



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τοπική δυναμική και μικρορεολογία κολλοειδών τροφίμων παρουσία
στοματικών υγρών**

ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΟΥ ΘΕΟΠΙΣΤΗ
ΠΑΓΩΝΑ ΑΡΓΥΡΩ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2019

Τοπική δυναμική και μικρορεολογία κολλοειδών τροφίμων παρουσία στοματικών υγρών

Αποστολίδου Θεοπίστη
Παγώνα Αργυρώ

Υποβολή Πτυχιακής διατριβής που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του Πτυχίου του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του ΑΤΕΙ Θεσσαλονίκης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ριτζούλης Χρήστος

09/06/2019

ΠΕΡΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	v
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	viii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	3
2.1. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ.....	3
2.1.1. Γενικά.....	3
2.1.2. Ιδιότητες των γαλακτωμάτων.....	3
2.1.2.1. Εμφάνιση.....	3
2.1.2.2. Διασπορά.....	4
2.1.2.3. Ιξώδες.....	4
2.1.2.4. Μέγεθος σωματιδίων.....	4
2.1.2.5. Φόρτιση σωματιδίων.....	5
2.1.2.6. Αγωγιμότητα.....	5
2.1.2.7. ΡΗ.....	5
2.1.2.8. Συντήρηση – Διατήρηση.....	6
2.1.2.9. Σταθερότητα των γαλακτωμάτων.....	6
2.1.3. Γαλακτωματοποιητές.....	7
2.1.3.1. Tween 20.....	8
2.1.4. Σταθεροποιητές.....	8
2.1.4.1. Κόμμι γκουάρ (guar gum).....	8
2.2. Στοματικά υγρά και αίσθημα ξηροστομίας.....	9
2.2.1. Γενικά.....	9
2.2.2. Ρυθμοί έκκρισης.....	10
2.2.3. Σημασία της ποσότητας και της ποιότητας στη προστασία.....	10
2.2.4. Επιδημιολογία της ξηροστομίας.....	11
2.2.4.1. Αιτιολογία της ξηροστομίας.....	11
2.2.4.2. Επίδραση της ξηροστομίας.....	12
2.3. ΣΥΝΕΣΤΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ.....	13
2.3.1. Εισαγωγικές έννοιες.....	13
2.3.2. Αρχή μεθόδου συνεστιακής μικροσκοπίας.....	15
2.4. ΡΕΟΛΟΓΙΑ.....	16
2.4.1. Τάση και Παραμόρφωση.....	17
2.4.2. Νευτώνεια ρευστά.....	18
2.4.3. Μη Νευτώνεια ρευστά.....	19
2.4.3.1. Χρονικά- ανεξάρτητα ρευστά.....	19
2.4.3.2. Χρονικά- εξαρτώμενα.....	20
2.4.4. Ιξωδοελαστικά ρευστά.....	21
2.4.5. Παράγοντες που καθορίζουν την ρεολογία των γαλακτωμάτων.....	21
2.5. ΜΙΚΡΟΡΕΟΛΟΓΙΑ.....	23
2.5.1. Ορισμός.....	23
2.5.2. Μικρορεολογικές τεχνικές.....	24
2.5.2.1. Ενεργές τεχνικές.....	25
2.5.2.2. Παθητικές τεχνικές.....	25
2.5.3. Παθητικές πειραματικές τεχνικές.....	26
2.5.3.1. Μικρο-βιοχημεία μονοφασματικής παρακολούθησης λείζερ.....	26
2.5.3.2. Τεχνικές σκέδασης φωτός.....	26
2.5.3.3. Μικροσκοπία παρακολούθησης πολλαπλών σωματιδίων.....	27
3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	29
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	30
4.1. Υλικά.....	30
4.2. Παρασκευή δειγμάτων.....	30
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	31
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	44

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σημάδια και συμπτώματα της ξηρότητας στο στόμα.....	13
--	----

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι μπορούν να αποσταθεροποιήσουν ένα γαλάκτωμα συμπεριλαμβάνουν την αποκορύφωση, την καθίζηση, τη κροκίδωση, τη συνένωση και την αναστροφή φάσεων	7
Σχήμα 2: Απεικόνιση του εσωτερικού τμήματος του συνεστιακού μικροσκοπίου	16
Σχήμα 3: Συμπεριφορά νευτώνειων και μη νευτώνειων ρευστών	20
Σχήμα 4: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 0,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 0,25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα	32
Σχήμα 5: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 0,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο ξηροστομικού δότη (τελική συγκέντρωση 0,25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	33
Σχήμα 6: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 0,75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα	35
Σχήμα 7: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 0.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	36
Σχήμα 8: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο ξηροστομικού δότη (τελική συγκέντρωση 0.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	37
Σχήμα 9: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα	38
Σχήμα 10: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	39
Σχήμα 11: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με κόμμι γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	41
Σχήμα 12: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με κόμμι γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1.25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	41
Σχήμα 13: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 3% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1.5% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα	43
Σχήμα 14: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα.....	43

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με νερό.....	31
Διάγραμμα 2: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 0,5% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 0,75% κόμμι γκουάρ).....	34
Διάγραμμα 3: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,03 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 2,5% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 1.25% κόμμι γκουάρ).....	40
Διάγραμμα 4: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,03 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 3,0% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 1.5% κόμμι γκουάρ).....	42

Τοπική δυναμική και μικρορεολογία κολλοειδών τροφίμων παρουσία στοματικών υγρών

Αποστολίδου Θεοπίστη
Παγόνα Αργυρώ

Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΑΤΕΙ), Σχολή ΣΤΕΤΡΟ-Δ,
Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 ΤΘ 141, Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η σταθερότητα απέναντι στην κροκίδωση και η ρεολογία μοντέλων ημίρρευστων τροφίμων αποτελούμενων από ένα γαλάκτωμα σταθεροποιημένο με γαλακτωματοποιητή Tween 20 και κόμμι γκουάρ. Τα εν λόγω γαλακτώματα αναμίχθηκαν με σάλιο υγιούς δότη και ξηροστομικού δότη προκειμένου να μελετηθεί τυχόν διαφορά στη σταθερότητα και την επαγόμενη ρεολογία κατά τη στοματική επεξεργασία από τους δύο δότες. Τα μίγματα μελετήθηκαν με ρεολογία και με συνεστιακή μικροσκοπία. Η ανάμιξη με σάλιο υγιούς ατόμου δεν επηρεάζει τη σταθερότητα γαλακτωμάτων μικρού κλάσματος όγκου λιπαρής φάσης με γκουάρ. Η ανάμιξη όμως με σάλιο ξηροστομικού ατόμου κροκιδώνει έντονα γαλακτώματα μικρού κλάσματος όγκου παρουσία κόμμι γκουάρ, κάτι που δε συμβαίνει με το σάλιο υγιών ατόμων. Κατά τα παραπάνω, η κροκίδωση των γαλακτωμάτων και συνεπώς οι μεταβολές στη ρεολογία και την υφή είναι διαφορετικές μεταξύ υγιών και ξηροστομικών ατόμων. Η κροκίδωση λόγω των βλεννινών και άλλων πρωτεϊνών του σάλιου οφείλεται σε κροκίδωση από εκκένωση (depletion flocculation).

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα γαλακτώματα είναι πολύπλοκα ετερογενή πολυσυστατικά και πολυφασικά συστήματα που προκύπτουν από την ανάμιξη δύο μη μιγνυόμενων υγρών από τα οποία το ένα βρίσκεται διασπαρμένο σε μορφή μικρότατων σταγονιδίων σε όλη τη μάζα του υγρού. Η κατανόηση τέτοιων σύνθετων δομών έχει μεγάλη σημασία για τους επιστήμονες τροφίμων. Ως εκ τούτου, απαιτούνται νέες πειραματικές τεχνικές για να καταγραφούν επαρκείς λεπτομέρειες της εγγενούς πολυπλοκότητας των συστημάτων τροφίμων, προκειμένου να διασαφηνιστούν οι υποκείμενοι μηχανισμοί που επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις των συστατικών τροφίμων και συνεπώς τις φυσικές τους ιδιότητες (Moschakis, 2013).

Η πλειοψηφία των τροφίμων είναι γαλακτώματα όπως γάλα και σάλτσες (τυπικά γαλακτώματα κλάσματος μικρού όγκου) και βούτυρο-μαργαρίνη (κλάσμα υψηλού όγκου). Επιπλέον, τα τρόφιμα μπορούν να βρεθούν ως ρευστά σε υψηλές ιξωδοελαστικές καταστάσεις όπως το γιαούρτι και το τυρί. Οι πηκτές και τα γαλακτώματα των τροφίμων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ρεολογικών χαρακτηριστικών, που κυμαίνονται από Νευτώνια υγρά χαμηλού ιξώδους (π.χ. γάλα) έως ιξωδοελαστικά υλικά που παρουσιάζουν τόσο ιξώδη όσο και ελαστική απόκριση (π.χ. σάλτσες σαλάτας, κρέμα) και πλαστικά υλικά (π.χ. βούτυρο, μαργαρίνη). Αυτή η πολυμορφία είναι το αποτέλεσμα της οργάνωσης και αναδιάταξης των συστατικών τροφίμων - κυρίως πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών και λιπιδίων - κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τροφίμων και κατά την αποθήκευση (Moschakis, 2013).

Το ενδιαφέρον της παρακολούθησης της αναδιάταξης των συστατικών των τροφίμων οδήγησε τους επιστήμονες στην ανακάλυψη μίας νέας τεχνικής η οποία ασχολείται με τη μελέτη και τον χαρακτηρισμό της δομής και της δυναμικής των πολύπλοκων ρευστών σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η αναδυόμενη αυτή τεχνική είναι γνωστή με το όνομα μικρορεολογία, η οποία χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μηχανικών ιδιοτήτων σε κλίμακα μm χρησιμοποιώντας σωματίδια ιχνηθέτη σε πολύπλοκα υγρά (Moschakis, 2013).

Η κίνηση Brown των σωματιδίων που παρατηρείται καταγράφεται χρησιμοποιώντας σύγχρονη μικροσκοπία υψηλής ανάλυσης και η κίνηση τους αναλύεται ποσοτικά για την ανίχνευση της τοπικής δυναμικής των ρευστών υλικών. Η συνεστιακή μικροσκοπία είναι η εξέλιξη της οπτικής μικροσκοπίας και μπορεί να προσφέρει αρκετές πληροφορίες όσον αφορά την μικροδομή των γαλακτωμάτων (Moschakis, 2013).

Η εισαγωγή ενός γαλακτώματος στο στόμα έχει σαν συνέπεια την ανάμιξή του με το σάλιο όπου επιτυγχάνεται η λίπανση των σταγονιδίων του γαλακτώματος (Drago et al., 2011). Η παρατήρηση αυτού του συστήματος με τη χρήση του συνεστιακού μικροσκοπίου μπορεί να αποδείξει τη πραγματοποιείται *in vivo* στη στοματική κοιλότητα.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μελέτη της επίδρασης ενός γαλακτώματος, το οποίο σταθεροποιήθηκε με μίγμα σταθεροποιητών κατά την ανάμιξή του με στοματικά υγρά από υγιή και άτομα που πάσχουν από ξηροστομία.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΓΑΛΑΚΤΩΜΑΤΑ

2.1.1. Γενικά

Ένα γαλάκτωμα αποτελείται από δύο μη αναμίξιμα υγρά, με ένα από τα υγρά διασκορπισμένα ως μικρά σφαιρικά σταγονίδια στο άλλο. Στα περισσότερα τρόφιμα, οι διάμετροι των σταγονιδίων βρίσκονται συνήθως μεταξύ 0,1 και 100 μm (McClements, 1999).

Τα γαλακτώματα μπορούν να ταξινομηθούν καταλλήλως στην κατανομή των ελαίων και των υδατικών φάσεων. Ένα σύστημα που αποτελείται από σταγονίδια ελαίου διεσπαρμένα σε μια υδατική φάση καλείται γαλάκτωμα ελαίου σε νερό ή O / W. Ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από σταγονίδια νερού διασκορπισμένα σε μια ελαιώδη φάση ενός γαλακτώματος νερού σε λάδι ή W / O. Η ουσία που σχηματίζει τα σταγονίδια σε ένα γαλάκτωμα αναφέρεται ως διασκορπισμένη ή εσωτερική φάση, ενώ η ουσία που συνιστά το περιβάλλον υγρό ονομάζεται συνεχής ή εξωτερική φάση. Είναι επίσης δυνατόν να παρασκευαστούν πολλαπλά γαλακτώματα τύπου έλαιο σε νερό (O / W / O) ή νερό σε έλαιο (W / O / W). Για παράδειγμα, ένα γαλάκτωμα W / O / W αποτελείται από σταγονίδια νερού διασκορπισμένα μέσα σε μεγαλύτερα σταγονίδια ελαίου, τα οποία διασκορπίζονται σε υδατική συνεχή φάση (McClements, 1999).

2.1.2. Ιδιότητες των γαλακτωμάτων

Οι ιδιότητες των γαλακτωμάτων που αναφέρονται παρακάτω μπορεί να είναι χημικές, φυσικές ή και τα δύο. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από: 1) τις ιδιότητες της συνεχούς φάσης και 2) την αναλογία της συνεχούς φάσης στην εξωτερική (Lissant, 1974).

2.1.2.1. Εμφάνιση

Η εμφάνιση ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τα χρησιμοποιούμενα συστατικά, το χρώμα τους και τη διαφορά στο δείκτη διάθλασης, όπως και το μέγεθος των σωματιδίων της διεσπαρμένης φάσης. Η αδιαφάνεια επιτυγχάνεται καλύτερα (με σταθερότητα) με μέγεθος σωματιδίων περίπου 0,5 έως 5 μm με σημαντική διαφορά στο δείκτη διάθλασης. Το χρώμα της συνεχούς φάσης είναι συνήθως το χρώμα ελέγχου του προϊόντος. Η διαύγεια ενός γαλακτώματος μπορεί να επιτευχθεί με τη μείωση του μεγέθους των

σωματιδίων κατά μερικά νανόμετρα (μικρότερα από το μήκος κύματος του ορατού φωτός) ή ρυθμίζοντας τις δύο φάσεις σε ένα όμοιο δείκτη διάθλασης (Lissant, 1974).

2.1.2.2. Διασπορά

Η ικανότητα διασποράς ενός γαλακτώματος εξαρτάται από τον τύπο του γαλακτώματος. Εάν η εξωτερική φάση είναι νερό, το γαλάκτωμα μπορεί να υποστεί διασπορά και να διαλυθεί σε νερό ή υδατικούς διαλύτες. Εάν η εξωτερική φάση είναι έλαιο, μπορεί να υποστεί διασπορά ή να διαλυθεί με ελαιώδη υλικά. Η διασπορά είναι χρήσιμη στον προσδιορισμό του τύπου του γαλακτώματος. Ο πιο κοινός τύπος γαλακτώματος που συναντάται σε εφαρμογές τροφίμων είναι ο τύπος ελαίου - σε - νερό (Lissant, 1974).

2.1.2.3. Ιξώδες

Το ιξώδες εξαρτάται γενικά από το ιξώδες της εξωτερικής φάσης, την αναλογία της εξωτερικής προς την εσωτερική φάση και, σε μικρότερο βαθμό, από το μέγεθος των διασπαρμένων σταγονιδίων. Επίσης εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωση του γαλακτωματοποιητή (Lissant, 1974).

Το ιξώδες ενός γαλακτώματος είναι συνήθως όμοιο με εκείνο της εξωτερικής φάσης, όταν η φάση αυτή αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του προϊόντος. Όταν η συγκέντρωση της εσωτερικής φάσης αυξάνεται, το ιξώδες του προϊόντος αυξάνεται κι αυτό, και όταν ο όγκος της εσωτερικής φάσης είναι μεγαλύτερος από εκείνον της εξωτερικής φάσης, ο φαινομενικός όγκος αυξάνεται σημαντικά. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται από τη συσσώρευση σωματιδίων στο γαλάκτωμα. Θεωρητικά μόνο το 74% του συνολικού όγκου του γαλακτώματος, μπορεί να περιέχεται στην εσωτερική φάση εάν τα σωματίδια έχουν όμοιο σφαιρικό σχήμα. Όταν η αναλογία της εσωτερικής φάσης είναι εξαιρετικά υψηλή τα σωματίδια αυτής της φάσης παραμορφώνονται, με επακόλουθο το μέγεθος και η φόρτιση των σωματιδίων να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο ιξώδες του γαλακτώματος (Lissant, 1974).

Πηκτικές ουσίες ή μέσα προσθήκης συνήθως προστίθενται σε γαλακτώματα υψηλής αναλογίας εξωτερικής φάσης, με σκοπό να αυξήσουν το φαινομενικό τους ιξώδες. Επίσης η μείωση του μεγέθους των σωματιδίων, αυξάνει ελαφρά το ιξώδες (Lissant, 1974).

2.1.2.4. Μέγεθος σωματιδίων

Το μέγεθος των σωματιδίων ενός γαλακτώματος συνήθως ορίζεται ως η διάμετρος των σφαιριδίων της εσωτερικής φάσης. Εάν το μέγεθος τους δεν είναι όμοιο, τότε το εύρος

μεγεθών που εμφανίζεται συχνότερα, χρησιμοποιείται για να δηλώσει το μέγεθος των σωματιδίων του γαλακτώματος. Οι τιμές των μικρότερων και μεγαλύτερων σωματιδίων καλείται να είναι η περιοχή των μεγεθών των σωματιδίων που υπάρχουν. Τα γαλακτώματα που περιέχουν σωματίδια που είναι μικρά σε διάμετρο ονομάζονται λεπτά γαλακτώματα, ενώ εκείνα που περιέχουν μεγάλα σφαιρίδια ονομάζονται χονδροειδή γαλακτώματα (Lissant, 1974).

Το μέγεθος των σωματιδίων εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα του γαλακτωματοποιητή, από το σύνολο της εργασίας που έγινε για την παρασκευή του γαλακτώματος και από τη σειρά προσθήκης των συστατικών. Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα γαλακτώματα έχουν μέγεθος σωματιδίων από 0,5 έως 2,5 μm . Ένα λεπτό μέγεθος σωματιδίων συνήθως αποτελεί ένδειξη καλής σταθερότητας. (Lissant, 1974).

2.1.2.5. Φόρτιση σωματιδίων

Στη διασκορπισμένη φάση σχεδόν όλων των γαλακτωμάτων παρουσιάζει φόρτιση των σωματιδίων η οποία μπορεί να προσδιοριστεί με ηλεκτροφόρηση. Αυτή η φόρτιση μπορεί να προκληθεί από τη διάσπαση του ενός από τα συστατικά (π.χ. σαπούνι), ή στην περίπτωση των μη ιονικών γαλακτωμάτων από την ηλεκτρική τριβή. Η φόρτιση στα ιονικά συστήματα είναι πολύ μεγαλύτερη απ' ό,τι στα μη ιονικά (Lissant, 1974).

Στα γαλακτώματα μικρού μεγέθους, η φόρτιση των σωματιδίων είναι εξαιρετικά σημαντική για τη διατήρηση της σταθερότητας. Στα γαλακτώματα υψηλού ιξώδους, η φόρτιση των σωματιδίων έχει λιγότερες συνέπειες στη διατήρηση της σταθερότητας απ' ό,τι στα ρευστά γαλακτώματα (Lissant, 1974).

2.1.2.6. Αγωγιμότητα

Η αγωγιμότητα ενός γαλακτώματος εξαρτάται από την αγωγιμότητα της εξωτερικής φάσης. Ως εκ τούτου, ένα γαλάκτωμα ελαίου - σε - νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού, ενώ ένα γαλάκτωμα νερού - σε - έλαιο είναι κακός αγωγός. Για αυτό το λόγο, μία δοκιμή αγωγιμότητας είναι συνήθως ένα εξαιρετικό μέσο αναγνώρισης του τύπου του γαλακτώματος (Lissant, 1974).

2.1.2.7. PH

Τα τελευταία χρόνια δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στη σημασία του pH των γαλακτωμάτων. Καλά γαλακτώματα μπορούν να ρυθμιστούν σε μια συγκεκριμένη τιμή pH,

με σκοπό ένα επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα μη ιονικά προϊόντα των γαλακτωμάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία περιοχή φάσματος από 3 έως 10, ανάλογα με τη φύση του γαλακτωματοποιητή (Lissant, 1974).

2.1.2.8. Συντήρηση – Διατήρηση

Τα γαλακτώματα υποβάλλονται σε μόλυνση από μικροοργανισμούς κατά την προετοιμασία και τη χρήση τους. Η υπερβολική ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών δεν συμβαίνει συνήθως σε εμπορικά προϊόντα διότι περιέχουν βακτηριοστατικούς παράγοντες. Ωστόσο, είναι απαραίτητο όλα τα γαλακτώματα να προστατεύονται από ένα σύστημα συντήρησης. Ορισμένα από τα συντηρητικά που έχουν χρησιμοποιηθεί στα τρόφιμα είναι το σορβικό οξύ, το βενζοϊκό οξύ, το προπιονικό νάτριο και ασβέστιο και η προπυλενογλυκόλη. Πολλές εταιρείες υποβάλλουν όλα αυτά τα προϊόντα σε μία τυπική διαδικασία αλλοίωσης για να προσδιορίσουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος συντήρησής τους (Lissant, 1974).

2.1.2.9. Σταθερότητα των γαλακτωμάτων

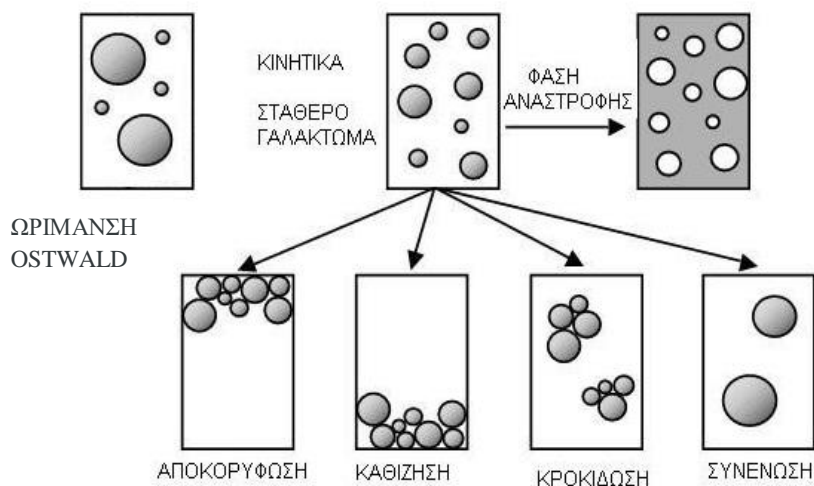
Η σταθερότητα ενός γαλακτώματος αποδεικνύεται από τη διατήρηση της αρχικής εμφάνισης, του ιξώδους και της οσμής κάτω από τις συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης. Η κακή σταθερότητα, εκτός από έλλειψη σταθερότητας του χρώματος και της οσμής, γενικά προκαλείται από τη συγκόλληση των διασκορπισμένων σωματιδίων. Ο ρυθμός συσσωμάτωσης εξαρτάται από τον τύπο και τη συγκέντρωση του γαλακτωματοποιητή (Lissant, 1974).

Κατά την εξέταση της σταθερότητας ενός γαλακτώματος είναι εξαιρετικά σημαντικό να αναφερθεί η διάκριση μεταξύ της θερμοδυναμικής σταθερότητας και της κινητικής σταθερότητας. Η θερμοδυναμική αναφέρει εάν θα προκύψει μία δεδομένη διαδικασία ή όχι, ενώ η κινητική αναφέρει το ρυθμό με τον οποίο θα προχωρήσει εάν πραγματοποιηθεί. Όλα τα γαλακτώματα τροφίμων είναι θερμοδυναμικά ασταθή συστήματα και αν αφεθούν για αρκετό καιρό θα καταρρεύσουν. Για το λόγο αυτό σε μεγάλο βαθμό η κινητική σταθερότητα είναι υπεύθυνη για τη ποικιλία των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν τα διαφορετικά γαλακτώματα τροφίμων (McClements, 2005).

Ένα γαλάκτωμα μπορεί να γίνει ασταθές λόγω ενός αριθμού διαφορετικών φυσικών και χημικών διεργασιών. Η φυσική αστάθεια οδηγεί σε μια μεταβολή της κατανομής του χώρου ή οργάνωση της δομής των μορίων, ενώ η χημική αστάθεια έχει ως αποτέλεσμα τη χημική μεταβολή της χημικής δομής των μορίων. Η αποκορύφωση, η συσσώρευση, η

συσσωμάτωση, η αναστροφή φάσης και η ωρίμανση Ostwald είναι παραδείγματα φυσικής αστάθειας (Σχήμα 1), ενώ η υδρόλυση και η οξείδωση είναι τα συνηθισμένα παραδείγματα χημικής αστάθειας (McClements, 2005).

Η αποκορύφωση και η καθίζηση είναι και οι δύο μορφές του βαρυτικού διαχωρισμού. Η αποκορύφωση περιγράφει την ανοδική κίνηση των σταγονιδίων λόγω χαμηλότερης πυκνότητας από το υγρό που τα περιβάλλει, ενώ η καθίζηση περιγράφει την καθοδική κίνηση αυτών λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας από το περιβάλλοντα υγρό. Η κροκίδωση και η συσσωμάτωση είναι και οι δύο τύποι συσώρευσης σταγονιδίων. Η κροκίδωση εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότερα σταγονίδια έρχονται σε επαφή για να σχηματίσουν ένα συσσωμάτωμα στο οποίο τα σταγονίδια διατηρούν την ατομική τους ακεραιότητα, ενώ η συγχώνευση είναι η διαδικασία όπου δύο ή περισσότερα σταγονίδια συγχωνεύονται για να σχηματίσουν ένα μεγαλύτερο σταγονίδιο. Η αναστροφή φάσης είναι η διαδικασία με την οποία ένα γαλάκτωμα ελαίου σε νερό, μετατρέπεται σε γαλάκτωμα νερού σε έλαιο και αντίστροφα. Η Ωρίμανση Ostwald είναι η διεργασία κατά την οποία τα μεγάλα σταγονίδια αναπτύσσονται σε βάρος των μικρότερων λόγω της μαζικής μεταφοράς από το ένα σταγονίδιο στο άλλο στη συνεχή φάση, στην οποία περιβάλλονται (McClements, 2005).



Σχήμα 1: Φυσικοί μηχανισμοί οι οποίοι μπορούν να αποσταθεροποιήσουν ένα γαλάκτωμα συμπεριλαμβάνουν την αποκορύφωση, την καθίζηση, τη κροκίδωση, τη συνένωση και την αναστροφή φάσεων

Πηγή: McClements, 2005

2.1.3. Γαλακτωματοποιητές

Η σταθερότητα ενός γαλακτώματος είναι ένας απαραίτητος παράγοντας στις μελέτες

που σχετίζονται με τα γαλακτώματα, δεδομένου ότι τα κοινά γαλακτώματα είναι εγγενώς ασταθή και τείνουν να επανέρχονται στην σταθερή κατάσταση των φάσεων που αποτελούν το γαλάκτωμα. Η κινητική σταθερότητά τους μπορεί να αυξηθεί με παράγοντες γαλακτωματοποίησης, όπως επιφανειοδραστικά, μακρομόρια και νανοσωματίδια (Wang et al., 2018).

2.1.3.1. Tween 20

Το Tween 20 (μη ιονικό επιφανειοδραστικό τύπου πολυσορβικού) είναι κατασκευασμένο από στεατικά, παλμιτικά, μυριστικά και λαυρικά οξέα. Είναι σταθερό και σχετική μη τοξικό και αυτό επιτρέπει τη χρησιμοποίησή του ως γαλακτωματοποιητή σε επιστημονικές και φαρμακολογικές εφαρμογές. Έχουν βρεθεί εκτεταμένες χρήσεις σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές όπως καθαρισμός, προσωπική φροντίδα, φαρμακείο, μικροβιολογία, σταθεροποίηση γαλακτώματος, χρώματα και επιχρίσματα, κλωστοϋφαντουργία και προστασία των καλλιεργειών. Οι επιφανειοδραστικοί παράγοντες, χρησιμοποιούνται συνήθως στη βιομηχανία επειδή διαθέτουν πρακτικές σταθεροποιητικές ιδιότητες, οι οποίες προκύπτουν από την ικανότητα να μειώνεται η διαμετωπική / επιφανειακή τάση μεταξύ δύο γειτονικών ρευστών. Χρησιμοποιούνται επίσης ως μοντέλα για την διερεύνηση των διεπιφανειακών φαινομένων κατά τη διάρκεια των διαδικασιών διαβροχής, αφρισμού, γαλακτωματοποίησης και εκχύλισης (Bak & Podgorska, 2016).

2.1.4. Σταθεροποιητές

Η χαρακτηριστική ιδιότητα των κόμμεων είναι η μεγάλη διαλυτότητά που έχουν στο νερό και το υψηλό ιξώδες που σχηματίζεται τα υδατικά τους διαλύματα. Το χαρακτηριστικό όλων των κόμμεων είναι η εκτενής διακλάδωση των πολυμερικών αλυσίδων τους. Αυτές οι εκτενείς διακλαδώσεις βοηθούν στο να παγιδεύεται μεγάλη ποσότητα μορίων νερού αλλά και να δημιουργούνται αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διακλαδώσεων, πράγμα που διασφαλίζει ότι ακόμα και τα αραιά τους διαλύματα θα έχουν μεγάλο ιξώδες. Τα συνήθη κόμμεα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των τροφίμων ως σταθεροποιητές είναι η ξανθάνη, το κόμμι γκουάρ και το κόμμι χαρουπιού (Coulter, 2009).

2.1.4.1. Κόμμι γκουάρ (guar gum)

Το κόμμι γκουάρ λαμβάνεται από το ενδοσπέρμιο του οσπριοειδούς φυτού *Cyamopsis tetragonolobu*. Εκτός από πολυσακχαρίτες, το κόμμι γκουάρ, περιέχει 10-13% υγρασία,

3.5-4.0% πρωτεΐνη, 0.06% φώσφορο και 1.07% τέφρα. Το κόμμι γκουάρ ενυδατώνεται σχετικά γρήγορα σε κρύο νερό δίνοντας παχύρρευστα ψευδοπλαστικά διαλύματα, που έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα από άλλα υδροκολλοειδή σε χαμηλούς ρυθμούς διάτμησης (Tripathy & Das, 2013).

Λόγω του χαμηλού του κόστους και την ικανότητα του να προσδίδει υψηλό ιξώδες σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών, τόσο στη βιομηχανία τροφίμων όσο και στον φαρμακευτικό τομέα. Χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα διατροφής καθώς και σαν πρόσθετο σε πολλά προϊόντα τροφίμων, όπως σάλτσες, σιρόπια, παγωτά, ποτά και αρτοσκευάσματα. Επίσης το κόμμι γκουάρ χρησιμοποιείται ως πυκνωτικό μέσο (Prajapat & Gogate, 2015).

2.2. Στοματικά υγρά και αίσθημα ξηροστομίας

2.2.1. Γενικά

Η κατανάλωση τροφίμων συνεπάγεται με πολλούς πολύπλοκους από του στόματος χειρισμούς, προκειμένου να μετατραπεί ένα τρόφιμο σε ένα βλωμό τροφής έτοιμο για κατάποση. Στο στόμα, το φαγητό αραιώνεται, αναμιγνύεται με το σάλιο και μπορεί να αναλυθεί σε μικρά κομμάτια με τη μάσηση, ανάλογα με την αρχική του δομή. Η επεξεργασία του τροφίμου στο στόμα έχει δύο κύριες λειτουργίες: τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων με τη μάσηση και τη λίπανση αυτών των σωματιδίων από το σάλιο και από τους χυμούς που απελευθερώνονται από την τροφή. Κατά τη διάρκεια της μάσησης, το προϊόν διατροφής αναμιγνύεται με το σάλιο για να σχηματίσει ένα βλωμό, το οποίο είναι ένα λείο και λιπαρό κομμάτι μηχανικά αναλυόμενης τροφής. Κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης τροφίμων, οι σιελογόνοι αδένες διεγείρονται, οδηγώντας στην παραγωγή διεγερμένου σάλιου.

Το σάλιο αποτελείται από μια ποικιλία ηλεκτρολυτών (συμπεριλαμβανομένων των νατρίου, καλίου, ασβεστίου, μαγνησίου, διτανθρακικών και φωσφορικών αλάτων) και πρωτεϊνών (ένζυμα, βλεννίνες, πλούσιες σε προλίνη πρωτεΐνες). Μεταξύ των σιελογόνων ενζύμων, η αμυλάση είναι το κυρίαρχο ένζυμο (Drago et al., 2011).

Είναι ζωτικής σημασίας, βιολογικό υγρό για τη διατήρηση της στοματικής υγείας, ενεργώντας ως φραγμός στους παθογόνους παράγοντες, διευκολύνοντας την πρόσληψη τροφής και παρέχοντας το μέσο που διαλύονται και αναστέλλονται τα τρόφιμα στους υποδοχείς της γεύσης (Rossettia et al., 2013).

Είναι μια σύνθετη έκκριση, 93% κατ 'όγκο εκκρίνεται από τους μεγάλους σιελογόνους αδένες και το υπόλοιπο 7% από τους δευτερεύοντες αδένες. Αυτοί οι αδένες βρίσκονται σε

κάθε περιοχή του στόματος, εκτός από τα ούλα και το πρόσθιο τμήμα του σκληρού ουρανίσκου (Llena, 2006).

Οι σιελογόνοι αδένες αποτελούνται από κύτταρα acinar και ductal. Τα κύτταρα acinar του παρωτιδικού αδένου παράγουν μια κατά κύριο λόγο serous έκκριση. Οι εκκρίσεις των παρωτιδικών αδένων συνεισφέρουν κυρίως για την τόνωση του σάλιου που βρίσκεται στο στόμα για περίπου 2 ώρες κάθε μέρα για διατροφικές λειτουργίες. Το υπογνάθιο και οι υπογλώσσιοι αδένες είναι οι κύριοι συντελεστές της μη διεγερόμενης ροής του σάλιου που υπάρχει στο στόμα για την πλειοψηφία κάθε ημέρας για να λιπαίνετε και να προστατεύετε το στόμα βλεννογόνο (Ying & Thomson, 2015).

2.2.2. Ρυθμοί έκκρισης

Οι ημερήσιοι ρυθμοί έκκρισης κυμαίνονται μεταξύ 500 και 700 ml και ο μέσος όγκος στο στόμα είναι 1,1 ml. Η παραγωγή σάλιων ελέγχεται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Σε ηρεμία, η έκκριση κυμαίνεται από 0,25 έως 0,35 ml / min και παράγεται κυρίως από τους υπογνάθιους και υπογλώσσους αδένες. Τα αισθητήρια, ηλεκτρικά ή μηχανικά ερεθίσματα μπορούν να αυξήσουν τον ρυθμό έκκρισης στα 1,5 ml / min. Ο μεγαλύτερος όγκος σάλιου παράγεται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τα γεύματα, φθάνοντας στη μέγιστη κορυφή του γύρω στις 12 π.μ., και πέφτει σημαντικά τη νύχτα, ενώ κοιμάται. Το 99% του σάλιου είναι νερό και το άλλο 1% αποτελείται από οργανικά και ανόργανα μόρια (Llena, 2006).

2.2.3. Σημασία της ποσότητας και της ποιότητας στη προστασία

Ενώ η ποσότητα του σάλιου είναι σημαντική, είναι και η ποιότητά του, καθώς κάθε ένα από τα συστατικά του εκτελεί μια σειρά συγκεκριμένων λειτουργιών. Η κανονική ποσότητα σάλιου μπορεί να μειωθεί. Αυτό είναι γνωστό ως υποπερατότητα ή υποπτακτισμός και επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα ζωής του ατόμου καθώς και την στοματική του υγεία. Τα κύρια συμπτώματα που σχετίζονται, είναι το αίσθημα ξηροστομίας ή ξηροστομία, συχνή δίψα, δυσκολία στην κατάποση, δυσκολία στην ομιλία, δυσκολία στην κατανάλωση ξηρών τροφών, ανάγκη συχνής κατανάλωσης νερού, δυσκολία στη χρήση οδοντοστοιχιών, πόνος και ερεθισμός του βλεννογόνου, ένα αίσθημα καύσου στη γλώσσα και δυσγευσία. Τα σημάδια που απαντώνται συχνότερα είναι η απώλεια στιλπνότητας του στοματικού βλεννογόνου, η ξηρότητα του βλεννογόνου, τα οποία γίνονται λεπτά και ραγισμένα, οι ρωγμές στο ραχιαίο της γλώσσας, το πυκνό σάλιο, η αυξημένη συχνότητα της στοματικής λοίμωξης, ειδικά από *Candida spp.*, παρουσία τερηδόνας σε άτυπα σημεία και αυξημένο μέγεθος μεγάλων σιελογόνων αδένων (Llena, 2006).

2.2.4. Επιδημιολογία της ξηροστομίας

Η διάγνωση της υπολειτουργίας των σιελογόνων αδένων βασίζεται σε στοιχεία που προέρχονται από τα συμπτώματα που αναφέρθηκαν από τον ασθενή, κλινική εξέταση που οδηγεί στην επαλήθευση των προαναφερθέντων κλινικών σημείων και ποσοτικής σιελομετρίας (μέτρηση της ροής του σάλιου). Ο καθορισμός της αιτιολογίας αυτής της υπολειτουργίας απαιτεί μερικές φορές επιπρόσθετη εξέταση μέσω της διάγνωσης της εικόνας, η οποία σήμερα ουσιαστικά σημαίνει μαγνητικό συντονισμό (MR) ή ιστολογική μελέτη μετά από βιοψία (Llena, 2006).

Η ξηροστομία είναι το υποκειμενικό σύμπτωμα της ξηροστομίας (αυτό μπορεί να οφείλεται σε μεταβαλλόμενη αλλαγή στο σάλιο). Είναι μια αίσθηση που αξιολογείται μόνο με την άμεση αμφισβήτηση του ατόμου. Από την άλλη πλευρά, το αντικειμενικό σημάδι της ξηροστομίας είναι η υπολειτουργία του σιελογόνου αδένου, στην οποία μειώνεται η ποσότητα του παραγόμενου σάλιου. Μπορεί να προσδιοριστεί με σιελομετρία (Ying & Thomson, 2015).

Η υπολειτουργία του σιελογόνου αδένου (SGH) μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέτρηση της διέγερσης ή μη διεγερόμενη ροή του σάλιου. Η σιαλική διέγερση είναι που επιτυγχάνεται με τη χρήση κιτρικού οξέος ή το μάσημα ενός τεμαχίου παραφίνης. Η μη διεγερόμενη ροή του σάλιου είναι πιο αντιπροσωπευτική την κατάσταση in vivo. Η ροή του σάλιου μπορεί να αξιολογηθεί με τη συλλογή σάλιου από τον ατομικό αδένου, αξιολογώντας την ολική ροή του σάλιου (συνολικές εκκρίσεις των κύριων και δευτερευόντων αδένων). Ολόκληρη η ροή του σάλιου (συνήθως χρησιμοποιώντας την τεχνική της σούβλας) είναι μια πιο πρακτική μέθοδος συλλογής σάλιου. Επειδή η ροή του σάλιου ποικίλλει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ο στόχος της μέτρησης της ροής του σάλιου είναι να αναπαραχθεί η συνοχή με τον ίδιο ασθενή. Μια αναφορά βάσης για σύγκριση εντός ασθενούς είναι ιδανική. Μία μη διεγερόμενη ολικός ρυθμός ροής σάλιου $<0.1 \text{ ml} / \text{λεπτό}$ ή ρυθμός ροής $<0.5 \text{ ml} / \text{min}$ θεωρείται μικρότερος από τον φυσιολογικό (Ying & Thomson, 2015).

2.2.4.1. Αιτιολογία της ξηροστομίας

Οι συνήθεις αιτίες της ξηροστομίας περιλαμβάνουν ξηρογόνα φάρμακα, ακτινοθεραπεία στο κεφάλι και το λαιμό για καρκίνο και συστηματική ασθένειες όπως διάφορες διαταραχές συνδετικού ιστού. Τα ξηρογόνα φάρμακα είναι η πιο συνηθισμένη αιτία της ξηροστομίας που διερευνάται σε επιδημιολογικές μελέτες και είναι μια περιοχή που συνοδεύεται από τον μεγαλύτερο αριθμό αποφευγμένων λαθών. Μια ματιά στο ξηρό στόμα που προκαλούν τα φάρμακα, αποκαλύπτει μια σχεδόν ανεξάντλητη λίστα. Αυτά τα φάρμακα συνήθως έχουν αντιχολινεργικές ή συμπαθομιμητικές δράσεις που επηρεάζουν τον νευρικό έλεγχο

των σιελογόνων αδένων, μια κυτταροτοξική επίδραση στους σιελογόνους αδένες ή διουρητικό αποτέλεσμα που εξαντλείται ρευστά. Ο Sreebny και ο Schwartz αναγνώρισαν περισσότερα από 400 άτομα σε 42 κατηγορίες φαρμάκων που ισχυρίστηκαν ότι ήταν ικανές να προκαλέσουν ξηροστομία. Η χρησιμότητα αυτού του εύρους στις λίστες αυτές μπορεί να είναι περιορισμένες επειδή οι περισσότερες από τις κατηγορίες των φαρμάκων που περιλαμβάνονται βασίζονται σε αναφορές περιπτώσεων και σε γνώμες κλινικών ιατρών αντί για αποτελέσματα κλινικών ή επιδημιολογικών σπουδών. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη για το αν τα φάρμακα έχουν καταχωρηθεί ως αιτία ξηροστομίας, και υπάρχει μια έλλειψη πληροφορίας σχετικά με τη ξηρογένεση του κάθε συγκεκριμένου φαρμάκου, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό. Αναλύοντας την ξηρογένεση των φαρμάκων περιπλέκεται από τις δυσκολίες της σύλληψης πληροφορίας σχετικά με την έκθεση σε φάρμακα και την επιλογή της προσέγγισης που πρέπει να ληφθεί.

Επιπλέον, είναι πολυφαρμακευτική συχνή στους ηλικιωμένους, και η ξηροστομία μπορεί να είναι παρενέργεια των υποκείμενων ασθενειών που αντιμετωπίζονται. Ακτινοβολία για κακοήθεις όγκους στην κεφαλή και στον αυχένα περιοχή μπορεί να προκαλέσει ξηροστομία με άμεση βλάβη στο σάλι αδένες. Συστηματικές ασθένειες όπως ο σακχαρώδης διαβήτης και ο διαβήτης η χρόνια νεφρική ανεπάρκεια μπορεί να οδηγήσει σε αφυδάτωση και ως εκ τούτου ξερό στόμα. Συστηματικές ασθένειες που επηρεάζουν τους σιελογόνους αδένες μπορεί να προκαλέσει σπληνική δυσλειτουργία, με αποτέλεσμα ξηροστομία. Αυτά τα περιλαμβάνουν τη σαρκοείδωση, τη λοίμωξη από τον ιό της ηπατίτιδας C και το σύνδρομο Sjogren. Η κοινή αιτιολογία της ξηροστομίας είναι συνολική- που εμφανίζονται στον. Επιπλέον, υπάρχουν φυσιολογικές αιτίες της ξηροστομίας, όπως το άγχος (λόγω συμπαθητικής δραστηριότητας), μπορεί να οφείλεται και σε περισσότερους από έναν παράγοντες. Για παράδειγμα, σε ένα ασθενή με χρόνια συστηματική νόσο όπως το σύνδρομο Sjogren (αυτοάνοση επιθηλίτιδα), η κατάθλιψη μπορεί να είναι ένα συνηθισμένο πρόβλημα. Σε ένα τέτοιο σενάριο, μπορεί να είναι η ξηροστομία στον ασθενή λόγω της δυσλειτουργίας των σιελογόνων αδένων, η αντικαταθλιπτική- προκαλούμενη ξηροστομία ή την ίδια την κατάθλιψη (Ying & Thomson, 2015).

2.2.4.2. Επίδραση της ξηροστομίας

Με την κατανόηση του επιδημιολογίας και της αιτιολογίας της ξηροστομίας, αυτό το επόμενο τμήμα που θα συζητηθεί είναι τα αποτελέσματα της ξηροστομίας. Αυτά περιλαμβάνουν φυσικές, συναισθηματικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η λειτουργία του σάλιου πρέπει να εξηγηθεί προκειμένου να γίνει κατανοητή η επίπτωση της χρόνιας

ξηροστομίας. Σε υγιείς ενήλικες παράγονται καθημερινά μέχρι και 1,5 λίτρα σάλιου. Η λειτουργία του σάλιου μπορεί να οργανωθεί σε πέντε μεγάλες κατηγορίες που χρησιμεύουν στη διατήρηση της στοματικής υγείας και στη δημιουργία οικολογικής ισορροπίας: (1) λίπανση και προστασία, (2) δράση περιορισμού και εκκαθάριση, (3) διατήρηση της ακεραιότητας των δοντιών. (4) αντιβακτηριακή δραστηριότητα, και (5) γεύση και πέψη. Το μη διεγερμένο σάλιο κρατά τον βλεννογόνο του στόματος υγρό και διατηρεί την στοματική υγεία. Το διεγερμένο σάλιο που παράγεται σε απόκριση αισθητικών ερεθισμάτων (μαζί με μηχανική διεργασία, το μάσημα) βοηθά στη διαδικασία πέψης. Το σάλιο διευκολύνει επίσης την ομιλία, καθαρίζει τα υπολείμματα τροφίμων στο στόμα, ενισχύει τη γεύση και εξουδετερώνει τα δυνητικά επιβλαβή οξέα τροφίμων. Η σωματική επίπτωση της ξηροστομίας είναι δραστική και μπορεί να εκδηλωθεί σε μια σειρά σημείων και συμπτωμάτων. Αυτά συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Σημάδια και συμπτώματα της ξηρότητας στο στόμα

Σημάδια	Συμπτώματα
Ξηρά, ραγισμένα και ξεφλουδισμένα χείλη, ξηρή και χονδροειδής γλώσσα	Δυσκολίες κατά την κατάποση και τη μάσηση ξηρών τροφών
Ρωγμές στις γωνίες του στόματος	Ευαισθησία στα πικάντικα τρόφιμα
Οδοντική τερηδόνα, αυχενική ή άτυπη	Αλλοιωμένη, αλμυρή, πικρή και μεταλλική γεύση στο στόμα
Οδοντική διάβρωση	Αίσθηση καύσης
Ερυθματώδης γλώσσα	Έλλειψη (ή μειωμένη) αντίληψη γεύσης
Οίδημα των σιελογόνων αδένων	Πόνος στους σιελογόνους αδένες
Βλεννογονίτιδα	Επείγοντα βήχα
Στοματική καντιντίαση	Αυξημένη πρόσληψη υγρών
Στοματικά έλκη	Νυκτερινή ταλαιπωρία

Πηγή: Ying & Thomson, 2015

2.3. ΣΥΝΕΣΤΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

2.3.1. Εισαγωγικές έννοιες

Η οπτική μικροσκοπία χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλά συστήματα όπου ο τομέας ενδιαφέροντος βρίσκεται στο εύρος υπομικρομετρίας έως μικρόμετρου. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι βιολογικά όπως τα κύτταρα ή ο ιστός, καθώς επίσης και κολλοειδείς διασπορές. Η μικροσκοπία, δεδομένου ότι οι κλίμακες είναι της τάξης του μήκους κύματος του ορατού φωτός, παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για την απόκτηση πληροφοριών σε

πραγματικό χρόνο σχετικά με τους σύνθετους μηχανισμούς που διέπουν αυτά τα συστήματα. Η ευκολία παρασκευής δείγματος σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση (σε αντίθεση με, λόγου χάριν, συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας ή χαμηλής πίεσης για ηλεκτρονική μικροσκοπία) καθιστά επίσης την οπτική μικροσκοπία μια βολική τεχνική. Παρ'όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα για τα συστήματα που αλληλεπιδρούν με το φως. Η πιο σημαντική είναι η πολλαπλή σκέδαση του φωτός. Η απεικόνιση βαθιά μέσα στο δείγμα είναι δύσκολη για ένα οπτικά πυκνό δείγμα όπως βιολογικό ιστό, καθώς το φως που εισέρχεται στο δείγμα υφίσταται σε μεγάλο βαθμό σκέδαση που καταλήγει σε θολότητα της εικόνας.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε αρχικά από τον Marvin Minsky στη δεκαετία του 1950, καθώς προσπάθησε να απεικονίσει τον τρόπο με τον οποίο τα νευρικά κύτταρα συνδέονται στο ανθρώπινο νευρικό σύστημα. Η λύση του ήταν διπλή: πρώτον, φωτισμός προς το σημείο του δείγματος για να ελαχιστοποιηθούν οι παρεκκλίνουσες ακτίνες του διάσπαρτου φωτός από περιοχές εκτός του επιπέδου εικόνας που μας ενδιαφέρει. Δεύτερον, άνοιγμα οπών σε επίπεδο εικόνας στην άλλη πλευρά του αντικειμενικού φακού, για να απορρίψει το φως εκτός εστίασης. Αυτό ήταν το πρώτο συνεστιακό μικροσκόπιο για το οποίο χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας τόξου άνθρακα ως πηγή φωτός και στάδιο μετάφρασης για την απεικόνιση κάθε σημείου του δείγματος. Στις επακόλουθες βελτιώσεις χρησιμοποιήθηκε ένα λέιζερ το οποίο σαρώνει τη δέσμη λέιζερ αντί να μεταφράζει το δείγμα.

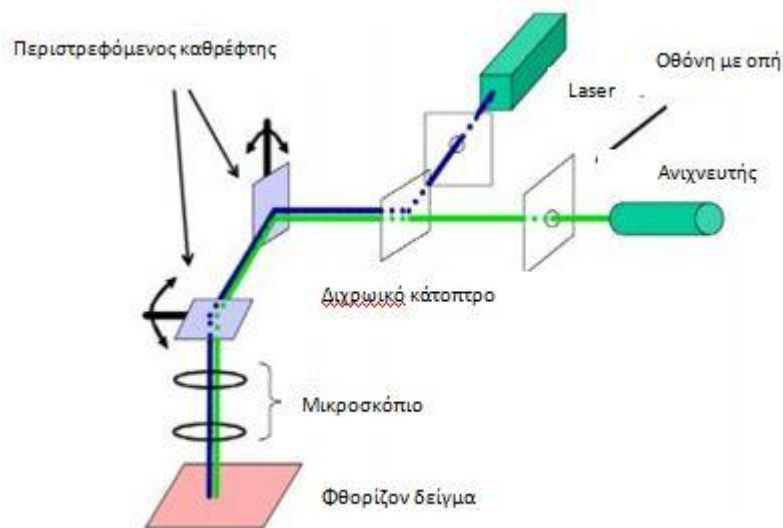
Η συνεστιακή μικροσκοπία είναι μία εξέλιξη στην οπτική μικροσκοπία που μπορεί να προσφέρει εξαιρετικά πολύτιμες πληροφορίες για τη μικροδομή των γαλακτωμάτων. Η συνεστιακή μικροσκοπία σάρωσης με λέιζερ παρέχει εικόνες μεγαλύτερης ευκρίνειας από τη συμβατική οπτική μικροσκοπία και επιτρέπει την παραγωγή τρισδιάστατων εικόνων χωρίς την ανάγκη φυσικής διατομής του δείγματος. Η χρήση της στα κολλοειδή συστήματα είναι μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη, η οποία προέκυψε εν μέρει από την ανακάλυψη ότι τα μονό - διασπαρμένα κολλοειδή θα μπορούσαν να μιμηθούν πολλές από τις φάσεις που παρατηρούνται στα ατομικά συστήματα. Ενώ οι παρατηρήσεις αυτές διεξήχθησαν με τεχνικές χύδην όπως η σκέδαση φωτός, περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τις μικροσκοπικές λεπτομέρειες αυτών των συστημάτων απαιτούσαν οπτικοποίηση σε συμπυκνωμένες διασπορές. Μια από τις πρώτες μελέτες για την εξέταση των κολλοειδών με ένα συνεστιακό μικροσκόπιο ήταν από τους Yoshida et al το 1991 που έβλεπαν μέσα σε ένα δείγμα φορτισμένων κολλοειδών latex από πολυστυρόλιο και παρατηρούσαν τον σχηματισμό των σφαιρών. Οι van Blaaderen και Wiltzius επέκτειναν την ικανότητα της συνεστιακής μικροσκοπίας σε πυκνότερα συστήματα. Μια τέτοια υψηλή πυκνότητα

σωματιδίων απαιτούσε σημαντική πρόοδο στην ανάλυση της εικόνας με τη βοήθεια αλγορίθμων. Οι θέσεις χιλιάδων σωματιδίων που χωρίστηκαν με αποστάσεις ελαφρώς μεγαλύτερες από τη διάμετρό τους έπρεπε να εντοπιστούν με μεγάλη ακρίβεια. Μόλις αυτό επιτεύχθηκε, σχεδόν οποιοδήποτε κολλοειδές σύστημα με μέγεθος μικρόμετρου μπορούσε να μελετηθεί με συνεστιακή μικροσκοπία.

Οι πρόοδοι στην απεικόνιση και την παρακολούθηση σωματιδίων έχουν οδηγήσει σε ταχείες εξελίξεις στην κατανόηση των κολλοειδών φαινομένων και η συνεστιακή μικροσκοπία είναι σήμερα ένα εργαλείο στα εργαστήρια πολλών ερευνητικών ομάδων (Prasad et al., 2007).

2.3.2. Αρχή μεθόδου συνεστιακής μικροσκοπίας

Ένα συνεστιακό μικροσκόπιο σάρωσης με λέιζερ (LSCM) ενσωματώνει δύο βασικές ιδέες: φωτισμός σημείων προς σημείο του δείγματος και απόρριψη φωτός χωρίς εστίαση. Μια δισδιάστατη εικόνα επιτυγχάνεται με τη μέτρηση διαφορετικών σημείων στο επίπεδο x-y, είτε με τη μετακίνηση του δείγματος (και τη διατήρηση της ακτίνας λέιζερ ακίνητη) είτε με τη μετατόπιση της ακτίνας λέιζερ (και τη διατήρηση του δείγματος σε στάση). Δημιουργείται μια εικόνα συνδυάζοντας τις μετρήσεις από κάθε μεμονωμένο σημείο. Τρισδιάστατες εικόνες λαμβάνονται με εστίαση της δέσμης λέιζερ σε διαφορετικά βάθη στο δείγμα και στη συνέχεια σάρωση στην οριζόντια δέσμη. Η παρατήρηση της μικροδομής των πολυσωματικών συστημάτων διευκολύνεται συχνά με τη χρήση του φυσικού φθορισμού ορισμένων συστατικών ή με τη χρήση φθορίζοντων χρωστικών που συνδέονται επιλεκτικά με συγκεκριμένα συστατικά (π.χ. πρωτεΐνες, λιπίδια ή πολυσακχαρίτες). Το LSCM έχει χρησιμοποιηθεί για να μελετήσει το μέγεθος, τη συγκέντρωση και την οργάνωση των σταγονιδίων στα γαλακτώματα, να εξετάσει τη μικροδομή του βουτύρου, τις μαργαρίνες και τα χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες προϊόντα, να παρακολουθήσει τη δημιουργία σταγονιδίων και να ακολουθήσει την εκρόφιση πρωτεϊνών από την επιφάνεια του γαλακτώματος (Prasad et al., 2007).



Σχήμα 2: Απεικόνιση του εσωτερικού τμήματος του συνεστιακού μικροσκοπίου

Πηγή: Prasad et al., 2007

Στο σχήμα μπορεί να αποτυπωθεί η εσωτερική λειτουργία ενός συνεστιακού μικροσκοπίου. Το φως λέιζερ (μπλε γραμμή) κατευθύνεται από ένα διχρωμικό κάτοπτρο προς ένα ζευγάρι καθρεφτών που σαρώνουν το αντικείμενο με κηλίδα φωτός σχηματίζοντας πλήρη εικόνα. Το φως περνά από τον αντικειμενικό μικροσκόπιο και διεγείρει το φθορίζον δείγμα. Το φθορισμένο (ανοιχτό πράσινο) φως από το δείγμα περνάει πίσω από τον αντικειμενικό φακό και αναπαράγεται από τους ίδιους καθρέφτες που χρησιμοποιούνται για τη σάρωση του δείγματος. Στη συνέχεια, το φως διέρχεται από το διχρωμικό κάτοπτρο μέσα από μια οπή η οποία απορρίπτει όλα τα φώτα εκτός εστίασης που φθάνουν από το δείγμα. Το φως που αναδύεται από την οπή είναι τελικά μετρούμενο από έναν ανιχνευτή όπως έναν σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή. Σε κάθε συγκεκριμένη στιγμή παρατηρείται μόνο ένα σημείο του δείγματος. Ένας υπολογιστής ανασυνθέτει το επίπεδο 2D εικόνας ένα pixel τη φορά. Μια 3D ανακατασκευή του δείγματος μπορεί να πραγματοποιηθεί συνδυάζοντας μια σειρά από τέτοια διαφορετικά βάθη. Η δυνατότητα 3D καταγραφής είναι ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της συνεστιακής μικροσκοπίας (Prasad et al., 2007).

2.4. ΡΕΟΛΟΓΙΑ

Ο όρος «ρεολογία» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1928 από τον Bingham, ο οποίος περιέγραψε τη θεωρία του Έλληνα φιλοσόφου Ηράκλειτου (500 π. Χ.), σύμφωνα με την οποία «τα πάντα ρει», που σημαίνει ότι τα πάντα βρίσκονται σε συνεχή κίνηση (Steffe, 1996).

Στη βιομηχανία τροφίμων η μελέτη της ροής των ρευστών αποτελεί σημαντικό κομμάτι,

με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον μηχανικό, καθώς σχετίζεται με τον σχεδιασμό των περισσότερων διεργασιών επεξεργασίας των τροφίμων. Επιπλέον η ρεολογική μελέτη των τροφίμων επιτρέπει την εκτίμηση της δομής τους, της λειτουργικότητας και της κατάστασης τους, ενώ συχνά χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο των πρώτων υλών ή των διεργασιών παραγωγής των προϊόντων (Steffe, 1996).

Ρεολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται με την παραμόρφωση και τη ροή της ύλης όταν δρα σε αυτήν κάποια τάση. Ο όρος παραμόρφωση αναφέρεται σε στερεά υλικά ενώ ο όρος ροή σε υλικά που είναι υγρά. 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, 2006).

Οπότε, τρεις είναι οι παράμετροι που καθορίζουν τη ρεολογική συμπεριφορά ενός υλικού: (α) η τάση που είναι το μέγεθος της δύναμης που εφαρμόζεται σε μια δεδομένη περιοχή του δείγματος, (β) η καταπόνηση που ουσιαστικά είναι η επίδραση των δυνάμεων και των ροπών που τα παραμορφώνει καθώς επίσης και (γ) η αναλογία της τάσης προς την καταπόνηση, η οποία καθορίζει την ελαστικότητα για ένα στερεό, και την αναλογία της τάσης προς την ταχύτητα καταπόνησης (ή ρυθμού ροής), η οποία καθορίζει το ιξώδες για ένα υγρό. Στην απλούστερη περίπτωση, η ρεολογική ιδιότητα που μας ενδιαφέρει και σχετίζεται με τα στερεά είναι η ελαστικότητά, και στα υγρά το ιξώδες. Τα τρόφιμα, γενικά, δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τόσο καθαρά, όπως τα στερεά και τα υγρά. Δεν είναι ούτε ιξώδη ούτε ελαστικά, αλλά είναι ιξωδοελαστικά. Παρουσιάζουν με άλλα λόγια και ελαστική και ιξώδη συμπεριφορά αλλά μια από αυτές κυριαρχεί (Steffe, 1996).

2.4.1. Τάση και Παραμόρφωση

Η ρεολογία είναι η μελέτη της παραμόρφωσης της ύλης. Έτσι λοιπόν κρίνεται απαραίτητη η αναφορά στις έννοιες της τάσης και της παραμόρφωσης

Τάση (σ) στη ρεολογία, είναι η δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα υλικό και το αναγκάζει να κινηθεί. Πιο συγκεκριμένα, η τάση είναι ο λόγος της δύναμης προς την περιοχή στην οποία ασκείται αυτή η δύναμη, έχει μονάδες Pascal (N/m^2) και, κυρίως δείχνει κατεύθυνση. Υπάρχουν διαφορετικά είδη πίεσης ανάλογα με την κατεύθυνση στην οποία ασκείται η δύναμη. Για παράδειγμα έστω ότι ασκείται δύναμη πάνω σε ένα σώμα έτσι ώστε να μετακινηθεί με σταθερή ταχύτητα πάνω στην επιφάνεια στην οποία βρίσκεται, αυτό ονομάζεται διαμητική τάση. Επομένως όσο πιο μεγάλο είναι το ιξώδες τόσο πιο μεγάλη

είναι η δύναμη που πρέπει να εφαρμοστεί για να κινηθεί. Οι διατμητικές τάσεις κατευθύνονται εφαπτομενικά στο επίπεδο εφαρμογής τους. Επίσης, εάν η δύναμη εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια, τότε η δύναμη ονομάζεται συμπίεσης και εφελκυσμού.

Η παραμόρφωση είναι η αλλαγή του σχήματος ή των διαστάσεων ενός σώματος έπειτα από την άσκηση κάποιας δύναμης πάνω στο σώμα, χωρίς να καταστρέφεται η συνέχεια του σώματος. Η παραμόρφωση (γ) που υφίσταται το υλικό σε σχέση με το χρόνο εκφράζεται ως ρυθμός παραμόρφωσης, ή ταχύτητα παραμόρφωσης, ή ταχύτητα διάτμησης. Μπορεί να διακριθεί σε ελαστική και πλαστική παραμόρφωση.

Η ελαστική παραμόρφωση, δεν είναι μόνιμη, δηλαδή το σώμα επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα όταν πάψει να ενεργεί η δύναμη που προκάλεσε την παραμόρφωση. Αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχουν διαμοριακές δυνάμεις συνοχής στη μάζα του σώματος. Η εξωτερική δύναμη που ασκείται στο σώμα προκαλεί μετατοπίσεις μορίων με αποτέλεσμα τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων που εξουδετερώνουν την εξωτερική δύναμη. Όταν εξουδετερωθεί ολοκληρωτικά η εξωτερική δύναμη τα μόρια επανέρχονται στην αρχική τους θέση. Άρα η σχέση τάσης-παραμόρφωσης είναι γραμμική εφόσον το υλικό υπόκειται σε μικρές μόνο παραμορφώσεις. Δηλαδή, ισχύει η σχέση $\sigma = \kappa \cdot \gamma$ που αναφέρεται ως Νόμος του Hooke. Η σταθερά κ λαμβάνει διάφορες ονομασίες ανάλογα με το είδος της εφαρμοζόμενης τάσης. Για γραμμικές παραμορφώσεις που οφείλονται σε τάσεις εφελκυσμού έχουμε τη σταθερά ελαστικότητας ή μέτρο του Young ($E = \frac{\sigma}{\gamma}$). Για τα εύκαμπτα υλικά η E έχει μικρή τιμή. Για γραμμικές παραμορφώσεις που οφείλονται σε τάσεις διάτμησης η σταθερά αναλογίας καλείται μέτρο διάτμησης ($G = \frac{\sigma}{\gamma}$). Για τα υγρά το G είναι ίσο με το μηδέν, ενώ για τα ημίρρευστα αυξάνεται απότομα.

Αντίθετα, η πλαστική παραμόρφωση, είναι μόνιμη, οπότε το σώμα δεν επανέρχεται στο αρχικό του σχήμα. Το υλικό στη συγκεκριμένη κατάσταση συμπεριφέρεται σαν στερεό στην αρχή μέχρι μία οριακή τιμή της εφαρμοζόμενης τάσης, μετά την τιμή αυτή παρατηρείται πλαστική ροή (Μπιλιαδέρης, 2007).

2.4.2. Νευτώνεια ρευστά

Τα Νευτώνεια ρευστά είναι ασυμπίεστα και ισότροπα υλικά που δεν έχουν ελαστικές ιδιότητες. Η εφαρμογή μιας διατμητικής τάσης προκαλεί παραμόρφωση η οποία είναι μόνιμη.

Ας θεωρήσουμε κάποιο υγρό το οποίο βρίσκεται μεταξύ δύο πλακών και ότι η πάνω πλάκα κινείται με μία σταθερή ταχύτητα λόγω της διατμητικής τάσης. Η κάτω πλάκα

παραμένει σταθερή άρα η ταχύτητα του ρευστού ελαττώνεται βαθμιαία. Η σχέση μεταξύ της διατμητικής τάσης, σ , και του ρυθμού παραμόρφωσης, $\dot{\gamma}$, για τα Νευτώνεια ρευστά είναι $\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}$. Άρα η εφαρμοζόμενη τάση είναι ανάλογη του ρυθμού διάτμησης.

Για τα περισσότερα ρευστά η ελαστική συμπεριφορά είναι πολύ μικρή επομένως μπορεί να θεωρηθεί κυριότερη ρεολογική ιδιότητα της ύλης το ιξώδες. *Ιξώδες* (μ) είναι η αντίσταση στην ροή ενός ρευστού (εσωτερική τριβή) όταν δρουν σε αυτό δυνάμεις διάτμησης, η οποία οφείλεται στην επίδραση των δεσμών που συγκρατούν τη δομή του ρευστού και ορίζεται ως ο λόγος της τάσης προς την ταχύτητα διάτμησης ($\eta = \sigma / \dot{\gamma}$). Η ρεολογική συμπεριφορά των ρευστών απεικονίζεται σε διαγράμματα της διατμητικής τάσης σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης (Μπιλιαδέρης, 2007).

2.4.3. Μη Νευτώνεια ρευστά

Σε ένα πολύπλοκο δομικά ρευστό, εμφανίζονται σημαντικές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση μη γραμμικής σχέσης μεταξύ διατμητικής τάσης και ρυθμού διάτμησης. Τέτοια ρευστά ονομάζονται μη νευτώνεια (Steffe, 1996).

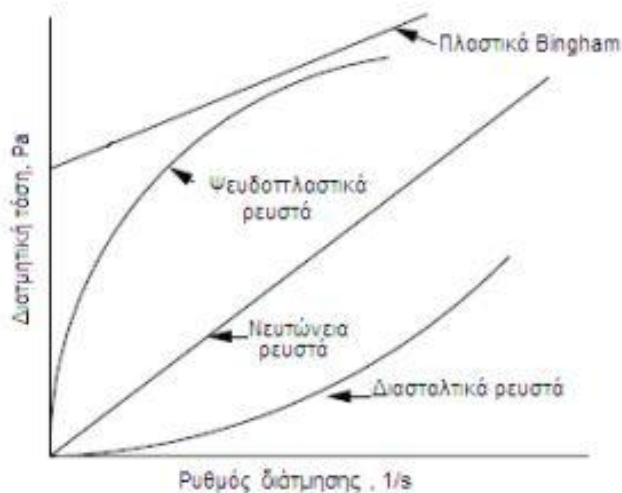
Τα ρευστά αυτά είναι συνήθως ετερογενή και ανισότροπα συστήματα με σύνθετη ρεολογική συμπεριφορά. Επανακτούν το αρχικό τους σχήμα με κάποια καθυστέρηση όταν απομακρυνθεί η τάση που προκάλεσε την παραμόρφωσή τους. Το μέγεθος της επαναφοράς τους εξαρτάται από την διάρκεια και το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσης. Επίσης δεν υπάρχουν γραμμικές σχέσεις μεταξύ τάσης και ρυθμού παραμόρφωσης όπως επίσης ιξώδους και ρυθμού παραμόρφωσης.

Τα μη Νευτώνεια ρευστά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: στα χρονικά – ανεξάρτητα ρευστά, στα χρονικά εξαρτώμενα ρευστά και στα ιξωδοελαστικά ή βισκοελαστικά (Μπιλιαδέρης, 2007).

2.4.3.1. Χρονικά- ανεξάρτητα ρευστά

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα ψευδοπλαστικά, τα διασταλτικά και τα πλαστικά Bingham. Στα ρευστά αυτά η διατμητική τάση εξαρτάται μόνο από τον ρυθμό παραμόρφωσης.

Η συμπεριφορά όλων των ρευστών υπακούει στην σχέση $\sigma = \sigma_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n$ όπου σ_0 είναι η οριακή τάση η οποία χρειάζεται να εφαρμοστεί για να αρχίσει ένα ρευστό να ρέει, k ο συντελεστής συνεκτικότητας και n ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (Steffe, 1996).



Σχήμα 3: Συμπεριφορά νευτώνειων και μη νευτώνειων ρευστών

Πηγή: Ραφαηλίδης, 2006

Όταν $\sigma_0=0$ και $n<1$ τότε τα ρευστά ονομάζονται ψευδοπλαστικά και είναι σχετικά λεπτόρευστα. Τα ρευστά αυτά εμφανίζουν μειωμένο φαινομενικό ιξώδες με αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης. Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν τα κολλοειδή συστήματα μεγαλομορίων (πρωτεΐνες, πολυσακχαρίτες) ή σωματιδίων με ασύμμετρο σχήμα. Όταν $\sigma_0=0$ και $n>1$ τότε τα ρευστά ονομάζονται διασταλτικά και είναι σχετικά παχύρευστα. Τα ρευστά αυτά εμφανίζουν αυξημένο φαινομενικό ιξώδες με αύξηση του ρυθμού παραμόρφωσης. Στην κατηγορία αυτή μπορούν να ενταχθούν τα υδατικά αιωρήματα αμυλοκόκκων με μεγάλη συγκέντρωση στερεών. (Steffe, 1996) Όταν $\sigma_0 \neq 0$ τότε τα ρευστά ονομάζονται πλαστικά Bingham και στην περίπτωση αυτή για να αρχίσει η παραμόρφωση θα πρέπει η διατμητική τάση να ξεπεράσει την οριακή τάση η οποία χρειάζεται να εφαρμοστεί για να αρχίσει να ρέει το ρευστό (Ραφαηλίδης, 2006).

2.4.3.2. Χρονικά- εξαρτώμενα

Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται τα θιξοτροπικά και τα ρεοπηκτικά ρευστά. Στα ρευστά αυτά η διατμητική τάση εξαρτάται από τον ρυθμό παραμόρφωσης, τη διάρκεια εφαρμογής καθώς και τον χρόνο που παρεμβάλλεται μεταξύ διαδοχικών μετρήσεων.

Θιξοτροπικά ονομάζονται τα ρευστά εκείνα στα 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. Η δομή των ρευστών αυτών επανέρχεται πλήρως με την απομάκρυνση της τάσης αφού όμως παρέλθει κάποιος χρόνος.

Ρεοπηκτικά ονομάζονται τα ρευστά εκείνα στα οποία το ιξώδες αυξάνεται με το χρόνο.

Επίσης το ιξώδες των ρευστών αυτών επανέρχεται στην αρχική του τιμή μετά την απομάκρυνση της τάσης και εφόσον δεν έχουμε αλλαγή φάσεων ή άλλες φυσικοχημικές μεταβολές κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης. Στα τρόφιμα που παρουσιάζουν ρεοπηξία τα συστατικά τους τείνουν να συσσωματώνονται και να σχηματίζουν τρισδιάστατα πλέγματα που προσδίδουν κάποιο βαθμό ακαμψίας στην υφή. Τα πλέγματα αυτά προκύπτουν από αλληλεπιδράσεις διαφόρων χαρακτηριστικών ενεργών ομάδων μεταξύ τους (Steffe, 1996).

2.4.4. Ιξωδοελαστικά ρευστά

Το ιξώδες είναι μία ιδιότητα που όλα τα ρευστά έχουν, είτε παρουσιάζουν και ελαστική συμπεριφορά είτε όχι. Ωστόσο πολλά φαινόμενα δεν μπορούν να εξηγηθούν πλήρως λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ιξώδες των ρευστών και γι' αυτό είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και η ελαστική τους συμπεριφορά. Κατά την παραμόρφωσή τους υπό σταθερές συνθήκες, τα ιξωδοελαστικά ρευστά αναπτύσσουν τάσεις και ο προσδιορισμός τους επιτρέπει την εκτίμηση της ελαστικότητάς τους. Η εκτίμηση της ιξωδοελαστικότητας μπορεί ακόμη να γίνει με την παραμόρφωση του υλικού υπό μη σταθερές συνθήκες. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες των πειραμάτων υπό μη σταθερές συνθήκες είναι οι δοκιμές αιφνίδιας μεταβολής τάσης ή αλλιώς μεταβατικές (transient tests) και οι ταλαντωτικές (oscillatory shear flow) (Steffe, 1996).

2.4.5. Παράγοντες που καθορίζουν την ρεολογία των γαλακτωμάτων

Κλάσμα όγκου διεσπαρμένης φάσης: Το ιξώδες ενός γαλακτώματος αυξάνεται αναλογικά με το κλάσμα όγκου διασκορπισμένης φάσης. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις σταγονιδίων, η αύξηση αυτή είναι γραμμική συνάρτηση του κλάσματος όγκου αλλά γίνεται απότομη σε υψηλότερες συγκεντρώσεις. Πάνω από ένα κρίσιμο κλάσμα όγκου διασκορπισμένης φάσης, τα σταγονίδια είναι τοποθετημένα τόσο κοντά ώστε να μην μπορούν εύκολα να ρέουν το ένα μετά το άλλο, και έτσι το γαλάκτωμα αποκτά ιδιότητες πηκτής. Η ακριβής φύση της εξάρτησης του ιξώδους από το κλάσμα όγκου καθορίζεται κυρίως από τη φύση των κολλοειδών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σταγονιδίων (McClements, 1999).

Ρεολογία των φάσεων: Το ιξώδες ενός γαλακτώματος είναι ανάλογο με το ιξώδες της συνεχούς φάσης και συνεπώς κάθε μεταβολή στις ρεολογικές ιδιότητες της συνεχούς φάσης έχει αντίστοιχη επίδραση στη ρεολογία ολόκληρου του γαλακτώματος. Για το λόγο αυτό, η παρουσία ενός πηκτικού παράγοντα στην υδατική φάση ενός γαλακτώματος

ελαίου σε νερό ή η παρουσία ενός κρυσταλλικού δικτύου λίπους στην ελαιώδη φάση ενός γαλακτώματος νερού σε έλαιο καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τις συνολικές ρεολογικές ιδιότητες του συστήματος. Η ρεολογία της διεσπαρμένης φάσης έχει μικρή μόνο επίδραση στη ρεολογία των γαλακτωμάτων τροφίμων επειδή τα σταγονίδια καλύπτονται με μία αρκετά ιξωδοελαστική μεμβράνη, πράγμα που σημαίνει ότι έχουν ιδιότητες παρόμοιες με τις άκαμπτες σφαίρες (McClements, 1999).

Μέγεθος σταγονιδίων: Η επίδραση του μεγέθους των σταγονιδίων και η κατανομή μεγέθους σταγονιδίων στην ρεολογία ενός γαλακτώματος εξαρτάται από το κλάσμα όγκου της διεσπαρμένης φάσης και τη φύση των κολλοειδών αλληλεπιδράσεων. Το ιξώδες των αραιών γαλακτωμάτων είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος των σταγονιδίων όταν δεν υπάρχουν ελκτικές ή απωστικές κολλοειδείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγονιδίων. Το μέγεθος των σταγονιδίων επηρεάζει επίσης το βαθμό συσσωμάτωσης των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα επηρεάζοντας έτσι τη ρεολογία του. Για παράδειγμα όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των συσσωματωμάτων στο γαλάκτωμα τόσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του (McClements, 1999).

Κολλοειδής αλληλεπιδράσεις: Η φύση των κολλοειδών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σταγονιδίων σε ένα γαλάκτωμα αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα που καθορίζει τη ρεολογική του συμπεριφορά. Όταν οι αλληλεπιδράσεις είναι ισχυρές απωστικές το φαινομενικό κλάσμα όγκου της διεσπαρμένης φάσης μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το πραγματικό κλάσμα όγκου, έτσι αυξάνεται το ιξώδες του γαλακτώματος. Όταν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων είναι επαρκώς ελκτικές, το φαινομενικό κλάσμα όγκου της διεσπαρμένης φάσης αυξάνεται λόγω της συσσωμάτωσης των σταγονιδίων, αυξάνοντας πάλι το ιξώδες του γαλακτώματος. Κατά συνέπεια οι ρεολογικές ιδιότητες ενός γαλακτώματος εξαρτώνται από το σχετικό μέγεθος των ελκτικών (κυρίως Van der Waals και υδροφοβικών αλληλεπιδράσεων) και απωστικών (κυρίως ηλεκτροστατικών και στερικών αλληλεπιδράσεων) αλληλεπιδράσεων μεταξύ των σταγονιδίων (McClements, 1999).

Φορτίο σωματιδίων: Το φορτίο των σταγονιδίων ενός γαλακτώματος μπορεί να επηρεάσει τις ρεολογικές ιδιότητες με διάφορους τρόπους. Πρώτον, το φορτίο καθορίζει εάν τα σταγονίδια δημιουργούν συσσωμάτωμα ή όχι όπως επίσης και την ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Δεύτερον, το φορτίο επηρεάζει τη ρεολογία λόγω ηλεκτροϊξώδους φαινομένου. Καθώς τα φορτισμένα σταγονίδια κινούνται μέσα στο υγρό, το νέφος των αντίθετα φορτισμένων ιόντων που το περιβάλλει προκαλεί την παραμόρφωσή τους. Αυτό προκαλεί μια έλξη ανάμεσα στο φορτίο των σταγονιδίων και αυτού που αντιστοιχεί στο ιοντικό νέφος που ακολουθεί. Αυτή η έλξη αντιτίθεται στην κίνηση των σταγονιδίων και ως

εκ τούτου αυξάνει το ιξώδες του γαλακτώματος επειδή χρειάζεται περισσότερη ενέργεια για να προκληθεί η κίνηση των σταγονιδίων με τον ίδιο ρυθμό όπως τα μη φορτισμένα σταγονίδια (McClements, 1999).

2.5. ΜΙΚΡΟΡΕΟΛΟΓΙΑ

Οι γέλες και τα γαλακτώματα τροφίμων είναι συνήθως πολύπλοκα ετερογενή πολυσυστατικά και πολυφασικά συστήματα που αποτελούνται από διασκορπισμένα σωματίδια και μακρομόρια σε διάφορα στάδια οργάνωσης. Η κατανόηση τέτοιων σύνθετων δομών έχει μεγάλη σημασία για τους επιστήμονες τροφίμων. Ως εκ τούτου, απαιτούνται νέες πειραματικές τεχνικές για να καταγραφούν επαρκείς λεπτομέρειες της εγγενούς πολυπλοκότητας των συστημάτων τροφίμων, προκειμένου να διασαφηνιστούν οι υποκείμενοι μηχανισμοί που επηρεάζουν τις αλληλεπιδράσεις των συστατικών τροφίμων και συνεπώς τις φυσικές τους ιδιότητες.

Η μεγάλη πλειοψηφία των τροφίμων είναι γαλακτώματα όπως γάλα και σάλτσες (τυπικά γαλακτώματα κλάσματος μικρού όγκου) και βούτυρο-μαργαρίνη (κλάσμα υψηλού όγκου). Επιπλέον, τα τρόφιμα μπορούν να βρεθούν ως ρευστά σε υψηλές ιξωδοελαστικές καταστάσεις όπως το γιαούρτι και το τυρί. Οι πηκτές και τα γαλακτώματα των τροφίμων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ρεολογικών χαρακτηριστικών, που κυμαίνονται από Νευτώνια υγρά χαμηλού ιξώδους (π.χ. γάλα) έως ιξωδοελαστικά υλικά που παρουσιάζουν τόσο ιξώδη όσο και ελαστική απόκριση (π.χ. σάλτσες σαλάτας, κρέμα) και πλαστικά υλικά (π.χ. βούτυρο, μαργαρίνη). Αυτή η πολυμορφία είναι το αποτέλεσμα της οργάνωσης και αναδιάταξης των συστατικών τροφίμων - κυρίως πρωτεϊνών, πολυσακχαριτών και λιπιδίων - κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τροφίμων και κατά την αποθήκευση (Moschakis, 2013).

2.5.1. Ορισμός

Τον τελευταίο καιρό, έχουν γίνει προσπάθειες να συσχετιστεί η μικροδομή των συστημάτων τροφίμων με τις μακροσκοπικές ιδιότητες και τη σταθερότητά τους. Διάφορες μέθοδοι, όπως η ροομετρία, οι μετρήσεις υπερήχων και, πιο πρόσφατα, η μικρορεολογία έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της δυναμικής των συστημάτων διατροφής. Επιπλέον, η μικροδομή των συστημάτων τροφίμων έχει μελετηθεί με τεχνικές όπως η μικροσκοπία φωτός, η συνεστιακή μικροσκοπία και η ηλεκτρονική μικροσκοπία.

Η μακροσκοπική ρεολογία (μαζική), η οποία μελετά την παραμόρφωση των υλικών παρουσία πίεσης σε συγκεκριμένο χρόνο, έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα σημαντικό και

χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των κολλοειδών τροφίμων με μεγάλη πρακτική σημασία. Ωστόσο, οι μαζικές ρεολογικές μετρήσεις περιγράφουν τη συνολική μηχανική απόκριση ενός υλικού σε μακροσκοπική κλίμακα. Επομένως, δεν παρέχουν καμία πληροφορία σχετικά με τις τοπικές παραλλαγές της μικροδομής και τη συμβολή τους στη συνολική μηχανική απόκριση ενός υλικού.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η προέλευση της συνολικής απόκρισης, είναι επομένως απαραίτητο να διερευνηθεί η ρεολογία σε μικρότερες κλίμακες μήκους. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη τεχνικών για τη μελέτη και τον χαρακτηρισμό της δομής και της δυναμικής των πολύπλοκων ρευστών σε μικροσκοπικό επίπεδο. Αυτές οι δυναμικές πειραματικές τεχνικές είναι γνωστές ως "μικρορεολογία". Η μικρορεολογία είναι μια αναδυόμενη τεχνική, η οποία έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει ορισμένους περιορισμούς της μαζικής ρεολογίας. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση μηχανικών ιδιοτήτων στην κλίμακα μm με μη επεμβατικό τρόπο χρησιμοποιώντας σωματίδια ιχνηθέτη ενσωματωμένα σε πολύπλοκα υγρά. Η κίνηση Brown των σωματιδίων που παρατηρείται, η οποία σχετίζεται με την προκύπτουσα παραμόρφωση, καταγράφεται χρησιμοποιώντας σύγχρονη μικροσκοπία υψηλής ανάλυσης και η κίνηση τους αναλύεται ποσοτικά για την ανίχνευση της τοπικής δυναμικής των ρευστών υλικών. Οι μετατοπίσεις των σωματιδίων του ιχνηθέτη είναι ευαίσθητες στις τοπικές και ελαστικές δυνάμεις καθώς και στις χημικές και στερεοχημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων και του δικτύου. Τα σωματίδια μπορούν είτε να ενσωματωθούν είτε να είναι μέρος του πραγματικού συστήματος. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι κινήσεις πολλών σωματιδίων μπορούν να καταγραφούν ταυτόχρονα, διατηρώντας ταυτόχρονα την πληροφόρηση καθεμιάς από τις μεμονωμένες τροχιές σωματιδίων. Αναλύοντας την κίνηση των σωματιδίων, είναι δυνατόν να ληφθούν ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις ρεολογικές ιδιότητες των πολύπλοκων ρευστών όπως τα γαλακτώματα και οι πηκτές. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να αποκαλύψουν σημαντικές μηχανικές αντιλήψεις για την εξελισσόμενη δυναμική σε κλίμακες μικρότερου μήκους. Επιπλέον, έχει αναφερθεί ότι τα μικρορεολογικά δεδομένα μπορεί να είναι σε άριστη συμφωνία με μηχανικές μακρορεολογικές μετρήσεις (Moschakis, 2013).

2.5.2. Μικρορεολογικές τεχνικές

Οι τεχνικές της μικρορεολογίας ταξινομούνται συνήθως σε δύο κύριες κατηγορίες: ενεργές τεχνικές που απαιτούν χειρισμό σωματιδίων από εξωτερικές δυνάμεις και παθητικές τεχνικές που βασίζονται σε θερμικές διακυμάνσεις των ενσωματωμένων σωματιδίων. Οι παθητικές τεχνικές είναι συνήθως περισσότερο χρήσιμες για τη μέτρηση

δειγμάτων χαμηλού ιξώδους, ενώ οι ενεργές τεχνικές μπορούν να επεκτείνουν το μετρήσιμο εύρος σε δείγματα που περιέχουν σημαντικές ποσότητες ελαστικότητας (Moschakis, 2013).

2.5.2.1. Ενεργές τεχνικές

Η ιδέα του χειρισμού μικροσκοπικών σωματιδίων ανιχνευτή για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων εισήχθη για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1920 όταν ενσωματώθηκαν μαγνητικά σωματίδια για να μελετηθούν ποιοτικά οι μηχανικές ιδιότητες των πηκτών ζελατίνης και του κυτταρικού κυτταροπλάσματος. Έκτοτε, η τεχνική βελτιώθηκε κατασκευάζοντας σωματίδια μαγνήτη υψηλής ακρίβειας χωρίς ανωμαλίες σχήματος για ποσοτικό μικρορεολογικό χαρακτηρισμό. Οι μαγνητικές λαβίδες συνδυάζουν τη χρήση ισχυρών μαγνητών για να χειριστούν τα σωματίδια του μαγνητικού ανιχνευτή με μικροσκοπία βίντεο για την καταγραφή της κίνησης των σωματιδίων κατά την εφαρμογή εξωτερικών ελεγχόμενων κινητήριων δυνάμεων. Δεν υπάρχει σημαντική παραγωγή θερμότητας στο εξεταζόμενο δείγμα. Παρατηρείται μια ομοιόμορφη παραγόμενη δύναμη κατά μήκος των μαγνητικών σωματιδίων στην περιοχή όπου κινούνται οι ανιχνευτές. Μια εναλλακτική ενεργή τεχνική χρησιμοποιεί οπτικά τσιμπιδάκια για να χειριστεί μικρά διηλεκτρικά σωματίδια. Μια πολύ εστιασμένη δέσμη λέιζερ παράγει μια τοπική δύναμη παγίδευσης για το σωματίδιο και ταυτόχρονα απεικονίζεται η κίνηση του σωματιδίου. Μετακινώντας τη δέσμη και παρατηρώντας την απόκριση του σωματιδίου, μπορούν να προσδιοριστούν οι τοπικές ρεολογικές ιδιότητες του μέσου. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μεμονωμένα σωματίδια και μπορεί επίσης να ανιχνεύσει ανομοιογενή υλικά σε υψηλότερες συχνότητες (~ 10 kHz) και πολύ μικρότερες μετατοπίσεις σωματιδίων (Moschakis, 2013).

2.5.2.2. Παθητικές τεχνικές

Σε αυτόν τον τύπο μικρορεολογίας η εγγενής κίνηση Brownian των ενσωματωμένων σωματιδίων χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών. Η μόνη κινητήρια δύναμη για την ανίχνευση των ρεολογικών ιδιοτήτων είναι η θερμική ενέργεια των σωματιδίων. Σε αντίθεση με τις ενεργές μεθόδους μικρορεολογίας, δεν απαιτείται εξωτερική δύναμη. Επειδή η θερμική κινητήρια δύναμη είναι μικρή, τα υλικά πρέπει να είναι σχετικά "μαλακά" (π.χ. διαλύματα πολυμερών) ώστε τα ενσωματωμένα σωματίδια να παράγουν ανιχνεύσιμη κίνηση. Ωστόσο, η μικρή κινητήρια δύναμη υποδηλώνει ότι η παραμόρφωση του δείγματος είναι περιορισμένη και επομένως μόνο η γραμμική ιξωδοελαστική απόκριση του μέσου ανιχνεύεται (Moschakis, 2013).

2.5.3. Παθητικές πειραματικές τεχνικές

Οι πιο συνηθισμένες παθητικές πειραματικές τεχνικές που μετρούν τις ρεολογικές ιδιότητες σε επίπεδο μικροκλίμακας είναι η μικρο-βιοχημεία μονοφασματικής παρακολούθησης λέιζερ, τεχνικές σκέδασης του φωτός και η μικροσκοπία παρακολούθησης πολλαπλών σωματιδίων (Moschakis, 2013).

2.5.3.1. Μικρο-βιοχημεία μονοφασματικής παρακολούθησης λέιζερ

Στην μικροσκοπία παρακολούθησης λέιζερ μονοσωματιδίων, ένα φως λέιζερ στοχεύει ακριβώς ένα σωματίδιο, το οποίο παρατηρείται με μικροσκόπιο με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η τεχνική είναι παρόμοια με τα οπτικά τσιμπιδάκια, εκτός από το γεγονός ότι η ισχύς του λέιζερ και συνεπώς οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις είναι ελάχιστες. Ανακαλύπτεται η εκτροπή της δέσμης λέιζερ από το κινητό σωματίδιο του ανιχνευτή. Η τροχιά του σωματιδίου παρακολουθείται και συσχετίζεται με την ιξωδοελαστική απόκριση του εξεταζόμενου υλικού. Αυτή η τεχνική έχει ανάλυση κάτω από το μέγεθος του νανόμετρου και μπορεί να μετρήσει την μετατόπιση του σωματιδίου σε πολύ μικρότερες χρονικές κλίμακες (συχνότητες μέχρι 100 kHz). Ωστόσο, τα στατιστικά στοιχεία είναι πολύ χαμηλά, καθώς παρακολουθείται ένα μοναδικό σωματίδιο. Επιπλέον, το ελεύθερα κινούμενο σωματίδιο μπορεί να διαχέεται από την ακτίνα λέιζερ σχετικά γρήγορα, ανάλογα με την ιξωδοελαστικότητα του υλικού, και έτσι τα στατιστικά στοιχεία της χαμηλότερης συχνότητας να μην είναι αξιόπιστα (Moschakis, 2013).

2.5.3.2. Τεχνικές σκέδασης φωτός

Οι τεχνικές σκέδασης φωτός μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε ομοιογενή δείγματα και κατά μέσο όρο σε ένα μεγάλο σύνολο σωματιδίων. Επομένως, αυτές οι τεχνικές έχουν καλύτερη στατιστική ακρίβεια. Τα πιο συνηθισμένα πειράματα περιλαμβάνουν δύο διαφορετικές μεθόδους: τη δυναμική σκέδαση φωτός (DLS) και τη φασματοσκοπία διάχυσης κυμάτων. Στη δυναμική διασπορά φωτός οι κινήσεις των σωματιδίων του συνόλου προσδιορίζονται με την ανάλυση της χρονικής αλλαγής του διάσπαρτου φωτός. Καθώς τα σωματίδια διαχέονται και αναδιατάσσονται στο δείγμα, η ένταση φωτός που φθάνει στον ανιχνευτή κυμαίνεται με το χρόνο. Οι διακυμάνσεις της έντασης του διασκορπισμένου φωτός με την πάροδο του χρόνου αποκαλύπτουν τη δυναμική του μέσου. Το DLS εφαρμόζεται συνήθως σε αραιό και διαφανές μέσο κολλοειδών σωματιδίων για να αποφευχθεί η πολλαπλή σκέδαση. Από την άλλη πλευρά, αυτόν τον περιορισμό

εκμεταλλεύεται η διάχυτη φασματοσκοπία κύματος (DWS), η οποία εφαρμόζεται σε αδιαφανή και εξαιρετικά διασκορπιστικά συστήματα, π.χ., γαλακτώματα, κολλοειδή εναιωρήματα και πηκτές. Το DWS έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη κολλοειδών συστημάτων υψηλής διασποράς. Ομοίως, το δείγμα φωτίζεται με μια συνεκτική δέσμη λέιζερ και το εξερχόμενο φως διασκορπίζεται από την μεγάλη ποσότητα των ενσωματωμένων σωματιδίων πολλές φορές (αρκετές χιλιάδες) πριν βγει από το δείγμα. Το DWS μπορεί να εκτελέσει μετρήσεις σε χωρική ανάλυση κοντά στο επίπεδο των sub-nanometer, ενώ οι συχνότητες χρονικής ανάλυσης είναι τόσο υψηλές όσο 1 MHz. Δηλαδή, σε περιοχές μη προσβάσιμες στη συμβατική ρεολογία. Η συνάρτηση συσχέτισης της έντασης μπορεί να μετατραπεί άμεσα σε μια χρονικά εξαρτώμενη μέση τετραγωνική μετατόπιση (MSD) με το πλεονέκτημα του καλύτερου μέσου όρου και της στατιστικής ακρίβειας. Επιπλέον, η DWS έχει τη δυνατότητα να μελετήσει τη δυναμική και την κινητική των συσσωρευτικών συστημάτων χωρίς να χρειάζεται εκτεταμένη αριθμητική ανάλυση. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος απαιτεί σχετικά μεγάλα μεγέθη δειγμάτων και το εγγενές σύνολό τους εξαλείφει τις χωρικές πληροφορίες οπότε αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιείται σε πολυφασικά μέσα.

2.5.3.3. Μικροσκοπία παρακολούθησης πολλαπλών σωματιδίων

Η μικρορεολογία παρακολούθησης πολλαπλών σωματιδίων είναι ίσως η απλούστερη και σχεδόν ισχυρή παθητική μέθοδος. Η μικρορεολογία παρακολούθησης σωματιδίων έχει αυξηθεί ραγδαία λόγω του χαμηλού κόστους, της πειραματικής απλότητας και της ελεύθερης διαθεσιμότητας του λογισμικού παρακολούθησης σωματιδίων. Σε αυτή τη μέθοδο, ένα μεγάλο σύνολο ενσωματωμένων σωματιδίων απεικονίζεται ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας είτε φθορισμό είτε φωτεινή μικροσκοπία πεδίου σε συνθήκες σταθερής θερμοκρασίας. Τα σωματίδια φθορίζοντας ανιχνευτή προσφέρουν την ικανότητα να παρατηρούν σωματίδια νανο-μεγέθους καθώς και την ευκαιρία να μελετήσουν ετερογενή δείγματα με διαφορετικά βαμμένα σωματίδια ιχνηθέτη. Σε ένα τυπικό πείραμα, μια χρονική σειρά εικόνων από το μικροσκόπιο αποκτάται και μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή και στη συνέχεια, μπορούν να μετρηθούν οι τοπικές ιξωδοελαστικές ιδιότητες ενός υλικού. Σε αυτή την τεχνική, η χωρική ανάλυση μπορεί να επιτευχθεί με ακρίβεια pixel, ενώ η χρονική ανάλυση μπορεί εύκολα να επιτευχθεί μέχρι τα 60 Hz (Moschakis, 2013).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μικρορεολογικής παρακολούθησης των παθητικών σωματιδίων συνοψίζονται ως εξής:

- i. Είναι μια τεχνική χαμηλού προϋπολογισμού, καθώς απαιτεί κυρίως ένα

- μικροσκόπιο, μια κάμερα και έναν γρήγορο υπολογιστή.
- ii. Απαιτούνται μόνο μικροί όγκοι δειγμάτων, δηλαδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δαπανηρά και σπάνια υλικά και σε συστήματα που είναι εγγενώς μικρά όπως βιολογικά κύτταρα.
 - iii. Η κινητήρια δύναμη είναι εξαιρετικά μικρή και επομένως δεν υπάρχει παραμόρφωση δείγματος, δηλ. παρατηρούνται μόνο ασήμαντες διαταραχές.
 - iv. Επιπλέον, όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται πάντα στο γραμμικό καθεστώς.
 - v. Δεδομένα από ένα μεγάλο σύνολο μπορούν να ληφθούν ταυτόχρονα, γεγονός που βελτιώνει τα συνολικά στατιστικά στοιχεία των ρεολογικών αποτελεσμάτων.
 - vi. Με την κατάλληλη ανάλυση δίνει την ευκαιρία να εξαχθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις τοπικές ιξωδοελαστικές ιδιότητες του μέσου στην κλίμακα micron.
 - vii. Έχει υψηλή ευαισθησία με ακρίβεια ρίχει, χωρικής διακριτικής ικανότητας ≤ 20 nm και μπορεί να μετρήσει τις ιξωδοελαστικές αποκρίσεις σε σχετικά χαμηλές τιμές σε σύγκριση με τη μαζική ρεολογία.
 - viii. Η μικροφυσιολογία παρακολούθησης πολλαπλών σωματιδίων απαιτεί σχετικά μικρούς χρόνους συλλογής δεδομένων, τυπικά λιγότερο από 1 λεπτό για να μετρηθεί άμεσα τόσο το ιξώδες όσο και η ιξωδοελαστικότητα.

Οι περιορισμοί της παθητικής μικρορεολογίας είναι:

- a. Η κινητήρια δύναμη είναι σταθερή και ως εκ τούτου μπορούν να εξεταστούν μόνο υλικά με σχετικά χαμηλά ιξωδοελαστικά συστήματα (συνήθως μικρότερα από 10 Pa)
- b. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται πάντα στο γραμμικό καθεστώς. Έτσι, οι μη γραμμικές αποκρίσεις δεν μπορούν να μελετηθούν με παθητική μικρορεολογία.
- c. Η μικρορεολογία της παρακολούθησης των σωματιδίων είναι συνήθως κατάλληλη για σχετικά διαφανή υλικά ενώ πολλά συστήματα τροφίμων είναι αρκετά αδιαφανή.
- d. Οι πιθανές επιδράσεις των ζωνών εξάντλησης μπορούν να επηρεάσουν την κίνηση σωματιδίων. Γενικά, τα σωματίδια του ανιχνευτή δεν πρέπει να τροποποιούν τη δομή του υλικού (Carlos et al., 2016).

3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η υφή ενός ημίρρευστου τροφίμου σχετίζεται με τη ρεολογία του μίγματος του εν λόγω τροφίμου με το σάλιο και με τις μεταβολές στη δομή του τροφίμου κατά την αλληλεπίδραση των συστατικών του τροφίμου με αυτά του σάλιου. Καθώς οι ξηροστομικοί έχουν διαφορετική σύσταση και ποσότητα σάλιου, η όλη φυσικοχημική τύχη των τροφίμων στο στόμα τους και εν τέλει η αντίληψη της υφής του τροφίμου είναι τελείως διαφορετικές από αυτές των υγιών ατόμων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι:

- Να μελετηθεί η κροκίδωση γαλακτωμάτων υπό την επίδραση σάλιου υγιών ατόμων.
- Να συγκριθεί η επίδραση του σάλιου υγιών με αυτήν του σάλιου ξηροστομικών ανθρώπων.

Τα αποτελέσματα αναμένεται να παράσχουν πληροφορίες για τις ιδιαιτερότητες που επικρατούν στο στόμα των ατόμων που πάσχουν από ξηροστομία κατά τη στοματική επεξεργασία ημίρρευστων τροφών, με απώτερο σκοπό την πρόταση λύσεων για την βελτίωση της εκλαμβανόμενης υφής των τροφίμων από ξηροστομικά άτομα.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. Υλικά

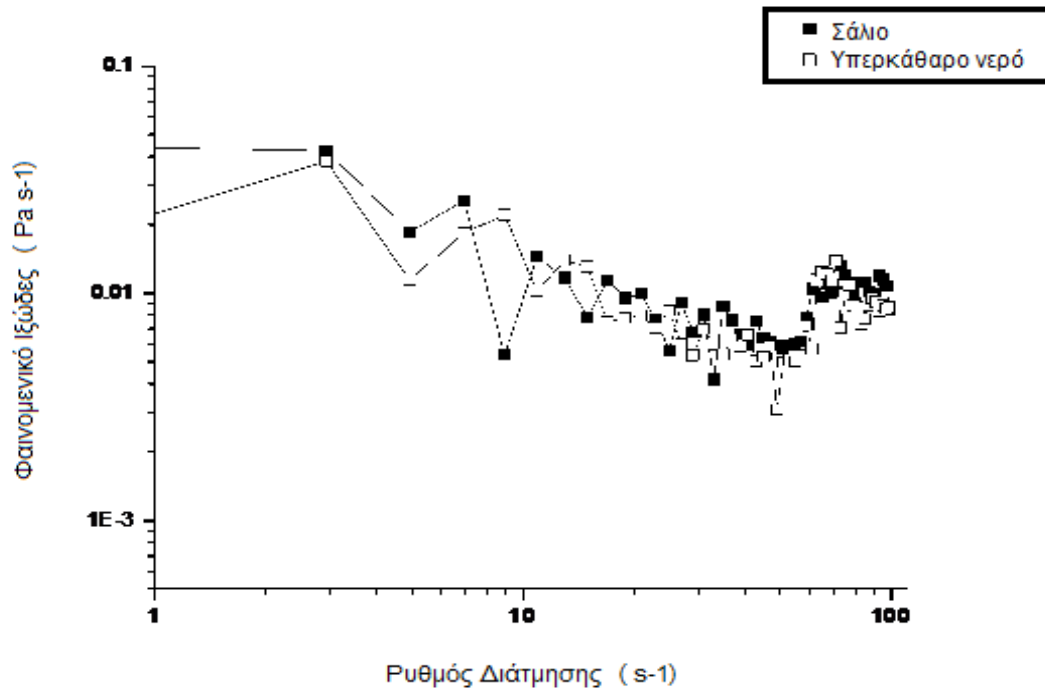
Σε όλα τα πειράματα χρησιμοποιήθηκε υπερκαθαρό νερό (18 ΜΩ) από συσκευή ELGA Purelab Water model Flex 3 apparatus (Veolia Water Technologies, High Wycombe, UK). Το Tween 20 αγοράστηκε από την Sigma-Aldrich (St Louis, MO). Το ερυθρό του Νείλου αγοράστηκε από την TCI (Tokyo Chemical Industry, Japan). Το κόμμι γκουάρ (food grade) παραχωρήθηκε ευγενικά από την εταιρεία υλικών τροφίμων Παπαναστασίου ΑΕ. Το ηλιέλαιο αγοράστηκε από την τοπική αγορά.

4.2. Παρασκευή δειγμάτων

Παρασκευάστηκαν διαλύματα 1% w/v Tween 20 σε υπερκαθαρό νερό. Σε αυτά προστέθηκε ηλιέλαιο ως κλάσμα όγκου $\varphi = 0.3$ και το μίγμα γαλακτωματοποιήθηκε υπό ανάδευση σε ομογενοποιητή υπερήχων Hielscher UP-100H (Hielscher Ultrasonics GmbH, Teltow, Germany) σε λειτουργία συνεχούς ακτινοβολήσης στα 100W και 30kHz επί 60 s. Τα γαλακτώματα που προέκυπταν αναμιγνυόταν σε αναλογία 1:50 με διάλυμα κόμμεος γκουάρ συγκέντρωσης 0.5% w/v ως 3% w/v ή με υπερκαθαρό νερό. Μέρος του προκύπτοντος αραιωμένου γαλακτώματος αναμιγνύονταν με ισόποσο σάλιο 23χρονης υγιούς εθελόντριας ή με σάλιο 90χρονης ξηροστομικής εθελόντριας ή με υπερκαθαρό νερό και μελετούνταν επί τόπου σε συνεστιακό μικροσκόπιο και ροόμετρο.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Το Διάγραμμα 1 παριστά τη ρεολογία γαλακτωμάτων αναμεμιγμένων σε αναλογία 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς εθελόντριας ηλικίας 23 ετών είτε με υπερκαθαρό νερό.

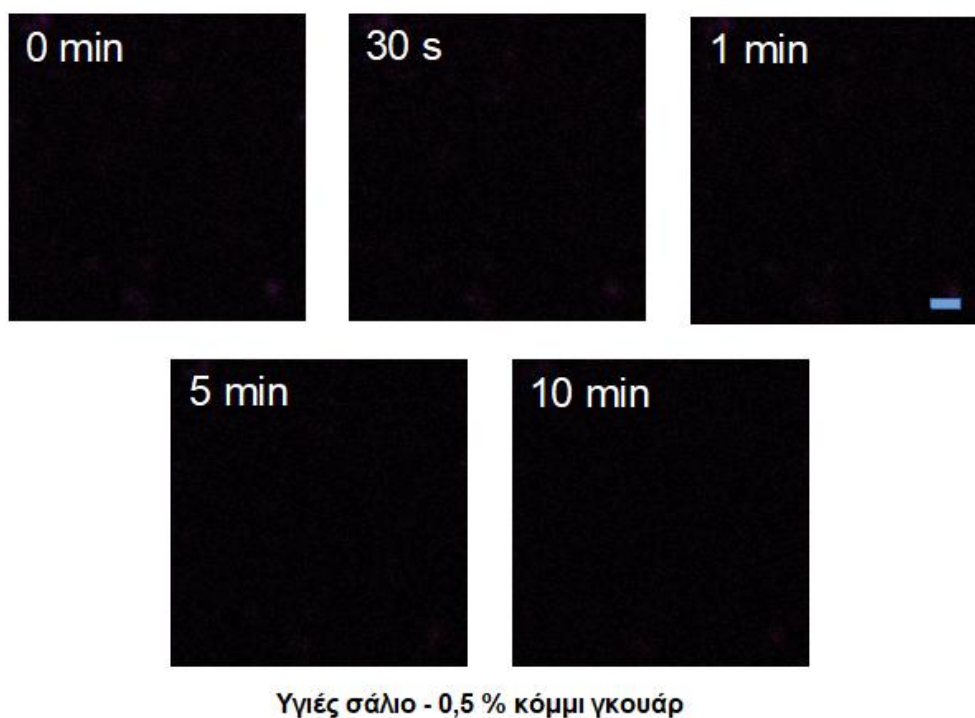


Διάγραμμα 1: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με νερό

Το φαινομενικό ιξώδες απεικονίζεται ως συνάρτηση του ρυθμού διάτμησης. Οι τιμές του ιξώδους βρίσκονται στην τάξη του 0,01 Pa s, με μειωτική τάση του αυξημένου ρυθμού διάτμησης (shear thinning). Η πτώση παρατηρείται μεταξύ 1 s^{-1} και 70 s^{-1} (πτώση από 0,04 ως 0,006) και είναι ίδια για τα δύο αραιωτικά μέσα (νερό και σάλιο). Η αύξηση του ιξώδους μετά το 70 s^{-1} είναι φαινομενική (artefact) και αποδίδεται σε ανάπτυξη δευτερογενών ροών (secondary flows).

Τα παραπάνω δείχνουν ότι το ίδιο το σάλιο της δότριας δεν είναι σε θέση να προκαλέσει κροκίδωση (flocculation), τουλάχιστον τέτοιας έκτασης ώστε να γίνει αντιληπτή με μετρήσεις ρεολογίας. Είναι γνωστό ότι το σάλιο προκαλεί κροκίδωση σε γαλακτώματα (Vinherhoads et al, 2005), αλλά κάτι τέτοιο γενικά αποδίδεται κυρίως σε ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ φορτισμένων ή πολικών συστατικών του σάλιου και ετερόνυμα φορτισμένης διεπιφάνειας των λιποσφαιριδίων (Siletti et al., 2007). Η βλεννίνη, κύριο

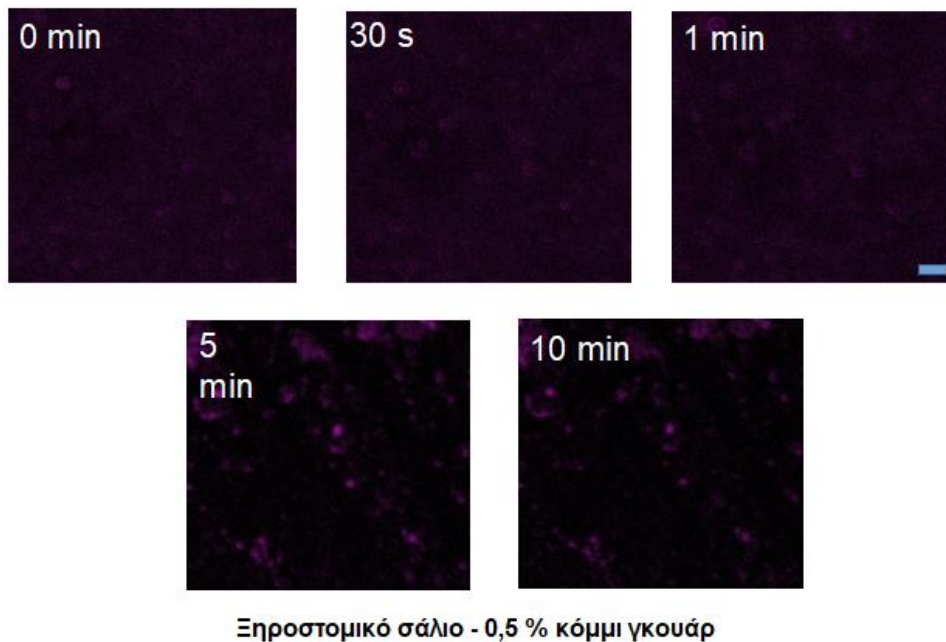
συστατικό του σάλιου, έχει τη δυνατότητα να σχηματίζει ηλεκτροστατικά σύμπλοκα με πρωτεΐνες και, ανάλογα με το pH, να οδηγεί σε κροκίδωση γαλακτώματα σταθεροποιημένα με τις εν λόγω πρωτεΐνες (Ritzoulis et al., 2012). Η ιδιότητα αυτή της βλεννίνης δείχθηκε να οδηγεί σε ηλεκτροστατική κροκίδωση γαλακτώματα υπό την παρουσία τεχνητού σάλιου (Sarkar et al., 2009). Η παρούσα μη-κροκίδωση υπό την επίδραση σάλιου θα πρέπει να αποδοθεί στην απουσία φορτίου στο Tween 20. Η παρούσα ομάδα έχει επιβεβαιώσει ότι τέτοια συστήματα δεν κροκιδώνονται παρουσία βλεννίνης (Koukoura et al., 2019).



Σχήμα 4: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 0,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 0,25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

Καθώς η παρουσία σάλιου του υγιούς δότη δεν οδήγησε σε αυθόρμητη κροκίδωση, στα γαλακτώματα προστέθηκε κόμμι γκουάρ, το οποίο αυξάνει το ιξώδες και μπορεί να οδηγήσει σε κροκίδωση από εκκένωση (depletion flocculation).

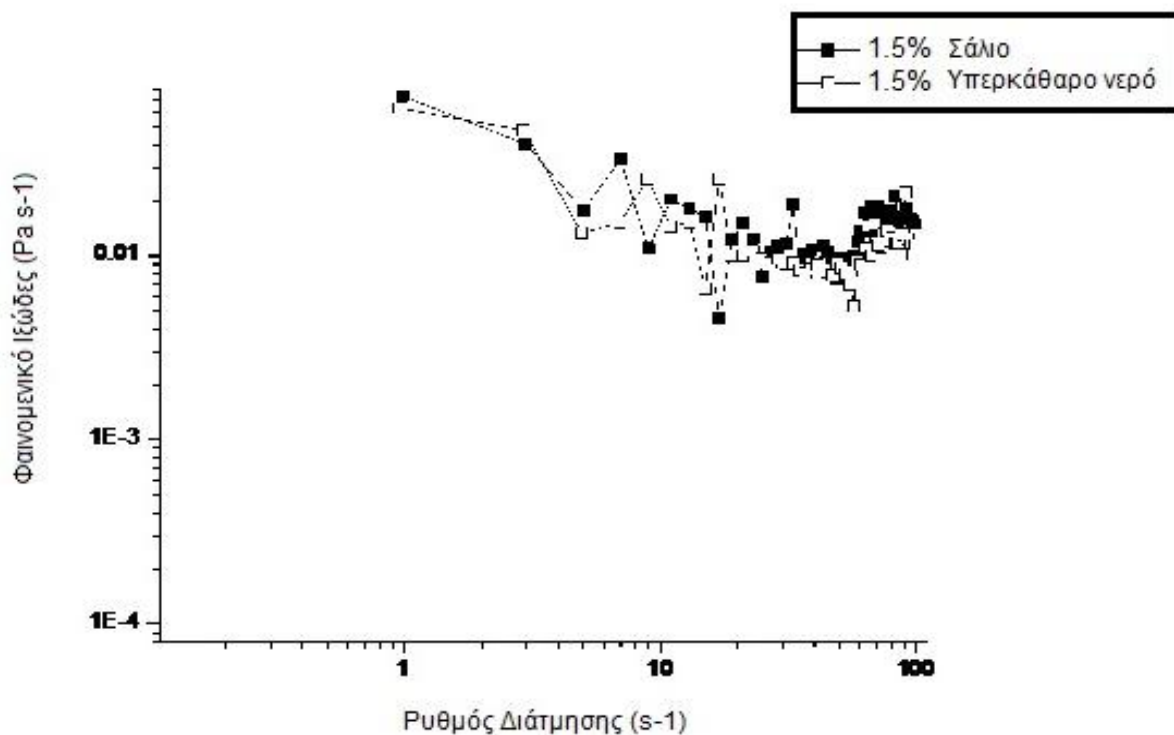
Το παραπάνω Σχήμα 4 δίνει τη χρονική εξέλιξη της μικροδομής γαλακτώματος με 0.5% κόμμι γκουάρ (τελική με αραιώση στο σάλιο 0,25%), ενώ φαίνεται ότι μικροσκοπικά το γαλάκτωμα παραμένει ομογενές και αμετάβλητο. Προφανώς η συγκέντρωση κόμμεος γκουάρ δεν είναι ικανή να προκαλέσει κροκίδωση λόγω εκκένωσης (depletion flocculation). Τα ρεογραφήματα των συστημάτων αυτών δε διαφέρουν από αυτά χωρίς γκουάρ (ίδη παραπάνω). Κρίθηκε σκόπιμο να αυξηθεί περαιτέρω η συγκέντρωση του γκουάρ προκειμένου να παρατηρηθεί κατ' αρχήν κροκίδωση.



Ξηροστομικό σάλιο - 0,5 % κόμμι γκουάρ

Σχήμα 5: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 0,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο ξηροστομικού δότη (τελική συγκέντρωση 0,25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

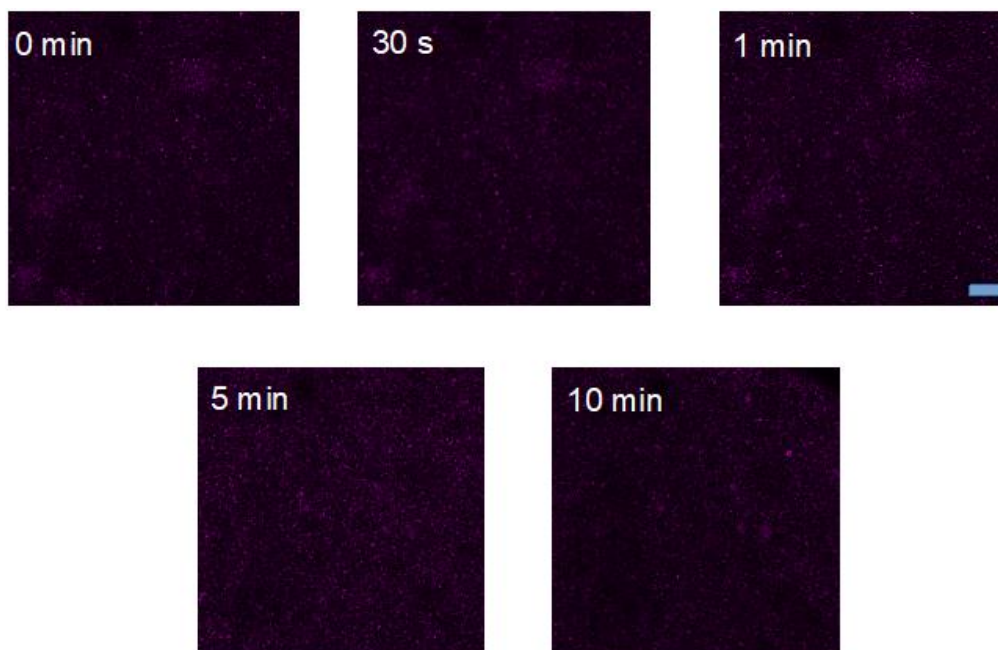
Η αίσθηση της υψής ενός παχύρρευστου τροφίμου σχετίζεται με την ανάμιξή του με το σάλιο. Στην περίπτωση των ξηροστομικών ατόμων, η ανάμιξη αυτή αναμένεται να έχει αποτελέσματα διαφορετικά από αυτά των υγιών ατόμων. Στο παραπάνω Σχήμα 5 παρίσταται η μικροδομή μιγμάτων γαλακτώματος με σάλιο ξηροστομικού δότη. Η εικόνα είναι τελείως διαφορετική από αυτήν του σάλιου από υγιή δότη (προηγούμενη σελίδα): Τα γαλακτώματα εμφανίζονται εμφανώς κροκιδωμένα, ενώ με παρέλευση 5 min ο διαχωρισμός φάσεων είναι σαφής. Η παρούσα ομάδα έχει δείξει ότι πάνω από μία συγκέντρωση βλεννίνης, η τελευταία προκαλεί κροκίδωση από εκκένωση (depletion flocculation) πέραν της ηλεκτροστατικής κροκίδωσης (Rousi et al., 2014). Καθώς η κύρια διαφορά του ξηροστομικού σάλιου από το υγιές είναι η απόλυτη ποσότητα νερού (που οδηγεί σε μεγαλύτερη συγκέντρωση βλεννινών και άλλων πρωτεϊνών), είναι προφανές ότι η έντονη κροκίδωση οφείλεται σε κροκίδωση από εκκένωση λόγω της υψηλότερης συγκέντρωσης βλεννινών και άλλων πρωτεϊνών στο ξηροστομικό σάλιο.



Διάγραμμα 2: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 0,5% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 0,75% κόμμι γκουάρ)

Κατά τα παραπάνω υπάρχει λοιπόν σαφής διαφορά στην εξέλιξη της κροκίδωσης και σταθερότητας εν γένει ενός γαλακτώματος στο στόμα ενός υγιούς και ενός ξηροστομικού ατόμου. Προφανώς τέτοιες διαφορές εκδηλώνονται και ως μεταβολές στην υφή του προσλαμβανόμενου τροφίμου.

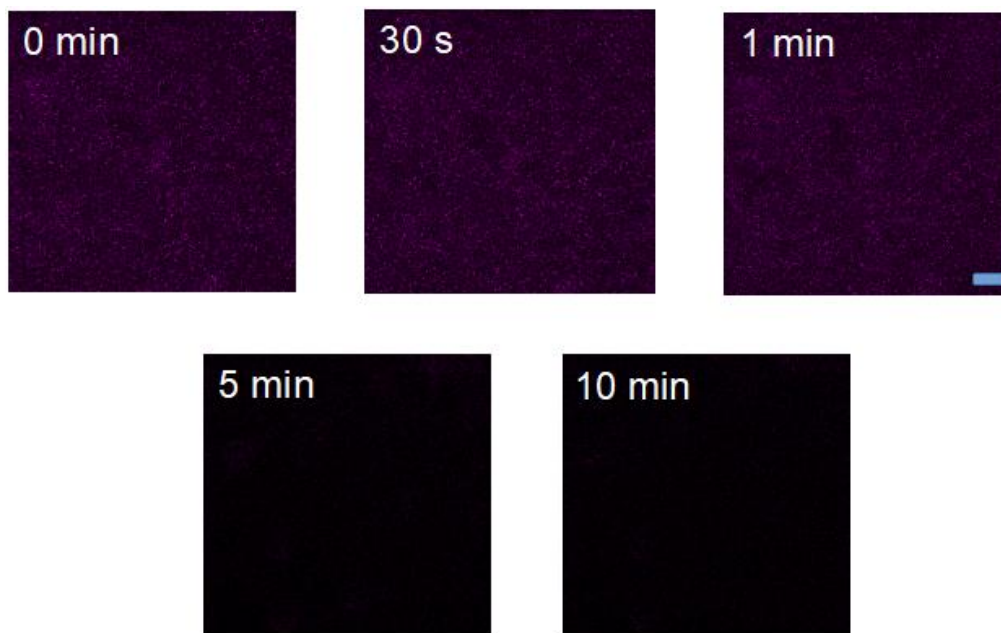
Για την περαιτέρω διερεύνηση αυτού, η συγκέντρωση του γκουάρ αυξήθηκε σε 1,5% στο γαλάκτωμα, ώστε με την αραιώση με σάλιο να φτάσει στο 0,75%, οριακά κάτω από την κρίσιμη συγκέντρωση c^* του πολυσακχαρίτη. Προσθήκη σάλιου υγιούς ατόμου και νερού έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα: Το φαινόμενο ιξώδες έχει πτωτική τάση με αυξούμενο ρυθμό διάτμησης (πέριξ του 0.01 Pa s), κάτι αναμενόμενο από γαλακτώματα μη κροκιδωμένα ή ελαφρά κροκιδωμένα. Παρόλα αυτά, η προσθήκη σάλιου δεν οδηγεί σε διαφορά σε σχέση με την προσθήκη νερού. Προφανώς, καθώς δεν υφίστανται ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις εξαιτίας του μη-φορτισμένου στρώματος (ίδη παραπάνω), και καθώς οι συγκεντρώσεις βλεννίνης και άλλων πρωτεϊνών είναι μικρές, δεν ξεπερνιέται κάποιο κατώφλι συγκέντρωσης ώστε να προκληθεί κροκίδωση από εκκένωση.



Υγιές σάλιο - 1,5% κόμμι γκουάρ

Σχήμα 6: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 0,75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

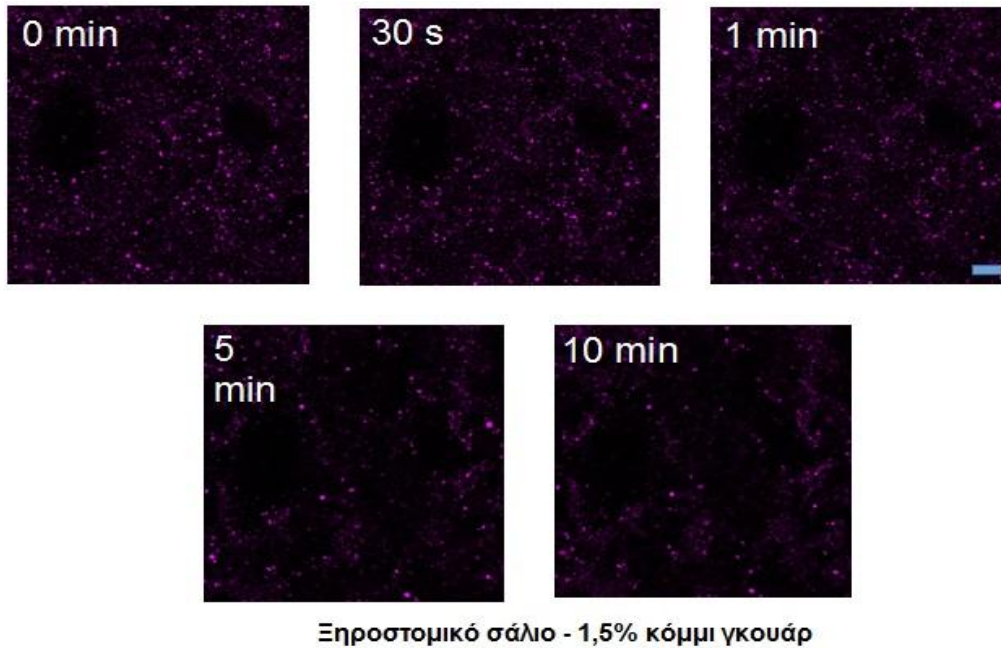
Τα παραπάνω μικρογραφήματα δείχνουν τη χρονική εξέλιξη των παραπάνω γαλακτωμάτων των αναμεμιγμενων με σάλιο υγιούς δότη. Κάποια κροκίδωση εκφάνεται από την ετερογένεια της χρωματικής έντασης, καθώς τα λιποσφαιρίδια είναι χρωματισμένα με φθορίζον ερυθρό του Νείλου. Προφανώς η συνδυαστική συγκέντρωση γκουάρ και πρωτεϊνών του σάλιου φέρνουν τη συγκέντρωση των μακρομορίων οριακά σε θέση να προκαλέσουν εκκένωση.



Υπερκάθαρο νερό - 1,5% κόμμι γκουάρ

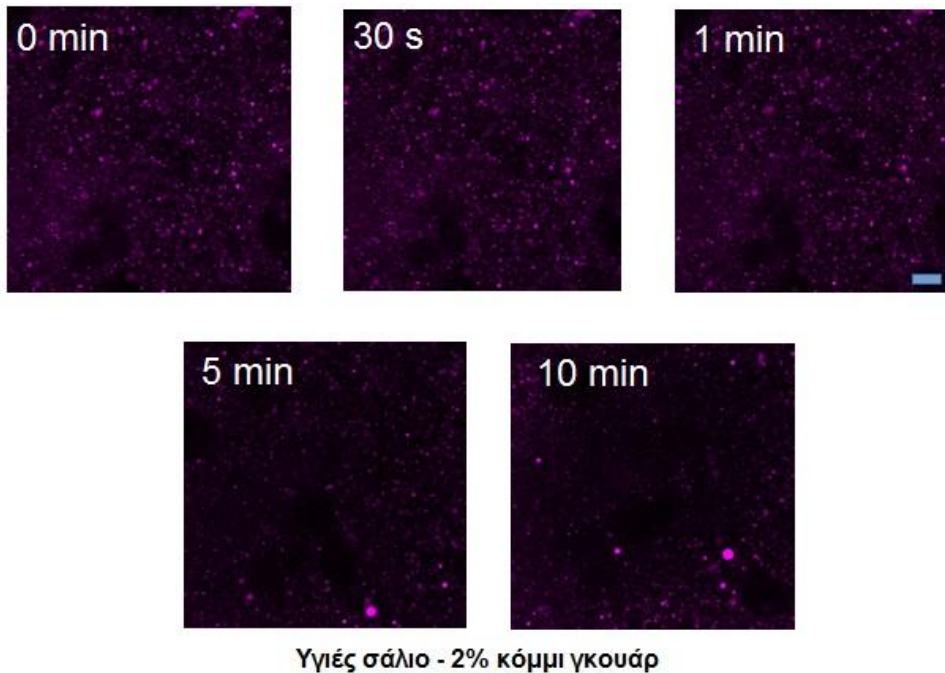
Σχήμα 7: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 0.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

Κατά τα παραπάνω δημιουργείται το εξής ερώτημα: Πόση είναι η συνεισφορά των πρωτεϊνών του σάλιου (σε σχέση με το γκουάρ) στην πρόκληση της κροκίδωσης; Για την απάντηση στην ερώτηση αυτή η αραίωση του γαλακτώματος έγινε με νερό στη θέση του σάλιου: Σε συμφωνία με τη ρεολογία, μπορεί κάποιος να δει ότι η μικροδομή δεν άλλαξε. Το παραπάνω σημαίνει ότι το σάλιο του υγιούς δότη ελάχιστη συνεισφορά είχε στην κροκίδωση του γαλακτώματος, το οποίο ουσιαστικά κροκιδώνεται λόγω του γκουάρ.



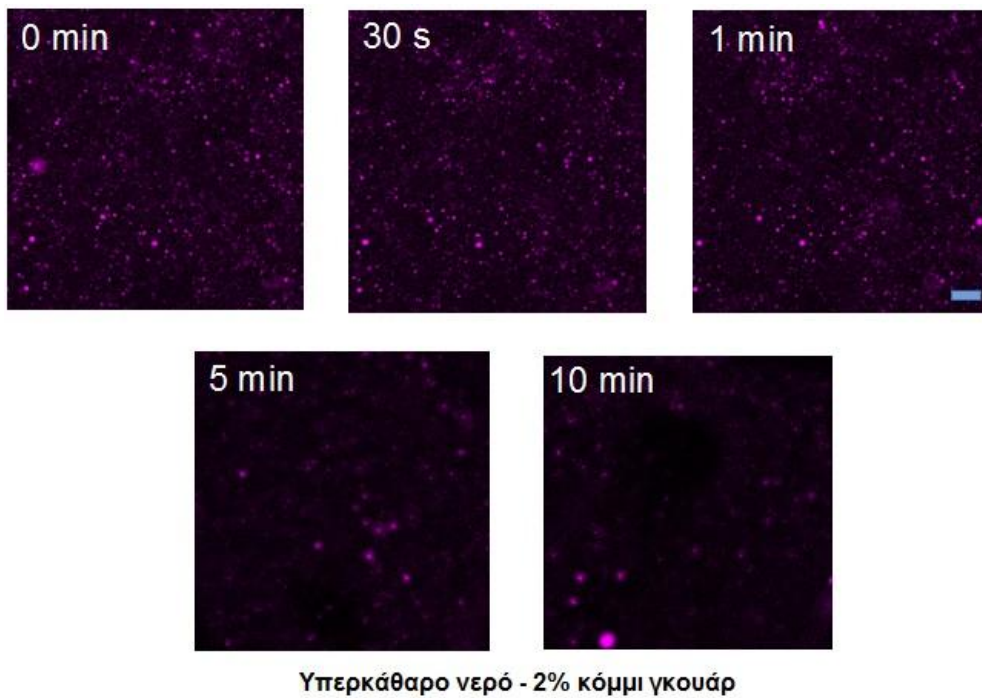
Σχήμα 8: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 1,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο ξηροστομικού δότη (τελική συγκέντρωση 0.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

Το σενάριο αλλάζει δραματικά αν, στη θέση του σάλιου υγιούς ατόμου, το γαλάκτωμα αραιωθεί με σάλιο ξηροστομικού: Όπως και στη μικρότερη συγκέντρωση γκουάρ, η κροκίδωση είναι άμεση και έντονη: Από το πρώτο δευτερόλεπτο εμφανίζονται εντονότατα διακριτές φάσεις, με τα λιποσφαιρίδια να έχουν κροκιδωθεί σε διακριτές περιοχές. Αυτό πρέπει να αποδοθεί σε κροκίδωση από εκκένωση λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης βλεννίνης και άλλων πρωτεϊνών στο ξηροστομικό σάλιο. Ακόμη μία φορά γίνεται προφανές ότι στο στόμα των ξηροστομικών τα φυσικοχημικά γεγονότα που επάγονται της εισαγωγής ενός κολλοειδούς τροφίμου είναι τελείως διαφορετικά αυτών στο στόμα ενός υγιούς ατόμου. Αξιοσημείωτη επίσης είναι η ύπαρξη σκοτεινών περιοχών, οι οποίες στοιχειοθετούν την ύπαρξη γαλακτώματος νερού σε νερό (water-in-water emulsion), προφανώς λόγω του διαχωρισμού φάσεων μεταξύ του γκουάρ και του σάλιου.



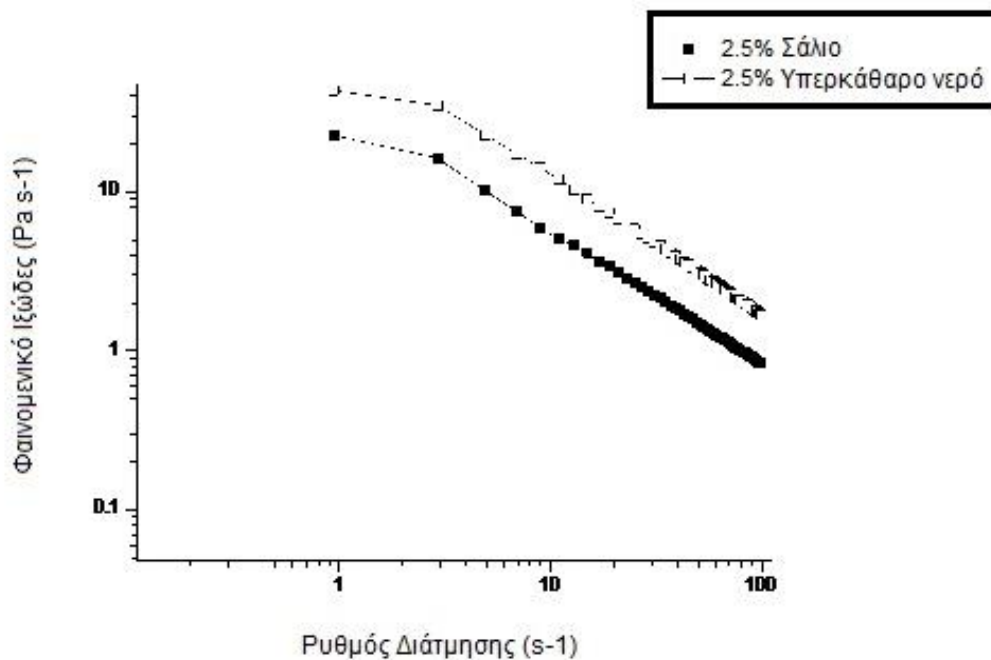
Σχήμα 9: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

Στο Σχήμα 9 δίνεται η εξέλιξη της μικροδομής γαλακτώματος με μεγαλύτερη συγκέντρωση κόμμεος γκουάρ (2%) αναμεμιγμένου με σάλιο υγιούς ατόμου. Όπως και στην περίπτωση του επόμενου σχήματος (μίγμα με νερό), η κροκίδωση είναι εμφανής από την αρχή και οφείλεται στην μεγάλη συγκέντρωση κόμμεος γκουάρ.



Σχήμα 10: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

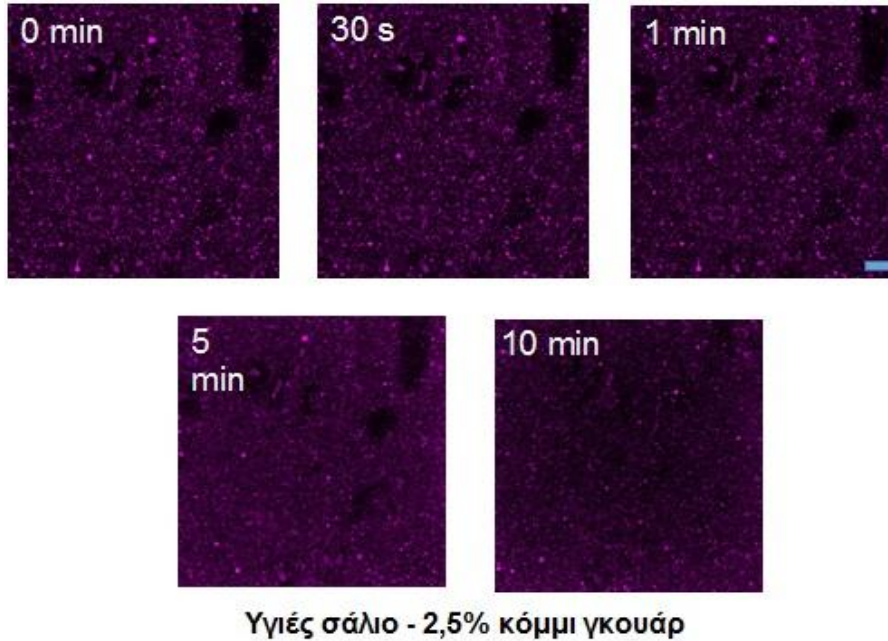
Η συνεισφορά του σάλιου είναι δύσκολο να συναχθεί σε αυτήν την περίπτωση, καθώς τα μικρογραφήματα παρουσία και απουσία σάλιου είναι παρόμοια.



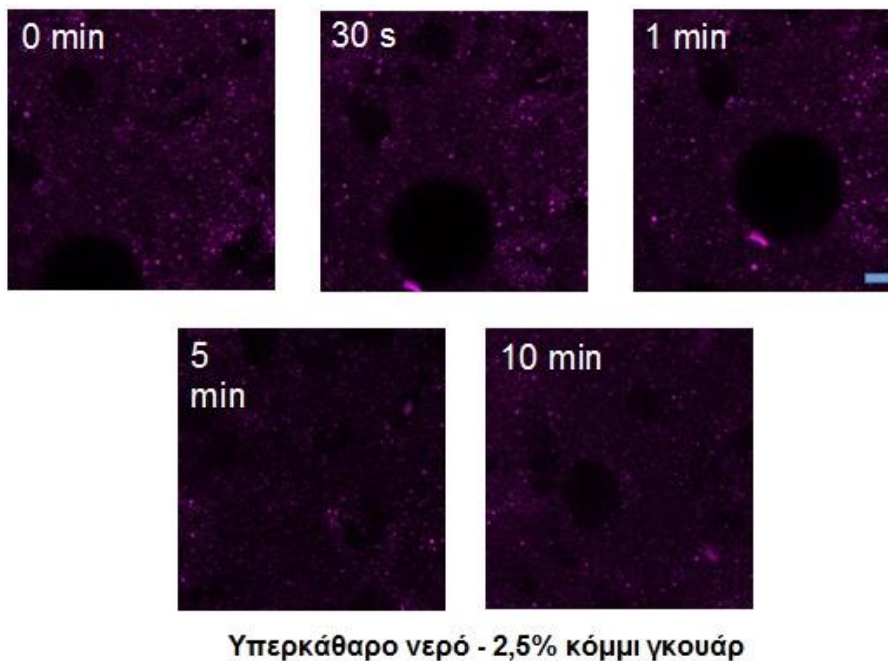
Διάγραμμα 3: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,03 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 2,5% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 1.25% κόμμι γκουάρ)

Η ομοιότητα των γαλακτωμάτων επιβάλλει τη συμπληρωματική χρήση μίας πρόσθετης μεθόδου. Στο παραπάνω Διάγραμμα 3 η ρεολογία χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη μικρών διαφορών στη ροή μεταξύ γαλακτωμάτων με 3% γκουάρ αναμεμιγμένων με σάλιο (ανοιχτά σύμβολα) και νερό (κλειστά σύμβολα) με τελική συγκέντρωση γκουάρ 1,5% κατόπιν ανάμιξης με σάλιο και νερό. Όπως φαίνεται, τα ρεογράμματα καταδεικνύουν σαφώς κροκιδωμένα γαλακτώματα με το φαινομενικό ιξώδες παρουσία σάλιου να είναι τριπλάσιο από αυτό απουσία του.

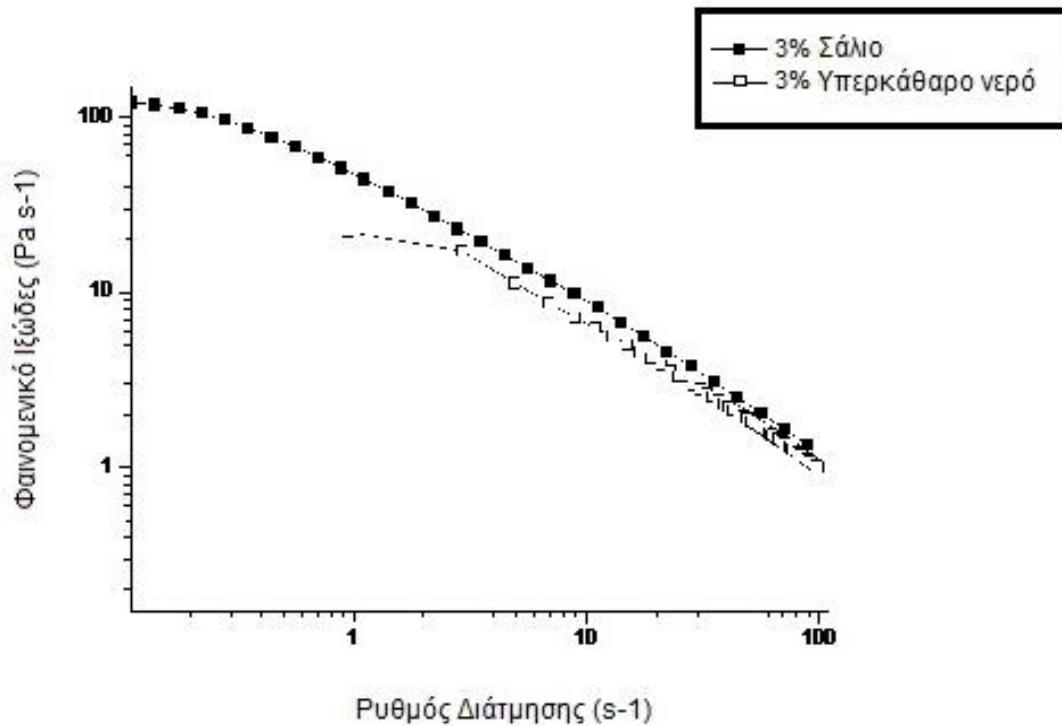
Τα παραπάνω μπορούν αν διασταυρωθούν με τα μικρογραφήματα που λαμβάνονται επί τη αναμίξει του γαλακτώματος με σάλιο και με νερό, τα οποία παρουσιάζουν διαφορετικά μοτόβα διαχωρισμού φάσεων. Περισσότερη συζήτηση επ' αυτού θα προαπαιτούσε ανάλυση εικόνας, κάτι που δεν είναι διαθέσιμο την παρούσα στιγμή.



Σχήμα 11: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με κόμμι γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

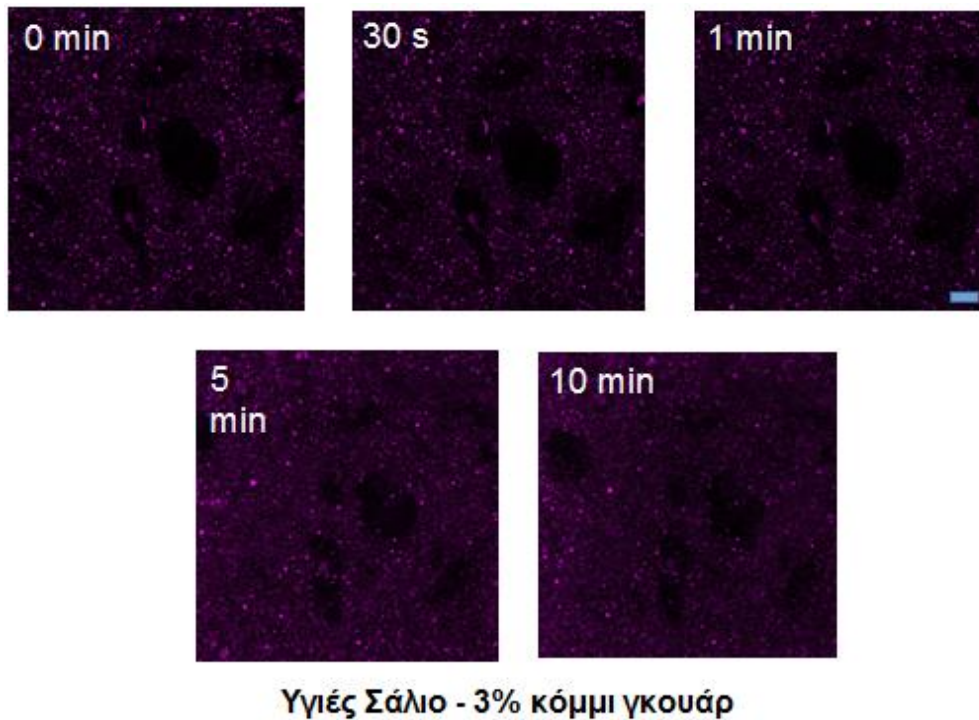


Σχήμα 12: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με κόμμι γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1.25% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

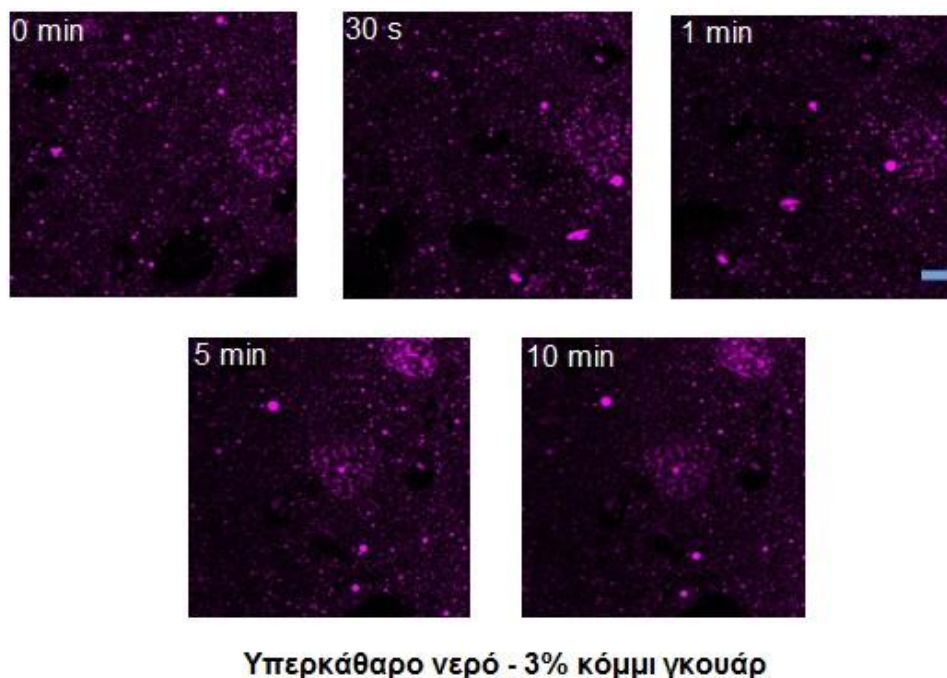


Διάγραμμα 4: Ρεογράμματα μιγμάτων γαλακτωμάτων κλάσματος όγκου 0,03 λαδιού σε νερό. Τα μαύρα τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη· τα λευκά τετράγωνα παριστάνουν μίγματα 1:1 κατ' όγκο με νερό. Τα γαλακτώματα περιείχαν 3,0% κόμμεος γκουάρ αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο (τελική συγκέντρωση 1.5% κόμμι γκουάρ)

Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης του γκουάρ οδηγεί σε συστήματα που κυριαρχούνται από το υδροκολλοειδές (ίδη το παραπάνω ρεόγραμμα) με ιξώση στα 100 Pa s, τα οποία δεν επηρεάζονται προφανώς από το σάλιο. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί ως ομοιότητες μεταξύ των μικρογραφημάτων που λαμβάνονται με ανάμιξη με σάλιο ή με νερό: Το μοτίβο των έντονων διαχωρισμών φάσεων είναι παρόμοιο και προφανώς ανεξάρτητο του σάλιου. Επίσης αξιοσημείωτη είναι η ανάπτυξη γαλακτωμάτων νερού σε νερό από το διαχωρισμό φάσεων του κόμμεος γκουάρ.



Σχήμα 13: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 3% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με σάλιο υγιούς δότη (τελική συγκέντρωση 1.5% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα



Σχήμα 14: Μικρογραφήματα της χρονικής εξέλιξης της δομής γαλακτώματος κλάσματος όγκου 0,003 λαδιού με περιεκτικότητα κόμμεος γκουάρ 2,5% αναμεμιγμένου 1:1 κατ' όγκο με νερό (τελική συγκέντρωση 1.75% κόμμι γκουάρ). Η ράβδος αναπαριστά 2 μικρόμετρα

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η ανάμιξη με σάλιου υγιούς ατόμου δεν επηρεάζει τη σταθερότητα γαλακτωμάτων μικρού κλάσματος όγκου λιπαρής φάσης με γκουάρ.
- Η ανάμιξη με σάλιο ξηροστομικού ατόμου κροκιδώνει έντονα γαλακτώματα μικρού κλάσματος όγκου παρουσία γκουάρ, κάτι που δε συμβαίνει με το σάλιο υγιών ατόμων.
- Κατά τα παραπάνω, η κροκίδωση των γαλακτωμάτων και συνεπώς οι μεταβολές στη ρεολογία και την υφή είναι διαφορετικές μεταξύ υγιών και ξηροστομικών ατόμων.
- Η επίδραση του σάλιου είναι σημαντικότερη όταν το επιπρόσθετο υδροκολλοειδές (γκουάρ) βρίσκεται σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις.
- Η κροκίδωση λόγω των βλεννινών και άλλων πρωτεϊνών του σάλιου οφείλεται σε κροκίδωση από εκκένωση (depletion flocculation).

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Ανάλυση εικόνας των μικρογραφημάτων.
- Ενδεδειγμένη δειγματοληψία σάλιου υγιών και ξηροστομικών ατόμων.
- Χαρακτηρισμός της σύστασης του συλλεχθέντος σάλιου πριν τα πειράματα ανάμιξης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Μπιλιαδέρης, Γ. Κων/νου. (2007-2008). Φυσικοχημεία Τροφίμων Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

Ραφαηλίδης, Σ.Ν. (1987). Σημειώσεις Μηχανικής Τροφίμων 1 Α.Τ.Ε.Ι.Θ., Θεσσαλονίκη

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Bak, A. and Podgorska, W. (2016). Interfacial and surface tensions of toluene/water and air/water systems with nonionic surfactants Tween 20 and Tween 80. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 504, pp. 414-425.

Lu, J. and Corvalan, C.M. (2016). Soft food microrheology, *Current Opinion in Food Science*, 9, pp. 112-116.

Coulter, T.P. (2009). Food: The Chemistry of its Components/ Polysaccharides, (5th edition), RCS Publishing, Cambridge, UK

Drago, S.R., Panouille, M., Saint-Eve, A., Neyraud, E., Feron, G. and Souchon, I. (2011). Relationships between saliva and food bolus properties from model dairy products. *Food Hydrocolloids*, 25, pp. 659-667.

Koukoura, E., Panagiotopoulou, M., Pavlou, A., Karageorgiou, V., Fatouros, D.G., Vasiliadou, C. and Ritzoulis, C. (2019). In vitro digestion of caseinate and Tween 20 emulsions. *Food Biophysics*, 14, pp. 60-68.

Lissant, K.J. (1974). Food emulsions and emulsion technology, 253-258, Marcel Dekker, New York

Llena, C.P. (2006). The role of saliva in maintaining oral health and as an aid to diagnosis. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 11, pp. 449-455.

McClements, D.J. (2005). Food emulsions: Principles, practice and techniques, pp 185-233, Crc press, Boca Raton London New York Washington

Prajapat, A.L. and Gogate, P.R. (2015). Depolymerization of guar gum solution using

different approaches based on ultrasound and microwave irradiations, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 88, pp. 1-9.

Prasad, V., Semwogerere, D. and Weeks, E.R. (2007). Confocal microscopy of colloids, *Journal of physics: Condensed Matter*, 19, 2-3, 7-8

Ritzoulis, C., Siasios, S., Melikidou, K.D., Koukiotis, C., Vasiliadou, C. and Lolakos, S. (2012). Interactions between pig gastric mucin and sodium caseinate in solutions and in emulsions. *Food Hydrocolloids*, 29(2), pp. 382-388.

Rossettia, D., Ravera, F. and Liggieri, L. (2013). Effect of tea polyphenols on the dilational rheology of Human WholeSaliva (HWS): Part 1, HWS characterization. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 110, pp. 466-473.

Rousi, Z., Ritzoulis, C. and Karayannakidis, P.D. (2014). Emulsion Flocculation and Stability in a Simple in Vitro Gastrointestinal Model. *Food Digestion*, 5, pp. 1-7.

Sarkar, A., Goh, K.K.T. and Singh, H. (2009). Colloidal stability and interactions of milk-protein-stabilized emulsions in an artificial saliva. *Food Hydrocolloids*, 23, pp. 1270-1278.

Silletti, E., Vingerhoeds, M.H., Norde, W. and van Aken, G.A. (2007). The role of electrostatics in saliva-induced emulsion flocculation. *Food Hydrocolloids*, 21, pp. 596-606.

Steffe, J.F. (1996). Rheological methods in food process engineering. Freeman Press & Still Valley Pr. East Lansing, USA

Moschakis, T. (2013). Microrheology and particle tracking in gels and emulsions. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18, pp. 311-323.

Tripathy, S. and Das, M.K. (2013). Guar gum: present status and applications. *Journal of Pharmaceutical & Scientific Innovation*, 2 (4), pp. 24-28.

Vingerhoeds, M.H., Blijdenstein, B.J., Zoet, F.D. and van Aken, G.A. (2005). Emulsion flocculation induced by saliva and mucin. *Food Hydrocolloids*, 19, pp. 915-922.

Wang, K., Li, G. and Zhang, B. (2018). Opposite results of emulsion stability evaluated by the TSI and the phase separation proportion. *Colloids and Surfaces A*, 558, pp. 402-409.

Ying, N.D.J. and Thomson, W.M. (2015). Dry mouth – An overview. *Singapore Dental Journal*, 36, pp. 12–17.