φυτά και εμφανίζουν πολλά οφέλη για την υγεία. Οι ανθοκυάνες ασκούν αντιοξειδωτική και αντιφλεγμονώδη δράση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόληψη ασθενειών, όπως του καρκίνου, του διαβήτη και κάποιων μικροβιακών μολύνσεων (Alarpat B. 2020). Ωστόσο, όμως, είναι ευαίσθητες σε θερμότητα, φως και οξυγόνο και για αυτό η ενθυλάκωση θεωρείται ως ένας αποτελεσματικός τρόπος για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα.

Η συγκεκριμένη έρευνα σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε με τον εξής τρόπο. Αρχικά, παραλήφθηκε εκχύλισμα ανθοκυανών από φλούδες μελιτζανών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ενθυλάκωση του εκχυλίσματος σε συστήματα διαφόρων πολυσακχαριτών όπως το αραβικό κόμμι και οι πηκτίνες χαμηλής και υψηλής μεθυλίωσης, όπου χρησιμοποιήθηκαν τόσο μεμονωμένα, όσο και σε συνδυασμούς μεταξύ τους. Τέλος, οι σκόνες προστέθηκαν σε πηκτές ζελατίνης και ο στόχος ήταν η σύγκριση διαφόρων ιδιοτήτων.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μέτρηση της ενθυλάκωσης των ανθοκυανών, και από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι όλες οι σκόνες παρουσίασαν στατιστικά την ίδια απόδοση ενθυλάκωσης (88,25%). Αυτή η υψηλή τιμή απόδοσης δείχνει τη σταθερότητα της διαδικασίας ενσωμάτωσης και ενισχύει την δυνατότητα της χρήσης των σκονών ως πηγή ανθοκυανών σε διάφορες εφαρμογές.

Κατόπιν, μετρήθηκε η περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες, όπου το εκχύλισμα ανθοκυανών παρουσίασε υψηλότερη τιμή σε σύγκριση με τις σκόνες (0,243 και 0,109 mg GAE/0.5 mL, αντίστοιχα). Αυτή η διαφορά δείχνει ότι η διαδικασία παραγωγής των σκονών και πιο συγκεκριμένα η παραμονή στο φούρνο, είχε αρνητική επίδραση στο φαινολικό περιεχόμενο του εκχυλίσματος. Η αντιοξειδωτική δράση των σκονών ήταν μέτρια (~ 40%).

Μια σημαντική ιδιότητα των τροφίμων είναι η υγρασία, η οποία σχετίζεται με τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής τους (Plati F. et al., 2019). Σύμφωνα με τους Damodaran & Parkin (2017), στη βιομηχανία τροφίμων επιδιώκεται επιθυμητό ποσοστό υγρασίας από 1% έως 6%, καθώς αυτό αποτελεί το κατάλληλο εύρος για να διατηρείται η σταθερότητα τους κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Η υγρασία που παρουσιάστηκε στην παρούσα μελέτη ήταν περίπου 0,41% κι άρα αρκετά χαμηλή.

Σχετικά με τη διαλυτότητα, σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, όλες οι σκόνες παρουσίασαν στατιστικά την ίδια διαλυτότητα (~63,45%). Σύμφωνα με την έρευνα των Κορ et al., (2011), οι τιμές του δείκτη διαλυτότητας της σκόνης στο πείραμά τους ήταν παρόμοιες με αυτές που παρουσιάστηκαν στην παρούσα μελέτη. Γενικά, οι σκόνες

παρουσιάζουν ικανοποιητική διαλυτότητα που θα διευκόλυνε την μελλοντική της αξιοποίηση. Στη συνέχεια, εξετάστηκαν οι δείκτες ροής, οι οποίοι, σύμφωνα με τον Fitzpatrick (2013), αποτελούν κρίσιμες παραμέτρους και είναι ουσιώδεις για τον ποιοτικό έλεγχο των τροφίμων, καθώς επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά επεξεργασίας και την ποιότητα των προϊόντων κατά τη διάρκεια των βιομηχανικών διαδικασιών. Στην παρούσα μελέτη, όλες οι σκόνες χαρακτηρίζονται από πολύ καλή ρευστότητα και χαμηλή συνεκτικότητα, όπως επιβεβαιώνεται από το δείκτη Carr (CI) και την αναλογία Hausner (HR) (βλέπε Πίνακας 2).

Σύμφωνα με τη μελέτη των Barbosa-Cánovas et al. (2005), οι ιδιότητες όγκου (όπως η φαινόμενη πυκνότητα, η πυκνότητα στοιβάσεως και το πορώδες) μιας σκόνης τροφίμων εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και την κατανομή των σωματιδίων. Χαμηλές τιμές φαινόμενης πυκνότητας (bulk density) θεωρούνται μη επιθυμητές, καθώς απαιτείται μεγαλύτερος όγκος συσκευασίας. Επιπλέον, αυτές οι χαμηλές τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα φραγμού του αέρα εντός των σκονών, αυξάνοντας τον κίνδυνο οξείδωσης του προϊόντος και μειώνοντας τη σταθερότητα κατά την αποθήκευση. Στην παρούσα μελέτη, οι GA-HMP και GA-LMP σκόνες παρουσιάζουν υψηλές τιμές φαινόμενης πυκνότητας (0,75), σε σύγκριση με τη GA σκόνη (0,67). Συνεπώς, ως προς αυτήν την ιδιότητα, το αραβικό κόμμι σε συνδυασμό με πηκτίνη χαμηλής ή υψηλής μεθυλίωσης φαίνεται να αποτελεί καλύτερη επιλογή υποστρώματος. Όσο αφορά το πορώδες, μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζουν οι GA-LMP και GA-HMP σκόνες (66,36) συγκριτικά με τη GA σκόνη που έχει μικρότερο πορώδες (40,72).

Σε ό,τι αφορά την ικανότητα διαβροχής των σωματιδίων, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος, τόσο πιο γρήγορα διαβρέχονται τα σωματίδια. Η GA-HMP σκόνη παρουσίασε τη μεγαλύτερη ικανότητα διαβροχής των σωματιδίων ενώ η GA σκόνη τη μικρότερη ικανότητα. Συνολικά, όλες οι σκόνες παρουσίασαν μεγάλη ικανότητα διαβροχής με χρόνους <2 sec που είναι πολύ θετικό για τις ιδιότητες ανασύστασής τους.

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος είναι το χρώμα, καθώς αποτελεί ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αντίληψη της ποιότητας των τροφίμων. Επιπλέον, οι μελέτες των Pieczykola & Kurek (2019) και Li et al. (2018) έχουν δείξει ότι το χρώμα μιας σκόνης εξαρτάται σημαντικά από το υλικό του υποστρώματος. Στην παρούσα μελέτη, τόσο η επιλογή των πολυσακχαριστών όσο και η παρουσία του εκχυλίσματος ανθοκυανών ήταν σημαντικές για το χρώμα. Συνοπτικά, οι σκόνες δεν ήταν ιδιαίτερα φωτεινές με την GA-LMP σκόνη να είναι η λιγότερο φωτεινή. Όσον αφορά στην παράμετρο a^* , όλες οι σκόνες είχαν θετικές τιμές που συνάδει με την παρουσία των ανθοκυανών.

Κατά την ενσωμάτωση των σκονών στις πηκτές, οι πηκτές με GA και GA-HMP εμφάνισαν μικρότερη φωτεινότητα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες σκόνες ενώ η πηκτή με GA-LMP ήταν γενικά

η πιο φωτεινή παρόλο που η GA-LMP σκόνη ήταν η λιγότερο φωτεινή από όλες τις σκόνες. Ταυτόχρονα, στην περίπτωση των πηκτών η κοκκινωπή απόχρωση ήταν μικρότερης έντασης με το a^* να λαμβάνει μικρότερες (θετικές) τιμές. Όλα τα παραπάνω επιβεβαιώνουν τη σημασία της επιλογής του υλικού υποστρώματος για την επίτευξη του επιθυμητού χρώματος και της ποιότητας του τελικού προϊόντος.

Όσον αφορά στην αντιοξειδωτική ικανότητα, οι πηκτές παρουσίασαν AA από 15,46-53,79%, που με εξαίρεση την πηκτή με GA, ήταν υψηλότερη από την αντίστοιχη σκόνη. Το γεγονός αυτό είναι ενθαρρυντικό για την μετέπειτα αξιοποίηση του εκχυλίσματος ανθοκυανών μέσω ενσωμάτωσής τους σε πηκτές με την παρουσία των πηκτινών να οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα.

6.ΒΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Alappat B., Alappa J. (2020). Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics
- 2) Al-Jubori Y., Babiker Ahmed N.T., Albusaidi R., Madden J., Das S., Sirasanagandla R.S. (2023). The Efficacy of Gum Arabic in Managing Diseases: A Systematic Review of Evidence-Based Clinical Trials. National Library of Medicine
- 3) Ashour M.A.,¹, Fatima W., Imran M., Ghoneim M.M., Alshehri S., Shakeel F. (2022). A Review on the Main Phytoconstituents, Traditional Uses, Inventions, and Patent Literature of Gum Arabic Emphasizing *Acacia seyal*. National Library of Medicine
- 4) Baranwal J., Barse B., Fais A., Delogu G. L., Kumar A. (2022). Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications. MDPI
- 5) Barbosa-Cánovas G., Ortega-Rivas E., Juliano P., Yan H. (2005). Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality
- 6) Butelli E., Titta L., Giorgio M., Mock H.P., Matros A., Peterek S., Schijlen E., Hall R.D., Bovy A.G., Luo J., Martin C. (2008). Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors.
- 7) Caillol S. (2020). Special Issue "Natural Polymers and Biopolymers II". National Library of Medicine
- 8) Carothers H. W. (1929). Studies on polymerization and ring formation. I. an introduction to the general theory of condensation polymers.
- 9) Damodaran S., Parkin K.L. (2017). Fennema's Food Chemistry
- 10) Duan Z., Tian S., Yang G., Wei M., Li J., Yang F. (2021) The Basic Helix-Loop-Helix Transcription Factor SmbHLH1 Represses Anthocyanin Biosynthesis in Eggplant. National Library of Medicine

- 11) Elizalde-Romero C.A., Montoya-Inzunza L.A., Contreras-Angulo L.A., Heredia J.B., Gutiérrez-Grijalva E.P. (2021). Solanum Fruits: Phytochemicals, Bioaccessibility and Bioavailability, and Their Relationship With Their Health-Promoting Effects. National Library of Medicine
- 12) Elnour A., Abdurahman N.H., Musa K.H., Rasheed Z. (2023). Prebiotic potential of gum Arabic for gut health. National Library of Medicine
- 13) Emran T.B., Islam F., Mitra S., Paul S., Nath N., Khan Z., Das R., Chandran D., Sharma R., Lima M.G., Al Awadh A.A., Almazni I.A., Alhasaniah A.H., Guiné R.P.F. (2022). Pectin: A Bioactive Food Polysaccharide with Cancer Preventive Potential. National Library of Medicine
- 14) Fitzpatrick J. (2013). Powder properties in food production systems
- 15) Gouda E. and Babiker corresponding F. (2022). Gum Arabic protects the rat heart from ischemia/reperfusion injury through anti-inflammatory and antioxidant pathways. National Library of Medicine
- 16) Idham Z., Muhamad I., Mohd-Setapar H., Sarmidi M.R. (2012). Effect of thermal processes on roselle anthocyanins encapsulated in different polymer matrices.
- 17) Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration
- 18) Kerio L., Wachira F.N., Wanyoko J.K., Rotich M.K. (2012). Characterization of anthocyanins in Kenyan teas: Extraction and identification
- 19) Koç B., Sakin-Yılmaz M., Kaymak-Ertekin F., Balkır P. (2011). Physical properties of yoghurt powder produced by spray drying
- 20) Kong J.M., Chia L.S., Goh N.K., Chia T.F., Brouillard R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins

- 21) Lara-Espinoza C., Carvajal-Millán E., Balandrán-Quintana R., López-Franco Y., Rascón-Chu A. (2018). Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture
- 22) Lee J., Durst R., Wrolstad R.E. (2005). AOAC 2005.02: Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines- pH Differential Method.
- 23) Li W., Yu Y., Peng J., Dai Z., Wu J., Wang Z., Chen H. (2021). Characterization of Cationic Modified Short Linear Glucan and Fabrication of Complex Nanoparticles with Low and High Methoxy Pectin. National Library of Medicine
- 24) Liu Y., Tikunov Y., Schouten R.E., Marcelis L.F.M., Visser R.G.F., Bovy A. (2018). Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. National Library of Medicine
- 25) Lobato-Guarnido I., Luzón G., Ríos F., Fernández-Serrano M. (2023). Synthesis and Characterization of Environmentally Friendly Chitosan-Arabic Gum Nanoparticles for Encapsulation of Oregano Essential Oil in Pickering Emulsion. National Library of Medicine
- 26) Løvdal T., Olsen K., Slimestad R., Verheul M., Lillo C. (2010). Synergetic effects of nitrogen depletion, temperature, and light on the content of phenolic compounds and gene expression in leaves of tomato.
- 27) Maier A., Hoecker U. (2015). COP1/SPA ubiquitin ligase complexes repress anthocyanin accumulation under low light and high light conditions
- 28) Mariod A.A (2018). Gum Arabic: Structure, Properties, Application and Economics
- 29) Matsumaru K., Kamihama T., Inada K. (1971). Effect of Covering Materials with Different Transmission Properties on Anthocyanin Content of Eggplant Pericarp.
- 30) Merez-Sadowska A., Sitarek P., Kowalczyk T., Zajdel K., Jęcek M., Nowak P., Zajdel R. (2023). Food Anthocyanins: Malvidin and Its Glycosides as Promising Antioxidant and Anti-Inflammatory Agents with Potential Health Benefits. National Library of Medicine

- 31) Mitura S., Sionkowska A., Jaiswal A. (2020). Biopolymers for hydrogels in cosmetics: review. National Library of Medicine
- 32) Mravec J., Kračun S.K., Rydahl M.G., Westereng B., Pontiggia D., Lorenzo G., Domozych D.S., Willats W.G.T. (2017). An oligogalacturonide-derived molecular probe demonstrates the dynamics of calcium-mediated pectin complexation in cell walls of tip-growing structures
- 33) Naji K., Thamer F., Numan A., Dauqan E., Alshaibi Y., D'souza M., (2020). Ferric-bipyridine assay: A novel spectrophotometric method for measurement of antioxidant capacity.
- 34) Nasir O. (2013). Renal and extrarenal effects of gum arabic (*Acacia senegal*)-what can be learned from animal experiments?
- 35) Pascale N., Gu F., Larsen N., Jespersen L., Respondek F. (2022). The Potential of Pectins to Modulate the Human Gut Microbiota Evaluated by In Vitro Fermentation: A Systematic Review. MDPI
- 36) Picout D.R., Ross-Murphy S.B. (2003). Rheology of Biopolymer Solutions and Gels. National Library of Medicine
- 37) Plati F., Matsakidou A., Kiosseoglou V., Paraskevopoulou A. (2019). Development of a dehydrated dressing-type emulsion with instant powder characteristics.
- 38) Pojer E., Mattivi F., Johnson D., Stockley C.S. (2013). The Case for Anthocyanin Consumption to Promote Human Health: A Review
- 39) Rediguieri C.F., Freitas O., Lettinga M.P., Tuinier R. (2007). Thermodynamic incompatibility and complex formation in pectin/caseinate mixtures. National Library of Medicine
- 40) Runnels C., Lanier K.A., Williams J., Bowman J. C., Petrov A., Hud N.V., Williams L.D. (2018). Folding, Assembly, and Persistence: The Essential Nature and Origins of Biopolymers. National Library of Medicine

- 41) Sadilova E., Stintzing F.C., Carl R. (2006). Anthocyanins, Colour and Antioxidant Properties of Eggplant(*Solanum melongena* L.) and Violet Pepper (*Capsicum annuum* L.)Peel Extracts
- 42) Singleton, V., Rossi, J. (1965). Colorimetry of Total Phenolic Compounds with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. American Journal of Enology and Viticulture.
- 43) Sun C., Wu Z., Wang Z., Zhang H. (2015). Effect of Ethanol/Water Solvents on Phenolic Profiles and Antioxidant Properties of Beijing Propolis Extract
- 44) Taher D., Solberg S., Prohens J., Chou Y., Rakha M., Wu T. (2017). World Vegetable Center Eggplant Collection: Origin, Composition, Seed Dissemination and Utilization in Breeding
- 45) Tamang N., Shrestha P., Khadka B., Mondal M.H., Saha B., Bhattarai A. (2022). A Review of Biopolymers' Utility as Emulsion Stabilizers. National Library of Medicine
- 46) Thakur B.R., Singh R.K., Handa A.K., Rao M.A. (2009). Chemistry and uses of pectin - A review (Pages 47-73).
- 47) Watson R., Schönlaui F. (2015). Nutraceutical and antioxidant effects of a delphinidin-rich maqui berry extract Delphinol®: a review.
- 48) Yarmohammadi F., Rahbardar M.G., Hosseinzadeh H. (2021). Effect of eggplant (*Solanum melongena*) on the metabolic syndrome: A review
- 49) Zhang Z., Kobata K., Pham H., Kos D., Tan Y., Lu J., McClements D.J. (2022). Production of Plant-Based Seafood: Scallop Analogs Formed by Enzymatic Gelation of Pea Protein-Pectin Mixtures. National Library of Medicine
- 50) Zhang J., Zhang C., Chen X., Quek S.Y. (2019). Effect of spray drying on phenolic compounds of cranberry juice and their stability during storage
- 51) Zhao CL, Guo HC, Dong ZY, Zhao Q. (2009). Pharmacological and nutritional activities of potato anthocyanins.

- 52) Ευαγγελίου, Β. (2020). Βιοπολυμερή ή (Υδροκολλοειδή) Τροφίμων. Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- 53) Ολύμπιος Χ.Μ. (2015). Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών. Εκδόσεις ΑΘ. ΣΤΑΜΟΥΗΣ
- 54) Σάββας Δημήτριος, Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών