

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΙΩΡΗΜΑΤΩΝ
ΚΑΙ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕ
ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ**

ΑΝΔΡΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ – ΛΟΓΓΡΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

ΜΕΛΕΤΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΙΩΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ

ΑΝΔΡΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ–ΛΟΓΓΡΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Υποβολή πτυχιακής εργασίας που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πολλές ευχαριστίες από καρδιάς στον εισηγητή κ. Θωμάρεϊ Απόστολο, Καθηγητή του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, για τη συμβολή του στην περάτωση της εν λόγω πτυχιακής εργασίας. Ακόμη, θερμές ευχαριστίες στον κ. Ραφαηλίδη Στυλιανό, Καθηγητή του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης, για τις πολύτιμες υποδείξεις και κατευθύνσεις του κατά την πορεία των πειραματικών εργασιών, καθώς και στην υποψήφια διδάκτορα κα Σουμέλα Χατζηαντωνίου που με προθυμία στάθηκε πιστή αρωγός στην εκπόνηση της έρευνάς μας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το οικογενειακό και φιλικό μας περιβάλλον για την στήριξη και κατανόηση που έδειξαν όλο αυτό το διάστημα της μελέτης μας.

ΜΕΛΕΤΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΙΩΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ
ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΕΣ

ΑΝΔΡΙΚΟΠΟΥΛΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ-ΛΟΓΓΡΟΥ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ

Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, Σχολή Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης,
Τ.Θ. 141, 57400 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εστιάστηκε στην παρασκευή τεσσάρων ομάδων δειγμάτων (αιωρημάτων/πηκτών, πηκτών πρωτεϊνών ορού, γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων και πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού) με την προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών ή μιγμάτων αυτών, οι οποίες ομάδες περιείχαν πολυσακχαρίτες μεμονωμένα (Α) και σε συνδυασμό με πρωτεΐνες ορού (Β) ή κρέμα γάλακτος (Γ), καθώς και πρωτεΐνες ορού με κρέμα γάλακτος (Δ), αντίστοιχα. Μελετήθηκε η επίδραση της προσθήκης πολυσακχαριτών και μιγμάτων αυτών στη ρεολογική συμπεριφορά των ομάδων δειγμάτων, μέσω του προσδιορισμού των ρεολογικών ιδιοτήτων τους, με τη βοήθεια της δοκιμής της ανάλυσης κατατομής υφής (TPA) και ιξωδομετρίας, στα στερεά, καθώς και ρευστά και ημίρρευστα δείγματα, αντίστοιχα.

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις χρώματος και εξετάστηκαν οι συντεταγμένες κλίμακας L^* , a^* , b^* (C.I.E.), όπου προέκυψε ότι τα δείγματα όλων των ομάδων είχαν ικανοποιητική φωτεινότητα και κίτρινη χροιά. Τα δείγματα της ομάδας Α, που όλα περιείχαν καραγενάνη, παρουσίασαν κόκκινη χροιά, ενώ όλα τα δείγματα των υπόλοιπων ομάδων είχαν ελαφρά πράσινη.

Τα αποτελέσματα ιξωδομετρίας, για τις ομάδες Α και Γ, έδειξαν ότι μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασαν τα δείγματα με προσθήκη μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, φανερώνοντας τη συνέργεια μεταξύ των δύο. Όσον αφορά στα δείγματα με προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών, σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασε το δείγμα με ξανθάνη, αμέσως μικρότερα το δείγμα με κόμμι γκουάρ, ενώ χαμηλότερα ιξώδη είχε το δείγμα με κόμμι χαρουπιού.

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής TPA προέκυψε ότι η προσθήκη ξανθάνης/κόμμεος χαρουπιού είχε τη μεγαλύτερη σκληρότητα στις ομάδες Α, Β και Γ. Το δείγμα με προσθήκη καραγενάνης/κόμμεος γκουάρ ήταν το πιο εύθρυπτο σε όλες τις ομάδες. Στην ομάδα Β το δείγμα με ξανθάνη είχε αυξημένη ελαστικότητα, συνεκτικότητα, κομμιώδη υφή και μασητικότητα, σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ το δείγμα με κόμμι γκουάρ είχε υψηλή μέγιστη σκληρότητα, αντοχή, παραμόρφωση στο σημείο θραύσης και συγκολλητικότητα. Αντίστροφα, στην ομάδα Δ το δείγμα με ξανθάνη είχε την υψηλότερη σκληρότητα, ενώ το δείγμα με κόμμι γκουάρ είχε αυξημένη η συγκολλητικότητα, η ελαστικότητα, συνεκτικότητα, κομμιώδη υφή και μασητικότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η συνέργεια καραγενάνης/κόμμεος χαρουπιού και ξανθάνης με κόμμι γκουάρ και χαρουπιού ήταν εμφανής στις περισσότερες ομάδες δειγμάτων, καθώς και ο ανταγωνισμός καραγενάνης/ξανθάνης και καραγενάνης/κόμμεος γκουάρ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	ii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
2.1. Πολυσακχαρίτες	3
2.1.1. Ταξινόμηση και δομή	3
2.1.2. Διαμόρφωση	4
2.1.3 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αλυσίδων.....	6
2.1.4 Ιδιότητες πολυσακχαριτών	8
2.1.5 Φυτικά κόμμεα.....	10
2.2 Συστατικά γάλακτος που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή τροφίμων	18
2.2.1 Πρωτεΐνες ορού	18
2.2.2 Κρέμα γάλακτος	19
2.3 Αλληλεπιδράσεις συστατικών	19
2.3.1 Αλληλεπιδράσεις πολυσακχαριτών	19
2.3.2 Αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών ορού – πολυσακχαριτών	26
2.3.3 Πολυσακχαρίτες σε γαλακτοκομικά προϊόντα	30
2.4 Ρεολογία	32
2.4.1 Ρεολογική συμπεριφορά τροφίμων.....	33
2.4.2 Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων.....	36
2.5 Αξιολόγηση χρώματος.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	41
4.1 Περιγραφή εργαστηριακού εξοπλισμού και πειραματικών μεθόδων.....	41
4.1.1 Παρασκευή ομάδων δειγμάτων	41
4.1.2 Εργαστηριακός αναμίκτης – παστεριωτήρας	43
4.2 Φυσικοχημικές μέθοδοι	44
4.2.1 Προσδιορισμός pH	44
4.2.2 Προσδιορισμός λίπους (Gerber – Van Gulik)	44
4.2.3 Προσδιορισμός υγρασίας.....	45
4.2.4 Προσδιορισμός αλατιού.....	46
4.2.5 Προσδιορισμός πρωτεϊνών κατά Kjeldahl.....	47
4.2.6 Προσδιορισμός χρώματος.....	49

4.3 Ρεολογικές δοκιμές.....	51
4.3.1 Προσδιορισμός φαινομενικού ιξώδους.....	51
4.3.2 Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων με το όργανο Instron	54
4.4 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	58
5.1 Ομάδες δειγμάτων	58
5.2 Χημική σύσταση πρώτων υλών.....	59
5.3 Χημική σύσταση δειγμάτων	59
5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος.....	60
5.5 Αποτελέσματα ιξωδομετρίας.....	65
5.5.1 Φαινομενικό ιξώδες.....	65
5.5.2 Συγκριτικά αποτελέσματα ρεολογικών παραμέτρων	74
5.6 Αποτελέσματα ΤΡΑ.....	78
5.7 Αποτελέσματα απλής γραμμικής παλινδρόμησης.....	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	121
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα ανακατεργασμένα τυριά χρησιμοποιούνται ευρέως στην παγκόσμια αγορά τροφίμων, διότι εμφανίζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων σε σχέση με τα φυσικά τυριά και προσφέρονται σε μεγάλη ποικιλία μορφών και τρόπων χρησιμοποίησης. Έτσι, η προτίμησή τους από το κοινό τα κατατάσσει σε υψηλή κλίμακα κατανάλωσης (Kosikowski, 1997).

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ανακατεργασμένων τυριών είναι ότι δεν υφίστανται αλλοίωση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, καθώς δεν προσβάλλονται από μικροοργανισμούς, εφόσον παρασκευάζονται με θερμική επεξεργασία και διατηρούνται σε κατάλληλες συσκευασίες (Fox, 1984). Στην αγορά διατίθενται σε διάφορες μορφές, όπως για επάλειψη στο ψωμί, για παρασκευή τوست, πίτσας και άλλων τροφίμων, αλλά και για αυτούσια κατανάλωση.

Η βιομηχανία ανακατεργασμένων τυριών στοχεύει σε αύξηση της δυνατότητας ανάπτυξης νέων τύπων προϊόντων, μέσω της ενσωμάτωσης ποικίλων εναλλακτικών συστατικών σε ανακατεργασμένα τυριά, όπως είναι οι πρωτεΐνες ορού και η κρέμα γάλακτος. Το αυξημένο ενδιαφέρον της βιομηχανίας τροφίμων για την αξιοποίηση των πρωτεϊνών ορού, οφείλεται στο ότι αυτές εκτιμώνται ως ισορροπημένη πηγή πρωτεϊνών υψηλής πεπτικότητας και μειωμένης θερμιδικής αξίας (Scherze & Muschiolik, 2001). Κρέμα γάλακτος είναι το προϊόν που λαμβάνεται από το γάλα κατά την αποκορύφωσή του και είναι κυρίως το λίπος. Το λίπος περιέχεται στο γάλα υπό τη μορφή λιποσφαιρίων που είναι διασπαρμένα, σχηματίζοντας συνήθως συσσωματώματα (Μαρτίνου–Βουλασίκη, 1996).

Η ποιότητα των τελικών προϊόντων ανακατεργασμένων τυριών καθορίζεται από την υφή και τη δομή τους, τα οποία προκύπτουν από τη ρεολογική συμπεριφορά αυτών. Για την παρασκευή της καλύτερης δυνατής ποιότητας ανακατεργασμένων τυριών είναι αναγκαίο να μελετηθούν κάποιοι σημαντικοί παράγοντες και παράμετροι τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην τεχνολογία παρασκευής τους. Γι' αυτό το λόγο, είναι αναγκαία η μέτρηση του ιξώδους στο τελικό προϊόν (Smith et al., 1980). Οι μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των

τυριών καθώς και των παραγόντων που τα επηρεάζουν κρίνονται απαραίτητες (Kosikowski, 1997).

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, θα πραγματοποιηθεί παρασκευή μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών με τη χρήση πρωτεϊνών ορού, την προσθήκη κρέμας γάλακτος και προσθήκη διαφόρων ειδών πολυσακχαριτών. Θα μελετηθούν επίσης, ομάδες προϊόντων με τη χρήση των επιμέρους συστατικών (μεμονωμένοι πολυσακχαρίτες σε αιωρήματα/πηκτές και σε συνδυασμό με κρέμα γάλακτος ή πρωτεΐνες ορού, ώστε να αποσαφηνιστεί η επίδρασή τους στις ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στους σταθεροποιητές (πολυσακχαρίτες) και στις ιδιότητες αυτών, στην ταξινόμηση και τη δομή τους, καθώς και σε ορισμένες διαμορφώσεις τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στους σταθεροποιητές, όπως καραγενάνη, κόμμεα ξανθάνης, γκουάρ, χαρουπιού, στον τρόπο δράσης τους και στα συστατικά του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή των δειγμάτων, όπως κρέμα γάλακτος και πρωτεΐνες ορού, καθώς και στη ρεολογική συμπεριφορά των δειγμάτων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η περιγραφή των φυσικοχημικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, η παράθεση των πειραματικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα και συζήτηση, καθώς και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Πολυσακχαρίτες

2.1.1. Ταξινόμηση και δομή

Ο όρος πολυσακχαρίτης αναφέρεται στους υδατάνθρακες εκείνους το μόριο των οποίων αποτελείται από δέκα ή περισσότερα μόρια απλών σακχάρων. Η πλειονότητα των υδατανθράκων της κατηγορίας αυτής είναι μεγαλομοριακές ενώσεις συνιστάμενες από εκατοντάδες ή χιλιάδες δομικές μονάδες. Είναι άμορφες και άγευστες ουσίες, όσες δε από αυτές διαλύονται στο νερό παρέχουν διαλύματα με ιδιότητες κολλοειδών (Κυρανάς, 2011).

Με βάση τη χημική τους σύσταση, οι πολυσακχαρίτες ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες (Ηλιόπουλος, 2007):

- 1) Ομοπολυσακχαρίτες: Το μόριό τους οικοδομείται από δομικές μονάδες του μονοσακχαρίτη. Σε αυτούς κατατάσσεται το άμυλο, η κυτταρίνη και το γλυκογόνο.
- 2) Ετεροπολυσακχαρίτες: Στη δόμηση του μορίου τους συμμετέχουν δύο ή περισσότερα είδη μονοσακχαριτών. Οι πιο κοινοί ετεροπολυσακχαρίτες είναι οι ημικυτταρίνες, οι πηκτινικές ύλες, τα κόμμεα, οι βλέννες και οι ρητίνες.
- 3) Μια τρίτη κατηγορία πολυσακχαριτών αποτελούν οι συζευγμένες ουσίες, το μόριο των οποίων οικοδομείται από υδατάνθρακες και λιπίδια ή πρωτεΐνες.

Οι πολυσακχαρίτες, όπως οι ολιγοσακχαρίτες, αποτελούνται από μονοσακχαρίτες που συνδέονται μεταξύ τους με γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η όξινη υδρόλυσή τους παράγει μονοσακχαρίτες. Μερική χημική και ενζυμική υδρόλυση, εκτός από την πλήρη υδρόλυση, είναι σημαντικές για τη διευκρίνιση της δομής. Η ενζυμική υδρόλυση παρέχει ολιγοσακχαρίτες, η ανάλυση των οποίων διευκρινίζει την αλληλουχία των μονοσακχαριτών και την θέση και τον τύπο των δεσμών. Οι πολυσακχαρίτες (γλυκάνες) μπορούν να αποτελούνται από έναν τύπο δομικής σακχαρικής μονάδας (ομογλυκάνες) ή διαφόρους τύπους σακχαρικών μονάδων (ετερογλυκάνες). Οι μονοσακχαρίτες μπορούν να ενωθούν με γραμμικό τρόπο (όπως στην κυτταρίνη και την αμυλόζη) ή με διακλαδισμένο (αμυλοπηκτίνη, γλυκογόνο, κόμμι γκουάρ). Η συχνότητα των περιοχών διακλάδωσης και το μήκος των πλευρικών αλυσίδων μπορεί να ποικίλουν πολύ

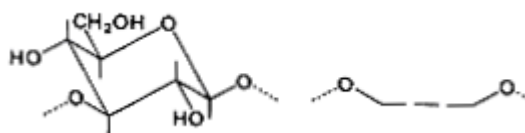
(γλυκογόνο, κόμμα γκουάρ). Η αλληλουχία των μορίων των μονοσακχαριτών μπορεί να είναι περιοδική, όπου μια περίοδος περιέχει μια ή περισσότερες εναλλασσόμενες δομικές μονάδες (κυτταρίνη, αμυλόζη ή υαλουρονικό οξύ), ενώ η αλληλουχία μπορεί να περιέχει πιο βραχέα ή πιο μακριά τμήματα μορίων με περιοδική διάταξη που διαχωρίζονται από μη περιοδικά τμήματα (άλατα αλγινικού οξέος, καραγενάνες, πηκτίνη), ή μπορεί να είναι μη περιοδική σε όλο το μήκος της αλυσίδας, όπως στην περίπτωση των υδατανθρακικών συστατικών στις γλυκο-πρωτεΐνες (Belitz et al., 2006).

2.1.2. Διαμόρφωση

Η δομική μονάδα διαμόρφωσης των μονοσακχαριτών, καθώς και οι θέσεις και οι τύποι των δεσμών στην αλυσίδα καθορίζουν τη διαμόρφωση των αλυσίδων ενός πολυσακχαρίτη. Εκτός από ανώμαλες διαμορφώσεις, είναι γνωστές κανονικές διαμορφώσεις που απεικονίζουν την παρουσία τουλάχιστον μιας μερικώς περιοδικής αλληλουχίας στην αλυσίδα. Μερικές χαρακτηριστικές διαμορφώσεις θα εξηγηθούν στη συζήτηση που ακολουθεί με παραδείγματα ορισμένων πολυσακχαριτών (Belitz et al., 2006).

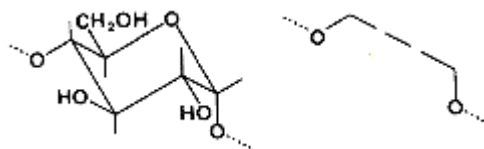
2.1.2.1 Διαμόρφωση τύπου κοινής έλικας

Αυτή η διαμόρφωση είναι χαρακτηριστική για 1,3-συνδεδεμένες-β-D-γλυκο-πυρανοζικές μονάδες όπως συμβαίνει στον πολυσακχαρίτη λεχίνη, που απαντάται σε φυτά τύπου βρυών (λειχήνες) και παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Ο τύπος δείχνει ότι η ελικοειδής διαμόρφωση της αλυσίδας επιβάλλεται από γεωμετρία σχήματος-U των δεσμών μεταξύ μονομερών.



Σχ. 1. Σχηματική παράσταση διαμόρφωσης τύπου κοινής έλικας (λεχίνη) (Belitz et al., 2006).

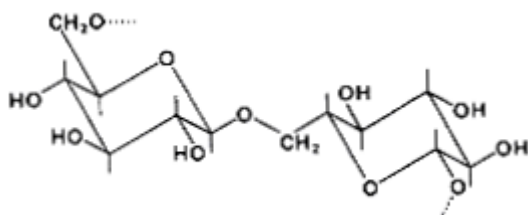
Η αμυλόζη (Σχ. 2.), έχει επίσης μια τέτοια γεωμετρία και ως εκ τούτου ελικοειδή διαμόρφωση.



Σχ. 2. Σχηματική παράσταση διαμόρφωσης τύπου κοινής έλικας (αμυλόζη) (Belitz et al., 2006).

2.1.2.2 Χαλαρά συνδεδεμένη διαμόρφωση

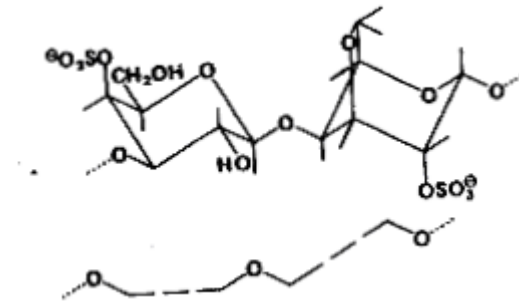
Η διαμόρφωση αυτή είναι τυπική για γλυκάνες με 1,6–συνδεδεμένες β–D–γλυκοπυρανοζυλικές μονάδες (Σχ. 3), επειδή παρουσιάζουν μια ιδιαίτερως μεγάλη ποικιλία στη διαμόρφωση. Η μεγάλη ευελιξία αυτής της διαμόρφωσης τύπου γλυκάνης βασίζεται στη φύση της γέφυρας διασύνδεσης μεταξύ των μονομερών. Η γέφυρα έχει τρεις ελεύθερους περιστροφικούς δεσμούς και επιπλέον τα μόρια των σακχάρων είναι έτι περαιτέρω χώρια.



Σχ. 3. Σχηματική παράσταση χαλαρά συνδεδεμένης διαμόρφωσης. (Belitz et al., 2006)

2.1.2.3 Διαμορφώσεις ετερογλυκάνων

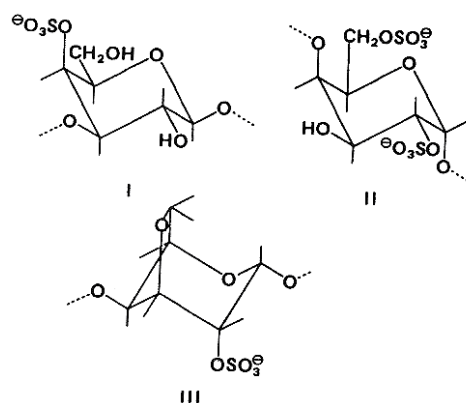
Παραδείγματα που εξετάστηκαν μέχρι τώρα κατέδειξαν ότι η πρόβλεψη για τη διαμόρφωση μιας ομογλυκάνης είναι δυνατή με τη γεωμετρία των δεσμών των μονάδων μονομερών που διατηρούν τις γέφυρες οξυγόνου. Είναι δυσκολότερο να προβλεφθεί η διαμόρφωση μιας ετερογλυκάνης με περιοδική αλληλουχία διαφορετικών μονομερών, η οποία υπονοεί διαφορετικούς τύπους διαμόρφωσης. Μια τέτοια περίπτωση παρουσιάζεται στη ι–καραγενάνη (Σχ. 4), στην οποία οι β–D–γαλακτοπυρανοζυλο–4–θεικές μονάδες έχουν γεωμετρία σχήματος –U, ενώ τα 3,6–άνυδρο–α–D–γαλακτοπυρανοζυλο–2–θεικά μόρια έχουν γεωμετρία zigzag.



Σχ. 4. Σχηματική παράσταση διαμόρφωσης ετερογλυκάνων (ι-καραγενάνη). (Belitz et al., 2006)

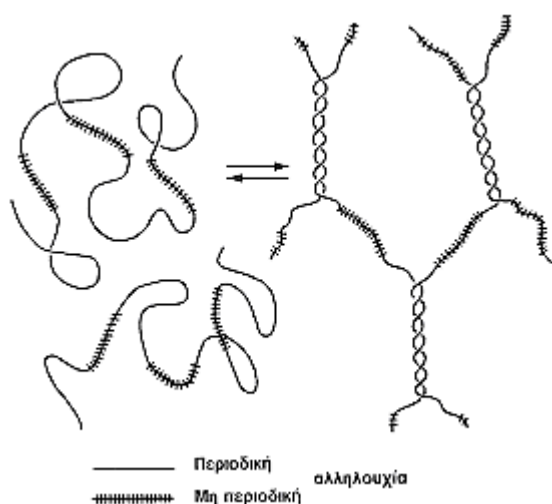
2.1.3 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αλυσίδων

Η περιοδικά διευθετημένη αλληλουχία μονοσακχαριτών σε έναν πολυσακχαρίτη μπορεί να διακοπεί από μη περιοδικά τμήματα. Τέτοιες παρεμβολές στην αλληλουχία οδηγούν σε διατάραξη της διαμόρφωσης. Θα εξηγηθεί λεπτομερέστερα με την ι-καραγενάνη που προαναφέρθηκε, δεδομένου ότι θα ρίξει φως στο μηχανισμό σχηματισμού πηκτής των μακρομορίων γενικά. Αρχικά, κατά τη βιοσύνθεση της καραγενάνης, (Σχ. 5), σχηματίζεται μια περιοδική ακολουθία εναλλασσόμενων μονάδων 4-θειικής β-D-γαλακτοπυρανόζης (I) και 2,6-διθειικής α-D-γαλακτοπυρανόζης (II). Όταν ολοκληρωθεί η βιοσύνθεση της αλυσίδας, μια ενζυμικά καταλύομενη αντίδραση αποβάλλει τα θειικά από τις περισσότερες μονάδες 2,6-διθειικής α-D-γαλακτοπυρανόζης (II), μετασχηματίζοντας τη μονάδα σε 2-θειική 3,6 άνυδρο-α-D-γαλακτοπυρανόζη (III). Ο μετασχηματισμός αυτός συνδέεται με αλλαγή στη γεωμετρία του δεσμού.



Σχ. 5. Σχηματική παράσταση βιοσύνθεσης της καραγενάνης (Belitz et al., 2006).

Κάποια Η-υπολειμματικά μόρια παραμένουν στην ακολουθία, ενεργώντας ως περιοχές παρεμβολής. Ενώ το μη διαταραγμένο, διατεταγμένο τμήμα μιας αλυσίδας μπορεί να συνδεθεί με το ίδιο τμήμα μιας άλλης αλυσίδας, σχηματίζοντας μια διπλή έλικα. Τα μη περιοδικά ή μη διατεταγμένα τμήματα δεν μπορούν να συμμετέχουν σε τέτοιες συνδέσεις (Σχ. 6.).

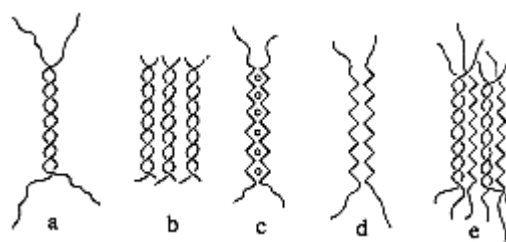


Σχ. 6. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας σχηματισμού πηκτής (Belitz et al., 2006).

Κατ' αυτόν τον τρόπο, σχηματίζεται μια πηκτή με ένα τρισδιάστατο πλέγμα στο οποίο ακινητοποιείται ο διαλύτης. Οι ιδιότητες της πηκτής, για παράδειγμα η ανθεκτικότητά της, επηρεάζονται από τον αριθμό και την κατανομή των 2-θεικών α-D-γαλακτο-πυρανόζυλο-μορίων, δηλαδή από μια δομική ιδιότητα που ρυθμίζεται κατά τη βιοσύνθεση των πολυσακχαριτών.

Το παράδειγμα του μηχανισμού σχηματισμού πηκτής της ι-καραγενάνης, που περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση αλυσίδας-αλυσίδας τμημάτων αλληλουχίας της διατεταγμένης διαμόρφωσης, που διακόπτονται από τμήματα με τυχαία σπείρωση που αντιστοιχούν σε διατεταγμένη ακολουθία αλυσίδας, μπορεί να εφαρμοστεί γενικά στις πηκτές άλλων μακρομορίων. Εκτός από ένα επαρκές μήκος αλυσίδας, η δομική προϋπόθεση για τη δυνατότητα σχηματισμού πηκτής είναι η διακοπή μιας περιοδικής αλληλουχίας και η διατεταγμένη διαμόρφωσή της. Η διακοπή επιτυγχάνεται με την εισαγωγή στην αλυσίδα ενός μορίου σακχάρου με διαφορετική γεωμετρία δεσμού (καραγενάνες, άλατα αλγινικού οξέος, πηκτίνη), από κατάλληλη κατανομή των ελεύθερων και εστεροποιημένων καρβοξυλικών ομάδων (γλυκουράνες) ή με την εισαγωγή πλευρικών αλυσίδων.

Οι δεσμοί μεταξύ αλυσίδων κατά τη ζελατινοποίηση (σχηματισμός πλέγματος), που περιλαμβάνουν τμήματα της διατεταγμένης διαμόρφωσης, μπορεί έπειτα να εμφανιστούν υπό μορφή διπλής έλικας (Σχ. 7a), πολλαπλής δέσμης διπλών ελίκων (Σχ. 7b), σύνδεσης διαμορφώσεων τύπου τεντωμένης ταινίας όπως στην αυγοκυψέλη (Σχ. 7c), κάποιων άλλων παρόμοιων συνδέσεων (Σχ. 7d) ή τελικά μορφών που αποτελούνται από συνδυασμούς διπλής έλικας και τύπου ταινίας (Σχ. 7e).



Σχ. 7. Διαπλοκή αλυσίδων μεταξύ συνήθων διαμορφώσεων. (a) διπλή έλικα, (b) δέσμη, (c) αυγοκυψέλη, (d) ταινία–ταινία, (e) αλληλεπίδραση διπλής έλικας και ταινίας (Belitz et al., 2006).

2.1.4 Ιδιότητες πολυσακχαριτών

Οι πολυσακχαρίτες είναι ευρέως διαδεδομένοι και άφθονοι στη φύση, εκπληρώνοντας ρόλους όπως:

- Σκελετικές ουσίες σχηματισμού δομής (κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και πηκτίνη, χιτίνη στα φυτά, βλεννοπολυσακχαρίτες στα ζώα).
- Αποθηκευτικές ουσίες αφομοίωσης (άμυλο, δεξτρίνες, ινουλίνη στα φυτά, γλυκογόνο στα ζώα).
- Ουσίες δέσμευσης νερού (άγαρ, πηκτίνη και άλατα αλγινικού οξέος στα φυτά, βλενοπολυσακχαρίτες στα ζώα).

Κατά συνέπεια, οι πολυσακχαρίτες βρίσκονται σε πολλά τρόφιμα και ακόμα και τότε διατηρούν συχνά το φυσικό ρόλο τους ως σκελετικές ουσίες (φρούτα και λαχανικά) ή αφομοιωτικές θρεπτικές ουσίες (δημητριακά, πατάτες, όσπρια). Απομονωμένοι πολυσακχαρίτες χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση στην επεξεργασία τροφίμων, είτε σε φυσική μορφή είτε σε τροποποιημένη, όπως πυκνωτικά ή πηκτωματογόνα (άμυλο, αλγινικά άλατα, πηκτίνη, κόμμα γκουάρ), σταθεροποιητές για γαλακτώματα και εναιωρήματα, για σχηματισμό υμενίων, ουσίες επικάλυψης για της προστασία των ευαίσθητων τροφίμων από

ανεπιθύμητες μεταβολές και αδρανή υλικά πληρώσεως για να αυξήσουν την αναλογία μη πεπτόμενων ουσιών στη διατροφή.

Ο πίνακας 1 δίνει μια επισκόπηση των χρήσεων των πολυσακχαριτών στην τεχνολογία τροφίμων. Οι λειτουργίες των πολυσακχαριτών βασίζονται στις ιδιαίτερα μεταβλητές ιδιότητές τους, οι οποίες ποικίλουν από αδιάλυτες μορφές (κυτταρίνη), μέχρι εκείνες με καλή ικανότητα διόγκωσης και διαλυτότητα σε ζεστό και κρύο νερό (άμυλο, κόμμι γκουάρ). Τα διαλύματα μπορεί να παρουσιάσουν χαμηλό ιξώδες ακόμη και σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις (αραβικό κόμμι), ή μπορεί να έχουν εξαιρετικά υψηλό ιξώδες ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις (κόμμεα ξανθάνης και γκουάρ).

Πίνακας 1. Παραδείγματα χρήσεων πολυσακχαριτών στα τρόφιμα. (Belitz et al., 2006)

Πεδίο εφαρμογής/τρόφιμο	Κατάλληλοι πολυσακχαρίτες
Σταθεροποίηση γαλακτωμάτων αιωρημάτων	Καραγενάνη, αλγινικά άλατα, πηκτίνη
Σταθεροποίηση γαλακτωμάτων σε προϊόν απομίμησης γάλακτος σε καφέ, μαργαρίνες με χημικά λιπαρά	Καραγενάνη
Προστασία παγωτού από τη δημιουργία κρυστάλλων πάγου από την τήξη, από το διαχωρισμό φάσεων, βελτίωση της υφής	Αλγινικά άλατα, καραγενάνη, άγαρ, τραγανθικό κόμμι,
Δέσμευση νερού, βελτίωση της υφής, βελτίωση απόδοσης σε μαλακά τυριά, επαλειφόμενα τυριά, σκευάσματα τυριών	Αλγινικά άλατα, καραγενάνη, άγαρ, τραγανθικό κόμμι, κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού
Αύξηση ιξώδους και ζελατινοποίηση γάλακτος σε πηκτές παρασκευασμένες με ή χωρίς θέρμανση, σε κρέμες, για βελτίωση της υφής	Αλγινικά άλατα, καραγενάνη, πηκτίνη, κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, τροποποιημένα άμυλα
Σταθεροποίηση πρωτεϊνικού αφρού στο ζύθο, σε αναμεμιγμένη κρέμα, μαρέγκες	Αλγινικά άλατα, καραγενάνη, άγαρ, αραβικό κόμμι, κόμμεα ξανθάνης και καράγια
Ζελέδες επιδόρπια με βάση το νερό	Αλγινικά άλατα, καραγενάνη, πηκτίνη, άγαρ, αραβικό κόμμι
Σταθεροποίηση γαλακτωμάτων, εγκλεισμό αρωματικών ενώσεων σε κάψουλες	Αραβικό κόμμι, κόμμι ξανθάνης

2.1.5 Φυτικά κόμμεα

Με τον όρο φυτικά κόμμεα εννοούνται ύλες που εκκρίνονται από κάποια φυτά, συνήθως μετά τον τραυματισμό τους. Με συλλογή και ξήρανση αυτών λαμβάνονται ουσίες οι οποίες απορροφούν εύκολα νερό μετατρέπόμενες σε κολλώδη μάζα. Στο εμπόριο διατίθενται φυτικά κόμμεα χρησιμοποιούμενα σαν πηκτωματογόνα. Από αυτά τα πιο συνηθισμένα είναι το αραβικό και τραγακανθικό κόμμι και το κόμμι γκουάρ.

Από άποψη χημικής σύστασης, τα κόμμεα ταξινομούνται στους υδατάνθρακες, καθότι το μόριο τους οικοδομείται από μονάδες απλών σακχάρων ή και παραγώγων αυτών. Γι' αυτό πολλοί τα τοποθετούν ανάμεσα στις ημικυτταρίνες και τις πηκτινικές ύλες.

Πολλά θαλάσσια φυτά περιέχουν πολυσακχαρίτες με σύσταση και ιδιότητες παραπλήσιες με εκείνες των παραπάνω αναφερθέντων φυτικών κόμμεων. Τα προϊόντα αυτά χαρακτηρίζονται σαν θαλάσσια κόμμεα. Σ' αυτά συγκαταλέγονται το αλγινικό οξύ και τα άλατά του, το άγαρ-άγαρ και οι καραγενάνες. Τα φυτικά κόμμεα ή τα φυσικά φυτικά υδροκολλοειδή έχουν εξυπηρετήσει την επεξεργασία των τροφίμων επί αιώνες και επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί ως συστατικά, τα οποία προκαλούν πύκνωμα και εκτατότητα στα τρόφιμα.

Όλες οι επεξεργασίες των τροφίμων, από τη φύση τους, περιλαμβάνουν μερικές μετατροπές, οι οποίες επιδεινώνουν τα χαρακτηριστικά της δομής των τροφίμων, λόγω των μεταβολών που συμβαίνουν στην περιεχόμενη υγρασία ή στη φυσική κατάσταση του περιεχόμενου νερού. Υπάρχουν ενδείξεις ότι η μεταβολή στην ποσότητα του νερού ή στη φυσική του κατάσταση συντελεί σε μεγάλο βαθμό στις μεταβολές της δομής των προϊόντων των επεξεργασμένων τροφίμων. Τα φυτικά υδρόφιλα κολλοειδή είναι ουσίες οι οποίες έλκουν το νερό, το οποίο μπορεί να επηρεάσει τις συνθήκες επεξεργασίας και τη συμπεριφορά ενός τροφίμου, κατά πολλούς τρόπους. Οι σπουδαιότερες επιδράσεις των κόμμεων στα επεξεργασμένα τρόφιμα είναι:

- Κατακράτηση του νερού
- Ελάττωση του ρυθμού εξάτμισης υγρασίας
- Τροποποίηση των ρυθμών κατάψυξης
- Έλεγχος του σχηματισμού των παγοκρυστάλλων
- Ρύθμιση των ρεολογικών ιδιοτήτων ροής ή του ιξώδους.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά φυτικά υδροκολλοειδή και περιγράφονται τα τυπικά χαρακτηριστικά του κάθε κολλοειδούς, καθώς και οι κυριότερες εφαρμογές τους στα τρόφιμα (Ηλιόπουλος, 2007):

Άγαρ: Χρησιμοποιείται σαν μια ουσία συνδετική και ζελατινοποιητική στα κονσερβοποιημένα τρόφιμα των κατοικίδιων ζώων και σε άλλες περιπτώσεις όπως στις κρούστες ζάχαρης (γλάσα) και στη διακόσμηση κέικ.

Καραγενάνη: Χρησιμοποιείται για την ιδιότητά του να αντιδρά με το γάλα ή με τις πρωτεΐνες, ως σταθεροποιητής στα παγωτά, στα κονσερβοποιημένα σιρόπια σοκολάτας, στα γιαούρτια, τις πουτίγκες, καθώς και τις κρούστες ζάχαρης (γλάσα).

Κόμμι γκουάρ: Χρησιμοποιείται για την ιδιότητά του να συγκρατεί δεμένες αιωρούμενες στο νερό ουσίες και να σταθεροποιεί τα παγωτά, τις κονσερβοποιημένες τροφές των κατοικίδιων ζώων, τις κονσερβοποιημένες σαλάτες, τα σιρόπια, τις πουτίγκες κτλ.

Κόμμι χαρουπιού: Χρησιμοποιείται όπως το κόμμι γκουάρ, αλλά χρειάζεται θέρμανση στους 83°C για 15 λεπτά ώστε να διαλυθεί πλήρως στο νερό, ενώ το κόμμι γκουάρ διαλύεται στο κρύο νερό.

Τραγακανθικό κόμμι: Χρησιμοποιείται ως πηκτική, σταθεροποιητική και γαλακτωματοποιητική ουσία, σε μια ποικιλία υδαρών επιδορπίων, ελαιωδών γαλακτωμάτων αρώματος σε νερό καθώς και σε μια ποικιλία σαλτσών.

2.1.5.1 Κόμμι ξανθάνης

Το κόμμι ξανθάνης είναι ένα υδρόφιλο κολλοειδές, το οποίο χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις βιομηχανίες τροφίμων. Έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά στα τρόφιμα συμπεριλαμβανομένων και των κονσερβοποιημένων (Καραουλάνης, 1995). Η ξανθάνη είναι ένας πολυσακχαρίτης που παράγεται από *Xanthomonas campestris* μέσω ζύμωσης και χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση γαλακτωμάτων τροφίμων λόγω των ιδιοτήτων του, της σταθεροποίησης και της αντιοξειδωτικής δράσης. Η ζύμωση είναι αναερόβια, λαμβάνει χώρα κάτω από αυστηρό έλεγχο και το κόμμι λαμβάνεται με κατακρήμνιση με ισοπροπυλική αλκοόλη. Το τελικό προϊόν έχει πολύ υψηλό ιξώδες σε υδατικά διαλύματα, τα οποία είναι ψευδοπλαστικά, ασυνήθους σταθερότητας σε υψηλές θερμοκρασίες, με πολύ σταθερό ιξώδες κατά τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Το κόμμι αυτό μπορεί να συνδυαστεί με μία

ευρεία σειρά αλάτων, οξέων και βάσεων, καθώς και με μεγάλες συγκεντρώσεις αυτών, σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη πηκτική ουσία. Η ξανθάνη είναι ένας πολυσακχαρίτης του οποίου τα μόρια δεν είναι φυσικά συνδεδεμένα μεταξύ τους (Sun & Gunasekaran, 2010).

Επίσης, συνδυαζόμενο με το κόμμι χαρουπιού σχηματίζει θερμοαντιστρεπτές πηκτές. Επίσης χρησιμοποιείται στη σταθεροποίηση και βελτίωση της υφής της κονσερβοποιημένης πουτίγκας, καθώς και προϊόντων του γάλακτος, τα οποία έχουν χαμηλό pH, όπως η ξινή κρέμα, το γιαούρτι κτλ. Η ξανθάνη χρησιμοποιείται ευρύτατα στις, υδαρούς τύπου επιδόρπιες σαλάτες και είναι μία απαραίτητη πρόσθετη ουσία για την παραγωγή σταθερών επιδόρπιων σαλατών. Ακόμη, βελτιώνει όλους τους τύπους των κονσερβοποιημένων σαλατών, με την προσθήκη μικρής ποσότητας κόμμεος ξανθάνης, λόγω της αντίστασής της στην υποβάθμιση από τη θερμότητα και των εξαιρετικών ιδιοτήτων, τις οποίες έχει ως αιώρημα. Σε ποσοστό περί του 0,4 % η ξανθάνη παράγει ένα σταθερό προϊόν, το οποίο δεν μεταβάλλεται στους 110°C και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις κονσερβοποιημένες σαλάτες κρέατος. Η ξανθάνη ως ένα υψηλού βαθμού ψευδοπλαστικό, επιδρά στη στιγμιαία ελάττωση του ιξώδους και έτσι συντελεί στην καλύτερη μεταφορά της θερμότητας.

Η ξανθάνη μπορεί να θεωρηθεί ως παράγωγο της κυτταρίνης. Η κύρια αλυσίδα αποτελείται από 1,4 συνδεδεμένα μόρια β-γλυκοπυρανόζης. Κατά μέσο όρο, κάθε δεύτερο μόριο γλυκόζης φέρει στη θέση C-3 ένα τριζαχαρίτη με δομή β-D-Manp-(1→4)-β-D-GlcpA(1→2)-α-Manp ως η πλευρική αλυσίδα. Η δεσμευμένη μαννόζη στην κύρια αλυσίδα είναι ακετυλιωμένη στη θέση C-6 και περίπου 50% των τερματικών μορίων μαννόζης εμφανίζονται με πυροσταφυλικό ως 4,6-O-(1-καρβοξυ-αιθυλιδενε)-D-μαννοπυρανόζη (Καραουλάνης, 1995).

Η ξανθάνη είναι εύκολα διαλυτή στο ζεστό ή κρύο νερό και παράγει παχύρρευστα διαλύματα σε χαμηλές συγκεντρώσεις κόμμεος. Η οξύτητα σε εύρος pH 6-9, επίσης έχει μικρή επίδραση στο ιξώδες, όπου οι αλλαγές του ιξώδους είναι μικρές, ακόμη και πέρα από αυτό το εύρος pH. Το ξανθανικό κόμμι είναι συμβατό με τα περισσότερα άλατα και οξέα των τροφίμων (Branen et al., 1990).

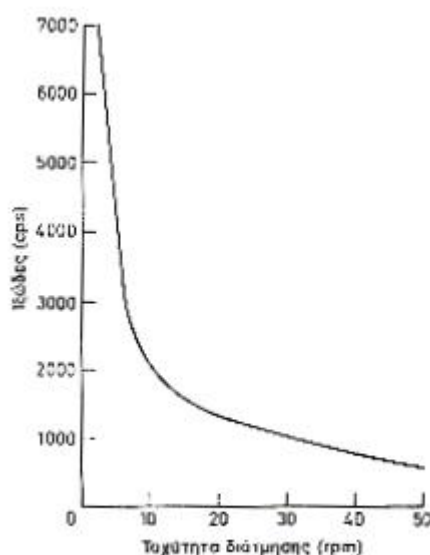
2.1.5.2 Κόμμι γκουάρ

Το αλεύρι από γκουάρ λαμβάνεται από το ενδοσπέρμιο σπόρων του οσπριοειδούς φυτού *Cyamopsis tetragonoloba*. Ο σπόρος απογυμνώνεται και

αφαιρείται το φύτρο. Εκτός από τον πολυσακχαρίτη κόμμι γκουάρ, το αλεύρι από γκουάρ περιέχει 10–15% υγρασία, 5–6% πρωτεΐνη, 2,5% ακατέργαστες ίνες και 0,5–0,8 τέφρα. Το φυτό καλλιεργείται στην Ινδία, το Πακιστάν και τις Ηνωμένες Πολιτείες.

Το κόμμι γκουάρ αποτελείται από μια αλυσίδα β-D-μαννοπυρανοζυλικών μονάδων που ενώνονται με 1→4 δεσμούς. Κάθε δεύτερο μόριο έχει μια πλευρική αλυσίδα, ένα D-γαλακτοπυρανοζυλικό μόριο που συνδέεται στην κύρια αλυσίδα με ένα με (1→6) δεσμό (Belitz et al., 2006).

Το κόμμι γκουάρ σχηματίζει ιδιαίτερος ιζώδη διαλύματα, το ιζώδες των οποίων εξαρτάται από την ταχύτητα διάτμησης (Σχ. 8).



Σχ. 8. Ιζώδες υδατικού διαλύματος κόμμιος γκουάρ 1% στους 25°C σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης (rpm) (Belitz et al., 2006).

Το κόμμι γκουάρ χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό μέσο, σαν πρόσθετο και ως σταθεροποιητής σε dressing σαλάτας και παγωτά (επίπεδο εφαρμογής 0,3%). Επίσης, μπορεί να βρεθεί στην κρέμα γάλακτος, σε επεξεργασμένα τυριά και μίγματα κέικ (Yu et al. 1996).

2.1.5.3 Κόμμι χαρουπιού

Οι σπόροι χαρουπιού προέρχονται από ένα αειθαλές δένδρο που καλλιεργείται στην περιοχή της Μεσογείου από αρχαιοτάτων χρόνων. Ο μακρύς

εδώδιμος, σαρκώδης λοβός που περιέχει τους σπόρους χρησιμοποιείται επίσης ως χορτονομή (Belitz et al., 2006).

Οι σπόροι χαρουπιού αποτελούνται από 30–33% περίβλημα, 23–25% φύτρο και 42–46% ενδοσπέρμιο. Αυτοί, αλέθονται και το ενδοσπέρμιο αποχωρίζεται και χρησιμοποιείται όπως το αλεύρι από το γκούαρ που περιγράφηκε παραπάνω. Το εμπορικό αλεύρι περιέχει 88% γαλακτομαννογλυκάνη, 5% άλλους πολυσακχαρίτες, 6% πρωτεΐνη και 1% τέφρα.

Ο κύριος πολυσακχαρίτης των σπόρων χαρουπιού είναι παρόμοιος με αυτόν του κόμμεος γκούαρ: μια γραμμική αλυσίδα συνδεδεμένων, με 1→4 δεσμούς, β-D-μαννοπυρανοζυλικών μονάδων, με α-D-γαλακτοπυρανοζυλικά μόρια, συνδεδεμένων με 1→6 δεσμούς ως πλευρικές αλυσίδες. Η αναλογία μαννόζης/γαλακτόζης είναι 3 έως 6. Αυτό δείχνει ότι, αντί κάθε δεύτερο μόριο μαννόζης, όπως στο κόμμι γκούαρ, μόνο κάθε 4^ο με 5^ο μόριο υποκαθίστανται στη θέση C-6 με ένα μόριο γαλακτόζης. Οι φυσικές ιδιότητες αντιστοιχούν σε εκείνες του κόμμεος γκούαρ, εκτός από το ιξώδες του διαλύματος το οποίο δεν είναι τόσο υψηλό.

Το αλεύρι σπόρων χαρουπιού χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό, ως μέσο σύνδεσης και ως σταθεροποιητής στην κονσερβοποίηση κρέατος, σε dressing σαλάτας, λουκάνικα, μαλακά τυριά και παγωτά. Αυτό επίσης βελτιώνει την ικανότητα δέσμευσης νερού της ζύμης, ειδικά όταν χρησιμοποιείται αλεύρι χαμηλής περιεκτικότητας σε γλουτένη (Dakia et al., 2008).

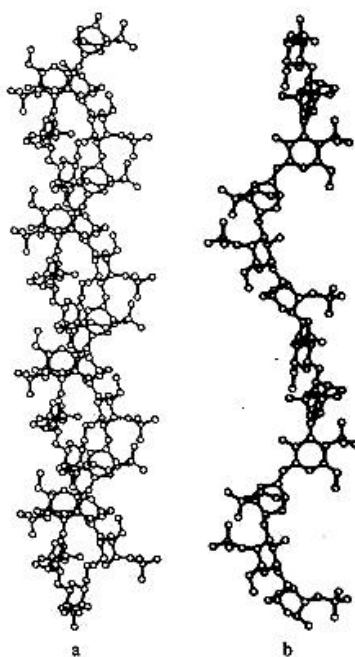
2.1.5.4 Καραγενάνες

Τα ροδοφύκη παράγουν δύο τύπους γαλακτανών, άγαρ και παρόμοιου τύπου με το άγαρ πολυσακχαρίτες, αποτελούμενους από μόρια D-γαλακτόζης και 3,6-άνυδρο-L-γαλακτόζης και συγγενικούς με την καραγενάνη πολυσακχαρίτες που αποτελούνται από D-γαλακτόζη και 3,6-άνυδρο-D-γαλακτόζη που είναι μερικώς θειωμένοι ως 2,4- και 6-θειικά και 2,6-διθειικά. Τα μόρια γαλακτόζης συνδέονται με εναλλασσόμενους 1→3 και 1→4 δεσμούς (Belitz et al., 2006).

Οι καραγενάνες απομονώνονται από το ιρλανδικό βρύο, μέσω εκχύλισης με θερμό νερό σε ήπια αλκαλικές συνθήκες ακολουθούμενη από ξήρανση και κατακρήμνιση του συμπυκνώματος. Διαλύεται εύκολα στο νερό, ενώ συνήθως πλήρη διαλυτοποίηση των καραγενανών επιτυγχάνεται με θέρμανση. Τα διαλύματά τους έχουν μεγάλο ιξώδες, το οποίο αυξάνεται με την παρουσία

μεταλλοκατιόντων και με την αύξηση του μοριακού βάρους. Οι καραγενάνες βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές στην τεχνολογία τροφίμων. Έτσι χρησιμοποιούνται ως: α) μέσα διασποράς, β) σταθεροποιητές κolloειδών, γ) πρώτες ύλες παρασκευής πηκτών κ.α. (Ηλιόπουλος, 2007).

Οι καραγενάνες είναι ένα σύνθετο μίγμα διάφορων πολυσακχαριτών. Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται η διαμόρφωση της ι-καραγενάνης.



Σχ. 9. Διαμόρφωση ι-καραγενάνης. (α) διπλή έλικα, (β) απεικονίζεται μονό σπείρωμα για την αποσαφήνιση της διαμόρφωσης (Belitz et al., 2006).

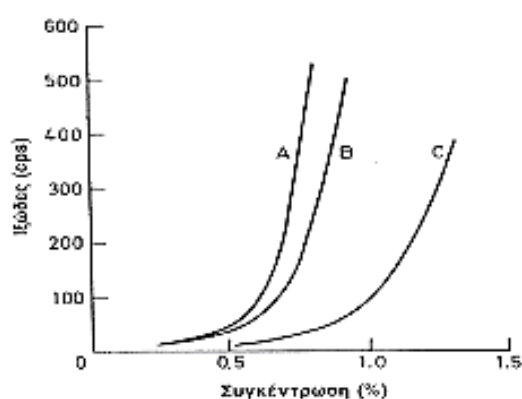
Ο πίνακας 2 παρουσιάζει στοιχεία γι' αυτά τα κλάσματα και τα συστατικά τους, τους μονοσακχαρίτες.

Πίνακας 2. Δομικές ομάδες καραγενανών (Belitz et al., 2006).

Είδος καραγενάνης	Δομική ομάδα μονοσακχαρίτη
ι-καραγενάνη	4-θειική-D-Γαλακτόζη, 2-θειική 3,6 άνυδρο-D-Γαλακτόζη
κ-καραγενάνη	4-θειική-D-Γαλακτόζη, 3,6 άνυδρο-D-Γαλακτόζη
λ-καραγενάνη	2-θειική-D-Γαλακτόζη, 2,6-διθειική-D-Γαλακτόζη

Δύο μείζονα κλάσματα είναι το κ (δυνάμενο να ζελατινοποιηθεί και κ- μη διαλυτό κλάσμα) και το λ (μη δυνάμενο να ζελατινοποιηθεί και λ- μη διαλυτό κλάσμα). Η κ-καραγενάνη αποτελείται από D-γαλακτόζη, 3,6-άνυδρο-D-γαλακτόζη και εστερικός συνδεδεμένα θειικά σε μοριακή αναλογία 6:5:7. Τα μόρια γαλακτόζης είναι ουσιαστικά πλήρως θειωμένα στη θέση 4, ενώ τα μόρια ανυδρογαλακτόζης μπορούν να θειωθούν στη θέση 2 ή να υποκατασταθούν από 6-θειική ή 2,6-διθειική α-D-γαλακτόζη.

Τα μοριακά βάρη της κ- και λ-καραγενάνης είναι 200–800 kD. Η διαλυτότητα στο νερό αυξάνει καθώς αυξάνει η περιεκτικότητα των καραγενανών σε θειικά και καθώς μειώνεται η περιεκτικότητά της σε μόρια άνυδρου σακχάρου. Το ιξώδες του διαλύματος εξαρτάται από τον τύπο της καραγενάνης, το μοριακό βάρος, τη θερμοκρασία, την παρουσία ιόντων και τη συγκέντρωση της καραγενάνης. Όπως παρατηρείται σε όλα τα γραμμικά μακρομόρια με φορτία κατά μήκος της αλυσίδας, το ιξώδες αυξάνει εκθετικά με τη συγκέντρωση (Σχ. 10).



Σχ. 10. Καμπύλες ιξώδους υδατικών διαλυμάτων καραγενάνης. (A) *Eucheuma spinosum*, (C) *Chondrus crispus*, (B) A και C σε μια αναλογία 2:1, 40°C, 20rpm (Belitz et al., 2006).

Η δυνατότητα σχηματισμού πηκτής οφείλεται πιθανώς και σε έναν μηχανισμό που βασίζεται στο σχηματισμό μερικής δομής διπλής έλικας μεταξύ των διαφόρων αλυσίδων. Η έκταση του σχηματισμού διαμοριακής διπλής έλικας, και επομένως η αντοχή της πηκτής είναι μεγαλύτερη όσο πιο ομοιόμορφες είναι οι ακολουθίες των αλυσίδων. Κάθε υποκατάσταση ενός μορίου 3,6-άνυδρογαλακτόζης από ένα άλλο μόριο π.χ. 6-θειική γαλακτόζη, έχει ως αποτέλεσμα στρεβλώσεις στην έλικα και με αυτόν τον τρόπο, μείωση της

ικανότητας πήξης. Η ελικοειδής διαμόρφωση επηρεάζεται επίσης από τη θέση των θεικών ομάδων. Η επίδραση είναι πιο έντονη με το θεικό άλας στην 6-θέση, απ' ό τι στη 2 ή στην 4-θέση. Ως εκ τούτου, η αντοχή της πηκτής της καραγενάνης εξαρτάται πρώτιστα από την περιεκτικότητα των εστερικών θεικών ομάδων στην 6-θέση.

Οι καραγενάνες και άλλοι όξινοι πολυσακχαρίτες προκαλούν συσσωμάτωση σε πρωτεΐνες όταν το pH του διαλύματος είναι χαμηλότερο από τα ισοηλεκτρικά σημεία των πρωτεϊνών. Η ικανότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό πρωτεϊνικών μιγμάτων.

Η χρησιμοποίηση των καραγενανών στην επεξεργασία τροφίμων βασίζεται στη δυνατότητα του πολυμερούς να δημιουργεί πηκτές, να αυξάνει το ιξώδες του διαλύματος και να σταθεροποιεί τα γαλακτώματα και τα διάφορα εναιωρήματα. Σε επίπεδο τόσο χαμηλό, όπως 0,03% στο σοκολατούχο γάλα, αποτρέπει τον διαχωρισμό λιποσφαιρίων και σταθεροποιεί τη διασπορά των σωματιδίων του κακάο. Οι καραγενάνες αποτρέπουν τη συναίρεση στο φρέσκο τυρί, βελτιώνουν τις ιδιότητες της ζύμης και επιτρέπουν την ενσωμάτωση υψηλότερου ποσού σκόνης γάλακτος στο ψήσιμο. Έχει δυνατότητα πήξης παρουσία άλατος και χρησιμοποιείται σε επιδόρπια. Η πρωτεϊνική κατακρήμνιση στο συμπυκνωμένο γάλα αποτρέπει την πήξη της πρωτεΐνης γάλακτος από τα ιόντα ασβεστίου. Οι καραγενάνες χρησιμοποιούνται επίσης για σταθεροποίηση παγωτών και διαλύσεων ποτών (Belitz et al., 2006).

Η κ-καραγενάνη είναι πολυσακχαρίτης που προστίθεται στα γαλακτοκομικά προϊόντα και αλληλεπιδρά με την β-λακτογλοβουλίνη σε pH 2,5 ή κάτω από αυτό, αλλά όχι σε pH 6 ή υψηλότερο. Παρ' όλα αυτά, όταν θερμαίνεται σε ουδέτερο pH, η β-λακτογλοβουλίνη μετουσιώνεται και θα μπορούσε να καταστεί διαθέσιμη για την αλληλεπίδραση με την κ-καραγενάνη και να οδηγήσει σε πολύπλοκο σχηματισμό (Fuente et al., 2004).

Επίσης, η συμπεριφορά των πρωτεϊνών του γάλακτος και της καραγενάνης εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων όπως το υδροκολλοειδές, την πρωτεΐνη, το pH, το ιονικό περιβάλλον, τη θερμοκρασία κτλ (Černíková et al., 2008).

Η ικανότητα της καραγενάνης ως προς τη σταθεροποίηση του γάλακτος εξαρτάται από τον αριθμό και τη θέση των θεικών ομάδων στην καραγενάνη. Τα ανιόντα της καραγενάνης αντιδρούν με την πρωτεΐνη για να σχηματίσουν ένα

σύμπλοκο πρωτεΐνης–καραγενάνης που μπορεί να υπάρχει ως ένα σταθερό κολλοειδές. Χρησιμοποιείται επίσης σε πουτίγκες γάλακτος και τυροκομικών προϊόντων, λειτουργεί ως σταθεροποιητής γαλακτώματος και σε παγωμένα επιδόρπια (Branen et al., 1990).

2.2 Συστατικά γάλακτος που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή τροφίμων

2.2.1 Πρωτεΐνες ορού

Η παρασκευή συστατικών γάλακτος με σκοπό τη χρησιμοποίησή τους στην προετοιμασία διαφόρων τροφίμων προέκυψε εδώ και μερικά χρόνια από την ανάγκη αξιοποίησης πλεονασμάτων γάλακτος (αποβουτυρωμένο γάλα), προϊόντων γάλακτος (βούτυρο) και υποπροϊόντων βιομηχανιών γάλακτος (τυρόγαλα) (Κεντά, 2011).

Με τη χρησιμοποίηση των συστατικών του γάλακτος μπορούν να επιτευχθούν ένας ή και περισσότεροι από τους παρακάτω σκοπούς: α) εμπλουτισμός άλλων τροφίμων με θρεπτικά συστατικά, β) εξασφάλιση στα τρόφιμα που χρησιμοποιούνται επιθυμητών χαρακτηριστικών (συνεκτικότητα, υφή, ικανότητα χτυπήματος κλπ) και γ) βελτίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (γεύση, χρώμα, βελτίωση αίσθησης επαφής στο στόμα κλπ).

Από τα συστατικά του γάλακτος ευρύτερη χρήση έχουν βρει οι πρωτεΐνες γάλακτος, ενώ τα άλλα συστατικά του γάλακτος υπό καθαρή μορφή, όπως το λίπος και η λακτόζη, χρησιμοποιούνται σε μικρότερη κλίμακα.

Η σύνθεση διαφόρων προϊόντων με πρωτεΐνες ορού, επηρεάζεται από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την απομόνωση των πρωτεϊνών. Αυτές μπορούν να εμποδίσουν το διαχωρισμό νερού ή λίπους και την απελευθέρωση αέρα στους αφρούς, ενώ παράλληλα μπορούν να βελτιώσουν την υφή των τροφίμων όπου προστίθενται. Οι παράγοντες που παίζουν καθοριστικό ρόλο για ορισμένες λειτουργικές ιδιότητες είναι: α) δέσμευση νερού, β) σχηματισμός πηκτής, γ) γαλακτωματοποίηση και σχηματισμός αφρού.

Οι πρωτεΐνες ορού σε σύγκριση με τις καζεΐνες έχουν το πλεονέκτημα να είναι διαλυτές και σε χαμηλό pH, πράγμα που επιτρέπει τη χρήση τους σε όξινα προϊόντα (μη αλκοολούχα ποτά, χυμοί φρούτων κτλ) είτε για βελτίωση των χαρακτηριστικών του τροφίμου, είτε της θρεπτικής αξίας (Κεχαγιάς, 1997).

2.2.2 Κρέμα γάλακτος

Κρέμα γάλακτος είναι το προϊόν που λαμβάνεται από το γάλα κατά την αποκορύφωσή του και είναι κυρίως το λίπος. Το λίπος περιέχεται στο γάλα υπό τη μορφή λιποσφαιρίων που είναι διασπαρμένα, σχηματίζοντας συνήθως συσσωματώματα. Τα λιποσφαίρια στα συσσωματώματα διατηρούν την ατομικότητά τους και δεν συγχωνεύονται. Η δομή και η σύνθεση των λιποσφαιρίων, καθώς και η περιεκτικότητα αυτών στο γάλα ποικίλει ανάλογα με το είδος του ζώου, το στάδιο της γαλακτικής περιόδου, τη διατροφή, την εποχή του έτους κ.α. Ειδικότερα, τα λιποσφαίρια του πρόβειου γάλακτος είναι μεγαλύτερα από ότι στο αγελαδινό και έχουν λευκό χρώμα. Στο αίγειο γάλα, τα λιποσφαίρια έχουν λευκό χρώμα, αλλά είναι μικρότερα (Μαρτίνου–Βουλασίκη, 1996).

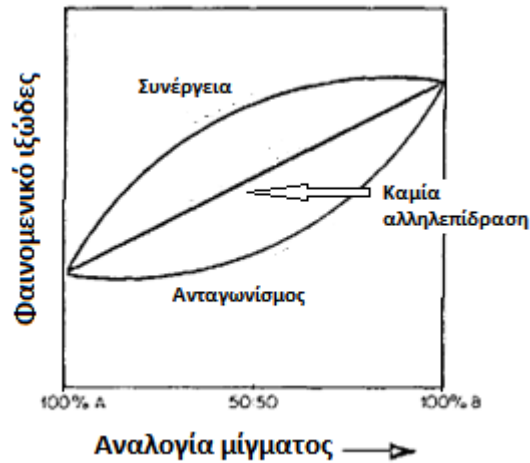
Παρασκευάζεται από ανάμιξη σκόνης γάλακτος και λιωμένου βουτύρου. Η εμφάνιση και η σταθερότητα των προϊόντων αυτών βελτιώνεται με τη χρησιμοποίηση σταθεροποιητών και γαλακτοματοποιητών. Συνήθως τα προϊόντα αυτά δεν έχουν τόσο καλό άρωμα όπως τα συνηθισμένα προϊόντα που παρασκευάζονται από γάλα καλής ποιότητας (Κεχαγιάς, 1997).

2.3 Αλληλεπιδράσεις συστατικών

2.3.1 Αλληλεπιδράσεις πολυσακχαριτών

Η συνδυασμένη χρήση των διαφορετικών σταθεροποιητών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της υφής των τροφίμων ακόμα και όταν χρησιμοποιείται η χαμηλότερη δόση σταθεροποιητών λόγω της συνέργειας αυτών (Camacho et al., 2005).

Η αλληλεπίδραση μεταξύ των πολυσακχαριτών συνήθως αναφέρεται ως συνέργεια, εάν οδηγεί σε αύξηση του ιξώδους του μίγματος αυτών και ως ανταγωνισμός, αν συμβαίνει το αντίθετο. Δεδομένου ότι τα διαλύματα πολυσακχαριτών, σε καθαρή ή σε μορφή μίγματος, εμφανίζουν μη Νευτώνεια ρεολογική συμπεριφορά, ακόμη και σε χαμηλή συγκέντρωση, η ένταση της οποιασδήποτε συνεργιστικής ή ανταγωνιστικής επίδρασης μπορεί να εξαρτάται από το ρυθμό διάτμησης. Στο σχήμα 11 φαίνονται οι πιθανές ρεολογικές συμπεριφορές μιγμάτων πολυσακχαριτών, σε σχέση με την αναλογία του μίγματος (Kaletunc–Gencer & Peleg, 1986).

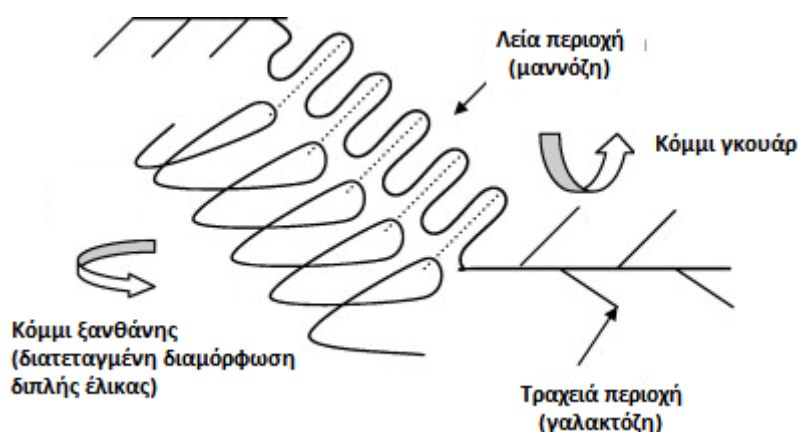


Σχ. 11. Πιθανή ρεολογική συμπεριφορά μιγμάτων πολυσακχαριτών σε σχέση με την αναλογία του μίγματος (Kaletunc–Gencer & Peleg, 1986).

2.3.1.1 Συνέργεια ξανθάνης –κόμμεος γκουάρ

Στην περίπτωση του κόμμεος γκουάρ, του οποίου το μόριο έχει μεγάλο αριθμό διακλαδώσεων γαλακτόζης που εμποδίζουν την προσέγγιση των μορίων της ξανθάνης, δεν σχηματίζεται πηκτή, εντούτοις προκαλείται αισθητή αύξηση του ιξώδους (Kang & Pettitt, 1993).

Το πρώτο μοντέλο προτάθηκε από τους Dea και συνεργάτες (1977), οι οποίοι ανέφεραν ότι η διαμοριακή δέσμευση μπορεί να προκύψει μεταξύ της τακτικής ραβδόμορφης διαμόρφωσης της ξανθάνης και μη ή ελλιπώς υποκατεστημένων περιοχών της σπονδυλικής στήλης γαλακτομαννάνης. Έπειτα, οι Tako και συνεργάτες (1977) πρότειναν ένα μοντέλο που αναφέρει ότι οι πλευρικές αλυσίδες της ξανθάνης εισέρχονται σε παρακείμενες περιοχές της μη υποκατεστημένης σπονδυλικής στήλης γαλακτομαννάνης, η οποία υιοθετεί διαμόρφωση που προσομοιάζει κορδέλα (Σχ. 12).

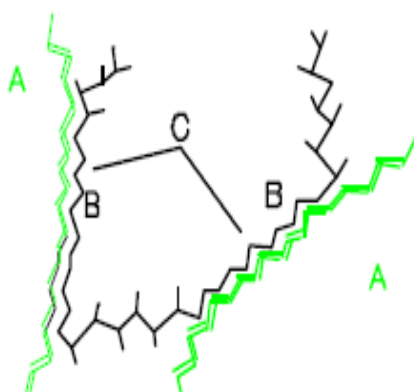


Σχ. 12. Συνεργιστική αλληλεπίδραση κόμμιων ξανθάνης κόμμιος γκουάρ (Tako et al., 1977).

2.3.1.2 Συνέργεια ξανθάνης – κόμμιος χαρουπιού

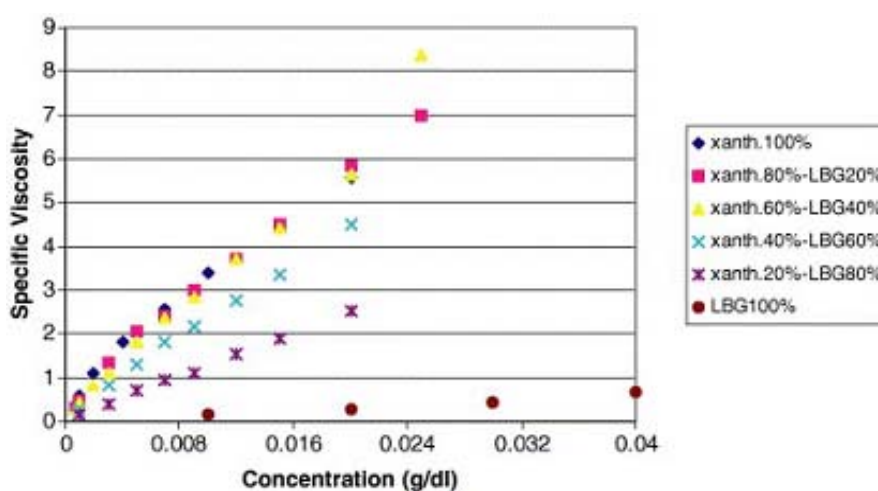
Η ξανθάνη δεν είναι από μόνη της ένα πηκτικό μέσο. Ωστόσο συνδυάζοντας ξανθάνη και κόμμι χαρουπιών παράγει μια πηκτή και χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές για τα τρόφιμα παρόλο αυτό πάλι δεν έχουν μεγάλη πηκτική ικανότητα (Pedersen, 1980). Επίσης, η ξανθάνη παρουσία γαλακτομαννανών δίνει σε υδατικά αιωρήματα υψηλότερο ιξώδες από ότι η ξανθάνη μόνη της και οι γαλακτομαννάνες μόνες τους. Η συνέργεια αυτή της ξανθάνης είναι πιο έντονη με τα κόμμια χαρουπιού ή τάρα, απ' ότι με το κόμμι γκουάρ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα τμήματα του μορίου των γαλακτομαννανών τα οποία δεν φέρουν διακλαδώσεις γαλακτόζης, σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με το μόριο της ξανθάνης (μικροκρυσταλλική ζώνη), οπότε σχηματίζονται σύμπλοκα (ζώνες διασταύρωσης), που βοηθούν στη δημιουργία ισχυρού τρισδιάστατου πλέγματος και το σχηματισμό πηκτής (Σχ. 13) (Kang & Pettitt, 1993).

Η σημαντική διαφορά μεταξύ στους βαθμούς αλληλεπίδρασης της ξανθάνης με τα κόμμια γκουάρ (M:G 1.8:1) και χαρουπιού (M:G 4:1) φαίνεται να οφείλεται μόνο σε μια απλή διαφορά στο περιεχόμενο της D-γαλακτόζης (Bresolin et al., 1997; Pinheiro et al., 2011).



Σχ. 13. Μοντέλο σύνδεσης μορίου ξανθάνης με μόριο κόμμεος χαρουπιού (Kang & Pettitt, 1993).

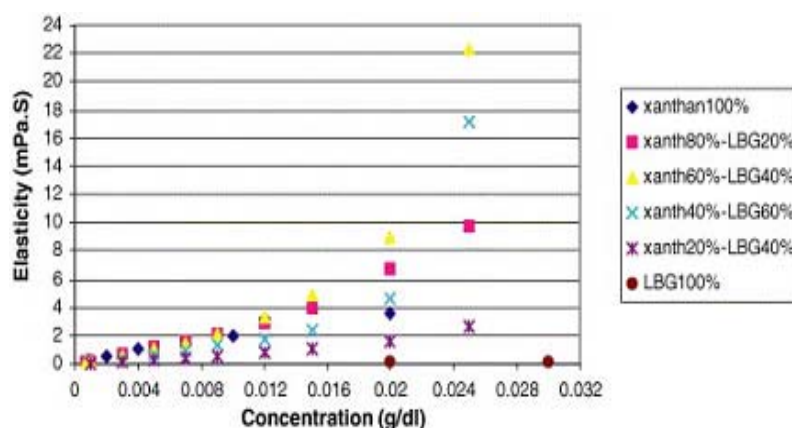
Στο σχήμα 14, παρουσιάζονται αποτελέσματα έρευνας του Pedersen (1980) όπου μελετήθηκε το ιξώδες διαλυμάτων ξανθάνης, κόμμεος χαρουπιού (LBG) και μιγμάτων αυτών. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση της ξανθάνης τόσο υψηλότερο είναι το ιξώδες. Επίσης, βλέπουμε μια γραμμική αύξηση του ιξώδους, σε σχέση με τη συγκέντρωση πολυσακχαρίτη/ιτών. Η ξανθάνη σε συνδυασμό με το LBG, αυξάνουν το ιξώδες.



Σχ. 14. Ιξώδες διαλυμάτων ξανθάνης, LBG και μιγμάτων τους, σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση (Pedersen, 1980).

Τα αποτελέσματα της μελέτης, όπως φαίνονται στο σχήμα 15, δείχνουν ότι σε μια συγκέντρωση κόμμεος χαρουπιού 0,025 g/dl το η ελαστικότητα πλησιάζει το μηδέν. Μεταξύ των μιγμάτων, το δείγμα ξανθάνη 60%–LBG 40% αποδίδει τη μεγαλύτερη ελαστικότητα, ακολουθούμενη από το δείγμα ξανθάνη 40%–LBG 60%. Τα υγρά που δεν περιέχουν ελαστικότητα θεωρούνται παχύρρευστα.

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο το LBG ήταν παχύρευστο σε 0,025 g/dl ενώ η ξανθάνη και ξανθάνη–LBG ήταν ιξωδοελαστικά (Higiro et al., 2006).



Σχ. 15. Μέτρο ελαστικότητας ως συνάρτηση της συγκέντρωσης για ξανθάνη, LBG και των μιγμάτων τους (Pedersen, 1980).

2.3.1.3 Αλληλεπιδράσεις καραγενάνης – ξανθάνης

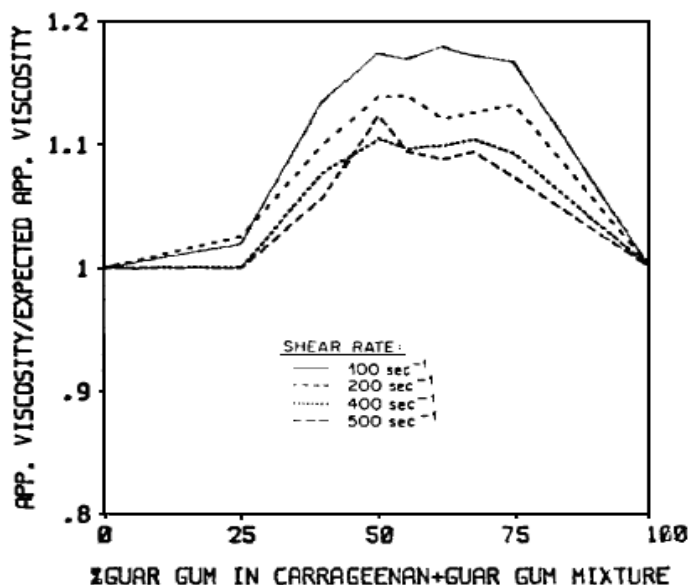
Έρευνα των Christensen και Trudsoe (1980) σε πηκτές συνδυασμών πολυσακχαριτών έδειξε ότι η προσθήκη ξανθάνης σε πηκτική κ–καραγενάνης οδήγησε σε περισσότερο μαλακές, συνεκτικές και ελαστικές πηκτές. Επιπλέον, οδήγησε σε ελάττωση της συναίρεσης. Ωστόσο, οι λειτουργικές ιδιότητες που παρουσιάζουν οι συγκεκριμένοι πολυσακχαρίτες είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για χρήση σε άλλα προϊόντα, όπως σάλτσες. Παρά το γεγονός ότι από μόνη της η ξανθάνη σε συνθήκες ψύξης/απόψυξης είναι σταθερή, συνδυασμοί της με κ–καραγενάνη βρέθηκε ότι δεν προσδίδουν σταθερότητα στο προϊόν.

Ο Boyd (2005) αναφέρει ότι η προσθήκη χαμηλών συγκεντρώσεων (<0.75%) λ–καραγενάνης σε υδατικό διάλυμα ξανθάνης 1% προκάλεσε μείωση στις ιξωδοελαστικές παραμέτρους, λόγω διαχωρισμού μικρο–φάσεων. Το ιξωδοελαστικό προφίλ έδειξε ότι η προσθήκη της καραγενάνης στο διάλυμα ξανθάνης μεταβάλλει τις συνολικές ιδιότητες από ασθενή πηκτική σε σύστημα πυκνού διαλύματος, που τυπικά θα είναι χαρακτηριστικό των διαλυμάτων της λ–καραγενάνης. Επομένως, υπάρχουν ενδείξεις ότι υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ της ξανθάνης και της καραγενάνης και όχι συνέργεια.

2.3.1.4 Συνέργεια καραγενάνης – κόμμεος γκουάρ

Στο σχήμα 21 παρουσιάζεται η επίδραση της προσθήκης καραγενάνης/κόμμεος γκουάρ στο ιξώδες διαλυμάτων συγκέντρωσης 1% σε pH

7. Η ύπαρξη της συνέργειας είναι προφανής, αν και η μέγιστη επίδραση είναι λιγότερη από 20%.



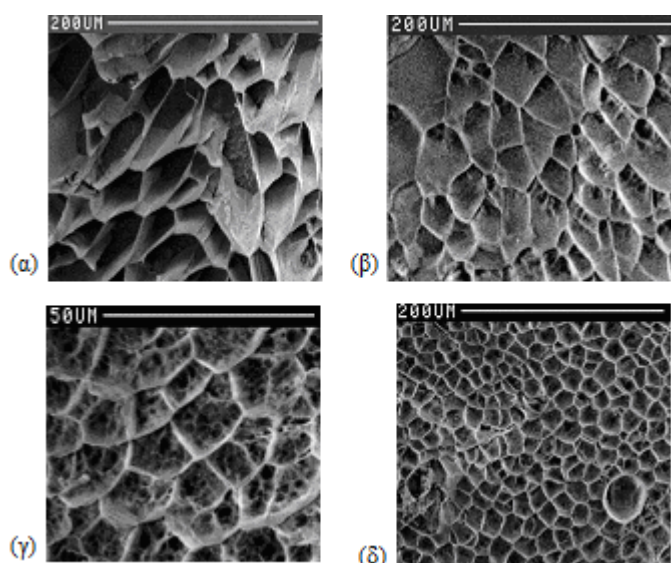
Σχ. 16. Επίδραση συνδυασμού καραγενάνης/κόμμος γκουάρ στο ιξώδες (pH = 7) (Kaletunc–Gencer & Peleg, 1985).

Φαίνεται πως συνεργιστική επίδραση παρουσιάζεται μόνο όταν η συγκέντρωση κόμμος γκουάρ είναι πάνω από περίπου 50%, η οποία είναι μια κρίσιμη συγκέντρωση, μετά την οποία η επίδραση εξασθενεί. Αυτό που σαφώς φαίνεται στο σχήμα 16, είναι ότι η συνεργιστική επίδραση είναι πιο έντονη σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης. Σε pH 4 και υψηλούς ρυθμούς διάτμησης, δεν εμφανίζεται καμία συνεργιστική δράση (Kaletunc–Gencer & Peleg, 1985). Οι Pinheiro και συνεργάτες (2011) αναφέρουν ανταγωνιστική αλληλεπίδραση μεταξύ του κόμμος γκουάρ και της κ-καραγενάνης, σε αιωρήματα συγκέντρωσης 1% w/w, σε αναλογίες μέχρι και 60:40 κόμμι γκουάρ:καραγενάνη, ενώ συνεργιστική δράση εμφανίστηκε σε αιωρήματα με αναλογία των ανωτέρω πολυσακχαριτών 80:20.

2.3.1.5 Καραγενάνη – κόμμι χαρουπιού

Η καραγενάνη αλληλεπιδρά συνεργιστικά με πολλά άλλα κόμμεα στα τρόφιμα, και ιδίως με το κόμμι χαρουπιού, όπου αυξάνει την δύναμη του πλέγματος (Branen et al., 1990). Τα αποτελέσματα έρευνας των Dunstan και συνεργατών (2001) δείχνουν τις διαρθρωτικές αλλαγές στις πηκτές κατά την προσθήκη LBG (Σχ. 17). Όσο μειώνεται η συγκέντρωση της καραγενάνης,

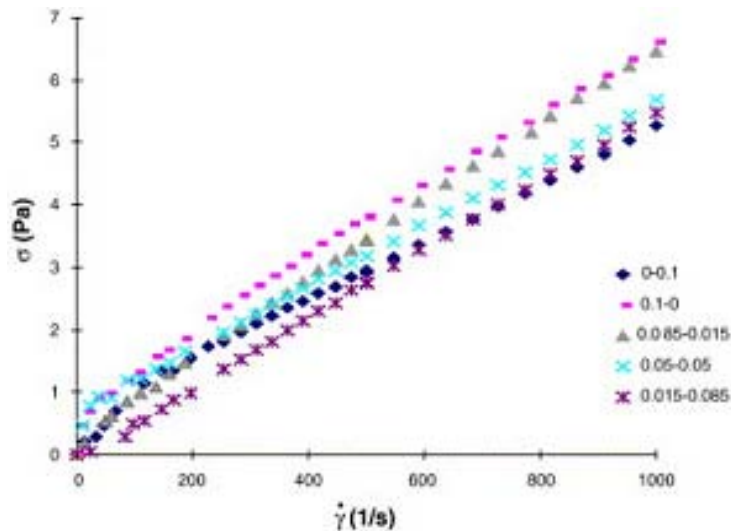
μειώνεται και το μέγεθος της δομής της πηκτής. Η παρατηρούμενη μείωση δείχνει ότι η κ-καραγενάνη είναι το κυρίαρχο δομικό συστατικό.



Σχ. 17. Μακροσκοπική δομή του συστήματος κ-καραγενάνης/LBG, σε αναλογία κ-καραγενάνη/LBG σε 0,01M KCl (α) 1% κ-καραγενάνη, (β) κ-καρραγενάνη/LBG 8:02, (γ) κ-καραγενάνη/LBG 6:4, (δ) κ-καρραγενάνη/LBG 4:06 (Dunstan et al., 2001).

Το LBG χρησιμοποιείται σε ευρεία ποικιλία τροφίμων και στις βιομηχανικές εφαρμογές χάρη στην ικανότητα του να σχηματίζει πολύ παχύρρευστες λύσεις σε μια χαμηλή συγκέντρωση η οποία είναι σχεδόν ανεπηρέαστη από ή κατά τη θερμική επεξεργασία και το pH. Από την άλλη πλευρά, η λ-καραγενάνη είναι ένας μη πηκτικός πολυσακχαρίτης με έντονα ανιονικές ομάδες λόγω της παρουσίας των θεικών ομάδων.

Στο σχήμα 18, παρατηρείται ότι τα μίγματα LBG-λ-καραγενάνης βελτιώνουν τη σταθερότητα κρεμών σε χαμηλή αναλογία LBG.



Σχ. 18. Καμπύλες ροής σε πέντε διαφορετικούς συνδυασμούς LBG/λ-καραγενάνης (Camacho et al., 2005).

Ο λειτουργικός ρόλος του LBG συνδέεται με την αύξηση της σταθερότητας κατά τη διάτμηση του γαλακτώματος, όταν ένα μικρό ποσοστό κόμμεος χαρουπιού είναι στο σύστημα (Camacho et al., 2005).

2.3.2 Αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών ορού – πολυσακχαριτών

Γενικά, οι πηκτές που σχηματίζονται κατά τη θέρμανση και ακολούθως ψύξη διαλυμάτων πρωτεϊνών ορού σε απομονωμένη μορφή (WPI) και πολυσακχαριτών εμφανίζουν μικροδομή διαχωρισμού μικροφάσεων, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις ρεολογικές ιδιότητες των πηκτών σε μεγάλες παραμορφώσεις. Οι μικροδομές προκύπτουν από τον ανταγωνισμό μεταξύ του σχηματισμού πηκτής της πρωτεΐνης και της διαδικασίας διαχωρισμού φάσης μεταξύ των πρωτεϊνών και πολυσακχαριτών.

Η πυκνότητα φορτίου καθορίζει τη συμπεριφορά των μικτών συστημάτων. Η πρώτη κατηγορία πυκνότητας φορτίου περιλαμβάνει τους ουδέτερους πολυσακχαρίτες, όπως τα κόμμεα γκούαρ και χαρουπιού και την ελαφρώς αρνητικά φορτισμένη ξανθάνη. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις των πολυσακχαριτών αυτής της κατηγορίας προκύπτουν μικροδομές διαχωρισμού μικροφάσεων σε ένα συνεχές πρωτεϊνικό πλέγμα και μία ασυνεχή φάση ορού, με αιχμηρά όρια φάσεων, όπου τα δύο δομικά στοιχεία αναγκάζονται σε τοπικό περιορισμό αυξημένων συγκεντρώσεων. Η αύξηση της συγκέντρωσης πολυσακχαρίτη εντείνει το διαχωρισμό μικροφάσεων και το εμβαδό του πρωτεϊνικού πλέγματος ελαττώνεται. Αυτή η μεταβολή στη

μικροδομή ακολουθείται από αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και αντοχής των μικτών συστημάτων πηκτών.

Για τις πηκτές συσσωματωμένων πρωτεϊνικών νημάτων, όπως είναι οι πηκτές που σχηματίζονται κατά τη θέρμανση και ακολούθως ψύξη διαλυμάτων πρωτεϊνών ορού, η αύξηση της έντασης διαχωρισμού μικροφάσεων σε όλο και μεγαλύτερες περιοχές επηρεάζει αρνητικά τον αριθμό των σχηματιζόμενων πρωτεϊνικών νημάτων αλλά και το μέτρο ελαστικότητας τους. Σε υψηλές συγκεντρώσεις πολυσακχαριτών εμφανίζεται αντιστροφή φάσεων σε συνεχή πηκτή πολυσακχαρίτη, οπότε ο αριθμός των αποτελεσματικών πρωτεϊνικών νημάτων ελαττώνεται περαιτέρω. Τέλος, στην υψηλότερη συγκέντρωση πολυσακχαρίτη, το πρωτεϊνικό πλέγμα παρουσιάζεται να είναι ασυνεχές, με μηδενικό αριθμό αποτελεσματικών πρωτεϊνικών νημάτων, το οποίο οδηγεί στο σχηματισμό υγρού προϊόντος (de Jong & van de Velde, 2007).

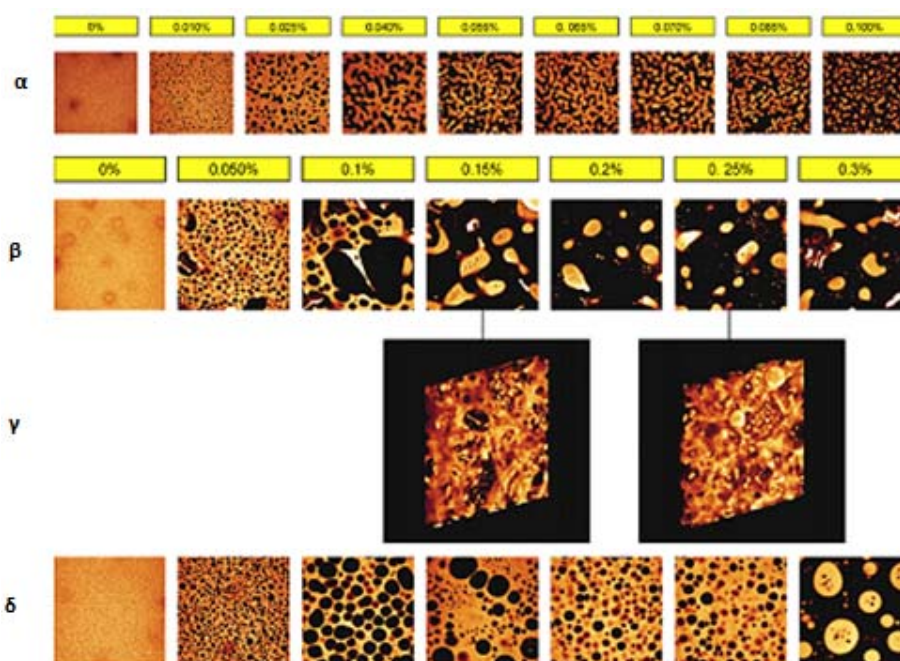
Μελέτες της επίδρασης των ανιονικών πολυσακχαριτών, όπως της ξανθάνης στο σχηματισμό πηκτής πρωτεϊνών ορού έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι σχηματίζονται σύμπλοκα, κάτω από το ισοηλεκτρικό σημείο (Ι.Σ.) των πρωτεϊνών, κάτι το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υποκατάστατων λίπους. Σε pH υψηλότερα του Ι.Σ. οι μη μετουσιωμένες πρωτεΐνες ορού είναι συμβατές με την ξανθάνη και σχηματίζουν αναμίξιμα διαλύματα. Ωστόσο, διαχωρισμός φάσεων παρατηρείται όταν μετουσιωμένες πρωτεΐνες αναμειγνύονται με την ξανθάνη, πιθανόν λόγω των απωστικών ηλεκτροστατικών δυνάμεων μεταξύ των κατά κύριο λόγο αρνητικά φορτισμένων πρωτεϊνών ορού και της ανιονικής ξανθάνης, οδηγώντας σε χωροταξικό αποκλεισμό των πρωτεϊνών και τη συσσωμάτωσή τους (Euston et al., 2002).

Κατά τη θέρμανση πρωτεϊνών ορού (>60°C), αυτές μετουσιώνονται και σχηματίζουν πηκτές όταν η συγκέντρωσή τους είναι μεγαλύτερη της κρίσιμης για σχηματισμό πηκτής. Κατά τη θέρμανση διαλυμάτων μιγμάτων πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαριτών, λαμβάνει χώρα ανταγωνισμός μεταξύ του σχηματισμού πηκτής και των διεργασιών διαχωρισμού φάσεων (Li et al., 2006).

Στο σχήμα 24 παρουσιάζεται η μικροδομή μικτών συστημάτων πηκτών πλήρως μετουσιωμένων πρωτεϊνών ορού (3% w/w) με πολυσακχαρίτες (pH 4,8), με τη βοήθεια συνεστιακού μικροσκοπίου (CSLM). Ειδικότερα, ο διαχωρισμός μικροφάσεων σε μικτά συστήματα με γαλακτομαννάνες λαμβάνει χώρα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις, από ότι στα συστήματα με ξανθάνη, κάτι το οποίο σχετίζεται με την ακαμψία αλυσίδων των πολυσακχαριτών. Η ξανθάνη παρουσιάζει δύσκαμπτη,

ραβδόμορφη διαμόρφωση, ενώ οι γαλακτομαννάνες είναι περισσότερο ευέλικτες. Βρέθηκε ότι η μικροδομή πηκτής πρωτεϊνών ορού με 0,25% κόμμι γκουάρ αποτελούνταν από συνεχή πρωτεϊνική φάση χωρίς διαχωρισμό μικροφάσεων (Σχ. 19γ).

Το κόμμι γκουάρ είναι μη ιονικό ενώ η κ-καραγενάνη είναι ένας θετικά φορτισμένος πολυσακχαρίτης, αυτό σημαίνει ότι η κ-καραγενάνη μπορεί να διαμορφώσει ένα υδροκολλοειδές σύστημα με την πρωτεΐνη, λόγω ηλεκτροστατικών αλληλεπιδράσεων. Αυτό το είδος των αλληλεπιδράσεων δεν θα συμβεί σε ένα σύστημα που αναμιγνύεται με μη φορτισμένους πολυσακχαρίτες, όπως είναι το κόμμι γκουάρ. Οι Tavares και συνεργάτες (2005) αναφέρουν ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις κόμμιος γκουάρ (0,2%) σε πηκτές WPI, το κόμμι γκουάρ διασπείρεται ως σφαιρίδια ενσωματωμένα στο πρωτεϊνικό πλέγμα, ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις (0,6%) τα διασπειρώμενα σφαιρίδια συνενώνονται και σχηματίζουν μία συνεχή φάση πλούσια σε πολυσακχαρίτη.

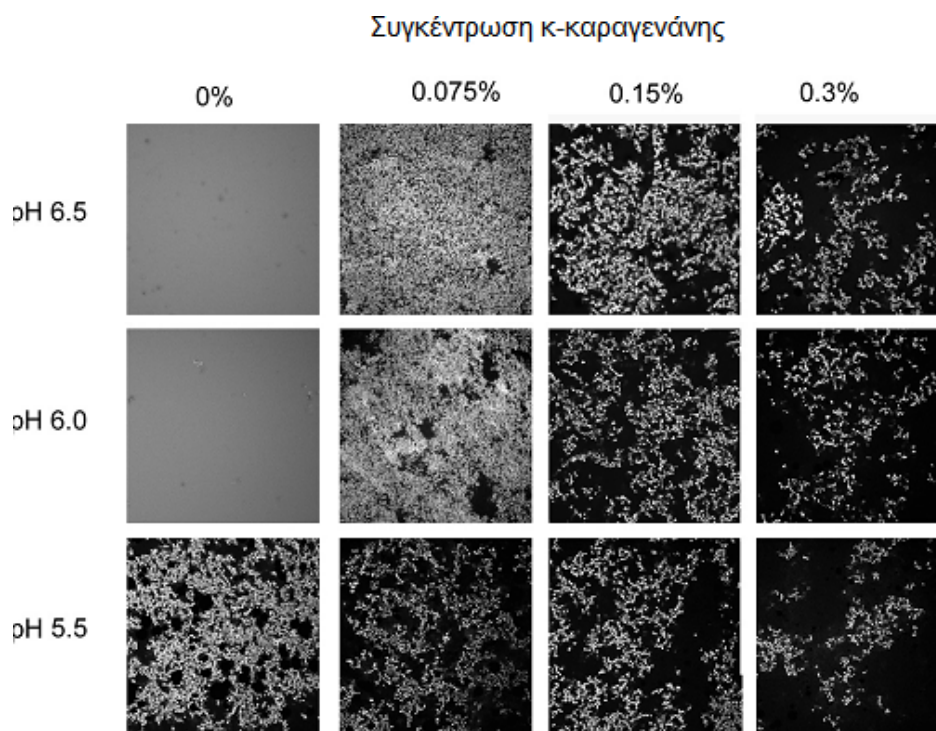


Σχ. 19. Μικροδομή (2D ανάλυση $160 \times 160 \mu\text{m}$) μικτών συστημάτων πηκτών πρωτεϊνών ορού με διάφορες συγκεντρώσεις κόμμιων: α) ξανθάνης, β) γκουάρ, γ) γκουάρ (3D ανάλυση $500 \times 500 \mu\text{m}$) και δ) χαρουπιού (de Jong & van de Velde, 2007).

Στην περίπτωση της ι-καραγενάνης, η οποία είναι ένας ισχυρά ανιονικός πολυ-ηλεκτρολύτης, αύξηση της συγκέντρωσής της βρέθηκε να οδηγεί σε αυξημένη συναίρεση και αύξηση της αποτελεσματικής συγκέντρωσης πρωτεΐνης, κάτι το οποίο συντελεί στο σχηματισμό πηκτής με μεγαλύτερη αντοχή (de Jong & van de Velde,

2007). Λόγω των ισχυρών μοριακών έλξεων μεταξύ $-NH_3^+$ των πρωτεϊνών ορού και $-OSO_3$ της καραγενάνης (Dickinson, 1998) σε τιμές pH χαμηλότερες του Ι.Σ. των πρωτεϊνών, σχηματίζονται σύμπλοκα μεταξύ των βιοπολυμερών αυτών, τα οποία χρησιμεύουν για την προστασία έναντι της ελάττωσης διαλυτότητας των πρωτεϊνών ορού κατά τις διεργασίες θέρμανσης ή υψηλής πίεσης (Imeson, 2010), μέσω του αποκλεισμού των υδρόφοβων περιοχών των πρωτεϊνών από τον πολυσακχαρίτη (Dickinson, 1998). Συχνά, παρατηρείται δημιουργία διαλυτών συμπλόκων και σε τιμές pH υψηλότερες του Ι.Σ. των πρωτεϊνών, λόγω της ύπαρξης θετικά φορτισμένων σημείων στην επιφάνεια των πρωτεϊνών.

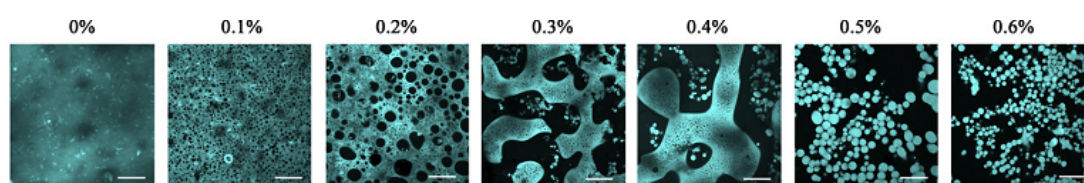
Σε έρευνα των Çakır και συνεργατών (2012) αναφέρεται ότι πηκτές πρωτεϊνών ορού γάλακτος σε pH 6,0 και 6,5 εμφανίζουν ομοιογενή πλέγματα (Σχ. 20). Σε pH 5,5, σε καθεστώς διαχωρισμού μικροφάσεων, σχηματίζεται ένα δίκτυο σωματιδίων. Η προσθήκη κ-καραγενάνης (0,075%) σε WPI προκάλεσε μικρό βαθμό διαχωρισμού φάσεων στην πηκτή, με αποτέλεσμα την τράχυνση του πρωτεϊνικού δικτύου και ελάττωση της σκληρότητας των πηκτών.



Σχ. 20. Μικροδομή μικτών συστημάτων πηκτών WPI και κ-καραγενάνης σε σχέση με το pH (ολική επιφάνεια εικόνων $212 \times 212 \mu\text{m}$) (Çakır et al., 2012).

Σε παρόμοια συστήματα πηκτών WPI/κ-καραγενάνης υψηλής συγκέντρωσης σε πρωτεΐνες (13%), βρέθηκε ότι η συνέχεια της πρωτεϊνικής φάσης εξαφανίστηκε

και το πλέγμα αντιστράφηκε, αποτελώντας μια συνεχή δομή πολυσακχαρίτη, όπου σφαιρικές μικροπεριοχές πρωτεϊνών ορού βρέθηκαν ενσωματωμένες σε μια συνεχή φάση κ-καραγενάνης, πιθανώς λόγω του διαχωρισμού φάσεων πριν το σχηματισμό πρωτεϊνικής πηκτής. Οι εξαντλητικές αλληλεπιδράσεις φάνηκαν να αυξάνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας κ-καραγενάνης με αποτέλεσμα το σχηματισμό πυκνότερων πρωτεϊνικών μικροπεριοχών μικρότερου κλάσματος όγκου (Çakır & Foegeding, 2011). Στο σχήμα 21 παρουσιάζεται η μικροδομή μικτών συστημάτων πηκτών WPI (13%) και κ-καραγενάνης (100mM NaCl), σε σχέση με τη συγκέντρωση πολυσακχαρίτη, με τη βοήθεια CSLM.



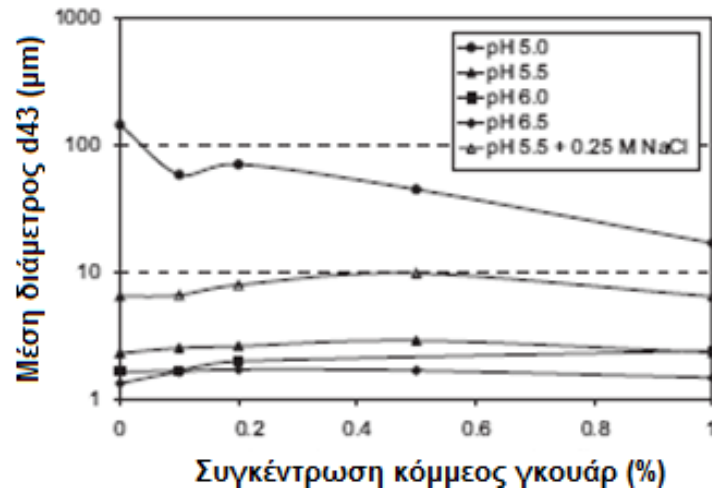
Σχ. 21. Μικροδομή πηκτών WPI/κ-καραγενάνης. Η γραμμή κλίμακας αντιστοιχεί σε 50μm (Çakır & Foegeding, 2011).

2.3.3 Πολυσακχαρίτες σε γαλακτοκομικά προϊόντα

2.3.3.1 Καζεϊνικά άλατα – κόμμα γκουάρ

Η συνδυαστική προσθήκη καζεϊνικών αλάτων και κόμμεος γκουάρ σε διαλύματα ή γαλακτώματα έχει αποδειχθεί ότι ανάλογα με τη συγκέντρωση των συστατικών προκύπτουν διαφορετικά συστήματα. Ειδικότερα, οι Neiryneck και συνεργάτες (2007) αναφέρουν ότι σε χαμηλές συγκεντρώσεις προκύπτουν μονοφασικά συστήματα, ενώ σε υψηλές συγκεντρώσεις καζεϊνικού νατρίου και κόμμεος γκουάρ (2 και 0,3%) επέρχεται πλήρης διαχωρισμός φάσεων, λόγω εξαντλητικής συσσωμάτωσης.

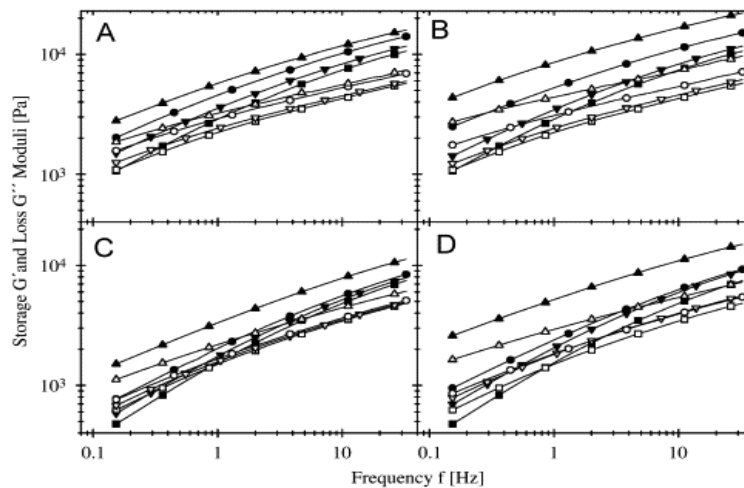
Στο σχήμα 22, παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το pH αυξάνεται και η διάμετρος των λιποσφαιρίων σε γαλακτώματα σταθεροποιημένα από καζεϊνικό νάτριο και κόμμα γκουάρ, μέχρι συγκεντρώσεως κόμμεος γκουάρ 0,5%, ενώ από εκεί και πέρα μειώνεται η διάμετρος, λόγω αύξησης του ιξώδους της συνεχούς φάσης. Σε pH 5 παρατηρήθηκε μια μείωση της διαμέτρου λιποσφαιρίων με την παρουσία του κόμμεος γκουάρ (Neiryneck et al., 2007).



Σχ. 22. Μέση διάμετρος λιποσφαιρίων (d_{43}) γαλακτώματος 0,3% καζεϊνικού νατρίου σε συνάρτηση με την προσθήκη κόμμεος γκουάρ σε διαφορετικά pH (Neiryck et al., 2007).

2.3.3.2 Καζεΐνες – καρραγενάνη

Σύμφωνα με το σχήμα 23, στο οποίο φαίνονται τα ρεολογικά χαρακτηριστικά μεταποιημένου τυριού με 45% και 50% w/w λίπος επί ξηρού, με αυξανόμενη συγκέντρωση της καρραγενάνης (0,05%, 0,15% και 0,25% w/w), οι συντελεστές ελαστικότητας G' και ιξώδους G'' αυξήθηκαν σε όλο το εύρος συχνοτήτων.



Σχ. 23. Συντελεστής ελαστικότητας (γεμάτα σύμβολα) και ιξώδους (κενά σύμβολα) σε συνάρτηση με τη συχνότητα, για τα προϊόντα A, B, C και D, τα οποία έχουν 45% λίπος επί ξηρού, με προσθήκη κ-καρραγενάνης (A και C) και ι-καρραγενάνης (B και D), με ποσοστό καρραγενάνης 0% w/w (■, □), 0,05% w/w (▼, ▽), 0,15% w/w (●, ○) και 0,25% w/w (▲, △) (Černíková et al., 2008).

Στα αποτελέσματα αυτά παρατηρείται ότι η αύξηση της συγκέντρωσης και των δύο καρραγενανών, κ- και ι-, στα ανακατεργασμένα τυριά μεταβάλλουν τις ιδιότητες της πηκτής, η οποία παρουσιάζει υψηλότερη ακαμψία. Αυτό θα μπορούσε να

εξηγηθεί από το γεγονός ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης συμβαίνουν πιο έντονες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της καραγενάνης και των πρωτεϊνικών αλυσίδων, οι οποίες, οδηγούν στο σχηματισμό μιας ανεκτικότερης δομής.

Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι στην πλειοψηφία των μεταποιημένων τυριών η ι-καραγενάνη συνέβαλε στην παραγωγή πιο σταθερής πηκτής (για τις συγκεντρώσεις του 0,15% και 0,25% w/w), από ότι κ-καραγενάνη. Σε συγκέντρωση 0,05% w/w ορισμένα προϊόντα με την προσθήκη της ι-καραγενάνης έδειξαν υψηλότερη ακαμψία από τα προϊόντα με την προσθήκη της κ-καραγενάνης και αυτό γιατί η ι-καραγενάνη είναι πιο αποτελεσματική από την κ-καραγενάνη. Η ι-καραγενάνη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε ιόντα ασβεστίου, ενώ η κ-καραγενάνη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε ιόντα καλίου.

Η προσθήκη 0,05% w/w καραγενάνης επηρέασε της ρεολογικές ιδιότητες ορισμένων ομάδων προϊόντων, αλλά σε πολύ μικρό βαθμό και, επομένως η συγκέντρωση αυτή φαίνεται να είναι πολύ χαμηλή για την αποτελεσματική επεξεργασία και την αύξηση της ακαμψίας των τυριών. Υψηλότερες συγκεντρώσεις της καραγενάνης (0,15% και 0,25% w/w) οδήγησε σε σημαντική αύξηση των τιμών G και Z σε σύγκριση με τα δείγματα ελέγχου. Η προσθήκη ι-καραγενάνης αυξάνει περισσότερο την ακαμψία των μεταποιημένων τυριών σε σχέση με την κ-καραγενάνη (Černíková et al., 2008).

2.4 Ρεολογία

Οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά ενός υλικού όταν αυτό ρέει υπό την επίδραση δύναμης ή δυνάμεων, καθώς και η συμπεριφορά του υλικού όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση δύναμης ή όταν ρέει υπό την επίδραση δύναμης, ονομάζονται μηχανικές ιδιότητες. Στην περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος επίδρασης της δύναμης πάνω στο υλικό, τότε οι ιδιότητες ονομάζονται ρεολογικές (Ραφαηλίδης, 1987).

Η επιστήμη που μελετά τη ροή και την παραμόρφωση των υλικών κάτω από την άσκηση πίεσης ονομάζεται ρεολογία. Ο όρος ρεολογία χρησιμοποιήθηκε από τον Eugene C. Bingham το 1928. Η ρεολογία καθιερώθηκε ως η επιστήμη της παραμόρφωσης και της ροής ενός αντικειμένου και μελετά με ποιον τρόπο τα υλικά αντιδρούν στην εφαρμοσμένη πίεση και τάση (Λαζαρίδης, 2000).

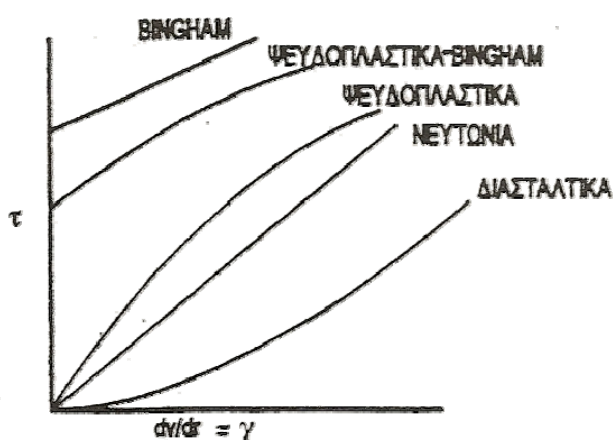
Η παραμόρφωση αναφέρεται στα στερεά υλικά και η ροή στα υγρά. Οι ρεολογικές ιδιότητες που ενδιαφέρουν στα στερεά και τα υγρά είναι η ελαστικότητα

και το ιξώδες, αντίστοιχα. Τα τρόφιμα δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ξεκάθαρα σε στερεά ή υγρά, καθώς δεν είναι ούτε ιξώδη ούτε ελαστικά, άλλα ιξωδοελαστικά (Borwankar & Shoemaker, 1992).

Η σύνθεση και η δομή ενός τροφίμου καθορίζουν την ρεολογία του και η ρεολογία ενός τροφίμου καθορίζει και την υφή του (Borwankar & Shoemaker, 1992). Το ιξώδες, είναι αναμφισβήτητα η φυσική ιδιότητα ενός υγρού που έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στα χαρακτηριστικά της ροής του. Το ιξώδες περιγράφει το μέγεθος της αντίστασης που προβάλλεται μέσα στη μάζα του υγρού κατά την εφαρμογή δυνάμεων διάτμησης, δυνάμεων δηλαδή που ενεργούν παράλληλα προς τη διεύθυνση ροής του ρευστού (Λαζαρίδης, 2000).

2.4.1 Ρεολογική συμπεριφορά τροφίμων

Οι καμπύλες του σχήματος 24, δείχνουν τη σχέση της τάσης διολίσθησης, που απαιτείται για να προκληθεί ροή με το ρυθμό (ταχύτητα) διολίσθησης, σε διάφορους τύπους ρεολογικής συμπεριφοράς.



Σχ. 24. Κατάταξη των ρευστών με βάση τη ρεολογική τους συμπεριφορά (www.chemeng.ntua.gr).

Τα μαθηματικά μοντέλα που περιγράφουν τις καμπύλες που αφορούν τα μη Νευτώνεια ρευστά δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις, που αντιπροσωπεύουν τη σχέση ανάμεσα στην τάση (τ) και την ταχύτητα διολίσθησης (παραμόρφωσης) (γ):

$$\text{Bingham: } \tau = k\gamma \pm \tau_0 \quad (1)$$

παράδειγμα: μέλι σε χαμηλή θερμοκρασία

$$\text{Ψευδοπλαστικά: } \tau = k\gamma^n \quad (2)$$

όπου: $0 < n < 1$

παράδειγμα: διαλύματα κόμμεων, γάλα συμπυκνωμένο, μαγιονέζα, μουστάρδα, σούπες

$$\text{Διασταλτικά: } \tau = k\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

όπου: $1 < n < \infty$

παράδειγμα: πυκνά αιωρήματα αμύλου, φιστικοβούτυρο, κλπ

$$\text{Πλαστικά Bingham ή Ρευστά Herschel–Bulkley: } \tau = k\dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad (4)$$

όπου: $0 < n < \infty$

παράδειγμα: κέτσαπ, πουρές κλπ.

Οι παραπάνω εξισώσεις χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των μη Νευτώνειων ρευστών στη ροή. Οι τρεις πρώτες εξισώσεις είναι ειδικές περιπτώσεις της τέταρτης, η οποία συνιστά το γενικευμένο μοντέλο των μη Νευτώνειων ρευστών.

Ο συντελεστής k ονομάζεται συντελεστής συνεκτικότητας του ρευστού, ενώ ο εκθέτης n είναι ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς. Η σταθερά τ_0 είναι η τάση έναρξης της ροής, δηλαδή η πίεση που πρέπει να ασκηθεί για να αρχίσει η ροή του ρευστού.

Οι εξισώσεις (2), (3) και (4) συχνά αναφέρονται ως εκθετικά μοντέλα ρευστών (power law models), ενώ τα ρευστά που ακολουθούν τη συμπεριφορά αυτή ονομάζονται εκθετικά ρευστά (power law fluids). Η εξίσωση Herschel–Bulkley μπορεί να θεωρηθεί και σαν το γενικευμένο μοντέλο περιγραφής κάθε ρευστού, αφού για δεδομένες τιμές ($\tau_0=0$) και ($n=1$) ανάγεται σε μοντέλο νευτώνειων ρευστών με το k να ισούται με το συντελεστή ιξώδους μ .

Είναι σημαντικό να κατανοηθεί η σημασία και η σχέση του φαινομενικού ιξώδους (μ_ϕ) και του συντελεστή συνεκτικότητας k . Από τη γενική εξίσωση (4) προκύπτει:

$$\tau - \tau_0 = k \dot{\gamma}^n = (k \dot{\gamma}^{n-1}) \cdot \dot{\gamma}$$

Η εξίσωση αυτή μοιάζει με την εξίσωση των νευτώνειων ρευστών ($\tau = \mu \dot{\gamma}$). Ενώ στα Νευτώνεια ρευστά ο συντελεστής ιξώδους (μ) είναι σταθερός και ανεξάρτητος του ρυθμού παραμόρφωσης ($\dot{\gamma}$), στα μη Νευτώνεια ο συντελεστής αυτός είναι μεταβλητός και εξαρτάται από το $\dot{\gamma}$.

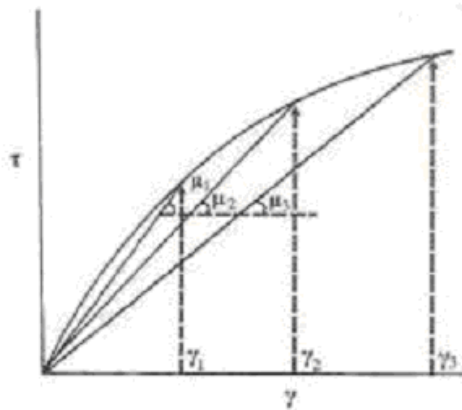
Έτσι, προκύπτει:

$$\mu_\phi = k \dot{\gamma}^{n-1}$$

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι:

1. Ο συντελεστής συνεκτικότητας (k) είναι σταθερά του ρευστού (για δεδομένη θερμοκρασία) και ανεξάρτητη του ρυθμού παραμόρφωσης
2. Το φαινομενικό ιξώδες εμπεριέχει το συντελεστή συνεκτικότητας (k) και μεταβάλλεται συναρτήσει του ρυθμού παραμόρφωσης ($\dot{\gamma}$)

Το φαινομενικό ιξώδες των εκθετικών ρευστών για συγκεκριμένο ρυθμό παραμόρφωσης προσδιορίζεται γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 25.



Σχ. 25. Γραφικός προσδιορισμός φαινομενικού ιξώδους για δεδομένο ρυθμό παραμόρφωσης (www.chemeng.ntua.gr).

2.4.1.1 Ιξωδοελαστικά ρευστά

Τα ιξωδοελαστικά ρευστά παρουσιάζουν ελαστική ανάκαμψη (recovery) από παραμορφώσεις που υφίστανται κατά τη ροή τους. Τα περισσότερα ρευστά της κατηγορίας αυτής είναι πολυμερή. Τα ρευστά αυτά παρουσιάζουν το «φαινόμενο Weissenberg», κατά το οποίο το ρευστό έχει την τάση να αναρριχάται σε άξονα που περιστρέφεται μέσα στη μάζα του. Για ροή υπό σταθερή κατάσταση (steady state) των ρευστών αυτών χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν για τα ψευδοπλαστικά ρευστά (Λαζαρίδης, 2000).

2.4.1.2 Ρευστά με ροή χρονικά εξαρτημένη

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα φαινόμενα της θιξοτροπίας και της ρεοπηξίας.

Θιξοτροπία είναι η ρεολογική ιδιότητα κατά την οποία το ιξώδες μειώνεται, δηλαδή το υλικό γίνεται πιο λεπτόρρευστο κατά την παραμόρφωση (όπως και στα ψευδοπλαστικά ρευστά), αλλά η μείωση αυτή δεν εξαρτάται μόνο από το ρυθμό διάτμησης, αλλά συγχρόνως και από τη διάρκεια διάτμησης.

Ρεοπηξία είναι το αντίθετο της θιξοτροπίας. Πρόκειται για τη ρεολογική συμπεριφορά κατά την οποία το ιξώδες αυξάνεται σε συνάρτηση με το ρυθμό και τη διάρκεια της διάτμησης (Barnes et al. 1989). Στα τρόφιμα που παρουσιάζουν ρεοπηξία τα συστατικά τους τείνουν να συσσωματώνονται και να σχηματίζουν τρισδιάστατα πλέγματα (χωροπλέγματα) που προσδίδουν κάποιο βαθμό ακαμψίας στην υφή. Τα πλέγματα αυτά προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις διαφόρων χαρακτηριστικών ενεργών ομάδων μεταξύ τους (Steffe, 1996).

2.4.1.3 Ιξωδόμετρο Brookfield

Το ιξωδόμετρο Brookfield στηρίζεται στην αρχή μέτρησης του ιξώδους κατά την περιστροφική κίνηση της ατράκτου μέσα στη μάζα του υπό μελέτη ρευστού. Η άτρακτος αποτελείται από κατακόρυφο άξονα που στο κάτω μέρος του είναι στερεωμένος δίσκος και το επάνω μέρος του είναι προσαρμοσμένο στο σύστημα μέτρησης της διατμητικής τάσης που μετρείται σε αυθαίρετες τιμές που μπορούν να αναγνωσθούν ψηφιακά. Το όργανο είναι ρυθμισμένο να περιστρέφει την άτρακτο σε διαφορετικές καθορισμένες ταχύτητες περιστροφής με την βοήθεια συστήματος γραναζιών που εκτείνονται από 0,5 μέχρι 100 rpm. Για να μπορέσει το όργανο να καλύψει μεγάλη έκταση τιμών ιξώδους ρευστών, χρησιμοποιείται σειρά ατράκτων που έχουν διαφορετικής διαμέτρου δίσκους και φέρουν αριθμούς στον άξονά τους 1 έως 7. Για κάθε άτρακτο και για κάθε τιμή rpm που χρησιμοποιείται, το ιξώδες, μπορεί να υπολογισθεί από έναν πίνακα και από την ένδειξη της οθόνης του οργάνου (Ραφαηλίδης, 2006).

Το ιξωδόμετρο Brookfield RVT είναι σχεδιασμένο για τη μέτρηση του ιξώδους νευτώνειων ρευστών (www.brookfieldengineering.com) π.χ. μίγματα παγωτού (Icier & Tavman, 2006). Ο Mitschka (1982) επέκτεινε τη χρήση του ιξωδομέτρου αυτού και στα ψευδοπλαστικά ρευστά. Αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν τη μέθοδο του Mitschka (παράγραφος 4.4.1.1) για τη ρεολογική αξιολόγηση σε δείγματα μελιού (Haminiuk et al., 2009), παραδοσιακές σούπες της Τουρκίας (Ibanoğlu & Ibanoğlu, 1998), καθώς και πολτό ρεβιθιών (Swami et al., 2004).

2.4.2 Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων

Μηχανικές ιδιότητες υλικού ονομάζονται εκείνες οι ιδιότητες που αναφέρονται στη συμπεριφορά του υλικού αυτού, όταν αυτό βρίσκεται υπό την επίδραση δύναμης

ή δυνάμεων. Ως μηχανικές ιδιότητες μπορεί να θεωρηθούν η συμπεριφορά που δείχνει ένα υλικό όταν παραμορφώνεται υπό την επίδραση μιας δύναμης ή όταν ρέει πάλι υπό την επίδραση μιας δύναμης. Αυτές οι συγκεκριμένες ιδιότητες ονομάζονται και ρεολογικές, όταν μάλιστα λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος που επιδρά η δύναμη πάνω στο υλικό. Οπότε, τρεις είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τη ρεολογική συμπεριφορά ενός υλικού: (I) η δύναμη που επιδρά στο υλικό, (II) η παραμόρφωση που υφίσταται το υλικό και (III) ο χρόνος επίδρασης της δύναμης.

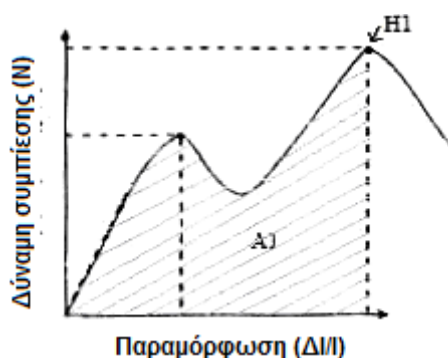
Οι δυνάμεις εφαρμόζονται στα υλικά προς δύο κατευθύνσεις:

(α) Κάθετα προς την επιφάνεια του υλικού το οποίο είτε συμπιέζεται είτε εκτείνεται. Η δύναμη που εξασκείται ανά μονάδα επιφάνειας ονομάζεται τάση συμπίεσης ή έκτασης ($\sigma = F/A$) και μετρείται σε Pascal, η δε αλλαγή στο μήκος του υλικού κατά Δl αν l είναι το αρχικό μήκος του, ονομάζεται παραμόρφωση. Συμβολίζεται με το γράμμα ϵ και ισούται με $\Delta l/l$ οπότε είναι αδιάστατος αριθμός.

(β) Εφαπτομενικά παράλληλα προς το επίπεδο που βρίσκεται το υλικό και ονομάζεται διατμητική τάση τ και μετρείται σε Pascal, η δε γωνιακή μεταβολή λόγω στρέψης του υλικού εφαπτομενικά ονομάζεται γωνιακή παραμόρφωση και συμβολίζεται με γ (Ντερλίκης, 2007).

2.4.2.1 Συμπεριφορά στερεών κατά τη συμπίεση

Η δοκιμή της συμπίεσης των υλικών γίνεται με το όργανο Instron, Universal Testing Machine και άλλες παρόμοιες συσκευές μελέτης μηχανικών ιδιοτήτων υλικών. Το προς εξέταση υλικό τοποθετείται μεταξύ δύο επίπεδων πλακών, από τις οποίες, η μία είναι σταθερή και η άλλη μπορεί να κινηθεί με προκαθορισμένη ταχύτητα για να συμπιέσει το υλικό (Σχ. 26).



Σχ. 26. Τυπική καμπύλη δύναμης συμπίεσης – παραμόρφωσης ενός τροφίμου (Ντερλίκης, 2007).

Όπως φαίνεται από το σχήμα 26, ένας αριθμός μηχανικών παραμέτρων μπορεί να μετρηθεί από αυτή την καμπύλη. Η κλίση της αρχικής ευθείας γραμμής λαμβάνεται ως ο συντελεστής ελαστικότητας. Η καμπύλη επίσης παρουσιάζει δύο κορυφές. Η πρώτη που υποδηλώνει τη βιοαποικοδόμηση (bioyield), δηλαδή την καταστροφή ορισμένων δομικών στοιχείων της υφής του υπό εξέταση υλικού και την δεύτερη καμπύλη που υποδηλώνει την θραύση, δηλαδή την πλήρη κατάρρευση του δομικού ιστού της υφής του υλικού, και αποτελεί το μέτρο της αντοχής του υλικού (Ντερλίκης, 2007).

2.5 Αξιολόγηση χρώματος

Το χρώμα είναι ιδιότητα που χαρακτηρίζει την εμφάνιση των προϊόντων και αποδίδεται στο πλάτος του φάσματος του φωτός. Το φως είναι η ορατή ακτινοβολία που περιλαμβάνει μήκη κύματος από 380 έως 770 nm (Πίν. 3).

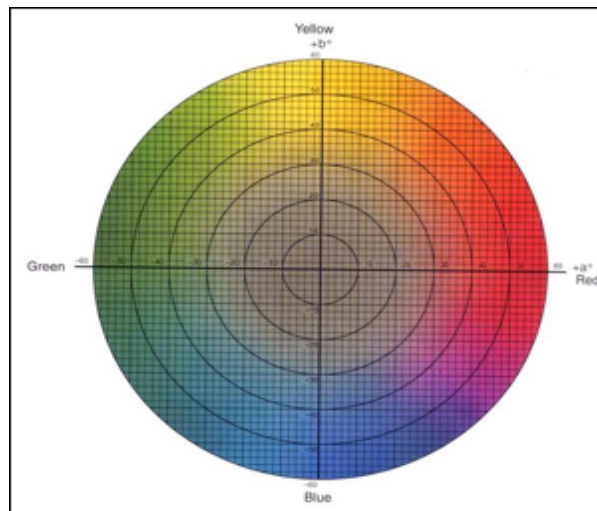
Πίνακας 3. Χρώμα ορατής ακτινοβολίας.

Μήκος κύματος (nm)	Χρώμα
400–500	γαλάζιο
500–600	πράσινο – κίτρινο
600–700	κόκκινο

Αν δεν υπάρχει ακτινοβολία δεν υπάρχει φως και αν δεν υπάρχει φως, δεν υπάρχει χρώμα. Για την αντίληψη του χρώματος συμμετέχουν τρεις παράγοντες: α) το προσπίπτον φως (φωτεινή πηγή, φωτισμός), β) το αντικείμενο (τρόφιμο, συσκευασία κτλ) και γ) ο παρατηρητής (μάτι/οπτικό αίσθημα) (Ντερλίκης, 2002).

Το χρώμα είναι ένα τρισδιάστατο φαινόμενο, έτσι δεν είναι εύκολα ορατό ή αντιπροσωπευτικό. Ωστόσο, εάν το χρώμα χωρίζεται σε δύο μέρη, φωτεινότητα και χρωματικότητα, είναι πιο εύκολα ορατό. Φωτεινότητα περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο πόσο ανοιχτό ή σκούρο είναι ένα χρώμα και χρωματικότητα, που αντιπροσωπεύει την απόχρωση και το χρώματος, μπορεί να εκπροσωπείται από δύο διαστάσεις. Η συνηθέστερη χρησιμοποιούμενη κλίμακα που καθορίζει αριθμητικά τα χρώματα είναι του συστήματος C.I.E., που θεσπίστηκε το 1931 από την Commission Internationale de l' Eclairage. Στο τρισδιάστατο χώρο C.I.E. 1931 χρώμα Yxy, Y αντιπροσωπεύει τη φωτεινότητα ενός υλικού, ενώ ένας πίνακας δύο διαστάσεων χρωμάτων αντιπροσωπεύει την απόχρωση και την χροιά (επίπεδο λευκό ή μαύρο).

Μια άλλη μέθοδος που προσδιορίζεται με αριθμητική κλίμακα βασίζεται στη L^* , a^* , b^* , C.I.E. 1976, όπως φαίνεται στο σχήμα 27. Η συντεταγμένη L^* είναι αντίστοιχη του y και προσδιορίζει τη φωτεινότητα, η συντεταγμένη a^* είναι συνάρτηση των y και x και προσδιορίζει το χρώμα και τέλος η συντεταγμένη b^* είναι συνάρτηση των y και z και προσδιορίζει την ένταση (www.chem.ufl.edu).



Σχ. 27. Κλίμακα χροιάς χρώματος με βάση της συντεταγμένες L^* , a^* , b^* (www.chem.ufl.edu).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα εστιάστηκε στη μελέτη μοντέλων μικτών συστημάτων πηκτών γαλακτωμάτων, τα οποία αποτελούν προσομοίωση των ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος κανονικής λιποπεριεκτικότητας που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενες έρευνες. Στόχος ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του είδους σταθεροποιητή (πολυσακχαρίτης ή μίγματα αυτών) στην υφή, δομή, σταθερότητα και το χρώμα των τελικών προϊόντων, μέσω της μελέτης απλούστερων συστημάτων.

Συγκεκριμένα, σκοπός ήταν να μελετηθεί η επίδραση του είδους πολυσακχαρίτη (ξανθάνη, κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, караγενάνη) και των μιγμάτων αυτών (καραγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού) στις φυσικοχημικές και ρεολογικές ιδιότητες τεσσάρων ομάδων συστημάτων, τα οποία είχαν ανάλογη χημική σύσταση με τα υπό μελέτη προϊόντα ανακατεργασμένα τυριά τυρογάλακτος. Οι παρακάτω ομάδες δειγμάτων σχεδιάστηκαν ώστε να αποσαφηνιστεί η επίδραση των εκάστοτε συστατικών σε πολύπλοκα συστήματα πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού:

A. Αιωρήματα/πηκτές πολυσακχαριτών, αποτελούμενα από νερό και πολυσακχαρίτη/ες.

B. Πηκτές πρωτεϊνών ορού, αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες και πρωτεΐνες ορού, καθώς και δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη, ως μάρτυρας.

Γ. Γαλακτώματα/πηκτές γαλακτωμάτων, αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες και κρέμα γάλακτος.

Δ. Πηκτές γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού, αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες, πρωτεΐνες ορού και κρέμα γάλακτος, καθώς και δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη, ως μάρτυρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στο πειραματικό μέρος αναφέρεται η επίδραση του είδους των προστιθέμενων πολυσακχαριτών στις ρεολογικές και φυσικοχημικές παραμέτρους των ομάδων δειγμάτων. Τα δείγματα παρασκευάστηκαν με τη χρήση μεταβλητής αναλογίας συστατικών, ώστε να προκύψει μία σειρά ομάδων δειγμάτων με διαφορετική χημική σύσταση.

Για την παρασκευή όλων των δειγμάτων έγινε χρήση πολυσακχαριτών, προσθήκη ή όχι κρέμας γάλακτος και πρωτεϊνών ορού, αλατιού και νερού. Τα δείγματα της εκάστοτε ομάδας είχαν σταθερή χημική σύσταση και όμοιο pH. Το αλάτι χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση της έντασης της γεύσης και τη βελτίωση της διατηρησιμότητάς τους. Ο έλεγχος του pH έγινε με την προσθήκη γαλακτικού οξέος, μέχρι τελικό pH 5,2. Συνολικά παρασκευάστηκαν 38 δείγματα.

4.1 Περιγραφή εργαστηριακού εξοπλισμού και πειραματικών μεθόδων

4.1.1 Παρασκευή ομάδων δειγμάτων

Αρχικά παρασκευάστηκαν τέσσερις ομάδες δειγμάτων. Στην ομάδα των αιωρημάτων/πηκτών πολυσακχαριτών (ομάδα Α) γινόταν προσθήκη 0,8% πολυσακχαρίτη, 1% αλάτι (NaCl) και 98,2% απιονισμένο νερό. Η διαδικασία αυτή γινόταν για κάθε είδος πολυσακχαρίτη και συνδυασμό αυτών. Συνολικά παρασκευάστηκαν εννέα (9) δείγματα (ξανθάνη, κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού). Ακολουθούσε ρύθμιση του pH στο 5,2 με προσθήκη γαλακτικού οξέος και εισαγωγή στον αναμίκτη-παστεριωτήρα (Stephan, Germany), με ταχύτητα ανάμιξης 1000 rpm στους 90°C για 35 min. Έπειτα, γινόταν έγχυση σε μεταλλικούς δακτυλίους, ύψους 22 mm και διαμέτρου 22 mm, οι οποίοι είχαν προηγουμένως λιπανθεί με παραφινέλαιο και επικάλυψη με αλουμινόχαρτο για να μην αφυδατωθεί η επιφάνεια των δειγμάτων. Τοποθετούνταν υπό ψύξη στους 4°C, για 24 ώρες.

Μετά από εξαγωγή των δοκιμίων από το ψυγείο και παραμονή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) για 3 ώρες το καθένα, ακολούθησε μέτρηση των ρεολογικών παραμέτρων (TPA) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) με τη βοήθεια του Instron στα δείγματα που έπηξαν και στο εξής θα αναφέρονται ως πηκτές πολυσακχαριτών (καραγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού,

καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού). Στα υπόλοιπα δείγματα πραγματοποιήθηκε μέτρηση των ρεολογικών παραμέτρων με την βοήθεια του Brookfield viscometer model RVTD, λόγω του ότι παρέμειναν ρευστά.

Στην ομάδα των πηκτών πρωτεϊνών ορού (ομάδα Β), γινόταν προσθήκη 0,8% πολυσακχαρίτη, 1% αλάτι (NaCl), 11,2% πρωτεΐνη ορού σε απομονωμένη μορφή και 87,0% απιονισμένο νερό. Η διαδικασία αυτή γινόταν για κάθε είδος πολυσακχαρίτη και συνδυασμό αυτών, ενώ παρασκευάστηκε και δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Όλα τα δείγματα ήταν στερεά και μελετήθηκαν με τη βοήθεια της δοκιμής TPA, όπως περιγράφεται παραπάνω.

Στην ομάδα των γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων (ομάδα Γ) έγινε προσθήκη 0,8% πολυσακχαρίτη, 1% αλάτι (NaCl), 44,3% κρέμα γάλακτος και 53,9% απιονισμένο νερό. Η διαδικασία αυτή γινόταν για κάθε είδος πολυσακχαρίτη και συνδυασμό αυτών. Τα δείγματα που ήταν στερεά και στο εξής θα αναφέρονται ως πηκτές γαλακτωμάτων ήταν τα: караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού. Στα υπόλοιπα δείγματα γινόταν μέτρηση των ρεολογικών παραμέτρων με την βοήθεια του Brookfield viscometer model DV-II, λόγω του ότι δεν παρουσίαζαν πήγμα, αλλά ήταν ρευστά ή ημίρρευστα. Για λόγους σύγκρισης με τις ρεολογικές ιδιότητες της ομάδας Α, το δείγμα με ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, το οποίο ήταν ημίρρευστο, μετρήθηκε και με τις δύο μεθόδους.

Στην ομάδα των πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδα Δ) έγινε προσθήκη 0,8% πολυσακχαρίτη, 1% αλάτι (NaCl), 10,4% πρωτεΐνη ορού σε απομονωμένη μορφή, 44,3% κρέμα γάλακτος και 44,5% απιονισμένο νερό. Η διαδικασία αυτή γινόταν για κάθε είδος πολυσακχαρίτη και συνδυασμό αυτών, ενώ παρασκευάστηκε και δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη που χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Όλα τα δείγματα ήταν στερεά και μελετήθηκαν με τη βοήθεια της δοκιμής TPA.

Επίσης, γινόταν εισαγωγή προϊόντος για όλες τις κατηγορίες σε καλούπια για τον προσδιορισμό του χρώματος, καθώς και προσδιορισμός της χημικής σύστασης (λιποπεριεκτικότητα, πρωτεΐνη, υγρασία, αλάτι).

4.1.2 Εργαστηριακός αναμίκτης – παστεριωτήρας

Η συσκευή UMC 5 Universal Machine που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δειγμάτων ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος αποτελεί συσκευή ανάμιξης, με δυνατότητα ταυτόχρονης θέρμανσης υπό κενό (Stephan, Germany).

Η διάταξη της συσκευής παρουσιάζεται στο σχήμα 28. Πρόκειται για μία συσκευή που αποτελείται από ένα κυλινδρικό κάδο ανάμιξης, όπου τοποθετείται το μίγμα προς επεξεργασία. Είναι από ανοξείδωτο χάλυβα και έχει τη δυνατότητα αποσυναρμολόγησης από την όλη συσκευή. Στον πυθμένα του δοχείου υπάρχει διάταξη μαχαιριών κοπής που βοηθάει στην καλύτερη ανάμιξη και κατάτμηση του εκάστοτε μίγματος. Η διάταξη αποσυναρμολογείται και εκ νέου εφαρμόζεται στον πυθμένα του κάδου εύκολα, διευκολύνοντας έτσι τον καθαρισμό του. Η διάταξη μαχαιριών κοπής συνδέεται με τον κινητήρα, ο οποίος επιτυγχάνει ταχύτητες ανάμιξης από 300 έως 3000 rpm.



Σχ. 28. Συσκευή ανάμιξης με ταυτόχρονη θέρμανση, υπό κενό (Stephan, Germany).

Χαρακτηριστικό του δοχείου είναι τα διπλά τοιχώματα που διαθέτει, στα οποία κυκλοφορεί νερό μέσω ενός υδατόλουτρου με κυκλοφορητή. Η σύνδεση του κάδου με υδατόλουτρο καθιστά εύκολη την αυξομείωση της θερμοκρασίας του προϊόντος, η οποία δύναται να κυμανθεί από 0 έως 95 °C. Το δοχείο κλείνει αεροστεγώς με διαφανές καπάκι που έχει ενσωματωμένο έναν αναδευτήρα από πολυαμίδιο, ο οποίος χρησιμεύει για την αποκόλληση προϊόντος από τα τοιχώματα του κάδου, ώστε να αποφεύγεται η θερμική καταπόνησή του. Το καπάκι ασφαλίζει και η συσκευή μπορεί να συνδεθεί με αντλία κενού, ώστε να απάγεται ο αέρας από τη μάζα του υπό παρασκευή μίγματος.

4.2 Φυσικοχημικές μέθοδοι

Στα παρασκευαζόμενα δείγματα όλων των ομάδων πραγματοποιήθηκαν φυσικοχημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό του χρώματος, του pH, της λιποπεριεκτικότητας, της περιεκτικότητας σε υγρασία, πρωτεΐνες και αλάτι. Όλα τα χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια ήταν αναλυτικής καθαρότητας.

4.2.1 Προσδιορισμός pH

Η μέτρηση του pH των μοντέλων γίνεται με τη βοήθεια φορητού πεχαμέτρου, μοντέλο HI 8424 NEW (Hannah Instruments), το οποίο είναι συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο βύθισης στη μάζα, μοντέλο HI 1230B (Hannah Instruments).

Αρχικά, ρυθμίζεται το όργανο με τη χρησιμοποίηση δύο ρυθμιστικών διαλυμάτων pH 7 και 4. Έπειτα, αφού το δείγμα έχει εξισορροπηθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ενεργείται η μέτρηση του pH με βύθιση του ηλεκτροδίου του στη μάζα του προϊόντος. Μετά από μερικά δευτερόλεπτα σταθεροποίησης, λαμβάνεται η ένδειξη του πεχαμέτρου. Μετά από εμβάπτιση σε οποιοδήποτε διάλυμα, γίνεται έκπλυση του ηλεκτροδίου με απεσταγμένο νερό και καθαρισμός του με μαλακό απορροφητικό χαρτί (Αντωνίου, 2002).

4.2.2 Προσδιορισμός λίπους (Gerber – Van Gulik)

Αρχή μεθόδου

Το θειικό οξύ διαλύει τη μεμβράνη των λιποσφαιρίων και το λίπος διαχέεται ελεύθερο, οπότε και διαχωρίζεται με τη βοήθεια της φυγοκέντρισης. Στο διαχωρισμό αυτό βοηθά η αμυλική αλκοόλη.

Υλικά – όργανα

- Βουτυρόμετρα Van – Gulik βαθμολογημένα από 0 – 40%.
- Θειικό οξύ, E.B. $1,522 \pm 0,005$ g/ml στους 20 °C.
- Αμυλική αλκοόλη, E.B. 0,808 – 0,818 g/ml.
- Αναλυτικός ζυγός με ακρίβεια 0,1 mg.
- Φυγόκεντρος Nova Safety 3670, Funke Gerber, θερμοκρασίας 65 °C.
- Υδατόλουτρο: Köttermann Labortechnik, Italy.
- Σιφώνια 1 και 10 ml.

Τεχνική

Στον υποδοχέα των βουτυρομέτρων ζυγίζονται 3 g προϊόντος. Ο υποδοχέας τοποθετείται στο βουτυρόμετρο και από το πάνω ανοικτό στόμιο του βουτυρομέτρου προστίθεται θειικό οξύ μέχρι να καλυφθεί το δείγμα. Το βουτυρόμετρο μεταφέρεται σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 65°C για 20–30 λεπτά, με συνεχή ανάδευση για να διαλυθεί μάζα του προϊόντος. Αφού διαλυθεί η μάζα του προστίθεται 1 ml αμυλικής αλκοόλης στο βουτυρόμετρο και ακολουθεί έντονη ανάδευση. Μετά προστίθεται θειικό οξύ μέχρι για 4/5 της βαθμολογημένης κλίμακας του βουτυρομέτρου, αυτό πωματίζεται και τοποθετείται σε υδατόλουτρο για 5 λεπτά.

Ακολουθεί φυγοκέντριση για 5 λεπτά στις 1100–1200 στροφές/min, τοποθέτηση στο υδατόλουτρο για 5 λεπτά και ανάγνωση της κλίμακας του βουτυρομέτρου.

Η περιεκτικότητα του δείγματος σε λίπος ανά 100g προϊόντος είναι η διαφορά της κλίμακας μεταξύ της ανάγνωσης του κάτω και άνω άκρου της στοιβάδας του λίπους (Μαρτίνου, 2002).

4.2.3 Προσδιορισμός υγρασίας

Υλικά – όργανα

- Αναλυτικός ζυγός με ακρίβεια 0,1 mg
- Κλίβανος ξήρανσης με δυνατότητα διατήρησης της θερμοκρασίας στους $105 \pm 2^\circ\text{C}$
- Δίσκος διαμέτρου 60–80 mm, με επίπεδο πυθμένα, από ανοξειδωτο χάλυβα, αλουμίνιο ή γυαλί
- Γυάλινη ράβδος με μήκος μεγαλύτερο της διαμέτρου του δίσκου κατά 5 mm
- Ξηραντήριο
- Θαλασσινή άμμος ξεπλυμένη με υδροχλωρικό οξύ.

Τεχνική

Ποσότητα 10 g άμμου τοποθετούνται στο δίσκο αλουμινίου μαζί με τη γυάλινη ράβδο και ξηραίνονται στους $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ για 1 ώρα. Στη συνέχεια τοποθετούνται στο ξηραντήριο για ψύξη και ζυγίζονται.

Στο δίσκο προστίθεται 1,5 g δείγματος, με τη γυάλινη ράβδο αναμιγνύεται το δείγμα με την άμμο και τοποθετείται στο κλίβανο $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ για 4 ώρες. Μετά την ξήρανση ψύχεται στο ξηραντήριο και ζυγίζεται. Η ξήρανση στον κλίβανο

επαναλαμβάνεται μέχρις ότου η διαφορά μεταξύ δυο διαδοχικών ζυγίσεων προκύψει μικρότερη του 1 mg.

Η υγρασία του δείγματος υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο (Πολυχρονιάδου & Αληχανίδου, 1996):

$$\text{Υγρασία \%} = (\beta - \gamma) / (\beta - \alpha) \times 100$$

όπου,

α = βάρος δίσκου αλουμινίου, άμμου και γυάλινης ράβδου

β = βάρος δίσκου και περιεχομένου του μετά την τοποθέτηση του δείγματος

γ = βάρος δίσκου και περιεχομένου του μετά την ξήρανση του δείγματος.

4.2.4 Προσδιορισμός αλατιού

Υλικά – όργανα

- Διάλυμα K_2CrO_3 2%
- Διάλυμα $AgNO_3$ 0,1711N
- Ογκομετρικές φιάλες 250 ml
- Σιφόνια 25 ml.

Τεχνική

Από το δείγμα 10 g μεταφέρονται σε αναμίκτη με 50 ml νερό θερμοκρασίας 50–60°C. Ακολουθεί ανάμιξη για 4–5 λεπτά με μέτρια ταχύτητα και το δείγμα μεταφέρεται ποσοτικά σε ογκομετρική φιάλη των 250 ml. Προστίθεται νερό ως τη χαραγή.

Το παρασκεύασμα αφήνεται για λίγα λεπτά σε ηρεμία και από το σχεδόν διαυγές πάνω μέρος του παίρνεται με σιφόνιο 25 ml και μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 150 ml. Προστίθενται 2 ml δείκτη χρωμικού καλίου και γίνεται ογκομέτρηση με νιτρικό άργυρο 0,1711N. Το τέλος της ογκομέτρησης φαίνεται με την απόκτηση καστανού χρώματος το οποίο παραμένει για 10 δεύτερα.

Το ποσοστό του αλατιού υπολογίζεται από τον τύπο (Καραουλάνης, 1998):

$$\Sigma A = \alpha \cdot 100 / Y + \alpha$$

Όπου α : περιεκτικότητα άλατος (% w/w)

Y: υγρασία τυριού (% w/w).

4.2.5 Προσδιορισμός πρωτεϊνών κατά Kjeldahl

Υλικά – όργανα

- Πυκνό H₂SO₄ 97% (Merck)
- Καταλύτες kjeltabs, 3,5g K₂SO₄, 0,2g Cu₂SO₄·5H₂O (Merck)
- Διάλυμα NaOH 40% w/w
- Διάλυμα H₃BO₄ 20% w/w
- Διάλυμα HCl 0,1% w/w
- Δείκτης ερυθρού του μεθυλίου – κυανού του μεθυλενίου (Merck)
- Διάταξη καύσης Kjeldahl: 315, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland
- Συσκευή απόσταξης Kjeldahl: 315, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland
- Φιάλες BÜCHI 500 ml, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland
- Κωνικές φιάλες 250 ml
- Σιφώνια πλήρωσης των 10, 20 και 50 ml
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 50 ml
- Προχοΐδα, διαβαθμίσεων 0,05 ml
- Υποδοχείς δειγμάτων, ελεύθεροι αζώτου.

Τεχνική

Ζυγίζεται σε αναλυτικό ζυγό 1 g προϊόντος μέσα σε ειδικό χάρτινο υποδοχέα, ο οποίος είναι ελεύθερος αζώτου. Ο υποδοχέας με το δείγμα τοποθετείται με προσοχή στον πάτο της ειδικής φιάλης 500 ml. Συνολικά, χρησιμοποιούνται έξι (6) φιάλες, όπου στη συνέχεια προστίθενται από δύο (2) ταμπλέτες καταλύτη και με σιφώνιο 20 ml πυκνό H₂SO₄. Οι φιάλες τοποθετούνται σε ειδικό στατό της συσκευής καύσης, η οποία βρίσκεται μέσα στον απαγωγό. Το στατό σφραγίζεται με ειδικό καπάκι, το οποίο αποτελεί μια διάταξη απαγωγής των καυσαερίων. Αφού σφραγιστεί το καπάκι, δημιουργείται κενό αέρος μέσω ψυκτήρα νερού (το καπάκι της συσκευής καύσης συνδέεται με αντλία κενού και λειτουργεί με τρεχούμενο νερό).

Γίνεται εκκίνηση της συσκευής καύσης, πρώτα έως τη θερμοκρασία των 50–60°C και σταδιακά η θερμοκρασία αυξάνεται. Στο σημείο αυτό είναι επιθυμητή η διάσπαση του δείγματος με πυκνό θειικό οξύ παρουσία καταλύτη. Η καύση διαρκεί 2 ώρες περίπου, στο τέλος της οποίας το διάλυμα πρέπει να είναι πλέον διαυγές. Διακόπτεται η λειτουργία της συσκευής, ενώ το καπάκι της διάταξης απαγωγής ανοίγεται μόνο όταν κρυώσει το διάλυμα και δεν διακρίνονται ατμοί, ενώ ταυτόχρονα παύει η λειτουργία του ψυκτήρα.

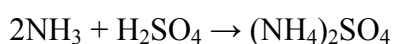
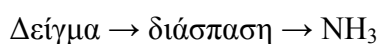
Σε κάθε φιάλη προστίθενται, με ογκομετρικό κύλινδρο, 50 ml απεσταγμένο νερό. Μετά την προθέρμανση της συσκευής απόσταξης, έχοντας στη θέση του προς απόσταξη διαλύματος απεσταγμένο νερό, η πρώτη απόσταξη γίνεται με φιάλη χωρίς δείγμα στην οποία έχουν προστεθεί 70ml νερού (δηλαδή όσο όγκο υγρών έχουν και οι φιάλες με το δείγμα). Με ειδική πυράγρα τοποθετείται η υπό ανάλυση φιάλη στην ειδική θέση στη συσκευή απόσταξης και προστίθενται 70 ml NaOH, μέχρι η στάθμη του υγρού να αυξηθεί κατά 70 ml. Η απόσταξη αρχίζει και το απόσταγμα συλλέγεται σε κωνική φιάλη που περιέχει 60 ml βορικό οξύ. Το σωληνάκι από το οποίο λαμβάνεται το απόσταγμα πρέπει να είναι βυθισμένο μέσα στο βορικό οξύ για να μην ξεφύγει η αμμωνία (αέριο) στο χώρο. Η αμμωνία σε αυτό το σημείο δεσμεύεται ποσοτικά ως βορικό αμμώνιο. Στο σχήμα 29, παρουσιάζεται η εργαστηριακή συσκευή απόσταξης που χρησιμοποιήθηκε.

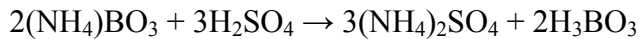
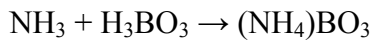
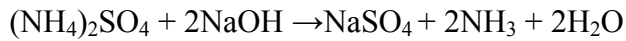


Σχ. 29. Διάταξη απόσταξης Kjeldahl.

Στο βορικό αμμώνιο που σχηματίζεται γίνεται προσθήκη 2–3 σταγόνων δείκτη και ακολουθεί ογκομέτρηση με διάλυμα HCl 0,1N. Ο δείκτης από μωβ χρώμα που έχει αρχικά, αλλάζει σε άχρωμος στο κρίσιμο σημείο και στο ισοδύναμο σημείο το χρώμα του γίνεται ρόδινο, οπότε σταματά η ογκομέτρηση.

Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:





Υπολογισμοί

Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη δίνεται από τον παρακάτω τύπο (Ανυφαντάκης, 1992):

$$\text{Πρωτεΐνη (\%)} = \frac{V \cdot N \cdot 1,4 \cdot \text{Συντελεστής Kjeldahl}}{\text{Βάρος δείγματος (g)}}$$

όπου,

- V: τα καταναλωθέντα ml θειικού οξέος κατά την ογκομέτρηση
- N: η κανονικότητα του διαλύματος θειικού οξέος
- Ο συντελεστής Kjeldahl για τα γαλακτοκομικά προϊόντα ισούται με 6,38.

4.2.6 Προσδιορισμός χρώματος

Η μέτρηση του χρώματος των προϊόντων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια χρωματομέτρου, μοντέλου Micro Color (Dr. Lange, Germany), το οποίο είναι τύπου Hunter. Η βαθμονόμηση του οργάνου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δύο προτύπων, ενός λευκού κεραμικού και ενός μαύρου πλαστικού πλακιδίου.

Είναι ένα τριχρωματικό χρωματόμετρο με την ακόλουθη οπτική δομή (Σχ. 30) (σύμφωνα με το πρότυπο DIN 5033).



Σχ. 30. Χρωματόμετρο Micro Color.

Το χρωματόμετρο είναι ένα αυτόνομο όργανο μέτρησης διαφοράς χρώματος που δεν απαιτεί εξωτερική πηγή ισχύος για τη μέτρηση επιτόπου ή για εργαστηριακή χρήση. Είναι η πρώτη μονάδα του είδους που επιτρέπει ακριβείς μετρήσεις χρώματος χρησιμοποιώντας ένα κινητό σύστημα. Αυτό κατέστη δυνατό με εκλεπτυσμένα οπτικά συστήματα, SMDs (Surface Mounted Devices) και υψηλής ενέργειας ξένον συστήματος φλας.

Το χρωματόμετρο Dr. Lange, είναι μια καινοτομία που αποσκοπεί, επίσης, στη διάνοιξη νέων τομέων της αγοράς σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη βιομηχανία. Είναι μετρητής διαφοράς χρώματος που λειτουργεί με βάση την τρισδιάστατη μέθοδο (Καραουλάνης, 2005).

Ένας γλόμπος Ulbricht, σε συνδυασμό με έναν λαμπτήρα φλας Xenon, χρησιμεύει για να φωτίζει τη διάχυση του δείγματος που πρέπει να μετρηθεί. Η διάχυτη αντανάκλαση του δείγματος σε γωνία 8° μετράται σύμφωνα με το γερμανικό βιομηχανικό πρότυπο DIN 5033. Το φως διαβιβάζεται στη φορητή μονάδα μέτρησης μέσω ενός οπτικού οδηγού κύματος (καλώδιο οπτικών ινών) για τον ακριβή διαχωρισμό πάνω στα πρότυπα φίλτρα χρώματος. Την ίδια στιγμή, ένα δεύτερο οπτικό κύμα αξιολογεί τη φωτεινή πηγή και την επιφάνεια του γλόμπου.

Αυτό το ειδικό σύστημα πορείας παρέχει στο χρήστη αναπαραγωγικά αποτελέσματα της μέτρησης. Οι μετρούμενες τιμές επεξεργάζονται από μικροεπεξεργαστές. Όλες οι μετρούμενες τιμές αποθηκεύονται και απεικονίζονται ψηφιακά (Εγχειρίδιο χρωματόμετρου Dr Lange).

Η μέτρηση του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μετά από εισαγωγή ποσότητας αυτών σε καλούπι διαμέτρου 50 mm και ύψους 5 mm, την παραμονή του σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) για 1 ώρα και την επαφή του χρωματομέτρου με την επίπεδη επιφάνεια του δείγματος. Η μέτρηση χρώματος πραγματοποιήθηκε σε εννέα (9) επαναλήψεις για το κάθε δείγμα.

Οι συντεταγμένες που δίνει το όργανο συμβολίζονται με τα γράμματα L^* , a^* και b^* και συσχετίζονται με τις συντεταγμένες του Διεθνούς Συστήματος C.I.E. όπου η τιμή L^* δείχνει τη λαμπρότητα ή φωτεινότητα, η τιμή a^* τη διαβάθμιση του χρώματος από ερυθρό ($+a^*$) ως πράσινο ($-a^*$) και η τιμή b^* τη διαβάθμιση από κίτρινο ($+b^*$) σε κυανό ($-b^*$) (Αρβανιτογιάννης et al., 2008).

4.3 Ρεολογικές δοκιμές

4.3.1 Προσδιορισμός φαινομενικού ιξώδους

Χρησιμοποιήθηκαν δύο ιξωδόμετρα για την μέτρηση του ιξώδους των υγρών δειγμάτων.

Το ένα ήταν το Brookfield viscometer Model RVTD, serial AO7098, 230 V, 50 Hz (Brookfield engineering laboratories, INC. Stoughton.MA.02072.USA). Χρησιμοποιήθηκε η άτρακτος No 6. Γινόταν τοποθέτηση των δειγμάτων σε ποτήρια ζέσεων των 1000 ml, προσαρμοζόταν η άτρακτος στο ιξωδόμετρο και στη συνέχεια βυθιζόταν με τρόπο, ώστε ο δίσκος της να φτάσει στο μέσο του δείγματος. Πραγματοποιούνταν εκκίνηση της λειτουργίας του κινητήρα του ιξωδομέτρου και λαμβάνονταν οι ενδείξεις του οργάνου από την οθόνη του ιξωδομέτρου σε διαδοχικά αυξανόμενες, κάθε 60 s, ταχύτητες περιστροφής της ατράκτου: 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 και 100 rpm. Έπειτα, η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου ελαττωνόταν βαθμιαία κάθε 60 s. Η μέτρηση επαναλαμβανόταν τουλάχιστον τρεις (3) φορές για το κάθε δείγμα. Το συγκεκριμένο ιξωδόμετρο χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση πιο παχύρρευστων μοντέλων.

Το δεύτερο ήταν το Brookfield Digital Viscometer model DV-II (Brookfield engineering laboratories, INC. Stoughton. MA.02072.USA). Αρχικά γινόταν βαθμονόμηση της συσκευής και προσθήκη 2 ml με πιπέτα θετικής εκτόπισης στην υποδοχή του ιξωδομέτρου, ομοιόμορφη κατανομή του δείγματος στη βάση και απομάκρυνση των φυσαλίδων αέρα και παραμονή για 5 min, προς εξισορρόπηση θερμοκρασίας, στους 25 °C με τη βοήθεια υδατόλουτρου. Κάθε 60 s αυξανόταν η ταχύτητα λαμβάνοντας τις μετρήσεις από την οθόνη του ιξωδομέτρου. Έπειτα, η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου ελαττωνόταν βαθμιαία κάθε 60 s. Η μέτρηση επαναλαμβανόταν τουλάχιστον τρεις (3) φορές για το κάθε δείγμα. Το συγκεκριμένο ιξωδόμετρο χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση των πιο λεπτόρρευστων δειγμάτων (Εγχειρίδιο Brookfield M/85-160-E).

Τελικά, επιλέχθηκε να μετρηθεί το ιξώδες όλων των ρευστών και ημίρρευστων δειγμάτων των ομάδων Α και Γ με τη χρήση του πρώτου οργάνου (Brookfield viscometer Model RVTD), καθώς κάποια από αυτά ήταν πολύ ιξώδη και κατά συνέπεια το ιξώδες τους ήταν μεγαλύτερο από την κλίμακα μέτρησης του δεύτερου ιξωδομέτρου.

4.3.1.1 Υπολογισμός των ρεολογικών παραμέτρων

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Mitschka (1982) για τον υπολογισμό του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων, μέσω ιξωδομέτρου ατράκτων.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή ισχύουν οι σχέσεις:

$$\tau = k_{M\tau} * M \quad \text{και} \quad \square\gamma = k_{N\gamma}(n) * N$$

όπου,

- τ , η διατμητική τάση (Pa)
- M , το ποσοστό της μέγιστης ροπής του οργάνου (0–100), το οποίο είναι η ένδειξη του οργάνου
- $k_{M\tau}$, ο συντελεστής μετατροπής της ένδειξης του οργάνου (ποσοστό ροπής) σε διατμητική τάση. Για την άτρακτο No 6 ισχύει $k_{M\tau} = 2,35$ Pa.
- γ , η ταχύτητα ή ρυθμός διάτμησης (s^{-1})
- N , η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (rpm ή min^{-1})
- $k_{N\gamma}(n)$, ο συντελεστής μετατροπής της ταχύτητας περιστροφής σε ταχύτητα διάτμησης (min^{-1}). Για την άτρακτο No 6 ο $k_{N\gamma}(n)$ είναι συνάρτηση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n (Πίν. 4).

Πίνακας 4. Ο συντελεστής μετατροπής $k_{N\gamma}(n)$ σε συνάρτηση με το δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n (Mitschka, 1982).

n	$k_{N\gamma}(n)$
0,1	1,366
0,2	0,851
0,3	0,629
0,4	0,503
0,5	0,421
0,6	0,363
0,7	0,320
0,8	0,286
0,9	0,260
1,0	0,238

Για τον υπολογισμό του $k_{N\gamma}(n)$ σε τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς ενδιάμεσες αυτών του πίνακα 4, πραγματοποιήθηκε παλινδρόμηση με τις τιμές του Πίνακα και προέκυψε η ευθεία:

$$\log k_{N\gamma}(n) = -0,6132 - 0,766 * \log n \quad (R^2 = 0,9984)$$

Η σχέση που αποδίδει το φαινομενικό ιξώδες αναλύεται παρακάτω:

$$\eta_{app} = \tau / \dot{\gamma} = k_{M\tau} * M / [k_{N\gamma}(n) * N]$$

Επίσης, αφού $\tau = k * \dot{\gamma}^n$, όπου $k =$ συντελεστής συνεκτικότητας, προκύπτει:

$$k_{M\tau} * M = k * [k_{N\gamma}(n) * N]^n = k * [(k_{N\gamma}(n))]^n * N^n$$

$$M = (k/k_{M\tau}) * [(k_{N\gamma}(n))]^n * N^n$$

Αν οριστεί $K = (k/k_{M\tau}) * [(k_{N\gamma}(n))]^n$, τότε

$$M = K * N^n \text{ και}$$

$$\log M = \log K + n * \log N$$

Οπότε, μέσω παλινδρόμησης των πειραματικών τιμών M και N μπορούν να υπολογιστούν ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς n και ο συντελεστής συνεκτικότητας k .

Επίσης, αφού $\tau = k * \dot{\gamma}^n$ (εκθετικό μοντέλο των Ostwald–de Waele),

όπου, $k =$ συντελεστής συνεκτικότητας, προκύπτει:

$$k_{M\tau} * M = k * [k_{N\gamma}(n) * N]^n = k * [(k_{N\gamma}(n))]^n * N^n$$

$$M = (k/k_{M\tau}) * [(k_{N\gamma}(n))]^n * N^n$$

Αν οριστεί $K = (k/k_{M\tau}) * [(k_{N\gamma}(n))]^n$, τότε

$$M = K * N^n \text{ και}$$

$$\log M = \log K + n * \log N$$

Οπότε, μέσω παλινδρόμησης των πειραματικών τιμών M και N μπορούν να υπολογιστούν ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς n και ο συντελεστής συνεκτικότητας k . Εναλλακτικά, από τα διαγράμματα φαινομενικού ιξώδους σε συνάρτηση με την ταχύτητα διάτμησης, προσαρμογή των τιμών σε γραμμή τάσης τύπου δύναμης, αποδίδει την εξίσωση εκθετικού μοντέλου των Ostwald–de Waele (Power-law model). Ο συντελεστής συνεκτικότητας ισούται αριθμητικά με το φαινομενικό ιξώδες όταν η ταχύτητα διάτμησης ισούται με τη μονάδα ($\dot{\gamma}=1 \text{ s}^{-1}$).

4.3.2 Μελέτη μηχανικών ιδιοτήτων με το όργανο Instron

Τα βασικά μέρη του οργάνου είναι (Ντερλίκης, 2007):

I. Κεφαλή και σύστημα φορτίσεως

Στην κεφαλή του οργάνου μπορεί να προσαρμοσθεί ένα από τα ακόλουθα τρία ηλεκτρονικά συστήματα φορτίσεως:

- σύστημα φορτίου 500–5000kg
- σύστημα φορτίου 5–50kg
- σύστημα φορτίου 50–500kg

II. Εξαρτήματα δοκιμής

Τα εξαρτήματα έχουν διάφορα σχήματα, ώστε να ασκούν στο δοκίμιο συμπίεση, διάτμηση και διάτρηση, καθώς και συνδυασμούς των εντατικών αυτών καταστάσεων. Τα εξαρτήματα αυτά προσαρμόζονται στην κεφαλή.

III. Υποδοχέας δοκιμίων και εξαρτήματα

Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι υποδοχέων και διάφορα εξαρτήματα στα οποία τοποθετούνται τα δοκίμια, ανάλογα με τα εξαρτήματα δοκιμής.

IV. Χειριστήριο κεφαλής

Από το χειριστήριο ρυθμίζεται η κίνηση της κεφαλής προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

Οι προδιαγραφές του οργάνου (Σχ. 31) είναι:

- Σύστημα φόρτισης

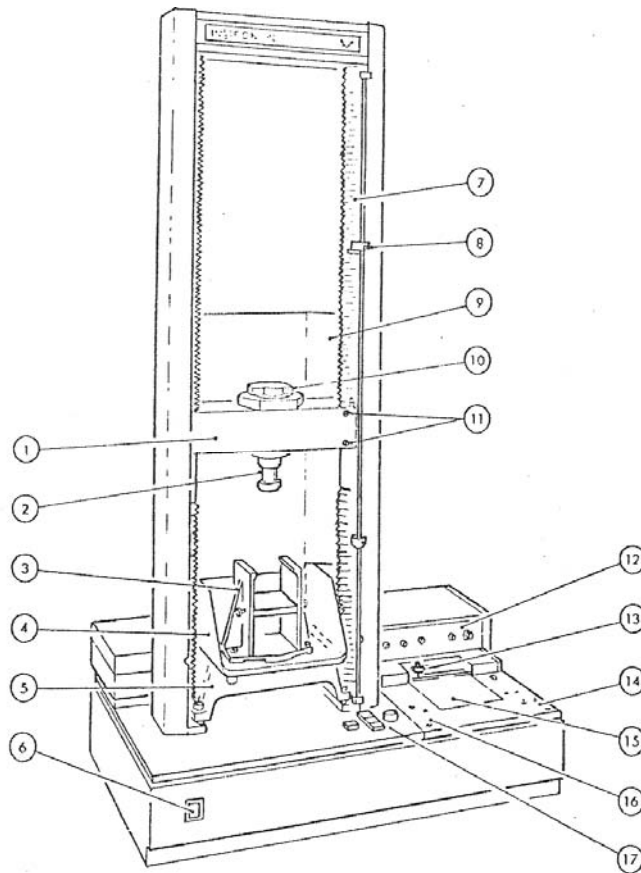
Το όργανο μπορεί να δεχθεί μια από τις εξής κυψέλες φορτίου:

Κυψέλη φορτίου	Εύρος φορτίου συμπίεσης
N _o 2512–205	500, 1000, 2000, 5000 g
N _o 2512–206	5, 10, 20, 50 kg
N _o 2512–204	50, 100, 200, 500 kg

- Εύρος ταχυτήτων κεφαλής

Η επιλογή ταχυτήτων γίνεται με αλλαγή γραναζιών.

- 1) Κανονικές ταχύτητες δοκιμασίας: 50, 100, 200, 500 mm/min
- 2) Ταχύτητα επιστροφής: 1500 mm/min.



1. κινητή κεφαλή, 2. σύστημα προσαρμογής εξαρτημάτων, 3. υποδοχέας δειγμάτων, 4. δίσκος συγκέντρωσης υγρών, 5. γέφυρα συμπίεσης, 6. διακόπτης λειτουργίας, 7. κάλυμμα κινητηρίου κοχλίας, 8. όρια διαδρομής κεφαλής, 9. προστατευτικό κάλυμμα, 10. σύστημα φορτίσεως, 11. ενδεικτικές λυχνίες ορίων, 12. ενισχυτής συστήματος φορτίσεως, 13. καταγραφικό σύστημα, 14. χειριστήριο καταγραφικού μηχανισμού, 15. καταγραφικός χάρτης, 16. διακόπτης σήμανσης καταγραφικού χάρτη, 17. χειριστήριο κεφαλής.

Σχ. 31. Όργανο Instron 1140 (Ντερλίκης, 2007).

4.3.3 Ανάλυση κατατομής υφής (TPA)

Η τεχνική της ανάλυση κατατομής υφής TPA (Texture Profile Analysis) στηρίζεται στη συμπίεση του δείγματος που γίνεται σε δύο κύκλους με τη χρησιμοποίηση του οργάνου Instron. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για να ληφθούν καμπύλες δύναμης – χρόνου. Τα δείγματα τοποθετούνται σε ειδικά κυλινδρικά καλούπια μεγέθους 22×22 mm και οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (~25°C). Στη συνέχεια, τα δείγματα αφού πρώτα εξαγονται από το καλούπι, τοποθετούνται ανάμεσα σε δύο πλάκες, όπου η μία είναι διαμέτρου 7,5 cm. Η άνω πλάκα κατέρχεται μέχρι να συναντήσει το δοκίμιο, το συμπιέζει έως το 20% του αρχικού του ύψους, ενώ στη συνέχεια επανέρχεται στο αρχικό ύψος και επαναλαμβάνεται η συμπίεση στην ίδια παραμόρφωση (Ντερλίκης, 2007).

4.3.3.1 Συνθήκες δοκιμής TPA

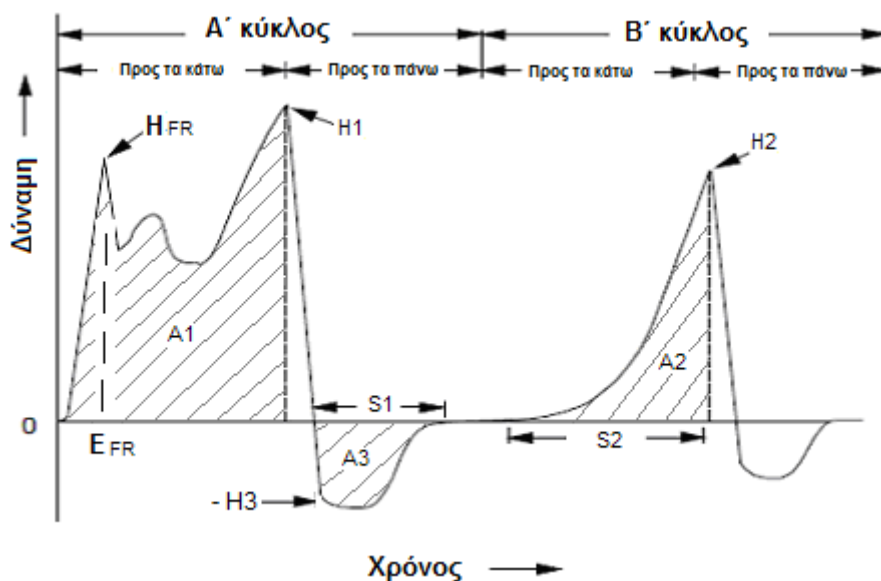
- Θερμοκρασία: 25°C
- Διαστάσεις κυλινδρικών δοκιμίων: 22×22mm
- Ταχύτητα κεφαλής: 20 mm/sec
- Παραμόρφωση: 80%
- Χρόνος ανάμεσα στις δύο μετρήσεις: 5 sec.

Για το κάθε υπό ανάλυση δείγμα πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον έξι (6) επαναλήψεις.

4.3.3.2 Υπολογισμός ρεολογικών παραμέτρων TPA

Ο υπολογισμός των ρεολογικών παραμέτρων γίνεται μέσω της ανάλυσης της καμπύλης δύναμης – χρόνου που προκύπτει κατά τη δοκιμή για το εκάστοτε δοκίμιο. Οι ρεολογικές παράμετροι που φαίνονται στο σχήμα 32 και λαμβάνονται κατά τη μέθοδο TPA είναι (Steffe, 1996):

- H_{FR}: αντοχή ή ευθραστότητα (N)
- E_{FR}: παραμόρφωση στο σημείο θραύσης (%),
- H_{25%}: σκληρότητα σε παραμόρφωση 25%, (N)
- H1: σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (N),
- H2: σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (N),
- H_{MAX}: μέγιστη σκληρότητα (N)
- H3: δύναμη συγκόλλησης (N),
- A1: έργο A1 (εμβαδόν πρώτης συμπίεσης, J),
- A2: έργο A2 (εμβαδόν δεύτερης συμπίεσης, J),
- A3: συγκολλητικότητα (εμβαδόν πρώτης αποσυμπίεσης, J),
- S1: ελαστικότητα (m)
- S2: εκτατότητα (m)
- C: συνεκτικότητα (A2/A1)
- G: κομμώδης υφή (H1×C, N)
- K: μασητικότητα (G×S1, J).



Σχ. 32. Διάγραμμα ανάλυσης κατατομής υφής (TPA) (Steffe, 1996).

4.4 Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων (Minitab 14). Οι μέσοι όροι των παραμέτρων της χημικής σύστασης και των ρεολογικών ιδιοτήτων των δειγμάτων εξετάστηκαν με την ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (one-way ANOVA).

Η διερεύνηση της απόδοσης της μεταβλητότητας των αποτελεσμάτων σε κάποιες από τις ιδιότητες ή και σε συνδυασμό ιδιοτήτων έγινε με τη βοήθεια των ελέγχων απλής γραμμικής παλινδρόμησης (Simple linear regression). Όταν οι τιμές του διορθωμένου συντελεστή προσδιορισμού (R^2) πλησιάζουν το 1, τότε συμπεραίνεται ότι υπάρχει ισχυρή γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών (Πετρίδης, 2000). Όλες οι διαφορές που αναφέρονται στα αποτελέσματα ήταν σημαντικές σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5% ($p < 0,05$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Ομάδες δειγμάτων

Οι ομάδες δειγμάτων που μελετήθηκαν ήταν οι εξής:

A. Αιωρήματα/πηκτές πολυσακχαριτών (9 δείγματα), αποτελούμενα από νερό και πολυσακχαρίτη/ες, σε αντίστοιχη περιεκτικότητα με τα ανακατεργασμένα τυριά τυρογάλακτος.

B. Πηκτές πρωτεϊνών ορού (9 δείγματα), αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες και πρωτεΐνες ορού, σε αντίστοιχες περιεκτικότητες με τα ανακατεργασμένα τυριά τυρογάλακτος κανονικής λιποπεριεκτικότητας, καθώς και ένα (1) δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη, που χρησιμοποιούνταν ως μάρτυρας.

Γ. Γαλακτώματα/πηκτές γαλακτωμάτων (9 δείγματα), αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες και κρέμα γάλακτος, σε αντίστοιχες περιεκτικότητες με τα ανακατεργασμένα τυριά τυρογάλακτος κανονικής λιποπεριεκτικότητας.

Δ. Πηκτές γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού (9 δείγματα), αποτελούμενες από νερό, πολυσακχαρίτη/τες, πρωτεΐνες ορού και κρέμα γάλακτος, σε αντίστοιχες περιεκτικότητες με τα ανακατεργασμένα τυριά τυρογάλακτος κανονικής λιποπεριεκτικότητας, καθώς και ένα (1) δείγμα χωρίς την προσθήκη πολυσακχαρίτη, που χρησιμοποιούνταν ως μάρτυρας.

Τα δείγματα της ομάδας Δ αποτελούν μοντέλα προσομοίωσης των ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος που μελετήθηκαν σε προηγούμενες έρευνες. Για τον παραπάνω λόγο, όλα τα δείγματα των ομάδων περιείχαν ανάλογη με τα ανακατεργασμένα τυριά χημική σύσταση. Συγκεκριμένα, περιείχαν αλάτι (1% w/w), πολυσακχαρίτη ή μίγματα δύο πολυσακχαριτών σε αναλογία 1:1 (0,8% w/w), ενώ η ρύθμιση του pH στο $5,20 \pm 0,02$ έγινε με προσθήκη γαλακτικού οξέος και η διαδικασία παρασκευής των δειγμάτων όλων των ομάδων ήταν όμοια με αυτήν των ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος.

Πρόέκυψε ότι για την ομάδα A, τα δείγματα με ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού και με μίγμα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ ήταν ρευστά, ενώ όλα τα υπόλοιπα δείγματα ήταν στερεά. Για την ομάδα Γ τα δείγματα με ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού ήταν ρευστά, το δείγμα με ξανθάνη/κόμμι γκουάρ ήταν ημίρρευστο και όλα τα υπόλοιπα δείγματα στερεά. Όλα τα δείγματα των ομάδων B

και Δ ήταν στερεά. Τα στερεά δείγματα αναλύθηκαν μέσω της δοκιμής ανάλυσης κατατομής υφής (TPA), ενώ τα υγρά και ημίρρευστα με ιξωδομετρία.

5.2 Χημική σύσταση πρώτων υλών

Στον πίνακα 5 αναλύονται τα αποτελέσματα χημικής σύστασης των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των δειγμάτων. Οι πρωτεΐνες ορού αποτελούσαν πρωτεϊνικό συμπύκνωμα ορού γάλακτος σε σκόνη (Wheypro 80) της εταιρίας Hellenic Proteins, το οποίο παρασκευάστηκε από παστεριωμένο ορό γάλακτος με τη χρήση της υπερδιήθησης και η κρέμα γάλακτος ήταν της εταιρίας ΑΓΝΟ.

Πίνακας 5. Χημική σύσταση πρώτων υλών.

ΠΡΩΤΕΪΣ ΥΛΕΣ	Πρωτεΐνη %	Λίπος %	Υγρασία %	Αλάτι %
Πρωτεΐνες ορού	80,38	3,80	5,00	0,30
Κρέμα γάλακτος	1,44	49,00	46,8	0,00

5.3 Χημική σύσταση δειγμάτων

Η χημική σύσταση των δειγμάτων και των τεσσάρων ομάδων παρουσιάζεται στον πίνακα 6 που ακολουθεί.

Πίνακας 6. Χημική σύσταση δειγμάτων.

Ομάδα	Πολυσακ- χαρίτης	Υγρασία	Πρωτεΐνη	Λίπος	Αλάτι	ρΗ
	(%)					
Αιωρήματα / πηκτές (9 δείγματα)	0,80	98,10 ± 0,33	–	–	1,06 ± 0,07	5,22 ± 0,04
Πηκτές πρωτεϊνών ορού (9 δείγματα)	0,80	85,14 ± 1,27	10,35 ± 0,36	0,60 ± 0,33	1,11 ± 0,17	5,20 ± 0,02
Πηκτή πρωτεϊνών ορού χωρίς πολυσακχαρίτη	–	85,60 ± 0,6	10,60 ± 0,30	0,55 ± 0,30	1,00 ± 0,04	5,22 ± 0,02
Γαλακτώματα / πηκτές γαλακτωμάτων (9 δείγματα)	0,80	74,84 ± 2,27	0,84 ± 0,32	22,03 ± 0,73	1,02 ± 0,06	5,21 ± 0,03

Ομάδα	Πολυσακ- χαρίτης	Υγρασία	Πρωτεΐνη	Λίπος	Αλάτι	pH
Πηκτές γαλακτομάτων πρωτεϊνών ορού (9 δείγματα)	0,80	63,07 ± 0,49	10,71 ± 0,09	22,44 ± 0,30	0,99 ± 0,12	5,23 ± 0,02
Πηκτική γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού χωρίς πολυσακχαρίτη	–	63,30 ± 0,10	10,65 ± 0,02	22,00 ± 0,20	1,02 ± 0,03	5,22 ± 0,01

5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης χρώματος

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρώματος των πηκτών πολυσακχαριτών (ομάδα Α) δίνονται στον πίνακα 7. Η μέτρηση του χρώματος των υπόλοιπων δειγμάτων αιωρημάτων και πηκτών πολυσακχαριτών δεν ήταν εφικτή, λόγω του ότι ήταν διαφανή και το φως διαθλούνταν σε πολλαπλές κατευθύνσεις.

Πίνακας 7. Ανάλυση χρώματος στα δείγματα πηκτές πολυσακχαριτών (μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση).

Δείγμα	L^*	a^*	b^*
Καραγενάνη	10,91 ± 0,931 ^{c1}	9,73 ± 2,213 ^{ab}	1,66 ± 0,555 ^a
Καραγενάνη/Ξανθάνη	12,08 ± 1,378 ^b	10,23 ± 2,627 ^a	-0,24 ± 0,767 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	13,49 ± 1,467 ^a	8,39 ± 1,887 ^b	0,48 ± 0,677 ^b

¹ Διαφορετικοί εκθέτες στις στήλες δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (p<0,05)

L^* : Η λαμπρότητα όλων των δειγμάτων ήταν χαμηλή. Η φωτεινότητα στο δείγμα με καραγενάνη ήταν μικρότερη, διέφερε από το καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν μεγαλύτερη, ενώ το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο φωτεινό από όλα.

a^* : Το δείγμα με καραγενάνη/ξανθάνη ήταν λιγότερο κόκκινο, ακολούθησε το δείγμα με καραγενάνη, ενώ αυτό με καραγενάνη/κόμμι γκουάρ εμφανίστηκε περισσότερο κόκκινο.

b^* : Το δείγμα με καραγενάνη/ξανθάνη παρουσίασε ελαφρώς μπλε χροιά, διέφερε από το καραγενάνη/κόμμι γκουάρ που είχε ελαφρά κίτρινη χροιά, ενώ διέφερε από το καραγενάνη που ήταν πιο κίτρινο.

Στον πίνακα 8 δίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρώματος στα δείγματα των πηκτών πρωτεϊνών ορού (ομάδα Β).

Πίνακας 8. Ανάλυση χρώματος στα δείγματα πηκτών πρωτεϊνών ορού (μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση).

Δείγμα	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
Ξανθάνη	85,53 ± 0,212 ^{b1}	-1,11 ± 0,386 ^{abc}	6,04 ± 0,265 ^c
Κόμμι γκουάρ	83,66 ± 0,388 ^e	-1,53 ± 0,224 ^{cd}	5,32 ± 0,130 ^d
Κόμμι χαρουπιού	83,82 ± 0,353 ^e	-1,27 ± 0,235 ^{bc}	5,80 ± 0,339 ^c
Καραγενάνη	84,79 ± 0,438 ^c	-1,12 ± 0,257 ^{abc}	6,96 ± 0,357 ^a
Καραγενάνη/Ξανθάνη	85,21 ± 0,218 ^b	-1,73 ± 0,419 ^{de}	6,03 ± 0,177 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	84,26 ± 0,237 ^d	-1,23 ± 0,245 ^{bc}	6,34 ± 0,127 ^b
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	84,50 ± 0,328 ^d	-1,96 ± 0,594 ^e	6,46 ± 0,151 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	85,39 ± 0,169 ^b	-1,07 ± 0,224 ^{ab}	6,06 ± 0,133 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	85,36 ± 0,101 ^b	-1,23 ± 0,150 ^b	6,02 ± 0,120 ^c
Χωρίς πολυσακχαρίτες	87,89 ± 0,443 ^a	-0,77 ± 0,287 ^a	6,96 ± 0,235 ^a

¹ Διαφορετικοί εκθέτες στις στήλες δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0,05$)

*L**: Όλα τα δείγματα παρουσιάστηκαν με υψηλή λαμπρότητα. Τα δείγματα με κόμμι γκουάρ και χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και τα λιγότερο φωτεινά, διέφεραν από τα δείγματα με καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα, διέφεραν από το δείγμα καραγενάνη που ήταν ακόμα μεγαλύτερο, διέφεραν από τα δείγματα ξανθάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα μεταξύ τους ενώ διέφεραν από το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν πιο φωτεινό.

*a**: Όλα τα δείγματα είχαν ελαφρά πράσινη χροιά, η οποία οφείλεται στο χρώμα της πηκτής πρωτεϊνών ορού. Το δείγμα με καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο πράσινο, ενώ αυτό χωρίς πολυσακχαρίτες είχε τη λιγότερο έντονη πράσινη χροιά.

*b**: Όλα τα δείγματα παρουσίασαν κίτρινη χροιά. Το δείγμα με κόμμι γκουάρ ήταν το λιγότερο κίτρινο, διέφερε από το ξανθάνη, κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη/ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, που ήταν πιο κίτρινα, διέφεραν από το καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που είχαν ακόμα

υψηλότερη κίτρινη χροιά, ενώ διέφεραν από το δείγμα με καραγενάνη και αυτό χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν ίσα μεταξύ τους και τα πιο κίτρινα.

Έρευνα των Kahyaoglu και συνεργατών (2005) σχετικά με το χρώμα δειγμάτων τυριών, αναφέρει ελάττωση της φωτεινότητας L^* και της συντεταγμένης b^* με την ελάττωση της λιποπεριεκτικότητας.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρώματος του πίνακα 9 που ακολουθεί, αντιστοιχούν στα δείγματα των γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων (ομάδα Γ).

Πίνακας 9. Ανάλυση χρώματος στα δείγματα γαλακτώματα/πηκτές γαλακτωμάτων (μέσοι όροι \pm τυπική απόκλιση).

Δείγμα	L^*	a^*	b^*
Ξανθάνη	85,54 \pm 0,357 ^{a1}	-2,28 \pm 0,268 ^a	6,00 \pm 0,158 ^e
Κόμμι γκούαρ	81,53 \pm 0,541 ^c	-2,89 \pm 0,203 ^{bcd}	5,98 \pm 0,282 ^e
Κόμμι χαρουπιού	75,94 \pm 0,760 ^f	-2,90 \pm 0,283 ^{bcd}	5,29 \pm 0,322 ^f
Καραγενάνη	76,81 \pm 0,267 ^c	-3,07 \pm 0,206 ^d	6,93 \pm 0,123 ^{ab}
Καραγενάνη/Ξανθάνη	84,09 \pm 0,535 ^b	-2,73 \pm 0,126 ^{bc}	6,83 \pm 0,260 ^{bc}
Καραγενάνη/Κόμμι γκούαρ	81,21 \pm 0,423 ^c	-2,89 \pm 0,203 ^{bcd}	6,68 \pm 0,192 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	86,02 \pm 0,299 ^a	-3,09 \pm 0,190 ^d	6,41 \pm 0,078 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι γκούαρ	85,90 \pm 0,229 ^a	-2,99 \pm 0,169 ^{cd}	5,99 \pm 0,169 ^e
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	79,43 \pm 0,339 ^d	-2,60 \pm 0,343 ^b	7,10 \pm 0,235 ^a

¹ Εκθέτες με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$)

L^* : Όλα τα δείγματα παρουσιάστηκαν με υψηλή λαμπρότητα. Το δείγμα με προσθήκη κόμμι χαρουπιού ήταν το λιγότερο φωτεινό. Ακολούθησε το δείγμα με καραγενάνη που είχε μεγαλύτερη φωτεινότητα από το προηγούμενο. Διέφεραν από το δείγμα με προσθήκη ξανθάνης/κόμμιος χαρουπιού που παρουσίασε μεγαλύτερη φωτεινότητα από τα προηγούμενα, διέφεραν από τα δείγματα καραγενάνη/κόμμι γκούαρ και κόμμι γκούαρ που ήταν μεγαλύτερα, διέφεραν από το δείγμα με προσθήκη καραγενάνης/ξανθάνης που ήταν μεγαλύτερο, ενώ τα δείγματα με προσθήκη ξανθάνης, ξανθάνη/κόμμι γκούαρ και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν τα πιο φωτεινά.

a^* : Όλα τα δείγματα είχαν ελαφρά πράσινη χροιά, η οποία οφείλεται στο χρώμα του γαλακτώματος. Τα δείγματα κόμμι γκούαρ, κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη,

καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ ήταν ίσα μεταξύ τους και πιο πράσινα, διέφεραν από αυτά με κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα μεταξύ τους και λιγότερο πράσινα από τα προηγούμενα, διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα μεταξύ τους και ακόμη λιγότερο πράσινα, ενώ το δείγμα ξανθάνη ήταν το λιγότερο πράσινο.

*b**: Όλα τα δείγματα παρουσίασαν κίτρινη χροιά. Το δείγμα κόμμι χαρουπιού είχε την πιο ελαττωμένη, διέφερε από τα δείγματα ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που είχαν ίσες τιμές και μεγαλύτερες από το προηγούμενο, διέφεραν από το δείγμα караγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν μεγαλύτερο, διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα, διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη και караγενάνη/ξανθάνη που είναι ίσα και μεγαλύτερα από τα προηγούμενα, ενώ τα δείγματα караγενάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και τα πιο κίτρινα απ' όλα.

Παρόμοια αποτελέσματα χρώματος αναφέρουν και οι Chantrapornchai και συνεργάτες (1999), σε γαλακτώματα n-δεκαεξανίου σε νερό (20% w/w). Αναφέρουν ότι οι παράμετροι a^* και b^* ήταν περίπου 0 και ανεξάρτητοι του μεγέθους λιποσφαιρίων, ενώ η παράμετρος L^* είχε εύρος από 95 έως 85 σε δείγματα γαλακτωμάτων με μέγεθος λιποσφαιρίων 0,1 έως 25 μm , αντίστοιχα. Αναφέρουν ακόμη, ότι η ελάττωση της φωτεινότητας L^* με την αύξηση του μεγέθους λιποσφαιρίων οφείλεται στην ελαττωμένη αποτελεσματικότητα διάθλασης του φωτός από τα λιποσφαίρια και την αυξημένη απορρόφησή του από το γαλάκτωμα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η ξανθάνη, όταν προστίθεται σε γαλάκτωμα πρωτεϊνών γάλακτος υποβοηθά τη γαλακτωματοποίηση λιποσφαιρίων, οπότε προκύπτουν μικρότερου μεγέθους λιποσφαίρια και το δείγμα παρουσιάζεται περισσότερο φωτεινό.

Σύμφωνα με τους Karim και συνεργάτες (1999), η караγενάνη έδειξε ελαφρώς υψηλότερες τιμές L^* , a^* και b^* , όταν προστέθηκε σε δείγματα tofu. Η πράσινη χροιά (a^*) αυξήθηκε με την αύξηση της συγκέντρωσης της караγενάνης στο CS-tofu (με προσθήκη θειικού ασβεστίου), ενώ οι τιμές a^* μειώθηκαν με αύξηση της συγκέντρωσης της караγενάνης για GDL-tofu (με προσθήκη γλυκονο- δ -λακτόνης).

Στον πίνακα 10, δίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης χρώματος των δειγμάτων πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδα Δ).

Πίνακας 10. Ανάλυση χρώματος στα δείγματα πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση).

Δείγμα	L^*	a^*	b^*
Ξανθάνη	87,92 ± 2,172 ^{cd1}	-2,69 ± 0,932 ^c	9,53 ± 0,579 ^d
Κόμμι γκουάρ	90,37 ± 0,612 ^b	-1,96 ± 0,8701 ^{abc}	10,02 ± 0,067 ^c
Κόμμι χαρουπιού	95,32 ± 1,858 ^a	-2,22 ± 1,111 ^{bc}	12,37 ± 0,427 ^a
Καραγενάνη	85,51 ± 1,663 ^e	-1,13 ± 0,218 ^a	10,57 ± 0,450 ^b
Καραγενάνη/Ξανθάνη	87,42 ± 1,067 ^d	-1,67 ± 0,559 ^{ab}	10,27 ± 0,324 ^{bc}
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	88,92 ± 0,396 ^{cd}	-1,30 ± 0,721 ^{ab}	10,24 ± 0,288 ^{bc}
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	88,26 ± 0,929 ^{cd}	-1,39 ± 0,395 ^{ab}	10,59 ± 0,237 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	90,86 ± 0,641 ^b	-1,39 ± 0,271 ^{ab}	9,96 ± 0,159 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	90,51 ± 0,389 ^b	-1,28 ± 0,311 ^{ab}	9,91 ± 0,226 ^c
Χωρίς πολυσακχαρίτες	90,29 ± 0,289 ^b	-1,67 ± 0,456 ^{ab}	10,08 ± 0,268 ^c

¹ Διαφορετικοί εκθέτες στις στήλες δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ($p < 0,05$)

L^* : Όλα τα δείγματα παρουσιάστηκαν με υψηλή λαμπρότητα. Το δείγμα καραγενάνη είχε τη χαμηλότερη, διέφερε από τα δείγματα ξανθάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα από τα προηγούμενα, διέφεραν από τα δείγματα ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα μεταξύ τους, διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν ίσα και μεγαλύτερα των προηγούμενων, ενώ το δείγμα κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο φωτεινό.

a^* : Όλα τα δείγματα είχαν ελαφρά πράσινη χροιά, η οποία οφείλεται στο χρώμα των πρωτεϊνών ορού. Τα δείγματα με ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και πιο πράσινα από τα υπόλοιπα, διαφέρουν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες τα οποία ήταν ίσα και λιγότερο πράσινα, ενώ διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι

χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν ίσα και είχαν λιγότερο έντονη πράσινη χροιά από τα προηγούμενα.

b^* : Όλα τα δείγματα παρουσίασαν αυξημένη κίτρινη χροιά. Το δείγμα με ξανθάνη ήταν το λιγότερο κίτρινο, διέφερε από αυτά με κόμμι γκουάρ, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες, τα οποία ήταν ίσα μεταξύ τους και περισσότερο κίτρινα, διέφεραν από αυτά με караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, ενώ το δείγμα με κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο κίτρινο.

Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρει έρευνα των Cunha και συνεργατών (2010), όπου σε δείγματα επαλειφόμενων ανακατεργασμένων τυριών με λιποπεριεκτικότητα 23–24% και υγρασία 63% προέκυψε ότι η φωτεινότητα L^* ανερχόταν περίπου στο 86, η συντεταγμένη a^* από -0,2 έως -0,7 και η συντεταγμένη b^* από 9 έως 11. Οι τιμές φωτεινότητας L^* δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων.

5.5 Αποτελέσματα ιξωδομετρίας

5.5.1 Φαινομενικό ιξώδες

Τα δείγματα της ομάδας αιωρημάτων (ομάδα Α), καθώς και της ομάδας γαλακτωμάτων (ομάδα Γ) με προσθήκη κόμμιων ξανθάνης, γκουάρ, χαρουπιού, καθώς και μίγματος ξανθάνης και κόμμιος γκουάρ σε αναλογία 1:1 (0,8% w/w) ήταν ρευστά ή ημίρρευστα, επομένως η σύγκριση των ρεολογικών τους ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ιξωδομετρίας.

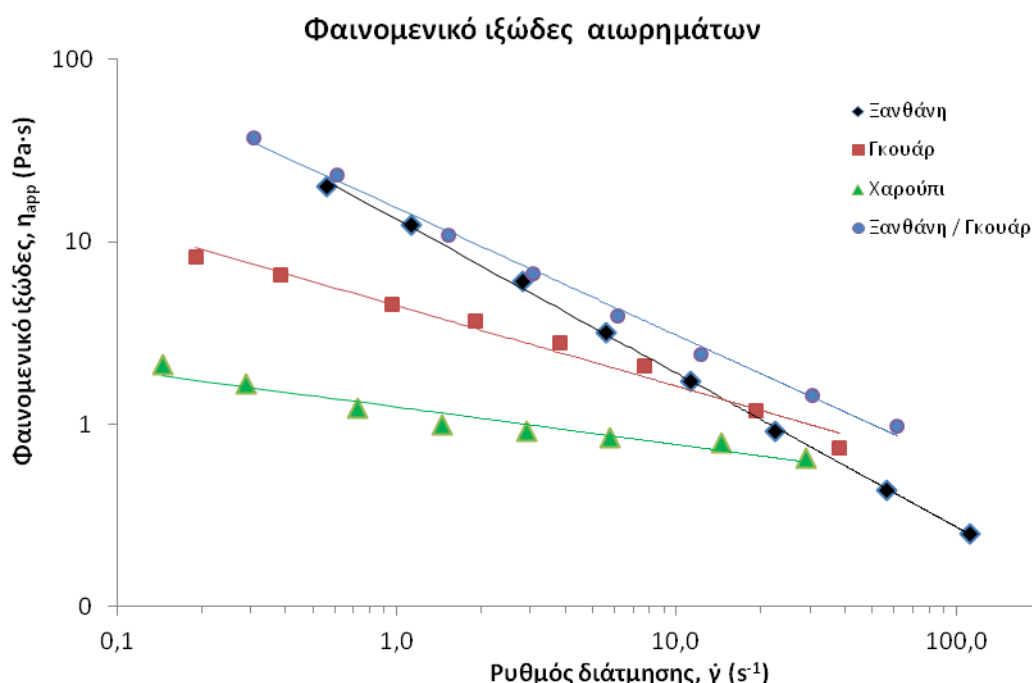
5.5.1.1 Φαινομενικό ιξώδες ομάδας Α

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται τα φαινομενικά ιξώδη των ρευστών δειγμάτων αιωρημάτων πολυσακχαριτών (ομάδα Α), σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης, ενώ η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου του ιξωδομέτρου αυξανόταν σταδιακά από 0,5 σε 100 rpm και αποτελούν μέσες τιμές τριών επαναλήψεων για το κάθε δείγμα. Στα σχήματα που ακολουθούν, τα δείγματα με κόμμια γκουάρ και χαρουπιού αναφέρονται χάριν συντομίας ως γκουάρ και χαρούπι.

Στο σχήμα 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα φαινομενικού ιξώδους των ρευστών αιωρημάτων πολυσακχαριτών σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης, σε λογαριθμική κλίμακα. Επιπλέον, φαίνονται και οι ευθείες προσαρμογής (ευθείες

παλινδρόμησης) των δεδομένων, από όπου είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ψευδοπλαστικότητα αυτών.

Από την κλίση (n-1) των ευθειών παλινδρόμησης (Σχ. 33) φαίνεται ότι η ξανθάνη εμφάνισε περισσότερο ψευδοπλαστική συμπεριφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, ενώ το δείγμα με προσθήκη κόμμεος χαρουπιού ήταν το λιγότερο ψευδοπλαστικό. Προέκυψε ότι τα ρευστά αιωρήματα πολυσακχαριτών έχουν διαφορετικά ιξώδη σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, ενώ τα ιξώδη συγκλίνουν σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης.



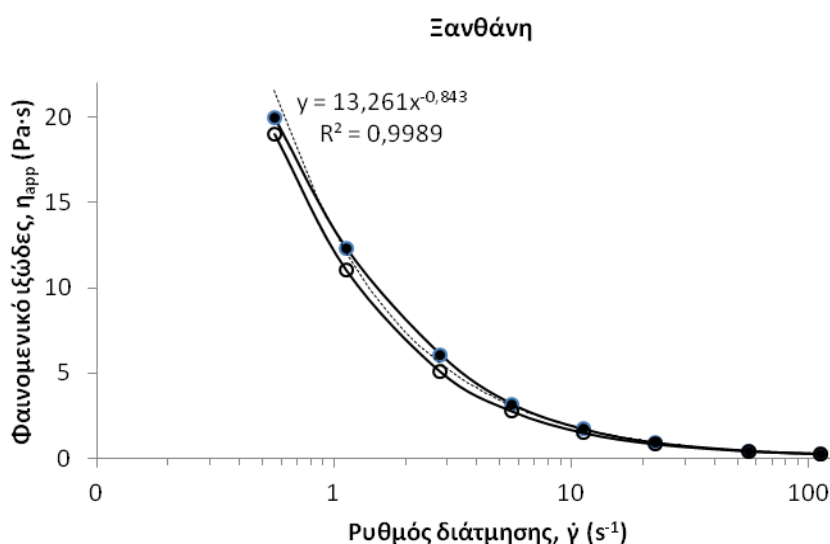
Σχ. 33. Φαινομενικό ιξώδες αιωρημάτων πολυσακχαριτών σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης σε λογαριθμική κλίμακα.

Όσον αφορά στα δείγματα με προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών, σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασε το δείγμα με ξανθάνη, αμέσως μικρότερα το δείγμα με κόμμι γκουάρ, ενώ χαμηλότερα ιξώδη είχε το δείγμα με κόμμι χαρουπιού. Ανάλογα αποτελέσματα αναφέρουν και οι Tivnarakarnkoon και Senge (2008), για διαλύματα μεμονωμένων κόμμεων ξανθάνης, γκουάρ και χαρουπιού (1% w/w). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε ταχύτητα διάτμησης από 10/s και άνω, το δείγμα με προσθήκη κόμμεος γκουάρ εμφανίστηκε να έχει υψηλότερο ιξώδες (κατά 30 έως 200%) από ότι το δείγμα με ξανθάνη, γεγονός που

αποδίδεται στην εντονότερη ψευδοπλαστικότητα και τάση έναρξης ροής της ξανθάνης (Brummel & Lee, 1990; Sun et al., 2007). Το κόμμι γκουάρ έχει αποδειχθεί ότι επίσης παρουσιάζει ψευδοπλαστικότητα (Casas et al., 2000), η οποία βρέθηκε ότι ενισχύεται από την ύπαρξη αλατιού (Chenlo et al., 2011).

Το δείγμα με προσθήκη μίγματος ξανθάνης/κόμμιος γκουάρ 1:1, παρουσίασε υψηλότερα ιξώδη και από τα δύο δείγματα με προσθήκη των επιμέρους πολυσακχαριτών, της ξανθάνης και του κόμμιος γκουάρ. Τα παραπάνω δείχνουν την ύπαρξη έντονης συνέργειας μεταξύ ξανθάνης και κόμμιος γκουάρ, η οποία έχει αναφερθεί και από άλλες έρευνες για την ίδια αναλογία κόμμιων (1:1) (Casas et al., 2000).

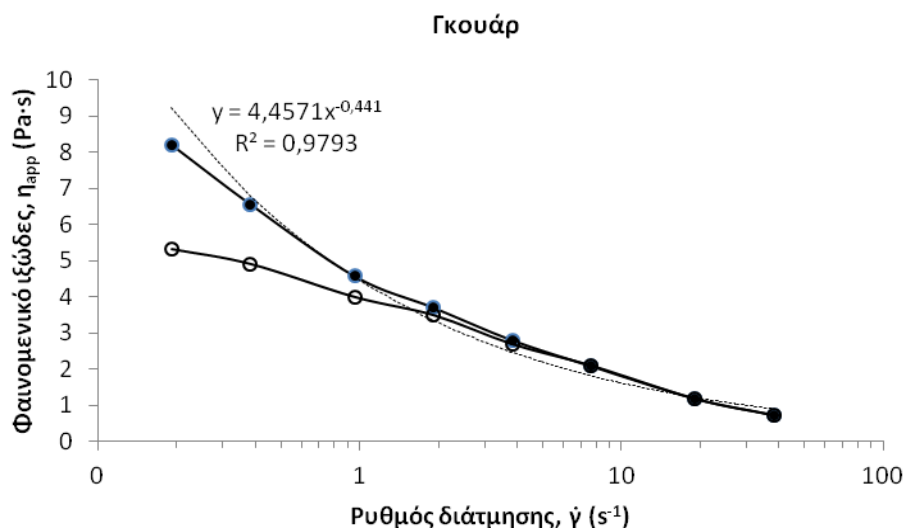
Στα παρακάτω σχήματα περιγράφεται η ρεολογική συμπεριφορά των ρευστών δειγμάτων της ομάδας A, κατά την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής από 0,5 έως 100 rpm (1^{05} κύκλος) και συνεχιζόμενη σταδιακή ελάττωση αυτής (2^{05} κύκλος), καθώς επίσης και η προσαρμογή των δεδομένων του 1^{00} κύκλου αύξησης της ταχύτητας διάτμησης στο εκθετικό μοντέλο ρεολογικής συμπεριφοράς Ostwald–de Waele (Power – law model).



Σχ. 34. Φαινομενικό ιξώδες αιωρήματος ξανθάνης σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●— 1^{05} κύκλος αύξησης, —○— 2^{05} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

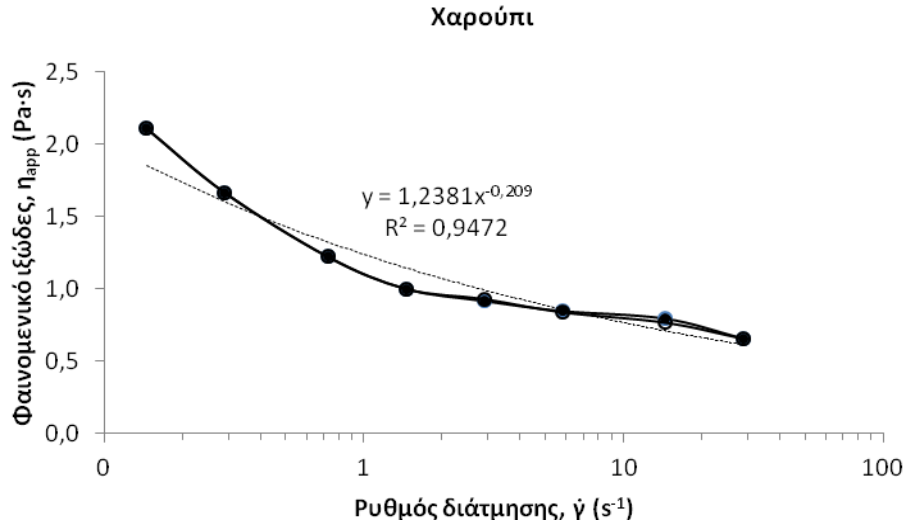
Παρατηρήθηκε ότι το αιώρημα ξανθάνης δεν παρουσιάζει έντονη θιξοτροπία, κάτι που αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Khan et al., 2007), ωστόσο

παρουσιάζει έντονη ψευδοπλαστικότητα. Οι ιδιότητες της ξανθάνης σε διαλύματα σχετίζονται άμεσα με τη διαμόρφωσή της, η οποία σχηματίζει πολύπλοκο πλέγμα από περιπλεγμένες ραβδοειδείς αλυσίδες. Η ασθενής συνάθροιση του πλέγματος έχει ως αποτέλεσμα την έντονη ψευδοπλαστικότητα, ωστόσο, το υψηλό ιξώδες κατά τους χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης είναι αποτέλεσμα της ακαμψίας της έλικας. (Kang & Pettitt, 1993).



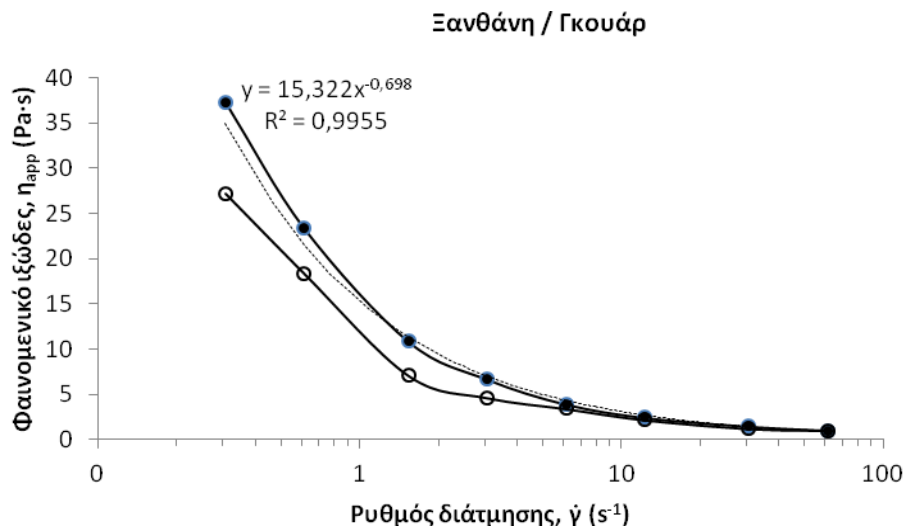
Σχ. 35. Φαινομενικό ιξώδες αιωρήματος κόμμιος γκουάρ σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●—1⁰⁵ κύκλος αύξησης, —○—2⁰⁵ κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

Από το σχήμα 35 είναι φανερό ότι το κόμμι γκουάρ παρουσιάζει θιξοτροπία, η οποία γίνεται εμφανής σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης. Το κόμμι γκουάρ βρέθηκε να παρουσιάζει υψηλή θιξοτροπία σε συγκεντρώσεις κοντά ή μεγαλύτερες του 1% (Urakra & Arntfield, 2005), η οποία οφείλεται σε σχηματισμό περιπλεγμένων αλυσίδων που προσανατολίζονται ή εν μέρει σπάνε κατά το επίπεδο διάτμησης (Imeson, 2010).



Σχ. 36. Φαινομενικό ιξώδες αιωρήματος κόμμεος χαρουπιού σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●—1^{ος} κύκλος αύξησης, —○—2^{ος} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

Από το σχήμα 36 είναι φανερό ότι το αιώρημα με κόμμι χαρουπιού δεν παρουσιάζει καθόλου θιξοτροπία, ενώ παρουσιάζει ελαφρά ψευδοπλαστικότητα γεγονός που αναφέρεται και σε άλλες έρευνες (Mao & Chen, 2006).



Σχ. 37. Φαινομενικό ιξώδες αιωρήματος μίγματος κόμμεων ξανθάνης και κόμμεος γκουάρ (1:1) σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●—1^{ος} κύκλος αύξησης, —○—2^{ος} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

Από το σχήμα 37 φαίνεται ότι το δείγμα με προσθήκη μίγματος κόμμεων ξανθάνης και κόμμεος γκουάρ παρουσιάζει θιξοτροπία, η οποία γίνεται εμφανής σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης. Ακόμη, παρουσιάζει έντονη ψευδοπλαστικότητα, κάτι

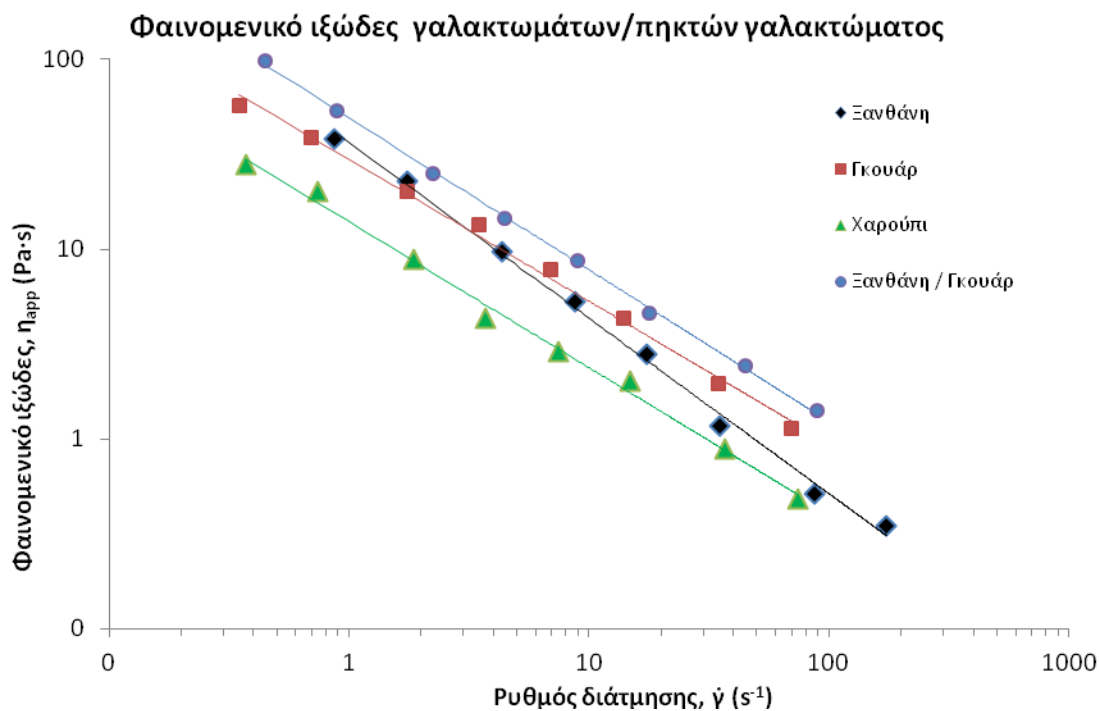
που αποδίδεται κυρίως στην περιεχόμενη ξανθάνη, ενώ γενικά εμφανίζει ρεολογικά χαρακτηριστικά ενδιάμεσα αυτών που παρουσιάζουν τα δείγματα των επιμέρους πολυσακχαριτών. Σε υδατικά διαλύματα, η δομή της ξανθάνης υφίσταται μετάβαση τάξης-αταξίας από τη μορφή έλικας στη μορφή σπείρας (helix-coil), κάτι που εντείνεται σε θερμοκρασίες άνω των 51°C. Έτσι, η εξαιρετικά άτακτα διαμορφωμένη ξανθάνη μπορεί να αλληλεπιδράσει άμεσα με μη υποκατεστημένα μέρη του κόμμεος γκουάρ για το σχηματισμό νέων συζευγμένων δομών (Wang et al., 2002).

5.5.1.2 Φαινομενικό ιξώδες ομάδας Γ

Όσον αφορά στα δείγματα γαλακτωμάτων (ομάδα Γ), τα δείγματα με μεμονωμένη προσθήκη κόμμεων ξανθάνης, γκουάρ και χαρουπιού ήταν ρευστά. Το δείγμα με προσθήκη μίγματος κόμμεων ξανθάνης κόμμεος γκουάρ ήταν ημίρρευστο, ωστόσο μετρήθηκε και με τη βοήθεια της ιξωδομετρίας, για λόγους σύγκρισης των ρεολογικών ιδιοτήτων του με αυτές των αιωρημάτων.

Στα παρακάτω σχήματα απεικονίζονται τα φαινομενικά ιξώδη των ρευστών και ημίρρευστων δειγμάτων γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτώματος (ομάδα Γ), σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης, ενώ η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου του ιξωδομέτρου αυξανόταν σταδιακά από 0,5 σε 100 rpm και αποτελούν μέσες τιμές τριών επαναλήψεων για το κάθε δείγμα.

Στο σχήμα 38 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων της ομάδας Γ σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης, σε λογαριθμική κλίμακα. Επιπλέον, φαίνονται και οι ευθείες προσαρμογής (ευθείες παλινδρόμησης) των δεδομένων, από όπου είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ψευδοπλαστικότητα αυτών.



Σχ. 38. Φαινομενικό ιξώδες γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων πολυσακχαριτών σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης σε λογαριθμική κλίμακα.

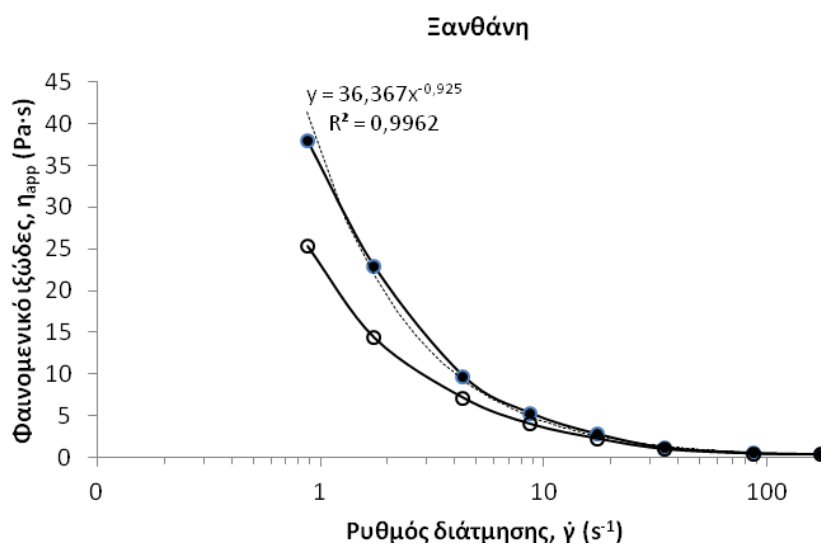
Από την κλίση ($n-1$) των ευθειών παλινδρόμησης (Σχ. 38) φαίνεται ότι το γαλάκτωμα με ξανθάνη εμφάνισε περισσότερο ψευδοπλαστική συμπεριφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, τα οποία είχαν παρόμοια ρεολογική συμπεριφορά. Γενικά, εντονότερη ψευδοπλαστικότητα της ξανθάνης έναντι του κόμμεος χαρουπιού αναφέρουν (0,09% w/w) και οι Mandala και συνεργάτες (2004) όταν προστέθηκαν σε δείγματα λευκής σάλτσας (15% λίπος).

Από το σχήμα 38 φαίνεται ότι τα γαλακτώματα της ομάδας Γ έχουν διαφορετικά ιξώδη σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, ενώ τα ιξώδη δεν συγκλίνουν σε υψηλούς ρυθμούς διάτμησης. Όσον αφορά στα δείγματα με προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών, σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασε το γαλάκτωμα με ξανθάνη, αμέσως μικρότερα το δείγμα με κόμμι γκουάρ, ενώ χαμηλότερα ιξώδη είχε το γαλάκτωμα με κόμμι χαρουπιού. Σε ταχύτητα διάτμησης από 3/s και άνω, το δείγμα με προσθήκη κόμμεος γκουάρ εμφανίστηκε να έχει υψηλότερο ιξώδες (κατά 51 έως 225%) από ότι το δείγμα με ξανθάνη, κάτι που παρατηρήθηκε και στα δείγματα αιωρημάτων.

Μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασε η ημίρρευση πηκτή γαλακτώματος με προσθήκη μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, σε σχέση με τα δύο γαλακτώματα με

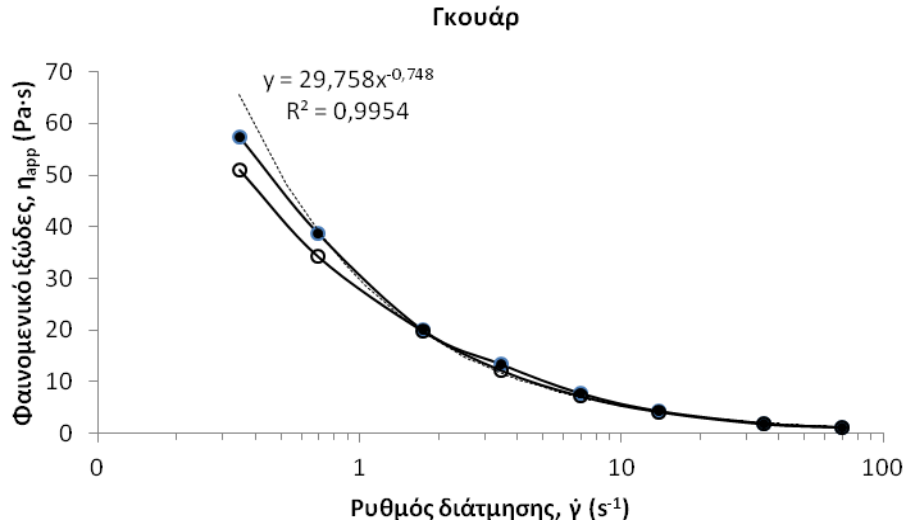
προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών, της ξανθάνης και του κόμμεος γκουάρ. Τα παραπάνω δείχνουν την ύπαρξη έντονης συνέργειας μεταξύ ξανθάνης κόμμεος γκουάρ και στα δείγματα της ομάδας Γ.

Στα παρακάτω σχήματα περιγράφεται η ρεολογική συμπεριφορά των γαλακτωμάτων της ομάδας Γ, κατά την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής της ατράκτου από 0,5 έως 100 rpm (1^{0s} κύκλος) και συνεχιζόμενη ελάττωση αυτής (2^{0s} κύκλος), καθώς επίσης και η προσαρμογή των δεδομένων του 1^{0s} κύκλου αύξησης της ταχύτητας διάτμησης στο εκθετικό μοντέλο ρεολογικής συμπεριφοράς Ostwald–de Waele (Power – law model).



Σχ. 42. Φαινομενικό ιξώδες γαλακτώματος ξανθάνης σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●— 1^{0s} κύκλος αύξησης, —○— 2^{0s} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

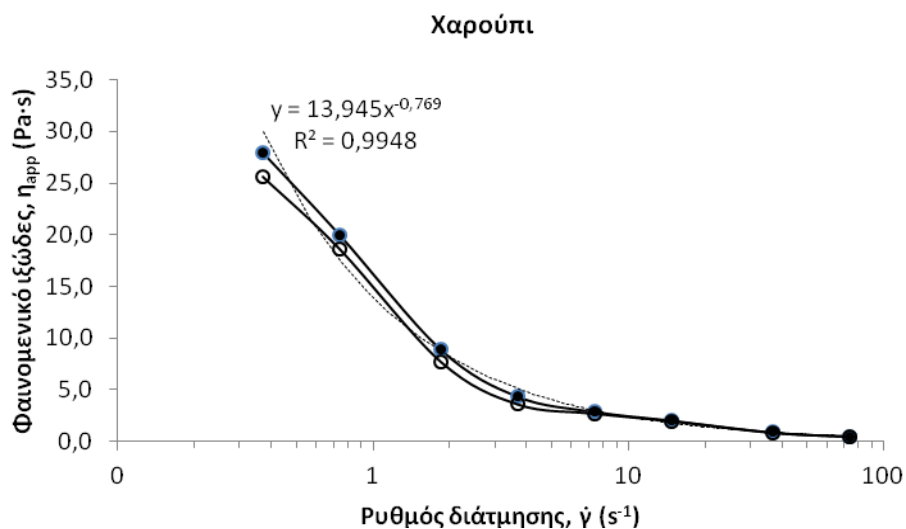
Παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη ξανθάνης σε γαλάκτωμα οδηγεί σε θιξοτροπία σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης, καθώς και έντονη ψευδοπλαστικότητα (Σχ. 39). Γενικά, τα γαλακτώματα πρωτεϊνών με ξανθάνη παρουσιάζουν ψευδοπλαστικό χαρακτήρα, γεγονός που αποδίδεται στο μη Νευτώνειο χαρακτήρα του σταθεροποιητή, ο οποίος προσεγγίζει τη Νευτώνεια συμπεριφορά με αύξηση της συγκέντρωσης του κόμμεος (Mandala et al., 2004). Αντίστοιχα αποτελέσματα αναφέρουν και οι Sun και συνεργάτες (2007) για γαλακτώματα (20% έλαιο) πρωτεϊνών ορού σε απομονωμένη μορφή (2% w/w) με προσθήκη ξανθάνης 0,5% w/w.



Σχ. 40. Φαινομενικό ιξώδες γαλακτώματος κόμμεος γκουάρ σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●— 1^{0s} κύκλος αύξησης, —○— 2^{0s} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

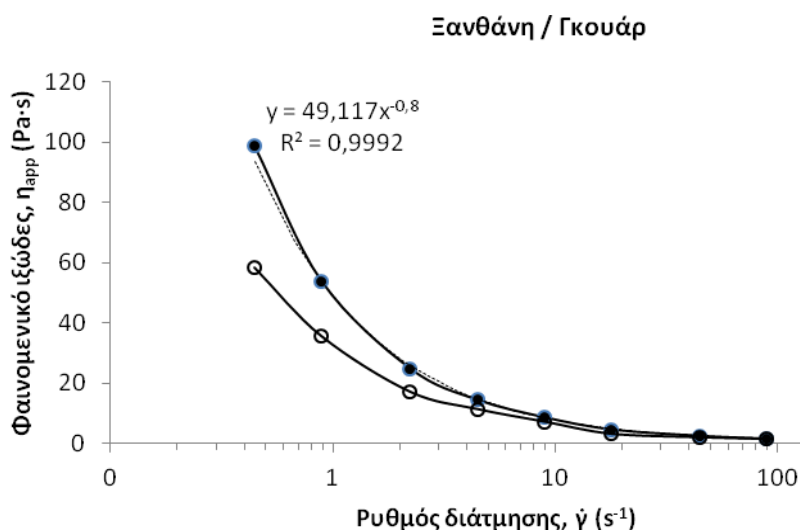
Από το σχήμα 40 γίνεται φανερό ότι το γαλάκτωμα με κόμμι γκουάρ παρουσιάζει έντονη ψευδοπλαστικότητα και ελαφρά θιξοτροπία σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης.

Το γαλάκτωμα με κόμμι χαρουπιού (Σχ. 41) παρουσιάζει ελάχιστη θιξοτροπία σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης και έντονη ψευδοπλαστικότητα. Η εμφάνιση θιξοτροπικού χαρακτήρα στα γαλακτώματα οφείλεται σε μηχανισμούς εξαντλητικής συσσωμάτωσης πρωτεϊνών και πολυσακχαρίτη, καθώς και στη συσσωμάτωση λιποσφαιρίων, η οποία οδηγεί στην αύξηση των τριβών (Bouriott et al., 1999).



Σχ. 41. Φαινομενικό ιξώδες γαλακτώματος κόμμεος χαρουπιού σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●— 1^{0s} κύκλος αύξησης, —○— 2^{0s} κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

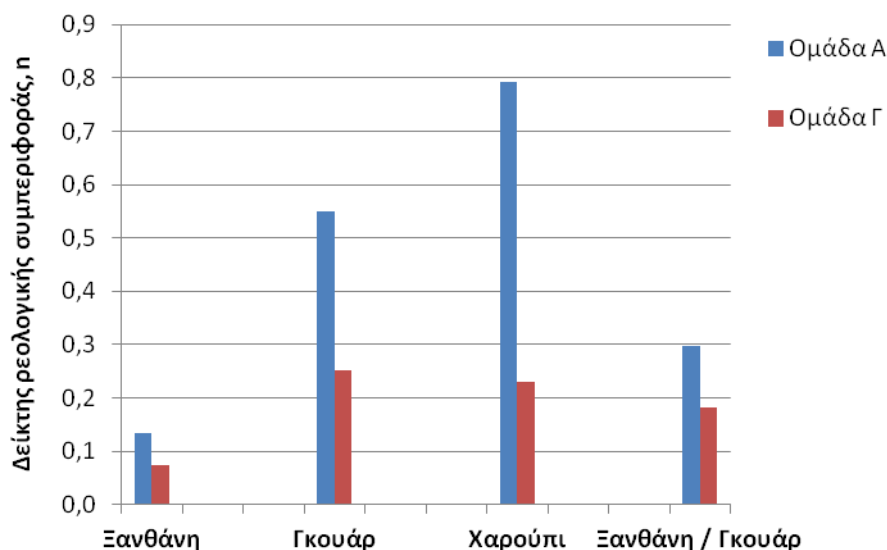
Η ημίρρευστη πηκτή γαλακτώματος με προσθήκη μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, επίσης παρουσιάζει θιξοτροπία (Σχ. 42), η οποία γίνεται εμφανής σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης, σε αναλογία με τη ρεολογική συμπεριφορά του αιωρήματος. Ακόμη, παρουσιάζει έντονη ψευδοπλαστικότητα, κάτι που αποδίδεται στην περιεχόμενη ξανθάνη, ενώ γενικά εμφανίζει ρεολογικά χαρακτηριστικά ενδιάμεσα αυτών που παρουσιάζουν τα δείγματα των επιμέρους πολυσακχαριτών.



Σχ. 42. Φαινομενικό ιξώδες πηκτής γαλακτώματος μίγματος κόμμεων ξανθάνης και γκουάρ (1:1) σε σχέση με το ρυθμό διάτμησης (λογαριθμική κλίμακα) (—●—1⁰⁵ κύκλος αύξησης, —○—2⁰⁵ κύκλος ελάττωσης ταχύτητας διάτμησης, προσαρμογή εκθετικού μοντέλου).

5.5.2 Συγκριτικά αποτελέσματα ρεολογικών παραμέτρων

Στα σχήματα που ακολουθούν περιγράφονται συγκριτικά τα αποτελέσματα ρεολογικών ιδιοτήτων αιωρημάτων (ομάδα Α) και γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων (ομάδα Γ), όπως του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς, n (Σχ. 43) και του συντελεστή συνεκτικότητας, k (Σχ. 44).



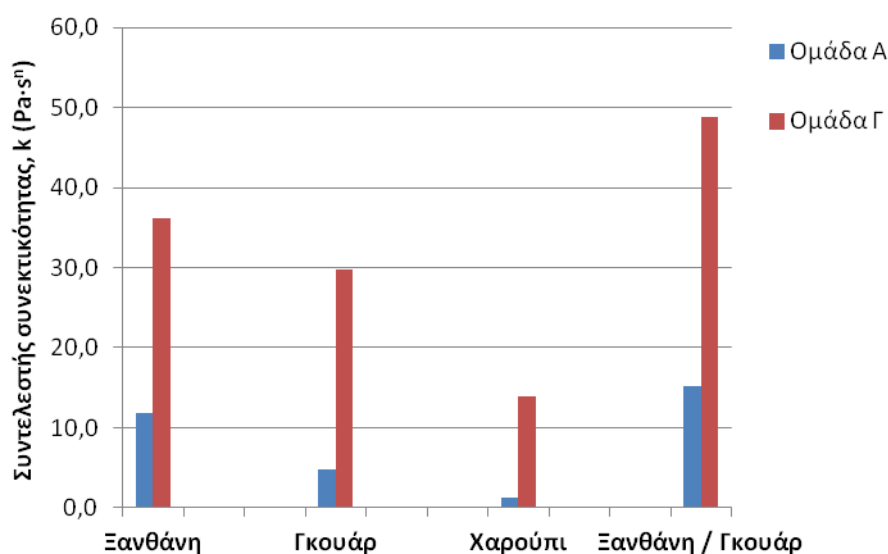
Σχ. 43. Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς αιωρημάτων και γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων.

Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και άλλες έρευνες, όπως αυτή των Rao και συνεργατών (1981), όπου μελετήθηκε η επίδραση της θέρμανσης διαλύματος κόμμεος γκούαρ 1% και βρέθηκε να έχει δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς n ίσο με 0,36, μετά από θέρμανση για 5 min στους $121,1^{\circ}\text{C}$ και αυτή των Bradley και συνεργατών (1989), όπου ο δείκτης n διαλύματος κόμμεος γκούαρ 0,8% βρέθηκε ίσος με 0,46. Οι Tirvarakarnkoon και Senge (2008) αναφέρουν ότι ο δείκτης n διαλυμάτων κόμμεων ξανθάνης, γκούαρ ή χαρουπιού και μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκούαρ 1:1 (1% w/w) ήταν ίσος με 0,186, 0,256, 0,519 και 0,168 αντίστοιχα. Έρευνα των Ercelebi και Ibanoglu (2009) αναφέρει ότι ο δείκτης n γαλακτώματος (25% έλαιο) πρωτεϊνών ορού σε απομονωμένη μορφή (0,5% w/w) με προσθήκη κόμμεος γκούαρ (0,5%) ήταν ίσος με 0,4, ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης κόμμεος γκούαρ οδήγησε σε έντονη αύξηση της ψευδοπλαστικότητας του γαλακτώματος. Αντίστοιχη έρευνα των Sun και συνεργατών (2007) αναφέρει ότι ο δείκτης n και συντελεστής k γαλακτωμάτων (20% έλαιο) πρωτεϊνών ορού σε απομονωμένη μορφή με προσθήκη ξανθάνης (0,5%) ήταν ίσοι με 0,3 και $3,28 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, αντίστοιχα, ενώ η αύξηση της συγκέντρωσης ξανθάνης οδήγησε σε έντονη αύξηση της ψευδοπλαστικότητας του γαλακτώματος.

Η αύξηση της ψευδοπλαστικότητας που παρατηρήθηκε στα γαλακτώματα σε σχέση με τα αιωρήματα, η οποία εκδηλώθηκε με ελάττωση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς (Σχ. 43) οφείλεται σε συνδυασμό της διατάραξης των συναθροισμένων λιποσφαιρίων στο πεδίο διάτμησης και του προσανατολισμού του υπάρχοντος

πλέγματος πολυσακχαρίτη. Η ύπαρξη συναθροισμένων λιποσφαιρίων αυξάνει τον φαινομενικό όγκο της διεσπαρμένης φάσης (λίπος) και οδηγεί στο σχηματισμό μη σφαιρικών συσσωματωμάτων, αίτια τα οποία συνεισφέρουν στην αύξηση της συνεκτικότητας γαλακτωμάτων (McClements & Demetriades, 1998).

Όσον αφορά στο συντελεστή συνεκτικότητας των δειγμάτων, γενικά παρατηρήθηκε ότι τα αιωρήματα παρουσιάστηκαν περισσότερο λεπτόρρευστα (Σχ. 44), σε αντιστοιχία με την ελαττωμένη ψευδοπλαστικότητα, όπως προαναφέρθηκε. Οι δύο ομάδες εμφανίζουν απόλυτα ανάλογη ρεολογική συμπεριφορά, κατά την οποία περισσότερο ιξώδη δείγματα είναι αυτά με μίγμα ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, ακολουθούμενα από αυτά με μεμονωμένη προσθήκη κόμμεων ξανθάνης, γκουάρ και χαρουπιού. Οι Tiranakarnkoon και Senge (2008) αναφέρουν ότι ο συντελεστής k διαλυμάτων κόμμεων ξανθάνης, γκουάρ ή χαρουπιού και μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ 1:1 (1% w/w) ήταν ίσος με 9,3, 17,8, 8,6 και 23,19 Pa·sⁿ αντίστοιχα.



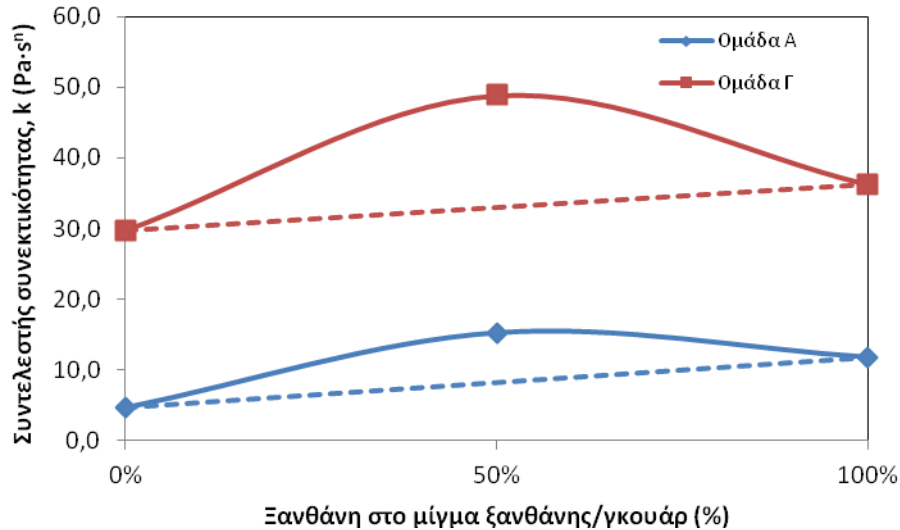
Σχ. 44. Συντελεστής συνεκτικότητας αιωρημάτων και γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων.

Η αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας στα γαλακτώματα σε σχέση με τα αιωρήματα ήταν της τάξης του 208, 530, 1050 και 220%, για τα δείγματα με ξανθάνη, κόμμεα γκουάρ, χαρουπιού και μίγμα ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, αντίστοιχα. Η έντονη αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας στα γαλακτώματα με κόμμεα γκουάρ ή χαρουπιού δεν οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις με τα λιποσφαίρια, τα οποία βρέθηκε ότι παρεμβαίνουν στο σχηματισμό του ασθενούς πλέγματος (Patmore et al., 2003), αλλά σε αρνητικές αλληλεπιδράσεις των κόμμεων με τις περιεχόμενες πρωτεΐνες

γάλακτος λόγω εξαντλητικής τους συνάθροισης (depletion flocculation). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές είναι απωθητικές και οδηγούν σε χωροταξικό περιορισμό των πρωτεϊνών και των πολυσακχαριτών, οπότε ο αποτελεσματικός όγκος τους είναι αυξημένος λόγω υψηλότερων τοπικών συγκεντρώσεων, κάτι που ενισχύει το ιξώδες (Perrechil & Cunha, 2012). Έρευνα των Sun και συνεργατών (2007) αναφέρει ότι η προσθήκη ξανθάνης σε υψηλές συγκεντρώσεις (0,5% w/w) σε γαλακτώματα πρωτεϊνών ορού σε απομονωμένη μορφή (2% w/w) δεν οδήγησε στην εμφάνιση του φαινομένου εξαντλητικής συνάθροισης λιποσφαιρίων, πιθανώς λόγω του υψηλού ιξώδους της συνεχούς φάσης που συντελεί στην ακινητοποίηση των λιποσφαιρίων και τη λιγότερο έντονη συνάθροισή τους, κάτι το οποίο συνηγορεί στην παρατηρούμενη χαμηλότερη αύξηση τους συντελεστή συνεκτικότητας των δειγμάτων με προσθήκη ξανθάνης, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Αυξημένη σταθερότητα γαλακτώματος αναφέρουν και οι Kaltsa και συνεργάτες (2011) σε γαλακτώματα με 0,25% w/w ξανθάνη, σε σχέση τη σταθερότητα που παρουσίασαν τα κόμμεα γκουάρ και χαρουπιού.

Η συνέργεια των κόμμεων ξανθάνης κόμμεος γκουάρ σε αιωρήματα και πηκτές γαλακτώματος φαίνεται συγκεντρωτικά στο σχήμα 45.

Τα δείγματα που περιείχαν μίγματα των δύο πολυσακχαριτών εμφάνισαν υψηλότερο συντελεστή συνεκτικότητας, δηλαδή ήταν πιο ιξώδη από αυτά που παρασκευάστηκαν μόνο με ξανθάνη ή μόνο με κόμμι γκουάρ. Οι αναμενόμενες τιμές ιξώδους για τα μίγματα θεωρητικά βρίσκονται επάνω στις διακεκομμένες γραμμές του σχήματος 45 και αποτελούν ενδιάμεσα ιξώδη. Εντούτοις, οι πειραματικές τιμές φαινομενικού ιξώδους των μιγμάτων και στις δύο ομάδες Α και Γ ήταν πολύ υψηλότερες, κατά 85 και 50%, αντίστοιχα, γεγονός που συνηγορεί στην έντονη συνέργεια των δυο πολυσακχαριτών ως προς τη δημιουργία ιξώδους. Το γεγονός ότι η συνέργεια ήταν λιγότερο έντονη στην πηκτή γαλακτώματος πιθανώς οφείλεται στο ότι μέρος της ξανθάνης αλληλεπιδρά και με πρωτεΐνες ορού που βρίσκονται σε μικρή περιεκτικότητα στα δείγμα αυτής της ομάδας, ή σε μερικό διαχωρισμό φάσεων που υφίστανται τα δείγματα με ξανθάνη, λόγω της θερμοδυναμικής ασυμβατότητας με τις περιεχόμενες πρωτεΐνες γάλακτος (Benichou et al., 2007b; Hemar et al., 2001).



Σχ. 45. Συνέργεια κόμμεων ξανθάνης και κόμμεος γκουάρ σε αιωρήματα και πηκτές γαλακτώματος (0,8%). - - - - Θεωρητικό ιξώδες μίγματος.

5.6 Αποτελέσματα ΤΡΑ

Στον πίνακα 11 παρουσιάζονται όλα τα αποτελέσματα ανάλυσης κατατομής υφής (ΤΡΑ), στις ομάδες των δειγμάτων που παρασκευάστηκαν, σε σχέση με το είδος του προστιθέμενων πολυσακχαριτών ή μιγμάτων αυτών.

Πίνακας 11. Αποτελέσματα ανάλυσης κατατομής υφής αιωρημάτων/πηκτών, πηκτών πρωτεϊνών ορού, γαλακτωμάτων/πηκτών γαλακτωμάτων και πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού, σε σχέση με την προσθήκη πολυσακχαρίτη/ιτών (μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ, H1 (N)				
Ξανθάνη	–	24,151 ± 8,906 ^{cde}	–	87,680 ± 7,600 ^a
Κόμμι γκουάρ	–	26,624 ± 3,861 ^{cde}	–	16,878 ± 6,035 ^{ef}
Κόμμι χαρουπιού	–	17,785 ± 1,965 ^{def}	–	18,804 ± 4,311 ^{ef}
Καραγενάνη	25,330 ± 3,690 ^c	42,029 ± 10,141 ^b	12,209 ± 1,369 ^c	21,881 ± 3,937 ^{de}
Καραγενάνη/Ξανθάνη	39,633 ± 8,681 ^b	21,141 ± 5,983 ^{cde}	14,069 ± 5,128 ^c	18,844 ± 1,546 ^{def}
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	4,989 ± 2,770 ^d	12,530 ± 2,703 ^f	8,152 ± 0,968 ^d	13,156 ± 1,469 ^f

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	50,403 ± 9,805 ^a	30,603 ± 8,355 ^{bc}	12,727 ± 2,005 ^c	26,895 ± 4,206 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	29,709 ± 1,076 ^{bcde}	22,838 ± 8,459 ^b	36,267 ± 8,639 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	57,137 ± 4,556 ^a	72,836 ± 21,581 ^a	69,727 ± 11,373 ^a	55,238 ± 8,979 ^b
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	17,341 ± 4,278 ^{ef}	ΔΜ	8,897 ± 3,017 ^g
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ, Η₂ (N)				
Ξανθάνη	–	15,249 ± 6,177 ^{cd}	–	42,638 ± 6,09 ^a
Κόμμι γκουάρ	–	13,642 ± 2,260 ^d	–	17,707 ± 6,529 ^b
Κόμμι χαρουπιού	–	12,476 ± 1,877 ^{de}	–	16,831 ± 3,763 ^b
Καραγενάνη	10,560 ± 7,196 ^d	32,010 ± 8,962 ^b	9,607 ± 1,649 ^c	13,761 ± 2,792 ^b
Καραγενάνη/Ξανθάνη	30,591 ± 8,624 ^c	15,888 ± 4,160 ^{cd}	9,817 ± 3,015 ^c	14,345 ± 1,525 ^b
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	3,296 ± 1,351 ^d	8,542 ± 2,026 ^e	6,022 ± 0,934 ^d	9,991 ± 0,906 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	43,033 ± 10,719 ^b	22,753 ± 6,360 ^c	9,708 ± 1,653 ^c	18,388 ± 3,505 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	17,337 ± 5,899 ^{cd}	17,750 ± 6,879 ^b	32,810 ± 6,474 ^a
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	59,419 ± 9,077 ^a	52,176 ± 15,877 ^a	46,894 ± 14,382 ^a	36,687 ± 6,376 ^a
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	10,654 ± 3,076 ^c	ΔΜ	8,657 ± 3,079 ^c
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (25%), Η_{25%} (N)				
Ξανθάνη	–	0,196 ± 0,155 ^g	–	0,339 ± 0,139 ^g
Κόμμι γκουάρ	–	0,168 ± 0,024 ^g	–	0,441 ± 0,057 ^g
Κόμμι χαρουπιού	–	0,129 ± 0,060 ^g	–	0,161 ± 0,082 ^h
Καραγενάνη	20,911 ± 12,109 ^a	7,522 ± 0,626 ^a	5,132 ± 0,369 ^a	4,858 ± 0,381 ^a
Καραγενάνη/Ξανθάνη	5,328 ± 1,623 ^p	2,347 ± 0,269 ^d	1,435 ± 0,366 ^c	2,080 ± 0,223 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	3,876 ± 0,243 ^b	3,747 ± 0,270 ^c	2,400 ± 0,098 ^b	2,965 ± 0,138 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	12,404 ± 1,693 ^a	5,468 ± 0,568 ^b	2,129 ± 0,090 ^b	3,673 ± 0,223 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,760 ± 0,203 ^f	1,134 ± 0,123 ^c	0,891 ± 0,162 ^f
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	1,650 ± 0,801 ^c	1,192 ± 0,538 ^e	1,114 ± 0,181 ^c	1,440 ± 0,216 ^e
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	0,557 ± 0,105 ^{fg}	ΔΜ	0,762 ± 0,139 ^f
ΑΝΤΟΧΗ, Η_{FR} (N)				
Ξανθάνη	–	–	–	–
Κόμμι γκουάρ	–	67,684 ± 3,098 ^a	–	–
Κόμμι χαρουπιού	–	–	–	–

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
Καραγενάνη	48,690 ± 12,730 ^a	7,854 ± 0,338 ^c	10,684 ± 0,836 ^c	4,722 ± 0,176 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	10,380 ± 6,570 ^c	10,535 ± 0,647 ^d	10,221 ± 2,796 ^c	–
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	4,920 ± 1,680 ^c	4,604 ± 0,159 ^f	3,558 ± 0,163 ^d	3,475 ± 0,207 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	48,210 ± 19,98 ^a	13,768 ± 0,360 ^c	20,834 ± 1,268 ^b	11,508 ± 1,093 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	41,347 ± 2,509 ^b	–	–
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	20,690 ± 4,460 ^b	41,249 ± 5,166 ^b	25,165 ± 4,925 ^a	32,815 ± 7,578 ^a
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	–	ΔΜ	–
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ, E_{FR} (%)				
Ξανθάνη	–	–	–	–
Κόμμι γκουάρ	–	74,869 ± 0,583 ^a	–	–
Κόμμι χαρουπιού	–	–	–	–
Καραγενάνη	38,710 ± 1,858 ^b	25,841 ± 1,572 ^f	39,448 ± 2,267 ^d	23,685 ± 0,285 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	40,693 ± 6,953 ^b	53,801 ± 1,303 ^c	53,082 ± 5,307 ^c	–
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	30,603 ± 1,130 ^c	31,513 ± 1,835 ^e	32,458 ± 3,121 ^e	29,429 ± 3,311 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	54,553 ± 5,307 ^a	47,344 ± 2,313 ^d	63,970 ± 2,154 ^a	50,197 ± 0,154 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	76,366 ± 1,758 ^a	–	–
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	50,503 ± 3,598 ^a	64,477 ± 2,695 ^b	59,278 ± 2,047 ^b	65,326 ± 1,054 ^a
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	–	ΔΜ	–
ΜΕΓΙΣΤΗ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ, H_{MAX} (N)				
Ξανθάνη	–	25,190 ± 8,950 ^d	–	87,68 ± 7,601 ^a
Κόμμι γκουάρ	–	56,211 ± 14,784 ^{ab}	–	16,878 ± 6,035 ^{ef}
Κόμμι χαρουπιού	–	18,254 ± 2,114 ^d	–	18,804 ± 4,311 ^{ef}
Καραγενάνη	48,690 ± 12,730 ^c	42,029 ± 10,141 ^{bc}	12,249 ± 1,347 ^{cd}	23,405 ± 4,810 ^{de}
Καραγενάνη/Ξανθάνη	39,53 ± 8,680 ^c	21,141 ± 5,983 ^d	16,771 ± 4,287 ^{bcd}	18,844 ± 1,546 ^{ef}
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	5,620 ± 2,12 ^d	12,530 ± 2,703 ^e	8,151 ± 0,968 ^d	13,156 ± 1,469 ^f
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	59,070 ± 9,180 ^b	32,478 ± 5,872 ^c	20,834 ± 1,268 ^{bc}	26,895 ± 4,206 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	41,987 ± 2,112 ^{bc}	22,838 ± 8,459 ^b	36,267 ± 8,539 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	118,740 ± 4,570 ^a	72,836 ± 21,581 ^a	69,727 ± 11,373 ^a	55,238 ± 8,979 ^b
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	17,341 ± 4,278 ^d	ΔΜ	8,897 ± 3,017 ^g
ΕΜΒΛΟΝ Α΄ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ, Δ1				

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
(J)				
Ξανθάνη	–	0,023 ± 0,003 ^h	–	0,065 ± 0,006 ^d
Κόμμι γκουάρ	–	0,082 ± 0,004 ^d	–	0,030 ± 0,008 ^e
Κόμμι χαρουπιού	–	0,017 ± 0,001 ^l	–	0,027 ± 0,009 ^e
Καραγενάνη	0,360 ± 0,045 ^a	0,131 ± 0,013 ^b	0,079 ± 0,005 ^c	0,107 ± 0,011 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	0,164 ± 0,050 ^c	0,099 ± 0,009 ^c	0,069 ± 0,013 ^c	0,056 ± 0,005 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,033 ± 0,007 ^d	0,058 ± 0,004 ^f	0,026 ± 0,002 ^d	0,056 ± 0,005 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,362 ± 0,041 ^a	0,145 ± 0,013 ^b	0,111 ± 0,005 ^b	0,133 ± 0,007 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,068 ± 0,010 ^c	0,038 ± 0,009 ^d	0,066 ± 0,008 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,269 ± 0,038 ^b	0,230 ± 0,028 ^a	0,189 ± 0,030 ^a	0,188 ± 0,028 ^a
Μάρτυρας (–P)	ΔM	0,036 ± 0,006 ^g	ΔM	0,016 ± 0,004 ^f
ΕΜΒΛΑΔΟΝ Β΄ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ, A2 (J)				
Ξανθάνη	–	0,007 ± 0,001 ^c	–	0,015 ± 0,002 ^{bc}
Κόμμι γκουάρ	–	0,0002 ± 3*10 ⁻⁵ ^h	–	0,028 ± 0,008 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	0,001 ± 4*10 ⁻⁵ ^g	–	0,020 ± 0,007 ^b
Καραγενάνη	0,006 ± 0,002 ^c	0,025 ± 0,005 ^a	0,004 ± 0,001 ^c	0,012 ± 0,004 ^{cd}
Καραγενάνη/Ξανθάνη	0,013 ± 0,005 ^b	0,009 ± 0,002 ^d	0,004 ± 0,001 ^c	0,008 ± 0,001 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,002 ± 0,001 ^d	0,005 ± 0,001 ^f	0,002 ± 0,000 ^d	0,007 ± 0,001 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,023 ± 0,004 ^a	0,012 ± 0,002 ^c	0,005 ± 0,001 ^c	0,011 ± 0,002 ^{cd}
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,019 ± 0,001 ^b	0,008 ± 0,003 ^b	0,028 ± 0,004 ^a
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,010 ± 0,003 ^{bc}	0,020 ± 0,003 ^b	0,013 ± 0,003 ^a	0,019 ± 0,003 ^b
Μάρτυρας (–P)	–	0,010 ± 0,002 ^{cd}	–	0,010 ± 0,004 ^{cd}
ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟΤΗΤΑ, -A3, (Jx10⁻³)				
Ξανθάνη	–	1,920 ± 0,189 ^b	–	10,0 ± 1 ^d
Κόμμι γκουάρ	–	2,410 ± 0,313 ^a	–	20,0 ± 2 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	2,580 ± 0,326 ^a	–	14,0 ± 1 ^{bc}
Καραγενάνη	0,200 ± 0,048 ^d	1,020 ± 0,255 ^c	0,570 ± 0,158 ^c	13,0 ± 2 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	1,970 ± 0,184 ^a	0,808 ± 0,125 ^c	1,300 ± 0,608 ^b	14,0 ± 2 ^{bc}
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,345 ± 0,119 ^c	1,740 ± 0,162 ^b	3,100 ± 0,257 ^a	15,0 ± 2 ^b
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	1,230 ± 0,294 ^b	1,050 ± 0,242 ^c	0,430 ± 0,223 ^c	9,0 ± 1 ^d

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,746 ± 0,183 ^c	4,200 ± 2,844 ^a	9,0 ± 1 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	2,340 ± 0,607 ^a	0,345 ± 0,083 ^d	1,000 ± 1,761 ^c	12,0 ± 1 ^c
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	0,381 ± 0,176 ^d	ΔΜ	9,0 ± 1 ^d
<u>ΔΥΝΑΜΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ, -H3</u> (N)				
Ξανθάνη	–	1,059 ± 0,087 ^c	–	3,819 ± 0,333 ^c
Κόμμι γκουάρ	–	1,268 ± 0,099 ^{bc}	–	7,193 ± 0,393 ^c
Κόμμι χαρουπιού	–	1,370 ± 0,171 ^b	–	6,101 ± 0,734 ^d
Καραγενάνη	1,515 ± 0,507 ^c	1,903 ± 0,239 ^a	0,487 ± 0,062 ^d	10,402 ± 1,054 ^a
Καραγενάνη/Ξανθάνη	2,748 ± 0,537 ^b	0,830 ± 0,169 ^d	0,830 ± 0,206 ^c	5,946 ± 0,662 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,295 ± 0,058 ^d	2,094 ± 0,249 ^a	1,462 ± 0,246 ^b	6,143 ± 0,591 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	3,278 ± 0,244 ^a	1,211 ± 0,281 ^b	0,737 ± 0,246 ^c	8,087 ± 0,734 ^b
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,575 ± 0,096 ^c	2,412 ± 0,146 ^a	3,702 ± 0,298 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	2,778 ± 0,062 ^b	0,463 ± 0,099 ^c	1,100 ± 0,537 ^a	5,946 ± 0,662 ^d
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	0,459 ± 0,070 ^c	ΔΜ	3,897 ± 0,469 ^c
<u>ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ, S1</u> (m × 10⁻³)				
Ξανθάνη	–	4,178 ± 0,166 ^a	–	1,722 ± 0,132 ^d
Κόμμι γκουάρ	–	0,169 ± 0,085 ^c	–	15,008 ± 1,236 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	0,186 ± 0,109 ^c	–	5,772 ± 0,278 ^b
Καραγενάνη	1,809 ± 0,430 ^b	3,719 ± 0,224 ^a	1,852 ± 0,133 ^c	3,052 ± 0,529 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	2,272 ± 0,145 ^a	2,309 ± 0,366 ^b	2,595 ± 0,212 ^b	2,563 ± 0,626 ^{cd}
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	2,234 ± 0,155 ^a	2,127 ± 0,101 ^b	2,489 ± 0,374 ^b	2,565 ± 0,282 ^{cd}
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	2,139 ± 0,125 ^a	2,117 ± 0,342 ^b	2,670 ± 0,443 ^b	2,286 ± 0,417 ^{cd}
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	2,093 ± 0,146 ^b	3,466 ± 0,465 ^a	3,136 ± 0,441 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	1,028 ± 0,281 ^c	2,149 ± 0,455 ^b	2,280 ± 0,382 ^b	2,386 ± 0,234 ^{cd}
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	3,938 ± 0,595 ^a	ΔΜ	5,874 ± 0,703 ^b
<u>ΕΚΤΑΤΟΤΗΤΑ, S2</u> (m × 10⁻³)				
Ξανθάνη	–	5,767 ± 0,154 ^a	–	9,012 ± 0,5717 ^a
Κόμμι γκουάρ	–	4,761 ± 0,554 ^b	–	7,669 ± 0,100 ^b
Κόμμι χαρουπιού	–	5,115 ± 0,636 ^b	–	4,618 ± 0,606 ^d

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
Καραγενάνη	0,523 ± 0,251 ^c	0,750 ± 0,384 ^c	2,310 ± 0,250 ^b	1,963 ± 0,243 ^f
Καραγενάνη/Ξανθάνη	2,086 ± 0,548 ^a	0,894 ± 0,229 ^c	2,332 ± 0,654 ^b	2,095 ± 0,215 ^f
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	1,840 ± 0,189 ^a	2,953 ± 0,468 ^d	3,667 ± 0,439 ^a	3,122 ± 0,322 ^e
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,493 ± 0,028 ^c	3,962 ± 0,463 ^c	1,273 ± 0,360 ^c	1,758 ± 0,690 ^f
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	3,167 ± 0,144 ^d	3,935 ± 0,833 ^a	5,514 ± 0,460 ^e
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	1,281 ± 0,206 ^b	0,730 ± 0,193 ^c	1,637 ± 0,618 ^c	0,521 ± 0,208 ^g
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	5,828 ± 0,281 ^a	ΔΜ	7,999 ± 0,976 ^b
ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ, C (A2/A1)				
Ξανθάνη	–	0,308 ± 0,046 ^a	–	0,229 ± 0,031 ^c
Κόμμι γκουάρ	–	0,002 ± 0,001 ^c	–	0,939 ± 0,037 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	0,032 ± 0,001 ^d	–	0,756 ± 0,016 ^b
Καραγενάνη	0,017 ± 0,004 ^d	0,188 ± 0,021 ^b	0,054 ± 0,0089 ^{bc}	0,117 ± 0,044 ^{fg}
Καραγενάνη/Ξανθάνη	0,082 ± 0,013 ^a	0,092 ± 0,010 ^c	0,061 ± 0,014 ^{bc}	0,137 ± 0,033 ^f
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,052 ± 0,008 ^b	0,084 ± 0,009 ^c	0,071 ± 0,015 ^b	0,121 ± 0,014 ^f
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,062 ± 0,007 ^b	0,085 ± 0,010 ^c	0,044 ± 0,008 ^c	0,085 ± 0,013 ^g
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	0,275 ± 0,028 ^a	0,261 ± 0,020 ^a	0,421 ± 0,045 ^d
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	0,037 ± 0,014 ^c	0,088 ± 0,011 ^c	0,066 ± 0,006 ^b	0,101 ± 0,010 ^{fg}
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	0,282 ± 0,017 ^a	ΔΜ	0,646 ± 0,101 ^c
ΚΟΜΜΙΩΔΗΣ ΥΦΗ, G (N)				
Ξανθάνη	–	7,561 ± 3,513 ^a	–	20,053 ± 3,049 ^a
Κόμμι γκουάρ	–	0,057 ± 0,013 ^c	–	15,973 ± 6,200 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	0,572 ± 0,061 ^d	–	14,187 ± 3,186 ^a
Καραγενάνη	0,429 ± 0,147 ^b	8,068 ± 2,804 ^a	0,670 ± 0,182 ^b	2,473 ± 0,656 ^c
Καραγενάνη/Ξανθάνη	3,252 ± 0,976 ^a	1,972 ± 0,739 ^b	0,888 ± 0,369 ^b	2,595 ± 0,684 ^c
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,275 ± 0,190 ^b	1,069 ± 0,335 ^c	0,580 ± 0,133 ^b	1,587 ± 0,222 ^d
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	3,156 ± 0,879 ^a	2,633 ± 0,946 ^b	0,571 ± 0,182 ^b	2,260 ± 0,394 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	8,145 ± 3,078 ^a	5,897 ± 2,003 ^a	15,146 ± 3,189 ^a
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	2,151 ± 1,076 ^a	6,285 ± 1,605 ^a	4,586 ± 0,77 ^a	5,565 ± 1,114 ^b
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	4,889 ± 1,233 ^a	ΔΜ	5,934 ± 2,759 ^b
ΜΑΣΗΤΙΚΟΤΗΤΑ, K (J × 10⁻³)				

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΤΡΑ	ΟΜΑΔΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ			
	ΑΙΩΡΗΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ (Α)	ΠΗΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Β)	ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ / ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ (Γ)	ΠΗΚΤΕΣ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΟΡΟΥ (Δ)
Ξανθάνη	–	31,514 ± 14,588 ^a	–	34,250 ± 2,820 ^c
Κόμμι γκουάρ	–	0,009 ± 0,004 ^f	–	234,840 ± 75,410 ^a
Κόμμι χαρουπιού	–	0,112 ± 0,078 ^e	–	82,410 ± 21,370 ^b
Καραγενάνη	0,796 ± 0,443 ^b	29,806 ± 10,169 ^a	1,245 ± 0,348 ^c	7,580 ± 2,510 ^e
Καραγενάνη/Ξανθάνη	7,366 ± 2,174 ^a	4,355 ± 0,876 ^c	2,270 ± 0,928 ^c	6,720 ± 2,400 ^e
Καραγενάνη/Κόμμι γκουάρ	0,609 ± 0,415 ^b	2,298 ± 0,827 ^d	1,449 ± 0,452 ^c	4,090 ± 0,820 ^f
Καραγενάνη/Κόμμι χαρουπιού	6,701 ± 1,739 ^a	5,401 ± 1,559 ^c	1,528 ± 0,521 ^c	5,060 ± 0,620 ^{ef}
Ξανθάνη/Κόμμι γκουάρ	–	18,059 ± 9,192 ^{ab}	19,752 ± 4,776 ^a	47,070 ± 10,030 ^c
Ξανθάνη/Κόμμι χαρουπιού	2,417 ± 1,921 ^b	12,955 ± 1,846 ^b	10,282 ± 1,170 ^b	13,240 ± 2,690 ^d
Μάρτυρας (–P)	ΔΜ	19,059 ± 5,182 ^{ab}	ΔΜ	35,760 ± 18,350 ^c

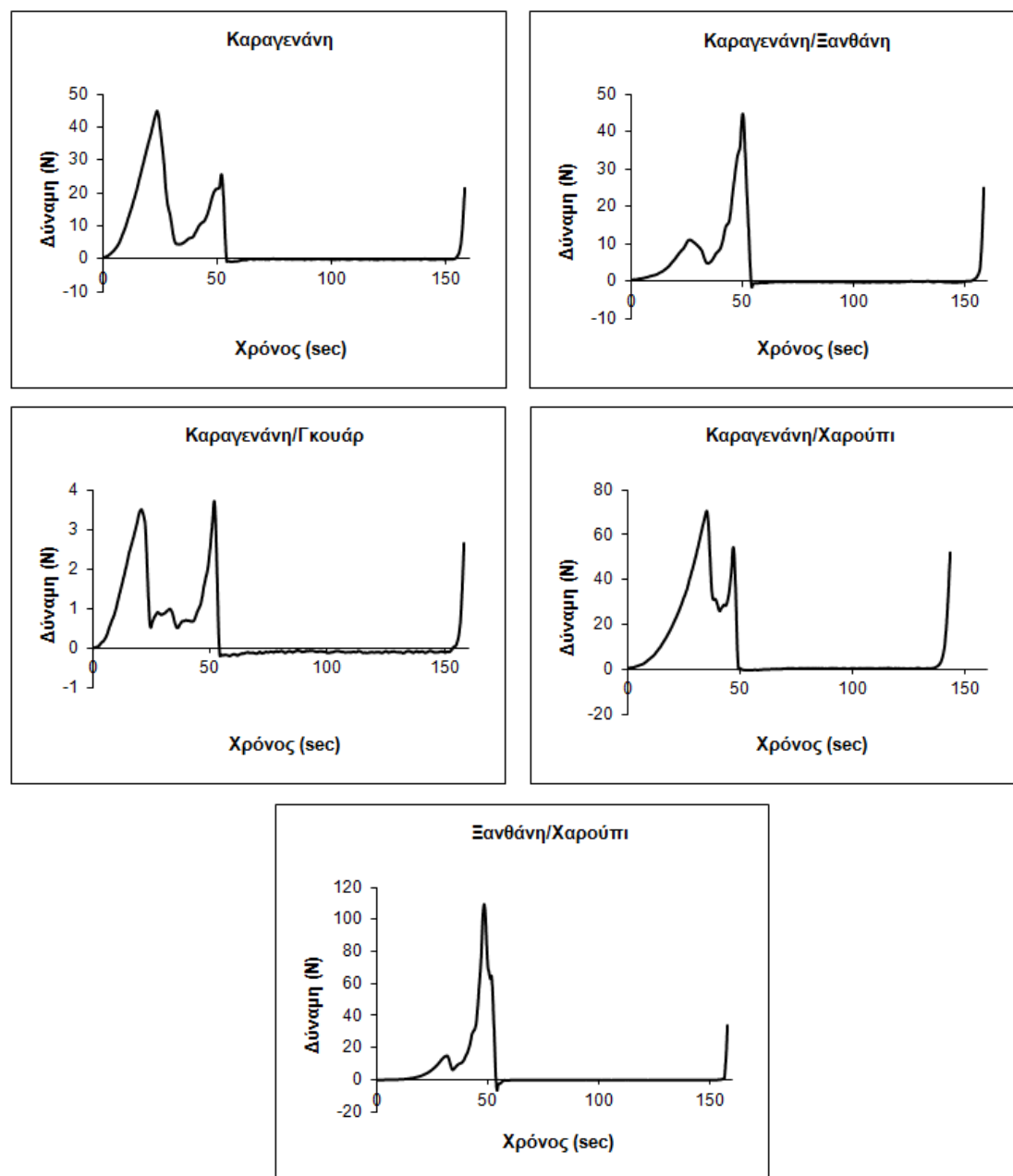
*Διαφορετικοί εκθέτες στις στήλες δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά (p<0,05)

– Δεν μετρήθηκε με τη μέθοδο ΤΡΑ

ΔΜ, Δεν μελετήθηκε

Πηκτές πολυσακχαριτών (ομάδα Α):

Στο σχήμα 46 φαίνεται η μορφή των καμπυλών της ανάλυσης κατατομής υφής (TPA) των στερεών δειγμάτων της ομάδας Α ή πηκτών πολυσακχαριτών με τη χρήση όλων των διαφορετικών σταθεροποιητών και των συνδυασμών αυτών.



Σχ. 46. Τυπικές καμπύλες ανάλυσης κατατομής υφής πηκτών πολυσακχαριτών.

Από τον πίνακα 11 προκύπτουν τα εξής:

Σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (H1): Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ είχε τη μικρότερη τιμή, διέφερε από το καραγενάνη που ήταν μεγαλύτερη, διέφερε από το καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν μεγαλύτερη, ενώ το ξανθάνη/κόμμι

χαρουπιού και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και σκληρότερο απ' όλα.

Σύμφωνα με τους Higiro και συνεργάτες (2006), η ξανθάνη σε συνεργασία με το κόμμι χαρουπιού και συγκεκριμένα μέχρι συγκεντρώσεως 60% κόμμι χαρουπιού αυξάνει το ιξώδες. Ακόμα, σύμφωνα με τους Pinheiro και συνεργάτες (2011), η συνέργεια μεταξύ караγενάνης/κόμμιος χαρουπιού είναι αρκετά ισχυρή.

Σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (H₂): Το δείγμα караγενάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν ίσα μεταξύ τους και είχαν τη μικρότερη τιμή, διέφεραν από το караγενάνη/ξανθάνη που ήταν μεγαλύτερη, διέφεραν από караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχε τη μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας H₂.

Σκληρότητα σε παραμόρφωση 25% (H_{25%}): Το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το λιγότερο σκληρό σε χαμηλές παραμορφώσεις, διέφερε από τα караγενάνη/κόμμι γκουάρ και караγενάνη/ξανθάνη που ήταν σκληρότερα, τα οποία διέφεραν από τα караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και караγενάνη ήταν τα πιο σκληρά.

Αντοχή ή ευθραυστότητα (H_{FR}): Τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν τα πιο εύθραυστα, διέφεραν από το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το караγενάνη και το караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν την ίδια και μεγαλύτερη αντοχή στη θραύση απ' όλα.

Παραμόρφωση κατά τη θραύση (E_{FR}): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ παρουσίασε θραύση στη χαμηλότερη παραμόρφωση, διέφερε από το караγενάνη και караγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα, ενώ το караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν τις υψηλότερες τιμές παραμόρφωσης στο σημείο θραύσης.

Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν και οι Chen και συνεργάτες (2001), οι οποίοι παρατήρησαν υψηλή συνέργεια μεταξύ караγενάνης και κόμμιος χαρουπιού και μάλιστα σε αναλογία 6:4 παρουσιάζεται υψηλή τάση στο σημείο θραύσης.

Μέγιστη σκληρότητα (H_{MAX}): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ είχε τη χαμηλότερη τιμή μέγιστης σκληρότητας, διέφερε από το караγενάνη και το караγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα και πιο σκληρά, διέφεραν από το караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο σκληρό δείγμα.

Εμβαδόν κατά την πρώτη συμπίεση (A₁): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ παρήγαγε το χαμηλότερο έργο κατά την πρώτη συμπίεση, διέφερε από το

καραγενάνη/ξανθάνη, διέφερε από ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ τα караγενάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα και μεγαλύτερα από όλα.

Σε παρόμοια αποτελέσματα καταλήγουν και οι Higino και συνεργάτες (2006), όπου αναφέρουν ότι μίγμα ξανθάνης και κόμμιος χαρουπιού (60/40) παρουσίασε υψηλή συνέργεια.

Εμβαδόν κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ παρήγαγε το χαμηλότερο έργο κατά τη δεύτερη συμπίεση, διέφερε από το караγενάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, διέφεραν από το караγενάνη/ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα, ενώ διέφεραν από το караγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν τα μεγαλύτερα.

Συγκολλητικότητα (-A3): Το δείγμα караγενάνη ήταν το μικρότερο, διέφερε από το караγενάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν μεγαλύτερο, διέφερε από караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ τα караγενάνη/ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα.

Δύναμη συγκόλλησης (-H3): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ παρουσίασε τη μικρότερη αντίσταση στην αποκόλληση από την άνω πλάκα, διέφερε από το караγενάνη που είχε μεγαλύτερη, διέφεραν από караγενάνη/ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα από τα άλλα, ενώ το караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το δείγμα με τη μεγαλύτερη δύναμη συγκόλλησης.

Ελαστικότητα (S1): Το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχε τη χαμηλότερη ελαστικότητα, διέφερε από το караγενάνη που είχε μεγαλύτερη, ενώ τα караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα μεταξύ τους και πιο ελαστικά.

Εκτατότητα (S2): Τα δείγματα караγενάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν τη χαμηλότερη εκτατότητα, διέφεραν από το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, ενώ τα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν ίσα και μεγαλύτερα απ' όλα.

Συνεκτικότητα (A2/A1): Το δείγμα караγενάνη είχε τη χαμηλότερη συνεκτικότητα, διέφερε από το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που είχε μεγαλύτερη, διέφερε από το караγενάνη/κόμμι γκουάρ και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το караγενάνη/ξανθάνη ήταν το πιο συνεκτικό από όλα.

Κομμιώδης υφή (G): Τα δείγματα караγενάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ είχαν τις χαμηλότερες τιμές κομμιώδους υφής, ενώ τα караγενάνη/ξανθάνη,

καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν ίσες και υψηλότερες τιμές.

Μασητικότητα (K): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν χαμηλότερες τιμές μασητικότητας, ενώ τα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν ίσες και υψηλότερες τιμές.

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα και το σχήμα 46, προκύπτει ότι η караγενάνη παρουσιάζει συνέργεια με το κόμμι χαρουπιού, ενώ με την ξανθάνη και το κόμμι γκουάρ παρατηρείται ανταγωνισμός, κάτι το οποίο συμφωνεί με αποτελέσματα άλλων ερευνών (Boyd, 2005; Dunstan et al., 2001; Kaletunc-Gencer & Peleg, 1985). Επίσης, είναι εμφανής η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και των κόμμιων γκουάρ και χαρουπιού.

Τα παραπάνω είναι εμφανή από το ότι τα δείγματα της ομάδας Α με μεμονωμένους πολυσακχαρίτες, όπως ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού ήταν ρευστά, ενώ η караγενάνη καθώς και τα μίγματα πολυσακχαριτών, εκτός του ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ήταν στερεά πηγματα.

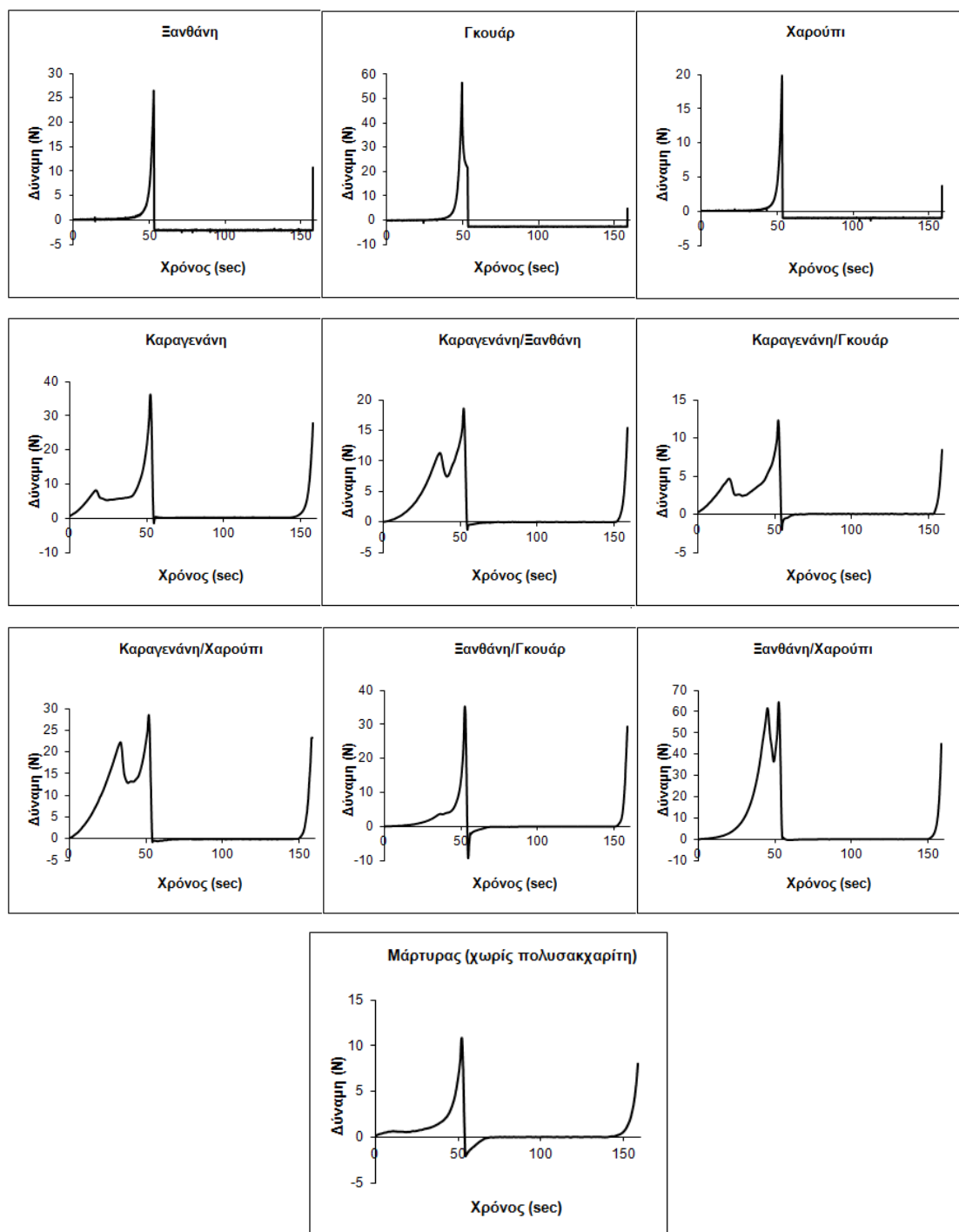
Αναλυτικά, για την ομάδα Α, όσον αφορά στις ιδιότητες της караγενάνης σε σχέση με την προσθήκη άλλων πολυσακχαριτών, η συνέργεια караγενάνης/κόμμιος χαρουπιού απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης ήταν περισσότερο σκληρά (σκληρότητες H_1 , H_2 , H_{MAX}), ελαστικά και συνεκτικά, είχαν μεγαλύτερη συγκολλητικότητα, κομμωδή υφή και μασητικότητα, ενώ ήταν ίδιας αντοχής και υπέστησαν μεγαλύτερες παραμορφώσεις πριν τη θραύση.

Ο ανταγωνισμός караγενάνης/ξανθάνης απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης ήταν λιγότερο σκληρά (H_{MAX}), περισσότερο ελαστικά και συνεκτικά, είχαν μεγαλύτερη συγκολλητικότητα, αυξημένη κομμωδή υφή και μασητικότητα, ενώ είχαν μικρότερη αντοχή. Ανταγωνισμό αναφέρουν και οι Pinheiro και συνεργάτες (2011), σε δείγματα με αντίστοιχη αναλογία πολυσακχαριτών.

Ο ανταγωνισμός караγενάνης/κόμμιος γκουάρ απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης ήταν λιγότερο σκληρά (σκληρότητες H_1 , $H_{25\%}$, H_{MAX}), πιο εύθραυστα, είχαν μεγαλύτερη συγκολλητικότητα, ελαστικότητα και συνεκτικότητα, καθώς και παρόμοια κομμωδή υφή και μασητικότητα.

Πηκτές πρωτεϊνών ορού (ομάδα Β):

Στο σχήμα 47 φαίνεται η μορφή της ανάλυσης κατατομής TPA στις πηκτές πρωτεϊνών ορού με τη χρήση όλων των διαφορετικών σταθεροποιητών και των συνδυασμών αυτών.



Σχ. 47. Τυπικές καμπύλες ανάλυσης κατατομής υφής πηκτών πρωτεϊνών ορού, σε σχέση με το είδος προστιθέμενου/ων πολυσακχαρίτη/ιτών.

Από τον πίνακα 11 προκύπτουν τα εξής:

Σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (H1): Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ είχε τη χαμηλότερη τιμή, τα δείγματα κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα από το προηγούμενο, διέφεραν από τα δείγματα ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και καραγενάνη/ξανθάνη, τα οποία ήταν ίσα και μεγαλύτερα, διέφεραν από τα δείγματα καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα, διέφεραν από το δείγμα καραγενάνη, κι αυτό από το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, το οποίο είχε τη μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας H1.

Σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (H2): Τα δείγματα παρουσιάζουν αυξητική τάση, από το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ που είχε τη χαμηλότερη τιμή και ακολουθούν το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες, καθώς και κόμμι χαρουπιού και κόμμι γκουάρ, τα οποία δεν διαφέρουν στατιστικά. Αυτά με τη σειρά τους διέφεραν από τα δείγματα ξανθάνη και καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα από τα προηγούμενα και ακολούθησαν διαδοχικά τα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, κι έπειτα τα διαφορετικά μεταξύ τους δείγματα, καραγενάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που και τη μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας H2.

Η συνέργεια της ξανθάνης με το κόμμι χαρουπιού έχει αποδειχθεί και από άλλες έρευνες (Higiro et al., 2006) και ήταν φανερή ακόμα και στα υπό ανάλυση μικτά συστήματα με πρωτεΐνες ορού.

Σκληρότητα σε παραμόρφωση 25% ($H_{25\%}$): Τα δείγματα χωρίς πολυσακχαρίτες, ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού ήταν τα λιγότερο σκληρά σε μικρές παραμορφώσεις (25%), ακολουθούμενα από τα επόμενα δείγματα τα οποία παρουσίαζαν αυξητική τάση (διαφορετικά μεταξύ τους): ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού και καραγενάνη το οποίο ήταν το πιο σκληρό σε μικρή παραμόρφωση.

Οι Cristensen και Trudsoe (1980) αναφέρουν ότι ο συνδυασμός προσθήκης ξανθάνης/κ-καραγενάνης κάνει μαλακότερη την πηκτή καραγενάνης.

Αντοχή ή ευθραυστότητα (H_{FR}): Τα δείγματα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν διαφορετικά μεταξύ τους και διαδοχικά το ένα ανθεκτικότερο από το άλλο, διέφεραν

από τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και τα αμέσως επόμενα, ενώ το δείγμα κόμμι γκουάρ είχε τη μεγαλύτερη αντοχή.

Παραμόρφωση κατά τη θραύση (E_{FR}): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και караγενάνη/ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν διαφορετικά μεταξύ τους και διαδοχικά το ένα μεγαλύτερο από το προηγούμενό του, ενώ τα δείγματα κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ είχαν τις μεγαλύτερες τιμές παραμόρφωσης στο σημείο θραύσης όλων.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι τα δείγματα ξανθάνη, κόμμι χαρουπιού, καθώς και το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες δεν παρουσίασαν σημείο θραύσης.

Μέγιστη σκληρότητα (H_{MAX}): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο μαλακό, ακολουθούμενο από τα δείγματα χωρίς πολυσακχαρίτες, κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη και караγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα και σκληρότερα, διέφεραν από το δείγμα караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, караγενάνη και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα και ακολούθησαν τα δείγματα κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, που ήταν ίσα και τα πιο σκληρά. Το γεγονός ότι το δείγμα με κόμμι γκουάρ παρουσίασε υψηλή τιμή σκληρότητας οφείλεται στο ότι παρουσίασαν σημείο θραύσης σε μεγάλες παραμορφώσεις.

Εμβαδόν κατά την πρώτη συμπίεση (A1): Σχεδόν όλα τα δείγματα διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους. Το δείγμα κόμμι χαρουπιού είχε το πιο μικρό εμβαδό και το διαδέχονταν με αύξουσα σειρά τα δείγματα ξανθάνη, χωρίς πολυσακχαρίτες, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, κόμμι γκουάρ, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού (δεν διέφεραν στατιστικά μεταξύ τους) και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, που ήταν και το μεγαλύτερο από όλα τα προηγούμενα.

Εμβαδόν κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2): Ομοίως, όλα τα δείγματα διέφεραν μεταξύ τους. Το δείγμα κόμμι γκουάρ ήταν το πιο μικρό και το διαδέχονταν με αύξουσα σειρά τα δείγματα κόμμι χαρουπιού, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη, караγενάνη/ξανθάνη, χωρίς πολυσακχαρίτες, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και караγενάνη που ήταν και το πιο μεγάλο.

Συγκολλητικότητα (-A3): Τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες είχαν τη χαμηλότερη συγκολλητικότητα, διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι

γκουάρ που ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα, διέφεραν από τα δείγματα ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα, ενώ τα δείγματα με κόμμεα γκουάρ και χαρουπιού ήταν ίσα και παρουσίασαν τη μεγαλύτερη συγκολλητικότητα.

Δύναμη συγκόλλησης (-H3): Χαμηλότερη δύναμη συγκόλλησης παρουσίασαν τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες ήταν ίσα μεταξύ τους, διέφεραν από το δείγμα караγενάνη/ξανθάνη και αυτό από τα δείγματα ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν επίσης ίσα, ενώ τα δείγματα караγενάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ (ίσα), είχαν τη μεγαλύτερη δύναμη συγκόλλησης.

Ελαστικότητα (S1): Τα δείγματα με κόμμεα γκουάρ και χαρουπιού ήταν ίσα και είχαν τη χαμηλότερη ελαστικότητα, διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν επίσης ίσα και μεγαλύτερα, ενώ τα δείγματα ξανθάνη, караγενάνη και χωρίς πολυσακχαρίτες είχαν τη μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Σε συμφωνία με τα παραπάνω, οι Higiro και συνεργάτες (2006) αναφέρουν διαλύματα χαρουπιού παρουσιάζονται παχύρρευστα, ενώ με ξανθάνη ή συνδυασμό ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού έχουν ιξωδοελαστικό χαρακτήρα.

Εκτατότητα (S2): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα ως προς την εκτατότητα, η οποία ήταν η χαμηλότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ (ίσα μεταξύ τους), διέφεραν από το δείγμα караγενάνη/κόμμι χαρουπιού (μεγαλύτερο), διέφερε από τα δείγματα κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού (ίσα και μεγαλύτερα), ενώ τα δείγματα ξανθάνη και χωρίς πολυσακχαρίτες είχαν όμοια εκτατότητα, τη μεγαλύτερη όλων.

Συνεκτικότητα (C): Το δείγμα κόμμι γκουάρ ήταν το λιγότερο συνεκτικό, διέφερε από το αμέσως επόμενο, κόμμι χαρουπιού, διέφερε από τα επόμενα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού τα οποία ήταν ίσα και συνεκτικότερα, τα ακολουθούν η караγενάνη, ενώ τα ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες ήταν ίσα, και συνεκτικότερα από όλα.

Κομμιώδης υφή (G): Το δείγμα κόμμι γκουάρ είχε τη χαμηλότερη τιμή, ακολουθούμενο από κόμμι χαρουπιού που ήταν μεγαλύτερο και αυτό με τη σειρά του

διέφερε από τα δείγματα караγενάνη/κόμμι γκουάρ. Ακολούθησαν τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού με ακόμη αυξημένη κομμωδή υφή, ακολουθούμενα από τα δείγματα χωρίς πολυσακχαρίτες, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και караγενάνη, τα οποία είχαν τις μεγαλύτερες τιμές.

Μασητικότητα (K): Τα δείγματα κόμμι γκουάρ και κόμμι χαρουπιού είχαν τις χαμηλότερες τιμές, ακολουθούμενα από το караγενάνη/κόμμι γκουάρ το οποίο ήταν μεγαλύτερο, διέφερε από τα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, τα οποία είχαν ίσες και μεγαλύτερες τιμές. Στη συνέχεια, αυξημένη μασητικότητα παρουσίασαν τα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες και τα караγενάνη και ξανθάνη παρουσίασαν την πιο αυξημένη μασητικότητα.

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα και το σχήμα 47, προκύπτει ότι η караγενάνη παρουσιάζει συνέργεια με το κόμμι χαρουπιού, ελαττωμένη σε σχέση με αυτήν της ομάδας A και μόνο σε σχέση με τις ιδιότητες θραύσης, ενώ με την ξανθάνη και το κόμμι γκουάρ παρατηρείται ανταγωνισμός. Είναι εμφανής η συνέργεια ξανθάνης και χαρουπιού, ωστόσο, είναι λιγότερο εμφανής η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και του κόμμι γκουάρ.

Αναλυτικά, για την ομάδα πηκτών πρωτεϊνών ορού, όσον αφορά στις ιδιότητες της караγενάνης σε σχέση με την προσθήκη άλλων πολυσακχαριτών, η συνέργεια караγενάνης/κόμμι χαρουπιού απέδωσε δείγματα τα οποία προσομοίωσαν τη σκληρότητα και συγκολλητικότητα του δείγματος με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης, είχαν χαμηλότερη ελαστικότητα, συνεκτικότητα, κομμωδή υφή και μασητικότητα, ενώ ήταν ανθεκτικότερα, ωστόσο η θραύση επερχόταν σε χαμηλότερες παραμορφώσεις. Εφ' όσον το δείγμα με κόμμι χαρουπιού δεν παρουσίασε σημείο θραύσης, οι διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στις συνεργιστικές ιδιότητες караγενάνης και χαρουπιού των ομάδων A και B, μπορούν να αποδοθούν σε αλληλεπιδράσεις της караγενάνης με τις πρωτεΐνες ορού. Αυτές πιθανώς οδηγούν σε εξαντλητική συσσωμάτωση των πρωτεϊνών ορού και τη δημιουργία συνεχούς πλέγματος караγενάνης (Çakır & Foegeding, 2011) ή και μίγματός της με άλλον πολυσακχαρίτη με ελαττωμένη συνοχή.

Ο ανταγωνισμός караγενάνης/ξανθάνης απέδωσε δείγματα τα οποία προσομοίωσαν τη σκληρότητα του δείγματος με μεμονωμένη προσθήκη ξανθάνης, το οποίο δεν παρουσίασε σημείο θραύσης, ενώ ήταν ανθεκτικότερα και λιγότερο εύθρυπτα από το δείγμα με караγενάνη. Είχαν γενικά χαμηλότερη συγκολλητικότητα, ελαστικότητα, συνεκτικότητα, κομμωδή υφή και μασητικότητα

και από τα δύο δείγματα μεμονωμένων πολυσακχαριτών. Οι αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών ορού με την καραγενάνη ή και την ξανθάνη γίνονται εμφανείς και σε αυτά τα δείγματα.

Ο ανταγωνισμός καραγενάνης/κόμμεος γκουάρ απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη καραγενάνης ή κόμμεος γκουάρ ήταν πολύ λιγότερο σκληρά (σκληρότητες H_1 , H_2 , $H_{25\%}$, H_{MAX}), εξαιρετικά πιο εύθραυστα, είχαν ενδιάμεση συγκολλητικότητα, ελαστικότητα και συνεκτικότητα, κομμώδη υφή και μασητικότητα, οι οποίες ήταν πιο κοντά στις ιδιότητες της καραγενάνης και χαμηλότερες αυτής. Η αντιστροφή των παραμέτρων που σχετίζονται με τις ιδιότητες μετά τη θραύση που παρατηρείται ανάμεσα στα εν λόγω δείγματα των ομάδων Α και Β αποδίδεται στις αλληλεπιδράσεις με τις πρωτεΐνες ορού.

Το γεγονός ότι το κόμμι γκουάρ σε πηκτή πρωτεϊνών ορού απέδωσε πολύ υψηλή μέγιστη σκληρότητα και την υψηλότερη όλων των δειγμάτων συγκολλητικότητα, καθώς και το ότι εμφάνισε σημείο θραύσης μόνο σε αυτή την ομάδα δειγμάτων, αποτελεί ένδειξη ότι δεν σχηματίζεται έντονος διαχωρισμός μικροφάσεων, κάτι που έχει παρατηρηθεί και σε άλλες έρευνες (de Jong & van de Velde, 2007), όπου βρέθηκε ότι η μικροδομή πηκτής πρωτεϊνών ορού με 0,25% κόμμι γκουάρ αποτελούνταν από συνεχή πρωτεϊνική φάση χωρίς έντονο διαχωρισμό μικροφάσεων, αλλά ενίσχυση των επιμέρους μακρομοριακών φάσεων λόγω χωροταξικής τους συμπίκνωσης. Ο διαχωρισμός αυτός, ωστόσο, εντείνεται από την ύπαρξη ξανθάνης, η μεμονωμένη προσθήκη της οποίας σε πηκτές πρωτεϊνών ορού απέδωσε ομοιογενή δείγματα χωρίς σημείο θραύσης. Έτσι, στα δείγματα της ομάδας πηκτών πρωτεϊνών ορού όπου λογικά έπρεπε να υπάρχει εμφανής συνέργεια ξανθάνης κόμμεος γκουάρ βρέθηκε ότι είχαν όμοια σκληρότητα με το κόμμι γκουάρ, ελαττωμένη συγκολλητικότητα και αντοχή από ότι το κόμμι γκουάρ, ωστόσο σε όμοια παραμόρφωση με αυτήν όπου έσπασε και το δείγμα με κόμμι γκουάρ. Επίσης, είχαν ενδιάμεση ελαστικότητα από τα δείγματα με τους μεμονωμένους εν λόγω πολυσακχαρίτες, ενώ η συνεκτικότητα, κομμώδης υφή και μασητικότητα ήταν αυξημένες σε σχέση με το κόμμι γκουάρ και ίσες με αυτές της ξανθάνης.

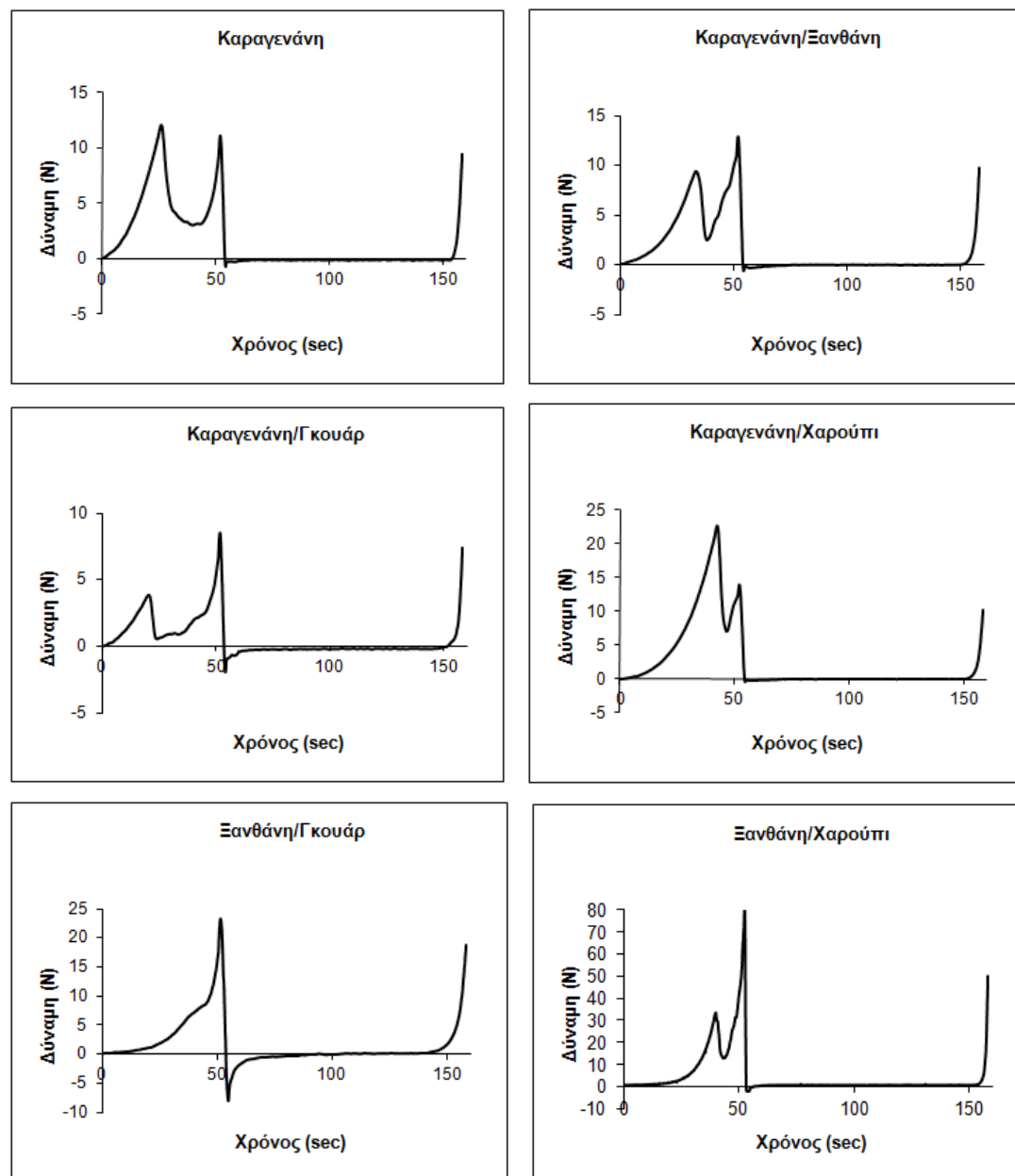
Όσον αφορά στη συνέργεια ξανθάνης/κόμμεος χαρουπιού, η σκληρότητα εντάθηκε σαφώς στο μίγμα των δύο πολυσακχαριτών, ενώ τα δείγματα των εν λόγω μεμονωμένων πολυσακχαριτών είχαν παρόμοιες σκληρότητες. Ωστόσο, ενώ τα δείγματα με μεμονωμένους πολυσακχαρίτες δεν εμφάνισαν σημείο θραύσης, το μίγμα αυτών εμφάνισε σε σχετικά υψηλή παραμόρφωση (64%), ελαφρώς υψηλότερη αυτής

της ομάδας A (50%), γεγονός που δείχνει την ύπαρξη μέτριου διαχωρισμού μικροφάσεων που εντείνει τη δημιουργία πλεγμάτων ξανθάνης/κόμμος χαρουπιού. Το μίγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχε ελαττωμένη συγκολλητικότητα, σε σχέση με αυτές των μεμονωμένων πολυσακχαριτών, ενδιάμεση ελαστικότητα, συνεκτικότητα και μασητικότητα, ενώ παρουσίασε κομμώδη υφή αυξημένη σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα και όμοια με αυτήν της ξανθάνης.

Όσον αφορά στο δείγμα μάρτυρα της ομάδας πηκτών πρωτεϊνών ορού, δηλαδή το δείγμα μόνο με προσθήκη πρωτεϊνών ορού χωρίς πολυσακχαρίτη, βρέθηκε ότι ήταν το πιο ανομοιογενές δείγμα, με έντονη ύπαρξη αδιάλυτων συσσωματωμάτων πρωτεϊνών και συναίρεσης. Δεν παρουσίασε σημείο θραύσης και ήταν από τα μαλακότερα δείγματα. Ωστόσο, είχε χαμηλή συγκολλητικότητα, τη μεγαλύτερη συνεκτικότητα, κομμώδη υφή και μασητικότητα.

Πηκτές γαλακτωμάτων (ομάδα Γ):

Στο σχήμα 48 φαίνεται η μορφή της ανάλυσης κατατομής TPA στις πηκτές γαλακτώματος με τη χρήση όλων των διαφορετικών σταθεροποιητών και των συνδυασμών αυτών.



Σχ. 48. Τυπικές καμπύλες ανάλυσης κατατομής υφής πηκτών γαλακτωμάτων πολυσακχαριτών.

Από τον πίνακα 11 προκύπτουν τα εξής:

Σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (H1): Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το λιγότερο σκληρό, διέφερε από τα καραγενάνη, καραγενάνη/κόμμι

χαρουπιού και καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, τα οποία διέφεραν από το ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το σκληρότερο.

Οι Higiro και συνεργάτες (2006) αναφέρουν συνέργεια ξανθάνης και κόμμιος χαρουπιού. Συγκεκριμένα μέχρι συγκεντρώσεως 60% κόμμι χαρουπιού προκαλείται αύξηση του ιξώδους.

Σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (H2): Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και για τη σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση.

Σκληρότητα σε παραμόρφωση 25% (H_{25%}): Τα δείγματα καραγενάνη/ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν όμοια και ελαττωμένη σκληρότητα σε μικρές παραμορφώσεις (25%) σε σχέση με τα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν σκληρότερα, ενώ το καραγενάνη ήταν το πιο σκληρό απ' όλα.

Αντοχή ή ευθραυστότητα (H_{FR}): Το δείγμα ξανθάνη γκουά δεν παρουσίασε σημείο θραύσης. Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο εύθραυστο, διέφερε από τα καραγενάνη και καραγενάνη/ξανθάνη που είχαν όμοια και μεγαλύτερη αντοχή, διέφεραν από το καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ανθεκτικότερο, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο ανθεκτικό απ' όλα.

Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά των Pinnheigo και συνεργατών (2011), οι οποίοι μελέτησαν τις ρεολογικές ιδιότητες υδατικών διαλυμάτων πολυσακχαριτών και κατέληξαν στο ότι διαλύματα μιγμάτων ξανθάνης/κόμμιος χαρουπιού είχαν τη μέγιστη αντοχή.

Παραμόρφωση κατά τη θραύση (E_{FR}): Όλα τα δείγματα είχαν στατιστικά διαφορετικές τιμές. Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο εύθραυστο, ακολουθούμενο από τα καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού υπέστη τη μεγαλύτερη παραμόρφωση πριν τη θραύση.

Αντίστοιχα συμπεράσματα προέκυψαν κατά τη μελέτη των Černíková και συνεργατών (2010), κατά την οποία χρησιμοποίησαν υδροκolloειδή ως υποκατάστατα γαλακτωματοποιητικών αλάτων για την παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών. Προέκυψε ότι η προσθήκη κ- και ι-καραγενάνης απέδωσε ομοιογενή δείγματα, τα οποία ωστόσο είχαν αυξημένη σκληρότητα, ελαττωμένη επαλειψιμότητα και εύθραυστη δομή. Σύμφωνα με τους Camacho και συνεργάτες (2005), τα μίγματα κόμμιος χαρουπιού και λ-καραγενάνης βελτιώνουν

τη σταθερότητα των γαλακτωμάτων σε χαμηλή αναλογία κόμμι χαρουπιού. Ο λειτουργικός ρόλος των κόμμι χαρουπιού συνδέεται με την αύξηση της σταθερότητας κατά τη διάτμηση του γαλακτώματος, όταν ένα μικρό ποσοστό κόμμιος χαρουπιού είναι στο σύστημα.

Μέγιστη σκληρότητα (H_{MAX}): Τα δείγματα καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, ήταν ίσα μεταξύ τους και τα λιγότερο, διέφεραν από τα καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν όμοια και σκληρότερα, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το πιο σκληρό απ' όλα.

Εμβαδόν κατά την πρώτη συμπίεση (A1): Τα δείγματα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ απέδωσαν τα μικρότερα εμβαδά, διέφεραν από τα καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, διέφερε από το καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το μεγαλύτερο.

Εμβαδόν κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2): Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ απέδωσε το μικρότερο εμβαδό, διέφερε από τα καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, διέφερε από το ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ενώ το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το μεγαλύτερο.

Συγκολλητικότητα (-A3): Τα δείγματα καραγενάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, είχαν όμοια και χαμηλή συγκολλητικότητα, διέφεραν από το καραγενάνη/ξανθάνη που είχαν μεγαλύτερη, ενώ το καραγενάνη/κόμμι γκουάρ και το ξανθάνη/κόμμι γκουάρ είχαν όμοια συγκολλητικότητα, μεγαλύτερη όλων.

Δύναμη συγκόλλησης (-H3): Το δείγμα καραγενάνη είχε τη μικρότερη τιμή συγκόλλησης, διέφερε από τα δείγματα καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, τα οποία ήταν μικρότερα από το καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, ενώ τα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν τις υψηλότερες τιμές δύναμης συγκόλλησης.

Ελαστικότητα (S1): Το δείγμα καραγενάνη ήταν τη χαμηλότερη ελαστικότητα, διέφερε από τα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/ξανθάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που είχαν όμοιες και μεγαλύτερες τιμές, ενώ το ξανθάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο ελαστικό απ' όλα.

Εκτατότητα (S2): Τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν τα λιγότερα εκτατά, διέφεραν από τα καραγενάνη, καραγενάνη/ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, ενώ

τα караγενάνη/κόμμι γκούάρ και ξανθάνη/κόμμι γκούάρ είχαν όμοια εκτατότητα, μεγαλύτερη όλων.

Συνεκτικότητα (C): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν ελαττωμένη συνεκτικότητα σε σχέση με τα караγενάνη, караγενάνη/κόμμι γκούάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού που είχαν όμοια και μεγαλύτερη, ενώ το ξανθάνη/κόμμι γκούάρ το πιο συνεκτικό.

Συνέργεια ξανθάνης με κόμμι γκούάρ σε αναλογία 1:1 αναφέρθηκε και από τους Casas και συνεργάτες (2000), σε μελέτη πάνω σε διαλύματα μεμονωμένων πολυσακχαριτών ή και μιγμάτων σε διάφορες αναλογίες. Σε παρόμοια αποτελέσματα καταλήγουν και οι Higiro και συνεργάτες (2006), όπου αναφέρουν ότι διάλυμα ξανθάνης και κόμμιος χαρουπιού (60/40) παρουσίασε μεγάλη συνέργεια, με ελαστικότητα της τάξης των 22 mPa·s. Επίσης, σύμφωνα με Sahin & Ozdemir (2004), το κόμμι χαρουπιού μπορεί να είναι τόσο αποτελεσματικό όσο το κόμμι γκούάρ στην αύξηση της συνεκτικότητας της τομάτας κέτσαπ.

Κομμιώδης υφή (G): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκούάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν όμοια και ελαττωμένη κομμιώδη υφή, ενώ όμοια και μεγαλύτερη κομμιώδη υφή παρουσίασαν τα ξανθάνη/κόμμι γκούάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού.

Μασητικότητα (K): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκούάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν όμοια και ελαττωμένη μασητικότητα σε σχέση με το ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το ξανθάνη/κόμμι γκούάρ είχε τη μεγαλύτερη.

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα και το σχήμα 48, προκύπτει ότι η караγενάνη παρουσιάζει συνέργεια με το κόμμι χαρουπιού, ενώ με την ξανθάνη και το κόμμι γκούάρ παρατηρείται ανταγωνισμός, κάτι το οποίο συμφωνεί με αποτελέσματα άλλων ερευνών (Boyd, 2005; Dunstan et al., 2001; Kaletunc-Gencer & Peleg, 1985). Ωστόσο, είναι εμφανής η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και των κόμμιων γκούάρ και χαρουπιού.

Τα παραπάνω αποδεικνύονται από το ότι τα δείγματα πηκτών γαλακτωμάτων με μεμονωμένους πολυσακχαρίτες, όπως ξανθάνη, κόμμι γκούάρ και κόμμι χαρουπιού ήταν ρευστά, ενώ η караγενάνη καθώς και τα μίγματα πολυσακχαριτών ήταν στερεά πηγμάτα ή ημίρρευστα.

Αναλυτικά, για την ομάδα πηκτών γαλακτωμάτων, όσον αφορά στις ιδιότητες της караγενάνης σε σχέση με την προσθήκη άλλων πολυσακχαριτών, η συνέργεια

καραγενάνη/κόμμεος χαρουπιού απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης δεν επηρεάστηκαν ως προς τη σκληρότητα, αλλά ήταν λιγότερο ανθεκτικά, ωστόσο παρουσίασαν σημείο θραύσης σε υψηλότερες παραμορφώσεις και πιο ελαστικά.

Ο ανταγωνισμός караγενάνης/ξανθάνης απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης ήταν λιγότερο σκληρά ($H_{25\%}$) και είχαν μεγαλύτερες παραμορφώσεις κατά τη θραύση, ενώ αυξήθηκε η συγκολλητικότητα και η ελαστικότητα, κάτι που παρατηρήθηκε και για την ομάδα Α.

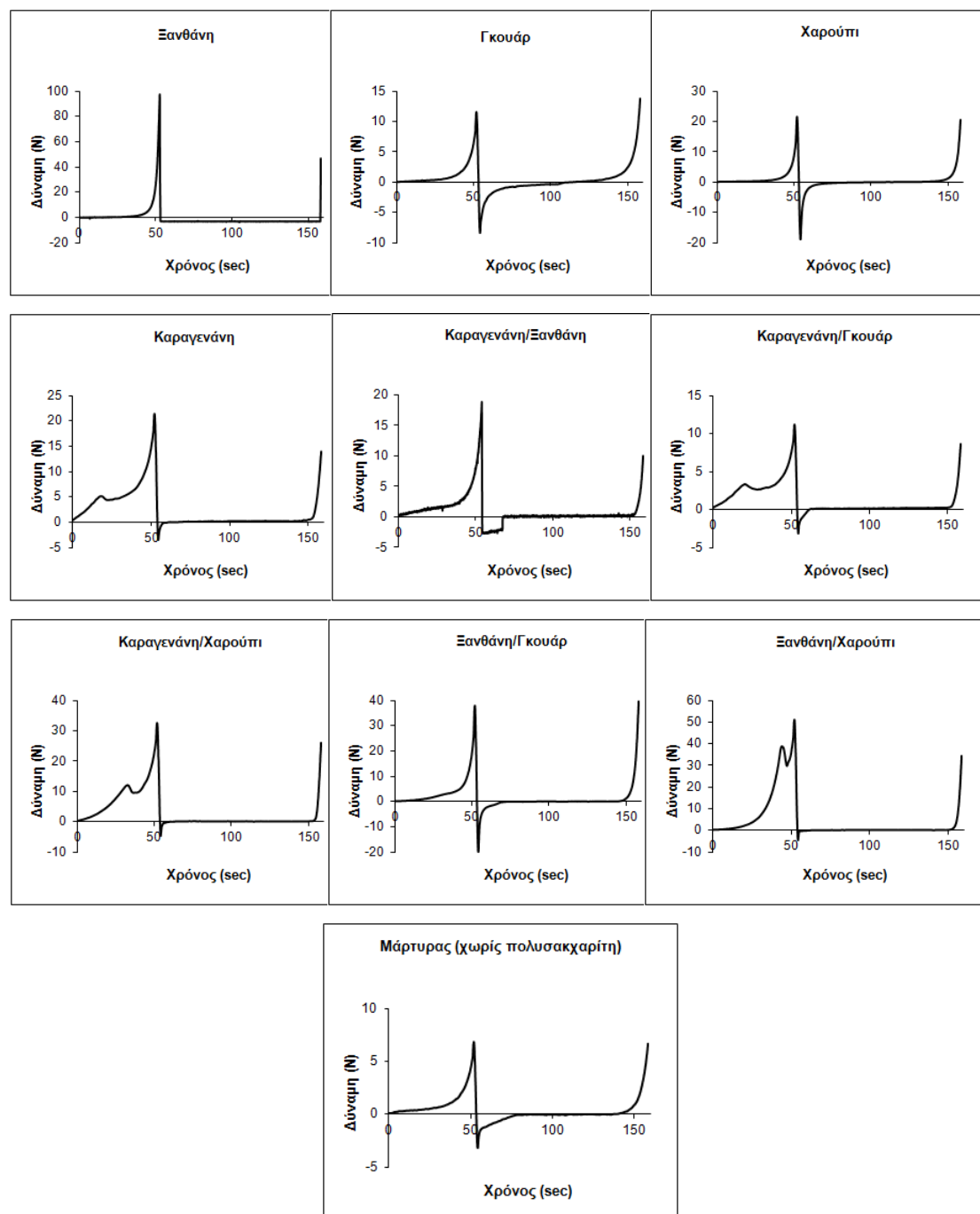
Ο ανταγωνισμός караγενάνης/κόμμεος γκουάρ απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη караγενάνης ήταν λιγότερο σκληρά (σκληρότητα $H_{25\%}$), πιο εύθραυστα, είχαν μεγαλύτερη συγκολλητικότητα, ελαστικότητα, καθώς και παρόμοια κομμώδη υφή και μασητικότητα, ενώ αντίστοιχες μεταβολές παρατηρήθηκαν και για την ομάδα Α.

Η συνέργεια ξανθάνης/κόμμεος χαρουπιού, όσον αφορά στην αντοχή και τη μέγιστη σκληρότητα, παρουσίασε αντιστοιχίες με αυτήν της ομάδας Β.

Όσον αφορά στο δείγμα μάρτυρα της ομάδας πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού, δηλαδή το δείγμα μόνο με προσθήκη πρωτεϊνών ορού και κρέμας γάλακτος, χωρίς πολυσακχαρίτη, βρέθηκε ότι ήταν το πιο ανομοιογενές δείγμα, με έντονη ύπαρξη αδιάλυτων συσσωματωμάτων πρωτεϊνών και συναίρεσης. Δεν παρουσίασε σημείο θραύσης και ήταν από τα μαλακότερα δείγματα. Ωστόσο, είχε χαμηλή συγκολλητικότητα και σχετικά αυξημένη συνεκτικότητα, κομμώδη υφή και μασητικότητα. Τα αποτελέσματα είναι αντίστοιχα της ομάδας Β.

Πηκτές γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδα Δ):

Στο σχήμα 49 φαίνεται η μορφή της ανάλυσης κατατομής TPA στις πηκτές γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού με τη χρήση όλων των διαφορετικών σταθεροποιητών και των συνδυασμών αυτών.



Σχ. 49. Τυπικές καμπύλες ανάλυσης κατατομής υφής πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού, σε σχέση με το είδος προστιθέμενου/ων πολυσακχαρίτη/ιτών.

Από τον πίνακα 11 προκύπτουν τα εξής:

Σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (H1): Το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες είχε τη χαμηλότερη σκληρότητα H1, η οποία διέφερε από αυτήν του δείγματος καραγενάνη/κόμμι γκουάρ το οποίο είχε υψηλότερη, το οποίο με τη σειρά του δεν διέφερε από τα δείγματα με κόμμεα γκουάρ, χαρουπιού και καραγενάνης/ξανθάνης, ενώ διέφερε από τα καραγενάνη, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, τα οποία είχαν ίσες τιμές και μεγαλύτερες, ενώ τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη είχαν διαφορετικές και αυξανόμενες τιμές σκληρότητας H1.

Σύμφωνα με τον Pedersen (1980), η ξανθάνη και κόμμι χαρουπιού παράγουν υψηλά ιξώδη και χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές για τα τρόφιμα, παρόλο που δεν έχουν μεγάλη πηκτική ικανότητα. Έρευνα των Jiménez–Flores και συνεργατών (2005), αναφέρει ότι η συσσωμάτωση των πρωτεϊνών ορού λόγω θερμικής επεξεργασίας μπορεί να είναι καταστρεπτική για την επιφανειακή τους δραστηριότητα και να ελαττώνει την προσρόφησή τους στην επιφάνεια λιποσφαιρίων. Συσσωμάτωση λιποσφαιρίων μέσω του μηχανισμού καταπόνησης (depletion flocculation) έχει αναφερθεί ότι βρέθηκε σε πηκτές γαλακτωμάτων υδρολυμένων πρωτεϊνών ορού με ξανθάνη, κόμμι γκουάρ και καραγενάνη (Ye et al., 2004). Ωστόσο, η παρατηρούμενη μεγαλύτερη, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, σκληρότητα H1 του δείγματος με ξανθάνη, δεν παρατηρήθηκε για τα δείγματα της ομάδας B (πηκτές πρωτεϊνών ορού), τα οποία δεν είχαν καθόλου λίπος, οπότε μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η αύξηση της σκληρότητας δεν οφείλεται σε ύπαρξη διαλυτών συμπλόκων των πρωτεϊνών ορού με την ξανθάνη, τα οποία λογικά θα σχηματίζονταν και στο δείγμα της ομάδας B. Αντίθετα, φανερώνει ότι η γαλακτωματοποίηση του λίπους από τις πρωτεΐνες υποβοηθήθηκε από την ύπαρξη της ξανθάνης, λόγω χωροταξικού περιορισμού τους από την απωστική αλληλεπίδραση των δύο μακρομορίων στη διεπιφάνεια του γαλακτώματος και το υψηλό ιξώδες της διεπιφάνειας λόγω της ξανθάνης. Η απουσία σημείου θραύσης του δείγματος με ξανθάνη, δείχνει ότι έλαβε χώρα έντονος διαχωρισμός μικροφάσεων, λόγω αλληλεπιδράσεων διαχωρισμού, που οδηγεί σε σχηματισμό συσσωματωμάτων πρωτεϊνών ορού, τα οποία αποδίδουν αυξημένη σκληρότητα. Ακόμη, η ελαττωμένη, σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα, συγκολλητικότητα ενισχύει την υπόθεση ύπαρξης συσσωματωμάτων πρωτεϊνών ορού, καθώς και ισχυρά γαλακτωματοποιημένων λιποσφαιρίων, οπότε το δείγμα έχει πλέον χαμηλή επιφανειακή υδροφοβικότητα, η οποία καθορίζει και τη συγκολλητικότητα των δειγμάτων αυτών (Michalsky et al., 1997). Παρόμοια

αποτελέσματα αναφέρουν και οι Benichou και συνεργάτες (2007a) σε διπλά γαλακτώματα νερού–σε έλαιο–σε νερό σταθεροποιημένα από 5% WPI και 1% ξανθάνη σε pH 7, όπου η σταθερότητα των γαλακτωμάτων αυξήθηκε με την προσθήκη ξανθάνης και το μέγεθος λιποσφαιρίων ήταν μικρότερο (~5μm). Η σταθεροποίηση αυτή, σε pH υψηλότερο του Ι.Σ. των πρωτεϊνών, αποδίδεται σε απωθητικές αλληλεπιδράσεις. Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι οι ρεολογικές ιδιότητες των συστημάτων πρωτεϊνών/ξανθάνης σε πηκτές γαλακτώματος και πηκτές πρωτεϊνών ορού με ξανθάνη επηρεάζονται κατά κύριο λόγο από την ξανθάνη.

Το γεγονός ότι οι ομάδες δειγμάτων πηκτών γαλακτωμάτων και πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδες Γ και Δ) είχαν σχετικά παρόμοια σκληρότητα, ενώ παρουσίασαν διαφορές στις υπόλοιπες ιδιότητες υποστηρίζεται από έρευνα των Chen & Dickinson (1999), οι οποίοι συμπέραναν ότι η συνεισφορά στο πρωτεϊνικό πλέγμα είναι πολύ διαφορετική σε θερμικά σταθεροποιημένες πηκτές καθαρών πρωτεϊνών ορού και πηκτές γαλακτώματος. Συγκεκριμένα, η ρεολογική συμπεριφορά των πηκτών καθαρών πρωτεϊνών ορού, κατά την ανάλυση μεγάλης παραμόρφωσης, βρέθηκε να προσομοιάζει μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ συμπεριφοράς εντροπικών πηκτών από βιοπολυμερή και πηκτών σωματιδίων, ενώ των πηκτών γαλακτώματος ήταν συμπεριφορά πηκτών σωματιδίων, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ανενεργών σωματιδίων πλήρωσης, όπως είναι τα αδιάλυτα συσσωματώματα πρωτεϊνών ορού.

Σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση (H2): Τα δείγματα караγενάνη/κόμμι γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες είχαν τι χαμηλότερες τιμές, διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, τα οποία ήταν ίσα μεταξύ τους και μεγαλύτερα από τα προηγούμενα, ενώ τα δείγματα ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχαν όμοιες και μεγαλύτερες τιμές.

Σκληρότητα σε παραμόρφωση 25% (H_{25%}): Με αύξουσα σειρά σκληρότητας (25%) τα δείγματα κατατάσσονται ως εξής: κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη και κόμμι γκουάρ τα οποία ήταν ίσα, χωρίς πολυσακχαρίτες και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμι γκουάρ, караγενάνη/κόμμι χαρουπιού και σκληρότερο σε μικρές παραμορφώσεις το δείγμα με караγενάνη.

Η συγκριτική ανομοιομορφία και αυξημένη σκληρότητα των πηκτών γαλακτωμάτων με караγενάνη σε σχέση με τους υπόλοιπους πολυσακχαρίτες

οφείλεται στο γεγονός ότι η καραγενάνη αλληλεπιδρά έντονα με τη μετουσιωμένη πρωτεΐνη ορού, λόγω σχηματισμού γεφυρών συσσωματωμάτων λιποσφαιρίων (bridging flocculation) (Euston et al., 2002).

Αντοχή ή ευθραυστότητα (H_{FR}): Αξιοσημείωτο είναι ότι τα περισσότερα δείγματα δεν παρουσίασαν σημείο θραύσης, εκτός από τα καραγενάνη, καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού. Το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ ήταν το πιο εύθραυστο, το καραγενάνη αμέσως λιγότερο, το καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού είχε μεγαλύτερη αντοχή, ενώ το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχε τη μεγαλύτερη όλων.

Η υψηλή τάση στο σημείο θραύσης της καραγενάνης/κόμμιος χαρουπιού που παρατήρησαν και οι Chen και συνεργάτες (2001) και Camacho και συνεργάτες (2005) ήταν εμφανής και σε αυτήν την ομάδα συστημάτων, όπως και στις πηκτές πολυσακχαριτών και στις πηκτές γαλακτωμάτων, αντίστοιχα.

Παραμόρφωση κατά τη θραύση (E_{FR}): Ομοίως με την αντοχή, τα δείγματα παρουσίαζαν την ίδια συμπεριφορά με το δείγμα καραγενάνη/κόμμι γκουάρ να έχει τη χαμηλότερη τιμή, να ακολουθούν τα δείγματα καραγενάνη και καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού, ενώ το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού να έχει την υψηλότερη τιμή παραμόρφωσης κατά τη θραύση.

Οι Černíková και συνεργάτες (2008) αναφέρουν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης κ- και ι-καραγενάνης σε ανακατεργασμένα τυριά μεταβάλλουν τις ιδιότητες του πλέγματος, το οποίο παρουσιάζει υψηλότερη ακαμψία.

Μέγιστη σκληρότητα (H_{MAX}): Το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες ήταν το πιο μαλακό δείγμα, ακολούθησε το καραγενάνη/κόμμι γκουάρ, που δεν διέφερε από τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού και καραγενάνη/ξανθάνη που ήταν ίσα και σκληρότερα, ενώ διέφερε από το καραγενάνη που ήταν ακόμα σκληρότερο και όμοιο με το καραγενάνη/κόμμι χαρουπιού. Ακολουθούσαν τα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη είχαν διαφορετικές και αυξανόμενες τιμές μέγιστης σκληρότητας.

Αυξημένη σκληρότητα με την προσθήκη καραγενάνης παρατηρήθηκε και σε έρευνα των Černíková και συνεργατών (2010), κατά την οποία χρησιμοποίησαν υδροκολλοειδή ως υποκατάστατα γαλακτωματοποιητικών αλάτων για την παρασκευή ανακατεργασμένων τυριών. Το γεγονός ότι τα δείγματα με ξανθάνη και ξανθάνη/κόμμι γκουάρ είχαν αυξημένη μέγιστη σκληρότητα αποδίδεται στο γεγονός ότι δεν παρουσίασαν σημείο θραύσης, όπως τα υπόλοιπα σκληρά δείγματα, καθώς

και στις βελτιωμένες ιδιότητες γαλακτωματοποίησης, λόγω των αλληλεπιδράσεων της ξανθάνης με τις πρωτεΐνες ορού, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Εμβαδόν κατά την πρώτη συμπίεση (A1): Το δείγμα χωρίς πολυσακχαρίτες είχε το μικρότερο εμβαδό, διέφερε από τα δείγματα με κόμμα γκουάρ και χαρουπιού τα οποία ήταν ίσα και μεγαλύτερα, με τη σειρά τους διέφεραν από τα ξανθάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμα γκουάρ και ξανθάνη/κόμμα γκουάρ που ήταν ίσα και μεγαλύτερα και τα διαδέχονταν τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/κόμμα χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμα χαρουπιού, το οποίο είχε και τη μεγαλύτερη τιμή.

Εμβαδόν κατά τη δεύτερη συμπίεση (A2): Τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμα γκουάρ είχαν τις χαμηλότερες τιμές, οι οποίες δεν διέφεραν από αυτές των караγενάνη, караγενάνη/κόμμα χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν όμοιες, ενώ τα παραπάνω διέφεραν από το ξανθάνη, το οποίο με τη σειρά του ήταν μικρότερο από τα όμοια μεταξύ τους κόμμα χαρουπιού και ξανθάνη/κόμμα χαρουπιού, ενώ τα δείγματα κόμμα γκουάρ και ξανθάνη/κόμμα γκουάρ ήταν ίσα και τα πιο μεγάλα.

Συγκολλητικότητα (-A3): Τα δείγματα ξανθάνη, караγενάνη/κόμμα χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμα γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες είχαν όμοια και τη χαμηλότερη συγκολλητικότητα, διέφεραν από τα караγενάνη και ξανθάνη/κόμμα χαρουπιού τα οποία είχαν ίσες και μεγαλύτερες τιμές, με τη σειρά τους τα προηγούμενα ήταν όμοια με τα κόμμα χαρουπιού, караγενάνη/ξανθάνη, ενώ διέφεραν από το караγενάνη/κόμμα γκουάρ που ήταν μεγαλύτερο, ενώ το δείγμα κόμμα γκουάρ είχε την υψηλότερη συγκολλητικότητα.

Δύναμη συγκόλλησης (-H3): Τα δείγματα ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμα γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες ήταν ίσα μεταξύ τους και είχαν τη χαμηλότερη δύναμη συγκόλλησης, αμέσως μεγαλύτερες τιμές είχαν τα κόμμα χαρουπιού, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμα γκουάρ και ξανθάνη/κόμμα χαρουπιού που ήταν επίσης ίσα και έπειτα ακολούθησαν διαδοχικά με αυξητική τάση τιμών τα δείγματα κόμμα γκουάρ, караγενάνη/κόμμα χαρουπιού και караγενάνη.

Ελαστικότητα (S1): Τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη, караγενάνη/κόμμα γκουάρ, караγενάνη/κόμμα χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμα γκουάρ και ξανθάνη/κόμμα χαρουπιού είχαν όμοιες και χαμηλότερες τιμές ελαστικότητας, αμέσως πιο ελαστικά παρουσιάστηκαν τα δείγματα κόμμα χαρουπιού και χωρίς

πολυσακχαρίτες, ενώ τα κόμμι γκουάρ και ξανθάνη είχαν διαδοχικά υψηλότερες τιμές ελαστικότητας.

Σε συμφωνία με τα παραπάνω, οι Higiro και συνεργάτες (2006) αναφέρουν διαλύματα χαρουπιού παρουσιάζονται παχύρρευστα, ενώ με ξανθάνη ή συνδυασμό ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού έχουν ιξωδοελαστικό χαρακτήρα.

Εκτατότητα (S2): Το δείγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το λιγότερο εκτατό, ενώ τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν ίσα και περισσότερο εκτατά. Ακολούθησαν με αύξουσα σειρά τα δείγματα караγενάνη/κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, διέφεραν από τα δείγματα κόμμι γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, ενώ το δείγμα ξανθάνη ήταν το πιο εκτατό.

Συνεκτικότητα (C): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι χαρουπιού ήταν το λιγότερο συνεκτικό, διέφερε από τα δείγματα караγενάνη και ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και που ήταν ίσα και μεγαλύτερα, τα οποία δε διέφεραν από τα δείγματα караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι γκουάρ που ήταν ίσα και συνεκτικότερα του караγενάνη/κόμμι χαρουπιού. Στη συνέχεια, τα δείγματα ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, χωρίς πολυσακχαρίτες, κόμμι χαρουπιού και κόμμι γκουάρ, είχαν στατιστικά σημαντικά αυξανόμενες τιμές συνεκτικότητας.

Κομμιώδης υφή (G): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ είχε τη χαμηλότερη τιμή, διέφερε από τα δείγματα караγενάνη, караγενάνη/ξανθάνη και караγενάνη/κόμμι χαρουπιού που ήταν ίσα και ακολούθησαν τα δείγματα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού και χωρίς πολυσακχαρίτες, στη συνέχεια τα ξανθάνη/κόμμι γκουάρ, ενώ την εντονότερη κομμιώδη υφή παρουσίασαν τα δείγματα κόμμι γκουάρ, κόμμι χαρουπιού και ξανθάνη.

Μασητικότητα (K): Το δείγμα караγενάνη/κόμμι γκουάρ είχε τη χαμηλότερη μασητικότητα που ήταν όμοια με αυτήν του караγενάνη/κόμμι χαρουπιού, το οποίο είχε όμοια τιμή με αυτές των караγενάνη και караγενάνη/ξανθάνη και μεγαλύτερες από το караγενάνη/κόμμι γκουάρ, αμέσως μεγαλύτερες και στατιστικά διαφορετικές τιμές παρουσίασαν τα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, τα ξανθάνη, ξανθάνη/κόμμι γκουάρ και χωρίς πολυσακχαρίτες (όμοιες τιμές), το κόμμι χαρουπιού, ενώ το κόμμι γκουάρ είχε την υψηλότερη μασητικότητα απ' όλα.

Συγκεντρωτικά, από τα παραπάνω αποτελέσματα και το σχήμα 49, προκύπτει ότι η караγενάνη παρουσιάζει συνέργεια με το κόμμι χαρουπιού, ενώ με την ξανθάνη και το κόμμι γκουάρ παρατηρείται ανταγωνισμός. Ωστόσο, η συνέργεια μεταξύ της

ξανθάνης και των κόμμεων γκουάρ και χαρουπιού είναι εμφανής μόνο όσον αφορά τη σκληρότητα σε χαμηλές παραμορφώσεις (25%).

Αναλυτικά, για την ομάδα πηκτών πρωτεϊνών ορού, όσον αφορά στις ιδιότητες της καραγενάνης σε σχέση με την προσθήκη άλλων πολυσακχαριτών, η συνέργεια καραγενάνης/κόμμεος χαρουπιού απέδωσε δείγματα τα οποία, σε αναλογία με τα αποτελέσματα της ομάδας Β, προσομοίασαν τη σκληρότητα, συνεκτικότητα, κομμιώδη υφή και μασητικότητα του δείγματος με μεμονωμένη προσθήκη καραγενάνης και είχαν χαμηλότερη συγκολλητικότητα και ελαστικότητα. Επίσης, παρουσίασαν σημείο θραύσης, όπως και το δείγμα με καραγενάνη, ωστόσο σε υψηλότερες παραμορφώσεις και είχαν αυξημένη αντοχή.

Ο ανταγωνισμός καραγενάνης/ξανθάνης απέδωσε δείγματα τα οποία γενικά είχαν όμοια σκληρότητα, συγκολλητικότητα, συνεκτικότητα, κομμιώδη υφή και μασητικότητα με αυτήν του δείγματος με μεμονωμένη προσθήκη καραγενάνης, ενώ δεν παρουσίασαν ευδιάκριτο σημείο θραύσης, αλλά ασθενές σημείο βιοαποικοδόμησης. Σε σχέση με από τα δύο δείγματα μεμονωμένων πολυσακχαριτών είχαν χαμηλότερη ελαστικότητα.

Ο ανταγωνισμός καραγενάνης/κόμμεος γκουάρ απέδωσε δείγματα τα οποία σε σχέση με το δείγμα με μεμονωμένη προσθήκη καραγενάνης ή κόμμεος γκουάρ ήταν πολύ λιγότερο σκληρά (σκληρότητες H_1 , H_2 , H_{MAX}), είχαν χαμηλότερη αντοχή και παρουσίασαν θραύση σε παρόμοια παραμόρφωση με το δείγμα καραγενάνης, καθώς το δείγμα κόμμι γκουάρ δεν παρουσίασε σημείο θραύσης, είχαν συγκολλητικότητα, ελαστικότητα και συνεκτικότητα και μασητικότητα όμοια με την καραγενάνη και ενδιάμεση κομμιώδη υφή. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και για τα δείγματα της ομάδας πηκτών πρωτεϊνών ορού (ομάδα Β).

Το γεγονός ότι το κόμμι γκουάρ σε πηκτή γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού απέδωσε πολύ υψηλή ελαστικότητα, μασητικότητα, καθώς και υψηλότερη όλων των δειγμάτων συγκολλητικότητα, αποτελεί ένδειξη ότι ο μέτριος διαχωρισμός μικροφάσεων, οδήγησε σε ενίσχυση των επιμέρους μακρομοριακών φάσεων λόγω χωροταξικής τους συμπύκνωσης, σε αντιστοιχία με τις ιδιότητες της ομάδας Β. Η αυξημένη συγκολλητικότητα ενισχύει την υπόθεση ύπαρξης μικρότερων συσσωματωμάτων πρωτεϊνών ορού, οπότε η πρωτεΐνη έχει ακόμα υψηλή υδροφοβικότητα, η οποία καθορίζει και τη συγκολλητικότητα των δειγμάτων αυτών (Michalsky et al., 1997). Παρόμοια αποτελέσματα συνεργιστικής δράσης πρωτεϊνών ορού και κόμμεος γκουάρ, οι οποία οφείλεται σε διαχωριστικές αλληλεπιδράσεις

αναφέρουν και οι Fitzsimons και συνεργάτες (2008) σε διαλύματα WPI (3%) και κόμμεος γκουάρ (0,1%). Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα βρέθηκε ότι η σκληρότητα και οι υπόλοιπες ιδιότητες δεν επηρεάστηκαν έντονα, παρά μόνο αυξήθηκε η σκληρότητα σε παραμόρφωση 25%, καθώς το διαμορφωμένο πλέγμα δέχεται παρεμβολές και από την ύπαρξη του λίπους, το οποίο λειτουργεί ως παράγοντας λίπανσης.

Ο διαχωρισμός αυτός, ωστόσο, εντείνεται από την ύπαρξη ξανθάνης, η μεμονωμένη προσθήκη της οποίας σε πηκτές γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού απέδωσε ομοιογενή δείγματα με τη μεγαλύτερη σκληρότητα, χωρίς σημείο θραύσης. Έτσι, στα δείγματα της ομάδας πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού όπου λογικά υπάρχει συνέργεια ξανθάνης κόμμεος γκουάρ, βρέθηκε ότι είχαν ενδιάμεση σκληρότητα (H_1 , H_{MAX}), ελαστικότητα, συνεκτικότητα από τα δείγματα με ξανθάνη ή κόμμι γκουάρ και όμοια κομμιώδη υφή και μασητικότητα με το δείγμα ξανθάνη, ενώ δεν παρουσίασαν σημείο θραύσης, όπως δεν παρουσίασαν και τα δείγματα με τους μεμονωμένους πολυσακχαρίτες. Η διαφορά στις ιδιότητες θραύσης που παρατηρείται με την ομάδα B, αποδίδεται στην ύπαρξη του λίπους, το οποίο αποδίδει πλαστικότητα στα μικτά συστήματα πλεγμάτων. Φαίνεται ότι στα δείγματα όπου υπάρχει και η ξανθάνη, οι ιδιότητες των πολύπλοκων συστημάτων διέπονται από τα χαρακτηριστικά των αλληλεπιδράσεων της ξανθάνης με τις πρωτεΐνες ορού. Αύξηση παρατηρήθηκε μόνο στη σκληρότητα σε χαμηλές παραμορφώσεις (25%) του δείγματος ξανθάνη/κόμμι γκουάρ σε σχέση με τα δείγματα με μεμονωμένους πολυσακχαρίτες.

Όσον αφορά στη συνέργεια ξανθάνη/κόμμεος χαρουπιού, παρατηρήθηκε επίσης ελάττωση της έντασης της συνέργειας. Τα μίγματα παρουσίασαν ενδιάμεση σκληρότητα (H_1 , H_{MAX}) σε σχέση με τη σκληρότητα των δειγμάτων με τους εν λόγω μεμονωμένους πολυσακχαρίτες, αυξημένη σκληρότητα στο 25%, ενώ είχε ελαττωμένη συνεκτικότητα και μασητικότητα. Το μίγμα ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού είχε όμοια συγκολλητικότητα με το δείγμα κόμμι χαρουπιού και ελαστικότητα όμοια με το δείγμα ξανθάνης. Σε αντιστοιχία με την ομάδα B, ενώ τα δείγματα με μεμονωμένους πολυσακχαρίτες δεν εμφάνισαν σημείο θραύσης, το μίγμα αυτών στην πηκτή γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού εμφάνισε θραύση σε σχετικά υψηλή παραμόρφωση (65%), ελαφρώς υψηλότερη αυτής της ομάδας A (50%) και όμοια με αυτήν της ομάδας B, γεγονός που δείχνει την ύπαρξη μέτριου διαχωρισμού μικροφάσεων που εντείνει τη δημιουργία πλεγμάτων ξανθάνης/κόμμεος χαρουπιού.

Η αντοχή και η παραμόρφωση κατά το σημείο θραύσης των δειγμάτων πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού είναι αντίστοιχη αυτών της ομάδας Β, γεγονός που φανερώνει πως οι ιδιότητες θραύσης για αυτήν την ομάδα, εξαρτώνται κυρίως από τα μικτά συστήματα που προκύπτουν κατά τις αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών ορού με τους πολυσακχαρίτες.

5.7 Αποτελέσματα απλής γραμμικής παλινδρόμησης

Για την ευκολότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παλινδρόμησης και των συσχετίσεων των ρεολογικών παραμέτρων μεταξύ των ομάδων, θα χρησιμοποιηθεί, πριν τις μετρούμενες παραμέτρους της κάθε ομάδας, η κωδικοποίηση σε παρενθέσεις ως ακολούθως:

- Αιωρήματα/πηκτές πολυσακχαριτών (Ομάδα Α): Κωδικός Α
- Πηκτές πρωτεϊνών ορού (Ομάδα Β): Κωδικός Β
- Γαλακτώματα/πηκτές γαλακτωμάτων (Ομάδα Γ): Κωδικός Γ
- Πηκτές γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (Ομάδα Δ): Κωδικός Δ.

Όσον αφορά στην ομάδα μοντέλων προσομοίωσης ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος ή πηκτές γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδα Δ), η σκληρότητα κατά την πρώτη συμπίεση (H1) εξηγείται εν μέρη από την αντίστοιχη σκληρότητα που έχουν τα επιμέρους μίγματα (ομάδες Α και Γ), γεγονός που δείχνει πως η προσθήκη κρέμας και πολυσακχαριτών, καθώς και μεμονωμένων πολυσακχαριτών, επηρεάζουν τη σκληρότητα των μικτών συστημάτων. Η ομάδα Β δεν παρουσιάζει έντονες αντιστοιχίες όσον αφορά στη σκληρότητα. Η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης των αποτελεσμάτων μεταξύ των ομάδων δειγμάτων έδειξε ότι η σκληρότητα H1 των μοντέλων της ομάδας Δ, H1(Δ) προβλέπεται ($p < 0,05$) κατά 44%, 10% και 70%, από τη σκληρότητα των ομάδων Α, Β και Γ, αντίστοιχα. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης που περιγράφουν τα παραπάνω είναι οι εξής:

$$\text{Ομάδα Α: } H1(\Delta) = 8,35 + 0,531 H1(A) \quad (R^2 = 44\%)$$

$$\text{Ομάδα Β: } H1(\Delta) = 17,9 + 0,427 H1(B) \quad (R^2 = 10\%)$$

$$\text{Ομάδα Γ: } H1(\Delta) = 15,5 + 0,565 H1(\Gamma) \quad (R^2 = 70\%)$$

Τα παραπάνω δείχνουν ότι η σκληρότητα H1 των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών της ομάδας Δ επηρεάζεται εντονότερα από το συνδυασμό της περιεχόμενης

κρέμας γάλακτος και πολυσακχαριτών, λιγότερο από τους μεμονωμένους πολυσακχαρίτες και καθόλου το συνδυασμό τους με τις πρωτεΐνες ορού. Αυτό πιθανώς δείχνει ότι η διαμόρφωση των πρωτεϊνών ορού τις οδηγεί είτε στο να λαμβάνουν δευτερεύοντα ρόλο στο σχηματιζόμενο πλέγμα των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος της ομάδας Δ, είτε στο να συμβάλλουν λιγότερο στις ρεολογικές ιδιότητες κατά τις μεγάλες παραμορφώσεις (80%), κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο εφόσον αυτά τα μικτά συστήματα πρωτεϊνών ορού με πολυσακχαρίτες παρουσιάζουν μικροδομή διαχωρισμού μικροφάσεων.

Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν για τη σκληρότητα κατά τη δεύτερη συμπίεση, $H_2(\Delta)$ των δειγμάτων της ομάδας Δ. Τα μεμονωμένα ποσοστά μεταβλητότητας για τις ομάδες Α, Β και Γ ήταν 59, 14 και 50%, γεγονός που αποδεικνύει ότι η ιδιότητα αυτή επηρεάζεται περισσότερο από την ύπαρξη πολυσακχαρίτη ή/και πολυσακχαρίτη/λίπους, ενώ σχεδόν καθόλου από το συνδυασμό πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες ορού.

$$\text{Ομάδα Α: } H_2(\Delta) = 8,25 + 0,354 H_2(A) \quad (R^2 = 59\%)$$

$$\text{Ομάδα Β: } H_2(\Delta) = 14,5 + 0,335 H_2(B) \quad (R^2 = 14\%)$$

$$\text{Ομάδα Γ: } H_2(\Delta) = 12,5 + 0,509 H_2(\Gamma) \quad (R^2 = 50\%)$$

Ωστόσο, η σκληρότητα των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών κατά την παραμόρφωση στο 25%, $H_{25\%}(\Delta)$ βρέθηκε να προβλέπεται κατά 51, 95, 75 και % από τη σκληρότητα (25%) των πηκτών πολυσακχαριτών, πηκτών πρωτεϊνών ορού και πηκτών γαλακτωμάτων, αντίστοιχα. Επομένως, μπορεί να ειπωθεί ότι η σκληρότητα σε χαμηλές παραμορφώσεις, $H_{25\%}$, οφείλεται κυρίως στις ιδιότητες του συνδυασμού πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαριτών. Οι εξισώσεις φαίνονται παρακάτω:

$$\text{Ομάδα Α: } H_{25\%}(\Delta) = 2,100 + 0,102 H_{25\%}(A) \quad (R^2 = 51\%)$$

$$\text{Ομάδα Β: } H_{25\%}(\Delta) = 0,424 + 0,606 H_{25\%}(B) \quad (R^2 = 95\%)$$

$$\text{Ομάδα Γ: } H_{25\%}(\Delta) = 0,773 + 0,845 H_{25\%}(\Gamma) \quad (R^2 = 75\%)$$

Αντίστοιχα συμπεράσματα προέκυψαν και για τις ιδιότητες θραύσης των δειγμάτων της ομάδας Δ, την αντοχή στη θραύση, $H_{FR}(\Delta)$ και την παραμόρφωση κατά τη θραύση, $E_{FR}(\Delta)$, όπου προέκυψε ότι η αντοχή δεν οφείλεται στην παρουσία πολυσακχαρίτη, αλλά κυρίως οφείλεται στην προσθήκη τους σε συνδυασμό με

πρωτεΐνες ορού (87%) και λιγότερο με κρέμας γάλακτος (65%), ενώ και η παραμόρφωση κατά τη θραύση προβλέπεται έντονα και κατά κύριο λόγο από την παρουσία των πρωτεϊνών ορού (96%). Από τα παραπάνω, είναι φανερό ότι οι ιδιότητες θραύσης των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών διέπονται από τα χαρακτηριστικά που τους προσδίδει το πλέγμα πρωτεϊνών ορού σε συνδυασμό με το πλέγμα πολυσακχαριτών, το οποίο δεν είναι αντίστοιχο με το πλέγμα που αποδίδουν οι πολυσακχαρίτες σε μεμονωμένα συστήματα, καθώς επηρεάζεται από τις αλληλεπιδράσεις των βιοπολυμερών μεταξύ τους. Οι εν λόγω εξισώσεις φαίνονται παρακάτω:

Ομάδα Α:	Δεν επηρεάζει την αντοχή στη θραύση, H_{FR}	
	$E_{FR}(\Delta) = -11,00 + 1,23 E_{FR}(A)$	($R^2 = 55\%$)
Ομάδα Β:	$H_{FR}(\Delta) = -0,10 + 0,784 H_{FR}(B)$	($R^2 = 87\%$)
	$E_{FR}(\Delta) = -2,34 + 1,060 E_{FR}(A)$	($R^2 = 96\%$)
Ομάδα Γ:	$H_{FR}(\Delta) = -4,06 + 1,140 H_{FR}(\Gamma)$	($R^2 = 65\%$)
	$E_{FR}(\Delta) = -7,76 + 1,030 E_{FR}(\Gamma)$	($R^2 = 67\%$)

Σε σχετικά μέτρια παραμόρφωση, κοντά στη θραύση δηλαδή, το πρωτεϊνικό πλέγμα επηρεάζει τη σκληρότητα των ανακατεργασμένων τυριών, ωστόσο δεν είναι αρκετά ισχυρό για να επηρεάσει έντονα τις ρεολογικές ιδιότητες μεγάλης παραμόρφωσης, όπου υπερισχύει το πλέγμα των πολυσακχαριτών (ομάδα Α), το οποίο βρέθηκε να εξηγεί το 84% της μεταβλητότητας της μέγιστης σκληρότητας, $H_{MAX}(\Delta)$ που παρουσίασαν τα δείγματα μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών (ομάδα Δ). Επομένως, η μέγιστη σκληρότητα στα μοντέλα ανακατεργασμένων τυριών βρέθηκε να οφείλεται κυρίως στην παρουσία του πολυσακχαρίτη. Επίσης, η μέγιστη σκληρότητα των δειγμάτων της ομάδας Δ παρουσιάζει αντιστοιχίες με αυτήν της ομάδας Γ, κατά 69%. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης που εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ των ομάδων δειγμάτων φαίνονται παρακάτω:

Ομάδα Α:	$H_{MAX}(\Delta) = 7,22 + 0,373 H_{MAX}(A)$	($R^2 = 84\%$)
Ομάδα Β:	Δεν επηρεάζει	
Ομάδα Γ:	$H_{MAX}(\Delta) = 14,4 + 0,579 H_{MAX}(\Gamma)$	($R^2 = 69\%$)

Η μεμονωμένη προσθήκη πολυσακχαρίτη δεν φαίνεται να συμβάλει έντονα στο έργο που παράγεται κατά την πρώτη συμπίεση, $A1(\Delta)$ των δειγμάτων πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού, ενώ την παράμετρο αυτή την επηρεάζουν έντονα (82 και 75%) η προσθήκη τους σε συνδυασμό με κρέμα γάλακτος ή πρωτεΐνες ορού:

$$\text{Ομάδα Α: } A1(\Delta) = 0,0505 + 0,241 A1(A) \quad (R^2= 35 \%)$$

$$\text{Ομάδα Β: } A1(\Delta) = 0,0110 + 0,716 A1(B) \quad (R^2= 75\%)$$

$$\text{Ομάδα Γ: } A1(\Delta) = 0,0286 + 0,859 A1(\Gamma) \quad (R^2= 82\%)$$

Ακόμη, η προσθήκη κρέμας γάλακτος και πολυσακχαριτών καθορίζει το έργο που παράγεται κατά τη δεύτερη συμπίεση, $A2(\Delta)$ κατά 54,1%, ενώ οι υπόλοιπες ομάδες δεν παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς αυτήν την ιδιότητα, πιθανώς λόγω του ότι οι ιδιότητες του μικτού συστήματος πολυσακχαριτών και πρωτεϊνών ορού περιορίζονται στον πρώτο κύκλο της συμπίεσης, ενώ μετά τη θραύση του πλέγματος έχουν ρόλο οι ιδιότητες του γαλακτώματος, που εξαρτώνται από το βαθμό συσσωμάτωσης των λιποσφαιρίων. Η εξίσωση που προκύπτει είναι η εξής:

$$\text{Ομάδα Γ: } A2(\Delta) = 0,0045 + 1,56 A2(\Gamma) \quad (R^2= 54\%)$$

Επίσης, βρέθηκε ότι η συγκολλητικότητα, $A3(\Delta)$ των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος επηρεάζεται ασθενώς μόνο από την ύπαρξη πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαρίτη (26,7%) και καθόλου από τη μεμονωμένη προσθήκη πολυσακχαριτών ή συνδυασμού αυτών με κρέμα γάλακτος. Όσον αφορά στη δύναμη συγκόλλησης, $H3(\Delta)$, βρέθηκε ότι δεν επηρεάζεται καθόλου από την ύπαρξη μόνο των πολυσακχαριτών, αλλά επηρεάζεται ασθενώς θετικά από την προσθήκη τους σε συνδυασμό με πρωτεΐνες ορού (33%) ή ασθενώς αρνητικά από την προσθήκη τους σε συνδυασμό με κρέμα γάλακτος (47%). Τα παραπάνω σημαίνουν πως η αντίσταση στην αποκόλληση, $H3(\Delta)$ δεν είναι ανάλογη αυτής της ομάδας μόνο με πολυσακχαρίτη (Α), αλλά εμφανίζει αντιστοιχίες με αυτήν των δειγμάτων μικτών συστημάτων πηκτών πρωτεϊνών ορού με πολυσακχαρίτες (Β). Οι ιδιότητες συγκόλλησης έχει βρεθεί ότι επηρεάζονται άμεσα από την επιφανειακή υδροφοβικότητα των πρωτεϊνών γάλακτος και είναι ανάλογη αυτής (Michalsky et al., 1997), καθώς η επιφάνεια στην οποία συνδέθηκαν τα δείγματα, κατά τη δοκιμή

διείσδυσης, έχει υδρόφοβη συμπεριφορά (ανοξείδωτος χάλυβας). Οι εξισώσεις που περιγράφουν τα παραπάνω είναι οι εξής:

Ομάδα Α: Δεν επηρεάζει

Ομάδα Β: $H_3(\Delta) = 3,62 + 2,17 H_3(B)$ ($R^2=33\%$)

Ομάδα Γ: $H_3(\Delta) = 9,33 - 2,07 H_3(\Gamma)$ ($R^2=47\%$)

Η ελαστικότητα, $S_1(\Delta)$ των δειγμάτων της ομάδας Δ δεν εμφανίζει αντιστοιχίες με την ελαστικότητα των ομάδων Α και Γ, ενώ εμφανίζει ασθενή αρνητική συσχέτιση με την ελαστικότητα των δειγμάτων της ομάδας Β:

Ομάδα Β: $S_1(\Delta) = 8,06 - 1,57 S_1(B)$ ($R^2=30\%$)

Η εκτατότητα, $S_2(\Delta)$ εξαρτάται από την προσθήκη πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαριτών και ελαφρώς λιγότερο από την προσθήκη τους με κρέμα γάλακτος, αλλά όχι από την προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις παραπάνω σχέσεις είναι οι εξής:

Ομάδα Α: Δεν επηρεάζει

Ομάδα Β: $S_2(\Delta) = 0,415 + 1,18 S_2(B)$ ($R^2=64\%$)

Ομάδα Γ: $S_2(\Delta) = - 0,196 + 1,07 S_2(\Gamma)$ ($R^2=54\%$)

Η συνεκτικότητα, $C(\Delta)$, κομμώδης υφή, $G(\Delta)$ και η μασητικότητα, $K(\Delta)$ των μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών προβλέπονται κατά 90,3, 59,3 και 79,7%, αντίστοιχα, από τις ιδιότητες των πηκτών γαλακτωμάτων, δηλαδή οφείλεται στις αντίστοιχες ιδιότητες που δημιουργούν ο συνδυασμός πολυσακχαριτών και κρέμας γάλακτος, αλλά όχι τα μεμονωμένα συστήματα πηκτών πολυσακχαριτών ή πρωτεϊνών ορού με πολυσακχαρίτες. Οι παραπάνω ιδιότητες των επιμέρους ομάδων συστατικών ανακατεργασμένων τυριών μεταβάλλονται όταν προστίθεται η κρέμα γάλακτος, η οποία οδηγεί σε παρεμβολή του λίπους και αποδυνάμωση του πλέγματος των πολυσακχαριτών ή/και πρωτεϊνών (Dickinson & Chen, 1999), οπότε τα συστήματα διαμορφώνονται τελείως διαφορετικά. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης είναι οι εξής:

Ομάδα Γ: $C(\Delta) = 0,025 + 1,49 C(\Gamma)$ ($R^2=90\%$)

$$G(\Delta) = 1,34 + 1,64 G(\Gamma) \quad (R^2=59\%)$$

$$K(\Delta) = 2,01 + 1,96 K(\Gamma) \quad (R^2=80\%)$$

Για τα μεμονωμένα δείγματα πηκτής γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού και πηκτής πρωτεϊνών ορού, όπου δεν έχει γίνει προσθήκη πολυσακχαρίτη, δηλαδή για τους μάρτυρες της ομάδας Δ και Β, αντίστοιχα, βρέθηκε να προβλέπεται μόνο η σκληρότητα σε παραμόρφωση 25%, $H_{25\%}$ (52,3%) και η συγκολλητικότητα, A_3 από την ύπαρξη πρωτεΐνης ορού (67,3%), και μάλιστα η συγκολλητικότητα της πηκτής γαλακτώματος πρωτεϊνών ορού προβλέπεται να είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη από αυτήν της πηκτής πρωτεϊνών ορού, στα δείγματα χωρίς προσθήκη πολυσακχαρίτη:

$$\text{Ομάδα Β:} \quad A_3(\Delta) = 0,0075 + 4,05 A_3(B) \quad (R^2=67\%)$$

Δεν φάνηκε να υπάρχει καμία άλλη σχέση μεταξύ των ρεολογικών ιδιοτήτων στα δείγματα όπου υπήρχε απουσία πολυσακχαρίτη. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύονται από το ότι έχει βρεθεί ότι η συγκολλητικότητα επηρεάζεται άμεσα από τις πρωτεΐνες, το είδος και την διαμόρφωσή τους. Γενικά, η συγκολλητικότητα τυριών έχει βρεθεί να είναι ανάλογη με τη συνεκτικότητά τους (Lu et al., 2007), κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε εν μέρει μόνο στις πηκτές γαλακτώματος (ομάδα Γ) για τη δύναμη συγκόλλησης, H_3 και τη συνεκτικότητα, C :

$$\text{Ομάδα Γ:} \quad H_3(\Gamma) = 0,694 + 6,75 C(\Gamma) \quad (R^2=46\%)$$

Όσον αφορά στις ιδιότητες των μεμονωμένων ομάδων και την αντιστοιχία τους με αυτές των υπόλοιπων ομάδων, τα οποία αναφέρονται μόνο στα δείγματα με ξανθάνη/κόμμι χαρουπιού, καραγενάνη και μίγματα αυτής, καθώς τα υπόλοιπα της ομάδας Α ήταν ρευστά, στα δείγματα της ομάδας πηκτών πρωτεϊνών ορού (ομάδα Β) παρατηρήθηκε ότι επηρεάζονται ασθενώς αρνητικά οι ρεολογικές παράμετροι ($p < 0,05$) της συγκόλλησης και συνεκτικότητας από αυτές της ομάδας πηκτών πολυσακχαριτών (ομάδα Α), εκτός από τις παραμέτρους σκληρότητες H_1 και H_2 , σκληρότητα στο 25% παραμόρφωση ($H_{25\%}$), μέγιστη τάση (H_{MAX}) και παραμόρφωση κατά τη θραύση (E_{FR}), εμβαδόν A_1 , οι οποίες εμφανίζουν θετικές συσχετίσεις με τις αντίστοιχες ιδιότητες των δειγμάτων της ομάδας Α. Οι παράμετροι A_2 , ελαστικότητα

(S1), εκτατότητα (S2), κομμωδής υφή (G) και αντοχή (H_{FR}) δεν εμφανίζουν καμία αντιστοιχία μεταξύ των ομάδων. Οι σημαντικότερες εξισώσεις παλινδρόμησης μεταξύ των ιδιοτήτων των ομάδων A και B αναλύονται παρακάτω:

$$H_3(B) = 2,210 - 0,429 H_3(A) \quad (R^2=54\%)$$

$$A_3(B) = 0,002 - 0,382 A_3(A) \quad (R^2=49\%)$$

$$C(B) = 0,164 - 1,14 C(A) \quad (R^2=40\%)$$

$$H_{25\%}(B) = 2,38 + 0,190 H_{25\%}(A) \quad (R^2=50\%)$$

$$H_{MAX}(B) = 8,55 + 0,509 H_{MAX}(A) \quad (R^2=66\%)$$

Οι ιδιότητες που σχετίζονται με τη συνεκτικότητα και συγκολλητικότητα των δειγμάτων πηκτών πρωτεϊνών ορού και πηκτών πολυσακχαριτών βρέθηκε ότι διαφοροποιούνται σε σχέση με τον προστιθέμενο πολυσακχαρίτη. Αυτό πιθανώς δείχνει ότι πολυσακχαρίτες της ομάδας A που σχηματίζουν πήγματα με αυξημένη συνεκτικότητα ή/και συγκολλητικότητα, όπως η καραγεννάνη, αλληλεπιδρούν με πρωτεΐνες ορού, οπότε τα δείγματα της ομάδας B πλέον παρουσιάζονται περισσότερο υδρόφοβα (Mleko et al., 1997), με συνέπεια να συσσωματώνονται και να έχουν ελαττωμένη συγκολλητικότητα ή/και συνεκτικότητα ή και το αντίστροφο, αν πρόκειται για δευτερογενείς υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις πρωτεϊνών ορού με κάποιους πολυσακχαρίτες στην ομάδα B (Doublier et al., 2000), οπότε προκαλείται ενίσχυση των εν λόγω ιδιοτήτων. Σε αντίστοιχες τιμές pH (5–5,5) βρέθηκε ότι υπάρχουν διαλυτά σύμπλοκα λ–καραγεννάνης και WPI, σε αντίστοιχες με τα υπό μελέτη προϊόντα αναλογίες πρωτεϊνών/πολυσακχαρίτη (18:1) (Weinbreck et al., 2004).

Αντιθέτως, οι ρεολογικές παράμετροι των δύο ομάδων σε χαμηλές (25%) και υψηλές παραμορφώσεις (80%) βρέθηκαν να είναι μερικώς ανάλογες, γεγονός που δείχνει ότι τα συστήματα αυτά είναι παρόμοια, δηλαδή διέπονται από τα χαρακτηριστικά που σχηματίζει το πλέγμα του πολυσακχαρίτη. Μικτά συστήματα πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαριτών σε παρόμοιες με τα υπό ανάλυση προϊόντα συγκεντρώσεις και pH, έχει βρεθεί ότι παρουσιάζουν μικροδομές διαχωρισμού μικρο-φάσεων, στις οποίες η πρωτεΐνη αναγκάζεται να περιοριστεί σε ενσωμάτωση στο συνεχές πλέγμα πολυσακχαρίτη (Çakır et al., 2012; de Jong & van de Velde, 2007; Li et al., 2006; Euston et al., 2002).

Όσον αφορά στις σχέσεις που διέπουν τις ρεολογικές ιδιότητες των δειγμάτων πηκτών γαλακτωμάτων (ομάδα Γ) και πηκτών πολυσακχαριτών (ομάδα Α), προέκυψε ότι οι σκληρότητες H1 και H2, το εμβαδόν A1 και η εκτατότητα, S2, των δειγμάτων της ομάδας Γ επηρεάζονται ελάχιστα έως μέτρια (25–42%) από την προσθήκη πολυσακχαρίτη (ομάδα Α), ενώ δεν εμφανίζονται αντιστοιχίες μεταξύ των ομάδων οι παράμετροι A2, η συγκολλητικότητα, -A3, δύναμη συγκόλλησης, -H3, αντοχή, H_{FR}, ελαστικότητα, S1, συνεκτικότητα, C, κομμωδής υφή, G και μασητικότητα, K. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η προσθήκη κρέμας γάλακτος σε συστήματα πηγμάτων πολυσακχαριτών παρεμβαίνει στο πλέγμα του πολυσακχαρίτη και μεταβάλλει κάποιες από τις ρεολογικές του ιδιότητες, καθώς η συνάθροιση η συσσωμάτωση λιποσφαιριών επηρεάζει άμεσα τις ιδιότητες των μικτών συστημάτων (Dickinson & Chen, 1999). Θετικές συσχετίσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ των ομάδων Α και Γ, για τις παραμέτρους σκληρότητα στο 25% παραμόρφωση (H_{25%}), παραμόρφωση κατά τη θραύση, E_{FR}, και μέγιστη τάση, H_{MAX}, γεγονός που δείχνει ότι οι ρεολογικές ιδιότητες σε χαμηλές (25%) και υψηλές παραμορφώσεις (80%), καθώς και θραύσης, βρέθηκαν να είναι μερικώς ανάλογες, οπότε οι δύο αυτές ομάδες έχουν αντίστοιχες μικροδομές. Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις θετικές συσχετίσεις μεταξύ των ομάδων Α και Γ είναι οι εξής:

$$H_{25\%}(\Gamma) = 1,41 + 0,117 H_{25\%}(A) \quad (R^2=48\%)$$

$$E_{FR}(\Gamma) = 3,03 + 1,08 E_{FR}(A) \quad (R^2=69\%)$$

$$H_{MAX}(\Gamma) = - 4,22 + 0,548 H_{MAX}(A) \quad (R^2=79\%)$$

Όσον αφορά στις σχέσεις ανάμεσα στις ρεολογικές ιδιότητες δειγμάτων των ομάδων πηκτών πρωτεϊνών ορού και πηκτών γαλακτωμάτων (Β και Γ, αντίστοιχα), τα οποία αναφέρονται μόνο στα δείγματα με καραγενάνη και μίγματα πολυσακχαριτών, καθώς τα υπόλοιπα δείγματα της ομάδας Γ ήταν ρευστά, παρατηρήθηκαν υψηλές θετικές συσχετίσεις ανάμεσα στο εμβαδόν που παράγεται κατά την πρώτη συμπίεση, A1 (90,7%) και στη σκληρότητα σε παραμόρφωση 25%, H_{25%} (77,5%), ενώ παρατηρήθηκαν θετικές συσχετίσεις και στις εξής ιδιότητες: συνεκτικότητα, C (64,2%), αντοχή, H_{FR} (59,7%), παραμόρφωση στο σημείο θραύσης, E_{FR} (57,6%), μέγιστη σκληρότητα, H_{MAX} (55,3%) και σκληρότητα H1 (53,6%). Οι

εξισώσεις που περιγράφουν τις σχέσεις που διέπουν τις ρεολογικές ιδιότητες των ομάδων Β και Γ είναι οι εξής:

$$A1(B) = 0,0318 + 1,07 A1(\Gamma) \quad (R^2=91\%)$$

$$H_{25\%}(B) = 0,111 + 1,53 H_{25\%}(\Gamma) \quad (R^2=78\%)$$

$$C(B) = 0,0625 + 0,782 C(\Gamma) \quad (R^2=64\%)$$

$$H_{FR}(B) = - 2,38 + 1,28 H_{FR}(\Gamma) \quad (R^2=60\%)$$

$$E_{FR}(B) = - 0,00 + 0,898 E_{FR}(\Gamma) \quad (R^2=58\%)$$

$$H_{MAX}(B) = 18,2 + 0,755 H_{MAX}(\Gamma) \quad (R^2=55\%)$$

$$H1(B) = 17,6 + 0,741 H1(\Gamma) \quad (R^2=54\%)$$

Τα παραπάνω δείχνουν ότι όσον αφορά τις προαναφερόμενες ιδιότητες, τα συστήματα παρουσίασαν όμοια συμπεριφορά, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση ότι οι αλληλεπιδράσεις των πολυσακχαριτών με τις πρωτεΐνες ορού (ομάδας Β) ή την κρέμα γάλακτος (ομάδας Γ) δεν ήταν αρκετές ώστε να επηρεάσουν έντονα τις ρεολογικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζονται άμεσα από τις υπάρχουσες συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές δράσεις μεταξύ των πολυσακχαριτών. Αντιθέτως, οι ιδιότητες που σχετίζονται με τη συγκολλητικότητα, ελαστικότητα και συνοχή μετά τη θραύση ήταν τελείως διαφορετικές ανάμεσα στα μικτά συστήματα πηκτών πρωτεϊνών ορού και πηκτών γαλακτωμάτων ($p>0,05$) και δεν καθορίζονται από τις αλληλεπιδράσεις των πρωτεϊνών ορού με τους πολυσακχαρίτες, αλλά από τις ιδιότητες των μικτών συστημάτων πηκτών γαλακτώματος, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Όσον αφορά το χρώμα των δειγμάτων των ομάδων Β, Γ και Δ, προέκυψε ότι είχαν ικανοποιητική φωτεινότητα και κίτρινη χροιά. Τα δείγματα της ομάδας Α, που όλα περιείχαν καραγενάνη, παρουσίασαν κόκκινη χροιά και πολύ ελαφριά υποκίτρινη ή μπλε χροιά, ενώ όλα τα δείγματα των υπόλοιπων ομάδων είχαν ελαφρά πράσινη. Στα αιωρήματα/πηκτές πολυσακχαριτών (ομάδα Α) και πηκτές γαλακτωμάτων (ομάδα Γ), η καραγενάνη παρουσίασε αυξημένη φωτεινότητα, ενώ στα γαλακτώματα/πηκτές γαλακτωμάτων (ομάδα Β) και πηκτές γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού (ομάδα Δ), τα δείγματα χωρίς προσθήκη πολυσακχαρίτη και αυτό με κόμμι χαρουπιού απέδωσαν τη μεγαλύτερη φωτεινότητα, αντίστοιχα.

- Κατά τον προσδιορισμό ιξώδους με τη βοήθεια του ιξωδομέτρου Brookfield μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασαν τα δείγματα με προσθήκη μίγματος ξανθάνης/κόμμεος γκουάρ, σε σχέση με τα δείγματα με μεμονωμένη προσθήκη πολυσακχαριτών των ομάδων Α και Γ, γεγονός που φανερώνει τη συνέργειά τους. Τα δείγματα παρουσίασαν θιξοτροπία και ψευδοπλαστικότητα.

- Όσον αφορά στα δείγματα με προσθήκη μεμονωμένων πολυσακχαριτών (ομάδες Α και Γ), σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης μεγαλύτερα ιξώδη παρουσίασε το δείγμα με ξανθάνη, αμέσως μικρότερα το δείγμα με κόμμι γκουάρ, ενώ χαμηλότερα ιξώδη είχε το δείγμα με κόμμι χαρουπιού.

- Στην ομάδα Α, παρατηρήθηκε ότι η ξανθάνη δεν παρουσιάζει έντονη θιξοτροπία, ωστόσο παρουσιάζει έντονη ψευδοπλαστικότητα, ενώ το κόμμι γκουάρ παρουσιάζει θιξοτροπία, η οποία γίνεται εμφανής σε χαμηλές ταχύτητες διάτμησης.

- Στην ομάδα Γ, οι πηκτές γαλακτωμάτων με ξανθάνη και κόμμι γκουάρ παρουσιάζουν ψευδοπλαστικότητα και ελαφρά θιξοτροπία σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης. Η πηκτή γαλακτώματος με κόμμι χαρουπιού παρουσιάζει ελάχιστη θιξοτροπία σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης και έντονη ψευδοπλαστικότητα.

- Τα αιωρήματα παρουσιάστηκαν περισσότερο λεπτόρρευστα από τα γαλακτώματα. Παρατηρήθηκε αύξηση της ψευδοπλαστικότητας στα γαλακτώματα /πηκτές γαλακτωμάτων σε σχέση με τα δείγματα αιωρημάτων πολυσακχαριτών, η οποία εκδηλώθηκε με ελάττωση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και οφείλεται σε συνδυασμό της διατάραξης των συναθροισμένων λιποσφαιρίων στο πεδίο διάτμησης και του προσανατολισμού του υπάρχοντος πλέγματος πολυσακχαρίτη.

- Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις ρεολογικές παραμέτρους των δειγμάτων μίας ομάδας. Αυτό δείχνει ότι το είδος των πολυσακχαριτών επηρεάζουν έντονα την υφή και δομή, καθώς και τις ιδιότητες θραύσης των δειγμάτων.

- Όσον αφορά στα δείγματα μάρτυρα των ομάδων Β και Δ, δηλαδή τα δείγματα χωρίς πολυσακχαρίτη, βρέθηκε ότι ήταν τα πιο ανομοιογενή δείγματα, με έντονη ύπαρξη αδιάλυτων συσσωματωμάτων πρωτεϊνών και συναίρεσης. Δεν παρουσίασαν σημείο θραύσης και ήταν από τα μαλακότερα δείγματα.

- Κατά τη δοκιμή ΤΡΑ, στις ομάδες Α και Γ είναι εμφανής η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και των κόμμεων γκουάρ και χαρουπιού και βρέθηκε ότι η караγενάνη παρουσιάζει συνέργεια με το κόμμι χαρουπιού, ενώ με την ξανθάνη και το κόμμι γκουάρ παρατηρείται ανταγωνισμός, λόγω διαχωρισμού μικροφάσεων, που είναι εμφανής και στις ομάδες Β και Δ.

- Στην ομάδα Β προκύπτει ότι η караγενάνη και το κόμμι χαρουπιού παρουσιάζουν συνέργεια ελαττωμένη σε σχέση με αυτήν της ομάδας Α και μόνο σε σχέση με τις ιδιότητες θραύσης. Είναι εμφανής η συνέργεια ξανθάνης και κόμμεος χαρουπιού, ωστόσο, η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και του κόμμεος γκουάρ δεν προκύπτει από τα αποτελέσματα, λόγω της έντονης επίδρασης του κόμμεος γκουάρ στις ιδιότητες του πλέγματος των πρωτεϊνών ορού, που ενισχύει το πρωτεϊνικό πλέγμα λόγω αλληλεπιδράσεων διαχωρισμού.

- Στην ομάδα Δ, η συνέργεια караγεννάνης/κόμμεος χαρουπιού ήταν ξεκάθαρη, ωστόσο, η συνέργεια μεταξύ της ξανθάνης και των κόμμεων γκουάρ και χαρουπιού ήταν εμφανής μόνο όσον αφορά τη σκληρότητα σε χαμηλές παραμορφώσεις (25%), εξ' αιτίας της υψηλής σκληρότητας του δείγματος με ξανθάνη, που οφείλεται στην έλλειψη σημείου θραύσης και τη βελτιωμένη γαλακτωματοποίηση του λίπους από τις πρωτεΐνες ορού παρουσία της ξανθάνης. Η γαλακτωματοποίηση του λίπους από τις πρωτεΐνες υποβοηθήθηκε από την ύπαρξη της ξανθάνης, λόγω χωροταξικού περιορισμού τους από την ύπαρξη των απωστικών αλληλεπιδράσεων των δύο μακρομορίων στη διεπιφάνεια του γαλακτώματος.

- Κατά την ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης, μεταξύ των ομάδων Α και Γ, βρέθηκε ότι οι ρεολογικές ιδιότητες σε χαμηλές και υψηλές παραμορφώσεις, καθώς και οι ιδιότητες θραύσης ήταν μερικώς ανάλογες, οπότε οι δύο αυτές ομάδες είχαν αντίστοιχες μικροδομές. Ωστόσο, οι υπόλοιπες ιδιότητες δεν παρουσίασαν

αντιστοιχίες, γεγονός που έδειξε ότι η προσθήκη κρέμας γάλακτος παρεμβαίνει στο πλέγμα των πολυσακχαριτών.

- Μεταξύ των ομάδων Α και Β, οι ιδιότητες που σχετίζονται με τη συνεκτικότητα και συγκολλητικότητα βρέθηκε ότι διαφοροποιήθηκαν σε σχέση με το είδος πολυσακχαρίτη και εξαρτώνται από τις εκάστοτε αλληλεπιδράσεις με τις πρωτεΐνες ορού. Αντιθέτως, οι ρεολογικές παράμετροι των δύο ομάδων σε χαμηλές και υψηλές παραμορφώσεις βρέθηκαν να είναι μερικώς ανάλογες, γεγονός που έδειξε ότι τα συστήματα πηκτών πρωτεϊνών ορού διέπονται από τα χαρακτηριστικά που σχηματίζει το πλέγμα του πολυσακχαρίτη.

- Μεταξύ των ομάδων Β και Γ, βρέθηκε ότι οι ρεολογικές ιδιότητες επηρεάστηκαν άμεσα από τις υπάρχουσες συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές δράσεις μεταξύ των πολυσακχαριτών.

- Ωστόσο, οι συνεργιστικές ή ανταγωνιστικές αυτές δράσεις ήταν λιγότερο εμφανείς στα μικτά συστήματα μοντέλων ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος (ομάδα Δ), όπου προέκυψε ότι η προσθήκη πολυσακχαριτών (ομάδα Α) ή/και συνδυασμού τους με κρέμα γάλακτος (ομάδα Γ) προβλέπουν τη σκληρότητα των πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού σε μεγάλες παραμορφώσεις. Η συνεκτικότητα, κομμώδης υφή και μασητικότητα των μικτών συστημάτων οφείλεται στις αντίστοιχες ιδιότητες που δημιουργούν ο συνδυασμός πολυσακχαριτών και κρέμας γάλακτος (ομάδα Γ), αλλά όχι τα μεμονωμένα συστήματα των ομάδων Α ή Β. Ωστόσο, η σκληρότητα σε μικρές παραμορφώσεις, αντοχή, παραμόρφωση κατά τη θραύση και εκτατότητα προβλέπονται κυρίως από τις ιδιότητες των δειγμάτων με προσθήκη συνδυασμού πρωτεϊνών ορού και πολυσακχαριτών (ομάδα Β).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Μελέτη της μικροδομής των δειγμάτων που διαμορφώνεται στα απλά και πολύπλοκα συστήματα από την ύπαρξη του εκάστοτε πολυσακχαρίτη ή των μιγμάτων αυτών.
- Προσδιορισμός της σταθερότητας γαλακτωμάτων σε σχέση με τον προστιθέμενο πολυσακχαρίτη ή μίγματα αυτών, ανάλυση του μεγέθους λιποσφαιρίων στα συστήματα πηκτών γαλακτωμάτων και πηκτών γαλακτωμάτων πρωτεϊνών ορού και συσχέτιση με τις ρεολογικές ιδιότητες των ομάδων δειγμάτων.
- Σύγκριση των ιδιοτήτων των ομάδων δειγμάτων με αυτές ανακατεργασμένων τυριών τυρογάλακτος, σε σχέση με την προσθήκη διαφόρων ειδών και μιγμάτων πολυσακχαριτών.
- Επιλογή του επικρατέστερου πολυσακχαρίτη ή μίγματος πολυσακχαριτών, παρασκευή αντίστοιχων ανακατεργασμένων τυριών κανονικής και ελαττωμένης λιποπεριεκτικότητας και μελέτη των ιδιοτήτων τους σε σχέση με το τελικό pH των προϊόντων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Αντωνίου, Κ. (2002). Τεχνολογία και Έλεγχος Ποιότητας Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Εργαστηριακές σημειώσεις Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη. σελ. 49.
- Ανυφαντάκης, Ε.Μ. (1992). Μέθοδοι Εξετάσεως του Γάλακτος και των Προϊόντων του, Αθήνα. σελ. 85–87.
- Αρβανιτογιάννης, Ι.Σ., Βαρζάκης, Θ.Χ. και Τζίφα, Κ.Ν. (2008). Έλεγχος Ποιότητας Τροφίμων, Εκδόσεις Σταμούλης Α.Ε. Αθήνα, σελ. 187–188.
- Belitz, W.H. –D., Grosch, P. and Schieberle (2006). Χημεία Τροφίμων, σελ. 498–515, 522–523, 551–552, 757, 1231.
- Δράκος, Α. (2006). Λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών του λευκόματος του αυγού σε γαλακτώματα τύπου εμβάμματος σαλάτας. Θεσσαλονίκη, σελ. 3–5.
- Εγχειρίδιο χρωματόμετρου Dr. Lange.
- Ηλιόπουλος, Γ. (2007). Χημεία Τροφίμων, Αθήνα. σελ. 72–73, 91.
- Καραουλάνης, Γ.Δ. (1995). Η Χρήση των Πρόσθετων Ουσιών στην Τεχνολογία των Τροφίμων, Θεσσαλονίκη, σελ. 26–27, 39–41.
- Καραουλάνης, Γ.Δ. (1998). Αρχές Ποιοτικού Ελέγχου Τροφίμων, Θεσσαλονίκη. σελ. 34.
- Καραουλάνης, Γ.Δ. (2005). Εργαστηριακές Αναλύσεις και Ποιοτικός Έλεγχος στις Βιομηχανίες Τροφίμων, Θεσσαλονίκη. σελ. 73-74.
- Κεντά, Σ. (2011). Φυσικοχημική μελέτη της σταθερότητας γαλακτωμάτων πρωτεϊνών γάλακτος με την τεχνική της μονοφασικής χρωματογραφίας πεδίου. Μεταπτυχιακή εργασία ειδίκευσης, Πάτρα. σελ. 23–25.
- Κεχαγιάς, Χ. (1997). Τεχνολογία Γάλακτος & Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Αθήνα. σελ. 217–224
- Κυρανάς, Ε. (2011). Λειτουργικές Ιδιότητες Νερού, Πρωτεϊνών, Σακχάρων, Λιπιδίων και Φυσικών Χρωστικών, Θεσσαλονίκη, σελ. 195.
- Λαζαρίδης, Χ.Ν. (2000). Μηχανική Τροφίμων. Εκδόσεις Γιαχούδη–Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 93–99.
- Μαρτίνου–Βουλασίκη Ι. (1996). Σημειώσεις Τεχνολογίας Γάλακτος & Ποιοτικού Ελέγχου, Τεύχος Α', Α.Τ.Ε.Ι.Θ, Θεσσαλονίκη. Τεύχος Α', pp. 218, 219, 231, 232.
- Μαρτίνου–Βουλασίκη, Ι. (2002). Εργαστηριακές σημειώσεις Τεχνολογίας Γάλακτος & Γαλακτοκομικών Προϊόντων, Α.Τ.Ε.Ι.Θ, Θεσσαλονίκη, σελ. 32–35
- Ντερλίκης, Ε. (2002). Εργαστηριακές σημειώσεις Επεξεργασίας Τροφίμων ΙΙ. Α.Τ.Ε.Ι.Θ, Θεσσαλονίκη, σελ. 69–74.
- Παναγιώτου, Κ. (1998). Διεπιφανειακά Φαινόμενα & Κolloειδή Συστήματα, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 329–343.
- Πετρίδης, Δ. (2000). Εφαρμοσμένη Στατιστική με Έμφαση στην Τεχνολογία Τροφίμων, Εκδοτική Όμηρος, Θεσσαλονίκη, σελ. 168–195.
- Πολυχρονιάδου–Αληχανίδου, Α. (1996). Ανάλυση Τροφίμων. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, σελ. 217-220.

- Ραφαηλίδης, Σ.Ν. (1987). Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι, Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη, σελ. 22–24
- Ραφαηλίδης, Σ. (2006). Εργαστηριακές σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων Ι, Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση

- Benichou, A., Aserin, A. and Garti, N. (2007a). W/O/W double emulsions stabilized with WPI–polysaccharide complexes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, Vol. 294, pp. 20–32.
- Benichou, A., Aserin, A., Lutz, R. and Garti, N. (2007b). Formation and characterization of amphiphilic conjugates of whey protein isolate (WPI)/xanthan to improve surface activity. *Food Hydrocolloids*, Vol. 21, pp. 379–91.
- Bergenshtahl, B.A. & Alander, J. (1997). Lipids and colloidal stability. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 2, pp. 590–595.
- Borwankar, P.R. and Shoemaker, F.C. (1992). Rheology of Foods, pp. 151–163.
- Bourriot, S., Garnier, C. and Doublier, J.L. (1999). Phase separation, rheology and structure of micellar casein–galactomannan mixtures. *International Dairy Journal*, Vol. 9, pp. 353–57.
- Boyd, M. (2005). The phase behaviour of xanthan based biopolymer mixtures. Formulation Insights Group School of Pharmacy.
- Bradley, T.D., Ball, A., Harding, S.E. and Mitchell, J.R. (1989). Thermal degradation of guar gum. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 10, pp. 205–214.
- Branen, L.A., Davidson, M.P. and Salminen, S. (1990). Food Additives, Marcel Dekker Inc., New York, pp. 347–349
- Bresolin, T.M.B., Sander, P.C., Reicher, F., Sierakowski, M.R., Rinaudo, M. and Ganter, J.L.M.S. (1997). Viscometric studies on xanthan and galactomannan systems. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 33, pp. 131–138.
- Brummel, S.E. and Lee, K. (1990). Soluble hydrocolloids enable fat reduction in process cheese spreads. *Journal of Food Science*, Vol. 55, No. 5, pp. 1290–1292.
- Çakır, E., Khan, S.A. and Foegeding, E.A. (2012). The effect of pH on gel structures produced using protein–polysaccharide phase separation and network inversion. *International Dairy Journal*, In Press, doi:10.1016/j.idairyj.2012.03.013.
- Camacho M.M., Martinez–Navarrete N. and Chiralt A. (2005). Rheological characterization of experimental dairy creams formulated with locust bean gum and λ -carrageenan combinations. *International Dairy Journal*, Vol. 15, pp. 243–248.
- Campanella, O.H. and Peleg, M. (1987). Determination of the yield stress of semi-liquid foods from squeezing flow data. *Journal of Food Science*, Vol. 52, pp. 214–217.
- Campanella, O.H. and Peleg, M. (1987). Squeezing flow viscosimetry of peanut butter. *Journal of Food Science*, Vol. 52, pp. 180–184.

- Carić, M. and Kaláb, M. (1993). Processed Cheese Products. Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (ed. P.F. Fox), 2nd Ed., vol. 2, pp. 467, Chapman & Hall, London.
- Casas, J.A., Mohedano, A.F. and Garcia-Ochoa, F. (2000). Viscosity of guar gum and xanthan/guar gum mixture solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 80, pp. 1722–1727.
- Černíková, M., Bunka, F., Pavlinek, V., Brezina, P., Hrabe, J. and Valasek, P. (2008). Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, Vol. 22, pp. 1054–1061.
- Chantrapornchai, W., Clydesdale, F. and McClements, D.J. (1999). Influence of droplet characteristics on the optical properties of colored oil-in-water emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 155, pp. 373–382.
- Chen, Y., Liao, M.-L. and Dunstan, D.E. (2001). Rheological characterization of κ -carrageenan/locust bean gum mixtures. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 46, pp. 117–124.
- Chenlo, F. Moreira, R. and Silva, C. (2011). Steady-shear flow of semidilute guar gum solutions with sucrose, glucose and sodium chloride at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, Vol. 107, pp. 234–240.
- Christensen, O. and Treudsoe, J. (1980). Effect of other hydrocolloids on the texture of κ -carrageenan gels. *Journal of Texture Studies*, Vol. 11, No. 2, pp. 137–148.
- Dakia, P.A., Blecker, C., Christelle, R., Wathélet, B. and Paquot, M. (2008). Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, Vol. 22, pp. 807–818.
- Damodaran, S. (2005). Protein stabilization of emulsions and foams. *Journal of Food Science*, Vol. 70, pp. 554–566.
- Dea, I.C.M., Morris, E.R., Rees, D.A., Welsh, E.J., Barnes, H.A. and Price, J. (1977). Associations of like and unlike polysaccharides: mechanism and specificity in galactomannans, interacting bacterial polysaccharides and related systems. *Carbohydrate Research*, Vol. 57, pp. 249–272.
- Dickinson, E. (1998). Stability and rheological implications of electrostatic milk protein-polysaccharide interactions. *Trends in Food Science and Technology*, Vol. 9, pp. 347–354.
- Dickinson, E. and Chen, J. (1999). Heat-set whey protein emulsion gels: role of active and inactive fillers. *Journal of Dispersion Science and Technology*, Vol. 20, No. 1–2, pp. 197–213.
- Doublier, J.L., Garnier, C., Renard, D. and Sanchez, C. (2000). Protein-polysaccharide interactions. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol. 5, No. 3–4, pp. 202–214.
- Dunstan, D.E., Chen, Y., Liao, M., Salvatore, R., Boger, D.V. and Prica, M. (2001). Structure and rheology of the κ -carrageenan/locust bean gum gels. *Food Hydrocolloids*, Vol. 15, pp. 475–484.
- Erçelebi, E.A. and Imanoğlu, E. (2009). Rheological properties of whey protein isolate stabilized emulsions with pectin and guar gum. *European Food Research Technology*, Vol. 229, pp. 281–286.

- Euston, S. R., Finnigan, S. R. and Hirst, R. L. (2002). Kinetics of droplet aggregation in heated whey protein–stabilized emulsions: Effect of polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, Vol. 10, pp. 499–505.
- Fitzsimons, S.M., Mulvihill, D.M., and Morris, E.R. (2008). Large enhancements in thermogelation of whey protein isolate by incorporation of very low concentrations of guar gum. *Food Hydrocolloids*, Vol. 22, No. 4, pp.576–586.
- Fox, F.P. (1984). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 2, Elsevier applied science, London and New York.
- Fuente, M., Hemar, G. and Singh, H. (2004). Influence of k–carrageenan on the aggregation behavior of proteins in heated whey protein isolate solutions. *Food Chemistry*, Vol. 86, pp. 1–9.
- Haminiuk, C.W.I., Maciely, G.M., Vicente Plata–Oviedo, M.S., Quenehenn, A. and Scheer, P.A. (2009). Study of the rheological parameters of honey using the Mitschka method. *International Journal of Food Engineering*, Vol. 5, No. 3, Article 13.
- Hemar , Y., Tamehana, M., Munro, P. A. and Singh, H. (2001). Viscosity, microstructure and phase behavior of aqueous mixtures of commercial milk protein products and xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, Vol. 15, pp. 565–574.
- Higiro J., Herald T.J., Alavi S. (2006). Rheological study of xanthan and locust bean gum interaction in dilute solution. *Food Research International*, Vol. 39, pp. 165–175.
- Ibanoğlu, S. and Ibanoğlu, E. (1998). Rheological characterization of some traditional Turkish soups. *Journal of Food Engineering*, Vol. 35, pp. 251–256.
- Icier, F. and Tavman, S. (2006). Ohmic heating behavior and rheological properties of ice cream mixes. *International Journal of Food Properties*, Vol. 9, pp. 679–689.
- Imeson, A. (2010). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, UK.
- Kaletunc–Gencer, G. and Peleg, M. (1986). Rheological characteristics of selected food gum mixtures in solution. *Journal of Texture Studies*, Vol. 17, pp. 61–70.
- Kaltsa, O., Michon, C., Yanniotis, S. and Mandala, I. (2011). The effect of different stabilizers on the production of sub-micron o/w emulsions by using ultrasound techniques. FM1019, Proceedings of ICEF, Athens Greece.
- Kang, K.S. and Pettitt, D.J. (1993). *Industrial Gums – Polysaccharides and their Derivatives*, 3rd Edition. London, Academic Press, Inc.
- Kapoor, R. and Metzger, L.E. (2008). Processed cheese: Scientific and technological aspects – A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 7, pp. 194–214.
- Karim, A.A., Sulebele, G., Azhar, M. and Ping, C. (1999). Effect of carrageenan on yield and properties of tofu. *Food Chemistry*, Vol. 66, pp. 159–16.
- Khan, K., Park, J.K. and Kwon, J. (2007). Functional biopolymers produced by biochemical technology considering applications in food engineering. *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol. 24, No. 5, pp. 816–826.

- Kosikowski, F.V. & Mistry, V.V. (1997). Process cheese and related products in: Cheese and fermented milk foods. 3rd Ed., Vol. 1. Origins and Principles, pp. 328–342. Kosikowski F V. (Ed.), USA.
- Kosikowski, F. (1970). Cheese and Fermented Milk Foods, Ch. 17, 3rd Printing, Published by the Author, pp. 294–296.
- Kostance, R.P. and Holsinger, V.H. 1992. Development of rheological test methods for cheese. *Food Technology*, 35, 105–109.
- Li, J., Ould Eleya, M.M. and Gunasekaran, S. (2006). Gelation of whey protein and xanthan mixture: Effect of heating rate on rheological properties. *Food Hydrocolloids*, Vol. 20, pp. 678–686.
- Lorenzo M.A., Gerhard C. and Peleg M. (1997). Imperfect squeezing flow viscosimetry of selected tomato products. *Journal of Texture Studies*, pp. 543–567.
- Lu, L., Shirashoji, N. and Lucey, J.A. (2007). Rheological, textural and melting properties of commercial samples of some of the different types of pasteurized processed cheese. *International Journal of Dairy Technology*, Vol. 60, No. 2 pp. 74–80.
- Ma, Y., Lindstrom, T.R. and Schmidt, G.M. (2007). Modified Whey Protein for Low Casein Processed Cheese. United States Patent 20070134396.
- Mandala, I.G. Savvas, T.P. and Kostaropoulos, A.E. (2004). Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model–sauce. *Journal of Food Engineering*, Vol. 64, pp. 335–342.
- Mao, C.F. and Chen, J.C. (2006). Interchain association of locust bean gum in sucrose solutions: An interpretation based on thixotropic behavior. *Food Hydrocolloids*, Vol. 20, No. 5, pp. 730–739.
- McClements, D.J. and Demetriades, K. (1998). An integrated approach to the development of reduced–fat food emulsions. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 38, No. 6, pp. 511–536.
- Michalski, M.C., Desobry, S. and Hardy, J. (1998). Adhesion of edible oils and food emulsions to rough surfaces. *Lebensmittel–Wissenschaft. Und Technologie*, Vol. 31, pp.495–502.
- Mleko, S., Li–Chan, E.C.Y. and Pikus, S. (1997). Interactions of κ –carrageenan with whey proteins in gels formed at different pH. *Food Research International*, Vol. 30, No. 6, pp. 427–433.
- Morris, E.R., Rees, D.A., Young, G., Walkinshaw, M.D. and Darke, A. (1977). Order – disorder transition for a bacterial polysaccharide in solution: a role for polysaccharide conformation in recognition between *Xanthomonas* pathogen and its plant host. *Journal of Molecular Biology*, Vol. 110, pp. 1–16.
- Neiryneck, N., Van lent, K., Dewettinck, K. and Van der Meeren, P. (2007). Influence of pH and biopolymer ratio on sodium caseinate–guar gum interactions in aqueous solutions and in O/W emulsions. *Food Hydrocolloids*, Vol. 21, pp. 862–869.
- Operating Instructions Manual: Brookfield Viscometer model RVTD 230V Serial A07098 50 HZ Brookfield engineering laboratories INC STOV GHTONMA 02072 USA.

- Operating Instructions Manual: The Brookfield digital viscometer Model DV–II No. M/85–160–E.
- Patmore, J.V., Goff, H.D. and Fernandes, S. (2003). Cryo–gelation of galactomannans in ice cream model systems. *Food Hydrocolloids*, Vol. 17, No. 2, pp. 161–169.
- Pedersen, J.K. (1980). Carrageenan, pectin and xanthan/locust bean gum gels trends in their food use. *Food Chemistry*, Vol. 6, pp. 77–88.
- Perrechil, F.A and Cunha, R.L. (2012). Development of multiple emulsions based on the repulsive interaction between sodium caseinate and LBG. *Food Hydrocolloids*, Vol. 26, No. 1, pp. 126–134.
- Rao, M.A., Walter, R.H. and Cooley, H.J. (1981). Effect of heat treatment on the flow properties of aqueous guar gum and sodium carboxymethylcellulose (CMC) solutions. *Journal of Food Science*, Vol. 46, pp. 896–993.
- Sahin, H. and Ozdemir, F. (2004). Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids*, Vol. 18, pp. 1015–1022.
- Scherze, I. and Muschiolik, G. (2001). Effects of various whey protein hydrolysates on the emulsifying and surface properties of hydrolysed lecithin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 21, 107–117.
- Shukla, A., Rizvi, S.S.H. and Bartsch, J.A. (1995). Rheological characterization of butter using lubricated squeezing flow. *Journal of Texture Studies*, pp. 313–323.
- Smith, C.E., Rosenau, J.R. and Peleg, M. (1980). Evaluation of the flowability of melted mozzarella cheese by capillary rheometry. *Journal of Food Science*, Vol. 45, No. 5, pp. 1142–1145.
- Sun, C. and Gunasekaran, S. (2010). Rheology and oxidative stability of whey protein isolate–stabilized menhaden oil–in–water emulsions as a function of heat treatment. *Journal of Food Science*, Vol. 75, No. 1, pp. 1–8.
- Sun, S., Gunasekaran, S. and Richards, M.P. (2007). Effect of xanthan gum on physicochemical properties of whey protein isolate stabilized oil–in–water emulsions. *Food Hydrocolloids*, Vol. 21, No. 4, pp. 555–564.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2nd Ed. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, pp. 74.
- Swami, S.B., Das, S.K. and Maiti, B. (2004). Effect of water and air content on rheological properties of the black gram batter. *Journal of Food Engineering*, Vol. 65, pp. 189–196.
- Tavares, C., Monteiro, S.R., Moreno, N., Lopes da Silva, J.A. (2005). Does the branching degree of galactomannans influence their effect on whey protein gelation? *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, Vol. 270–271, pp. 213–219.
- Tipvarakarnkoon, T. and Senge, B. (2008). Rheological behaviour of gum solutions and their interactions after mixing. *Annual transactions of the Nordic rheology society*, Vol. 16.
- Uruakpa, F.O. and Arntfield, S.D. (2005). The physico–chemical properties of commercial canola protein isolate–guar gum gels. *International Journal of Food Science & Technology*, Vol. 40, No. 6, pp. 643–653.

- Wang, F., Wang, Y.J., and Sun, Z. (2002). Conformational role of xanthan in its interaction with guar gum. *Journal of Food Science*, Vol. 67, No. 9, pp. 3289–3294.
- Weinbreck, F., Nieuwenhuijse, H., Robijn, G.W., de Kruijff, C.G. (2004). Complexation of whey proteins with carrageenan. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, Vol. 52, Ni. 11, pp. 3550–3555.

Ηλεκτρονικές πηγές

www.brookfieldengineering.com

www.chem.ufl.edu

www.chemeng.ntua.gr