



<< Μελέτη της επίδρασης του υποφαούς στο σχηματισμό πηκτής του βιοπολυμερούς ξανθάνη>>

<<Effect of hippophaes on the formation of xanthan gels of the biopolymer xanthan gum>>



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαγεωργίου Αλεξάνδρα

Λάρισα 2024

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Γιαννούλη Περσεφόνη

Επίκουρος καθηγήτρια

Τεχνολογία και Ποιοτικός Έλεγχος Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Γιαννούλη Περσεφόνη
Επίκουρος Καθηγήτρια
Τεχνολογία και Ποιοτικός Έλεγχος Τροφίμων Φυτικής Προέλευσης.
2. Λεωνίδας Δημήτριος
Καθηγητής Βιοχημείας
3. Μπαλατσός Νικόλαος
Αναπληρωτής Καθηγητής Βιοχημείας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κα. Γιαννούλη Περσεφόνη για τις κατευθυντήριες συμβουλές της και το χρόνο της που συνέβαλε στο να βρεθούν περεταίρω πηγές άντλησης πληροφοριών, τις διορθώσεις της όσον αφορά το κείμενο της εργασίας και γενικότερα της υποστήριξή της σε όλο το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον κ. Λεωνίδα Καθηγητή και τον κ. Μπαλατσό Αναπληρωτή Καθηγητή για τις συμβουλές και τις παρατηρήσεις τους.

Με εκτίμηση

Παπαγεωργίου Αλεξάνδρα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας διερευνήθηκε η επίδραση της προσθήκης του ιπποφαούς όσον αφορά τις ιδιότητες του χρώματος, όπου αναλύθηκε ο παράγοντας L^* , a^* , b^* και η δομή των πηκτών που σχηματίστηκαν, όσον αφορά τη σκληρότητα των πηκτωμάτων. Εκτός από πηκτές, δημιουργήθηκαν και κρυσταλλικοί, όπου και μελετήθηκαν οι διαφορές των αποτελεσμάτων χρωματικά και δομικά. Υπήρξαν σημαντικές διαφορές στις χρωματικές παραμέτρους και δομικά εξαιτίας του τρόπου αποθήκευσης των μειγμάτων ξανθάνης όπως επίσης βρέθηκαν και πολλές διαφορές μετά την προσθήκη του ιπποφαούς. Όσον αφορά τη δομή και συγκεκριμένα τη σκληρότητα των δειγμάτων διαπιστώθηκε ότι γενικά τα διαλύματα ξανθάνης δημιουργούν ασθενείς και μαλακές πηκτές και ότι αυξάνοντας τη συγκέντρωση της ξανθάνης στα διαλύματα μειώνεται η συνεκτικότητα και επομένως γίνεται πιο μαλακή η δομή. Η ιδανικότερη συγκέντρωση που βρέθηκε ήταν 0,6% w/w. Όσον αφορά την προσθήκη του ιπποφαούς διαπιστώθηκε ότι αυξάνει τη σκληρότητα των δειγμάτων, ωστόσο πάλι σε χαμηλές συγκεντρώσεις, με τη μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας να δίνει το μείγμα συγκεντρώσεων 0,6%w/w ξανθάνης και 0,25% w/w ιπποφαούς. Τέλος, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας πηκτωμάτων ξανθάνης με προσθήκη ιπποφαούς αλλά σε χαμηλές συγκεντρώσεις ώστε να δημιουργούνται πηκτές.

Λέξεις κλειδιά: Ξανθάνη, Ιπποφαές, πηκτές, κρυσταλλικοί, χρώμα, σκληρότητα

ABSTRACT

The aim of this research is to investigate the effects of the addition of sea buckthorn in terms of color properties, were the factor L^* , a^* , b^* and the structure of the formed gels were analyzed, in terms of the hardness of the gels. Besides of gels, cryogels also created and analyzed the differences between both of them in color parameters and structure. There are significant differences in both color parameters and structure due to the way the xanthan mixtures were stored and also there are many differenced after the addition of sea buckthorn. Regarding the structure and specifically the hardness of the samples it was found that in general xanthan solutions create weak and soft gels and that by increasing the concentration of xanthan in the solution the cohesion decreases and therefore the structure becomes softer. The ideal concentration found was 0,6%w/w. Regarding the addition of sea buckthorn it was found that it increases the hardness of the samples, however at low concentrations, with the highest hardness value given by the mixture 0,6%w/w xanthan and 0,25%w/w sea buckthorn. Finally, it is possible to create xanthan gels with the addition of sea buckthorn at low concentrations to create gels.

Keywords: Xanthan, Sea buckthorn, gels, cryogels, color, hardness

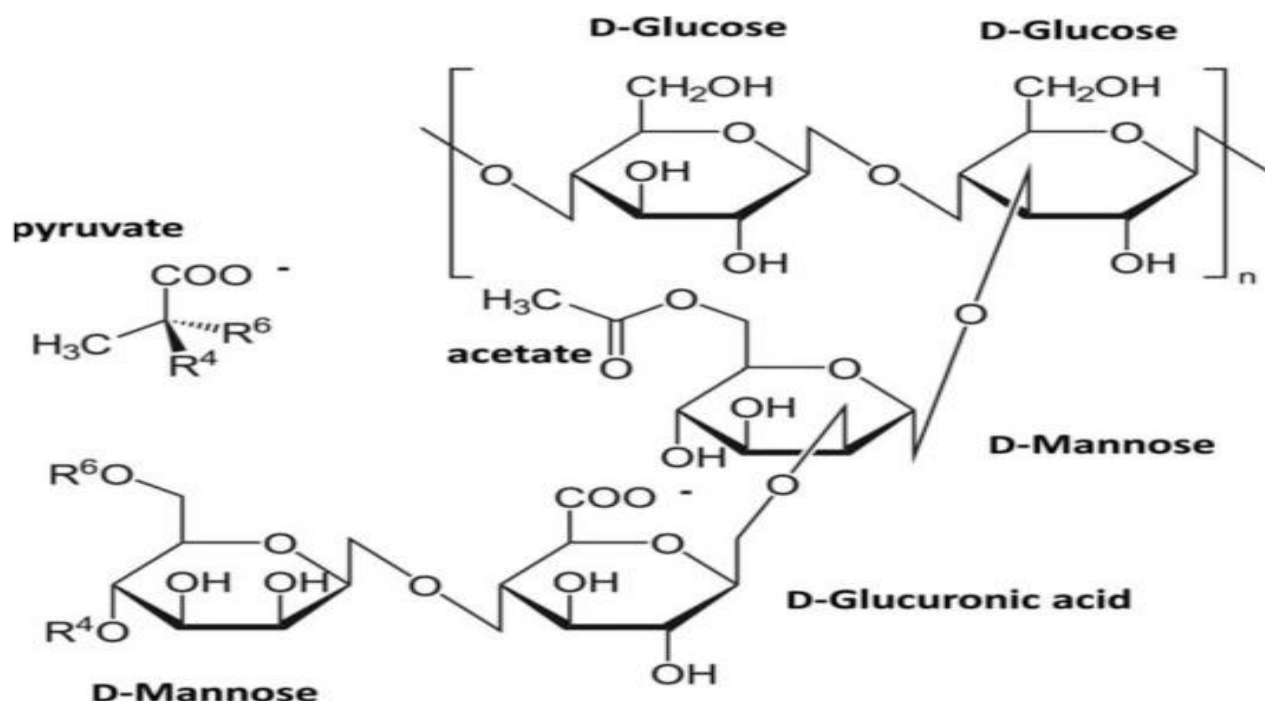
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Κεφάλαιο 1 ^ο : Η ξανθάνη στα τρόφιμα	7
1.1 Δομή ξανθάνης.....	7
1.2 Παραγωγή ξανθάνης.....	8
1.3 Ιδιότητες – Δράσεις ξανθάνης.....	10
1.4 Εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων.....	12
Κεφάλαιο 2 ^ο : Κρυοπηκτές – Cryogels.....	13
2.Ορισμός - Διαδικασία κρυοπηκτοποίησης – cryogelation.....	13
Κεφάλαιο 3 ^ο : Ιπποφαές στα Τρόφιμα.....	15
3.1 Τί είναι το ιπποφαές.....	15
3.2 Θρεπτικές ουσίες και βιοδραστικές ενώσεις ιπποφαούς.....	16
3.3 Δράσεις ιπποφαούς.....	18
3.4 Εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων.....	22
Κεφάλαιο 4 ^ο : Υλικά και μέθοδοι	24
Κεφάλαιο 5 ^ο : Αποτελέσματα – Συζήτηση.....	27
Συμπεράσματα.....	39
Βιβλιογραφία	40

Κεφάλαιο 1° : Η ξανθάνη στα τρόφιμα

1.1 Δομή ξανθάνης

Η ξανθάνη είναι ένας ετεροπολυσακχαρίτης με μοριακό τύπο ($C_{35}H_{49}O_{29}$)η, ανακαλύφθηκε από την Allene Rosalind Jeanes και την ερευνητική της ομάδα στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Διαθέτει υδρόφιλη φύση και δεσμευτικές ιδιότητες με διάφορα οργανικά και ανόργανα υλικά (Denise FS Petri, 2015). Δομικά αποτελείται από μια μακρά αλυσίδα επαναλαμβανόμενων μονάδων πεντασακχαρίτη γλυκόζης, μαννόζης και γλυκουρονικού οξέος σε μοριακή αναλογία 2:2:1. Η κύρια αλυσίδα της αποτελείται από μονάδες β-D-γλυκόζης οι οποίες συνδέονται στις θέσεις 1 και 4, μιμούνται τη δομή της κυτταρίνης, ενώ η πλευρική αλυσίδα τρισακχαρίτη περιέχει μια μονάδα D-γλυκουρονικού οξέος μεταξύ δυο μονάδων D-μαννόζης που συνδέονται με εναλλασσόμενη μονάδα γλυκόζης στην κύρια αλυσίδα (Jansson *et al.*, 1975). Ένα υπόλειμμα πυροσταφυλικού οξέος συνδέεται με το τερματικό D-μονάδα μαννόζης, ενώ μια ομάδα ακετυλίου συνδέεται με τη μονάδα D-μαννόζης που συνδέεται με την κύρια αλυσίδα. (Rosalam and England, 2006). Η σταθερότητα της ξανθάνης επηρεάζεται από την πρωτογενή δομή των αλυσίδων ξανθάνης και ο τύπος της λειτουργικής ομάδας στην εξωτερική μονάδα μαννόζης με περισσότερη ακετυλίωση οδηγεί σε μεγαλύτερη σταθερότητα (Kool *et al.*, 2014). Κατά τη θερμική επεξεργασία των διαλυμάτων, η φυσική δομή της ξανθάνης αλλάζει σε διαταραγμένη διαμόρφωση. Η ψύξη ανακτά ξανά τη διατεταγμένη ελικοειδή δομή, αλλά η πλήρης ανάκτηση της διατεταγμένης δομής δεν είναι δυνατή καθώς η ακριβή σύζευξη δεν έχει αποκατασταθεί πλήρως (Jeanes *et al.*, 1961). Η τρισδιάστατη δομή της ξανθάνης είναι υπεύθυνη για τα χαρακτηριστικά της όπως εναιωρήματα και γαλακτώματα ως σταθεροποιητής (Katzbauer, 1998). Τα διαλύματα ξανθάνης έχουν ισχυρή σταθερότητα ανακρυστάλλωσης εξαιτίας της δύναμης δέσμευσης του αέρα.

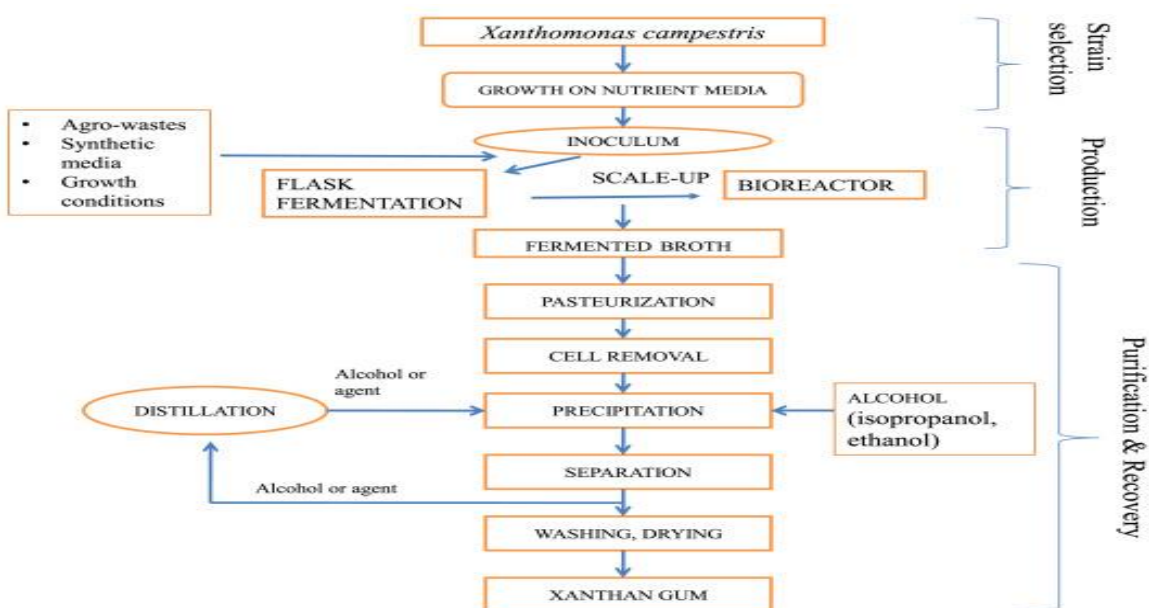


Εικόνα 1. Πρωτογενής δομή του Xanthan Gum προσαρμοσμένη από Petri, 2015.

1.2 Παραγωγή ξανθάνης

Η ξανθάνη πιστεύεται ότι παράγεται ως μηχανισμός απόκρισης σε εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες πίεσης. Για τη διαδικασία της παραγωγής, το *Xanthomonas campestris* αρχικά καλλιεργείται σε καλά αεριζόμενο και καλά αναδευόμενο ζυμωτήρα. Το μέσο παρέχεται με μια πηγή υδατανθράκων, όπως γλυκόζη ή σακχαρόζη. Η απόδοση ξανθάνης και η δομή του εξαρτώνται από τις λειτουργικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Garcia-Ochoa et al., 2000). Μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης, το μέσο παραγωγής περιέχει το παραγόμενο κομμάτι ξανθάνης, μικροβιακά υπολείμματα και πολλούς άλλους χημικούς παράγοντες. Πρώτα αφαιρούνται τα βακτηριακά κύτταρα, είτε με θερμική επεξεργασία είτε με φυγοκέντρηση ή διήθηση. Ιδανικότερη επιλογή είναι η θερμική επεξεργασία, καθώς με αυτόν τον τρόπο αδρανοποιούνται τα ένζυμα που παράγονται από το βακτήριο για την αποικοδόμηση των φυτικών πολυσακχαριτών, όπως οι αμυλάσεις, οι πηκτινάσεις και οι ενδογλυκονάσες. Η καθίζηση πραγματοποιείται για περαιτέρω καθαρισμό χρησιμοποιώντας οργανικούς διαλύτες όπως αιθανόλη,

ισοπροπανόλη και ακετόνη, με την προσθήκη ορισμένων αλάτων και προσαρμογών του Ph. Με την κατακρήμνιση το προϊόν αφυδατώνεται μηχανικά, ξηραίνεται και συσκευάζεται (Katzbauer, 1998).



Εικόνα 2. Διάγραμμα ροής που περιγράφει τα στάδια που εμπλέκονται στην παραγωγή κόμμεος ξανθάνης.

Η τελική συγκέντρωση της ξανθάνης καθώς και η παραγωγικότητα εξαρτώνται από τον ρυθμό μεταφοράς και την παροχή οξυγόνου, όπου όσο υψηλότερη τόσο το καλύτερο για την ξανθάνη. Οι περισσότερες ξανθάνες του εμπορίου έχουν τελική περιεκτικότητα σε υγρασία περίπου 10%. (G.Hublik, 2012). Το μοριακό βάρος της ξανθάνης κυμαίνεται περίπου από 1.000.000 g/mol σε 2.000.000 g/mol (Voragen, Rolin Marr et al., 2012).

Από προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει (Giannouli P. & Morris E.R., 2003) η ξανθάνη σχηματίζει ασθενείς πηκτές και κυρίως ύστερα από αλληλεπίδραση με κατιόντα. Ισχυρότερες δομές σχηματίζονται εφόσον τα διαλύματα ξανθάνης ψύχονται και αποψύχονται (κρυοπηκτοποίηση).

Το ιξώδες των διαλυμάτων ξανθάνης διαφοροποιείται μεταξύ της περιοχής από 13-35 cP. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του πολυμερούς αυξάνεται και το ιξώδες, λόγω

της διαμοριακής αλληλεπίδρασης. Σε χαμηλή συγκέντρωση πολυμερούς, το ιζώδες μειώνεται με την προσθήκη μικρής ποσότητας άλατος στο διάλυμα λόγω μειωμένων διαμοριακών ηλεκτροστατικών δυνάμεων. Το ιζώδες ενός διαλύματος ξανθάνης δεν εξαρτάται από τη συγκέντρωση του άλατος μόνο όταν το άλας υπερβαίνει το 0,1%w/v. (Cristina-Eliza Brunchi, Simona Morariu, Mario Bercea, 2014). Το ιζώδες των διαλυμάτων ξανθάνης επηρεάζεται ελάχιστα από το pH και τις θερμοκρασίες έως και 90 °C, ενώ χαμηλή επιρροή έχουν επίσης οι υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων (Voragen, Rolin Marr et al., 2012).

Κατά την παραγωγή της ξανθάνης, το pH του μέσου μειώνεται από ουδέτερο σε τιμές κοντά στο 5 λόγω των ομάδων οξέος που υπάρχουν στην ξανθάνη.

Η ξανθάνη παρήχθη εμπορικά από την CP Kelco με το εμπορικό σήμα Kelzan και διαπιστεύτηκε για χρήση τροφίμων το 1968 (Denise FS Petri, 2015). Η εκτιμώμενη παραγωγή πιστεύεται ότι είναι 30.000 τόνοι ετησίως (Li et al., 2016). Από το 2005, η Κίνα έχει γίνει ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς ξανθάνης (Tao et al., 2012).

Οι κύριοι παραγωγοί ξανθάνης είναι η Merck και η Pfizer στις ΗΠΑ, Rhone Poulenc, Mero-Rousselot-Santia και Sanofi-Elf στη Γαλλία, Saidy Chemical στην Κίνα και Jungbunzlauer στην Αυστρία (Casas et al., 2000). Στην Ινδία, δεν υπάρχουν αναφορές για την παραγωγή ξανθάνης.

1.3 Ιδιότητες – Δράσεις ξανθάνης

Η ξανθάνη έχει μοναδικές ιδιότητες ως μη τοξική, υδατοδιαλυτή τόσο σε κρύο όσο και σε ζεστό νερό, βιοαποδομήσιμη, βιοσυμβατή, θερμικά σταθερή και σταθερή σε όξινες και αλκαλικές συνθήκες (Bejenarie et al., 2009, Kumar et al., 2018). Η ξανθάνη πιστεύεται ότι παρουσιάζει υψηλή διαλυτότητα τόσο σε κρύο όσο και σε ζεστό νερό λόγω της διάστασης του πολυμερούς και της απελευθέρωσης ηλεκτρολυτών στο υδατικό διάλυμα (πολυηλεκτρολυτική φύση) (Born et al., 2002,2005). Η ειδική ελικοειδής διάταξη του μορίου της ξανθάνης του προσδίδει εξαιρετικές ιδιότητες όπως η υπερβολική ψευδοπλαστική φύση του και η άμεση ανάκτηση που ενισχύει τη χρήση του σε πολλούς τομείς όπως στη βιομηχανία, τη βιοιατρική μηχανική και τη γεωργία (Abu Elella et al., 2019, Habibi and khosravi-Darani, 2017). Αξιοσημείωτη ιδιότητα είναι επίσης η

σταθεροποιητική και εναιωριτική ικανότητα γαλακτώματος. Με βάση τις τοξικολογικές δοκιμές σε ανθρώπινα τρόφιμα, η ξανθάνη θεωρείται ασφαλής (GRAS) από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (*Soccol et al., 2013*). Δεοδμένου ότι είναι μη τοξική και δεν προκαλεί κανένα ερεθισμό έχει εγκριθεί από τον FDA για τη χρήση ως πρόσθετου τροφίμου χωρίς κανένα όριο εφαρμογής (*Bueno et al., 2013, Feng et al., 2013*). Πλέον, χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων ως πυκνητικός και σταθεροποιητικός παράγοντας σε γαλακτώματα ή εναιωρήματα. Με τις ιδιότητες να είναι άχρωμο, άγευστο, άοσμο και να έχει λεία υφή, η ξανθάνη παρουσιάζει επίσης άλλες τεράστιες ιδιότητες όπως χαμηλό ιξώδες σε υψηλούς ρυθμούς διάτμισης και αντίστροφα. Η ξανθάνη έχει χρησιμοποιηθεί ως πηκτικός παράγοντας σε οδοντόκρεμες και άλλα προϊόντα για να τα διατηρεί παχύρευστα. Σε μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε (*Xiambao, Yan, Zibo et al., 2022*) διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της ξανθάνης στη δημιουργία πηκτωμάτων με το άμυλο του μπιζελιού που αποσπάστηκε από το ένζυμο πουλουλανάση. Βρέθηκε ότι η περιεκτικότητα σε αμυλόζη αυξήθηκε σημαντικά καθώς επίσης αυξήθηκε και το ιξώδες του αμύλου και ενισχύστηκε η ρευστότητα του πηκτώματος. Χρησιμοποιείται επίσης σε καλλυντικά, προϊόντα καθαρισμού, επικαλύψεις και χρώματα. Η κορυφαία εφαρμογή της ξανθάνης είναι σε συστήματα ελέγχου χορήγησης φαρμάκων στις φαρμακοβιομηχανίες. (*Igra Mohiuddin Bhat, Shoib Mohmad Wani, Sajad Ahmad Mir, F.A.Masoodi, 2021*)

Εκτός από τη χρήση πηκτωμάτων, σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε (*Giannouli P., Morris E.R., 2003*) η ξανθάνη χρησιμοποιείται και σαν μέσο για τη δημιουργία κρυοπηκτωμάτων. Σε αυτήν την έρευνα μελετήθηκε η συνεκτικότητα των πηκτωμάτων ξανθάνης, αφού έγινε ψύξη στους -80°C και στη συνέχεια απόψυξη όπου και αποδείχθηκε ότι οι κρυοπηκτές σχηματίζουν πολύ ισχυρότερα και συνεκτικά δίκτυα. Οι ερευνητές θεωρούν ότι με τη διαδικασία της κατάψυξης, οι αλυσίδες ξανθάνης αναγκάζονται να ευθυγραμμιστούν και να συνδεθούν με τη μετατροπή του νερού σε παγοκρυστάλλους. Οι ενώσεις που προκύπτουν επιβιώνουν κατά την απόψυξη και έτσι σχηματίζεται το μακρομοριακό δίκτυο κρυοπηκτικής. Ωστόσο, με την προσθήκη σακχάρων περιορίζεται η μετατροπή νερού σε παγοκρυστάλλους, μειώνοντας έτσι το σχηματισμό δικτύου.

1.4 Εφαρμογές ξανθάνης στη βιομηχανία τροφίμων

Η ξανθάνη χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία τροφίμων ως παχυντικό και σταθεροποιητικός παράγοντας εναιωρήματος/γαλακτώματος σε μια ποικιλία προϊόντων όπως χυμούς, πολτό φρούτων, ποτά σε σκόνη, ντρέσινγκ, σοκολάτες, επιδόρπια, ζελέ, γαλακτοκομικά προϊόντα, μαργαρίνη, γιαούρτι, προϊόντα αρτοποιίας, κατεψυγμένα τρόφιμα (*Nikbakht Nasrabadi et al.*, 2016). Η ξανθάνη βελτιώνει την υφή, το ιξώδες, την εμφάνιση, τη συγκράτηση του νερού, τις ιδιότητες απελευθέρωσης γεύσης στα τρόφιμα και παρουσιάζει καλή ψευδοπλαστική συμπεριφορά βελτιώνοντας έτσι τη ρεολογία των τελικών προϊόντων (*Inftee Sherley and Priyadhashini*, 2015). Επίσης, η ξανθάνη έχει προστεθεί στα αρτοποιήματα χωρίς γλουτένη λόγω της ελστικότητας που προσφέρει στη ζύμη. Στις συνθέσεις τροφίμων η περιεκτικότητα σε κόμμι ξανθάνης κυμαίνεται από 0,05 έως 0,7% wt (*Zhou et al.*, 2014) και γενικά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κόμμεα γκουάρ και χαρουπιών για να αυξήσει τις επιθυμητές ιδιότητες και να μειώσει το παραγωγικό κόστος (*Katzbauer*, 1998 , *Sworn*, 2010). Σε ποτά και κολοκυθάκια, το κόμμι ξανθάνης ενισχύει τη μακροχρόνια εναιώρηση του πολτού φρούτων. Αυτό δίνει στο ποτό μια βελτιωμένη αίσθηση στο στόμα με γεμάτη γεύση, ομοιογένεια και καλή απελευθέρωση γεύσης (*katzbauer*, 1998).

Κεφάλαιο 2ο : Κρυοπηκτές – Cryogels

2.1 Τί είναι η κρυοπηκτική – cryogelation

Οι κρυογονικές/κρυοπηκτικές διαδικασίες χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την δημιουργία πολυμερών υλικών σε διάφορους τομείς, όπως της βιοιατρικής, της περιβαλλοντικής επιστήμης και στον τομέα της τεχνολογίας τροφίμων. Αν και τα κρυοπηκτώματα ανακαλύφθηκαν πριν από περισσότερα από 70 χρόνια, τα τελευταία 20 χρόνια προσέλκυσαν σημαντικό ενδιαφέρον, εξαιτίας των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους σε σύγκριση με τις κλασσικές υδρογέλες, όπως η υψηλή σκληρότητα, οριακά πλήρη συμπίεση, μηχανικά σταθερή πορώδη δομή με διάταξη κηρήθρας, ποροελαστικότητα και γρήγορη ανταπόκριση σε εξωτερικά ερεθίσματα. (*Xianbao Sun, Yan Wu, Zibo Song, Xiangyu Chen, 2021*).

Η κρυοπηκτική είναι μια διαδικασία σύμφωνα με την οποία η ζελατινοποίηση πραγματοποιείται υπό ημι-παγωμένες συνθήκες, δημιουργώντας ένα δίκτυο πολυμερών που διασυνδέεται γύρω από κρυστάλλους πάγου (*Turk J Chem, 2023*). Η επακόλουθη απόψυξη των κρυστάλλων πάγου αφήνει πίσω του ένα πολυμερές υλικό με ένα διασυνδεδεμένο, μακροπορώδες δίκτυο που περιβάλλεται από ένα πολύ πυκνό πολυμερές τοίχωμα. Το υλικό αυτό ονομάζεται κρυογέλη (cryogel). Το μέγεθος των κρυστάλλων πάγου και ως εκ τούτου το μέγεθος των πόρων των κρυοπηκτωμάτων μπορεί να ελεγχθεί με προσαρμογή διάφορων πειραματικών παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας κατάψυξης και του ρυθμού πήξης του συστήματος κρυοπηκτώματος. (*Morris et al., 1977, Norton et al., 1984*). Η μείωση της θερμοκρασίας κρυοπηκτοποίησης ή η αύξηση του ρυθμού ψύξης μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία μικρότερων πόρων λόγω του σχηματισμού μεγαλύτερου αριθμού μικρών κρυστάλλων διαλύτη. Το πάχος και το μέγεθος του τοιχώματος των πόρων μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την ποσότητα των μονομερών ή πολυμερών που χρησιμοποιούνται κατά την κρυοπηκτοποίηση. Η αύξηση της συγκέντρωσης μονομερούς ή πολυμερούς γενικά οδηγεί σε μικρότερους πόρους και παχύτερα τοιχώματα πόρων. (*Xianbao Sun, Yan Wu, Zibo Song, Xiangyu Chen, 2021*).

Το φαινόμενο της κρυοσυμπύκνωσης υπό κρυογονικές συνθήκες αποτελεί το βασικό χαρακτηριστικό των αντιδράσεων κρυοπηκτοποίησης και καθορίζει τις ιδιότητες της κρυογέλης. Η κρυοσυμπύκνωση είναι το φαινόμενο που παρατηρείται κατά τη

δημιουργία κρυοπηκτών, όπου η συγκέντρωση του μονομερούς (ή του πολυμερούς) αυξάνεται στη μη παγωμένη φάση λόγω του διαχωρισμού των κρυστάλλων πάγου. Οι κρυοπηκτές μπορούν να παραχθούν σε σημαντικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με τις πηκτές. (*Morris et al., 1977*).

Έχει αποδειχθεί ότι πολύ ισχυρότερα και πιο συνεκτικά δίκτυα σχηματίζονται όταν τα διαλύματα ξανθάνης καταψύχονται και αποψύχονται (*P.Giannouli, E.R.Morris, 2002*).

Σε ένα βιοιατρικό περιβάλλον, σε αντίθεση με τις συμβατικές νανοπορώδεις υδρογέλες, οι κρυογέλες επιτρέπουν την ανεμπόδιστη διάχυση διαλυμένων ουσιών ανεξαρτήτως μεγέθους και προάγουν την διείσδυση και την επιβίωση των κυττάρων.

Λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους, τα κρυοπηκτώματα έχουν χρησιμοποιηθεί για την παράδοση κυττάρων, την ανοσοθεραπεία καρκίνου, τη χορήγηση φαρμάκων, τη μηχανική ιστών και την κυτταρική καλλιέργεια σε τρεις διαστάσεις.

Κεφάλαιο 3^ο : Ιπποφαές στα τρόφιμα

3.1 Τί είναι το ιπποφαές και προέλευση

Το ιπποφαές (γένος *Hipporhae* L., οικογένεια *Elaeagnaceae*), ανήκει σε εξαιρετικά πολύτιμα φυτά που σήμερα καλλιεργούνται σε οπωρώνες, στην Ευρώπη, Καναδά, ΗΠΑ, Ασία. Τοποθετείται στην κατηγορία των *super foods* καθώς περιέχει πάνω από 190 θρεπτικές ουσίες.

Το ιπποφαές (*Hipporhae rhamnoides* L.) είναι φυλλοβόλος θάμνος ή δέντρο του γένους *Hipporhae* της οικογένειας *Elaeagnaceae*. Προέρχεται από τα Όρη Hengduan και την περιοχή των Ανατολικών Ιμαλαίων και είναι ευρέως διαδεδομένο στις εύκρατες περιοχές της Ευρασίας (*Ciesaroca et al., 2020, Letchamo et al., 2018*). Κάθε μέρος αυτού του φυτού (καρποί, φύλλα, μίσχοι, κλαδιά, ρίζες, αγκάθια) έχει χρησιμοποιηθεί παραδοσιακά στην Ιατρική, στα συμπληρώματα διατροφής, στη διατήρηση του εδάφους και της υγρασίας. Παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αντοχής του, του πλούτου του σε θρεπτικές δραστικές ουσίες και της βιολογικής του δράσης και έχει μακρά ιστορία στην Κίνα ως φαρμακευτικό φυτό (*Su et al., 2023, Wang et al., 2021*). Το ιπποφαές περιέχει πολλά θρεπτικά ενεργά συστατικά όπως βιταμίνες, καροτενοειδή, πολυφαινόλες, λιπαρά οξέα και φυτοστερόλες. Επιπλέον, το ιπποφαές έχει πολλά οφέλη για την υγεία όπως αντιοξειδωτική, αντικαρκινική, αντι-υπερλιπιδαιμική, αντιφλεγμονώδη, αντιμικροβιακή, αντιαλλεργική, δερματολογική και ηπατοπροστατευτική δράση (*Hao Teng, Zhigui He, Chengzhi Hong, Songzi Xie, Xueqiang Zha, 2024*). Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το ιπποφαές έχει μεγάλες φαρμακευτικές και θεραπευτικές δυνατότητες, κάτι που μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι το ιπποφαές περιέχει αρκετές βιταμίνες, καροτενοειδή, πολυφαινόλες και λιπαρά οξέα (*Stobdan T, Chaurasia O, Korekar G, Yadan A, Singh S, 2010*).

Από τη δεκαετία του 1940, Ρώσοι επιστήμονες έχουν ερευνήσει τις βιοδραστικές ουσίες στον καρπό, τα φύλλα και τον φλοιό του ιπποφαούς, οδηγώντας στην ανάπτυξη τροφών με ιπποφαές και κρέμες προστασίας από την ακτινοβολία για Ρώσους κοσμοναύτες (*Pilat B, Bieniek A, Zadernowski R, 2015*). Περιέχει σχεδόν 200 θρεπτικές και βιοδραστικές ενώσεις και είναι γνωστό ως “φυσικός θησαυρός βιταμινών” και “πηγή διατροφής και φροντίδας υγείας” (*Wang X, Xu T, Liu Y, Liu J, 2021*). Ως εκ τούτου, το ιπποφαές χρησιμοποιείται ευρέως από τη βιομηχανία τροφίμων για την Παρασκευή ψωμιών, γιουρτιών, μαρμελάδων, ποτών, τσαγιού και άλλων προϊόντων.

3.2. Θρεπτικές ουσίες ιπποφαούς και βιοδραστικές ενώσεις

ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ: Το ιπποφαές περιέχει βιταμίνης C που κυμαίνεται από 52,86 έως 896 mg/100g (*Kuhkheil A, Badi H, Mehrafarin A, Abdossi V*), αρκετά υψηλές ποσότητες βιταμίνης A, βιταμίνης E, νιασίνη, ριβοφλαβίνη, παντοθενικό οξύ, βιταμίνη B12 και βιταμίνη B6. Στο σχηματισμό των ανθρώπινων ιστών και στη διατήρηση των φυσιολογικών λειτουργιών εμπλέκονται μεταλλικά στοιχεία. Οι καρποί του ιπποφαούς έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πολλά μέταλλα (φώσφορο, σίδηρο, μαγνήσιο, βόριο, ασβέστιο, αλουμίνιο, κάλιο κ.α. Έχουν γίνει αναφορές που περιλαμβάνουν σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα του σε ανόργανα άλατα των καρπών του ιπποφαούς κατά τα διάφορα στάδια ωρίμανσης. Η υψηλότερη περιεκτικότητα που βρέθηκε στα φρούτα του ιπποφαούς στο στάδιο ωρίμανσης σε ασβέστιο, μαγνήσιο και φώσφορο ήταν 68,145 και 457,7 mg/kg, αντίστοιχα (*Arif S, Ahmed S, Shad A, Hassan L, Awan S, Hamid A et al., 2010*).

ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ: Έχει γίνει αναφορά ότι τα φρούτα του ιπποφαούς έχουν περιεκτικότητα 1,34-2,87 gr/100gr FW ζάχαρης. Η ζάχαρη με την υψηλότερη περιεκτικότητα είναι η γλυκόζη, που αντιπροσωπεύει το 86,58-92,68% της συνολικής περιεκτικότητας σε ζάχαρη. (*Tkacz K, Wojdylo A, Turkiewicz I, Bobak L, Nowicka P., 2019*). Μια μελέτη για τη σύνθεση σακχάρων 3 γερμανικών ποικιλιών ιπποφαούς ανέφερε ότι η περιεκτικότητα σε γλυκόζη, φρουκτόζη και μαννιτόλη είναι 11,95 – 15,26 mg/ml, 1,75-6,75 mg/ml & 1,32 – 6,21 mg/ml αντίστοιχα (*Ficzek G, Matravolgyi G, Furulas D, Rentsendavaa C, Jocsak I, Papp D, et al., 2019*). Η περιεκτικότητα σε ζάχαρη διαφέρει μεταξύ των ποικιλιών. Γενικά οι υδατάνθρακες που περιέχονται στα μούρα του ιπποφαούς αποτελούν κατά το πλείστον φρουκτόζη και γλυκόζη, με μικρές ποσότητες σακχαρόζης, σορβιτόλης, ξυλόζης και μαννιτόλης.

ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΟΞΕΑ ΚΑΙ ΑΜΙΝΟΞΕΑ: Ο καρπός του ιπποφαούς περιέχει αρκετά οργανικά αμινοξέα και τα παράγωγά τους. Τα παράγωγα αυτά οργανικού οξέος προάγουν τη διαφοροποίηση των οστών και συμβάλλουν στη διαφοροποίηση των μεσεγχυματικών βλαστοκυττάρων σε οστεοβλάστες (*Lee Y, Jang H, Park K, Kim S, Kim J, 2021*). Ανάλογα με το είδος του ιπποφαούς υπάρχουν διαφορετικοί τύποι και συγκεντρώσεις οργανικών οξέων. Υπάρχει αναφορά ότι ο χυμός του ιπποφαούς περιέχει 9 οργανικά οξέα, συγκεκριμένα κιτρικό οξύ, μυρμηκικό οξύ, τρυγικό οξύ, οξικό οξύ, κινικό οξύ, L-μηλικό οξύ, πυροσταφυλικό οξύ, D-μηλικό οξύ και ηλεκτρικό οξύ. Σε μία άλλη μελέτη σε 6 ποικιλίες ιπποφαούς στην Πολωνία ανιχνεύθηκε ισοκιτρικό οξύ και οξαλικό οξύ. Επιπλέον, το ιπποφαές είναι πλούσιο σε αμινοξέα που είναι απαραίτητα για τον ανθρώπινο οργανισμό. 17 αμινοξέα έχουν βρεθεί στα φύλλα, κλαδιά, σπόρους και

φρούτα ιπποφαούς, συμπεριλαμβανομένων 7 βασικών αμινοξέων (θρεονίνη, βαλίνη, μεθειονίνη, ισολευκίνη, λευκίνη, φαινυλαλανίνη και λυσίνη). Η περιεκτικότητα σε αμινοξέα στους σπόρους του ιπποφαούς είναι 18,63%, στα φύλλα 15,41%, στα κλαδιά 11,62% και στους καρπούς 6,89%. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε τυροσίνη και γλουταμινικό οξύ μπορεί να βρεθεί στους σπόρους του ιπποφαούς, σε ποσοστά 4,72 και 3,42% αντίστοιχα (Tan L, Zhao J, Ma J, Ji T, Dong Q, Shen J, 2018).

ΒΙΟΔΡΑΣΤΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ

- ΚΑΡΟΤΕΝΟΕΙΔΗ: Οι καρποί του ιπποφαούς διαθέτουν υψηλά επίπεδα καροτενοειδών, τα οποία προσδίδουν στο ιπποφάες το χαρακτηριστικό πορτοκαλοκίτρινο χρώμα του. Τα καροτενοειδή κυρίως δρουν ως αντιοξειδωτικά, ελαττώνοντας τον κίνδυνο ασθενειών, ιδιαίτερα της ασθένειας του καρκίνου και των οφθαλμικών παθήσεων (Jonshon E., 2002).
- ΠΟΛΥΦΑΙΝΟΛΕΣ: Οι πολυφαινόλες αποτελούν τις κύριες ενώσεις με αντιοξειδωτική δράση στο ιπποφάες. Μια πρόσφατη ανασκόπηση έδειξε ότι σχεδόν 100 πολυφαινολικές ενώσεις έχουν απομονωθεί και έχουν ταυτοποιηθεί από το ιπποφάες. Οι πολυφαινόλες περιέχουν κυρίως φλαβονοειδή και φαινολικά οξέα, όπου 17 φαινολικά οξέα έχουν βρεθεί στους καρπούς του ιπποφαούς. Το σαλκυλικό οξύ είναι το κύριο γαινολικό οξύ στα μούρα, σε ποσοστό 55-74,3% των συνολικών φαινολικών οξέων. Ωστόσο, μια άλλη έρευνα έδειξε ότι το γαλλικό οξύ αποτελεί το κύριο φαινολικό οξύ στα φρούτα και τα φύλλα του ιπποφαούς. Έως και σήμερα έχουν εντοπιστεί 95 φλαβονοειδή από το ιπποφάες, συμπεριλαμβανομένων 75 φλαβονολών, 2 διυδροφλαβονών, 6 κατεχινών, 1 λευκοκυανιδίνης, 9 ανθοκυανιδινών, 1 προανθοκυανιδίνης και 1 χαλκόνης (Liu S, Xiao P, Kuang Y, Hao T, Liu E, 2021).
- ΛΙΠΑΡΑ ΟΞΕΑ: Το ιπποφάες είναι πλούσιο σε μια ποικιλία λιπαρών οξέων που συμβάλλουν στην ανθρώπινη υγεία, στη θεραπεία διαταραχών του δέρματος και των βλεννογόνων και του συνδρόμου της ξηροφθαλμίας και στη μείωση του κινδύνου καρδιαγγειακών παθήσεων (Saeidi K, Alirezalu A, Akbari Z, 2016). Οι Teleszko et al. εντόπισαν 11 λιπαρά οξέα στο έλαιο πολτού ιπποφαούς. Βρέθηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα σε λιπαρά οξέα μεταξύ καλλιεργούμενου και άγριου ιπποφαούς. Η περιεκτικότητα σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα των μούρων άγριου ιπποφαούς ήταν αρκετά υψηλότερη σε σχέση με αυτήν των καλλιεργούμενων μούρων, ενώ τα επίπεδα πολυακόρεστων και κορεσμένων λιπαρών οξέων ήταν υψηλότερα στα καλλιεργούμενα μούρα (Vaitkeviciene N, Jariene E, Danileenko H, 2019). Τα κύρια λιπαρά οξέα στα μούρα του ιπποφαούς είναι το ελαϊκό οξύ, το παλμιτολεϊκό οξύ και το παλμιτικό οξύ.

- ΦΥΤΟΣΤΕΡΟΛΕΣ: Οι φυτοστερόλες ως βιοδραστικό συστατικό μπορούν να αποτρέψουν καρδιαγγειακές παθήσεις. Μια πρόσφατη μελέτη διαπίστωσε ότι η συνολική περιεκτικότητα σε φυτοστερόλη των λιπιδίων των μούρων από 8 ρωσικά είδη ιπποφαούς κυμαινόταν από 6168,24 έως 13378,22 $\mu\text{g}/100\text{ml}$. 14 ενώσεις στερόλης έχουν ανιχνευτεί στα λιπίδια του πολτού του ιπποφαούς, συγκεκριμένα 4-απομεθυλστερόλες, οι 4^α-μονομεθυλστερόλες (*Teleskzo M, Wojdylo A, Rudzinska M, Oszmianski J, Gollis T, 2015*).

3.3. Δράσεις ιπποφαούς

- Αντιοξειδωτική δράση: Πολλές μελέτες έχουν επιβεβαιώσει την αντιοξειδωτική δράση του ιπποφαούς *in vitro* και *in vivo*. Το φαινολικό κλάσμα από τα φρούτα του ιπποφαούς αναστέλλει το υπεροξειδίο του υδρογόνου ή το $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}$ που συμβάλλει στη διέγερση της υπεροξειδωσής των λιπιδίων του πλάσματος και την καρβονυλίωση των πρωτεϊνών. Στην πραγματικότητα, η καρβονυλίωση των πρωτεϊνών είναι ένας σχετικά σταθερός βιοδείκτης του οξειδωτικού στρες. Τα φαινολικά συστατικά του καρπού του ιπποφαούς ελάττωσαν τη συγκέντρωση των καρβονυλικών ομάδων στην πρωτεΐνη του πλάσματος που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με H_2O_2 ή $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}$. Όταν το πλάσμα υποβλήθηκε σε επεξεργασία με φαινολικά κλάσματα ιπποφαούς σε συγκέντρωση 50 g/ml για 60 λεπτά, ο ρυθμός αναστολής της υπεροξειδωσής των λιπιδίων του πλάσματος ήταν τόσο υψηλός όσο 60% (*Olas B, Kontek B, Malinowska P, Stochmal A, 2016*). Μελέτες *in vitro* έχουν δείξει ότι το εκχύλισμα ιπποφαούς με ή χωρίς ατορβαστατίνη για τη θεραπεία της υπερλιπιδαιμίας βοήθησε στη μείωση της οξειδωτικής βλάβης που προκαλείται από την υπεροξειδωση των λιπιδίων (*Mohamed E, Tulcan C, Alexa E, Morar D, Dumitrescu E, Muselin F, et al., 2020*). Επιπλέον, το εκχύλισμα φύλλων ιπποφαούς εξασθενεί το ενδοκυτταρικό οξειδωτικό στρες με τρόπο δοσοεξαρτώμενο, αυξάνοντας έτσι τη βιωσιμότητα των νευρωνικών κυττάρων PC-12 και την ακεραιότητα της μεμβράνης. Επίσης, 101 μελέτες για καρδιαγγειακές παθήσεις έδειξαν ότι ο καρπός του ιπποφαούς μείωσε τα επίπεδα χοληστερόλης στο αίμα και μείωσε τις παραμέτρους φλεγμονής και του οξειδωτικού στρες. Το έλαιο σπόρων ιπποφαούς αναστέλλει τη διαταραχή της οξειδοαναγωγικής ισορροπίας που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV) στα κύτταρα του δέρματος. Σε μελέτη των Gegotek et al. αναφέρθηκε ότι η επώαση

ινοβλαστών με έλαιο ιπποφαούς προκαλεί μειώσεις στη δημιουργία ενεργών ειδών οξυγόνου (ROS) κατά περίπου 25%. Το ιπποφάες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φυσική πηγή αντιοξειδωτικών για την πρόληψη και τη θεραπεία ασθενειών που σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες (*Front Nutr*, 2022)

- ΑΝΤΙΚΑΡΚΙΝΙΚΗ ΔΡΑΣΗ: Οι πολυφαινόλες του ιπποφαούς που αποτελούν το δραστικό συστατικό της καμπφερόλης και των παραγώγων της, έδειξαν σημαντική δράση εναντίον του καρκίνου του παχέος εντέρου *in vitro* και *in vivo*. Οι πολυφαινόλες του ιπποφαούς ρυθμίζουν ανοδικά την έκφραση του microRNA (miR)-195-5p και miR-497-5p και καθοδικά την έκφραση του miR-1247-3p ώστε να γίνει καταστολή της έκφρασης των κυκλινών, διακόπτοντας τον κυτταρικό κύκλο στη φάση G1 και επηρεάζοντας περαιτέρω τον πολλαπλασιασμό του καρκίνου του παχέος εντέρου. Επιπλέον, οι πολυφαινόλες του ιπποφαούς (50 mg/kg) ελάττωσαν σημαντικά τον όγκο του όγκου και έλεγξαν την ανάπτυξη του όγκου σε ξενομοσχευμένα γυμνά ποντίκια BALB/c *in vivo* (Wu H, Li C, Cui M, Guo H, Chen S, Du J, 2021). Το υδατικό εκχύλισμα φύλλων ιπποφαούς στοχεύει αποτελεσματικά τον υποδοχέα ανδρογόνου (AR) και σημαντικά μειωμένη ρύθμιση γονιδίων απόκρισης ανδρογόνων, ειδικό προστατικό αντιγόνο (PSA), λευχαιμία πλούσια σε λυσίνη έντεκα-δεκαεννέα (ELL2), παράγοντα 2 που σχετίζεται με ELL (EAF2), καλρετικουλίνη (CALR).) *in vitro*. Το υδατικό εκχύλισμα φύλλων ιπποφαούς μπορεί να αναστείλει αποτελεσματικά τον πολλαπλασιασμό και τη μετανάστευση των καρκινικών κυττάρων του προστάτη. Με αυτόν τον τρόπο, τα φύλλα του ιπποφαούς θεωρούνται ως λειτουργική τροφή που μπορεί να παίξει βασικό ρόλο στην πρόληψη του καρκίνου του προστάτη σε πληθυσμούς υψηλού κινδύνου. Ωστόσο, οι πιθανές βιοδραστικές ενώσεις στα φύλλα του ιπποφαούς δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί για την ανάπτυξη νέων θεραπευτικών επιλογών για τον καρκίνο του προστάτη (Masoodi K, Wani W, Dar Z, Mansoon S, Anam-ul-Haq S, Farooq L, et al., 2020).
- ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΥΠΕΡΛΙΠΙΔΑΙΜΙΑΣ: Η υπερχοληστερολαιμία θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου που αφορά την καρδιαγγειακή νόσο. Η βιοδραστική ουσία στα λιπίδια του πολτού του ιπποφαούς που είναι οι φυτοστερόλες, αποτελούν βασικό ρόλο στην πρόληψη καρδιαγγειακών παθήσεων και ιδιαίτερα της υπερχοληστερολαιμίας. Ο μηχανισμός της υπερχοληστερολαιμικής δράσης των φυτοστερολών μπορεί να είναι μέσω της αναστολής της ενδογενούς επαναρρόφησης της χοληστερόλης και της προαγωγής της απέκκρισής της με τη μορφή ουδέτερων στεροειδών. Μια μετα-ανάλυση από 11 ανεξάρτητες τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η συμπλήρωση με μούρα/εκχυλίσματα ιπποφαούς βελτίωσε σημαντικά τη

συνολική χοληστερόλη, τα τριγλυκερίδια (TG), την LDL-C και τη χοληστερόλη λιποπρωτεϊνών υψηλής πυκνότητας (HDL-C) σε άτομα με υπερλιπιδαιμία, αλλά όχι σε υγιή άτομα. Μελέτες σε ζώα in vivo έδειξαν ότι το ιπποφαές έχει αντι-υπερλιπιδαιμικά αποτελέσματα. Το εμπλουτισμένο με φλαβονοειδή εκχύλισμα από σπόρους ιπποφαούς (FSH) σε δόση 100 και 300 mg/kg μείωσε τις συγκεντρώσεις τριγλυκεριδίων στον ορό και το ήπαρ κατά 16,67 και 49,56% σε παχύσαρκα ποντίκια που προκλήθηκαν από δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά (HFD), αντίστοιχα. Η FSH μπορεί να βελτιώσει το μεταβολισμό των λιπιδίων αναστέλλοντας την έκφραση του υποδοχέα γ (PPARγ) που ενεργοποιείται από τον πολλαπλασιαστή υπεροξειδωμάτων, προάγοντας την έκφραση του PPARα και καταστέλλοντας τη φλεγμονή του λιπώδους ιστού. Επιπλέον, το εκχύλισμα φρούτου από ιπποφαές μείωσε τη μεταβολική δυσλειτουργία σε χαμστερ με υπερλιπιδαιμία, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της σύνθεσης των λιπιδίων του αίματος (ολική χοληστερόλη, TG, HDL-C & μη HDL-C) και ανακούφιση από το οξειδωτικό στρες και ηπατική δυσλειτουργία μέσω των οδών πρωτεϊνικής κινάσης που ενεργοποιείται από AMP (AMPK). (Gao S, Hu G, Li D, Sun M, Mou D, 2020).

- ΑΝΤΙΦΛΕΓΜΟΝΩΔΗ ΔΡΑΣΗ: Η αντιφλεγμονώδης δράση του ιπποφαούς έχει αποδειχθεί σε πολλές in vivo μελέτες. Μερικές από τις μελέτες με τα αποτελέσματα: 70% μεθανολικό εκχύλισμα ιπποφαούς (500mg/kg) ανέστειλε οιδηματώδη φλεγμονή και ελάττωσε αρκετά τον όγκο του οιδήματος του ποδιού σε αρουραίους συγκριτικά με τον έλεγχο. Το εκχύλισμα φύλλων ιπποφαούς εμφάνισε ισχυρή αντιφλεγμονώδη δράση έναντι ερεθισμάτων λιποπολυσακχαρίτη (LPS) αναστέλλοντας την έκφραση του NO, της επαγώγιμης συνθάσης του μονοξειδίου του αζώτου (Inos) και της κυκλοοξυγενάσης-2 (COX-2) και ελαττώνοντας τα επίπεδα των προφλεγμονωδών κυτοκινών. Επίσης, το εκχύλισμα φρούτου ιπποφαούς το οποίο ταυτοποιήθηκε ως παράγωγο κιτρικού οξέος, ανέστειλε την επαγόμενη από LPS παραγωγή NO σε κύτταρα RAW 264.7 αναστέλλοντας την έκφραση της κινάσης IκB άλφα/βήτα (IKKα/β), αναστολέα της κάπα Βα (I-κΒα), NF-κβ p65, Inos, και COX-2 και τις δραστηριότητες της ιντερλευκίνης 6 (IL-6) και του TNF-α. Ομοίως, οι Mulati et al. 2017 ανέφεραν ότι τα φλαβονοειδή του ιπποφαούς αντέστρεψαν σημαντικά την επαγόμενη από δίαιτα υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά και υψηλής φρουκτόζης (HFFD) υπερέκφραση I NOS και μείωσαν τα επίπεδα Mrna ιντερλευκίνης 1β και COX-2 στον ιππόκαμπο των ποντικών, καταστέλλοντας το HFFD – προκαλούμενη αντίδραση φλεγμονής. (Na Ling, Haiyan Tian, Qi Yao Wang, Mingze Gao, Guiguo Xu, Yuan Sun, Wenlan Li, 2023).

- ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΔΡΑΣΗ: Έχουν γίνει αναφορές ότι το υποφαές εμφανίζει αντιμικροβιακή δράση *in vitro*. Οι Verma et al. Σε μία μελέτη τους όπου πήραν 67 θετικά Gram βακτήρια από κλινικά δείγματα, διαπίστωσαν ότι το εκχύλισμα από φύλλα υποφαούς ήταν αποτελεσματικό έναντι όλων των βακτηρίων. Το εκχύλισμα φύλλων υποφαούς συγκέντρωσης 5% ανέστειλε στο ήμισυ (50%) την ανάπτυξη *S. intermedius*, *S. aureus*, και *S. epidermidis*. Το εκχύλισμα υποφαούς μπορεί να αναστρέψει τις βλαβερές συνέπειες του *S. Aureus* στα ανθρώπινα κερατινοκύτταρα ρυθμίζοντας προς τα κάτω διάφορες προφλεγμονώδεις κυτοκίνες και αποπτωτικές οδούς, όπως ILs, TNFs, αυξητικούς παράγοντες μετασχηματισμού (TGFs), IFNs, αυξητικούς παράγοντες ινοβλαστών (FGFs), MAPKs, μεταλλοπρωτεϊνάσες μήτρας (MMPs) και κασπάσες και Wnts μοριακές οδούς. Επιπλέον, μια μελέτη έδειξε ότι 6 mg/mL εκχυλίσματος από μούρα και φύλλα υποφαούς αναστέλλει σημαντικά την ανάπτυξη του ανθεκτικού στη μεθικυλλίνη *S. aureus* (MRSA). Οι Smida et al. ανέφερε ότι ένα πειραματικά σχεδιασμένο στοματικό διάλυμα με βάση το έλαιο πολτού υποφαούς είχε βακτηριοκτόνο αποτελέσματα σε ορισμένα περιοδοντικά παθογόνα και είχε την ικανότητα να αναστέλλει το σχηματισμό βιοφίλμ ενός στελέχους και πολλαπλών στελεχών. (Na Ling, Haiyan Tian, Qi Yao Wang, Mingze Gao, Guiguo Xu, Yuan Sun, Wenlan Li, 2023).
- ΗΠΑΤΟΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ: Το εκχύλισμα υποφαούς και το έλαιο υποφαούς έχουν σημαντικές ηπατοπροστατευτικές δραστηριότητες. Το έλαιο υποφαούς είναι πλούσιο σε καροτενοειδή και μπορεί να είναι σημαντική πηγή βιοδιαθέσιμης λουτεΐνης (Tudor C, Bohn T, Iddir M, Dulf F, Foscan M, Rugina D, 2020). Τα καροτενοειδή όπως το β-καροτένιο, το λυκοπένιο, η λουτεΐνη και η β-κρυπτοξανθίνη εμφανίζουν ηπατοπροστατευτική δράση ελαττώνοντας το οξειδωτικό στρες και ρυθμίζοντας το μεταβολισμό των λιπιδίων στα ηπατοκύτταρα. Έχουν πραγματοποιηθεί ιστοπαθολογικές και βιοχημικές μελέτες οι οποίες έδειξαν ότι το εκχύλισμα φλαβονοειδών υποφαούς βελτιώνει αρκετά τους βιοδείκτες, συμπεριλαμβανομένων των TC, TG, LDL-C, ασπαρτικής αμινοτρανσφεράσης (AST) και αμινοτρανσφεράσης αλανίνης (ALT) στο συκώτι και τον ορό ποντικών. Τα θεραπευτικά αποτελέσματα του υποφαούς ήταν πολύ μεγαλύτερα από αυτά της κουρκουμίνης. Επιπλέον, το οξειδωτικό στρες και ο μεταβολισμός των ηπατικών λιπιδίων ρυθμίζονται από διάλυμα ζύμωσης φρούτων, που παίζει ρόλο στη σύνθεση της εντερικής μικροχλωρίδας. Κατά συνέπεια, το υποφαές ανατρέπει την αλκοολική ηπατική νόσο και ασκεί ηπατοπροστατευτική δράση. (Khalid Z.Masoodi, Wasia Wani, Zahoor A.Dar,

Sheikh Mansoor, Syed Anam-ul-Haq, Igra Farooq, Ghursheep Hussain, Nazeer Ahmed, 2020).

3.4 Εφαρμογή ιπποφαούς στη βιομηχανία τροφίμων

Εκτός από τις ιατρικές βιολογικές χρήσεις, το ιπποφάες χρησιμοποιείται επίσης στα τρόφιμα με υψηλή οικονομική αξία. Το ιπποφάες περιέχει θρεπτικά συστατικά και βιολογικές ενεργές ενώσεις. Σήμερα χρησιμοποιείται ως αντιοξειδωτικό και αντιμικροβιακό σε μια ποικιλία προϊόντων διατροφής. Η εφαρμογή του ιπποφαούς στη βιομηχανία τροφίμων είναι ολοένα και πιο εκτεταμένη, όπως το έλαιο ιπποφαούς, λυοφιλοποιημένη σκόνη, χυμός φρούτων, κρασί φρούτων, ταμπλέτες γάλακτος, ροφήματα με ξύδι φρούτων, τσάι, κονσερβοποιημένα φρούτα, γιαούρτι και μαρμελάδα. Η μέγιστη χρήση του ιπποφαούς για τη βελτίωση των αισθητηριακών ιδιοτήτων και της θρεπτικής αξίας των προϊόντων ιπποφαούς επιδιώκεται επί του παρόντος από κατασκευαστές και ερευνητές της βιομηχανίας τροφίμων.

Η βιομηχανία επεξεργασίας κρέατος αναζητά φυσικά πρόσθετα για να αντικαταστήσει τα χημικά πρόσθετα στα προϊόντα τους και οι Kozhakhigeva et al. διαπίστωσε ότι το καπνιστό προϊόν Jaga από κρέας αλόγου, που παράγεται με την προσθήκη 5% εκχυλίσματος σκόνης φρούτου ιπποφαούς, είναι πλούσιο σε 1% βιοδραστικές ουσίες. Τα δείγματα αυτά έδειξαν μείωση 38% στη λιπόλυση και σημαντική μείωση 24% στα υπεροξείδια λιπιδίων μετά από 21 ημέρες αποθήκευσης.

Η προσθήκη σκόνης φρούτων από ιπποφάες στο ψωμί σίτου παρατείνει τη διάρκεια ζωής του ψωμιού κατά 1-3 ημέρες. Βελτιώνει επίσης τις αντιοξειδωτικές και οργανοληπτικές ιδιότητες του ψωμιού (Ghendov-Mosanu A, Cristea E, Patras A, Sturza R, Padureanu S, Deseatnicova O, 2020).

Η προσθήκη 0,8g/L σκόνης φύλλων ιπποφαούς σε λευκό κρασί αύξησε τη δράση του για τον καθαρισμό των ελεύθερων ριζών από 28,4% σε 55,8%. Η αναγωγική ικανότητα του λευκού κρασιού αυξήθηκε από 35,3% σε 62,1% με την προσθήκη ιπποφαούς. Η συνολική περιεκτικότητα σε φαινολικό οξύ αυξήθηκε από 11% σε 23,7% και η ένταση του χρώματος αυξήθηκε από 39,9% σε 50,7%, γεγονός που συνέβαλε στην αντιοξειδωτική

ικανότητα του κρασιού χωρίς θειώδη. (Wenting Yu, Yongqiang Du, Shanshan Li, Lun Wu, Xingyu Guo, Wen Qin, Xinlan Kuang, Xin Gao, Haixue Kuang, 2023).

Συνολικά, το ιπποφαές έχει ένα πολλά υποσχόμενο μέλλον ως φυσικό πρόσθετο τροφίμων. Οι βιοδραστικές ενώσεις που περιέχονται στο ιπποφαές, όπως οι πολυφαινόλες (ιδιαίτερα τα φλαβονοειδή), το ασκορβικό οξύ, οι βιταμίνες, τα καροτενοειδή και οι αντιψυκτικές πρωτεΐνες ασκούν αντιοξειδωτική, αντιβακτηριακή και αντιψυκτική δράση. Στο μέλλον, θα χρειαστεί να διερευνηθούν σε βάθος αυτοί οι μηχανισμοί δράσης για καλύτερη εφαρμογή στην παραγωγή τροφίμων.

ΣΚΟΠΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Η ξανθάνη, ως υδατάνθρακας, θεωρείται ένα από τα κύρια συστατικά για τις τροφικές πηκτές (*Y.Kim et al., 2001*). Το υποφαές έχει ευεργετικές ιδιότητες στη διατροφή και είναι σημαντικό να ενταχθεί στη βιομηχανία παραγωγής (*S.K.Shukla, V.Kumar, 2013*). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση της προσθήκης υποφαούς στη διαδικασία πηκτών με ξανθάνη, τόσο στην ψύξη όσο και στη δημιουργία κρυοπηκτών με κριτήριο τη μέτρηση χρώματος και δομής.

Κεφάλαιο 4^ο : Υλικά και Μέθοδοι

Με σκοπό να αξιολογηθεί πως επιδρά το υποφαές στη δημιουργία πηκτωμάτων με ξανθάνη πραγματοποιήθηκε μια σειρά εργαστηριακών πειραμάτων.

Το υποφαές ήταν προϊόν ελληνικής παραγωγής, λυοφιλοποιημένο σε μορφή σκόνης.

Η ξανθάνη που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο πείραμα ήταν της εταιρείας Merck (Xanthan gum from *Xanthomonas campestris*). Παρασκευάστηκαν δείγματα 3 διαφορετικών συγκεντρώσεων ($\Delta 7 - 0,6\%w/w$, $\Delta 8 - 0,8\%w/w$, $\Delta 9 - 1\%w/w$) με διάλυση της ξανθάνης σε υψηλή θερμοκρασία και τα δείγματα αποθηκεύτηκαν με δύο διαφορετικούς τρόπους: α) στη συντήρηση στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ για 2 ημέρες και β) στην κατάψυξη στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ για μία ημέρα και έπειτα μεταφέρθηκαν στη συντήρηση στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ για μία ημέρα ώστε να μετρηθεί το χρώμα και η δομή τους. Τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν μόνο στη συντήρηση θα αναφέρονται ως δείγματα ψύξης και τα δείγματα που αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη και έπειτα στη συντήρηση ως δείγματα κατάψυξης (κρυοπηκτές). Όλα τα πειράματα επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

Στα πλαίσια του πειράματος, δημιουργήθηκαν τα δείγματα του πίνακα, τα οποία αποθηκεύτηκαν στην κατάψυξη και στην συντήρηση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Συγκεντρώσεις δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΞΑΝΘΑΝΗΣ (%w/w)	ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΙΠΠΟΦΑΟΥΣ (%w/w)
Δ1	1	0
Δ2	1	0,25
Δ3	1	1
Δ4	0,8	0
Δ5	0,8	0,25
Δ6	0,8	1
Δ7	0,6	0
Δ8	0,6	0,25
Δ9	0,6	1

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Στο πείραμα, η μέτρηση χρώματος έγινε με το χρωματικό μοντέλο CIE Lab ή $L^*a^*b^*$, όπου ο παράγοντας L (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) ενώ οι παράγοντες a & b την πληροφορία χρώματος χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ αρνητικές αποχρώσεις του πράσινου και θετικές τιμές του b αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου ενώ αρνητικές αποχρώσεις του μπλε. Στο συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο Hunter Lab Mini Scan XE Plus. Οι μετρήσεις γίνανε στους 4°C και επαναλήφθηκαν 3 φορές.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΟΜΗΣ

Στα δείγματα της πειραματικής διαδικασίας πραγματοποιήθηκε μέτρηση δομής (Hardness N) χρησιμοποιώντας την συσκευή ανάλυσης δομής Computer Controlled Tensile Tester (TC1000), με κυλινδρικό έμβολο διαμέτρου 20mm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν ως ανάλυση του προφίλ της δομής (TPA) με 75% συμπίεση και με ρυθμό 100mm/min. Οι μετρήσεις έγιναν στους 4 °C και επαναλήφθηκαν 3 φορές.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν με one-way ANOVA ακολουθούμενη από Turkey's test. Το επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας ορίστηκε $p < 0.05$. Όλα τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως μέσος όρος $\pm$ SD. Τα αποτελέσματα αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας MINITAB.

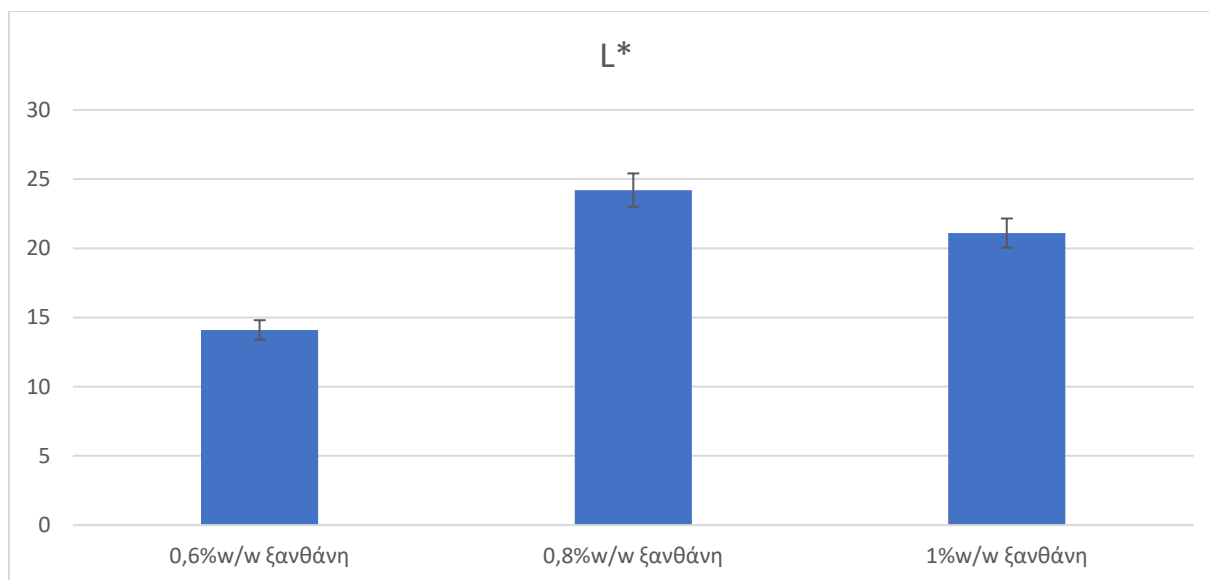
Κεφάλαιο 5° : Αποτελέσματα – Συζήτηση

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, κύριος σκοπός του πειράματος αυτού ήταν η μελέτη του χρώματος και της δομής των δειγμάτων ξανθάνης και ιπποφαούς με ξανθάνη. Τα δείγματα αποθηκεύτηκαν στην ψύξη για δύο μέρες ώστε να γίνει ζελατινοποίηση (gelation) και στην κατάψυξη για μία μέρα και αμέσως μετά στην ψύξη για μία μέρα. Ο δεύτερος τρόπος αποθήκευσης είχε ως σκοπό τη δημιουργία κρυοπηκτών (cryogels). Με βάσει προηγούμενη μελέτη που έχει γίνει (Giannouli P. & Morris E.R., 2003) οι κρυοπηκτές που σχηματίζονται με αυτόν τον τρόπο είναι αρκετά συνεκτικές για να υποστηρίξουν το δικό τους βάρος, σε αντίθεση με τις πηκτές, οι οποίες έχουν μορφή πιο αδύναμων μειγμάτων. Η προσθήκη του ιπποφαούς λόγω των ενεργών συστατικών που περιέχει, ενδεχομένως να αλλάζει τη δομή, το χρώμα και τις ιδιότητες των δειγμάτων ξανθάνης όταν προστεθεί σε αυτά.

Όλα τα δείγματα (πηκτές και κρυοπηκτές) με ξανθάνη αλλά και τα δείγματα ιπποφαές-ξανθάνη εξετάστηκαν ως προς τις παραμέτρους L^* , a^* , b^* και χαρακτηριστικά δομής, τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω.

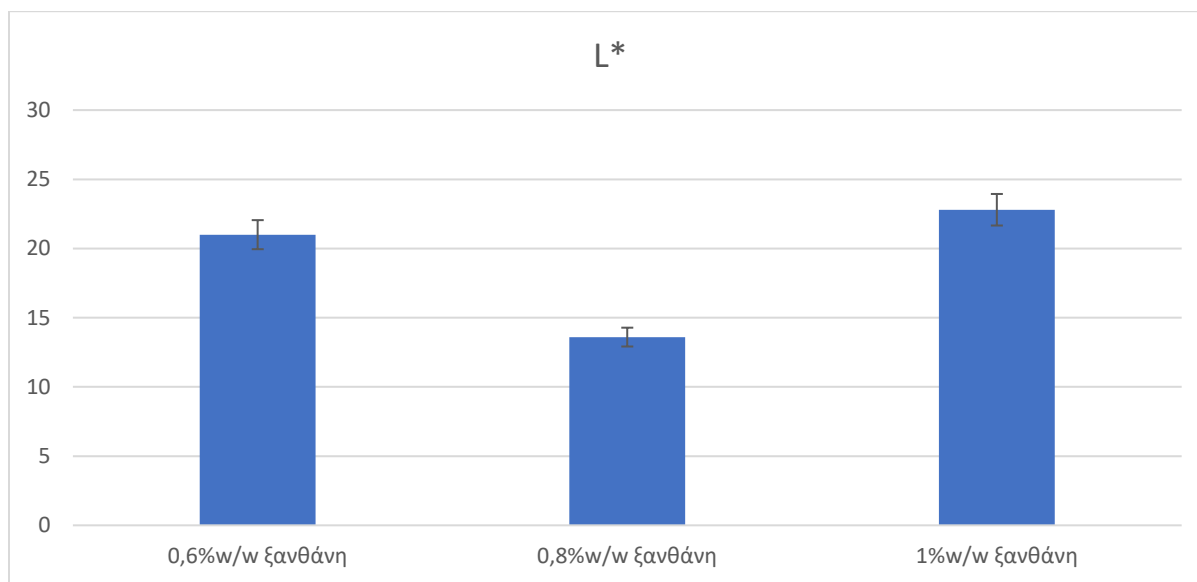
Μετρήσεις φωτεινότητας L^* δειγμάτων ξανθάνης

Αρχικά, μετρήθηκε η φωτεινότητα L^* στα δείγματα πηκτών ξανθάνης (Γράφημα 1) και στη συνέχεια στα δείγματα κρυοπηκτών ξανθάνης (Γράφημα 2).



Γράφημα 1: Μετρήσεις L^* , πηκτών Ξανθάνης

Από το Γράφημα 1 παρατηρούμε την υψηλότερη τιμή φωτεινότητας στο δείγμα 0,8% w/w ενώ τη χαμηλότερη τιμή φωτεινότητας στο δείγμα 0,6% w/w.

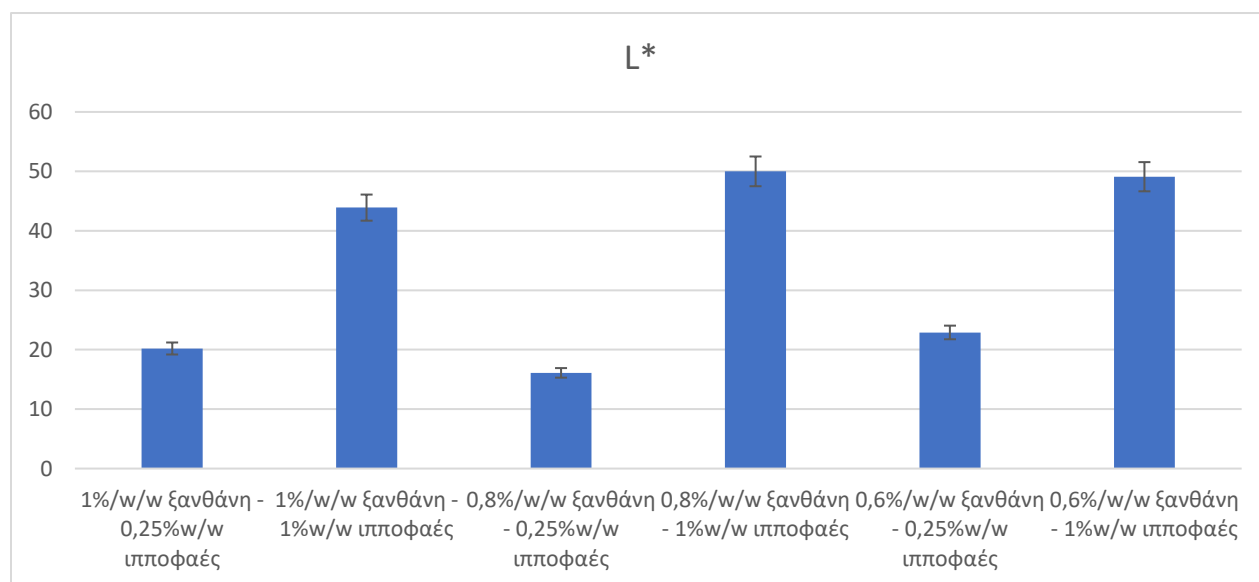


Γράφημα 2: Μετρήσεις L^* , κρυσπηκτών Ξανθάνης

Από το Γράφημα 2, το οποίο αφορά τη μέτρηση φωτεινότητας L στα δείγματα κατάψυξης παρατηρούμε την χαμηλότερη τιμή στο δείγμα 0,8% w/w ενώ τα δείγματα 1% w/w και 0,6% w/w εμφανίζουν πιο υψηλές τιμές μέτρησης φωτεινότητας.

Από τα Γραφήματα 1 και 2 παρατηρούμε αλλαγές στις μετρήσεις L^* στα δείγματα 0,6%w/w & 0,8%w/w ξανθάνης όσων αφορά τον τρόπο αποθήκευσης. Στα gel τη μεγαλύτερη τιμή εμφανίζει το δείγμα 0,8%w/w ενώ στα cryogels η τιμή του δείγματος είναι αρκετά χαμηλή ενώ ανεβαίνει η τιμή του 0,6%w/w ξανθάνης. Μόνο η τιμή L του δείγματος 1% w/w παραμένει αμετάβλητη και στις 2 μορφές αποθήκευσης. Οπότε, συμπεραίνουμε ότι η τιμή L δεν επηρεάζεται στα διαλύματα ξανθάνης από συγκέντρωση 1% w/w και πάνω.

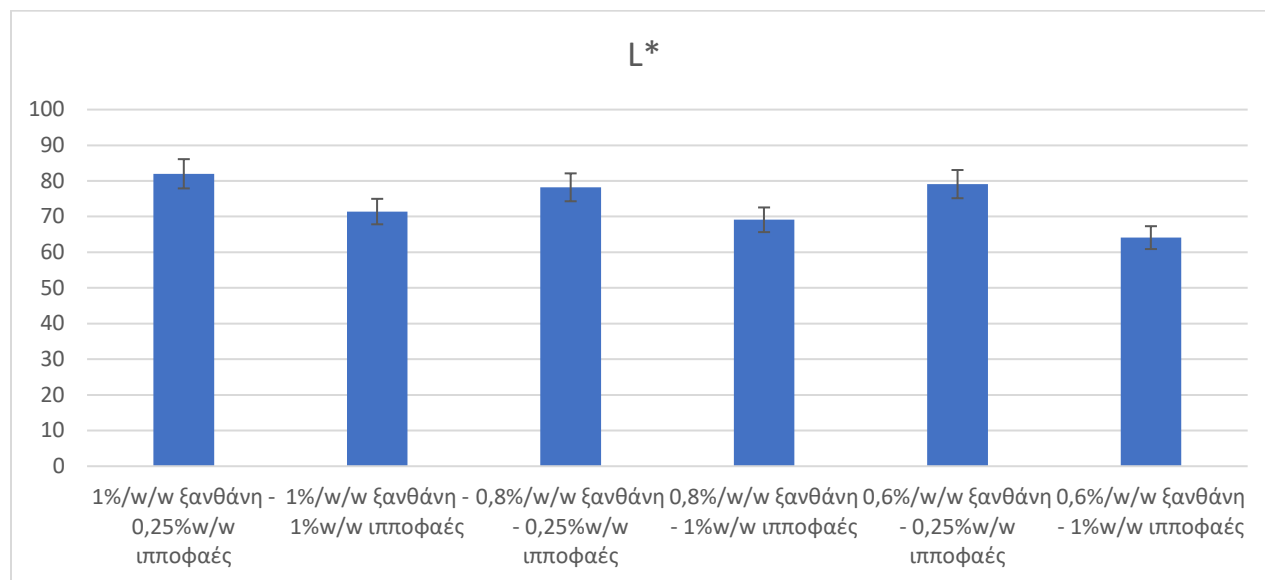
Μέτρηση φωτεινότητας L^* δειγμάτων ξανθάνης-ιπποφαούς



Γράφημα 3: Μετρήσεις L^* πηκτών Ξανθάνης – Ιπποφαούς.

Η προσθήκη ιπποφαούς αύξησε σε αρκετά μεγάλο βαθμό το συνολικό δείκτη φωτεινότητας. Οι τιμές δειγμάτων πηκτών ξανθάνης ήταν κάτω από 25 ενώ η μέγιστη τιμή στα δείγματα πηκτών ξανθάνης με προσθήκη ιπποφαούς που πήραμε ήταν 50. Αυτό ενδεχομένως οφείλεται στις ιδιότητες των φλαβονοειδών και καρτενοειδών που

δημιουργούν φωτεινότητα στα μείγματα (*Manera et al., 2012*). Επίσης, παρατηρούμε ότι στα δείγματα ξανθάνης-ιπποφαούς με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ιπποφαούς (1%w/w) οι τιμές φωτεινότητας ήταν οι πιο υψηλές ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης της ξανθάνης (0,25%w/w & 1%w/w αντίστοιχα). Κατά συνέπεια, συμπεραίνουμε ότι η φωτεινότητα L^* είναι ανάλογη της συγκέντρωσης ιπποφαούς.



Γράφημα 4: Μετρήσεις L^* κρυοπηκτών Ξανθάνης - Ιπποφαούς

Στα δείγματα κρυοπηκτών ξανθάνης με προσθήκη ιπποφαούς παρατηρούμε αύξηση στις τιμές φωτεινότητας L^* συγκριτικά με τα αντίστοιχα δείγματα πηκτών.

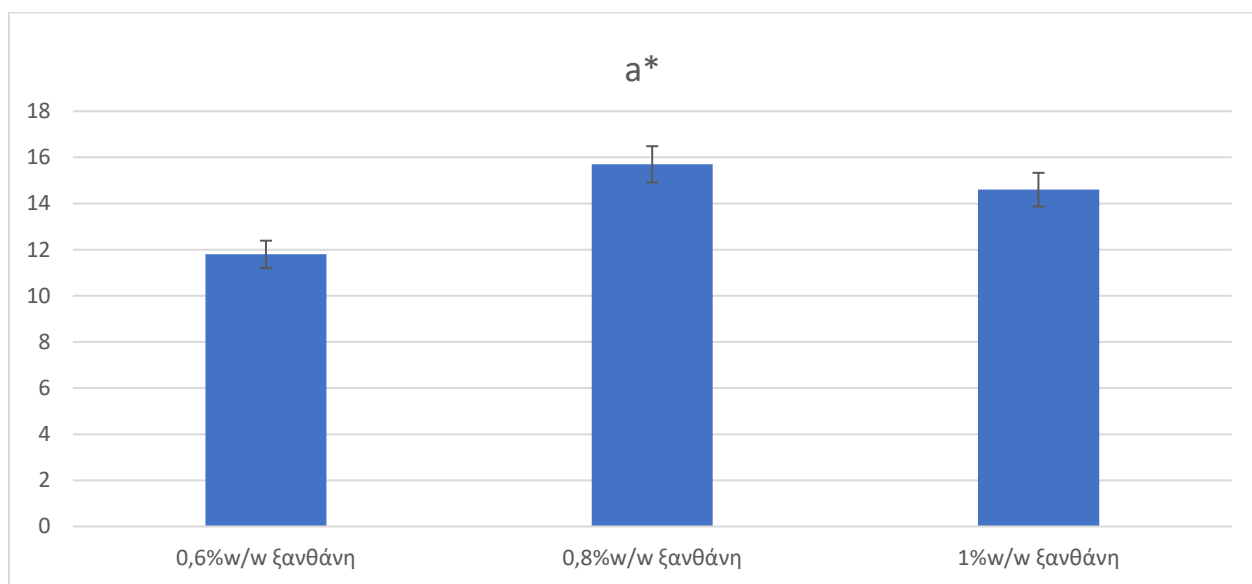
Συγκρίνοντας τα Γραφήματα 3 και 4 συμπεραίνουμε ότι με την προσθήκη του ιπποφαούς αυξάνεται η φωτεινότητα των δειγμάτων και κυρίως στα μείγματα κρυοπηκτών όπου οι τιμές είναι αρκετά υψηλότερες σε σχέση με τα μείγματα πηκτών, ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης ξανθάνης και ιπποφαούς.

Με την προσθήκη ιπποφαούς στα μείγματα σε σχέση με τα μείγματα που περιέχουν μόνο ξανθάνη παρατηρούμε αύξηση στις τιμές της φωτεινότητας L , λόγω της ύπαρξης φλαβονοειδών και καροτενοειδών που προσδίδουν στα μείγματα πιο έντονο χρώμα (*Manera et al., 2012*) καθώς επίσης γιατί οι δομές των κρυοπηκτών είναι πιο σκληρές σε σχέσεις με τις πηκτές που σχηματίζουν γενικά ασθενείς και μαλακές πηκτές (*Giannouli P. Morris E.R., 2003*) λόγω του δικτύου που έχει δημιουργηθεί και για αυτό το λόγο εμφανίζει πιο υψηλές τιμές.

Βάσει βιβλιογραφίας, η παράμετρος L σχετίζεται σημαντικά με την χρωστική των πηκτωμάτων (*C.Calvo, A. Salvador, 2000*).

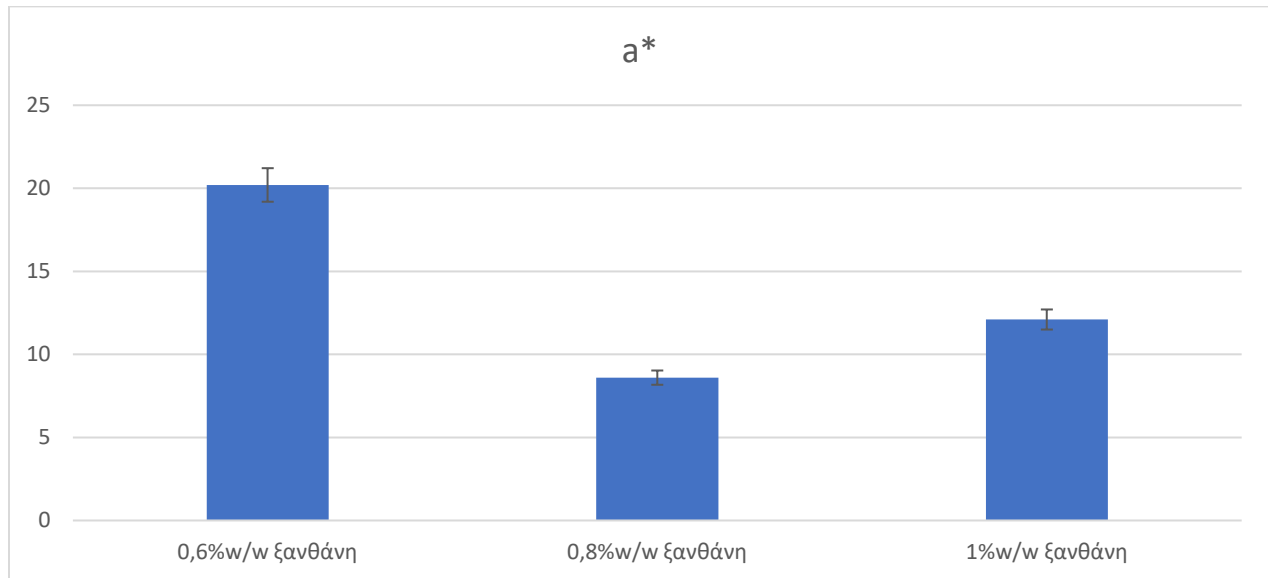
Μετρήσεις παράγοντα a^* δειγμάτων ξανθάνης

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι τιμές της παραμέτρου a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου.



Γράφημα 5. Μετρήσεις a^* , πηκτών Ξανθάνης

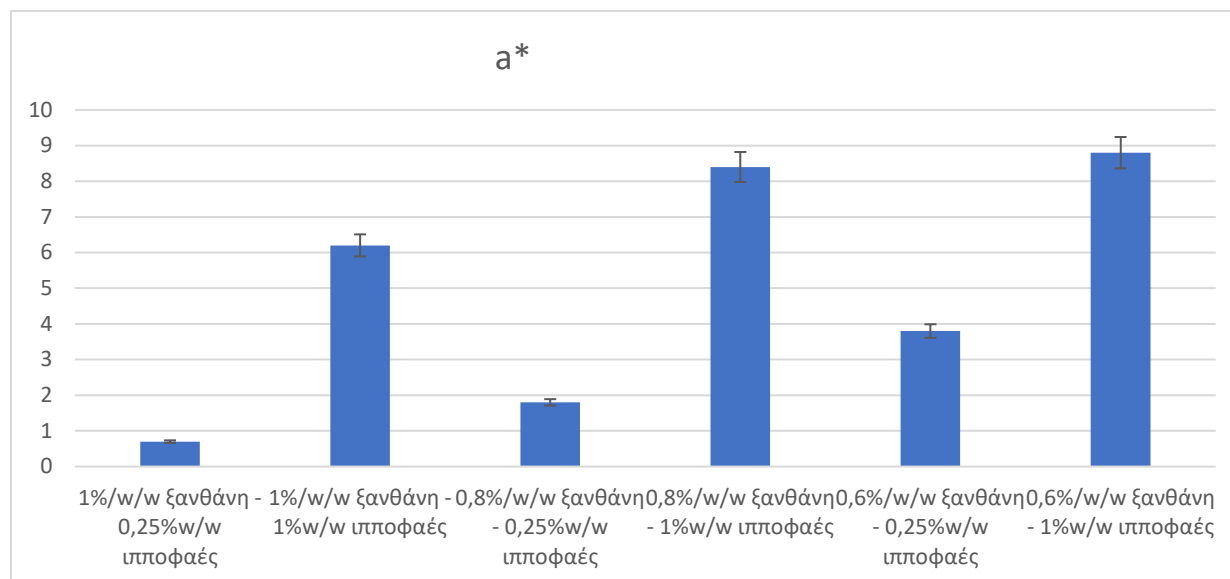
Στο Γράφημα 5, η υψηλότερη τιμή της παραμέτρου a^* του μείγματος παρατηρείται στο διάλυμα με συγκέντρωση 0,8% w/w και 1% w/w ξανθάνης, ενώ η χαμηλότερη τιμή στο διάλυμα με συγκέντρωση 0,6% w/w.



Γράφημα 6. Μετρήσεις a^* , κρυοπηκτών Ξανθάνης στα 100gr συνολικού δείγματος

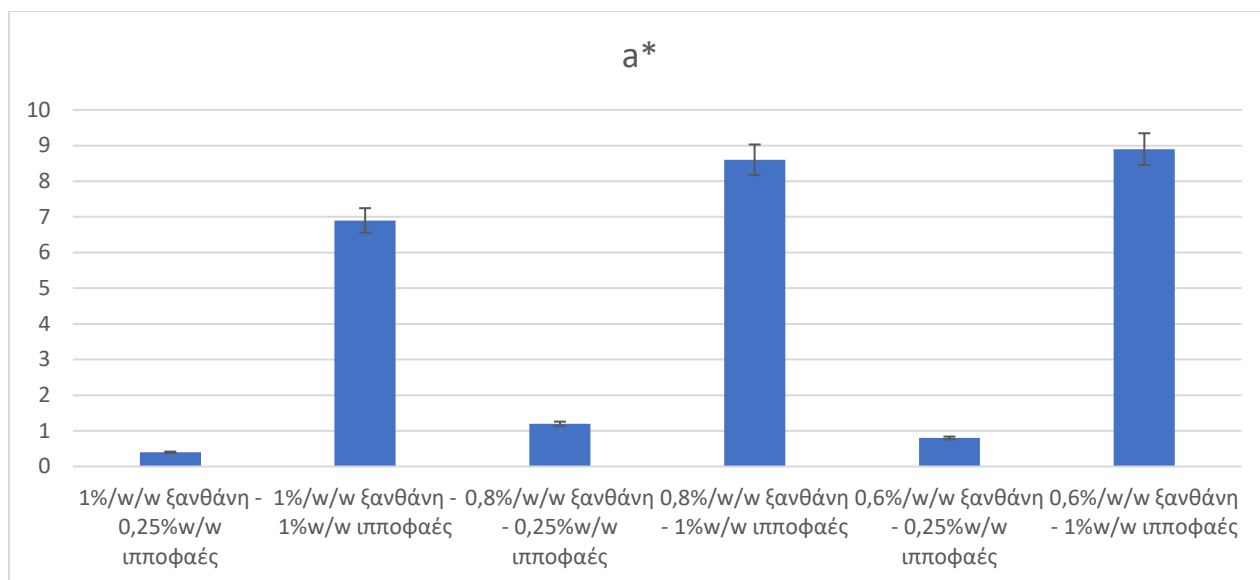
Σε αντίθεση με τις μετρήσεις των διαλυμάτων πηκτών, από το Γράφημα 6 παρατηρούμε ότι το διάλυμα με συγκέντρωση 0,6% w/w εμφανίζει την υψηλότερη τιμή μέτρησης ερυθρότητας, ενώ τα διαλύματα με συγκέντρωση 1% w/w και 0,8% w/w πιο χαμηλές τιμές. Βάσει βιβλιογραφίας (*Giannouli P. & Morris, 2003 & Jiang S., et, al 2022*) όλες οι συγκεντρώσεις των δειγμάτων σχηματίζουν κρυοπηκτές αλλά η αύξηση της τιμής a^* δεν είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση.

Μετρήσεις παράγοντα a^* δειγμάτων ξανθάνης - ιπποφαούς



Γράφημα 7. Μετρήσεις a^* πηκτών Ξανθάνης - Ιπποφαούς

Στα μείγματα πηκτών που δημιουργήσαμε, παρατηρούμε αυξημένη τιμή του παράγοντα a^* στα δείγματα με την υψηλότερη συγκέντρωση ιπποφαούς (1% w/w) και παρατηρούμε ότι είναι ανάλογη της μείωσης της συγκέντρωσης της ξανθάνης, καθώς όπως βλέπουμε την υψηλότερη τιμή την έχει το μείγμα με συγκέντρωση ξανθάνης 0,6% w/w και τη χαμηλότερη τιμή το μείγμα με συγκέντρωση ξανθάνης 1% w/w. Την ίδια σταδιακή αύξηση τιμής του παράγοντα a^* παρατηρούμε και στα μείγματα που περιέχουν ιπποφαές συγκέντρωσης 0,25% w/w όπου η τιμή αυξάνεται όσο μειώνουμε τη συγκέντρωση της ξανθάνης. Το ιπποφαές λόγω της μεγάλης συγκέντρωσής του σε καροτενοειδή (Hao Teng, Zhigui He, Chengzhi Hong, Songzi Xie, Xueqiang Zha, 2023 & Guiffrida et al., 2011), προσδίδουν πορτοκαλί-κόκκινο χρώμα στο πηκτωμα.



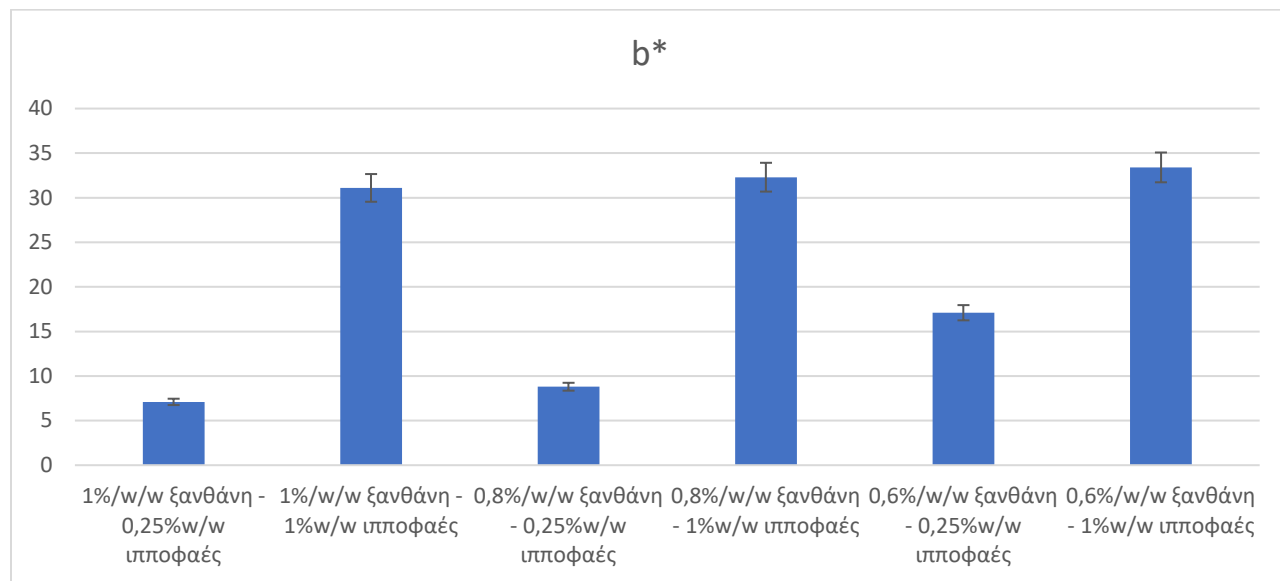
Γράφημα 8. Μετρήσεις a^* , μιγμάτων Ξανθάνης – Ιπποφαούς στα 100gr συνολικού δείγματος μετά από αποθήκευση 2 ημερών στην κατάψυξη - ψύξη

Στα μείγματα κρυσταλλικών, παρατηρούμε επίσης αύξηση της τιμής του παράγοντα a^* όταν η συγκέντρωση του ιπποφαούς είναι 1% w/w, με μια σταδιακή πτώση της τιμής όσο αυξάνεται η συγκέντρωση της Ξανθάνης. Ωστόσο, δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη μεταβολή των τιμών στα μείγματα με συγκέντρωση 0,25% w/w ιπποφαούς, όπως παρατηρήθηκε στα μείγματα πηκτών.

Και στα δύο Γραφήματα παρατηρούμε ότι ανεξαρτήτως της μεθόδου αποθήκευσης των μιγμάτων την υψηλότερη τιμή την έχει το μείγμα με συγκέντρωση 0,6% w/w Ξανθάνης και 1% w/w ιπποφαούς, ενώ τη χαμηλότερη τιμή το μείγμα συγκέντρωσης 1% w/w Ξανθάνης και 0,25% w/w ιπποφαούς. Βάσει της ανάλυσης των αποτελεσμάτων στα δείγματα πηκτών και κρυσταλλικών συμπεραίνουμε ότι η τιμή του παράγοντα a^* είναι ανάλογη της συγκέντρωσης Ξανθάνης και αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης Ξανθάνης.

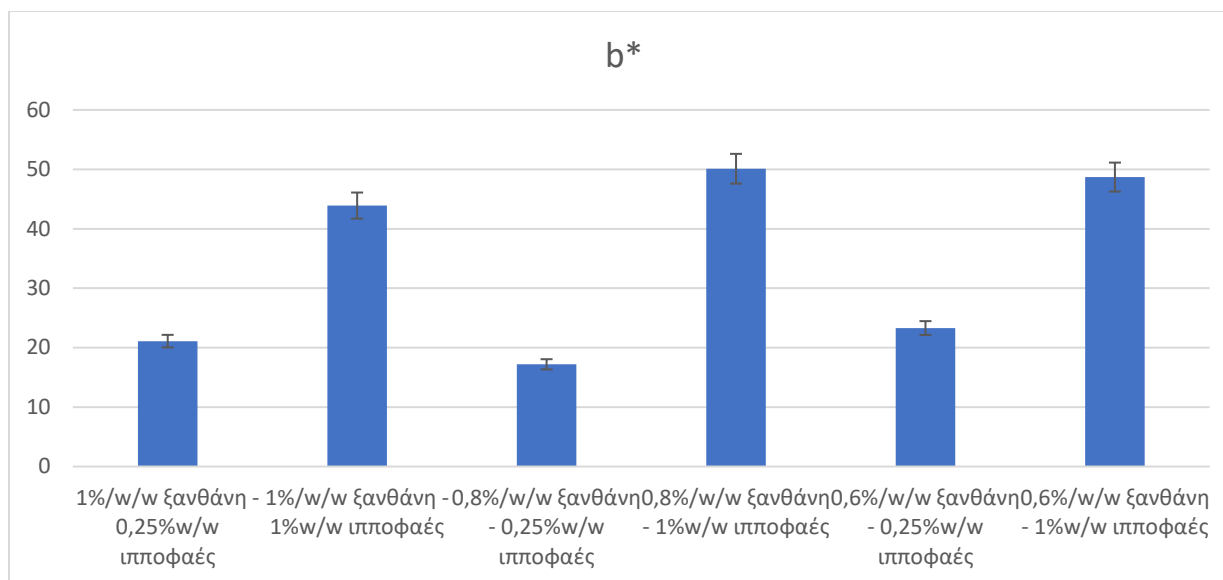
Μετρήσεις παράγοντα b^* δειγμάτων ξανθάνης - ιπποφαούς

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι τιμές της παραμέτρου b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου.



Γράφημα 9. Μετρήσεις b^* πηκτών Ξανθάνης – Ιπποφαούς

Στα μείγματα πηκτών, παρατηρούμε αυξημένη τιμή του παράγοντα b^* στα δείγματα με την υψηλότερη συγκέντρωση ιπποφαούς (1% w/w) ανεξαρτήτως της συγκέντρωσης της ξανθάνης. Επίσης, παρατηρούμε ότι στα δείγματα συγκέντρωσης 0,25% w/w ιπποφαούς η τιμή της παραμέτρου b^* είναι αντιστρόφως ανάλογη της συγκέντρωσης της ξανθάνης, καθώς όσο μειώνεται η συγκέντρωση της ξανθάνης, τόσο αυξάνεται η τιμή b^* .



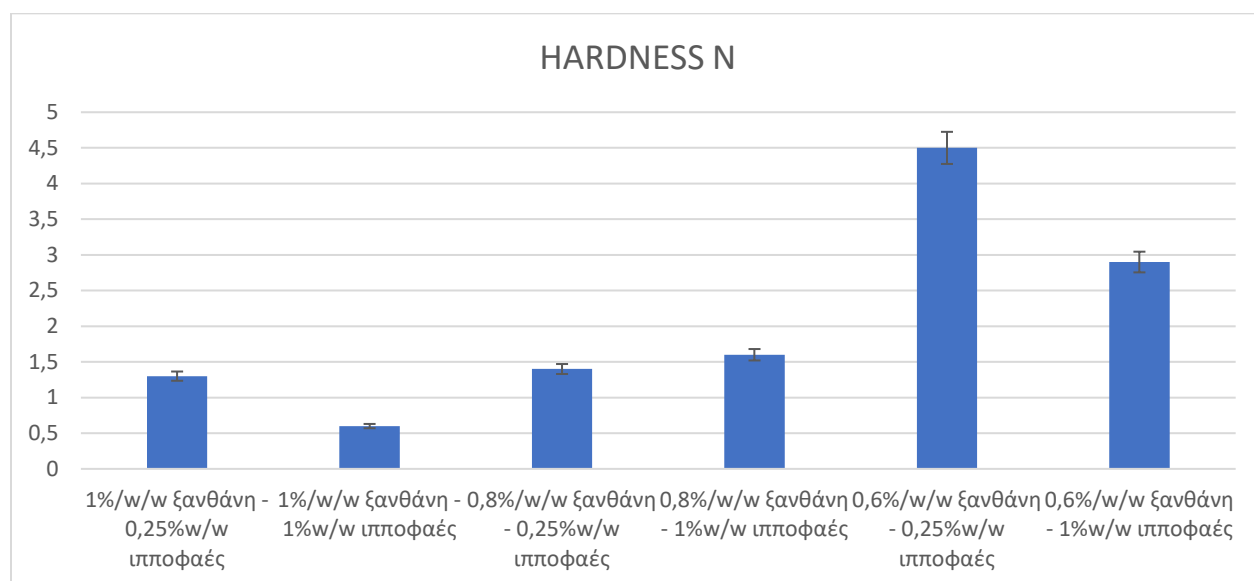
Γράφημα 10. Μετρήσεις a^* κρυσταλλικών Ξανθάνης – Ιπποφαούς

Στο Γράφημα 10, οι τιμές όλων των μειγμάτων κρυσταλλικών ξανθάνης-ιπποφαούς είναι αρκετά πιο υψηλές σε σχέση με τις τιμές που πήραμε από τις μετρήσεις των μειγμάτων πηκτών. Πάλι, την υψηλότερη τιμή την έχει το μείγμα συγκέντρωσης 0,6% w/w ξανθάνης με 1% w/w ιπποφαούς με τιμή μέτρησης 48,7, ενώ στο αντίστοιχο μείγμα πηκτής η τιμή μέτρησης ήταν 32,4. Παρατηρούμε, όπως και στις μετρήσεις των μειγμάτων πηκτών ότι τις υψηλότερες τιμές τις έχουν τα μείγματα συγκέντρωσης 1% w/w ιπποφαούς, ενώ τα μείγματα συγκέντρωσης 0,25% w/w ιπποφαούς έχουν χαμηλότερες τιμές μέτρησης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της μέτρησης των παραγόντων a^* και b^* μπορούμε εύκολα να τα δικαιολογήσουμε καθώς το ιπποφαές έχει σημαντικές ποσότητες καροτενοειδών που είναι πρόδρομοι της βιταμίνης-A. τα οποία του προσδιορίζουν το πορτοκαλί-κόκκινο χρώμα. Περιέχει β-καροτένιο, λυκοπένιο, α-καροτένιο, ζεαξανθίνη και λουτεΐνη (Hao Teng, Zhigui He, Chengzhi Hong, Songzi Xie, Xueqiang Zha, 2023 & Giuffrida et al., 2011). Με την αύξηση της συγκέντρωσης του ιπποφαούς, αυξάνεται η ένταση του χρώματος, ενώ με την αύξηση της συγκέντρωσης της ξανθάνης απαλείφει σταδιακά το κόκκινο-πορτοκαλί χρώμα που έχει το ιπποφαές και έτσι παρατηρούμε μειωμένες τιμές στα μείγματα με χαμηλές συγκεντρώσεις ιπποφαούς και υψηλές συγκεντρώσεις ξανθάνης.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΔΟΜΗΣ

Η ξανθάνη είναι ένα πολυμερές που σχηματίζει ασθενείς και μαλακές πηκτές. Σε διαλύματα χαμηλής ιοντικής ισχύς και αυξημένης θερμοκρασίας το πολυμερές έχει μορφολογία διατεταγμένης σπείρας. Όταν όμως τα διαλύματα της περάσουν από διαδικασία ψύξης είτε γίνει προσθήκη άλατος, τότε μεταβάλλονται τα μακρομόρια της ξανθάνης σε μια συνεργιακή διαμόρφωση που οδηγεί στο σχηματισμό των μαλακών πηκτών (Morris, 1973, Holzwarth, 1976, Morris et al, 1977, Milas and Renaldo, 1979).



Γράφημα 11. Μετρήσεις δομής κρυοπηκτών Ξανθάνης & Ιπποφαούς

Στο γράφημα 11 παρατηρούμε χαμηλές τιμές σκληρότητας σε υψηλές συγκεντρώσεις ξανθάνης, ενώ στη χαμηλότερη συγκέντρωση ξανθάνης (0,6%w/w) παρατηρούμε την υψηλότερη σκληρότητα, στην οποία έχει προστεθεί μικρή συγκέντρωση υποφασούς (0,25%w/w). Ωστόσο, στη συγκέντρωση 0,6%w/w με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση υποφασούς (1%w/w) παρατηρείται μείωση της σκληρότητας του μείγματος.

Η διαδικασία της δημιουργίας πηκτής ξανθάνης σε σχέση με την διαδικασία δημιουργίας κρυοπηκτών (cryogelation) είναι διαφορετικές. Η δημιουργία κρυοπηκτών οφείλεται

στην προοδευτική αύξηση της τοπικής συγκέντρωσης του βιοπολυμερούς, καθώς το υγρό νερό μετατρέπεται σε κρυστάλλους πάγου, το οποίο οδηγεί στη δημιουργία διαμοριακών ενώσεων που δημιουργεί περαιτέρω σταθερότητα στο διάλυμα καθώς διατηρούνται και μετά την απόψυξη. Η σχέση μεταξύ της συγκέντρωσης του βιοπολυμερούς και του είδους του δικτύου πιστεύεται ότι σχετίζεται με τον αριθμό των μη παγωμένων μικροπεριοχών κατά τη διάρκεια της κρυοπηκτοποίησης, ο οποίος αυξάνεται καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας. Όσο μικρότερη η ανομοιομέρεια, τόσο μεγαλύτερη η σταθερότητα των πηκτωμάτων. (Gamze Doser, Esra Su, *Oguz Ok*, 2023). Στη συγκέντρωση 0,6% w/w ξανθάνης στο μείγμα μας δημιουργείται μικρότερη ανομοιομέρεια στο δίκτυο και έτσι το πηκτωμα είναι πιο σταθερό. Αντίθετα, στις συγκεντρώσεις 0,8%w/w και 1%w/w ξανθάνης οι κρύσταλλοι πάγου που δημιουργούνται δημιουργούν δίκτυο με μεγαλύτερη ανομοιομέρεια που καθιστά τα πηκτώματα πιο ασταθή και μαλακά.

Οι πηκτικές ιδιότητες των διαλυμάτων ξανθάνης, εξαιτίας της ηλεκτροστατικής απώθησης μεταξύ των καρβοξυλικών ομάδων του βιοπολυμερούς, παραμένουν ακόμα και μετά την απόψυξη των δειγμάτων. Συμπεραίνουμε ότι η δημιουργία κρυοπηκτών περιλαμβάνει διαφορετικό μηχανισμό πήξης που δε συμβαίνει στα μη κατεψυγμένα διαλύματα των ίδιων συγκεντρώσεων ξανθάνης. (*Giannouli P. & Morris E.R.*, 2003). Ωστόσο, όσον αφορά τις κρυοπηκτές, η σταθερότητα του διαλύματος παραμένει για συγκεντρώσεις κάτω από 0,8% w/w, καθώς σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εξασθενούν οι διαμοριακές ενώσεις που προσδίδουν σταθερότητα στο διάλυμα λόγω της αυξανόμενης παρουσίας του βιοπολυμερούς.

Η προσθήκη μεγάλης συγκέντρωσης ιπποφαούς (1%w/w) στο μείγμα με 0,6%w/w ξανθάνη ελάττωσε τη σκληρότητα του διαλύματος σε σύγκριση με το μείγμα ξανθάνης 0,6%w/w που είχε προστεθεί 0,25%w/w ιπποφαές. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε κατιόντα που περιέχονται στο ιπποφαές, το οποίο περιορίζει την ευθυγράμμιση των αλυσίδων του βιοπολυμερούς στην παγωμένη κατάσταση, με αποτέλεσμα να εξασθενεί το διάλυμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια αυτής της ερευνητικής πτυχιακής διατριβής διερευνήθηκε η επίδραση του ιπποφαούς, όσον αφορά το χρώμα και η δομή, σε πηκτές και κρυοπηκτές με ξανθάνη.

Στις παραμέτρους L^* , a^* και b^* παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στα δείγματα ξανθάνης, συγκριτικά με τα δείγματα ξανθάνης – ιπποφαούς. Η προσθήκη ιπποφαούς στα δείγματα αύξησε τη φωτεινότητα των δειγμάτων, κυρίως στα δείγματα με υψηλές συγκεντρώσεις ιπποφαούς και χαμηλή συγκέντρωση ξανθάνης.

Όσον αφορά τη δομή, είναι φανερό από τα αποτελέσματα ότι γενικά το ιπποφαές με την ξανθάνη σχηματίζουν ασθενείς και μαλακές κρυοπηκτές. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι το δείγμα με χαμηλή συγκέντρωση ιπποφαές και ξανθάνη (0,25% w/w και 0,6% w/w αντίστοιχα) έδωσε την υψηλότερη τιμή σκληρότητας. Συμπεραίνουμε δηλαδή, ότι η προσθήκη χαμηλής συγκέντρωσης ιπποφαούς προσδίδει δομή και σταθερότητα στα μείγματα, ενώ η περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης ελαττώνει τη σκληρότητα και σταθερότητα των κρυοπηκτών.

Επομένως, είναι εφικτή η δημιουργία κρυοπηκτών ξανθάνης με ιπποφαές.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alarcón, M., López-Viñas, M., Pérez-Coello, M. S., Díaz-Maroto, M. C., Alañón, M. E., & Soriano, A. (2020). «Effect of Wine Lees as Alternative Antioxidants on Physicochemical and Sensorial Composition of Deer Burgers Stored during Chilled Storage». *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 9(8), 687. <https://doi.org/10.3390/antiox9080687>.
- Cristina-Eliza Brunchi, Simona Moraiu, Maria Bercea. (2014) <<Intrinsic viscosity and conformational parametrs of xanthan in acqueous solutions: Salt addition effect>> <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.07.023>
- Wenting Yu, Yongqiang Du, Shanshan Li, Lun Wu, Xingyu Guo, Wen Qin, Xinlan Kuang, Xin Gao, Quihong Wang, Haixue Kuang. (2023) <<Sea buckthorn-nutritional composition, bioactivity, safety, and applications: A review>> <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106371>
- Khalid Z.Masodi, Wasia Wani, Zahoor A.Dar, Sheikh Mansoor, Syed Anam-ul-Haq, Igra Farooq, Khursheed Hussain, Shafiq A.Wani, Firdos A.Nehvi, Nazeer Ahmed (2020) <<Sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) inhibits cellular proliferation, wound healing and decreases expression of prostate specific antigen in prostate cancer cells in vitro>> <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104102>
- Hao Teng, Zhigui He, Chengzi Hong, Songzi Xie, Xueqiang Zha (2023) <<Extraction, purification, structural characterization and pharmacological activities of polysaccharides from sea buckthorn (Hippophae rhamnoides L.): A review <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.117809>
- Zhen Wang, Fenglan Zhao, Panpan Wei, Xiaoyun Chai, Guige Hou, Quingguo Meng (2022) <<Phytochemistry, health benefits and food applications of sea buckthorn (Hippophae ramnoides L.): A review <https://doi.org/10.3389%2Ffnut.2022.1036295>

- Xianbao Sun, Yan Wu, Zibo Song, Xiangyu Chen (2021) <<A review of natural polysaccharides for food cryoprotection: Ice crystals inhibition and cryo-stabilization
<https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100291>
- Igra ,ohiuddin Bhat, Shoib Mohmad Wani, Sajad Ahmad Mir, F.A.Masoodi (2021) <<Advances in xanthan gum production, modifications and its applications (2021)
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>
- A.A.Agoub, A.M.Smith, P.Giannouli, R.K.Richardson, E.R.Morris (2007) << ‘Melt-in-the-mouth’ gels from mixtures of xanthan and konjac glucomannan under acidic conditions: A rheological and calorimetric study of the mechanism of synergistic gelation>>
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.02.014>
- P.Giannouli, E.R.Morris (2003) <<Cryogelation of xanthan>> [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00019-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00019-5)
- Turk J Chem (2023) <<Cryogelation reactions and cryogels: principles and challenges>>
<https://doi.org/10.55730%2F1300-0527.3586>
- Argyri, E.A., Piromalis, S.P., Koutelidakis, A., Kafetzopoulos, D., Petsas, A., Skalkos, D., Nasopoulou, C., Dimou, C., & Karantonis, H.C., (2021). «Olive Paste-Enriched Cookies Exert Increased Antioxidant Activities». *Appl. Sci*, 11(12), 5515.
<https://doi.org/10.3390/app11125515>.
- Aryee, A.N.A., Agyei, D., & Akanbi, T.O. (2018). «Food for oxidative stress relief: Polyphenols». *Encyclopedia of Food Chemistry*, 392–398. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21779-4>.
- Bhat, I., Wani, S., Mir, S., Masoodi, F.A., (2022). «Advances in xanthan gum production, modifications and its applications». *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, V.42.
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102328>.
- Bharathiraja, B.; Iyyappan, J.; Jayamuthunagai, J.; Kumar, R. Praveen; Sirohi, Ranjna; Gnansounou, Edgard; Pandey, Ashok (2020). «Critical review on bioconversion of winery wastes into value-added products». *Industrial Crops and Products*, 158, 112954–. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112954.

- Bultosa, G. (2016). «Functional Foods : Overview». *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)*, 2, 1-10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00071-1>.
- Fiume, M. M., Heldreth, B., Bergfeld, W. F., Belsito, D. V., Hill, R. A., Klaassen, C. D., Liebler, D. C., Marks, J. G., Jr, Shank, R. C., Slaga, T. J., Snyder, P. W., & Andersen, F. A., (2016). «Safety Assessment of Microbial Polysaccharide Gums as Used in Cosmetics». *International journal of toxicology*, 35(1 Suppl), 5S–49S. <https://doi.org/10.1177/1091581816651606>.
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, J. A., & Gómez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology advances*, 18(7), 549–579. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(00\)00050-1](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(00)00050-1).
- Giannouli, P., & Morris, E., (2003). Cryogelation of xanthan. *Food Hydrocolloids*, 17(4):495-501. DOI:10.1016/S0268-005X(03)00019-5.
- Guo, M. Q. , Hu, X., Wang, C., & Ai, L. (2017). «Polysaccharides: Structure and Solubility». In (Ed.), *Solubility of Polysaccharides*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71570>.
- Mortensen, A., Aguilar, F., Crebelli, R., Di Domenico, A., Frutos, M.J., Galtier, P., Gott, D., Gundert-Remy, U., Lambré, C., Leblanc, J.C., Lindtner, O., Moldeus, P., Mosesso, P., Oskarsson, A., Parent-Massin, D., Stankovic, I., Waalkens-Berendsen, I., Woutersen, R.A., Wright, M., Younes, M., Brimer, L., Christodoulidou, A., Lodi, F., Gelgelova, P., Dusemund, B., (2017). «Re-evaluation of xanthan gum (E 415) as a food additive». *EFSA Journal*, 15(7), –. doi:10.2903/j.efsa.2017.4909.
- Xianbao, S., Yan, W., Zibo, S., & Xiangyu, C., (2022). «A review of natural polysaccharides for food cryoprotection: Ice crystals inhibition and cryo-stabilization». *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, V. 27.
- Xue, F., Liu, T., Liu, X., Chen, K., Duan, L., & Gao, G., (2022). «Electroconductive and porous graphene-xanthan gum gel scaffold for spinal cord regeneration». *European Polymer Journal*, V.173. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111225>.

- Zhang, C., Wang, Z. J., Liu, Q. Q., Qian, J. Y., & Lim, S. T. (2022). «Improvement of pasting and gelling behaviors of waxy maize starch by partial gelatinization and freeze-thawing treatment with xanthan gum». *Food chemistry*, 375, 131656. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131656>.
- C.Calvo, A.Salvador (2000). «Use of natural colorants in food gels. Influence of composition of gels in their colour and study of their stability during storage»
- Pramendra Kumar, Brijesh Kumar, Sachin Gihar, Deepak Kumar (2024). <<Review on emerging trends and challenges in the modification of xanthan gum for various applications>> <https://doi.org/10.1016/j.carres.2024.109070>