



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής
και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΤΗΝ ΠΗΞΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ
ΖΕΛΑΤΙΝΗΣ ΜΕ ΑΜΥΛΟ ΠΑΤΑΤΑΣ**



Επιμέλεια: Κουρουνιώτου Ευαγγελία, ΑΕΜ: 01688

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκουρος
Καθηγήτρια

Βόλος 2019

Θέμα Πτυχιακής:

“Επίδραση των υπερήχων στην πήξη μιγμάτων ζελατίνης με άμυλο πατάτας”

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΓΙΑΝΝΟΥΛΗ ΠΕΡΣΕΦΟΝΗ

Επίκουρος Καθηγήτρια Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας
Τροφίμων (Επιβλέπων)

ΒΕΛΛΙΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής Φυτοπαθολογίας – Σύγχρονων Μεθόδων
Διαγνωστικής

ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

Λέκτορα Λαχανοκομίας

Βόλος 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τα πέντε χρόνια φοίτησης σε αυτή τη σχολή και φέρνοντας εις πέρας τη συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην επίτευξη αυτή.

Σαν ελάχιστο δείγμα εκτίμησης, απευθύνω τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα της πτυχιακής μου διατριβής κ. Γιαννούλη Περσεφόνη, Επίκουρος Καθηγήτρια, Διευθύντρια Εργαστηρίου Τεχνολογίας και Ελέγχου Ποιότητας και Ασφάλειας Τροφίμων του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την έμπρακτη υποστήριξη, τη βοήθεια της και το αμέριστο ενδιαφέρον στη διεξαγωγή των πειραμάτων καθώς και στην τελική διαμόρφωση της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Βέλλιο Ευάγγελο, Επίκουρο Καθηγητή Φυτοπαθολογίας – Σύγχρονων Μεθόδων Διαγνωστικής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας καθώς και στον κ. Πετρόπουλο Σπυρίδων, Λέκτορα Λαχανοκομίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, μέλη της τριμελούς επιτροπής, για τις παρατηρήσεις τους στην παρούσα διατριβή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου που είναι δίπλα μου και με στηρίζουν σε κάθε στιγμή της ζωής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1 Άμυλο.....	7
1.1.1 Τύποι αμύλου.....	7
1.1.2 Δομή αμύλου.....	8
1.1.3 Κόκκοι αμύλου.....	9
1.1.4 Αμυλοπηκτίνη και αμυλόζη.....	9
1.1.5 Βιοσύνθεση αμύλου.....	12
1.1.6 Σύσταση αμύλου.....	12
1.1.7 Εφαρμογές αμύλου.....	13
1.1.8 Ζελατινοποίηση αμύλου.....	15
1.2 Ζελατίνη.....	16
1.2.1 Δομή ζελατίνης.....	16
1.2.2 Τύποι- μορφές ζελατίνης.....	17
1.2.3 Παραγωγή ζελατίνης.....	17
1.2.4 Χρήσεις ζελατίνης.....	18
1.2.5 Λειτουργικές ιδιότητες της ζελατίνης.....	19
1.2.6 Ανάμιξη αμύλων με άλλα συστατικά.....	20
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	22
2.1 Υλικά.....	22
2.2 Μέθοδοι.....	23
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	25
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	42
ΞΕΝΗ.....	42
ΕΛΛΗΝΙΚΗ.....	53

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υπέρηχοι αποτελούν για τη βιομηχανία τροφίμων την τελευταία δεκαετία ένα πολύ αποδοτικό μέσο για διεργασίες μεγάλης κλίμακας και χαρακτηρίζονται ως ηχητικά κύματα υψηλότερης συχνότητας από εκείνη που μπορεί να γίνει αντιληπτή από την ανθρώπινη ακοή. Οι υπέρηχοι είναι μία από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τη φυσική επεξεργασία τροφίμων και μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων με αυξημένα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Στην παρούσα ερευνητική διατριβή μελετήθηκε η επίδραση των υπερήχων σε μείγματα αμύλου πατάτας συγκεντρώσεων 1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w με ζελατίνη 3% w/w καθώς και σε διαλύματα αμύλου πατάτας ίδιων συγκεντρώσεων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων στη δομή, στη θολερότητα και στο χρώμα οδηγούν σε κάποια συμπεράσματα. Αρχικά, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αμύλου σε διαλύματα αμύλου πατάτας 1%, 2%, 3%, 4% και 5% w/w, τόσο αυξάνεται η δύναμη παραμόρφωσης. Επιπρόσθετα, οι υπέρηχοι αύξησαν σε μεγάλο βαθμό τη τιμή της δύναμης παραμόρφωσης στο πήγμα ζελατίνης με συγκέντρωση 3% w/w, σε σχέση με το αντίστοιχο χωρίς τη χρήση υπερήχων. Η επίδραση των υπερήχων μετέτρεψε το πήγμα αμύλου πατάτας περιεκτικότητας 1% w/w σε διαυγές, σε σύγκριση με αυτό χωρίς τη χρήση των υπερήχων. Τέλος, το χρώμα των δειγμάτων επηρεάστηκε σημαντικά από την επίδραση των υπερήχων, αυξομειώνοντας έντονα τις τιμές των μεταβλητών του.

ABSTRACT

Over the last decade in the food industry ultrasound has been a highly efficient means for large-scale processes and is characterized as high frequency sound waves that cannot be perceived by human hearing. Ultrasound is one of the technologies used for natural food processing and can result in the manufacturing of products with higher quality characteristics. The focus of this study is the effect of ultrasound on potato starch mixtures of 1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w with 3% w/w gelatin as well as on potato starch solutions of the same concentrations. The results of the measurements in structure, turbidity and color, lead to certain conclusions. To begin with, as the starch concentration increases in 1%, 2%, 3%, 4% and 5% w/w potato starch solutions, the deformation force increases as well. In addition, ultrasound greatly increased the value of the deformation force in the gelatin solution of a 3% w/w concentration, relative to the equivalent without the use of ultrasound. The effect of ultrasound made the potato starch solution of 1% w/w clear, compared to that without the use of ultrasound. Finally, the color of the samples was significantly influenced by the effect of ultrasound, fluctuating strongly the values of its variables.

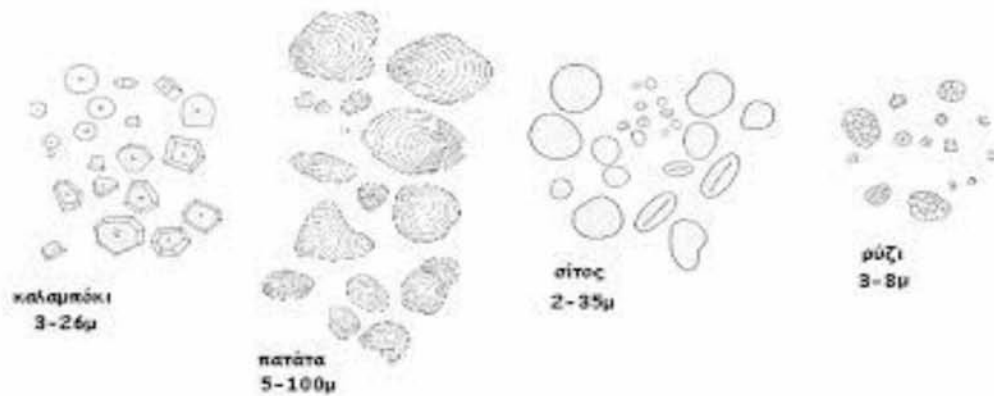
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Άμυλο

Σήμερα, οι επιλογές των καταναλωτών συνεχώς μεταβάλλονται λόγω των αλλαγών στον τρόπο ζωής και της αλματώδης ανάπτυξης των επιστημών. Παρόλα αυτά, υπάρχουν τρόφιμα τα οποία είναι αναντικατάστατα στις προτιμήσεις της καθημερινότητας των καταναλωτών. Το άμυλο είναι το βασικό συστατικό των περισσότερων τροφίμων και αποτελεί την κύρια πηγή θερμίδων στη διατροφή της πλειοψηφίας των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο. Στις μέρες μας, η παραγωγή αμύλου προέρχεται από ένα περιορισμένο φάσμα καλλιεργειών, όπως είναι οι πατάτες, το καλαμπόκι, το σιτάρι και η ταπιόκα και ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το σιτάρι (προϊόντα: ψωμί, αρτοσκευάσματα, κέικ, μπισκότα, μακαρόνια), σίκαλη (ψωμί), το κριθάρι (προϊόντα: βύνη, μπύρα οينوπνευματώδη), αραβόσιτος (προϊόντα: νισεστέ, γλυκόζη), το ρύζι (κρέμες από ρυζάλευρο) και η βρώμη. Όλα τα όσπρια, εκτός από τη σόγια είναι καλές πηγές αμύλου. Ριζώματα, βλαστοκόνδυλοι της πατάτας και ριζοκόνδυλοι της γλυκοπατάτας (Ανδρικόπουλος, 2010) έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άμυλο ανάλογα με την αναλογία σε αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη (Singh et al., 2016).

1.1.1 Τύποι αμύλου

Υπάρχουν πολλές πηγές αμύλου που διαφέρουν ως προς τη σύνθεση και τη μορφολογία τους. Συγκεκριμένα, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων, οφείλονται στην αναλογία αμυλόζης / αμυλοπηκτίνης. Από την αναλογία αυτή καθορίζονται και οι λειτουργικές ιδιότητες του αμύλου και η εφαρμογή τους στα τρόφιμα (Zhang and Simsek, 2009).



Εικόνα 1: Απεικονίζονται οι κόκκοι αμύλου καλαμποκιού, πατάτας, σίτου και ρυζιού (Zhang and Simsek, 2009).

1.1.2 Δομή αμύλου

Το φυσικό άμυλο έχει μια σύνθετη δομή. Με εμπειρικό τύπο $(C_6H_{12}O_5)_n$ αποτελεί ένα πολυμερές της γλυκόζης. Οι μονάδες της γλυκόζης οι οποίες απαρτίζουν το μόριο του αμύλου συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοσιδικούς δεσμούς $\alpha(1 \rightarrow 4)$ και $\alpha(1 \rightarrow 6)$ (Ανδρικόπουλος, 2010). Το άμυλο συντίθεται στα φύλλα και στους ιστούς αποθήκευσης μέσα στα πλασμίδια, τα οποία αποτελούνται από χλωροπλάστες και αμυλοπλάστες. Η σύνθεση πραγματοποιείται μέσω τριών κύριων οδών όπως ο κύκλος Calvin, η σύνθεση σακχαρόζης και η βιοσύνθεση αμύλου αποθήκευσης (Saithong et al., 2013).

Τα ποσοστά αμυλόζης και αμυλοπηκτικής αμυλοκόκκων στο άμυλο πατάτας κυμαίνονται από 21 έως 27 % για την αμυλόζη και από 73% έως 79% για την αμυλοπηκτίνη (BeMiller, 2011). Η δομή του αμύλου χαρακτηρίζεται ως ημι-κρυσταλλική και είναι αδιάλυτη στο νερό, λόγω των άκρως διατεταγμένων και σφιχτά διαμορφωμένων αλυσίδων στους κόκκους του αμύλου που σχηματίζουν η αμυλοπηκτίνη και η αμυλόζη μαζί (Tetlow & Emes, 2014). Συγκεκριμένα, η περίθλαση ακτινών X της μακροσκοπικής όψης του αμύλου με παρουσία φωτός έδειξε μια θετική διχρωμία που αποδεικνύεται από ένα σταυρό της Μάλτας, εμφανίζοντας μια διάταξη των μακρομοριακών μονάδων που αντιπροσωπεύεται από μια έλικα στη μορφολογία του αμύλου, η οποία εξαφανίζεται κατά τη διάσπαση των κοκκίων αμύλου (Copeland et al., 2009).

Συνεπώς, υπεύθυνη για την ημι-κρυσταλλική φύση του αμύλου είναι οι εναλλαγές στη διάταξη μεταξύ των άμορφων και των κρυσταλλικών ελασμάτων στα κοκκία του αμύλου. Η κρυσταλλικότητα, μάλιστα, κυμαίνεται από 20% έως 45 % (Liu and Hsieh, 2009) και είναι εξαιρετικά συντηρημένη σε διάφορους κόκκους αμύλου των ανωτέρων φυτικών ειδών (Zhu, 2015).

1.1.3 Κόκκοι αμύλου

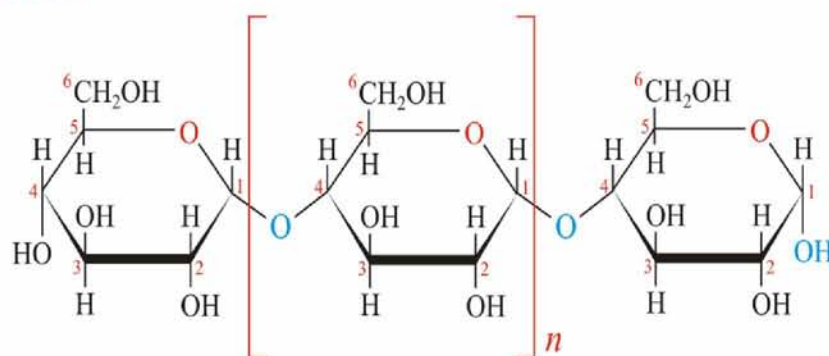
Είναι γνωστό ότι η σύνθεση των κόκκων αμύλου πραγματοποιείται σε ευρεία ποικιλία φυτικών ιστών και στο εσωτερικό διαφόρων φυτικών ειδών (Tester and Karkalas, 2002). Οι κόκκοι αποτελούνται από δύο τύπους άλφα-γλυκάνης, την αμυλόζη και την αμυλοπηκτίνη, οι οποίοι καλύπτουν το 98-99% του ξηρού βάρους. Οι δύο πολυσακχαρίτες, σύμφωνα με την αναλογία τους, εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ως προς τη βοτανική προέλευση του αμύλου (Tester et al., 2004). Έχει παρατηρηθεί μια μεγάλη ποικιλία κοκκίων. Συγκεκριμένα, απαντούνται σε σχήμα στρογγυλό, φακοειδές, πολυγωνικό (Banks and Greenwood, 1975), ωοειδές, κολοβωμένο και ως προς το μέγεθος κυμαίνονται από 2 έως 32 μm, με την πλειοψηφία να είναι 7 έως 20 μm (Zhu, 2015). Οι κόκκοι αμύλου πατάτας συνήθως έχουν ωοειδές και ακανόνιστο ή κυβοειδές σχήμα και εμφανίζονται από 1 έως 20 μm οι μικρού μεγέθους ενώ οι μεγάλοι μεγέθους από 20 έως 110 μm (Baum & Bailey, 1987). Άλλες διαφορές παρατηρούνται στην κατανομή μεγέθους (μονο-ή διτροπική), στη συσχέτιση ως ατομικά (απλά) ή συσσωματώματα κόκκων.

1.1.4 Αμυλοπηκτίνη και αμυλόζη

Όπως έχει προαναφερθεί, το άμυλο περιέχει αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη, δύο μόρια που έχουν διαφορετικές δομές και ιδιότητες (Lineback, 1984). Η αμυλόζη είναι ένα γραμμικό πολυμερές που αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεγάλες αλυσίδες α-1,4-γλυκοσιδικών δεσμών, μερικές με ελαφρά διακλάδωση (Da) (Pfister & Zeeman, 2016) και διαφέρει σε μέγεθος και δομή ανάλογα με τη βοτανική προέλευση. Το μοριακό της βάρος είναι περίπου 1×10^5 - 1×10^6 (Biliaderis, 1998) και έχει βαθμό πολυμερισμού (DP) κατά αριθμό (DP_n) 324-4920 με περίπου 9-20 σημεία διακλάδωσης

ισοδύναμα με 3-11 αλυσίδες ανά μόριο (Yashushi et al., 2002). Κάθε αλυσίδα αποτελείται περίπου από 200-700 υπολείμματα γλυκόζης (Tester and Karkalas, 2002) ισοδύναμα προς ένα μοριακό βάρος 32.400-113.400 (Morrison and Karkalas, 1990). Το ελεύθερο μόριο της αμυλόζης είναι ελαφρώς διαλυτό στο νερό και εμφανίζει τη μορφή τυχαίου σπειράματος στο χώρο (Μπόσκος, 2004).

AMYLOSE



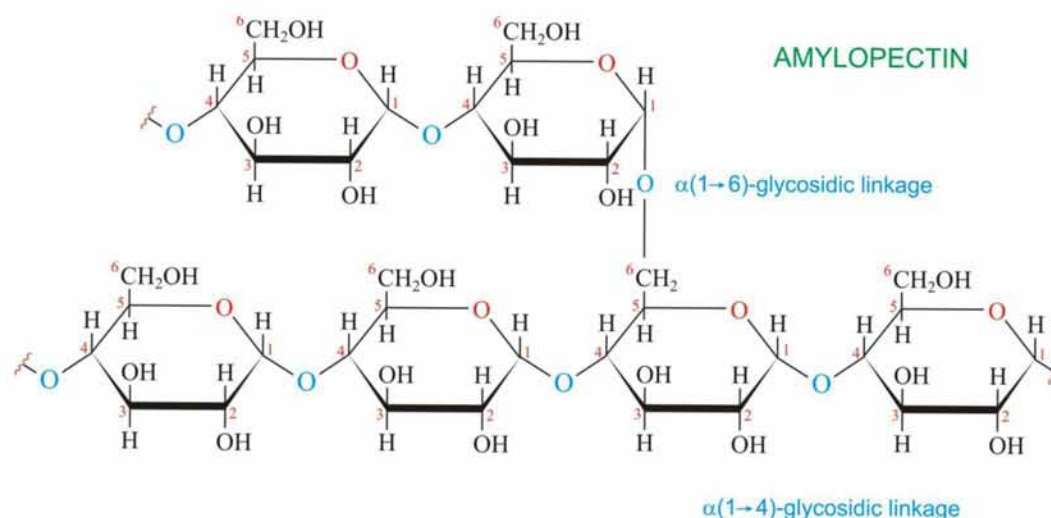
Εικόνα 2: Απεικονίζεται η χημική δομή της αμυλόζης.

Συχνά, παρατηρείται το φαινόμενο εγκλώβισης οργανικών ή ανόργανων ουσιών μικρού μοριακού βάρους από την αμυλόζη, καταλήγοντας σε μια σταθερή μορφή α-έλικας. Κάποιες από τις ιδιότητες της αμυλόζης είναι η ικανότητα να σχηματίζει σύμπλοκα με έντονο κυανό χρώμα με το ιώδιο, όπως επίσης και αδιάλυτα σύμπλοκα με αλκοόλες ή λιπαρά οξέα (Πανέρας, 1996).

Ένα από τα μεγαλύτερα μόρια στη φύση είναι η αμυλοπηκτίνη και ως κύρια συνιστώσα των κόκκων, είναι υπεύθυνη για τη δομή τους (Zeeman et al., 2010). Επιπλέον, το μεγαλύτερο και σημαντικότερο ποσοστό αμύλων έχει ως κύριο συστατικό την αμυλοπηκτίνη από άποψη λειτουργικών ιδιοτήτων (Paredes-Lopez et al., 1994). Η αμυλοπηκτίνη είναι πολυδιακλαδισμένο πολυμερές. Κάθε διακλάδωση έχει περίπου 15-25 μόρια γλυκόζης (Μπόσκος, 2004) και παρουσιάζει στα ελεύθερα άκρα της διπλούς έλικες που εντός των φυσικών κοκκίων συσσωρεύονται σε συστοιχίες κρυσταλλικών στρωμάτων (Tarriban et al., 2019). Ο γλυκοζιτικός δεσμός κατασκευάστηκε από 95% α-1—>4 και η διακλάδωση συνδέεται με την αλυσίδα με δεσμό 5% α1—>6

(Μπόσκος, 2004). Σε σχέση με την αμυλόζη, το μόριο της αμυλοπηκτίνης είναι πολύ μεγαλύτερο, με μοριακό βάρος 1×10^7 - 1×10^9 (Biliaderis, 1998). Το DP_n (βαθμός πολυμερισμού κατά αριθμό) είναι τυπικά εντός της περιοχής 9600-15.900 αλλά περιλαμβάνει τρία κύρια είδη με DP_n 13.400-26.500, 4400-8400 και 700-2100.

Όπως ακριβώς και η αμυλόζη, έτσι και η αμυλοπηκτίνη διαθέτει μια ευρεία παραλλακτικότητα σε σχέση με τις μονάδες μηκών αλυσίδας και με τα πρότυπα διακλάδωσης. Οι αλυσίδες της αμυλοπηκτίνης είναι τυπικά περίπου 18 έως 25 μονάδες κατά μέσο όρο, τιμές μικρότερες από τα μήκη των αλυσίδων της αμυλόζης (Takeda et al., 2003). Παρόλα αυτά, εάν συμπεριληφθούν τα άμυλα υψηλής περιεκτικότητας σε αμυλόζη, τότε το εύρος επεκτείνεται από 19 έως 31 μονάδες (Jane et al., 1999). Οι μεμονωμένες αλυσίδες μπορούν να ταξινομηθούν ως προς το μήκος τους (μήκη αλυσίδας, CL) και συνεπώς να τοποθετηθούν στο εσωτερικό των αμυλοκόκκων (Hizukuri, 1986). Συγκεκριμένα, τα δημητριακά, για παράδειγμα, που είναι άμυλα με κρυσταλλικότητα τύπου "Α" έχουν μικρότερα μήκη αλυσίδας κατά μέσο όρο από τα άμυλα τύπου "Β" που είναι τα άμυλα πατάτας (Tester et al., 2004).



Εικόνα 3: Απεικονίζεται η χημική δομή της αμυλοπηκτίνης.

Σε αντίθεση με την αμυλόζη, η αμυλοπηκτίνη δίνει ερυθροκάστανο χρώμα υπό την επίδραση ιωδίου και διογκώνεται εύκολα χωρίς να σχηματίζει αδιάλυτα σύμπλοκα με αλκοόλες ή λιπαρά οξέα (Πανέρας, 1996).

1.1.5 Βιοσύνθεση αμύλου

Η βιοσύνθεση του αμύλου είναι μία πολύπλοκη διεργασία (Emes et al., 2003). Το σημείο εκκίνησης για την αποσύνθεση της α-γλυκάνης είναι η σακχαρόζη που προέρχεται από τη φωτοσύνθεση. Στο κυτταρόπλασμα πραγματοποιείται μια σειρά από μετατροπές με τελικό στόχο την δημιουργία G-1-P φωσφογλυκομουτάσης.

- I. Σακχαρόζη → γλυκόζη διφωσφορικής ουριδίνης UDP-γλυκόζη
→ φρουκτόζη με συνθάση σακχαρόζης
- II. UDP-γλυκόζη → φωσφορική γλυκόζη G-1-P με την παρουσία πυροφωσφορικού
- III. Φωσφορική γλυκόζη G-1-P → G-6-P φωσφογλυκομουτάση

Η G-6-P φωσφογλυκομουτάση με τη βοήθεια μετατοπιστών μεταφέρεται στην μεμβράνη του αμυλοπλάστη (ενδοκυτταρικό οργανίδιο που βιοσυνθέτει το άμυλο στους ιστούς αποθήκευσης) και στη συνέχεια μετατρέπεται σε G-1-P φωσφογλυκομουτάση. Αυτό, μετατρέπεται σε ADP-γλυκόζης και παρέχεται για την βιοσύνθεση της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης, χρησιμοποιώντας την πυροφωσφορική ADP-γλυκόζη των αμυλοπλαστών (Tester and Karkalas, 2002). Στη συνέχεια, λόγω της εναλλάξ διάταξης της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης, σχηματίζονται ομόκεντρες στιβάδες, μία υψηλής και μία χαμηλής πυκνότητας. Κατά τη διάρκεια της νύχτα σχηματίζονται οι στιβάδες χαμηλής πυκνότητας ενώ κατά της διάρκεια της ημέρας υψηλής πυκνότητας. Σε άθικτους αμυλόκοκκους, η στιβάδα υψηλής πυκνότητας είναι η εξωτερική, η οποία εμποδίζει την εισροή του νερού καθώς και τη δράση των αμυλολυτικών ενζύμων. Εφόσον τραυματισθεί ο αμυλόκοκκος και αποκαλυφθούν οι στιβάδες χαμηλής πυκνότητας, είναι δυνατή η είσοδος και η δράση των αμυλολυτικών ενζύμων καθώς και η αύξηση της ενυδάτωσης των αμυλόκοκκων (Πανέρας, 1996).

1.1.6 Σύσταση αμύλου

Το άμυλο, πέραν απ' όσα αναφέρθηκαν, περιέχει μικρές ποσότητες (<0.4%) ιχνοστοιχείων, όπως ασβέστιο, μαγνήσιο, φώσφορος, κάλιο και

νάτριο. Με εξαίρεση το φώσφορο, οι υπόλοιπες ποσότητες των στοιχείων έχουν μικρή λειτουργική σημασία (Qi et al., 2004). Ο φωσφόρος απαντάται σε τρεις κύριες μορφές: φωσφορώδεις μονοεστέρες, φωσφολιπίδια και ανόργανα φωσφορικά άλατα.

Σε πολλά άμυλα, η περιεκτικότητα σε φωσφορική άλφα-γλυκάνη είναι μικρή. Εξαίρεση αποτελεί το άμυλο πατάτας που δεν έχει ουσιαστικά λιπίδιο και η περιεκτικότητα σε φωσφορικό μονοεστέρα μπορεί να υπερβαίνει το 0,1 % (Kasemsuwan and Jane, 1996). Αυτό συμβαίνει διότι ο φώσφορος αποτελεί ένα αναπόσπαστο συστατικό του αμύλου της πατάτας και είναι υπεύθυνος για τις ρεολογικές του ιδιότητες και για την ανταλλαγή ιόντων (Jane et al., 1996). Επιπλέον, σημαντική είναι η παρουσία του φωσφορου στους κόκκους αμύλου διότι επηρεάζει την αντοχή του πηκτώματος, τη διαύγεια και τη διαλυτότητα ανάλογα με το μακρο-πολυμερές που συνδέεται (Domingos De Sousa, 2017).

Τα καθαρισμένα άμυλα περιέχουν λιγότερο από 0,6% πρωτεΐνη και λιπίδια. Όπως τα λιπίδια, έτσι και οι πρωτεΐνες βρίσκονται στην επιφάνεια και ενσωματώνονται στο εσωτερικό της μήτρας των κόκκων, ανεξαρτήτως προελεύσεως. Και τα δύο συστατικά του αμύλου έχουν τη δυνατότητα να μειώνουν τη λειτουργικότητα του (Appelqvist and Debet, 1997). Συλλογικά, ο χαρακτηρισμός “κοκκώδες” στο άμυλο συσχετίζεται με την παρουσία πρωτεϊνών, όπως επίσης και λιπιδίων στην επιφάνεια των κόκκων (Baldwin, 2001).

1.1.7 Εφαρμογές αμύλου

Το άμυλο ανήκει στα πολυμερή τα οποία είναι βασικά υλικά, που βρίσκουν σημαντικές εφαρμογές στους τομείς μεταφορών, κατασκευών, καταναλωτικών πλαστικών, αρχιτεκτονικών και βιομηχανικών επιχρισμάτων, παραγωγής βιώσιμης ενέργειας κ.α. Όμως, η συνεχής αύξησης του πληθυσμού, η επιδείνωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, η τεχνολογική ανάπτυξη και ο συνειδητοποιημένος καταναλωτής οδηγούν στην ολοένα αυξανόμενη χρήση βιοδιασπώμενων υλικών, όπως ίνες φυτών, βιοπολυμερή τα οποία παράγονται από φυσικούς πόρους ή μικροοργανισμούς (Mekonnen and Fermented Soy meals, 2016).

Πολλές πρώτες ύλες για επεξεργασμένα τρόφιμα έχουν τη βάση τους, γιατί πέρα από την θρεπτική αξία, είναι ένας από τους λιγότερο δαπανηρούς και σε μεγαλύτερη αφθονία πολυσακχαρίτης (Ogunsona et al., 2018). Το άμυλο τροποποιείται με φυσικούς, χημικούς και ενζυμικούς τρόπους αλλά και κατά συνέπεια τροποποιούνται και οι λειτουργίες των υλικών καθώς και η υφή και πολλά ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων που περιέχονται (Chen et al., 2015). Επιπλέον, προσδίδει στα τρόφιμα διατροφικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά (Walkenström & Hermansson, 1998), όπως για παράδειγμα το άμυλο πατάτας που συμβάλλει στην ανάπτυξη υφής σε προϊόντα χωρίς γλουτένη (Bilbao-Sáinz et al., 2007) και χρησιμοποιείται για την κατασκευή κέικ, ψωμιών και μπισκότων (López et al., 2015), καθώς έχει ελκυστικά χαρακτηριστικά και βοηθάει στην βελτίωση των πηκτωμάτων σε μερικά τρόφιμα όσον αφορά την ακαμψία και τη σταθερότητά του (Muthuraj and Mekonnen , 2018).

Η ευκολία διαλυτότητας σε νερό, η κατακράτηση νερού ανάμεσα στα μόρια του αμύλου, η ζελατινοποίηση και η ευκολία τροποποίησης για την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των υλικών είναι κάποιες από τις ιδιότητες του αμύλου. Αντιθέτως, υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά του αμύλου που το εμποδίζουν να διευρύνει τις εφαρμογές του στα βιομηχανικά πολυμερή. Αυτά είναι η υδρόφιλη φύση του, η ευθραυστότητα, η συναίρεση και η θερμική και μη αποικοδόμησή του (Ogunsona , 2018). Στο άμυλο πατάτας, ειδικότερα, είναι η υψηλή θερμοκρασία διαλυτότητας, η χαμηλή ικανότητα διάλυσης μεγάλων μακρομορίων της διακλαδισμένης αμυλοπηκτίνης και η ευαισθησία στην υγρασία (Αρβανιτογιάννης, 2001).

Το άμυλο εφαρμόζεται και για την παραγωγή καλλυντικών, φαρμακευτικών και κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων, περιβαλλοντικά ορθών σάκων, καπέλων, μαχαιροπίρουνων και συσκευασιών τροφίμων (Masina et al., 2017). Ακόμα, μπορεί να κάνει μείγματα χαμηλού μοριακού βάρους οργανικές ενώσεις (γλυκερόλη, σορβιτόλη, πολυβινυλική αλκοόλη) με σκοπό τη δημιουργία μεμβρανών, αφρών και πλαστικών μερών (Soykeabkaew et al., 2015) και να χρησιμοποιηθεί ως σταθεροποιητής σε γαλακτώματα ζελατίνης/αμύλου (Benichou et al., 2002).

1.1.8 Ζελατινοποίηση αμύλου

Ζελατινοποίηση χαρακτηρίζεται η κατάρρευση της μοριακής δομής στο εσωτερικό του κόκκου αμύλου, η οποία εκδηλώνεται με μη αναστρέψιμες αλλαγές, οι οποίες έχουν σχέση με την αύξηση του όγκου των κόκκων, την τήξη της κρυσταλλικής μορφής, την απώλεια διπλής αποικοδόμησης και την αύξηση της διαλυτότητας του αμύλου (Belitz et al., 2009). Η ζελατινοποίηση του αμύλου, ως μια φυσική διαδικασία, μεταβάλλει τις λειτουργικές ιδιότητες ενός κόκκου αμύλου σε υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 50° C) παρουσία ύδατος.

Στην αρχή, το νερό εισέρχεται εντός των κόκκων, οι οποίοι διογκώνονται (Varavinit et al., 2003) και συνθλίβονται λόγω της διάσπασης των διπλών ελίκων αμυλοπικτίνης. Η αμυλόζη απελευθερώνεται συνήθως από τους διογκωμένους κόκκους (Tester, 1989). Έτσι, εμφανίζονται οι πρώτες αλλαγές σε δομικό επίπεδο, οδηγώντας σε απώλεια κρυσταλλικότητας και διάσπαση της κρυσταλλικής και ελαστικής δομής του αμύλου. Στη συνέχεια, το ζελατινοποιημένο άμυλο αποθηκεύεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και αποικοδομείται εξαιτίας της επανακρυστάλλωσης των αλυσίδων του πολυμερούς (Miles et al., 1985). Στο τέλος παράγεται μια ιξωδοελαστική μάζα (πάστα) που περιλαμβάνει τη συνεχή και την ασυνεχή φάση. Η συνεχής είναι μια μοριακή διασπορά πολυμερών μορίων αμύλου που αιωρούνται σε κολλοειδής διασπορά, ενώ η ασυνεχής αποτελείται από διογκωμένα μόρια με τα θραύσματα τους (Bemiller, 2011). Η θερμοκρασία ζελατινοποίησης του αμύλου πατάτας έχει μετρηθεί ότι κυμαίνεται από 68 έως 71,2 ° C (Shyam, 2009).

1.2 Ζελατίνη

Το κολλαγόνο είναι μια ινώδης γλυκοπρωτεΐνη του δέρματος και των οστών, του συνεκτικού ιστού, μετουσιώνεται εύκολα με θέρμανση και μετασχηματίζεται σε ζελατίνη (Βαφοπούλου και Μαστρογιάννη, 2003). Η ζελατίνη χαρακτηρίζεται ως ένα μετουσιωμένο κολλαγόνο ζωικής πρωτεΐνης (Sobral et al., 2001) με ινώδης μορφή (Benjakul et al., 2012) και σχηματίζεται κατά το βράσιμο ιστών με μεγάλη περιεκτικότητα κολλαγόνου. Είναι άχρωμη ή λίγο κίτρινη, διαυγής, ελαστική, άοσμη και σχεδόν άγευστη (Καρδούλης, 2003).

1.2.1 Δομή ζελατίνης

Ειδικότερα, είναι ένα ημικρυσταλλικό βιοπολυμερές που έχει κρυσταλλική και άμορφη φάση. Η πρώτη, αποτελείται από τριπλές έλικες και από δεσμίδες τριπλής έλικας μετουσιωμένου κολλαγόνου, ενώ η δεύτερη από κολλοειδείς αλυσίδες που συνθέτουν απλές έλικες, οι οποίες λέγονται έλικες πολυπρολίνης εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης προλίνης που συναντάται συχνά στις αλυσίδες ζελατίνης (Duconseille et al., 2015). Επιπρόσθετα, η ζελατίνη σχηματίζεται από την ένωση αλυσίδων πολυμερούς υδρολύματος, τα μοριακά βάρη των οποίων διαφέρουν. Κάποιες από τις αλυσίδες είναι η α-αλυσίδα (80-125kDa), β - αλυσίδων (160-250kDa), γ - αλυσίδων (240 - 375kDa) (Gudipati, 2013). Κατά την προσθήκη κρύου νερού, η ζελατίνη προσλαμβάνει νερό και διογκώνεται διότι το νερό συγκρατείται με την δέσμευση υδρογόνου στο εσωτερικού του πλέγματος. Αυτό συμβαίνει γιατί τα μόρια της ζελατίνης σχηματίζουν ένα τριών διαστάσεων πλέγμα (Πανέρας, 1992). Επιπλέον, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη της ξηρής ζελατίνης είναι 98-99% w/w και το μοριακό της βάρος κυμαίνεται από 20.000 έως 250.000. Τα σημαντικότερα αμινοξέα που συναντώνται είναι η γλυκίνη (27 έως 35%), η προλίνη (Pro) και η υδροξυπρολίνη (Hyp) (20 έως 24%) (Gudipati, 2013).

1.2.2 Τύποι- μορφές ζελατίνης

Η ζελατίνη μπορεί να διαχωριστεί σε δύο τύπους με βάση τη διαδικασία παραγωγής της. Τύπος A χαρακτηρίζεται η ζελατίνη η οποία λαμβάνεται μέσω της διαδικασίας εκχύλισης οξέος, ενώ τύπου B αυτή που εκχυλίζεται από αλκάλιο (Ahmad et al., 2017). Επιπλέον, η τύπου A εξάγεται από δέρματα χοίρων και δημιουργείται από τη διάλυση του κολλαγόνου σε ζεστό ύδωρ (Duconseille et al., 2016). Τα δύο αυτά είδη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές βιομηχανίες, λόγω της μεγάλης ποικιλίας φυσικοχημικών ιδιοτήτων που εμφανίζουν (Ahmad et al., 2017). Ως προς τις μορφές στις οποίες μπορεί να εμφανιστεί η ζελατίνη είναι δυο. Η πρώτη είναι σε μορφή σκόνης που πωλείται χύμα ενώ η δεύτερη σε διάφανα λεπτά φύλλα των 2, 2^{1/2} και 5 g.

1.2.3 Παραγωγή ζελατίνης

Ο πρώτος τρόπος παραγωγής ζελατίνης είναι από χοίρους και ονομάζεται “Οξίνη διαδικασία” από την οποία παράγεται ζελατίνη τύπου A. Σύμφωνα με την όξινη διαδικασία γίνεται προεπεξεργασία του δέρματος των χοίρων με την προσθήκη σε όξινο λουτρό όπου αφαιρούνται οι τρίχες και το λίπος. Στη συνέχεια πλένονται και θερμαίνονται σε θερμό νερό στους 50 έως 90 ° C, στάδιο που συμβάλει στη διάλυση του κολλαγόνου στο νερό με σκοπό την απομόνωση της ζελατίνης. Τέλος, η παραγόμενη ζελατίνη διηθείται, απομεταλλίζεται, συμπυκνώνεται, αποστειρώνεται, ξηραίνεται και αλέθεται σε κόκκους (Duconseille et al., 2017).

Ο δεύτερος τρόπος παραγωγής ζελατίνης είναι από βοοειδή και ονομάζεται “Αλκαλική διαδικασία”, κατά την οποία τελικό προϊόν είναι η ζελατίνη τύπου B. Η ζελατίνη αυτή, απομονώνεται από το κολλαγόνο που βρίσκεται στα οστά και στο δέρμα των βοοειδών. Στην αρχή, τα κόκκαλα θρυμματίζονται και βράζονται στους 82 έως 120°C και αφού περάσουν από φυγόκεντρο, ξηραίνονται στους 71 έως 132°C. Σε περίπτωση που η θερμοκρασία βρασμού του δέρματος αυξηθεί πάνω από τα επιτρεπτά όρια, τότε θα πραγματοποιηθεί μετουσίωση των ενδογενών πρωτεασών και μπορεί

να τεθούν σε κίνδυνο οι λειτουργικές ιδιότητες της εκχυλιζόμενης ζελατίνης (Intarasirisawat et al., 2007).

Λόγω της συνεχώς αυξανόμενης ανάγκης για τη χρήση ζελατίνης δημιουργήθηκε η απαίτηση για αναζήτηση νέων μεθόδων παραγωγής ζελατίνης. Συγκεκριμένα, υπάρχει μεγάλη ανησυχία για το αν η ζελατίνη που προέρχεται από χοίρους και βοοειδή μπορεί να μεταδώσει παθογόνους φορείς, όπως πρίονες, η νόσος των τρελών αγελάδων αλλά και για θρησκευτικούς λόγους (Karim & Bhat, 2009).

Ο τρίτος τρόπος εκχύλισης ζελατίνης είναι από ψάρια (Huang et al., 2017a). Διάφορες μελέτες έχουν αποδείξει την παραγωγή ζελατίνης από το δέρμα ψαριών (Kaewguang et al., 2014), την κλίμακα (Sha et al., 2014b), τις κύστες (Kaewdang & Benjakul, 2015) και τους χόνδρους (Cho et al., 2004). Η ζελατίνη από το δέρμα ψαριών παράγεται με την επεξεργασία τους σε υψηλή θερμοκρασία με τη χρήση νερού και οξικού οξέος. Έπειτα, το μείγμα φιλτράρεται, συμπυκνώνεται, αποξηραίνεται, τοποθετείται σε καλούπια και στο τέλος πακετάρεται.

Οι δυσκολίες για την παραγωγή ζελατίνης ψαριών έγκεινται στην υψηλότερη τιμή, τη μεταβλητή ποιότητα, τις κατώτερες ρεολογικές συμπεριφορές και τις ιδιότητες του πηκτώματος (Huang et al., 2017b). Τέλος, έχει βρεθεί ότι το δέρμα του καλαμαριού *Loligo formosana* (Vate et al., 2017) όντας χαμηλής αγοραίας αξίας, αποτελεί μια εξαιρετική πηγή κολλαγόνου και μπορεί να διατεθεί για την εκχύλιση ζελατίνης (Nagarajan et al., 2013). Η ζελατίνη από το ψάρι όμως έχει οσμές ψαριών και αυτό αποτελεί τον κυριότερο λόγο της περιορισμένης χρήσης της ως συστατικό στα τρόφιμα.

1.2.4 Χρήσεις ζελατίνης

Στη σημερινή εποχή, η ζελατίνη αποτελεί ένα προϊόν με ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών και χρήσεων (Ledward, 2000). Τα τρόφιμα και τα ποτά είναι τα πιο σημαντικά προϊόντα που περιέχουν ζελατίνη. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ως διαυγιστικός παράγοντας για το λευκό κρασί, για τη διαύγεια της μπύρας, για τη διαύγεια στους χυμούς αρκετών φρούτων και

λαχανικών, στην παρασκευή γιαουρτιού (0,3 έως 0,5% w/w) ως παχυρευστοποιητής, στο ζαμπόν 2 έως 3% w/w και στη ζαχαροπλαστική. Ένα από τα βρώσιμα βιοπλαστικά που έχουν ως βάση τη ζελατίνη είναι οι ταινίες της που έχουν υψηλές οπτικές ιδιότητες (Park et al., 2008) και η υψηλή μηχανική αντοχή (Thomazine et al., 2005). Γενικά, η παγκόσμια ζήτηση ζελατίνης το 2018 σε τρόφιμα και μη, αναμενόταν ότι θα ήταν 450,7 kg.

Πέρα από τον τομέα των τροφίμων και των ποτών, οι εφαρμογές ζελατίνης έχουν εξαπλωθεί στο φαρμακευτικό και το βιομηχανικό κλάδο (Sheela, 2014), όπως η φωτογραφία και τα καλλυντικά (Benjakul et al., 2012), οι κόλλες (Ledward, 2000), τα υφαντουργικά προϊόντα. Ειδικότερα για την φαρμακευτική βιομηχανία, παρασκευάζονται σκληρές κάψουλες (The United States Pharmacopeia, 2012) ζελατίνης που συμβάλουν στην ενθυλάκωση θρεπτικών ουσιών και φαρμάκων, τα οποία πρέπει να πληρούν επακριβώς συγκεκριμένες προδιαγραφές διάλυσης για να απελευθερώνουν ομοιόμορφα το φάρμακο μέχρι την ημερομηνία λήξεως του.

1.2.5 Λειτουργικές ιδιότητες της ζελατίνης

Οι σημαντικότερες λειτουργικές ιδιότητες της ζελατίνης είναι η ισχύς του πηκτώματος, το ιξώδες και η θερμοκρασία τήξης. Σε κάθε περίπτωση, η εφαρμογή της ζελατίνης καθορίζει την αντοχή του πηκτώματος και το ιξώδες της. Έτσι, η ζελατίνη που προέρχεται από χοίρους και βοοειδή έχει ισχύ πηκτής από 100 έως 300 bloom, οι θερμοκρασίες ζελατινοποίησης και τήξεως 20 έως 25°C και 28 έως 31°C, αντίστοιχα. Αντίθετα, η ζελατίνη ψαριών έχει ισχύ πηκτής 70 έως 270 bloom και θερμοκρασίες ζελατινοποίησης και τήξεως 8 έως 25 και 11 έως 28, αντίστοιχα (da Trindade et al., 2015).

Η παραγωγή πηκτής αρχίζει όταν η ζελατίνη διαλυθεί στο νερό και θερμανθεί από 35°C και άνω, δημιουργώντας ένα κολλοειδές διάλυμα. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ψύξη του διαλύματος, το οποίο μετατρέπεται σε στερεό και παράγεται το πήκτωμα. Το πήκτωμα είναι ημίσκληρο, συνεκτικό, με θέρμανση μετατρέπεται σε ρευστό και πήζει όταν παραμείνει ακίνητο σε χαμηλή θερμοκρασία (Πανέρας, 1992). Επιπλέον, όσο πιο υψηλό μοριακό

βάρος έχει η ζελατίνη τόσο υψηλότερη αντοχή πηκτώματος εμφανίζει, λόγω του μικρού σχηματισμού ζωνών από πεπτίδια χαμηλού μοριακού βάρους (Badii & Howell, 2006).

1.2.6 Ανάμιξη αμύλων με άλλα συστατικά

Σύμφωνα με έρευνες, η ανάμιξη μιας πρωτεΐνης (ζελατίνη) με έναν πολυσακχαρίτη (άμυλο με νερό) δημιουργεί ένα ομογενές διάλυμα λόγω της ικανότητας αυτών των συστατικών να διαλύονται στο νερό. Το άμυλο και η ζελατίνη σε ένα υδατικό διάλυμα έχουν την ικανότητα να δημιουργήσουν διάφορες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών, όπως πρωτεΐνη – πρωτεΐνη, πρωτεϊνικός πολυσακχαρίτης και πολυσακχαρίτης-πολυσακχαρίτης (Schmitt et al., 1998). Η ανάμιξη, λοιπόν, ζελατίνης και αμύλου επηρεάζεται έντονα από τη θερμοκρασία του διαλύματος, την αναλογία αμυλόζης/αμυλοπηκτίνης στο άμυλο και το μοριακό τους βάρος και από την αναλογία ζελατίνης/αμύλου (Benichou et al., 2002).

Ένα σύμπλοκο πολυσακχαρίτη και πρωτεΐνης αρχίζει να σχηματίζεται από ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανόμοιων και αντίθετα φορτισμένων μακρομορίων. Τα διαλυτά σύμπλοκα, συσσωματώνονται συνεχώς με σκοπό να ελαττώσουν την ελεύθερη ενεργεία του συστήματος μέχρι το μέγεθος και οι επιφανειακές ιδιότητες να εμποδίσουν την διαλυτότητα (Schmitt and Turgeon, 2011). Στη συνέχεια, η ανάμιξη των δύο συστατικών δημιουργεί πήκτες με εμφανή διαχωρισμό των δύο φάσεων (Firoozmand et al., 2012). Αποδείχτηκε από τους Khomutov et al. (1995) ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του αμύλου στο διάλυμα αμύλου/ζελατίνης, τόσο μειώνεται η θερμοκρασία διαχωρισμού φάσεων. Σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις, μπορούν να προκαλέσουν την αυτοσύνθεση των συμπλεγμάτων πολυηλεκτρολύτη σε υδατικά μείγματα και ως συνέπεια μεταβολές στη δομή του πηκτώματος κατά την πηκτωματοποίηση. Τέλος, τα σύμπλοκα ζελατίνης/αμύλου προσδιορίζονται από αλληλεπιδράσεις μη-ομοιοπολικών και Η- δεσμών Turgeon & Laneuville, 2009).

Ο σκοπός αυτής της πτυχιακής είναι η μελέτη των λειτουργικών χαρακτηριστικών μειγμάτων ζελατίνης με άμυλο πατάτας. Επίσης στην έρευνα αυτή διερευνείται η χρήση υπερήχων ως μέσο διαφοροποίησης των ιδιοτήτων των μειγμάτων.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Υλικά

- ❖ Άμυλο πατάτας της εταιρίας AppliChem και με κωδικούς A2223,5000 και LOT 9M0012
- ❖ Ζελατίνη σε σκόνη της εταιρίας AppliChem και με κωδικούς A1693,1000 και LOT 8L007942

Παρασκευάστηκαν μείγματα σκέτης ζελατίνης, σκέτου αμύλου και ζελατίνης/ άμυλο πατάτας σε συγκεντρώσεις όπως απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΜΕΙΓΜΑΤΑ	ΖΕΛΑΤΙΝΗ % w/w	ΑΜΥΛΟ ΠΑΤΑΤΑΣ % w/w
1	3	-
2	-	1
3	-	2
4	-	3
5	-	4
6	-	5
7	3	1
8	3	2
9	3	3
10	3	4
11	3	5

Πίνακας 1

Στην πρώτη περίπτωση, αφού μετρήθηκε η ζελατίνη και το απεσταγμένο νερό περιεκτικότητας 3% w/w , το διάλυμα τοποθετήθηκε σε ατομικό υδατόλουτρο. Στην περίπτωση που το μείγμα προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν στο αντίστοιχο μηχάνημα υπερήχων για 15 λεπτά και έπειτα σε ποτηράκια, τα οποία παρέμεναν στο ψυγείο για 24 ώρες. Στην περίπτωση που το μείγμα δεν προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν

κατευθείαν σε κυπελάκια στο ψυγείο για 24 ώρες. Τέλος, γίνονταν οι απαραίτητες μετρήσεις.

Στη δεύτερη περίπτωση, μετά από την μέτρηση των γραμμαρίων αμύλου και απεσταγμένου νερού με περιεκτικότητα 1% ή 2% ή 3% ή 4% ή 5% w/w, το μείγμα που προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν στο αντίστοιχο μηχάνημα για 15 λεπτά και έπειτα σε ποτηράκια, τα οποία παρέμεναν στο ψυγείο για 24 ώρες. Όταν το μείγμα δεν προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν κατευθείαν σε κυπελάκια στο ψυγείο για 24 ώρες. Μετά το πέρας των ωρών γίνονταν οι μετρήσεις.

Στην τελευταία περίπτωση, η ζελατίνη με απεσταγμένο νερό σε περιεκτικότητα 3% w/w τοποθετήθηκε σε ατομικό υδατόλουτρο για να θερμανθεί μέχρι τους 70°C και ταυτόχρονα το άμυλο πατάτας με το απεσταγμένο νερό με περιεκτικότητα 1% ή 2% ή 3% ή 4% ή 5% w/w θερμάνθηκε μέχρι τους 80°C. Μόλις έφταναν σε κατάλληλη θερμοκρασία, αναμειγνύονταν και τα δύο διαλύματα μαζί στο ίδιο ποτήρι ζέσεως. Στην περίπτωση που το μείγμα προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν στο μηχάνημα των υπερήχων για 15 λεπτά και έπειτα σε ποτηράκια, τα οποία παρέμεναν στο ψυγείο για 24 ώρες. Στην περίπτωση που το μείγμα δεν προοριζόταν για υπερήχους, τοποθετούνταν κατευθείαν σε κυπελάκια στο ψυγείο για 24 ώρες. Τέλος, γίνονταν οι απαραίτητες μετρήσεις.

2.2 Μέθοδοι

Μετρήσεις Δομής: Οι μετρήσεις δομής πραγματοποιήθηκαν στο μηχάνημα Expert 5601 ADMET, Inc. το οποίο είναι εφοδιασμένο με ένα δυναμόμετρο (SM-250 1000N) και αναλύει τις υφές διαφόρων επιφανειών (Texture Analyzer machine). Το έμβολο που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο 35 mm. Ο βαθμός παραμόρφωσης που ασκήθηκε στο δείγμα ήταν 75% και ρυθμός συμπίεσης 50 mm/min.

Μετρήσεις Χρώματος: Οι παρακάτω αναλύσεις χρώματος πάρθηκαν με τη βοήθεια του μηχανήματος HunterLab MinScan XE Plus με φωτισμό D65 ως σημείο αναφοράς και είναι βασισμένες στις παραμέτρους L* (lightness-

φωτεινότητα) σε κλίμακα 0 έως 1000 ($100 \frac{1}{4}$ άσπρο, $0 \frac{1}{4}$ μαύρο) , a^* σε κλίμακα από -80 έως +100 (πράσινο, κόκκινο) και b^* σε κλίμακα από -80 έως +70 (μπλε, κίτρινο) του συστήματος CIE- “Comission Internationale de L’ Eclairage” (σύστημα διεθνούς επιτροπής φωτισμού). Λαμβάνονται τρεις μετρήσεις για κάθε δείγμα, έτσι ώστε να είναι έγκυρες οι μετρήσεις.

Μετρήσεις Θολερότητας: Το Σύστημα Φασματοφωτομετρίας με φασματοφωτόμετρο OPTIZEN, μοντέλου Optizen POP UV/VIS Spectrophotometer χρησιμοποιήθηκε για να μετρήσει τη θολερότητα των μειγμάτων. Το μηχάνημα ρυθμίστηκε στα 640 nm και στους 20°C.

Η χρήση υπερήχων της εταιρίας Branson, ultrasonic cleaner, Model 200, 40 kHz, μιας μη θερμικής αναδυσόμενης τεχνολογίας, συνέβαλε στην επεξεργασία των μειγμάτων με φυσικό τρόπο. Τα δείγματα εκτέθηκαν σε υπερήχους για 15 λεπτά.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Μία από τις μη θερμικές αναδυόμενες τεχνολογίες που βοηθάνε στην επεξεργασία τροφίμων με φυσικό τρόπο είναι οι υπέρηχοι (UT) (Pradal et al., 2016). Οι υπέρηχοι είναι τα ηχητικά κύματα που βρίσκονται πάνω από το ακουστικό κατώφλι του εύρους ακουστικής (18 kHz) και πλεονεκτούν όσον αφορά την υψηλότερη ποιότητα, την ελαχιστοποίηση της χρήσης χημικών ουσιών, το χρόνο επεξεργασίας και το φιλικό προς το περιβάλλον προϊόν (Amini et al., 2015).

Το αποτέλεσμα των υπερήχων στα συστήματα υγρού-στερεού είναι ο γρήγορος σχηματισμός, η ανάπτυξη και η κατάρρευση των φυσαλίδων που έχουν γεμίσει με υγρό ή ατμό, τα οποία παράγουν θερμότητα (μέχρι 5000 K) και πίεση (έως 20MPa) σε μικρό χρονικό διάστημα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται σπηλαιώση (Mallakpour and Khodadadzadeh, 2018). Συγκεκριμένα, οι φυσαλίδες αυτές καταπίπτουν με ταχύ και ακανόνιστο τρόπο προκαλώντας μικρο-εκτόξευση διαλύτη, κύματα κρούσεων και αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης ("hot spots"). Οι συγκρούσεις δημιουργούν δυνάμεις διάτμησης στο σημείο κρούσης για την αποικοδόμηση πολυμερών που γίνεται εμφανής ως μικρές σχισμές και κοιλότητες στην επιφάνεια των κόκκων (Jambrak et al., 2010) και διαύλους που γίνονται πιο βαθιοί στο κέντρο τους (Hu et al., 2013). Υπάρχουν δύο είδη κυμάτων στους υπερήχους διπλής συχνότητας που βοηθούν στη δημιουργία υψηλότερων σπηλαιών στα χαρακτηριστικά των προϊόντων σε σχέση με τη μονοσυχνότητα (Liu και Hsieh, 2009).

Όσον αφορά το άμυλο, εμφανίζονται κάποιες διαφορές στην επεξεργασία υπερήχων χαμηλής και υψηλής συχνότητας και ισχύος. Όταν οι υπέρηχοι είναι χαμηλής συχνότητας υψηλής ισχύος υδρολύουν (Kang et al., 2016) τα μόρια του αμύλου, προκαλούν βλάβες στην επιφάνειες των κόκκων, δεν επηρεάζουν το μέγεθός ή την εσωτερική μορφολογία των κόκκων (Qiang et al., 2007) και παράγουν φυσαλίδες μεγαλύτερου μεγέθους σε σχέση με τους κόκκους αμύλου πατάτας (Gallant et al., 1972). Αντίθετα, οι υπέρηχοι υψηλής συχνότητας χαμηλής ισχύος δεν τροποποιούν την επιφάνεια των κόκκων του

αμύλου (Pettier et al., 1992) δεν εμφανίζουν σκασίματα στους κόκκους αμύλου πατάτας και παράγουν μικρότερου μεγέθους φυσαλίδες συγκριτικά με το μέγεθος το αμύλου πατάτας (Gallant et al., 1972).

Το άμυλο εξαιτίας της ισχυρής ενδομοριακής δύναμης σύνδεσης υδρογόνου, παρουσιάζει δυσκολία διαλυτότητας του στο νερό και σε άλλους διαλύτες, γεγονός που χρειάζεται για τη δημιουργία ομοιογενών και συμπαγών πολυμερών μεμβρανών. Λύση αποτελούν οι υπέρηχοι, οι οποίοι αυξάνουν τη διαλυτότητα των μορίων αμύλου (Karathanos and Saravacos, 1993). Όπως προαναφέρθηκε, οι κόκκοι του αμύλου πατάτας δέχονται μεγαλύτερη επιρροή από τους υπέρηχους σε σχέση με τα υπόλοιπα άμυλα λόγω του μεγάλου μεγέθους τους (Tester et al., 2004).

Μετρήσεις δομής

Στη παρούσα ερευνητική διατριβή μελετήθηκε η χρήση υπέρηχων στη δομή, στο χρώμα και τη θολερότητα μειγμάτων ζελατίνης με άμυλο πατάτας.



ΓΡΑΦΗΜΑ 1

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 1 περιγράφονται τα αποτελέσματα των πηγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπέρηχους. Παρατηρείται ότι στα πηγματα μόνο με άμυλο, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αμύλου τόσο

αυξάνεται και η δύναμη που απαιτείται για την παραμόρφωση. Αυτό συμφωνεί με τη μελέτη των μειγμάτων σουρίμι-βοδινού με άμυλα συγκεντρώσεων 3%, 6% και 9% w/w. Στα μείγματα που περιέχουν άμυλο και ζελατίνη παρουσιάζεται μια μείωση της δύναμης παραμόρφωσης μέχρι την 3% w/w περιεκτικότητα αμύλου πατάτας, γιατί λόγω της παρουσίας ζελατίνης και σύμφωνα με τους Podshivalon et al., 2017 αυξάνεται η ελαστικότητα των μειγμάτων. Στην περιεκτικότητα 4% w/w άμυλο και ζελατίνη παρατηρείται ότι η δύναμη παραμόρφωσης αυξάνεται ενώ για το δείγμα 5% w/w άμυλο και ζελατίνη, η F_{max} παραμένει σε παρόμοιες τιμές. Η αύξηση αυτή πραγματοποιείται γιατί μετά τη συγκέντρωση 3% w/w αμύλου πατάτας στο μείγμα αμύλου με ζελατίνη 3% w/w, το άμυλο υπάρχει σε μεγαλύτερο ποσοστό στο μείγμα και εμφανίζει τις ιδιότητες του αμύλου. Συνεπώς, η υψηλή περιεκτικότητα αμύλου σε συνδυασμό με την θέρμανση και την διαστολή των κοκκίων έφεραν αυτό το αποτέλεσμα. Τέλος, το πήγμα που περιέχει μόνο ζελατίνη είναι αυτό στο οποίο ασκήθηκε η μεγαλύτερη δύναμη για την παραμόρφωση του.

Επίσης, οι κόκκοι αμύλου αφού θερμανθούν απορροφούν νερό και διαστέλλονται πιέζοντας το σύμπλεγμα πηκτής. Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της ισχύος του πηκτώματος (Lee et al., 1992). Σε περίπτωση που αυξηθούν περισσότερο τα επίπεδα αμύλου, παρατηρείται μια μείωση της ισχύος του πηκτώματος. Επιπρόσθετα, όσο αυξάνεται το άμυλο των πηκτωμάτων, τόσο μειώνεται η συγκέντρωση των πρωτεϊνών κρέατος σε αυτά, για να παραμείνει σταθερή η περιεκτικότητα σε υγρασία (80%). Γενικά, όταν σε ένα σύστημα που περιέχει για παράδειγμα άμυλο και ζελατίνη, το υλικό που θα βρίσκεται σε μεγαλύτερη ποσότητα θα καθορίσει το αποτέλεσμα της υψής του πηκτώματος (Lanier, 1986).

Στην ίδια μελέτη αναπτύχθηκαν ακόμα δυο λόγοι στους οποίους αποδίδεται η διαφορετική δύναμη του πηκτώματος. Ο πρώτος σχετίζεται με τα μεγέθη των κοκκίων αμύλου, τα οποία όταν είναι μεγάλου μεγέθους και διογκωθούν ασκούν μεγαλύτερη πίεση στη πηκτή που δημιουργείται στο σύστημα σουρίμι-βοδιού-αμύλου (Yang & Park, 1998). Αποτέλεσμα αυτών είναι η διατύπωση ότι η αντοχή του πηκτώματος αμύλου πατάτας, λόγω και

του μεγαλύτερου μεγέθους κοκκίων που διαθέτει, ήταν η υψηλότερη. Ο δεύτερος ασχολείται με τη περιεκτικότητα αμυλόζης-αμυλοπηκτικής σε διάφορα άμυλα. Η αμυλόζη αραιώνει τα πηκτώματα ενώ η αμυλοπηκτική είναι υπεύθυνη για τη διόγκωση του αμύλου (Tester & Morrison, 1990). Η δύναμη που λαμβάνουν οι κόκκοι κατά τη διόγκωση τους μεταφέρεται ως ενέργεια στα πηκτώματα του αμύλου. Οπότε η υψηλή περιεκτικότητα του αμύλου πατάτας σε αμυλοπηκτική, αύξησε την αντοχή της πηκτής (Lii et al., 1996). Οι τρεις αυτοί λόγοι οδηγούν στο συμπέρασμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της συγκέντρωσης, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή της δύναμης παραμόρφωσης.

Σύγχρονες έρευνες σε άλλα άμυλα, όπως εναιωρήματα αμύλου μανιόκας με νερό σε συγκέντρωση 5% (w/v), που περιέχουν 17% αμυλόζη, παρατήρησαν αύξηση της ικανότητας του αμύλου να διογκωθεί λόγω των αλλαγών που προκλήθηκαν στη κρυσταλλική δομή. Μετά από τοποθέτηση τους σε υπερήχους 750 W και πλάτους 40% για 5, 10 και 20 λεπτά παρατηρήθηκαν τα εξής φαινόμενα: α) Ρήξη των δεσμών των μορίων β) Μορφολογικές τροποποιήσεις γ) Μεταβολές στην διαπερατότητα των κόκκων αμύλου.

Αυτές οι τροποποιήσεις επέτρεψαν και την αυξημένη πρόσβαση των μορίων νερού να αλληλεπιδράσουν με τις ελεύθερες ομάδες πολυμερών υδροξυλίου αμυλόζης και αμυλοπηκτικής (Amini et al., 2015).



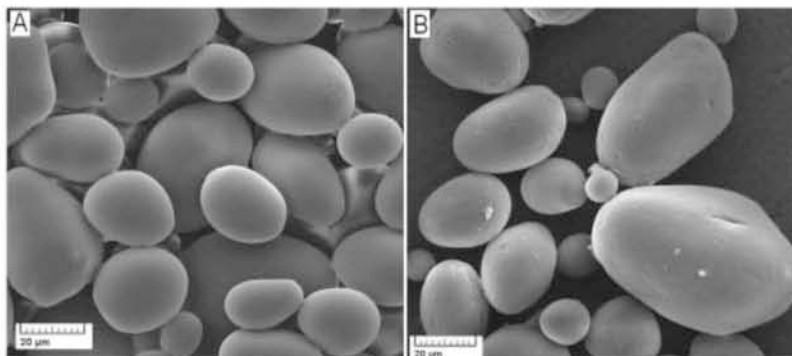
ΓΡΑΦΗΜΑ 2

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 2 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Αρχικά, η δύναμη που ασκείται για την παραμόρφωση των διαλυμάτων αμύλου πατάτας ακολουθεί μια ανοδική πορεία όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αμύλου. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι οι τιμές των συγκεντρώσεων 1% και 2% w/w είναι παρόμοιες μεταξύ τους, όπως και αυτά των 3% και 4% w/w. Όσον αφορά τα μείγματα με άμυλο και ζελατίνη παρατηρείται μείωση της δύναμης παραμόρφωσης μέχρι την 3% w/w περιεκτικότητα, που πιθανώς οφείλεται στη δημιουργία κοιλοτήτων στα κοκκία αμύλου μετά την επίδραση των υπερήχων. Έπειτα, η δύναμη παραμόρφωσης αυξάνεται μέχρι και την 5% w/w περιεκτικότητας. Εμφανές στοιχείο στο γράφημα αυτό είναι η υψηλή τιμή της δύναμης παραμόρφωσης στο πήγμα με τη ζελατίνη.

Επιπρόσθετα, ερευνητές χρησιμοποίησαν υπερήχους 20 kHz και ισχύς 170 W για 30 λεπτά σε ρύζι, καλαμπόκι, σιτάρι και κόκκους αμύλου πατάτας διαλυμένοι σε νερό ή αιθανόλη. Όσον αφορά την προσρόφηση του αμύλου πατάτας, βρέθηκε ότι ο όγκος του αζώτου που προσροφήθηκε ήταν περισσότερος στο κατεργασμένο άμυλο με υπερήχους σε αιθανόλη, έπειτα στο κατεργασμένο άμυλο με υπερήχους σε νερό και την λιγότερη τιμή εμφάνισε το φυσικό άμυλο (Sing et al., 1985).

Bai et al. (2016) ανακάλυψαν την εμφάνιση πολλών κοιλοτήτων στην επιφάνεια των κοκκίων αμύλου πατάτας, μεγέθους από 1 έως 2,5 μm, μετά από επεξεργασία με υπερήχους και έβγαλαν το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα των υπερήχων, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κοιλοτήτων. Ο σχηματισμός κοιλοτήτων, κατά συνέπεια, δημιουργεί χαμηλό ιξώδες στο πήγμα (Bai et al., 2016). Ωστόσο, οι ερευνητές δεν μπορούν να συμφωνήσουν αν οι υπέρηχοι μειώνουν το μέγεθος των κόκκων (Zuo et al., 2009) ή αν δεν επηρεάζουν καθόλου τους κόκκους αμύλου (Bai et al., 2016). Στην παρακάτω εικόνα (4) αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των υπερήχων σε κοκκία αμύλου πατάτας αιωρημένα ή όχι σε νερό. Στην εικόνα Α παρατηρούνται κοκκία με λεία επιφάνεια χωρίς νερό, ενώ στην Β εμφανίζονται

κοκκία στο νερό με γρατσουνιές, ρωγμές και κοιλότητες στην επιφάνεια (Sujka and Jamroz, 2009).



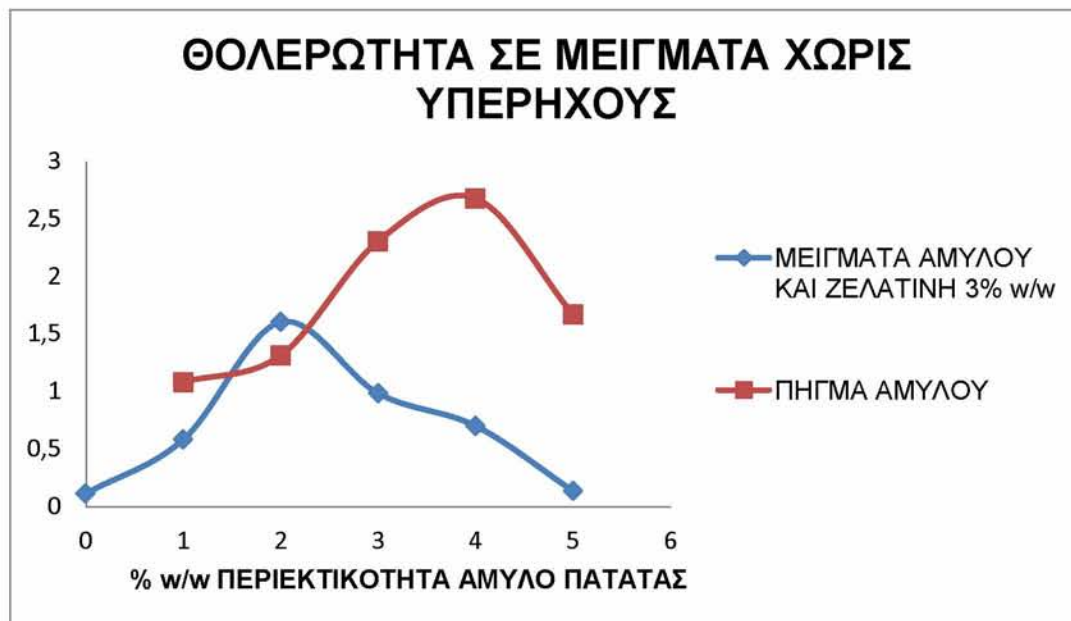
Εικόνα 4: Η επίδραση των υπερήχων σε κοκκία αμύλου πατάτας αιωρημένα ή όχι σε νερό.

Έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για την επίδραση των υπερήχων στις πρωτεΐνες και συγκεκριμένα στις λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών, τις οποίες βελτιώνουν, αυξάνουν την ικανότητα τους να συγκρατούν νερό στα πηκτώματα, μειώνουν τη διάρκεια αφυδάτωσης και του χρόνου μαγειρέματος. Γενικά, οι υπέρηχοι είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο ομογενοποίησης και βελτίωσης της διαλυτότητας (Chalothorn and Warisnoicharoen, 2012).

Συγκρίνοντας τα ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 1 και 2 δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των διαλυμάτων αμύλου με ή χωρίς τη χρήση υπερήχων, όπως αναφέρθηκε από τους Bai et al. (2016). Αντιθέτως, τα μείγματα με άμυλο και ζελατίνη που έχουν υποστεί την επίδραση των υπερήχων χρειάστηκαν διπλάσια και παραπάνω δύναμη παραμορφοποίησης σε σχέση με την δύναμη που απαιτήθηκε για να παραμορφωθεί το πήγμα αμύλου χωρίς την επίδραση υπερήχων. Η προσθήκη 3% w/w ζελατίνη στα διαλύματα αμύλου έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δειγμάτων που απαιτούν υψηλότερη δύναμη παραμόρφωσης και σε παρόμοια επίπεδα είτε έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι στα δείγματα είτε όχι.

Μετρήσεις Θολερότητας

Στα μείγματα τη παρούσας διατριβής ζελατίνης με άμυλο έγιναν και μετρήσεις θολερότητας.



ΓΡΑΦΗΜΑ 3

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 3 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα δεν έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Συγκεκριμένα, τα διαλύματα αμύλου εμφανίζουν σταδιακή αύξηση της θολερότητας μέχρι την 4% w/w συγκέντρωση αμύλου πατάτας, η οποία αποτελεί την μέγιστη τιμή θολερότητας, ενώ στη συνέχεια παρατηρείται μια πτώση μέχρι το 5% w/w. Στην περίπτωση των μειγμάτων αμύλου και ζελατίνης στην 2% w/w περιεκτικότητα αμύλου φαίνεται η μέγιστη τιμή θολερότητας, ενώ δεξιά και αριστερά της οι τιμές θολερότητας μειώνονται σταδιακά. Το πήγμα με τη ζελατίνη εμφανίζεται ως σχεδόν τελείως διαφανές.

Σε μια έρευνα που έγινε το 2017, οι Podshivalov et al. αναφέρουν ότι το πήγμα ζελατίνης με 0% w/w άμυλο πατάτας εμφάνισε μεγάλη διαφάνεια εξαιτίας της απουσίας συσσωματωμάτων. Κάτι παρόμοιο έχει μελετηθεί και σε άλλα συστήματα όπου βρέθηκε ότι όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα αμύλου

στο μείγμα προκαλείται γραμμική μείωση της διαφάνειας λόγω του διαχωρισμού φάσεων των συστατικών και της παρουσίας μορκοσφαιριδίων αμύλου στο μείγμα. Η αλληλεπίδραση του αμύλου με τη ζελατίνη είναι αδύναμη (Lim et al., 1992).



ΓΡΑΦΗΜΑ 4

Στο ΓΡΑΦΗΜΑ 4 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Στην περίπτωση των διαλυμάτων αμύλου παρατηρείται ότι το δείγμα με 1% w/w περιεκτικότητα αμύλου είναι διαυγές τελείως. Έπειτα, μέχρι την 4% w/w περιεκτικότητα ο βαθμός θολερότητας αυξάνεται απότομα, ενώ μεταξύ 4% έως 5 % w/w μειώνεται. Όσον αφορά τα μείγματα με άμυλο και ζελατίνη, ομοίως με το ΓΡΑΦΗΜΑ 3, στην 2% w/w περιεκτικότητα αμύλου φαίνεται η μέγιστη τιμή θολερότητας, ενώ στις τιμές δεξιά και αριστερά της οι τιμές θολερότητας μειώνονται σταδιακά. Τέλος, το πήγμα σκέτης ζελατίνης είναι σχεδόν διαυγές. Οι Chung et al., (2002) ανέφεραν ότι η επίδραση των υπερήχων σε άμυλο πατάτας με νερό αύξησε τη διαύγεια των αιωρημάτων σε σχέση με τα φυσικά άμυλα χωρίς υπερήχους.

Τα ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 3 και 4 παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες. Αρχικά, η γραφική των μειγμάτων αμύλου και ζελατίνης με τη γραφική μειγμάτων αμύλου και ζελατίνης που έχουν υποστεί υπερήχους είναι όμοια μεταξύ τους. Ως προς τα διαλύματα αμύλου, εμφανής είναι η διαφορά της 1% w/w περιεκτικότητας αμύλου πατάτας, όπου η επίδραση των υπερήχων το μετέτρεψε σε ένα διαυγές δείγμα. Οι υπόλοιπες περιεκτικότητες παρέμειναν ίδιες και στις δυο περιπτώσεις.

Μετρήσεις Χρώματος

Το χρώμα είναι ένα βασικό ποιοτικό χαρακτηριστικό στα τρόφιμα. Στην συγκεκριμένη μελέτη μετρήθηκε η φωτεινότητα L^* , τα a^* και b^* σε όλα τα δείγματα.



ΓΡΑΦΗΜΑ 5

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 5 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα δεν έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Παρατηρείται ότι η φωτεινότητα στις συγκεντρώσεις 1% και 2% w/w στα διαλύματα αμύλου μειώνεται, στις 3% και 4% w/w αυξάνεται και έπειτα μέχρι την 5% w/w συγκέντρωση αμύλου πατάτας ξαναμειώνεται. Στην περίπτωση

των μειγμάτων αμύλου και ζελατίνης 3% w/w η φωτεινότητα στις πρώτες τρεις συγκεντρώσεις παραμένει σχεδόν σταθερή, ενώ μετά τη συγκέντρωση 3% w/w έως την 4% w/w αυξάνεται. Στη συνέχεια, η φωτεινότητα μειώνεται μέχρι την 5% w/w περιεκτικότητα. Τέλος, το πήγμα που περιέχει μόνο ζελατίνη βρέθηκε ότι είναι λίγο πιο φωτεινό από την συγκέντρωση 1% w/w των μειγμάτων αμύλου και ζελατίνης.



ΓΡΑΦΗΜΑ 6

Μετρήσεις φωτεινότητας χωρίς την επίδραση υπερήχων σε πηκτώματα σουρίμι-βοδινού με άμυλα συγκεντρώσεων 3%, 6% και 9% w/w επηρεάστηκαν από τα επίπεδα αμύλων που προστέθηκαν. Συγκεκριμένα, η προσθήκη αμύλου αύξησε τις τιμές των L^* των πηκτωμάτων και σε περιεκτικότητα 9% w/w αμύλου ήταν οι υψηλότερες σε αντίθεση με τις τιμές των a^* και b^* που ήταν οι χαμηλότερες. Όσο οι κόκκοι αμύλου διογκώνονταν τόσο πιο αδιαφανείς γίνονταν (Yang & Park, 1998).

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 6 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα δεν έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Αρχικά, η μεταβλητή a των μειγμάτων μόνο με άμυλο αυξάνεται στα διαστήματα από 1% έως 2% w/w καθώς και από 4% έως 5% w/w περιεκτικότητα αμύλου

πατάτας. Στις ενδιάμεσες συγκεντρώσεις παρατηρείται μια πτώση. Όσον αφορά τα μείγματα με άμυλο και ζελατίνη παρατηρείται μείωση της μεταβλητής a μέχρι την 4% w/w περιεκτικότητα, όπως ακριβώς περιγράφουν οι Yang & Park, 1998, ενώ έπειτα αυξάνεται μέχρι και την 5% w/w περιεκτικότητα. Εμφανές στοιχείο στο γράφημα αυτό είναι η υψηλή τιμή της μεταβλητής a στο δείγμα με τη ζελατίνη.



ΓΡΑΦΗΜΑ 7

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 7 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα δεν έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Στην περίπτωση των διαλυμάτων αμύλου παρατηρείται ότι η τιμή της μεταβλητής b στα διαστήματα 1% έως 2% w/w αυξάνεται απότομα, 2% έως 3% w/w μειώνεται απότομα παίρνοντας αρνητικές τιμές και στο 3% έως 5% w/w αυξάνεται πάλι σταδιακά. Όσον αφορά τα μείγματα με άμυλο και ζελατίνη, η τιμή της μεταβλητής b ελαττώνεται σε όλα τα διαστήματα, συμπίπτοντας με την παραπάνω έρευνα, εκτός από το 2% έως το 3% w/w, όπου αυξάνεται ελάχιστα.



ΓΡΑΦΗΜΑ 8

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 8 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Συγκεκριμένα, τα διαλύματα αμύλου εμφανίζουν σταδιακή αύξηση της φωτεινότητας μέχρι την 3% w/w συγκέντρωση αμύλου πατάτας, η οποία αποτελεί την μέγιστη τιμή φωτεινότητας, ενώ στη συνέχεια παρατηρείται μια πτώση μέχρι το 5% w/w. Όσον αφορά τα μείγματα αμύλου και ζελατίνης, η φωτεινότητα στις συγκεντρώσεις 1% έως 2% w/w αυξάνεται, στις 2% έως 3% w/w μειώνεται και έπειτα αυξάνεται. Σημαντικό να αναφερθεί ότι η φωτεινότητα στη συγκέντρωση 5% w/w στο μείγμα αμύλου και ζελατίνης καθώς και στο πήγμα αμύλου συμπίπτουν. Το πήγμα που περιέχει μόνο ζελατίνη απεικονίζεται με φωτεινότητα παρόμοιας τιμής με το πήγμα αμύλου συγκέντρωσης 4% w/w.

Τα ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 5 και 8 παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Αρχικά, η μέγιστη και η ελάχιστη φωτεινότητα στο πήγμα αμύλου χωρίς υπερήχους παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις 4% w/w και 2% w/w αντίστοιχα, ενώ με υπερήχους μετατοπίζονται στις 3% w/w και 1% w/w. Στα μείγματα αμύλου και ζελατίνης 3% w/w, η μέγιστη και η ελάχιστη φωτεινότητα χωρίς υπερήχους παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις 4% w/w και 3% w/w, ενώ με υπερήχους

μετατοπίζονται στη 2% w/w και 3% w/w αντίστοιχα. Το πήγμα ζελατίνης που έχει υποστεί τη χρήση των υπερήχων έχει μεγαλύτερη φωτεινότητα σε σχέση με το αντίστοιχο πήγμα χωρίς την επίδραση των υπερήχων.



ΓΡΑΦΗΜΑ 9

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 9 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Παρατηρείται ότι οι τιμές της μεταβλητής a στις συγκεντρώσεις 1% w/w και 5% w/w στο πήγμα αμύλου και στο μείγμα αμύλου και ζελατίνης συμπίπτουν. Επιπλέον, από τη συγκέντρωση 1% w/w έως την 3% w/w στα διαλύματα αμύλου η τιμή της μεταβλητής a αυξάνεται, ενώ στα μείγματα αμύλου και ζελατίνης μειώνεται. Η μεταβλητή a στα διαλύματα αμύλου στη συνέχεια ελαττώνεται μέχρι την 4% w/w συγκέντρωση και αυξάνεται μέχρι την 5% w/w. Αντίθετα, στα μείγματα αμύλου και ζελατίνης πρώτα μειώνεται μέχρι την 4% w/w περιεκτικότητα και αυξάνεται μέχρι την 5% w/w περιεκτικότητα αμύλου πατάτας. Τέλος, το πήγμα ζελατίνης εμφανίζει μια ενδιάμεση τιμή της μεταβλητής a , παρόμοια με την περιεκτικότητα 4% w/w στο πήγμα αμύλου.

Συγκρίνοντας τα ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 6 και 9 παρατηρούνται μεγάλες διαφορές. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής a^* στο πήγμα αμύλου χωρίς την επίδραση των υπερήχων παρουσιάζεται στις συγκεντρώσεις 2%

w/w και 4% w/w αντίστοιχα, ενώ με υπερήχους μετατοπίζονται στις 1% w/w και 3% w/w. Στα μείγματα αμύλου και ζελατίνης 3% w/w, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής a χωρίς υπερήχους παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις 1% w/w και 4% w/w, ενώ με τη χρήση υπερήχων μετατοπίζονται στη 3% w/w και 5% w/w αντίστοιχα. Το πήγμα ζελατίνης που έχει υποστεί τη χρήση των υπερήχων έχει μικρότερη τιμή στη μεταβλητή a σε σχέση με το αντίστοιχο πήγμα χωρίς την επίδραση των υπερήχων.



ΓΡΑΦΗΜΑ 5

Στο παραπάνω ΓΡΑΦΗΜΑ 10 περιγράφονται τα αποτελέσματα των δειγμάτων με άμυλο πατάτας συγκεντρώσεων (1%, 2%, 3%, 4%, 5% w/w) και μειγμάτων ζελατίνης 3% w/w με ίδιες συγκεντρώσεις αμύλου πατάτας. Όλα τα παραπάνω δείγματα έχουν υποστεί επεξεργασία με υπερήχους. Συγκεκριμένα, η τιμή της μεταβλητής b των διαλυμάτων αμύλου με συγκέντρωση αμύλου πατάτας από 1% w/w έως 2% w/w και από 4% w/w έως 5% w/w αυξάνεται, ενώ στο διάστημα από 2% w/w έως 4% w/w μειώνεται απότομα παίρνοντας και αρνητικές τιμές. Στην περίπτωση του μείγματος αμύλου και ζελατίνης, μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων παρατηρείται μια εναλλαγή αύξησης και μείωσης της τιμής β . Στο πρώτο διάστημα η μεταβλητή b ελαττώνεται και ακολουθούν τα υπόλοιπα διαστήματα εναλλάξ. Σημαντικό να αναφερθεί ότι η τιμή τη μεταβλητής b συμπίπτει μεταξύ του διαλύματος αμύλου και του μείγματος αμύλου και ζελατίνης. Το πήγμα

ζελατίνης παρουσιάζει τιμή b παρόμοια με την 2% w/w περιεκτικότητα αμύλου πατάτας στο πήγμα αμύλου.

Τα ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ 7 και 10 παρουσιάζουν αρκετές διαφορές. Αρχικά, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής b στο πήγμα αμύλου χωρίς υπερήχους παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις 2% w/w και 3% w/w αντίστοιχα, ενώ με υπερήχους μετατοπίζονται στις 2% w/w και 4% w/w. Στα μείγματα αμύλου και ζελατίνης 3% w/w, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της μεταβλητής b χωρίς υπερήχους παρουσιάζονται στις συγκεντρώσεις 1% w/w και 4% w/w, ενώ με υπερήχους μετατοπίζονται στη 5% w/w και 2% w/w αντίστοιχα. Το πήγμα ζελατίνης που έχει υποστεί τη χρήση των υπερήχων έχει τη μικρότερη τιμή της μεταβλητής b σε σχέση με το αντίστοιχο πήγμα χωρίς την επίδραση των υπερήχων.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έπειτα από τις μετρήσεις δομής, θολερότητας και χρώματος σε μείγματα αμύλου πατάτας με ζελατίνη 3% w/w και πήγματα αμύλου πατάτας 1%, 2%, 3%, 4% και 5% w/w περιεκτικότητας, με και χωρίς τη χρήση υπερήχων, καταγράφονται τα εξής συμπεράσματα:

- Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αμύλου σε πήγματα αμύλου πατάτας 1%, 2%, 3%, 4% και 5% w/w, τόσο αυξάνεται η δύναμη παραμόρφωσης (F_{max}).
- Η εφαρμογή των υπερήχων σε πήγματα αμύλου πατάτας 1%, 2%, 3%, 4% και 5% w/w περιεκτικότητας, δεν μετέβαλλαν τις τιμές της δύναμης παραμόρφωσης σε σχέση με τα αντίστοιχα χωρίς τη χρήση υπερήχων.
- Οι υπέρηχοι αύξησαν σε μεγάλο βαθμό τη τιμή της δύναμης παραμόρφωσης στο πήγμα ζελατίνης με 3% w/w συγκέντρωση, σε σχέση με το αντίστοιχο χωρίς τη χρήση υπερήχων.
- Η εφαρμογή των υπερήχων σε μείγματα αμύλου πατάτας συγκεντρώσεων 1%, 2%, 3%, 4% και 5% w/w με ζελατίνη 3% w/w περιεκτικότητας, δεν μετέβαλλαν τις τιμές της θολερότητας σε σχέση με τα αντίστοιχα χωρίς τη χρήση υπερήχων.
- Η επίδραση των υπερήχων μετέτρεψε το πήγματα αμύλου πατάτας περιεκτικότητας 1% w/w σε διαυγές, σε σύγκριση με το αντίστοιχο χωρίς την επίδραση των υπερήχων, που εμφάνιζε τη μικρότερη θολερότητα σε σχέση με τις άλλες συγκεντρώσεις.
- Οι υπέρηχοι αύξησαν τη φωτεινότητα στα πήγματα αμύλου πατάτας 2%, 3%, 4% και 5% w/w και τη μείωσαν αρκετά στη συγκέντρωση 1% w/w, όπου η φωτεινότητα είχε τη χαμηλότερη τιμή.
- Η επίδραση των υπερήχων μείωσε τη τιμή της μεταβλητής a^* στο μείγμα με 0% w/w άμυλου πατάτας με 3% w/w ζελατίνης.
- Οι υπέρηχοι αύξησαν τις τιμές της μεταβλητής a^* στα μείγματα αμύλου πατάτας και ζελατίνης 3% w/w, με εμφανής αυτή στο 3% w/w συγκέντρωση.

- Μεγάλη μείωση τιμών της μεταβλητής α^* προκάλεσαν οι υπέρηχοι στο πηγάμα αμύλου περιεκτικότητας 3% w/w, ενώ οι υπόλοιπες συγκεντρώσεις αυξήθηκαν.
- Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του αμύλου σε μείγματα αμύλου και ζελατίνης 3% w/w, τόσο μειώνονται οι τιμές της μεταβλητής α^* , εκτός από τη συγκέντρωση 5% w/w.
- Η επίδραση των υπερήχων μείωσε την τιμή της μεταβλητής b^* στο μείγμα με 0% w/w άμυλου πατάτας με 3% w/w ζελατίνης, προσδιορίζοντας τη χαμηλότερη τιμή b^* σε αυτό το μείγμα.
- Οι υπέρηχοι μείωσαν τις τιμές της μεταβλητής b^* στο μείγμα αμύλου πατάτας 0% w/w με ζελατίνη 3% w/w, ενώ αύξησαν τη συγκέντρωση 5% w/w αμύλου πατάτας με ζελατίνη 3% w/w.
- Η επίδραση των υπερήχων στη πλειοψηφία των συγκεντρώσεων των πηγμάτων αμύλου αύξησε τις τιμές της μεταβλητής b^* , με εξαίρεση τη συγκέντρωση 4% w/w που μειώθηκε αρκετά.

BIBΛIOΓPAΦIA

ΞΕΝΗ

- ❖ Ahmad T., Ismail A., Ahmad S.A., Khalil K.A., Kumar Y., Adeyemi K.D., 2017, Recent advances on the role of process variables affecting gelatin yield and characteristics with special reference to enzymatic extraction: A review, *Food Hydrocolloids*, pp. 85-96.
- ❖ Aleksandr Podshivalov, Mariia Zakharova, Ekaterina Glazacheva, Mayya Uspenskaya, 2017, Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties, *Carbohydrate Polymers*, pp. 1162-1172.
- ❖ Ali Hamzeh, Soottawat Benjakul, Thanasak Sae-leaw, Sittichoke Sinthusamran, 2018, Effect of drying methods on gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skins, *Food Bioscience*, pp. 96-103.
- ❖ Amini A.M. , Razavi S.M.A. , Mortazavi S.A. , 2015, Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch, *Carbohydr. Polym.*, pp. 282-292.
- ❖ Anet Režek Jambrak, Zoran Herceg, Drago Šubarić, Jurislav Babić, Mladen Brnčić, Suzana Rimac Brnčić, Tomislav Bosiljkov, Domagoj Čvek, Branko Tripalo, Jurica Gelo, 2010, Ultrasound effect on physical properties of corn starch, *Carbohydrate Polymers*, pp. 91-100.
- ❖ Appelqvist I.A.M. , Debet M.R.M., 1997, Starch–biopolymer interactions: a review, *Food Reviews International*, pp. 163-224.
- ❖ Badii F., Howell N.K. , 2006, Fish gelatin: Structure, gelling properties and interaction with egg albumen proteins, *Food Hydrocolloids*, pp. 630-640.
- ❖ Bai W., Hébraud P., Ashokkumar M., Hemar Y., 2016, Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment, *Ultrason. Sonochem.*, pp. 547-555.
- ❖ Baldwin P.M., 2001, Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review, *Starch/Stärke*, pp. 475-503.

- ❖ Ball S., Guan H.P., James M., Myers A., Keeling P., Mouille G., 1996, From glycogen to amylopectin: A model for the biogenesis of the plant starch granule, *Cell*, pp. 349-352.
- ❖ Banks W., Greenwood C.T., 1975, *Starch and Its Components*, Edinburgh University Press, Edinburgh.
- ❖ Baum B.R., Bailey L.G., 1987, A survey of endosperm starch granules in the genus *Hordeum*: a study using image analytic and numerical taxonomic techniques, *Canadian Journal of Botany*, pp. 1563-1566.
- ❖ Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P., 2009, *Food chemistry* (4th ed.), Springer Verlag, Leipzig, Germany.
- ❖ Benjakul S., Kittiphattanabawon P., Regenstein J.M., 2012, Fish gelatin, B.K. Simpson (Ed.), *Food biochemistry and food processing*, pp. 388-405.
- ❖ Bemiller J.N., 2011, Pasting, paste, and gel properties of starch-hydrocolloid combinations, *Carbohydrate Polymers*, pp. 386-423.
- ❖ BeMiller J.N., Huber K.C., 2015, Physical modification of food starch functionalities, *Annual Review of Food Science and Technology*, pp. 19-69.
- ❖ Benichou A., Aserin A., N. Garti N., 2002, Protein-polysaccharide interactions for stabilization of food emulsions, *Journal of Dispersion Science and Technology*, pp. 93-123.
- ❖ Bilbao-Sáinz C., Butler M., Weaver T., Bent J., 2007, Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating, *Carbohydrate Polymers*, pp. 224-232.
- ❖ Biliaderis C.G., 1998, Structures and phase transitions of starch polymers, R.H. Walter (Ed.), *Polysaccharide Association Structures in Foods*, pp. 57-168.
- ❖ Bruno Felipe Bergel, Samara Dias Osorio, Luana Machado da Luz, Ruth Marlene Campomanes Santana, 2018, *Carbohydrate Polymers*, pp. 106-114.
- ❖ Chalothorn K., Warisnoicharoen W., 2012, Ultrasonic emulsification of whey protein isolate-stabilized nanoemulsions containing omega-3 oil from plant seed, *Am. J. Food Technol.*, pp. 532-541.

- ❖ Chen W., Zhou H., Yang H., Cui M., 2015, Effects of charge-carrying amino acids on the gelatinization and retrogradation properties of potato starch, *Food Chemistry*, pp. 180-184.
- ❖ Chen Zhanga, Jung-Ah Hanb, Seung-Taik Lima, 2018, Characteristics of some physically modified starches using mild heating and freeze-thawing, *Food Hydrocolloids*, pp. 894-901.
- ❖ Cheng Sow Li, Jia Min Nicole Chong, Qiu Xu Liao, Hongshun Yang, 2018, Effects of κ -carrageenan on the structure and rheological properties of fish gelatin, *Journal of Food Engineering*, pp. 92-103.
- ❖ Cho S., Kwak K., Park D., Gu Y., Ji C., Jang D., 2004, Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage, *Food Hydrocolloids*, pp. 573-579.
- ❖ Da Trindade Alfaro, E.Balbinot, C.I. Weber, I.B. Tonial, A. Machado-Lunkes, 2015, Fish gelatin: Characteristics, functional properties, applications and future potentials, *Food Engineering Reviews*, pp. 33-44.
- ❖ Derkach S. R., Voron'ko N. G., Yu. A. Kuchina, Kolotova D. S., Gordeeva A. M., Faizullin D. A., Yu. A. Gusev, Yu. F. Zuev, Makshakova O. N., 2018, Molecular structure and properties of κ -carrageenan-gelatin gels, *Carbohydrate Polymers*, pp. 66-74.
- ❖ Díaz Calderóna P., Mac Naughtanb B., Hillb S., Fosterb T., Enrionea J., Mitchellb J., 2018, Changes in gelatinisation and pasting properties of various starches (wheat, maize and waxy maize) by the addition of bacterial cellulose fibrils, *Food Hydrocolloids*, pp. 274-280.
- ❖ Domingos De Sousa F., Holanda-Araújo M.L. , Rodrigues De Souza J.R. , De Souza Miranda R., Almeida R.R. , Gomes-Filho E., Pontes-Ricardo N.M. , Oliveira Monteiro-Moreira A.C., De Azevedo Moreira R., 2017, Physicochemical properties of edible seed hemicelluloses.
- ❖ Duconseille, T. Astruc, N. Quintana, F.Meersman, V. Sante-Lhoutellier, 2015, Gelatin structure and composition linked to hard capsule dissolution: A review, *Food Hydrocolloids*, pp. 360-376.

- ❖ Duconseille, D. Andueza, F. Picard, V.Santé-Lhoutellier, T. Astruc, 2016, Molecular changes in gelatin aging observed by NIR and fluorescence spectroscopy, *Food Hydrocolloids*, pp. 496-503.
- ❖ Duconseille, D. Andueza, F. Picard, V.Santé-Lhoutellier, T. Astruc, 2017, Variability in pig skin gelatin properties related to production site: A near infrared and fluorescence spectroscopy study, *Food Hydrocolloids*, pp. 108-119.
- ❖ Duconseille Anne, Wien Frank, Fabrice Audonnet, Amidou Traore, Matthieu Refregiers, Thierry Astruc, Veronique Santé-Lhoutellier, 2017, The effect of origin of the gelatine and ageing on the secondary structure and water dissolution, *Food Hydrocolloids*, pp. 378-388.
- ❖ Ebun-Oluwa Oladele, 2015, An enzymatic method for assessing the degree of gelatinisation in plantain (musa AAB) foods in situ, *Food Bioscience*, pp. 107-113.
- ❖ Emes M.J., Bowsher C.G., Hedley C., Burrell M.M., Scrase-Field E.S.F., Tetlow I.J., 2003, Starch synthesis and carbon partitioning in developing endosperm, *Journal of Experimental Botany*, pp. 569-575.
- ❖ Emmanuel Ogunsona, Ewomazino Ojogbo, Tizazu Mekonnen, 2018, Advanced material applications of starch and its derivatives, *European Polymer Journal*, pp. 570-581.
- ❖ Fenghui Zhang, Ling Fang, Chenjie Wang, Liu Shi, Tong Chang, Hong Yang, Min Cui, 2013, Effects of starches on the textural, rheological, and color properties of surimi–beef gels with microbial transglutaminase, *Meat Science*, pp. 533-537.
- ❖ Firoozmand H., Murray B.S., Dickinson E., 2012, Microstructure and elastic modulus of mixed gels of gelatin + oxidized starch: Effect of pH, *Food Hydrocolloids*, pp. 286-292.
- ❖ Gallant D. , Degrois M., Sterling C., Massy A.G., 1972, Microscopic effects of ultrasound on the structure of potato starch: preliminary study, *Starch/Stärke*, pp. 116-123.
- ❖ Qiang H., Lin L., Xiong F., 2007, Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules, *Starch/Stärke*, pp. 371-378.

- ❖ Gudipati V., 2013, Fish gelatin: A versatile ingredient for the food and pharmaceutical industries, *Marine Proteins and Peptides: Biological Activities and Applications* pp. 271-295.
- ❖ Higuera-Barraza O.A., Del Toro-Sanchez C.L., Ruiz-Cruz S., Márquez-Ríos E., 2016, Effects of high-energy ultrasound on the functional properties of proteins, 2016, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 558-562.
- ❖ Hizukuri S., 1986, Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin and its significance, *Carbohydrate Research*, pp. 342-347.
- ❖ Hu H., Wu J., Li-Chan E.C.Y., Zhu L., Zhang F., Xu X., Pan S., 2013, Effects of ultrasound on structural and physical properties of soy protein isolate (SPI) dispersions, *Food Hydrocolloids*, pp. 647-655.
- ❖ Huang T., Tu Z.c., Wang H., Shangguan X., Zhang L., Zhang N.-h., et al., 2017, Pectin and enzyme complex modified fish scales gelatin: Rheological behavior, gel properties and nanostructure, *Carbohydrate Polymers*, pp. 294-302.
- ❖ Intarasirisawat R., Benjakul S., Visessanguan W., Prodpran T., Tanaka M., Howell N.K., 2007, Autolysis study of bigeye snapper (*Priacanthus macracanthus*) skin and its effect on gelatin, *Food Hydrocolloids*, pp. 537-544.
- ❖ Jambrak A.R. , Mason T.J. , Lelas V. , Herceg Z., Herce I.L. , 2008, Effect of ultrasound treatment on solubility and foaming properties of whey protein suspensions, *J. Food Eng.*, pp. 281-287.
- ❖ Jane J., Chen Y.Y., Lee L.F., Mc Pherson A.E., Wong K.S., Radosavljevic M., Kasemsuwan T., 1999, Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinisation and pasting properties of starch, *Cereal Chemistry*, pp. 629-637.
- ❖ Kaewdang O., Benjakul S., 2015, Effect of ethanolic extract of coconut husk on gel properties of gelatin from swim bladder of yellowfin tuna, *LWT-Food Science and Technology*, pp. 955-961.
- ❖ Kaewruang P., Benjakul S., Prodpran T., 2014, Characteristics and gelling property of phosphorylated gelatin from the skin of unicorn leatherjacket, *Food Chemistry*, pp. 591-596.

- ❖ Kamila Kapusniak (Jochym), Ewa Nebesny, 2017, Enzyme-resistant dextrans from potato starch for potential application in the beverage industry, *Carbohydrate Polymers*, pp. 152-158.
- ❖ Kamran Alvani, Xin Qi, Richard F. Tester, Colin E. Snape, 2011, Physico-chemical properties of potato starches, *Food Chemistry*, pp. 958-965.
- ❖ Kang N., Zuo Y.J., Hilliou L., Ashokkumar M., Hemar Y., 2016, Viscosity and hydrodynamic radius relationship of high-power ultrasound depolymerised starch pastes with different amylose content, *Food Hydrocolloids*, pp. 183-191.
- ❖ Karathanos V.T., Saravacos G.D., 1993, Porosity and pore size distribution of starch materials, *J. Food Eng.*, pp. 259-280
- ❖ Karim, R. Bhat, 2009, Fish gelatin: Properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins, *Food Hydrocolloids*, pp. 563-576.
- ❖ Kasemsuwan T., Jane J.L., 1996, Quantitative method for the survey of starch phosphate derivatives and starch phospholipids by P-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy, *Cereal Chemistry*, pp. 702-707.
- ❖ Khanna S., Tester R.F., 2006, Influence of purified konjac glucomannan on the gelatinisation and retrogradation properties of maize and potato starches, *Food Hydrocolloids*, pp.567-576.
- ❖ Khomutov L.I., Lashek N.A., Ptitchkina N.M., Morris E.R., 1995, Temperature-composition phase diagram and gel properties of the gelatin-starch-water system, *Carbohydrate Polymers*, pp. 341-345.
- ❖ Lanier T.C., 1986, Functional properties of surimi, *Food Technology*, pp. 107-114.
- ❖ Ledward D.A. , 1986, Gelation of gelatin, *Functional properties of food macromolecules*, pp. 171-201.
- ❖ Lee C.M. , Wu M.C. , Okada M., 1992, Ingredient and formulation technology for surimi-based products, *Surimi technology*, Marcel Dekker, Inc., pp. 273-302.

- ❖ Les Copeland, Jaroslav Blazek, Hayfa Salman, Mary Chiming, Tang, 2009, Form and functionality of starch, *Food Hydrocolloids*, pp. 1527-1534.
- ❖ Lii C.Y. , M.L. Tsai M.L. , Tseng K.H. , 1996, Effect of amylose content on the rheological property of rice starch, *Cereal Chemistry*, pp. 415-420.
- ❖ Lineback D.R. , 1984, The starch granule: organisation and properties, *Bakers Digest*, pp. 16-21.
- ❖ Liu H., Yu L. , Xie F., Chen L., 2006, Gelatinization of cornstarch with different amylose/amylopectin content, *Carbohydrate Polymers*, pp. 357-363.
- ❖ Liu H.-L., C.-M. Hsieh, 2009, Single-transducer dual-frequency ultrasound generation to enhance acoustic cavitation, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 431-438.
- ❖ López O.V., Castillo L.A., Garcia M.A., Villar M.A., Barbosa S.E., 2015, Food packaging bags based on thermoplastic corn starch reinforced with talc nanoparticles, *Food Hydrocolloids*, pp. 18-24.
- ❖ Mallakpour Shadpour, Khodadadzadeh Leila, 2018, Fructose functionalized MWCNT as a filler for starch nanocomposites: Fabrication and characterizations, *Progress in Organic Coatings*, pp. 244-249.
- ❖ Marta Martínez-Sanz, María José Fabra, Laura G. Gómez-Mascaraque, Amparo López-Rubio, 2018, Structural effects of microalgae additives on the starch gelatinisation process, *Food Hydrocolloids*, pp. 257-269.
- ❖ Masina N., Choonara Y.E., Kumar P., du Toit L.C., Govender M., Indermun S., 2017, A review of the chemical modification techniques of starch, *Carbohydrate Polymers*, pp. 1226-1236.
- ❖ Mekonnen T., Fermented Soymeals M., 2016, Their reactive blends with poly(butylene adipate-co-terephthalate) in engineering biodegradable cast films for sustainable packaging, *Acs Sustain. Chem. Eng.*, pp. 782-793.

- ❖ Miles M.J., Morris V.J., Orford P.D., Ring S.G., 1985, The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch, *Carbohydrate Research*, pp. 271-281.
- ❖ Monika Sujka, 2017, Ultrasonic modification of starch – Impact on granules porosity, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 424-429.
- ❖ Morrison W.R., Karkalas J., 1990, Starch, *Methods in Plant Biochemistry*, pp. 323-352.
- ❖ Muthuraj R., Mekonnen T., 2018, Carbon dioxide derived poly (propylene carbonate) polymer for composites and nanocomposites: performance, biodegradation and applications.
- ❖ Nagarajan M., Benjakul S., Prodpran T., Songtipya P., 2013, Effects of bleaching on characteristics and gelling property of gelatin from splendid squid (*Loligo formosana*) skin, *Food Hydrocolloids*, pp. 447-452.
- ❖ Oliver Kötting, Jens Kossmann, Samuel C Zeeman, James R Lloyd, 2010, Regulation of starch metabolism: the age of enlightenment?, *Current Opinion in Plant Biology*, pp. 320-328.
- ❖ Park J.W., Whiteside W.S., Cho S.Y., 2008, Mechanical and water vapor barrier properties of extruded and heat-pressed gelatin films, *LWT—Food Science and Technology*, pp. 692-700.
- ❖ Paredes-Lopez O., Bello-Perez L. A. and Lopez M. G., 1994. Amylopectin: Structural, gelatinisation and retrogradation studies. *Food Chemistry* , pp. 411-417.
- ❖ Pengfei Liu, Rui Wang, Xuemin Kang, Bo Cui, Bin Yu, 2018, Effects of ultrasonic treatment on amylose-lipid complex formation and properties of sweet potato starch-based films, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 215-222.
- ❖ Pettier C., Jeunet A., Luche J., Reverdy G., 1992, Unexpected frequency effects on the rate of oxidative processes induced by ultrasound, *J. Am. Chem. Soc.*, pp. 3148-3150.
- ❖ Pfister B., Zeeman S.C. , 2016, Formation of starch in plant cells, *Cellular and Molecular Life Sciences*, pp. 2781-2807.

- ❖ Piengtawan Tappiban, Duncan R.Smithb, Kanokporn Triwitayakornbc, Jinsong Baoa, 2019, Recent understanding of starch biosynthesis in cassava for quality improvement: A review, *Trends in Food Science & Technology*, pp. 167-180.
- ❖ Pradal D., Vauchel P., Decossin S., Dhulster P., Dimitrov K., 2016, Kinetics of ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from food by-products: Extraction and energy consumption optimization, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 137-146.
- ❖ Richard F. Tester, John Karkalas, Xin Qi, 2004, Starch—composition, fine structure and architecture, *Journal of Cereal Science*, pp. 151-165.
- ❖ Saithong T., Rongsirikul O., Kalapanulak S., Chiewchankase P., Siriwat W., Netrphan S., et al., 2013, Starch biosynthesis in cassava: A genome-based pathway reconstruction and its exploitation in data integration *BMC, Systems Biology*, pp. 75.
- ❖ Schmitt C., Sanchez C., Desobry-Banon S., Hardy J., 1998, Structure and technofunctional properties of protein-polysaccharide complexes: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, pp. 689-753
- ❖ Schmitt C., Turgeon S.L. , 2011, Protein/ polysaccharide complexes and coacervates in food systems, *Advances in Colloid and Interface Science*, pp. 63-70.
- ❖ Sha X.M., Tu Z.C., Liu W., Wang H., Shi Y., Huang T., et al., 2014, Effect of ammonium sulfate fractional precipitation on gel strength and characteristics of gelatin from bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) scale, *Food Hydrocolloids*, pp. 173-180.
- ❖ Sheela, 2014, Gelatin market-global industry analysis, size, share, growth, trends and forecast, 2012-2018.
- ❖ Shyam S., 2009, Gelatinization of starch, *Food properties handbook* (second edition).
- ❖ Sing K.S., Everett D.H., Haul R.A.W., Moscou L., et al., 1985, Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity, *Pure Appl. Chem.*, pp. 603-619.

- ❖ Singh J., Colussi R., McCarthy O.J., Kaur L., 2016, Potato starch and its modification, *Advances in potato chemistry and technology* (2nd ed.), pp. 195-247.
- ❖ Sobral P.J.A., Menegalli F.C., Hubinger M.D., Roques M.A., 2001, Mechanical, water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films, *Food Hydrocolloids*, pp. 423-432.
- ❖ Soykeabkaew N., Thanomsilp C., Suwantong O., 2015, A review: Starch-based composite foams, *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, pp. 246-263.
- ❖ Sujka M., Jamroz J., 2009, A-Amylolysis of native potato and corn starches – SEM, AFM, nitrogen and iodine sorption investigations, *LWT*, pp. 1219-1224.
- ❖ Takeda Y., Shibahara S., Hanashiro I., 2003, Examination of the structure of amylopectin molecules by fluorescent labeling, *Carbohydrate Research*, pp. 471-475.
- ❖ Tanbir Ahmadag, Amin Ismailbf, Siti A.Ahmadc, Khalilah A.Khalild, Leo T.Keea, Elmutaz A.Awadei, Kazeem D.Adeyemiah, Awis Q.Saziliaef, 2018, Autolysis of bovine skin, its endogenous proteases, protease inhibitors and their effects on quality characteristics of extracted gelatin, *Food Chemistry*, pp. 1-8.
- ❖ Tao Huang, Zong-cai Tu, Xinchun Shangguan, Xiaomei Sha, Hui Wang, Lu Zhang, Nidhi Bansal, 2019, Fish gelatin modifications: A comprehensive review, *Trends in Food Science & Technology*, pp. 260-269.
- ❖ Tester, R. F. (1989). The swelling and gelatinisation properties of cereal starches. PhD Thesis, University of Strathclyde, Glasgow.
- ❖ Tester, R.F., Karkalas, J., 2002. Starch. In: Steinbüchel, A. (Series Ed.) Vandamme, E.J., De Baets, S., Steinbüchel, A. (vol. Eds.), *Biopolymers*, vol. 6. Polysaccharides. II. Polysaccharides from Eukaryotes, Wiley–VCH, Weinheim, pp. 381–438.
- ❖ Tetlow I.J., Emes M.J., 2014, A review of starch-branching enzymes and their role in amylopectin biosynthesis, *IUBMB Life*, pp. 546-558.

- ❖ The United States Pharmacopeia–National Formulary, 2012, Revision bulletin, Chapter 711 dissolution, pp. 1-8.
- ❖ Thomazine M., Carvalho R.A., Sobral P.J.A., 2005, Physical properties of gelatin films plasticized by blends of glycerol and sorbitol, *Journal of Food Science*, pp. E172-E176.
- ❖ Turgeon S.L., Laneuville S.I., 2009, Protein + Polysaccharide coacervates and complexes: From scientific background to their application as functional ingredients in food products, *Modern biopolymer science*, pp. 327-363.
- ❖ Varavinit S., Shobsngob S., Varayanond W., Chinachoti P., Naivikul O., 2003, Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice, *Starch-Stärke*, pp. 410-415.
- ❖ Vate N.K., Benjakul S., Prodpran T., 2017, Effect of melanin-free ink on mechanical properties and yellow discolouration of protein film from washed sardine mince, *Food Biophysics*, pp. 164-171.
- ❖ Walkenström P., Hermansson A., 1998, Effects of shear on pure and mixed gels of gelatin and particulate whey protein, *Food Hydrocolloids*, pp. 77-87.
- ❖ Wenzhe Bai, Pascal Hébraud, Muthupandian Ashokkumar, Yacine Hemar, 2017, Investigation on the pitting of potato starch granules during high frequency ultrasound treatment, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 547-555.
- ❖ Yang H., Park J.W., 1998, Effects of starch properties and thermal-processing conditions on surimi–starch gels, *LWT—Food Science and Technology*, pp. 344-353.
- ❖ Yashushi Y.B., Takenouchi T., Takeda Y., 2002, Molecular structure and some physicochemical properties of waxy and low-amylose barley starches, *Carbohydrate Polymers*, pp. 159-167.
- ❖ Yu Cheng, Prince Ofori Donkor, Xiaofeng Ren, Juan Wu, Kwabena Agyemang, Ishmael Ayim, Haile Ma, 2019, Effect of ultrasound pretreatment with mono-frequency and simultaneous dual frequency on

the mechanical properties and microstructure of whey protein emulsion gels, *Food Hydrocolloids*, pp. 434-442.

- ❖ Yuliana Monroy, Sandra Rivero, María A. García, 2018, Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound, *Ultrasonics Sonochemistry*, pp. 795-804.
- ❖ Zhang Y. and Simsek S., 2009. Physicochemical changes of starch in refrigerated dough during storage. *Carbohydrate Polymers* 78:268-274.
- ❖ Zhou J., Ma Y., Ren L., Tong J., Liu Z., Xie L., 2009, Preparation and characterization of surface crosslinked TPS/PVA blend films, *Carbohydrate Polymers*, pp. 632-638.
- ❖ Zhu F., 2015, Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch, *Carbohydrate Polymers*, pp. 456-480.
- ❖ Zuo Y.Y.J., Hébraud P., Hemar Y., Ashokkumar M., 2012, Quantification of high-power ultrasound induced damage on potato starch granules using light microscopy, *Ultrason. Sonochem.*, pp. 421-426.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- ❖ Ανδρικόπουλος Ν. Κ.. 2010, Ανάλυση Τροφίμων, Θεωρία Μεθοδολογίας - Οργανολογίας και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Εκδόσεις Μπιστικέα, Αθήνα.
- ❖ Αρβανιτογιάννης Ι. Σ., 2001, Στοιχεία Τεχνολογίας, Μεταποίησης & Συσκευασίας Τροφίμων, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη
- ❖ Βαφοπούλου- Μαστρογιαννάκη, Α. (2003). Βιοχημεία Τροφίμων. Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Καρδούλης Α., Εγκυκλοπαιδικό Λεξικό Τροφίμων & Ποτών, Αθήνα 2003.
- ❖ Μπόσκος Δ., 2004, Χημεία Τροφίμων, Πέμπτη Έκδοση, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- ❖ Πανέρας Ε. Δ., 1996, Επιστήμη και Τεχνολογία Τροφίμων, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων και Περιοδικών, Θεσσαλονίκη.