



ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

« Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ
CLITORIA TERNATEA ΣΤΗΝ ΠΗΞΗ ΤΟΥ
ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΗ ΤΖΕΛΛΑΝΗ (GELLAN GUM) »



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ

Λάρισα 2025

Θέμα πτυχιακής εργασίας

«Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ *CLITORIA TERNATEA* ΣΤΗΝ
ΠΗΞΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΗ ΤΖΕΛΛΑΝΗ (GELLAN GUM)»

Thesis title

"THE EFFECT OF *CLITORIA TERNATEA* PLANT EXTRACTS ON THE
COAGULATION OF GELLAN GUM"

Τριμελής επιτροπή

Γιαννούλη Περσεφόνη

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Βιοχημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, του Τμήματος
Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, της σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Λεωνίδας Δημήτριος

Καθηγητής Βιοχημείας του Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας, της σχολής
Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Μπαλατσός Νικόλαος

Αναπληρωτής Καθηγητής Βιοχημείας, του Τμήματος Βιοχημείας και Βιοτεχνολογίας,
της σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα. Γιαννούλη Περσεφόνη, για την πολύτιμη καθοδήγηση, την αμέριστη στήριξη και την ενθάρρυνσή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η συμβολή της υπήρξε καθοριστική τόσο επιστημονικά όσο και προσωπικά.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τη υποψήφια Διδάκτορα Μανωλά Ελένη, για τις εύστοχες παρατηρήσεις, τις χρήσιμες συμβουλές και τη διαρκή διαθεσιμότητά της να προσφέρει τη βοήθειά της σε κάθε στάδιο της εργασίας.

Ιδιαίτερη μνεία οφείλω στην οικογένειά μου, που με στήριξε έμπρακτα με υπομονή, κατανόηση και αγάπη σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και στη διαδικασία συγγραφής της πτυχιακής. Χωρίς αυτούς δεν θα είχα φτάσει ως εδώ.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους φίλους μου, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου με εμπύχωση, χαμόγελα και κατανόηση, κάνοντας αυτήν τη διαδρομή πιο όμορφη και λιγότερο δύσκολη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ	6
2. GELLAN GUM.....	8
Τζελάνη (Gellan Gum).....	8
Χημική Δομή της Τζελάνης.....	9
3. CRYOGELATION	12
Ιδιότητες των Cryogels.....	14
Εφαρμογές των Cryogels.....	15
4. <i>CLITORIA TERNATEA</i>	16
Γενικά Χαρακτηριστικά	16
Χημική Σύσταση	17
Ιδιότητες του <i>Clitoria ternatea</i>	18
5. ΣΚΟΠΟΣ.....	20
6. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	21
A. Μέτρηση Χρώματος.....	22
B. Μέτρηση Σκληρότητας.....	22
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	23
A. Αποτελέσματα Χρώματος.....	24
B. Μετρήσεις Σκληρότητας.....	31
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	36

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζει την επίδραση του εκχυλίσματος του φυτού *Clitoria ternatea* στη διαδικασία πήξης του πολυσακχαρίτη τζελάνη (gellan gum). Η τζελάνη αποτελεί μικροβιακό εξωπολυσακχαρίτη με ευρεία χρήση στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς σχηματίζει σταθερές και ελεγχόμενες δομές πηκτών. Η δράση του εκχυλίσματος του *Clitoria ternatea*, πλούσιου σε ανθοκυανίνες και άλλες πολυφαινολικές ενώσεις, ενδέχεται να τροποποιεί τη μηχανική συμπεριφορά και τις οπτικές ιδιότητες των πηκτών μέσω αλληλεπιδράσεων με το πολυμερικό δίκτυο.

Η μεθοδολογία της μελέτης βασίστηκε στην τεχνική cryogelation καθώς και στη διατήρηση των δειγμάτων σε δύο συνθήκες αποθήκευσης, συντήρηση (5°C) και κατάψυξη (-20°C). Οι παραγόμενες πηκτές αξιολογήθηκαν ως προς τη σκληρότητα (hardness) και τις χρωματικές παραμέτρους (CIE Lab*), ώστε να διερευνηθεί η επίδραση διαφορετικών συγκεντρώσεων εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*.

Η μελέτη κατέδειξε ότι το εκχύλισμα *Clitoria ternatea* επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές και χρωματικές ιδιότητες των πηκτών τζελάνης. Η συμπεριφορά αυτή εξαρτάται τόσο από τη συγκέντρωση του εκχυλίσματος όσο και από τις συνθήκες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα προσφέρουν μια πρώτη εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο φυτικά εκχυλίσματα πλούσια σε πολυφαινόλες μπορούν να μεταβάλλουν τη δομή πηκτών πολυσακχαριτών, θέτοντας τις βάσεις για περαιτέρω μελέτη.

ABSTRACT

This thesis investigates the effect of *Clitoria ternatea* extract on the gelation process of the polysaccharide gellan gum. Gellan gum is a microbial exopolysaccharide with wide applications in the food industry, as it forms stable and controllable gel structures. The extract of *Clitoria ternatea*, rich in anthocyanins and other polyphenolic compounds, may alter the mechanical performance and optical properties of the gels through interactions with the polymeric network.

The methodology of the study was based on cryogelation, as well as storage of the samples under two conditions: refrigeration (5°C) and freezing (-20°C). The resulting gels were evaluated in terms of hardness and color parameters (CIE Lab*) in order to examine the impact of different concentrations of *Clitoria ternatea* extract.

The study demonstrated that *Clitoria ternatea* extract significantly affects the mechanical and color properties of gellan gum gels. This behavior depends on both the concentration of the extract and the processing and storage conditions. The results provide an initial insight into how plant extracts rich in polyphenols can modify the structure of polysaccharide gels, laying the groundwork for further investigation.

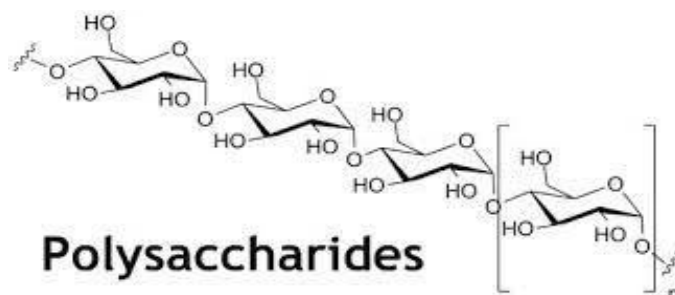
1. ΥΔΑΤΑΝΘΡΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ

Οι υδατάνθρακες αποτελούν μία από τις σημαντικότερες και πολυπληθέστερες κατηγορίες βιομορίων στη φύση. Χαρακτηρίζονται από τον γενικό μοριακό τύπο $(\text{CH}_2\text{O})_n$ και περιλαμβάνουν ενώσεις που δομικά αποτελούνται από πολυυδροξυ-αλδεΐδες ή κετόνες (Ghazarian, Idoni, & Oppenheimer, 2011). Η παρουσία τους είναι καθοριστική τόσο στη φυσιολογία των ζωντανών οργανισμών όσο και στη βιομηχανία τροφίμων. Στον ανθρώπινο οργανισμό αποτελούν την κύρια πηγή ενέργειας, συμμετέχοντας σε βιοχημικές διεργασίες όπως η γλυκόλυση και ο κύκλος του Krebs. Παράλληλα, συμβάλλουν στη διαμόρφωση σημαντικών δομικών μορίων, όπως οι γλυκοπρωτεΐνες και τα γλυκολιπίδια, που παίζουν κρίσιμο ρόλο στη κυτταρική αναγνώριση και στη σηματοδότηση (Sharon and Lis, 1989 , 1993 ; Ofek et al., 2003). Η μελέτη των υδατανθράκων έχει ιδιαίτερη σημασία στον τομέα της επιστήμης τροφίμων, καθώς από την παρουσία τους εξαρτώνται ιδιότητες όπως η γεύση, το άρωμα, η υφή και η σταθερότητα των προϊόντων.

Οι υδατάνθρακες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες. Οι μονοσακχαρίτες αποτελούν τα απλούστερα σάκχαρα και δεν μπορούν να υδρολυθούν σε απλούστερες ενώσεις. Παραδείγματα είναι η γλυκόζη, η φρουκτόζη και η γαλακτόζη, οι οποίες αποτελούν βασικές πηγές ενέργειας για τα κύτταρα. Οι δισακχαρίτες, όπως η σακχαρόζη, η λακτόζη και η μαλτόζη, σχηματίζονται μέσω γλυκοζιτικών δεσμών μεταξύ δύο μονοσακχαριτών. Οι ολιγοσακχαρίτες, που αποτελούνται από 3 έως 10 μονάδες, συναντώνται κυρίως σε σύνθετες βιολογικές δομές, όπως οι γλυκοπρωτεΐνες, και συχνά επιδρούν στη μικροχλωρίδα του εντέρου, προάγοντας την ανάπτυξη προβιοτικών μικροοργανισμών (Rastall, 2010; Patel & Goyal, 2011). Τέλος οι πολυσακχαρίτες αποτελούν την πιο άφθονη κατηγορία υδατανθράκων στα τρόφιμα.

Οι πολυσακχαρίτες αποτελούν μακρομοριακές ενώσεις που σχηματίζονται από εκατοντάδες έως και χιλιάδες μονάδες μονοσακχαριτών. Θεωρούνται σημαντικοί καθώς δρουν είτε ως μόρια αποθήκευσης και δομής. Στους αποθηκευτικούς πολυσακχαρίτες ανήκουν το άμυλο (στα φυτά) και το γλυκογόνο (στα ζώα), τα οποία αποτελούν αποθήκες ενέργειας (Mohammed, 2021). Ενώ στους δομικούς πολυσακχαρίτες περιλαμβάνονται η κυτταρίνη και η χιτίνη, που προσδίδουν μηχανική

αντοχή και σταθερότητα στα κύτταρα και τους ιστούς (Benalaya et al., 2024). Το πολυμερές της κυτταρίνης, για παράδειγμα, είναι το βασικό συστατικό των τοιχωμάτων των φυτικών κυττάρων και αποτελεί το πιο άφθονο βιοπολυμερές στον πλανήτη (Benalaya et al., 2024). Η σημασία των πολυσακχαριτών δεν περιορίζεται μόνο στη βιολογία, καθώς είναι πολύ σημαντικά στη βιομηχανία τροφίμων.



Εικόνα 1: Η δομή των πολυσακχαριτών

Οι πολυσακχαρίτες ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των βιοπολυμερών, δηλαδή των φυσικών πολυμερών που παράγονται από ζωντανούς οργανισμούς. Το γεγονός ότι είναι βιοδιασπώμενα, μη τοξικά και ευρέως διαθέσιμα τους δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στη βιομηχανία τροφίμων ως υδροκολλοειδή, ως μέσα βελτίωσης υφής, πηκτικά και σταθεροποιητές κ.α.. Παραδείγματα βιομηχανικής αξιοποίησης αποτελούν οι καραγενάνες, τα αλγινικά και το gellan gum, με το τελευταίο να κατέχει ξεχωριστή θέση χάρη στις εξαιρετικές του ιδιότητες σχηματισμού πηκτωμάτων και την ευελιξία στη χρήση του (Gomes, Casadey, & Nunes, 2023).

Οι πολυσακχαρίτες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των μοναδικών φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων. Χαρακτηρίζονται από υψηλό ιξώδες, ικανότητα κατακράτησης νερού και δυνατότητα σχηματισμού πηκτωμάτων. Αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται από τη δομή τους, το μήκος της αλυσίδας και τον τύπο των γλυκοζιτικών δεσμών. Για παράδειγμα, οι πολυσακχαρίτες που περιέχουν θεικές ομάδες, όπως οι καραγενάνες, εμφανίζουν ισχυρή ικανότητα δέσμευσης μετάλλων και σχηματισμού δικτύων σε υδατικά διαλύματα (Campo et al., 2009).

2. GELLAN GUM

Τζελάνη (Gellan Gum)

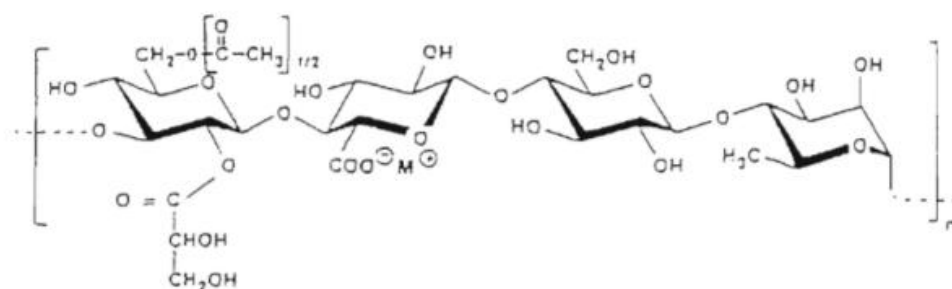
Η τζελάνη (gellan gum) ανήκει στους μικροβιακούς εξωπολυσακχαρίτες με ιδιαίτερη τεχνολογική και βιομηχανική αξία. Ανακαλύφθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 από ερευνητές της εταιρείας Kelco, οι οποίοι ταυτοποίησαν το βακτήριο *Sphingomonas elodea* (παλαιότερα γνωστό ως *Pseudomonas elodea*) ως τον παραγωγό του πολυσακχαρίτη (Giavasis et al., 2000· USDA, 2019). Έκτοτε, η τζελάνη έλαβε έγκριση για χρήση στη βιομηχανία τροφίμων και φαρμάκων, όπου το 1992 ο Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) ενέκρινε επίσημα τη χρήση της ως πρόσθετο τροφίμων. Παράλληλα έχει λάβει έγκριση και από την Ευρωπαϊκή Αρχή Ασφάλειας Τροφίμων (EFSA), καταχωρισμένη με τον κωδικό E418 (EFSA ANS Panel, 2018). Η ικανότητά της να σχηματίζει πηκτές σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, καθώς και η θερμική και μηχανική της σταθερότητα, συνέβαλαν καθοριστικά στην ταχεία ενσωμάτωσή της σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.

Στη βιομηχανία, η παραγωγή της τζελάνης βασίζεται σε ελεγχόμενες διαδικασίες ζύμωσης, κατά τις οποίες το βακτήριο *Sphingomonas elodea* εκκρίνει τον πολυσακχαρίτη στο θρεπτικό μέσο (Aali & Al-Sahlany, 2024). Η διαδικασία πραγματοποιείται σε βιοαντιδραστήρες, όπου ελέγχονται κρίσιμοι παράμετροι, όπως το pH, η θερμοκρασία, ο αερισμός και η παροχή θρεπτικών συστατικών. Συνήθως, οι κύριες πηγές άνθρακα στο θρεπτικό μέσο είναι σάκχαρα όπως η γλυκόζη και η σακχαρόζη, τα οποία υποστηρίζουν την ανάπτυξη του μικροοργανισμού και διευκολύνουν τη βιοσύνθεση του πολυσακχαρίτη. Μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης, ο πολυσακχαρίτης απομονώνεται ακολουθώντας μια σειρά βημάτων. Η διαδικασία περιλαμβάνει καθίζηση με αλκοόλες (π.χ. ισοπροπανόλη ή αιθανόλη), ώστε να συμπυκνωθεί το πολυμερές και ύστερα ακολουθεί το φιλτράρισμα και η ξήρανση. Το τελικό προϊόν λαμβάνεται σε μορφή σκόνης υψηλής καθαρότητας, κατάλληλης για χρήση σε τρόφιμα. Το στάδιο αυτό είναι απαραίτητο, καθώς απομακρύνει τυχόν υπολείμματα μικροοργανισμών ή άλλες ανεπιθύμητες ενώσεις, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια και τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος.

Η βιομηχανική παραγωγή της τζελάνης βασίζεται σε ελεγχόμενες ζυμώσεις, εξασφαλίζοντας σταθερότητα στο τελικό προϊόν (Aali & Al-Sahlany, 2024). Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ρύθμισης των συνθηκών παραγωγής, γεγονός που επιτρέπει την παραγωγή παραλλαγών της τζελάνης με χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Χημική Δομή της Τζελάνης

Η τζελάνη είναι ένας ανιονικός εξωπολυσακχαρίτης υψηλού μοριακού βάρους, του οποίου η δομική μονάδα είναι ένας τετρασακχαρίτης που αποτελείται από δύο μόρια

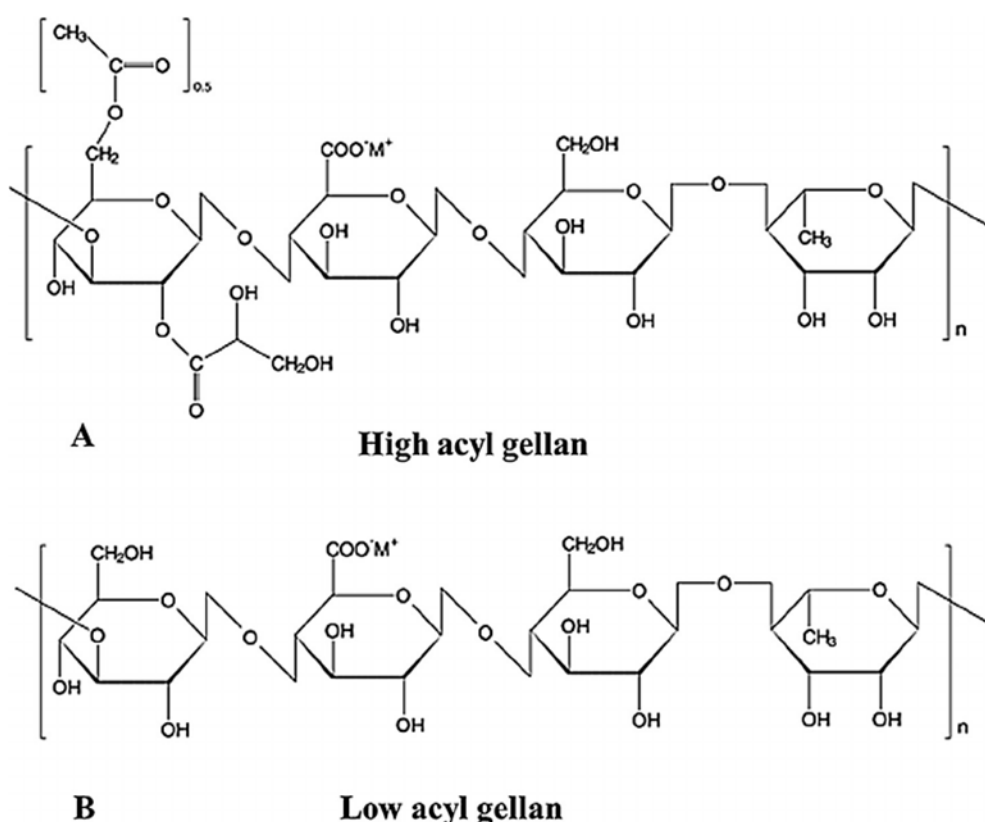


Εικόνα 2: Χημική δομή της Τζελάνης

D-γλυκόζης, ένα μόριο D-γλুকουρονικού οξέος και ένα μόριο L-ραμνόζης (Giavasis, Harvey, & McNeil, 2000). Ο πολυσακχαρίτης διαθέτει καρβοξυλομάδες (–COOH) στο γλুকουρονικό οξύ, που του προσδίδουν ανιονικό χαρακτήρα και του επιτρέπουν να σχηματίζει ισχυρά δίκτυα μέσω ιοντικών αλληλεπιδράσεων με πολυσθενή κατιόντα (Ca²⁺, Mg²⁺).

Ανάλογα με την παρουσία ή την αποακετυλίωση ακυλικών ομάδων, η τζελάνη διακρίνεται σε δύο κύριες μορφές: την υψηλής περιεκτικότητας σε ακετυλομάδες (High-acyl gellan gum) και τη χαμηλής περιεκτικότητας σε ακετυλομάδες (Low-acyl gellan gum) (Abdl Aali & Al-Sahlany, 2024). Η μορφή υψηλής περιεκτικότητας σε ακετυλομάδες, περιέχει ακετυλομάδες ενσωματωμένες στην πολυσακχαριτική της αλυσίδα, γεγονός που οδηγεί στον σχηματισμό πιο μαλακών και εύκαμπτων πηκτών με ελαστική υφή και αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού, περιορίζοντας το φαινόμενο της συναίρεσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται συχνά σε προϊόντα που

απαιτούν εύπλαστη υφή, όπως ζελέ επιδορπίων και σάλτσες. Αντίθετα, η χαμηλής περιεκτικότητας μορφή, έχει υποστεί αποακετυλίωση, σχηματίζει σκληρές, διαφανείς και θερμικά ανθεκτικές πηκτές, οι οποίες παρουσιάζουν εξαιρετική σταθερότητα σε θερμικές επεξεργασίες, όπως η παστερίωση. Χρησιμοποιείται σε τρόφιμα που χρειάζονται υψηλή μηχανική αντοχή και σταθερή μορφή (π.χ. φυτικά ροφήματα, επιδόρπια με χαμηλά λιπαρά).



Εικόνα 3: Δύο κύριες μορφές της Τζελάνης

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου τζελάνης είναι καθοριστική για την ανάπτυξη τροφίμων με προσαρμοσμένες λειτουργικές και αισθητηριακές ιδιότητες. Η δυνατότητα ελέγχου παραμέτρων όπως η σκληρότητα, η διαφάνεια και η ελαστικότητα επιτρέπει τη δημιουργία προϊόντων που ανταποκρίνονται καλύτερα στις απαιτήσεις υφής και σταθερότητας.

Χαρακτηριστικά της Τζελάνης

Η τζελάνη παρουσιάζει ιδιαίτερο ρεολογικό προφίλ, καθώς σχηματίζει πηκτές μέσω θερμοαντίστροφης διαδικασίας: κατά την ψύξη οι πολυμερικές αλυσίδες οργανώνονται σε τρισδιάστατο δίκτυο, ενώ με την επαναθέρμανση η δομή αποδομείται και το σύστημα επιστρέφει σε υγρή μορφή (Fiorica et al., 2021). Η παρουσία ιόντων παίζει καθοριστικό ρόλο:

- Δισθενή κατιόντα, όπως Ca^{2+} και Mg^{2+} , ενισχύουν τις διασταυρώσεις των αλυσίδων και αυξάνουν τη μηχανική αντοχή
- Τα μονοσθενή κατιόντα έχουν πιο περιορισμένη επίδραση (Fiorica et al., 2021; García, Alfaro & Muñoz, 2016).

Ρεολογικά, το πολυμερές εμφανίζει συμπεριφορά shear-thinning, δηλαδή το ιξώδες του μειώνεται με την αύξηση της διατμητικής τάσης. Αυτή η ιδιότητα το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές που περιλαμβάνουν έντονη μηχανική κατεργασία, διευκολύνοντας τόσο τη διασπορά όσο και τη ροή σε βιομηχανικά συστήματα (García et al., 2016). Παράλληλα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις ρεολογικές παραμέτρους, με υψηλότερες συγκεντρώσεις να οδηγούν σε δομές με μεγαλύτερη σκληρότητα.

Η σταθερότητα των πηκτών τζελάνης εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων που αφορούν τόσο τη σύσταση όσο και τις εξωτερικές συνθήκες. Η συγκέντρωση του πολυμερούς είναι κρίσιμη, καθώς σε υψηλότερα ποσοστά σχηματίζονται πιο συνεκτικά και σκληρά πλέγματα, ενώ σε χαμηλότερα η δομή παραμένει εύθραυστη. Το pH επηρεάζει άμεσα την ιονική ισορροπία, γεγονός που μεταβάλλει τις διασταυρώσεις των αλυσίδων και κατά συνέπεια τη συνοχή της πηκτής (Lozinsky, 2022).

Η θερμική συμπεριφορά είναι επίσης σημαντική: τα σημεία πήξης και τήξης μπορούν να μεταβληθούν ανάλογα με τις συνθήκες, επιτρέποντας τη δημιουργία πηκτών που παραμένουν σταθερές είτε κάτω είτε πάνω από τους 100°C (Sworn, 2021). Αυτό προσδίδει στη τζελάνη ευελιξία, καθώς τα προϊόντα μπορούν να προσαρμόζονται σε διαφορετικές διεργασίες επεξεργασίας τροφίμων.

Επιπλέον, ο συνδυασμός της με άλλα υδροκολλοειδή, όπως ζελατίνη ή καραγενάνες, οδηγεί σε συστήματα με βελτιωμένες ιδιότητες, είτε αυξάνοντας τη θερμική

ανθεκτικότητα είτε τροποποιώντας την υφή. Ένα ακόμη πλεονέκτημα της τζελάνης είναι ότι οι πηκτές σχηματίζονται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις ($\approx 0,05\%$ w/v).

Η τζελάνη αποτελεί υδροκολλοειδές με ευρεία εφαρμογή στη Βιομηχανία Τροφίμων, λόγω της σταθερότητας, της ευελιξίας και της ασφάλειας χρήσης της. Ενδεικτικά, αξιοποιείται ως σταθεροποιητής σε γαλακτοκομικά προϊόντα όπως γιαούρτια, παγωτά και ροφήματα, καθώς και ως πηκτικός παράγοντας σε σούπες και ζελέ. Η αξιοποίηση της τζελάνης οφείλεται στη δυνατότητα της να ρυθμίζει την υφή, τη σταθερότητα και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων, ανάλογα με τη συγκέντρωση της και τον συνδυασμό της με άλλα συστατικά.

Καινοτόμες Χρήσεις

Πέρα από τις κλασικές εφαρμογές της στη βιομηχανία τροφίμων, η τζελάνη έχει αναδειχθεί ως υλικό με σημαντικές προοπτικές σε καινοτόμες τεχνολογίες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, η αξιοποίηση της στην παρασκευή των cryogels μέσω της μεθόδου του cryogelation. Κατά τους κύκλους κατάψυξης–απόψυξης, η τζελάνη αφήνει πίσω της ένα μακροπορώδες δίκτυο με υψηλή ελαστικότητα και μεγάλη διαπερατότητα (Plieva et al., 2004). Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν την τζελάνη ιδανικό υλικό για τρόφιμα με εξειδικευμένες λειτουργικές ιδιότητες (Xu et al., 2024).

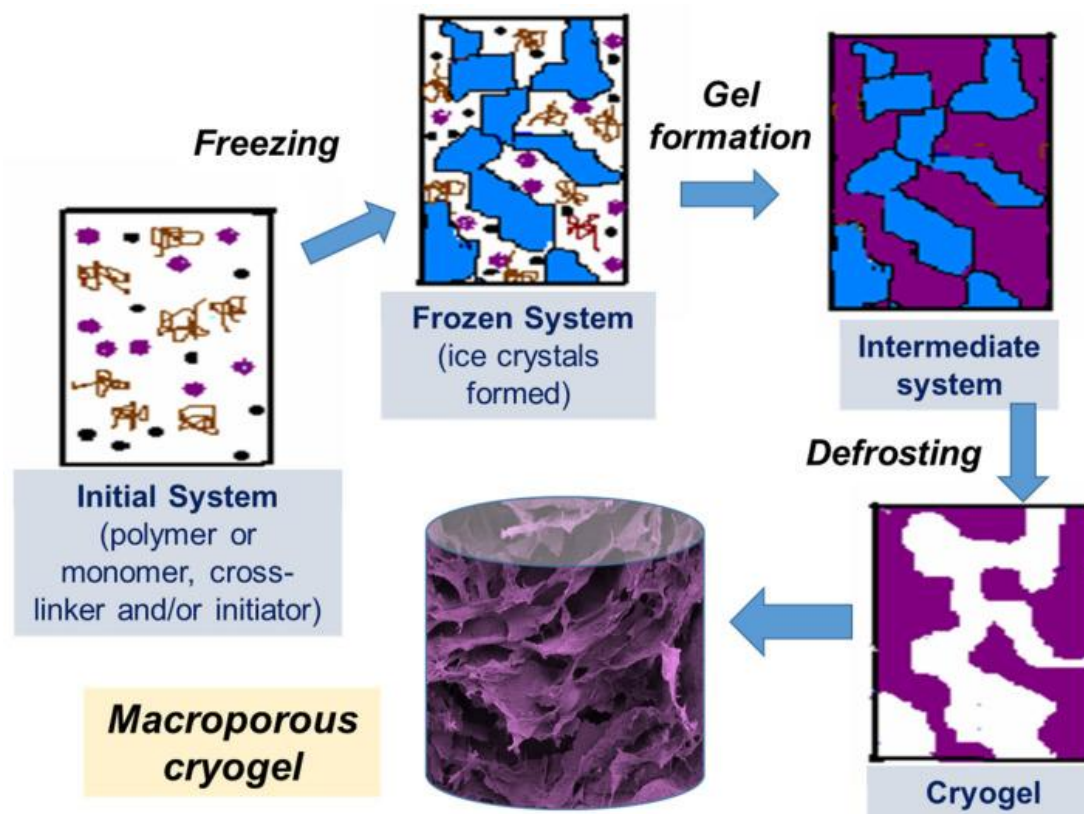
3. CRYOGELATION

Η τεχνική του cryogelation έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως μία από τις πιο καινοτόμες μεθόδους παρασκευής υδατικών πηκτωμάτων με εξαιρετικές μηχανικές και λειτουργικές ιδιότητες. Το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας είναι μεγάλο μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια, λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών των cryogels σε σχέση με τις κλασικές πηκτές των βιοπολυμερών (Savina et al., 2021).

Ο όρος «cryogelation» αναφέρεται στη διαδικασία σχηματισμού πηκτής σε χαμηλές θερμοκρασίες, κατά την οποία το μεγαλύτερο ποσοστό του διαλύτη (νερό) παγώνει και σχηματίζει παγοκρυστάλλους. Οι παγοκρύσταλλοι λειτουργούν ως φυσικά πρότυπα για τη δημιουργία πόρων, ενώ οι πολυμερείς αλυσίδες συγκεντρώνονται στις μη παγωμένες περιοχές του διαλύματος, σχηματίζοντας ένα δίκτυο με υψηλή τοπική συγκέντρωση βιοπολυμερούς. Με την απόψυξη, οι παγοκρύσταλλοι λειώνουν και αφήνουν πίσω τους ένα τρισδιάστατο, μακροπορώδες πλέγμα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε αρχικά σε πολυσακχαρίτες όπως η ξανθάνη (Giannouli et al. 2003) και η καραγενάνες, ωστόσο η τζελάνη αναδείχθηκε σε ιδιαίτερα κατάλληλο υποψήφιο υλικό λόγω της ισχυρής πηκτικής της ικανότητας, της βιοσυμβατότητας και της ανιονικής της φύσης (Muthukumar, T., Song, J. E., & Khang, G. 2019).

Η τελική μικροδομή του cryogel επηρεάζεται έντονα από τον ρυθμό και τη θερμοκρασία ψύξης. Σε αργή ψύξη, οι παγοκρύσταλλοι αναπτύσσονται μεγαλύτεροι, με αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγάλων, ακανόνιστων πόρων. Αντίθετα, σε ταχεία ψύξη σχηματίζονται μικρότεροι και πιο ομοιογενείς πόροι, που προσδίδουν στο υλικό αυξημένη μηχανική αντοχή και μεγαλύτερη επιφάνεια (Giannouli P. et al., 2003). Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι οι κύκλοι freeze–thaw: η επαναλαμβανόμενη κατάψυξη και απόψυξη οδηγεί σε καλύτερα διασυνδεδεμένα δίκτυα, βελτιώνοντας τη μηχανική σταθερότητα (Giannouli P. et al., 2003).

Η απόψυξη αποτελεί επίσης κρίσιμο στάδιο, καθώς η ταχύτητα τήξης των παγοκρυστάλλων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη διαμόρφωση των διαύλων. Έχει παρατηρηθεί ότι cryogels που αποψύχονται πιο αργά διατηρούν καλύτερη ευθυγράμμιση και πιο ανοικτή μακροπορώδη δομή, γεγονός που ευνοεί τη διαπερατότητα και τη μεταφορά βιομορίων (Moreira et al., 2020). Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν το cryogelation μία μοναδική προσέγγιση για την ανάπτυξη υδρογελών ειδικής χρήσης, με εφαρμογές στην Βιομηχανία Τροφίμων (Giannouli P. et al., 2003).



Εικόνα 4: Παρασκευή cryogel (Savina et al., 2021).

Ιδιότητες των Cryogels

Τα cryogels ξεχωρίζουν για τη μακροπορώδη και διασυνδεδεμένη δομή τους, που τις διαφοροποιεί από τα κλασικά υδατικά πηκτώματα. Η ύπαρξη μεγάλων, συνεχόμενων πόρων επιτρέπει την ελεύθερη ροή υγρών, θρεπτικών συστατικών και βιομορίων, καθιστώντας τις ιδιαίτερα κατάλληλες για εφαρμογές που απαιτούν υψηλό ρυθμό διάχυσης, όπως η ελεγχόμενη απόψυξη σε παγωτά κ.α. (Lozinsky, 2022; Zhang et al., 2023).

Παρά τη μεγάλη πορώδη σύστασή τους, οι κρυογέλες εμφανίζουν αξιόλογη μηχανική ανθεκτικότητα και ελαστικότητα. Μπορούν να υποστούν συμπίεση και να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα, γεγονός που αποδίδεται στο ευέλικτο αλλά σταθερό πολυμερικό δίκτυο. Η συνύπαρξη μακροπορώδων καναλιών με ένα ανθεκτικό τρισδιάστατο πλέγμα προσδίδει την ικανότητα απορρόφησης και κατανομής μηχανικών φορτίων, σε συνθήκες όπου τα συμβατικά πηκτώματα θα παρουσίαζαν δομική αστάθεια (Giannouli P. et al., 2003).

Εφαρμογές των Cryogels

Η αξιοποίηση των cryogels στη Βιομηχανία Τροφίμων έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον στην έρευνα τα τελευταία χρόνια, καθώς έχουν χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικά στη Βιομηχανία Τροφίμων. Τα cryogels συνδυάζουν την μακροπορώδη δομή, την ικανότητα συγκράτησης νερού και δυνατότητα τροποποίησης, όπου οι ιδιότητες αυτές είναι χρήσιμες για εφαρμογές που σχετίζονται με την βελτίωση της ποιότητας, της σταθερότητας και της θρεπτικής αξίας των τροφίμων (Priyadharshini et al., 2025).

Στα τρόφιμα τα cryogels συμβάλλουν στη βελτίωση τόσο της δομής όσο και της σταθερότητάς, περιορίζοντας τον κίνδυνο διαχωρισμού των συστατικών και διατηρώντας την ομοιογένεια κατά την επεξεργασία και την αποθήκευση. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ποιότητα και την οπτική εμφάνιση των προϊόντων που παράγονται στις βιομηχανίες.

Τα cryogels μπορούν επίσης να συμβάλλουν στη διατήρηση της υγρασίας και της δομής των τροφίμων. Η ικανότητα τους να δεσμεύουν νερό και να ρυθμίζουν την απώλεια του, μειώνει την αφυδάτωση κατά την αποθήκευση ή μετά από κύκλους κατάψυξης-απόψυξης. Με τον τρόπο αυτό διατηρείται η υφή και η δομή των τροφίμων, βελτιώνοντας παράγοντες που σχετίζονται με την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής των προϊόντων.

Μια ακόμη σημαντική εφαρμογή των cryogels σχετίζεται με την ενσωμάτωση ενώσεων με διατροφική ή λειτουργική σημασία. Η πορώδης δομή τους διευκολύνει τον εγκλεισμό ουσιών όπως προβιοτικά, βιταμίνες ή φυσικά αντιοξειδωτικά, προσφέροντας παράλληλα προστασία από παράγοντες που μειώνουν τη δραστηρότητά τους, όπως η θερμοκρασία, το φως, το οξυγόνο. Με αυτόν τον τρόπο, τα cryogels μπορούν να λειτουργήσουν ως φορείς για την ανάπτυξη τροφίμων προστιθέμενης αξίας.

Συνοψίζοντας, τα cryogels προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα Βιολειτουργικών εφαρμογών στη Βιομηχανία Τροφίμων, από τη βελτίωση υφής και σταθερότητας έως την ενθυσιακή βιοδραστικών συστατικών,(Priyadharshini et al., 2025).

4. *CLITORIA TERNATEA*

Το φυτό *Clitoria ternatea* L., γνωστό και ως butterfly pea, είναι ένα πολυετές αναρριχώμενο μέλος της οικογένειας Fabaceae. Έχει γίνει ιδιαίτερα γνωστό για τα εντυπωσιακά μπλε άνθη του, τα οποία χρησιμοποιούνται παραδοσιακά ως φυσικές χρωστικές σε τρόφιμα και ποτά (Jeyaraj, Lim, & Choo, 2021; Vidana Gamage, Lim, & Choo, 2021). Το φυτό είναι επίσης γνωστό με διαφορετικές κοινές ονομασίες, όπως *Asian pigeonwing*, *blue pea*, *cordofan pea* και *Darwin pea* (Jeyaraj et al., 2021). Στην Ινδία και σε άλλες περιοχές της Νότιας Ασίας απαντάται με ονομασίες όπως *Shankhapushpi*, *Aparajita* και *Kakkattan*, που αντανakλούν την πολιτιστική του σημασία (Jeyaraj et al., 2021).



Εικόνα 5: *Clitoria Ternatea*

Η προέλευση του δεν είναι απόλυτα καθορισμένη· ωστόσο σήμερα καλλιεργείται ευρέως σε περιοχές της Ασίας, της Αφρικής και της Νότιας Αμερικής (Oguis, Gilding, Jackson, & Craik, 2019). Στη Βραζιλία, για παράδειγμα, έχει αναδειχθεί ως σημαντική καλλιέργεια λόγω της προσαρμοστικότητάς του σε ξηρά και φτωχά εδάφη (Rao, 2014).

Γενικά Χαρακτηριστικά

Το *Clitoria ternatea* είναι πολυετές αναρριχώμενο φυτό με υψηλή ανθεκτικότητα σε δυσμενείς εδαφοκλιματικές συνθήκες, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για

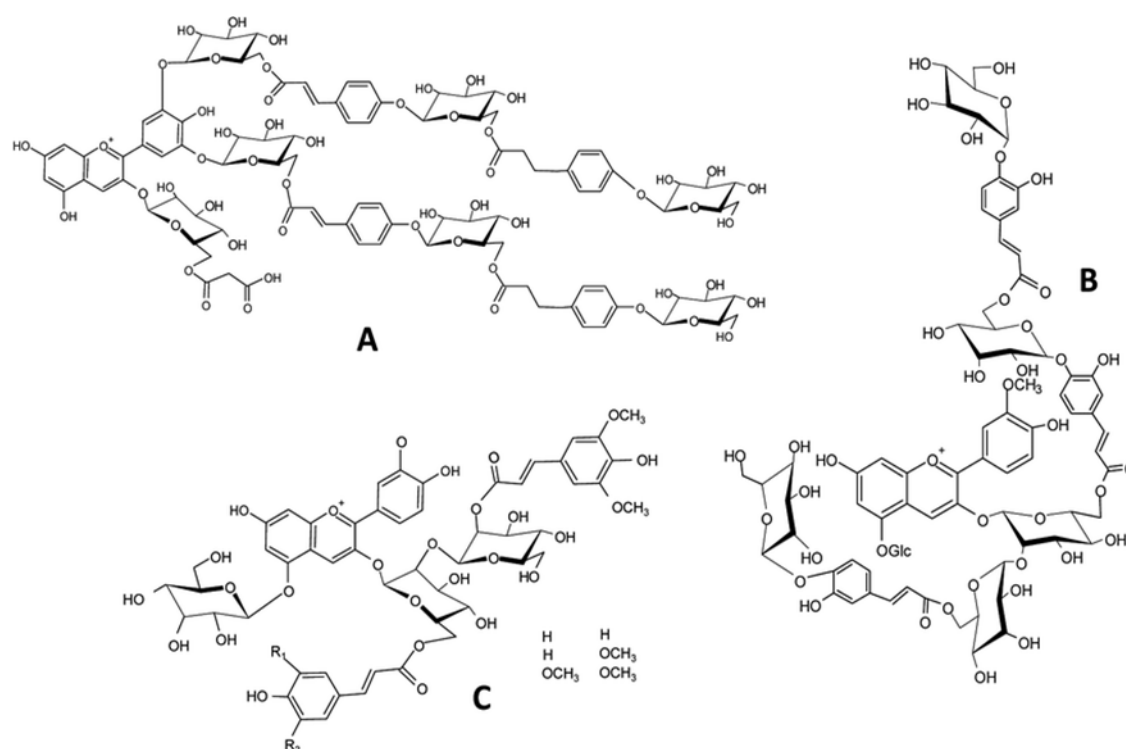
καλλιέργεια σε περιοχές χαμηλής παραγωγικότητας (Mukherjee et al., 2008). Η ταξινομική του θέση έχει ως εξής:

Βασίλειο	Plantae
Ομοταξία	Angiosperms
Τάξη	Fabales
Οικογένεια	Fabaceae
Γένος	<i>Clitoria</i>
Είδος	<i>Clitoria ternatea L.</i>

Τα άνθη του χαρακτηρίζονται από έντονο μπλε χρώμα, το οποίο αποδίδεται στην παρουσία σταθερών ανθοκυανινών τύπου ternatin (Chayaratanasin et al., 2021).

Χημική Σύσταση

Η χημική σύσταση του φυτού είναι πλούσια και ποικιλόμορφη, περιλαμβάνοντας ανθοκυανίνες, φλαβονοειδή, φαινολικά οξέα, σαπωνίνες και αλκαλοειδή. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ανθοκυανίνες τύπου ternatin (A1-A5, D1-D3). Αυτές είναι πολυακυλιωμένες μορφές της δελφινιδίνης 3,3',5'-τριγλυκοσίδης (delphinidin 3,3',5'-triglucoside) και συμβάλλουν στη σταθερότητα του χρώματος έναντι σε αλλαγές pH και θερμοκρασίας (Gamage et al., 2021; Terahara et al., 1996; Kazuma et al., 2004). Εκτός από τις τερνατίνες, έχουν ταυτοποιηθεί και άλλες μορφές, όπως η delphinidin-3-O-(6"-O-malonyl)-β-glucoside-3',5'-di-O-β-glucoside (ternatin C5) που ενισχύει τη χρωματική σταθερότητα και βιοδραστικότητα του φυτού (Kazuma et al., 2004).



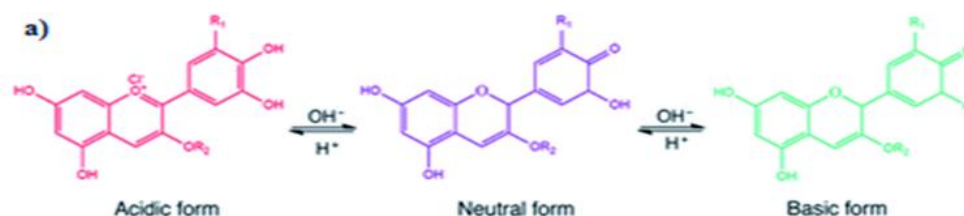
Εικόνα 6: Χημικές δομές (A) ternatin A1, (B) δελφινιδίνης 3,3',5'-τριγλυκοσίδης και (C) μαλβιδίνης 3,5-διγλυκοσίδης (Chayaratanasin et al., 2021).

Επιπλέον, τα εκχυλίσματα ανθοκυανινών της *Clitoria ternatea* έχουν δείξει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, η οποία έχει ιδιαίτερη σημασία για την προστασία τροφίμων από την οξείδωση και την αλλοίωση τροφίμων, αλλά και την υγεία του ανθρώπου (Gamage et al., 2021; Jeyaraj et al., 2020).

Ιδιότητες του *Clitoria ternatea*

Οι ανθοκυανίνες του *Clitoria ternatea* παρουσιάζουν έντονη μεταβολή χρώματος ανάλογα με το pH, γεγονός που τις καθιστά ιδανικές για χρήση σε τρόφιμα. Σε όξινο περιβάλλον (pH 2–4) το εκχύλισμα λαμβάνει ροζ–μωβ απόχρωση, σε ουδέτερο pH (~6–7) εμφανίζει το χαρακτηριστικό έντονο μπλε, ενώ σε αλκαλικό περιβάλλον (συνήθως pH >8) το χρώμα μετατοπίζεται από ανοιχτό μπλε σε πράσινο ή σκούρο πράσινο (Gamage et al., 2021; Hasanah et al., 2023; Fu et al., 2021).

Η ιδιότητα αυτή έχει αξιοποιηθεί σε τρόφιμα, όπως ροφήματα, γλυκίσματα και αφεψήματα, τα οποία αποκτούν εντυπωσιακές χρωματικές διαφοροποιήσεις χωρίς την ανάγκη χρήσης συνθετικών χρωστικών.



Εικόνα 7: Χημικό διάγραμμα μεταβολής μορφών ανθοκυανίνης του *Clitoria ternatea* ανάλογα με pH (πηγή: S. K. Mary et al., 2020).

Εκχυλίσματα του φυτού *Clitoria ternatea* διαθέτουν ισχυρή αντιοξειδωτική δράση λόγω της παρουσίας ανθοκυανινών, φλαβονοειδών και φαινολικών οξέων. Έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την οξείδωση λιπιδίων σε τρόφιμα (Gamage et al., 2021). Παράλληλα, οι σαπωνίνες και τα φαινολικά συστατικά προσδίδουν αντιμικροβιακές ιδιότητες, περιορίζοντας την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Έτσι η ενσωμάτωση των εκχυλισμάτων σε τρόφιμα μπορεί να μειώσει την ανάγκη χρήσης σύνθετων συντηρητικών, υποστηρίζοντας την ανάπτυξη προϊόντων με «καθαρή ετικέτα» (clean-label).

5. ΣΚΟΠΟΣ

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει πειραματικά πώς το εκχύλισμα του φυτού *Clitoria ternatea* επηρεάζει τον σχηματισμό, τη δομή και τις λειτουργικές ιδιότητες πηκτωμάτων που σχηματίζονται από gellan gum (2% w/w) και αποθηκεύονται σε χαμηλές θερμοκρασίες κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει τη σύγκριση μηχανικών ιδιοτήτων (σκληρότητα) και τις χρωματικές μετρήσεις (CIE Lab*) για συγκεντρώσεις εκχυλίσματος 0–1.0% w/w και για τρεις μεθόδους παρασκευής: cryo-gelation, κατάψυξη (-20°C) και συντήρηση (5 °C).

6. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρία βασικά υλικά: gellan gum (2% w/w) κύριο πηκτικό μέσο, εκχύλισμα *Clitoria ternatea* σε συγκεντρώσεις 0.00, 0.10 , 0.25, 0.50, 0.75 και 1,00% w/w.

- Τζελάνη - AppliChem BioChemica Chemica Synthesis Services Gellan-Gum
- Εμπορικό σκεύασμα εκχυλίσματος από το φυτό *Clitoria Ternatea* - Enchanting Indigo - Butterfly Pea Powder, Butterfly pea tea

Για την διεξαγωγή του πειράματος, gellan gum 2% w/w και εκχύλισμα *Clitoria ternatea* σε συγκεντρώσεις 0,00–1,00 % w/w όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγματα	Gellan Gum	Εκχύλισμα <i>Clitoria Ternatea</i>
Control	2,00% w/w	0,00% w/w
Δείγμα 1	2,00% w/w	0,10% w/w
Δείγμα2	2,00% w/w	0,25% w/w
Δείγμα 3	2,00% w/w	0,50% w/w
Δείγμα 4	2,00% w/w	0,75% w/w
Δείγμα 5	2,00% w/w	1,00% w/w

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1 Συγκεντρώσεις (%w/w) Gellan Gum και εκχύλισμα *Clitoria Ternatea* των δειγμάτων.

- Συντήρηση (Storage): Ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου και μεταφορά σε ψυγείο στους 5 °C για 48 ώρες.
- Cryogelation: Τοποθέτηση απευθείας στην κατάψυξη (−20 °C) για 24 ώρες και κατόπιν μεταφορά σε συντήρηση στους 5 °C για άλλες 24 ώρες
- Κατάψυξη: Αρχική παραμονή σε θερμοκρασία δωματίου και στη συνέχεια μεταφορά στην κατάψυξη (−20 °C), για 24 ώρες και ύστερα μεταφορά σε συντήρηση στους 5 °C για άλλες 24 ώρες.

Όλα τα πειράματα επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

A. Μέτρηση Χρώματος

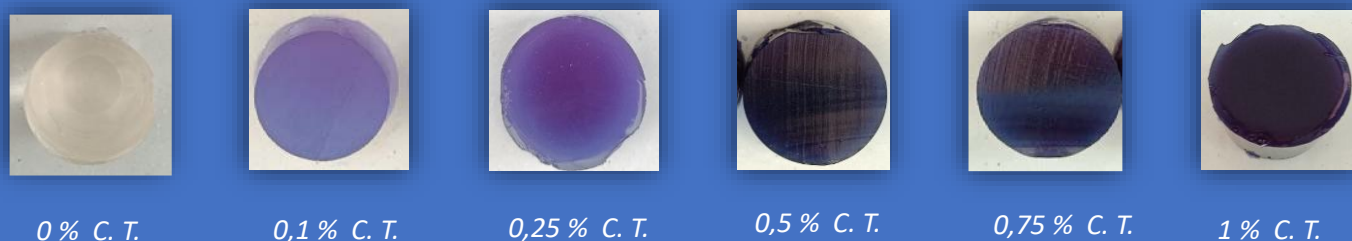
Το χρώμα προσδιορίστηκε με χρωματόμετρο MiniScan XE Plus. Το Miniscan XE Plus της Hunterlab είναι ένα φορητό φασματοχρωματόμετρο για ακριβή μέτρηση και ανάλυση του χρώματος σε διάφορες εφαρμογές, όπως ο ποιοτικός έλεγχος. Οι παράμετροι χρώματος που μετρήθηκαν είναι οι L^* , a^* , b^* . Η παράμετρος L^* αντικατοπτρίζει την φωτεινότητα του δείγματος. Επίσης η παράμετρος a^* έχει τιμές που μπορεί να δείχνουν το κόκκινο, και το πράσινο χρώμα. Τέλος η παράμετρος b^* που εκφράζει το κίτρινο και το μπλε χρώμα. Στην παρούσα εργασία όλες οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

B. Μέτρηση Σκληρότητας

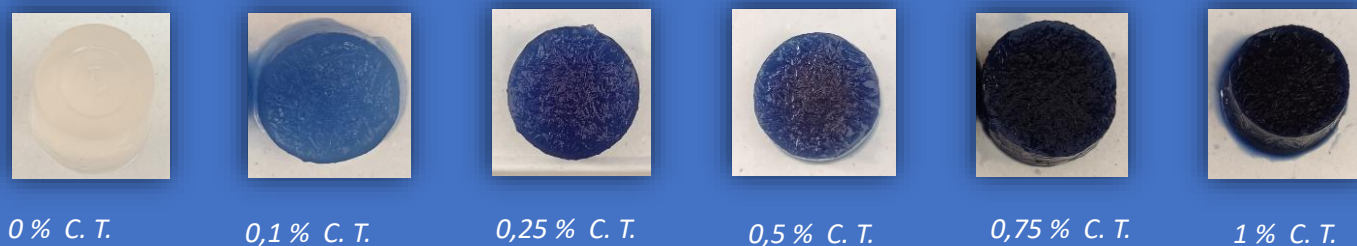
Οι μετρήσεις σκληρότητας πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του μηχανήματος Texture Analyzer TMS PRO, το κάθε δείγμα ήταν κυλινδρικό με διάμετρο 20mm και ύψος 30mm και ο βαθμός συμπίεσης των δειγμάτων ήταν 70%. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στους 5 και επαναλήφθηκαν τρεις φορές.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

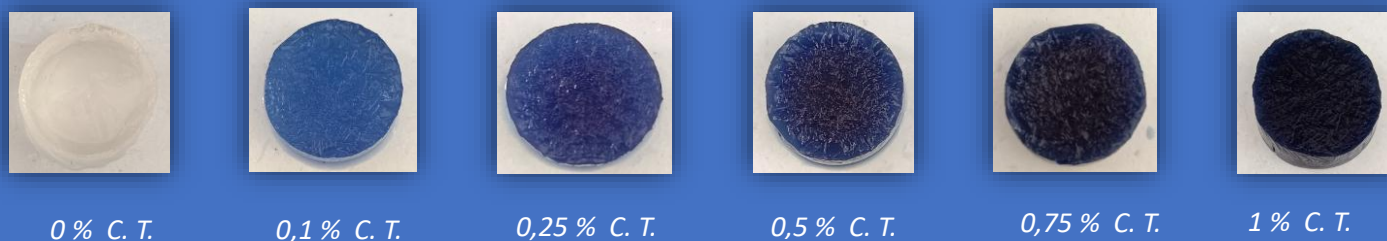
Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας προέκυψαν τα παρακάτω δείγματα ανάλογα με τον τρόπο αποθήκευσης: συνθήκες συντήρησης στους 5°C, κατάψυξης - 20°C και cryogelation.



Εικόνα 8: Δείγματα πηκτών συντήρησης σε συγκέντρωση 0,00% - 1,00% του εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*



Εικόνα 9: Δείγματα πηκτών κατάψυξης σε συγκέντρωση 0,00% - 1,00% του εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*



Εικόνα 10: Δείγματα πηκτών cryogelation σε συγκέντρωση 0,00% - 1,00% του εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*

Α. Αποτελέσματα Χρώματος

Η συνδυαστική επίδραση της θερμοκρασίας και του εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea* στην πήξη του πολυσακχαρίτη Τζελάνης είχε σημαντικές επιδράσεις στις μετρήσεις του χρώματος σε σχέση με τη θερμοκρασία και τον τρόπο αποθήκευσης αλλά και τις συγκεντρώσεις του εκχυλίσματος. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι μετρήσεις φωτεινότητας (L^*) των πηκτών τζελάνης με διαφορετικές συγκεντρώσεις εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*, ανάλογα στη συντήρηση

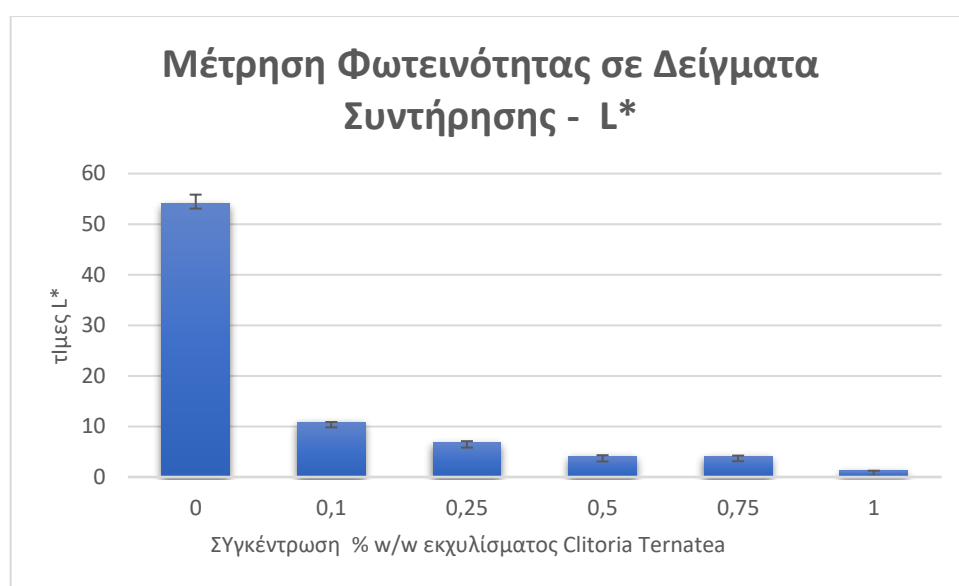


Figure 1. Μέτρηση Φωτεινότητας – L^* , σε πηκτές συντήρησης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που διατηρήθηκαν σε συνθήκες συντήρησης (Figure 1), ο μάρτυρας (0% w/w) εμφάνισε υψηλή φωτεινότητα, ωστόσο ήδη από χαμηλές συγκεντρώσεις εκχυλίσματος (0,1% w/w) παρατηρήθηκε απότομη πτώση αμέσως μετά την προσθήκη των εκχυλισμάτων. Στις υψηλότερες συγκεντρώσεις (0,5–1% w/w) οι τιμές L^* προσεγγίζουν πολύ χαμηλά επίπεδα. Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται εκτός από την υψηλή συγκέντρωση ανθοκυανινών στην απουσία επιφανειακής συναίρεσης, που θα μπορούσε να αυξήσει την φωτεινότητα των δειγμάτων.

Στη συνέχεια τα δείγματα αποθηκεύτηκαν στους -20°C για 24 ώρες και στου 5°C και εξετάστηκαν ως προς την φωτεινότητα τους.

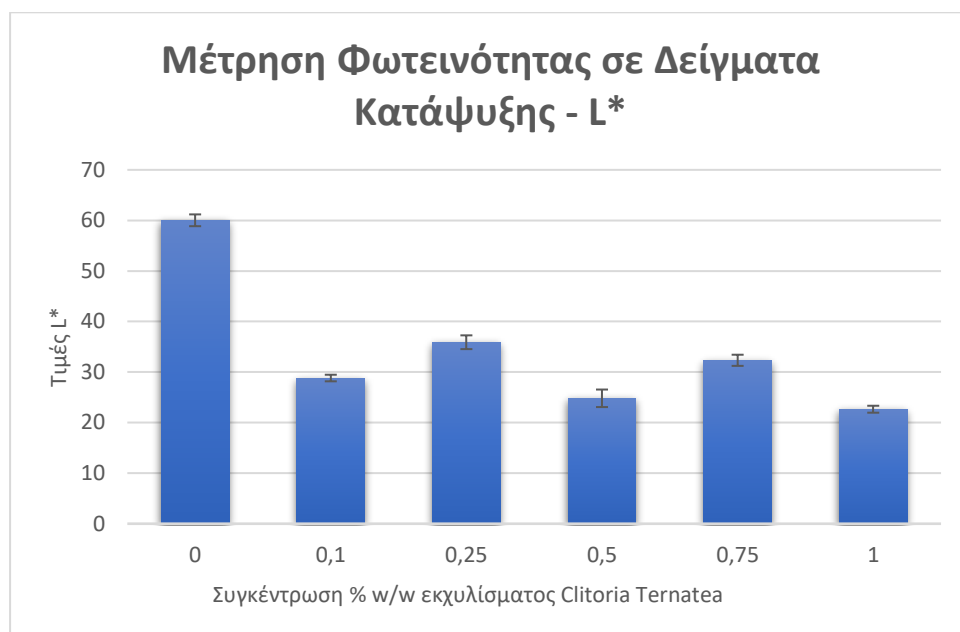


Figure 2. Μέτρηση Φωτεινότητας – L*, σε πηκτές κατάψυξης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που υποβλήθηκαν σε κατάψυξη (Figure 2), ο μάρτυρας (0% w/w) εμφάνισε επίσης υψηλή φωτεινότητα, με τιμές γενικά μεγαλύτερες σε σχέση με τα cryogels (Figure 3). Με την αύξηση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος, οι τιμές L* μειώθηκαν χωρίς όμως να υπάρχει μια ομοιομορφία στις τιμές. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οφείλεται στην πορώδη δομή του πλέγματος της τζελάνης κατά την απόψυξη, αλλά και στο φαινόμενο της εφίδρωσης στην επιφάνεια των πηκτών. Επομένως σε σχέση με τα δείγματα της συντήρησης εδώ έχουμε μεγαλύτερη φωτεινότητα σε όλα τα δείγματα.

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της φωτεινότητας των δειγμάτων που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο του cryogelation (Figure 3). Παρατηρήθηκε πως ο μάρτυρας (0% w/w) εμφανίζει την υψηλότερη φωτεινότητα. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος, οι τιμές L* μειώνονται προοδευτικά, με τις χαμηλότερες τιμές να εμφανίζουν τα δείγματα με την υψηλότερη συγκέντρωση εκχυλισμάτων.

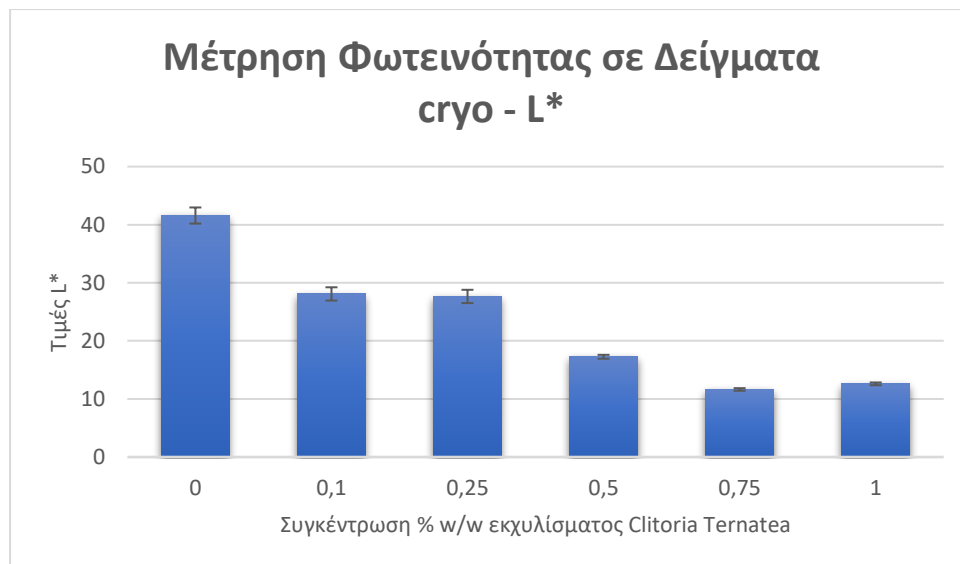


Figure 3. Μέτρηση Φωτεινότητας L*, σε πηκτές cryo με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C.Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Η μείωση αυτή αποδίδεται στην ενσωμάτωση του εκχυλίσματος στο πορώδες δίκτυο της τζελάνης, με συνέπεια την αυξημένη απορρόφηση φωτός και τη σκούρα εμφάνιση των δειγμάτων. Μετά την απόψυξη εμφανίστηκε το φαινόμενο της εφίδρωσης, δηλαδή αποβολής υγρασίας στην επιφάνεια και παρουσία υγρού πιθανόν να ενίσχυσε ελαφρά την φωτεινότητα.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μετρήσεις της παραμέτρου (a^*) των πηκτών τζελάνης με διαφορετικές συγκεντρώσεις εκχυλίσματος *Clitoria ternatea*, ανάλογα με τη μεθοδολογία παρασκευής (cryogelation, κατάψυξη και συντήρηση)

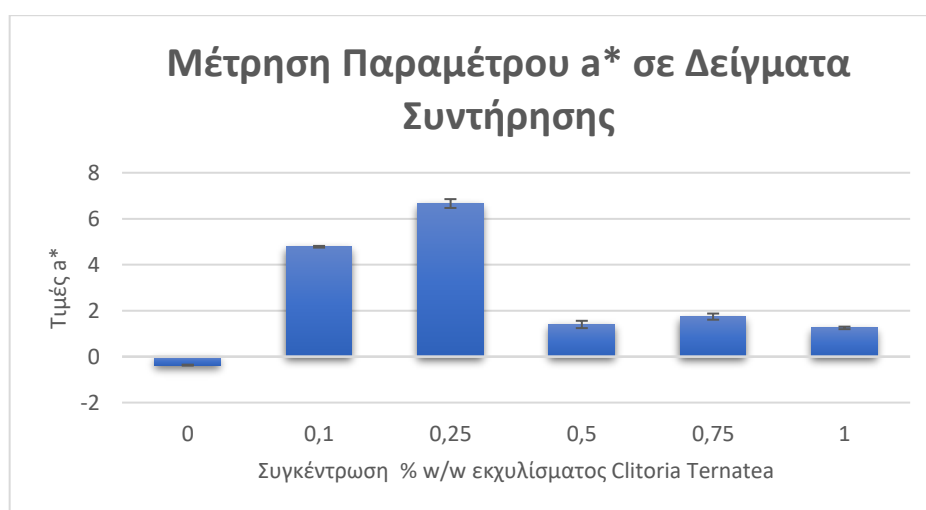


Figure 4. Μέτρηση παραμέτρου – a^* , σε πηκτές συντήρησης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C.Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Τα δείγματα που διατηρήθηκαν σε συνθήκες συντήρησης (5°C) (Figure 4), εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερες τιμές της παραμέτρου a^* σε σχέση με cryogelation και κατάψυξη όπως φαίνεται παρακάτω Figure 5 και Figure 6. Συγκεκριμένα, στις συγκεντρώσεις 0,1 και 0,25% w/w παρατηρήθηκαν οι μέγιστες τιμές. Σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (0,5–1% w/w) οι τιμές μειώθηκαν, αλλά παρέμειναν θετικές. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει ότι οι ανθοκυανίνες είναι περισσότερο σταθερές σε θερμοκρασίες συντήρησης.

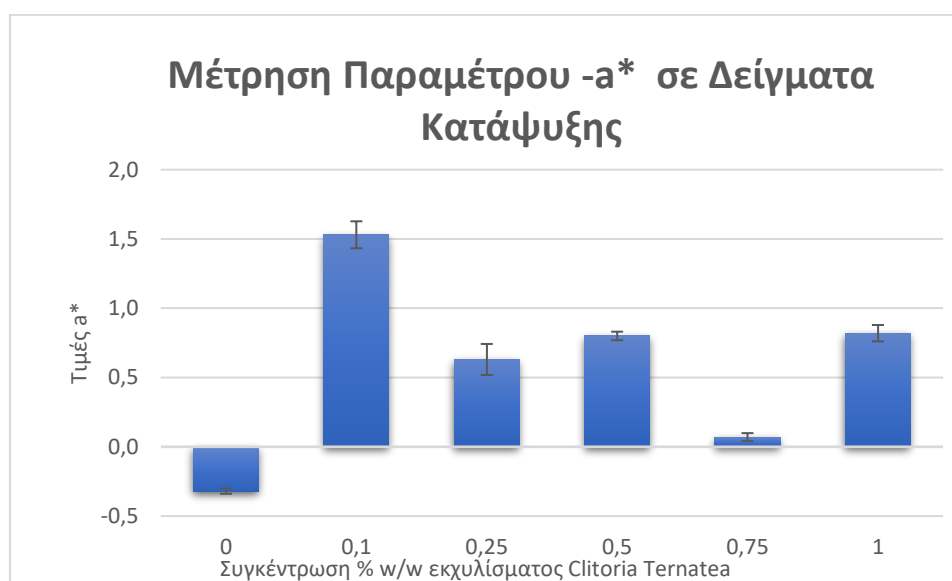


Figure 5. Μέτρηση παραμέτρου $-a^*$, σε πηκτές κατάψυξης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με απλή κατάψυξη (Figure 5), η τιμή a^* εμφάνισε διαφορετική συμπεριφορά. Στο μάρτυρα (0% w/w) ήταν αρνητική, ενώ με την προσθήκη εκχυλίσματος 0,1% w/w σημειώθηκε η υψηλότερη τιμή. Στις συγκεντρώσεις 0,25 και 0,5% w/w παρατηρήθηκε μείωση των τιμών, ενώ στο 0,75% w/w καταγράφηκε πολύ χαμηλή τιμή. Στο 1% w/w παρατηρήθηκε εκ νέου μικρή αύξηση. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στη δημιουργία μεγαλύτερων παγοκρυστάλλων κατά την κατάψυξη, που οδηγούν σε λιγότερο ομοιόμορφη κατανομή των χρωστικών μέσα στο πλέγμα της τζελάνης.

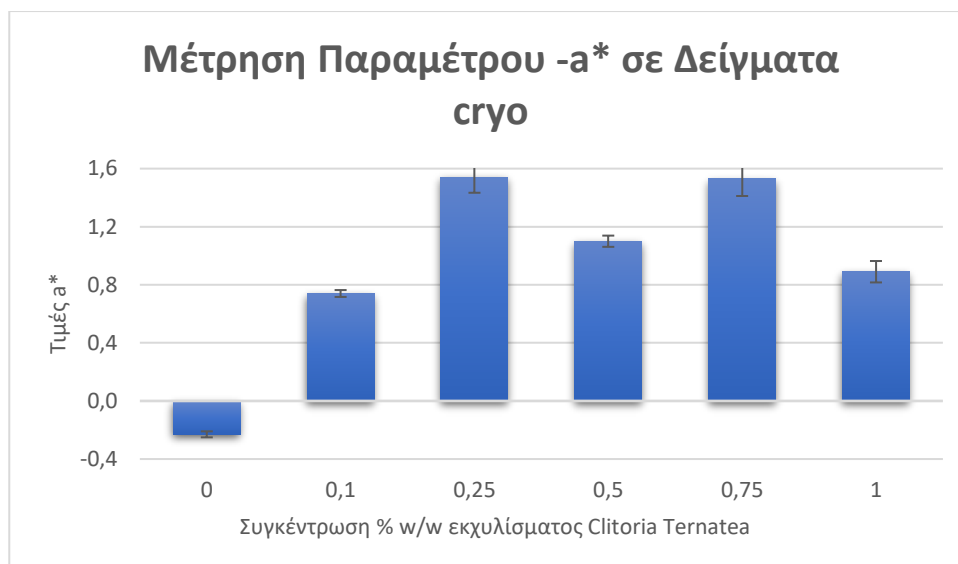


Figure 6. Μέτρηση παραμέτρου – a^* , σε πηκτές cryo με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με τη μέθοδο cryogelation (Figure 6), η τιμή της παραμέτρου a^* ήταν αρνητική στον μάρτυρα (0% w/w). Με την προσθήκη εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea*, οι τιμές της παραμέτρου έγιναν θετικές, με τις υψηλότερες τιμές να παρατηρούνται στις συγκεντρώσεις 0,25% και 0,75% w/w. Σε άλλες συγκεντρώσεις (0,1%, 0,5% και 1% w/w), οι τιμές ήταν χαμηλότερες αλλά διατηρούσαν θετικό πρόσημο. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι οι ανθοκυανίνες του εκχυλίσματος ενσωματώνονται αποτελεσματικά στο πορώδες δίκτυο της γέλης, που σχηματίζεται με cryogelation.

Μέτρηση Παραμέτρου b^*

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι μετρήσεις της παραμέτρου (b^*) των πηκτών τζελάνης με διαφορετικές συγκεντρώσεις εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea*, ανάλογα με τη μεθοδολογία παρασκευής (cryogelation, κατάψυξη και συντήρηση).

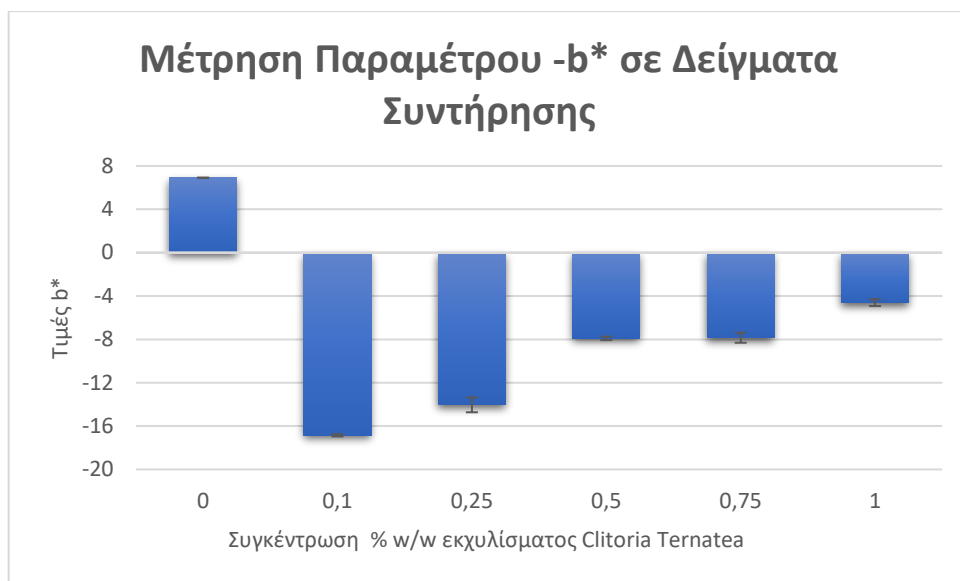


Figure 7. Μέτρηση παραμέτρου $-b^*$, σε πηκτές συντήρησης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Κατά τη συντήρηση (Figure 7) παρατηρείται αντίστοιχη συμπεριφορά, με σταδιακή μετάβαση σε αρνητικές τιμές b^* από τη συγκέντρωση 0,10% w/w και μετά. Η τιμή στη συγκέντρωση 0,10% w/w είναι η χαμηλότερη, ενώ στις συγκεντρώσεις 0,25% και 1,00% w/w οι τιμές b^* παραμένουν αρνητικές αλλά σχετικά υψηλότερες. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τη γενικότερη τάση που παρουσιάζουν οι ανθοκυανίνες, όπου η αύξηση της συγκέντρωσης δεν οδηγεί πάντοτε σε ευθύγραμμη ενίσχυση της χρωματικής έντασης, λόγω αλληλεπιδράσεων και φαινομένων συσσώρευσης των μορίων χρωστικής.

Στα δείγματα κατάψυξης (Figure 8) παρατηρείται επίσης μετάβαση της παραμέτρου b^* σε αρνητικές τιμές με την προσθήκη του εκχυλίσματος. Η πιο απότομη μεταβολή καταγράφεται και εδώ στη συγκέντρωση 0,10% w/w, ενώ στις συγκεντρώσεις 0,25 – 0,75% w/w οι τιμές παραμένουν αρνητικές με μικρές διακυμάνσεις.

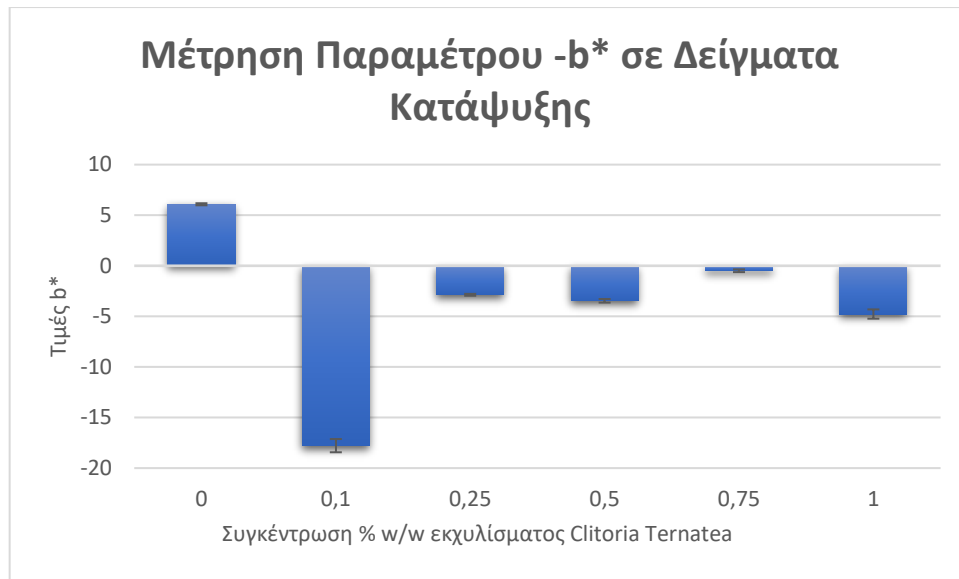


Figure 8. Μέτρηση παραμέτρου $-b^*$, σε πηκτές κατάψυξης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C.Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στη συγκέντρωση 1,00% w/w παρατηρείται εκ νέου χαμηλή τιμή b^* , παρόμοια με τα ενδιάμεσα επίπεδα. Πιθανόν, η ανομοιογενής κατανομή των ανθοκυανινών στο πλέγμα και τα φαινόμενα που παρουσιάζονται στη μικροδομή, που σχετίζονται με την κατάψυξη να συμβάλλουν στις διακυμάνσεις των τιμών.

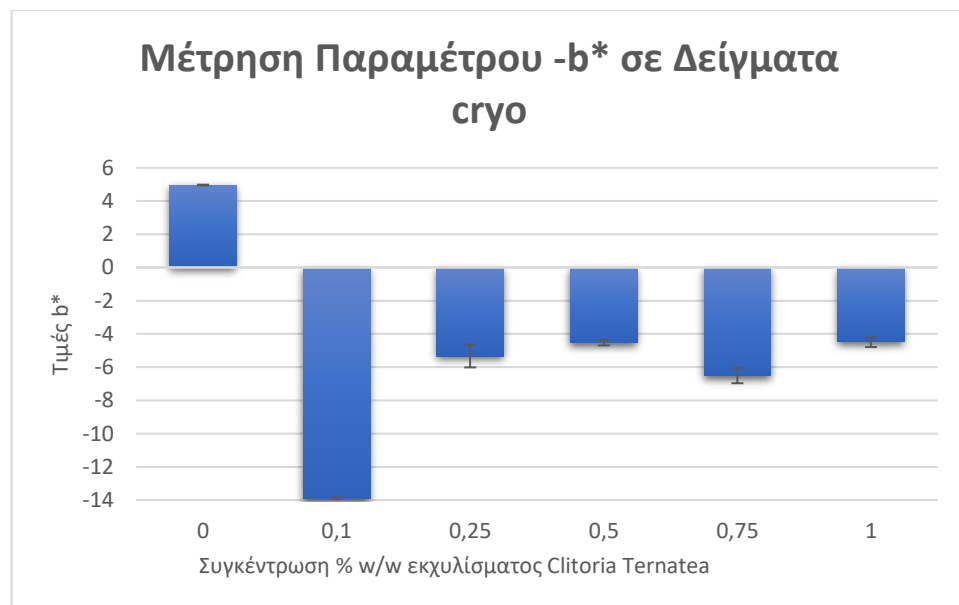


Figure 9. Μέτρηση παραμέτρου $-b^*$, σε πηκτές cryo με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C.Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα cryogelation (Figure 9) παρατηρείται έντονη μείωση της παραμέτρου b^* ήδη από τη συγκέντρωση 0,1 % w/w εκχυλίσματος *C. Ternatea* (Figure 9), όπου οι τιμές μετατοπίζονται από το θετικό εύρος του control (κιτρινωπή χροιά) σε έντονα αρνητικές τιμές. Στις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις, οι τιμές b^* παραμένουν αρνητικές, με μικρότερες διακυμάνσεις, γεγονός που δείχνει ότι η συμβολή των ανθοκυανινών σταθεροποιείται και η χρωματική μετάβαση έχει ολοκληρωθεί από χαμηλά ποσοστά εκχυλίσματος. Η τάση αυτή καταδεικνύει ότι το εκχύλισμα διαθέτει υψηλή χρωστική ικανότητα, ικανή να μεταβάλλει έντονα την απόχρωση των πηκτών ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea* προκάλεσε μείωση της φωτεινότητας (L^*) και ενίσχυση των κόκκινων (a^*) και μπλε (b^*) αποχρώσεων, λόγω της παρουσίας ανθοκυανινών. Το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί με τη βιβλιογραφία που συνδέει την ένταση και τη σταθερότητα του χρώματος με την περιεκτικότητα σε ανθοκυανίνες (Tiwari et al., 2009).

Οι ανθοκυανίνες του *C. ternatea* (ternatins) είναι πολυακυλιωμένες και γλυκοζυλιωμένες, γεγονός που τις καθιστά πιο σταθερές σε μεταβολές pH και θερμοκρασίας σε σχέση με άλλες ανθοκυανίνες (Fu et al., 2021). Η σταθερότητα τους ωστόσο μειώνεται σημαντικά σε θερμοκρασίες πάνω από 25 °C, ενώ η παρουσία φωτός και οξυγόνου μπορεί να επιταχύνει την αποδόμηση. Τα ευρήματά μας συμφωνούν με αυτά τα δεδομένα, καθώς και με τα αποτελέσματα στα δείγματα συντήρησης (5 °C) παρατηρήθηκε καλύτερη σταθερότητα χρώματος σε σχέση με την κατάψυξη, όπου οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι κατάψυξης-απόψυξης και η συναίρεση οδήγησαν σε μεγαλύτερες απώλειες φωτεινότητας.

B. Μετρήσεις Σκληρότητας

Η σκληρότητα (hardness) των πηκτών που σχηματίστηκαν με την προσθήκη εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea* διαφοροποιείται έντονα ανάλογα με τη μέθοδο παρασκευής και τις συνθήκες αποθήκευσης. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με την αλληλεπίδραση μεταξύ του πολυσακχαρίτη gellan gum, των συστατικών του εκχυλίσματος *Clitoria Ternatea* (κυρίως πολυφαινόλες και ανθοκυανίνες) και του εγκλωβισμένου νερού. Ως σκληρότητα μιας πηκτής ορίζεται η ανώτατη τιμή της

δύναμης που καταγράφεται κατά την προσπάθεια παραμόρφωσης του δείγματος σε δοκιμή συμπίεσης.

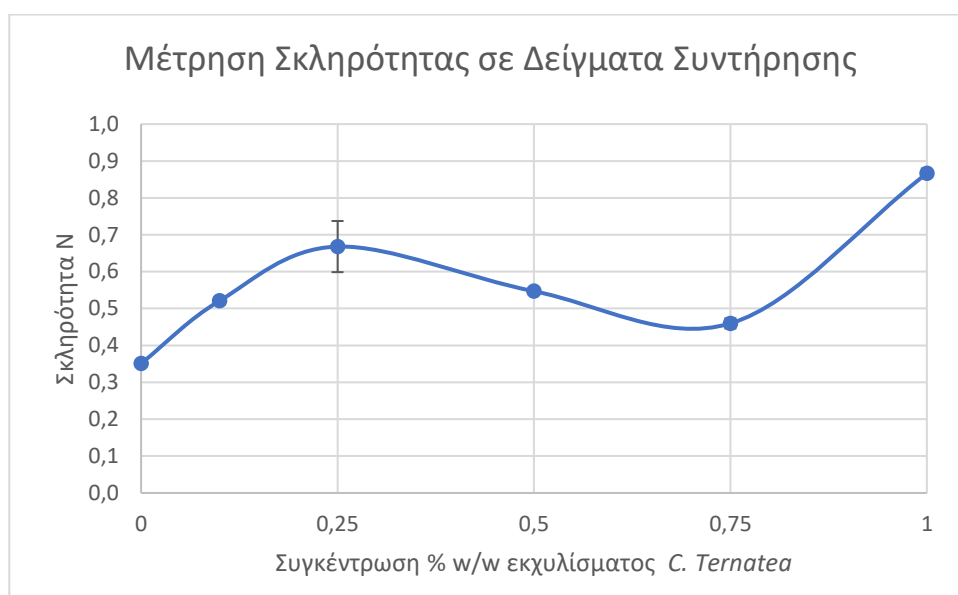


Figure 10. Μέτρηση σκληρότητας σε πηκτές συντήρησης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που διατηρήθηκαν σε συνθήκες ψύξης (Figure 10), η σκληρότητα ακολουθεί πιο ομαλή καμπύλη μεταβολής. Παρατηρείται αύξηση έως το 0,25% w/w, όπου καταγράφεται μέγιστη σκληρότητα. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι πολύ μικρές ποσότητες εκχυλίσματος ενισχύουν το δίκτυο, πιθανόν μέσω δημιουργίας επιπλέον δεσμών υδρογόνου και σταθεροποίησης των διασταυρώσεων της τζελάνης.

Η μείωση που ακολουθεί έως το 0,75% w/w αποδίδεται σε παρεμβολή των πολυφαινολών στις αλληλεπιδράσεις Ca^{2+} με την τζελάνη (gellan gum), γεγονός που οδηγεί σε μείωση της σκληρότητας που μπορεί να οφείλεται σε μείωση της συνεκτικότητας. Στη μέγιστη συγκέντρωση (1% w/w), η σκληρότητα αυξάνεται ξανά, πιθανόν λόγω του ότι οι ανθοκυανίνες και οι πολυφαινόλες του *Clitoria Ternatea* δεσμεύουν νερό και δημιουργούν πρόσθετους δεσμούς, συμβάλλοντας στην ενίσχυση του δικτύου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η συντήρηση στους 5°C επιτρέπει τη διατήρηση ενός σταθερού δικτύου, χωρίς τον σχηματισμό παγοκρυστάλλων, με αποτέλεσμα η μηχανική συμπεριφορά να επηρεάζεται λιγότερο δραστικά σε σχέση με την κατάψυξη.

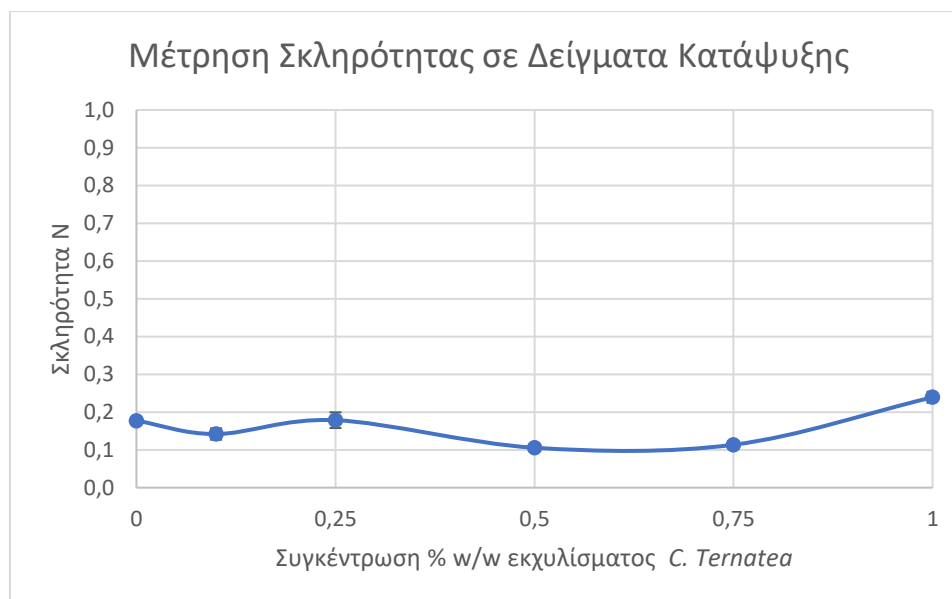


Figure 11. Μέτρηση σκληρότητας σε πηκτές κατάψυξης με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Η κατάψυξη είχε τον πιο αρνητικό αντίκτυπο στη σκληρότητα των πηκτών (Figure 11). Σε όλες τις συγκεντρώσεις οι τιμές είναι σαφώς χαμηλότερες σε σχέση με cryogelation και συντήρηση. Ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων οδηγεί σε μηχανική διάρρηξη του πολυμερικού πλέγματος και απομάκρυνση του νερού από τις θέσεις σύνδεσης, με αποτέλεσμα το δίκτυο να γίνεται πιο εύθραυστο.

Η τιμή της σκληρότητας στη συγκέντρωση 0,01% w/w πιθανότατα οφείλεται στη δράση των πολυφαινολών, που λειτουργούν ως «κρυοπροστατευτικοί παράγοντες», συγκρατώντας νερό και μειώνοντας την καταστροφή της δομής. Παρόλα αυτά, η μηχανική αντοχή δεν φτάνει τα επίπεδα των δειγμάτων συντήρησης, επιβεβαιώνοντας ότι η κατάψυξη αποτελεί τον πιο αποσταθεροποιητικό παράγοντα για την πηκτή gellan gum.

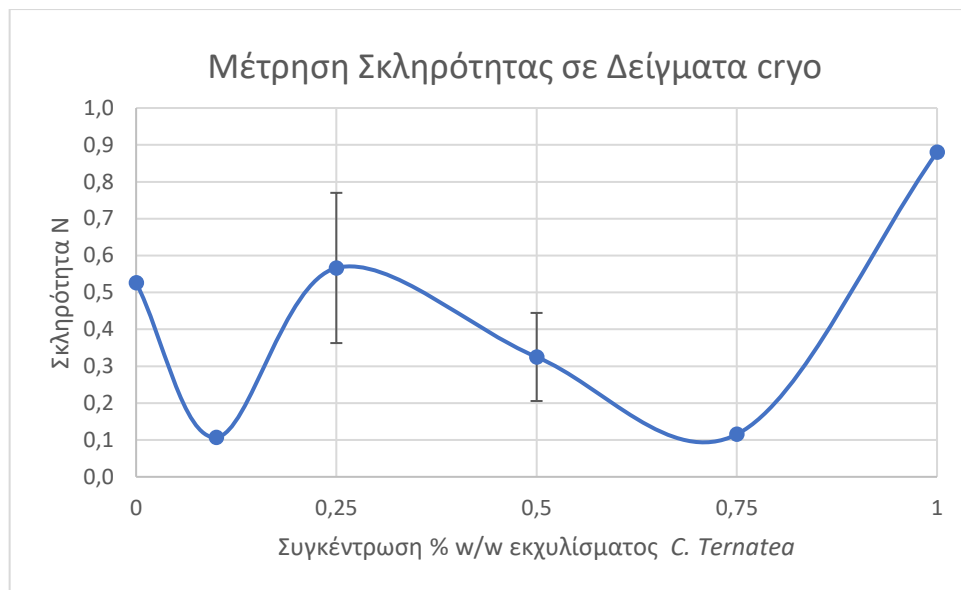


Figure 12. Μέτρηση σκληρότητας σε πηκτές cryo με 0.00%, 0.10%, 0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.00% w/w συγκέντρωση εκχυλίσματος *C. Ternatea* και 2% w/w Gellan Gum.

Στα δείγματα που παρασκευάστηκαν με cryogelation (Figure 12), η σκληρότητα παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις. Σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις (0–0,1% w/w) καταγράφηκε μείωση της σκληρότητας, γεγονός που υποδηλώνει ότι μικρές ποσότητες εκχυλίσματος παρεμβάλλονται στις ιοντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ιόντων Ca^{2+} και αλυσίδων gellan gum, εμποδίζοντας τη δημιουργία ενός ισχυρού δικτύου. Στη περίπτωση αυτή οι πολυφαινόλες μπορούν να αλληλεπιδράσουν μέσω δεσμών υδρογόνου με τις υδροξυλομάδες του πολυσακχαρίτη, διαταράσσοντας τη συνοχή του πλέγματος.

Η αύξηση της σκληρότητας στο 0,25% w/w υποδηλώνει ότι σε αυτό το επίπεδο το εκχύλισμα δρα συνεργιστικά, πιθανώς δημιουργώντας νέες διασταυρώσεις μέσω πολλαπλών δεσμών υδρογόνου και αλληλεπιδράσεων φαινολών–πολυσακχαριτών. Ωστόσο, σε συγκεντρώσεις 0,5–0,75% w/w, η περίσσεια φαινολικών ενώσεων φαίνεται να οδηγεί το δίκτυο σε σημείο κορεσμού, οδηγώντας σε χαλάρωση της δομής. Στο 1% w/w, η σκληρότητα αυξάνεται στο μέγιστο, πιθανόν λόγω της ενισχυμένης δέσμευσης νερού από τις πολυφαινόλες και της δημιουργίας πρόσθετων δεσμών, που σταθεροποιούν το τρισδιάστατο πλέγμα.

Η επίδραση της συγκέντρωσης του εκχυλίσματος ήταν μη γραμμική. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας, πιθανόν επειδή οι πολυφαινόλες λειτουργούν ως κρυοπροστατευτικοί παράγοντες, δεσμεύοντας νερό και περιορίζοντας την ανάπτυξη μεγάλων παγοκρυστάλλων. Σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, όμως, η περίσσεια πολυφαινολών οδήγησε σε μείωση της σκληρότητας, πιθανόν λόγω υπερβολικής δέσμευσης νερού και διατάραξης των δεσμών του πολυμερούς.

Συμπερασματικά:

- Η μέθοδος cryogelation οδήγησε σε πηκτώματα με υψηλότερη σκληρότητα και μεγαλύτερη φωτεινότητα σε σχέση με την κατάψυξη. Επομένως, οι κρυοπηκτές της Τζελάνης σε συνδυασμό με συγκεντρώσεις εκχυλίσματος *C. Ternatea*, μπορούν να οδηγήσουν σε δίκτυα βιοπολυμερών με ελεγχόμενες μηχανικές και χρωματικές ιδιότητες. Η συμβολή των ανθοκυανινών, τόσο ως προς το χρώμα όσο και στη σκληρότητα του πλέγματος, καθιστά τα αποτελέσματα αυτά σημαντικά για τη δημιουργία τροφίμων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdl Aali, A., & Al-Sahlany, A. M. (2024). Production of gellan gum through microbial fermentation. *Journal of Food Hydrocolloids*, 112, 106–115.
2. Benalaya, S., et al. (2024). Structural role of cellulose and chitin in food polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 315, 120–134.
3. Campo, V. L., Kawano, D. F., da Silva, D. B., & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 167–180.
4. Chayaratanasin, P., et al. (2021). Chemical composition and anthocyanins of *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry Reviews*, 20(3), 567–582.
5. EFSA ANS Panel. (2018). Re-evaluation of gellan gum (E 418) as a food additive. *EFSA Journal*, 16(2), 5238.
6. Fiorica, C., et al. (2021). Rheological properties of gellan gum gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1622–1630.
7. Fu, Y., et al. (2021). Stability of anthocyanins from *Clitoria ternatea* under different pH and temperature conditions. *Food Chemistry*, 334, 127560.
8. Gamage, T. V., Lim, Y. Y., & Choo, W. S. (2021). Anthocyanins and antioxidant activity of *Clitoria ternatea*. *Food Research International*, 140, 110016.
9. García, M. A., Alfaro, M. C., & Muñoz, J. (2016). Ion effects on gellan gum structure and rheology. *Carbohydrate Polymers*, 140, 88–95.
10. Ghazarian, H., Idoni, B., & Oppenheimer, S. B. (2011). A glycobiology review: carbohydrates, lectins and implications in cancer therapeutics. *Acta Histochemica*, 113(3), 236–247.
11. Giannouli, P., et al. (2003). Cryogelation of xanthan and carrageenan hydrogels. *Food Hydrocolloids*, 17(4), 495–502.
12. Giavasis, I., Harvey, L. M., & McNeil, B. (2000). Gellan gum. *Critical Reviews in Biotechnology*, 20(3), 177–211.
13. Gomes, A., Casadey, R., & Nunes, C. (2023). Industrial applications of gellan gum in food. *Trends in Food Science & Technology*, 131, 27–39.
14. Hasanah, U., et al. (2023). *Clitoria ternatea* anthocyanins as pH indicators. *Journal of Food Science*, 88(2), 561–572.
15. Jeyaraj, E. J., Lim, Y. Y., & Choo, W. S. (2021). Butterfly pea (*Clitoria ternatea*): Phytochemistry, pharmacology, and applications. *Journal of Ethnopharmacology*, 280, 114–124.

16. Kazuma, K., Noda, N., & Suzuki, M. (2004). Flavonoid composition related to flower color in *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry*, 65(11), 1417–1421.
17. Lozinsky, V. I. (2022). Cryogels on the basis of natural and synthetic polymers: preparation, properties and application. *Polymer International*, 71(6), 627–640.
18. Mary, S. K., et al. (2020). Anthocyanin structure and pH color change in *Clitoria ternatea*. *Journal of Natural Products*, 83(5), 1432–1441.
19. Mary, S. K., Koshy, R. R., Daniel, J., Koshy, J. T., Pothan, L. A., & Thomas, S. (2020). Development of starch based intelligent films by incorporating anthocyanins of butterfly pea flower and TiO₂ and their applicability as freshness sensors for prawns during storage. *RSC Advances*, 10(72), 44585–44595.
20. Mohammed, A. (2021). Starch and glycogen as storage polysaccharides. *Food Biochemistry*, 45(2), e13698.
21. Moreira, R. A., et al. (2020). Freeze–thaw cycles and cryogel structure: impact on mechanical stability. *Carbohydrate Polymers*, 248, 116801.
22. Mukherjee, P. K., et al. (2008). *Clitoria ternatea* L. (Fabaceae): Ethnopharmacology and phytochemical review. *Phytotherapy Research*, 22(9), 1217–1222.
23. Muthukumar, T., Song, J. E., & Khang, G. (2019). Cryogelation for biomedical applications. *Progress in Polymer Science*, 89, 1–36.
24. Ofek, I., et al. (2003). Carbohydrate-mediated interactions of bacteria with mammalian cells. *FEMS Immunology & Medical Microbiology*, 38(3), 181–191.
25. Patel, S., & Goyal, A. (2011). Oligosaccharides in functional foods. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(1), 1–16.
26. Priyadarshini, S., et al. (2025). Food cryogels: Applications and perspectives. *Food Hydrocolloids*, 137, 107029.
27. Rao, P. (2014). Agricultural importance of *Clitoria ternatea* in Brazil. *Agricultural Reviews*, 35(2), 142–148.
28. Rastall, R. A. (2010). Functional oligosaccharides. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1, 305–339.
29. Savina, I. N., et al. (2021). Cryogels in tissue engineering and food science. *Gels*, 7(1), 15.
30. Sharon, N., & Lis, H. (1989). Lectins as cell recognition molecules. *Science*, 246(4927), 227–234.
31. Sharon, N., & Lis, H. (1993). *Lectins*. 2nd edition. Springer.
32. Sworn, G. (2021). Gellan gum: Properties and applications. In *Gums and Stabilisers for the Food Industry* (Vol. 19, pp. 251–264).

33. Terahara, N., et al. (1996). Anthocyanins from *Clitoria ternatea* flowers. *Phytochemistry*, 42(3), 759–762.
34. Tiwari, B. K., et al. (2009). Effect of anthocyanins on food systems. *Food Chemistry*, 115(1), 69–74.
35. USDA. (2019). *Sphingomonas elodea* and production of gellan gum. United States Department of Agriculture Report.
36. Vidana Gamage, T., Lim, Y. Y., & Choo, W. S. (2021). Review of *Clitoria ternatea* as a natural food colorant. *Food Reviews International*, 37(2), 123–139.
37. Xu, C., et al. (2024). Innovative applications of gellan gum cryogels in food. *Food Hydrocolloids*, 135, 107–118.
38. Zhang, Y., et al. (2023). Cryogels and their applications in food processing. *Carbohydrate Polymers*, 298, 120084.