



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**ΜΕΛΕΤΗ ΡΕΟΛΟΓΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ
ΚΑΙ ΔΟΜΗΣ ΠΑΓΩΤΟΥ-ΚΕΦΙΡ**

ΠΑΠΑΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ

Πτυχιούχος Τεχνολόγος Τροφίμων

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια :

Δημητρέλη Γεωργία

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019

Η υποβολή της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής

αποτελεί μέρος των απαιτήσεων

για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης με τίτλο:

«Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη

Βιομηχανία Τροφίμων »

που απονέμει το Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων της

Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και

Διατροφής του

Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης

Μελέτη ρεολογικών ιδιοτήτων και δομής παγωτού-κεφίρ

ΠΑΠΑΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων &
Διατροφής,

Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων, 57400 Θεσσαλονίκη Τ.Θ. 141

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι φυσικοχημικές και ρεολογικές ιδιότητες, καθώς επίσης και η δομή δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, τα οποία διέφεραν μεταξύ τους ως προς τη χημική τους σύσταση. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης με δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης όξινου γαλακτοκομικού προϊόντος (45% και 65%) και δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης ζάχαρης (10% και 18%). Οι φυσικοχημικές αναλύσεις των δειγμάτων περιλάμβαναν τον προσδιορισμό της τιμής pH και της οξύτητας (εκφρασμένη ως περιεκτικότητα % σε γαλακτικό οξύ). Επίσης, προσδιορίστηκαν ο βαθμός διόγκωσης και ο ρυθμός τήξης. Η μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή της δυναμικής δοκιμής και τον προσδιορισμό του φαινομενικού ιξώδους. Οι ρεολογικές μετρήσεις έγιναν σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες (-4°C και 30°C). Η δομή των δειγμάτων μελετήθηκε με τη χρήση συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ παρουσίασαν μεγαλύτερο βαθμό διόγκωσης και μειωμένο ρυθμό τήξης σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Επίσης, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή ελαστικότητας (G') στους -4°C και στους 30°C, καθώς επίσης και μεγαλύτερες τιμές του φαινομενικού ιξώδους στους -4°C σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Η $\tan\delta$ μειώθηκε στα δείγματα παγωτού-κεφίρ σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν πιο συμπαγή δομή σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Η αύξηση του ποσοστού προσθήκης κεφίρ ή γιαούρτης είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των τιμών pH και την αύξηση της οξύτητας. Όσον αφορά το ποσοστό προσθήκης ζάχαρης, η αύξηση του οδήγησε σε μείωση του βαθμού διόγκωσης, του G' στους -4°C και του φαινομενικού

ιξώδους στους -4°C των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης, ενώ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού τήξης και της $\tan\delta$ στους -4°C .

Abstract

The physicochemical and rheological properties, as well as the structure of frozen-kefir and frozen-yoghurt samples differing in their chemical composition were evaluated. Particularly, the samples were prepared using two different concentrations of fermented milk product (45% and 60%) and two different concentrations of sugar content (10% and 18%). Rheological properties of the samples were evaluated using dynamic analysis and by the determination of the apparent viscosity, at two different temperatures (-4°C και 30°C). The pH, acidity (expressed as lactic acid concentration %), overrun and melting rate were also determined. Finally, the structure of the samples was studied using a confocal laser scanning microscope.

According to the results, the frozen-kefir samples exhibited increased overrun and melting rate, when compared to frozen-yoghurt samples. Frozen-kefir samples were also showed increased values of the elastic modulus (G') at -4°C and 30°C , as well as increased values of the apparent viscosity at -4°C , when compared to frozen-yoghurt samples. The values of the $\tan\delta$ were decreased at the frozen-kefir samples. The frozen-kefir samples were exhibited a more compact structure, when compared to frozen-yoghurt samples. Increasing the percentage of kefir or yoghurt added at the ice cream mixture resulted in reducing pH and increasing acidity. As it concerns sugar concentration, its increase resulted in reducing overrun, G' at -4°C and apparent viscosity at -4°C , as well as increasing melting rate and $\tan\delta$ at -4°C of the frozen-kefir and frozen-yoghurt samples.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
2.1. Κεφίρ.....	3
2.1.1. Καλλιέργεια κεφίρ.....	3
2.1.2. Κόκκοι κεφίρ.....	3
2.1.3. Μικροχλωρίδα κόκκων κεφίρ.....	5
2.1.4. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ.....	5
2.1.4.1. Παραδοσιακή τεχνική.....	5
2.1.4.2. Βιομηχανική τεχνική.....	6
2.1.5. Ευεργετικές ιδιότητες και θρεπτική αξία του κεφίρ.....	6
2.2. Γιαούρτη.....	7
2.2.1. Μικροοργανισμοί γιαούρτης.....	7
2.2.2. Τεχνολογία παρασκευής γιαούρτης.....	8
2.2.3. Θρεπτική αξία της γιαούρτης.....	10
2.3. Παγωτό.....	10
2.3.1. Συστατικά παγωτού.....	10
2.3.2. Τεχνολογία παρασκευής παγωτού.....	11
2.3.2 Διατροφική αξία παγωτού.....	14
2.4. Παγωτό-γιαούρτη.....	14
2.4.1. Τεχνολογία παρασκευής.....	14
2.4.1.1. Προσθήκη γιαούρτης στο μίγμα του παγωτού.....	14
2.4.1.2. Άμεση ζύμωση του μίγματος παγωτού.....	15
2.4.2 Διατροφική αξία παγωτού-γιαούρτης.....	16
2.5. Παγωτό-κεφίρ.....	16
2.6.Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του παγωτού.....	17
2.6.1. Ρεολογία.....	17
2.6.2. Δυναμική δοκιμή.....	18
2.6.3. Προσδιορισμός ιξώδους.....	20
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	22
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	23
4.1. Υλικά.....	23
4.2. Παρασκευή δειγμάτων	23
4.2.1. Προετοιμασία του γάλακτος.....	23
4.2.2. Παρασκευή κεφίρ.....	23
4.2.3. Παρασκευή γιαούρτης.....	24

4.2.4. Υπολογισμός των συστατικών του μίγματος παγωτού	24
4.2.5. Παρασκευή παγωτού	25
4.2.6. Κωδικοποίηση δειγμάτων	26
4.3 Φυσικοχημικές αναλύσεις	26
4.3.1. Προσδιορισμός λίπους.....	26
4.3.2. Προσδιορισμός του στερεού υπολείμματος	27
4.3.3. Προσδιορισμός οξύτητας	27
4.3.4. Προσδιορισμός pH	28
4.4. Βαθμός διόγκωσης	28
4.5. Ρυθμός τήξης.....	29
4.6. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων	29
4.6.1. Δυναμική δοκιμή ή δοκιμή ταλάντωσης	30
4.6.2. Προσδιορισμός ιξώδους	30
4.7. Παρατήρηση δειγμάτων στο Confocal.....	31
4.8. Στατιστική ανάλυση	31
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	32
5.1. Βαθμός διόγκωσης δειγμάτων παγωτού.....	32
5.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες.....	33
5.3. Ρυθμός τήξης δειγμάτων	36
5.4. Ρεολογικές ιδιότητες δειγμάτων	39
5.5. Δομή δειγμάτων.....	46
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	54

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφίρ είναι ένα ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν με υψηλή θρεπτική αξία και ιδιαίτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Θεωρείται ένα φυσικό προβιοτικό, εξαιτίας των μικροοργανισμών που περιέχει, προσφέροντας επιπλέον οφέλη στην υγεία των καταναλωτών σε σχέση με τη γιαούρτη που αποτελεί το πιο ευρέως διαδεδομένο ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν (Farnworth, 2005). Επίσης, ο πολυσακχαρίτης κεφιράνη που υπάρχει στο κεφίρ, αναφέρεται ότι έχει σημαντικές λειτουργικές-θεραπευτικές ιδιότητες (συμβάλει στην ενίσχυση του ανοσοποιητικού συστήματος, διαθέτει αντιβακτηριδιακή και αντιμυκητιακή δράση, κ.α) (Farnworth, 2005; Rodrigues et al., 2005).

Το παγωτό είναι ένα γαλακτοκομικό προϊόν που μπορεί να θεωρηθεί ως αφρός αποτελούμενος από φυσαλίδες αέρα, οι οποίες περιβάλλονται από ένα μερικώς παγωμένο γαλάκτωμα (El-Nagar et al., 2002). Το παγωτό συνδυάζει γευστική απόλαυση και διατροφική αξία, καθώς παρουσιάζει αυξημένη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λίπος σε σχέση με το γάλα (Goff & Hartel, 2013). Συνήθως το λίπος είναι το συστατικό που κυμαίνεται σε ευρέα όρια (3%-24%) (Κεχαγιάς, 2011) και η μείωση της συγκέντρωσης του αποσκοπεί κυρίως στην παραγωγή προϊόντων μειωμένης θερμιδικής αξίας που θα προάγουν την υγεία των καταναλωτών.

Το παγωτό-γιαούρτη προτιμάται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια από τους καταναλωτές, τόσο στη χώρα μας όσο και παγκοσμίως, γιατί συνδυάζει τα οφέλη της γιαούρτης με τα αρεστά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του παγωτού, ενώ ταυτόχρονα έχει λιγότερες θερμίδες από το παγωτό. Ωστόσο, το παγωτό-κεφίρ, που συνδυάζει τη θρεπτική και βιολογική αξία του κεφίρ με τις αρεστές οργανοληπτικές ιδιότητες του παγωτού δε διατίθεται στην ελληνική αγορά, παρά μόνο σε αυτήν της Αμερικής. Επίσης, βιβλιογραφικά δεδομένα σχετικά με την παραγωγή και μελέτη των ιδιοτήτων του παγωτού-κεφίρ δεν υπάρχουν.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή παγωτού-κεφίρ και η μελέτη της δομής και των φυσικοχημικών και ρεολογικών ιδιοτήτων του. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου σκοπού παρασκευάστηκαν δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης (τα οποία διέφεραν ως προς τη χημική τους σύσταση), ώστε να είναι

δυνατή η σύγκριση των ιδιοτήτων των δύο διαφορετικών ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων παγωτού.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. Κεφίρ

Το κεφίρ είναι ένα ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν που προέρχεται από τις χώρες που βρίσκονται στην περιοχή του Καυκάσου. Παράγεται από τη δράση βακτηρίων και ζυμών που περιέχονται στους κόκκους κεφίρ (παραδοσιακή καλλιέργεια εκκίνησης). Οι μικροοργανισμοί που περιέχονται στους κόκκους κεφίρ χαρακτηρίζονται από μία σχέση συμβίωσης. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, οι μικροοργανισμοί αυτοί πολλαπλασιάζονται παράγοντας γαλακτικό οξύ και άλλες ενώσεις που είναι υπεύθυνες για τη χαρακτηριστική όξινη και δριμεία γεύση του. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του κεφίρ είναι επίσης η παραγωγή αλκοόλης και διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα προσδίδει στο προϊόν μία αφρώδη υφή. Το κεφίρ παρουσιάζει αυξημένο ιξώδες λόγω της παρουσίας πολυσακχαριτών (Ogles & Cagindi, 2003; Farnworth, 2005). Ο κύριος πολυσακχαρίτης που υπάρχει στο κεφίρ αλλά και στους κόκκους κεφίρ είναι η κεφιράνη (Piermaria et al., 2008).

Το κεφίρ θεωρείται ένα φυσικό προβιοτικό με πολλά οφέλη για την υγεία των καταναλωτών. Σε αυτό συμβάλουν, εκτός από τους μικροοργανισμούς που περιέχει, και τα διάφορα προϊόντα μεταβολισμού που παράγονται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης (Farnworth, 2005).

2.1.1. Καλλιέργεια κεφίρ

Η καλλιέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κεφίρ προέρχεται είτε από κόκκους κεφίρ, είτε από μητρική καλλιέργεια που παράγεται από τους κόκκους (1^ο κεφίρ) (Libudzisz & Piatkiewicz, 1990). Ωστόσο, για την παραγωγή προϊόντων σταθερής ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν και εμπορικές καλλιέργειες σε λυοφιλωμένη μορφή.

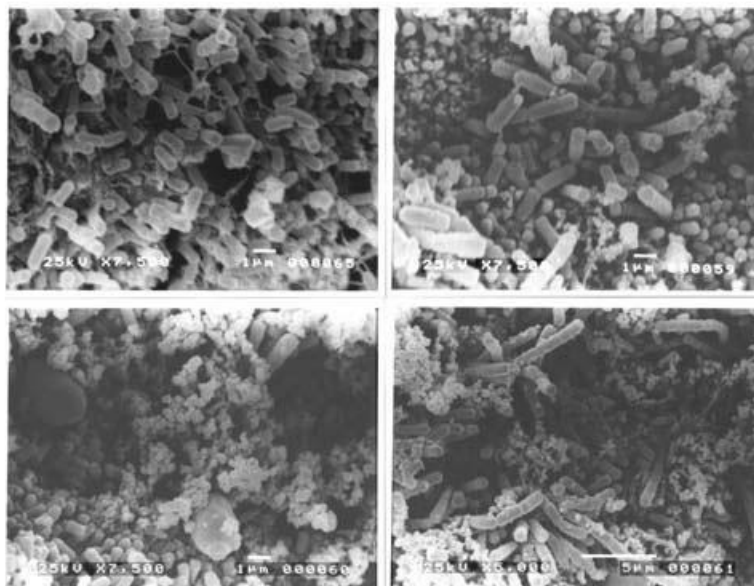
2.1.2. Κόκκοι κεφίρ

Οι κόκκοι κεφίρ έχουν ζελατινώδη υφή, ακανόνιστο σχήμα, λευκό ή υποκίτρινο χρώμα και μοιάζουν σαν κομμάτια κοραλλιού ή μικρές συμπαγείς μάζες κουνουπιδιού (Σχήμα 2.1). Έχουν συγκεκριμένη δομή και βιολογική λειτουργία. Όταν τοποθετούνται σε γάλα, αυξάνεται η μάζα τους και διαιρούνται σε νέους

κόκκους, μεταφέροντας ταυτόχρονα τις ιδιότητες τους σε αυτούς. Το μέγεθος τους κυμαίνεται μεταξύ 0,3 cm και 2cm. Οι κόκκοι κεφίρ περιέχουν ένα μίγμα βακτηρίων γαλακτικού και οξικού οξέος, καθώς επίσης και ζυμών, σχηματίζοντας μια συμπαγή μάζα μαζί με τις πρωτεΐνες σε ένα πλέγμα πολυσακχαριτών (Σχήμα 2.2) (Farnworth, 2005). Οι μορφές στις οποίες διατίθενται συνήθως οι κόκκοι του κεφίρ στο εμπόριο είναι η αποξηραμένη και η κατεψυγμένη. Μπορεί όμως να διατηρούνται και στη φυσική τους μορφή σε γάλα ή νερό σε θερμοκρασίες ψυγείου. Οι κόκκοι είναι εξαιρετικά σταθεροί και μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται για απεριόριστα χρονικά διαστήματα με την προϋπόθεση ότι διατηρούνται στο ψυγείο.



Σχήμα 2.1.: Κόκκοι κεφίρ.



Σχήμα 2.2.: Μορφή των κόκκων κεφίρ από Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (Tamime, 2006).

2.1.3. Μικρογλωρίδα κόκκων κεφίρ

Η μικρογλωρίδα των κόκκων κεφίρ αποτελείται από τους παρακάτω μικροοργανισμούς (Ζερφυρίδης, 2001; Irigoyen et al., 2005).

Λακοβάκιλλοι: Αυξάνουν το ιξώδες και τη σταθερότητα του κεφίρ. Κυρίαρχα είδη είναι οι *L. brevis*, *L. casei*, *L. bulgaricus* και *L. helveticus*.

Λακτόκοκκοι: Υπάρχουν κυρίως οι *L. lactis*, *L. cremoris* και *L. durans*, οι οποίοι παράγουν γαλακτικό οξύ με γρήγορο ρυθμό στα αρχικά στάδια. Καθώς επίσης και οι *L. dextranicum* και *Leuconostoc mesenteroides*, οι οποίοι συμβάλλουν στη γεύση και στο άρωμα του κεφίρ.

Οξικά βακτήρια: Είναι κυρίως τα *Acetobacter aceti* και *A. rascens*, τα οποία παράγουν οξικό οξύ κατά τη ζύμωση του γάλακτος, αυξάνουν το ιξώδες και τη σταθερότητα.

Ζύμες: Παρέχουν θρεπτικά συστατικά όπως αμινοξέα, βιταμίνες, μεταβάλλουν το pH και παράγουν αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Επίσης, συνεισφέρουν στο άρωμα και στη γεύση. Ζύμες που έχουν ταυτοποιηθεί είναι *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluvenomyces marxianus* και *Candida kefir*.

2.1.4. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ

Για την παρασκευή του κεφίρ χρησιμοποιείται τόσο η παραδοσιακή τεχνική όσο και η τεχνική που εφαρμόζεται στη βιομηχανία. Ο τύπος γάλακτος που θα χρησιμοποιηθεί ποικίλει και μπορεί να είναι αγελαδινό, κατσικίσιο, πρόβειο, καρύδας, ρυζιού ή σόγιας (Garrote et al., 1997).

2.1.4.1. Παραδοσιακή τεχνική

Συνήθως, με τη παραδοσιακή μέθοδος για την παραγωγή κεφίρ χρησιμοποιείται αγελαδινό γάλα, είτε πλήρες είτε ημιαποβουτυρωμένο. Το γάλα θερμαίνεται μέχρι βρασμού ή εναλλακτικά ηπιότερη θέρμανση στους 85°C για 15min. Ακολουθεί ψύξη στους 25°C και γίνεται ο εμβολιασμός με κόκκους κεφίρ σε ποσοστό 3%-5%. Η επώαση γίνεται στους 22-24°C μέχρι η οξύτητα να γίνει 90°D (0,9% γαλακτικό οξύ) σε 18-20 ώρες περίπου. Κατά την επώαση γίνεται ανακίνηση του περιέκτη 2-3 φορές, γιατί οι κόκκοι του κεφίρ δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στο γάλα και η ανακίνηση βοηθάει στην ομοιόμορφη ανάπτυξη της οξύτητας και στην επιτάχυνση της

ανάπτυξης της καλλιέργειας. Ακολουθεί μια δεύτερη επώαση στους 10-12°C για 24 ώρες και στη συνέχεια απομακρύνονται οι κόκκοι από το υγρό κεφίρ, το οποίο μπορεί να καταναλωθεί συντηρώντας το στο ψυγείο (Ζερφυρίδης, 2001).

2.1.4.2. Βιομηχανική τεχνική

Κατά τη βιομηχανική παραγωγή, το γάλα υφίσταται επιπλέον και ομογενοποίηση και η λιποπεριεκτικότητα ρυθμίζεται στα επιθυμητά επίπεδα. Λόγω της μεγάλης ποσότητας κατά τη βιομηχανική παραγωγή, οι κόκκοι του κεφίρ χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή της καλλιέργειας, η οποία συγκεντρώνεται σε δεξαμενή και χρησιμοποιείται σαν καλλιέργεια σε ποσοστό μέχρι 3% στο γάλα για τη μαζική παραγωγή του κεφίρ (Ottles & Cagindi, 2003).

Η επώαση γίνεται όπως και στην παραδοσιακή τεχνική, ενώ η ωρίμανση διαρκεί 10-12 ώρες στους 8-10°C, επειδή στη βιομηχανική παραγωγή απαιτείται οικονομία χώρων, εξοπλισμού και χρόνου. Σε αυτό το χρονικό διάστημα το προϊόν αποκτά επαρκή συνεκτικότητα, ώστε να αντλείται για συσκευασία χωρίς σοβαρά μειονεκτήματα για το ιξώδες. Τέλος, το κεφίρ συσκευάζεται σε περιέκτες για την κατανάλωση και φέρεται στους 4°C μέχρι να διατεθεί (Karagozlu & Kavas, 2000).

Το κεφίρ αυτό έχει συνήθως χαμηλά επίπεδα αλκοόλης (0,01%), καθώς και διοξειδίου του άνθρακα (0,6g/l). Επειδή όμως και τα δύο αυτά συστατικά συμβάλουν στα τυπικά χαρακτηριστικά του κεφίρ, θα πρέπει να επιδιώκεται η εξασφάλιση τους με τις κατάλληλες καλλιέργειες και συνθήκες παραγωγής (Karagozlu & Kavas, 2000; Ζερφυρίδης, 2001).

2.1.5. Ευεργετικές ιδιότητες και θρεπτική αξία του κεφίρ

Το κεφίρ είναι ένα φυσικό προβιοτικό προϊόν με υψηλή θρεπτική αξία που αφομοιώνεται εύκολα από τον οργανισμό. Περιέχει σημαντικές ποσότητες ασβεστίου, μαγνησίου και φωσφόρου, λόγω του γάλακτος που περιέχει, ενώ είναι πλούσιο σε βιταμίνες, όπως τη βιοτίνη, το φυλλικό οξύ και τη βιταμίνη B₁₂. Οι πρωτεΐνες του είναι υψηλής βιολογικής αξίας, που αφομοιώνονται εύκολα από τον ανθρώπινο οργανισμό. Είναι κατάλληλο για όσους έχουν δυσανεξία στη λακτόζη, επειδή περιέχει ελάχιστες ποσότητες λακτόζης. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του είναι η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα που συντελεί στη δημιουργία λεπτοτεμαχισμένου

πήγματος, με αποτέλεσμα να έρχεται αυτό σε καλύτερη επαφή με τα πεπτικά υγρά και να απορροφάται ευκολότερα. Παρέχει ευεργετικά βακτηρίδια και ζύμες, συμβάλλοντας στην πρόληψη του καρκίνου του παχέος εντέρου. Έχει διαπιστωθεί ότι η συστηματική χρήση του έχει την ιδιότητα να επιδρά σε ολόκληρο το σώμα, συμβάλλοντας σε ένα υγιές ανοσοποιητικό σύστημα. Συνιστάται ιδιαίτερα σε παιδιά, διότι προάγει τη σωστή εντερική λειτουργία τους, σε εγκύους για την αντιμετώπιση προβλημάτων δυσκοιλιότητας ή σε γυναίκες που θηλάζουν λόγω του ασβεστίου που περιέχει, καθώς και σε ηλικιωμένους, διότι συμβάλλει στην αντιμετώπιση των έντονων διαρροιών ή δυσκοιλιότητων που συνήθως παρουσιάζουν (Ottles & Cagindi, 2003; Farnworth, 2005).

2.2. Γιαούρτη

Η χρησιμοποίηση της γιαούρτης στη διατροφή του ανθρώπου ξεκίνησε από τους λαούς της Μέσης Ανατολής. Στη συνέχεια η κατανάλωση της επεκτάθηκε και στη Ευρώπη, ενώ στην Αμερική εμφανίστηκε μετά από πολλά χρόνια εξαιτίας της έντονης οξύτητας που είχε, χαρακτηριστικό που δεν άρεσε στους καταναλωτές (Belitz et al., 2006). Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, «γιαούρτη» χαρακτηρίζεται το πηγμένο γαλακτοκομικό προϊόν που παράγεται από τη γαλακτική ζύμωση του γάλακτος, την οποία προκαλούν οι μικροοργανισμοί *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Μάντης, 2005).

2.2.1. Μικροοργανισμοί γιαούρτης

Οι μικροοργανισμοί της γιαούρτης χαρακτηρίζονται από μία σχέση συμβίωσης. Έχει βρεθεί ότι τα βακτήρια αναπτύσσονται καλύτερα όταν υπάρχουν μαζί στο γάλα παρά όταν βρίσκεται το καθένα μόνο του. Και οι δύο μικροοργανισμοί ζυμώνουν τη λακτόζη και παράγουν γαλακτικό οξύ. Ο *S. thermophilus* εμφανίζεται υπό τη μορφή κόκκων, είναι θερμοφίλος και είναι αρκετά ευαίσθητος στα αντιβιοτικά. Ο *L. bulgaricus* εμφανίζεται υπό τη μορφή ραβδίων, είναι θερμοφίλος και είναι λιγότερο ευαίσθητος στα αντιβιοτικά. Είναι πιο πρωτεολυτικός και παράγει μεγαλύτερες ποσότητες αρωματικών ουσιών και κυρίως ακεταλδεύδης, που αποτελεί την ουσία η οποία προσδίδει το χαρακτηριστικό άρωμα στη γιαούρτη (Κεχαγιάς, 2011).

2.2.2. Τεχνολογία παρασκευής γιαούρτης

Τα στάδια παραγωγής της γιαούρτης είναι τα ακόλουθα (Tamime, 2006; Κεχαγιάς, 2011):

Έλεγχος πρώτων υλών

Το γάλα θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές που ορίζει η νομοθεσία. Ο έλεγχος των πρώτων υλών πραγματοποιείται για την παρουσία ανασταλτικών παραγόντων που θα παρεμποδίσουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών, αλλά και για να πληρούνται οι προδιαγραφές που απαιτούνται από τη νομοθεσία.

Τυποποίηση

Στη συνέχεια γίνεται η τυποποίηση του γάλακτος, όπου εκεί ρυθμίζεται η λιποπεριεκτικότητα και το Στερεό Υπόλειμμα Άνευ Λίπους (ΣΥΑΛ), ώστε να ανταποκρίνεται το προϊόν στις τυχόν νομοθετικές απαιτήσεις από πλευράς σύνθεσης αλλά και να έχει επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η συνεκτικότητα της γιαούρτης επηρεάζεται σημαντικά από τη συγκέντρωση των πρωτεϊνών. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες παρατηρείται αύξηση της συνεκτικότητας και μείωση της τάσης αποβολής ορού κατά την αποθήκευση. Ωστόσο, υπερβολική αύξηση των πρωτεϊνών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κοκκώδους υφής, η οποία είναι ανεπιθύμητη.

Ομογενοποίηση

Η ομογενοποίηση προκαλεί θραύση των λιποσφαιρίων με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρότερων. Η θραύση των λιποσφαιρίων έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της φυσικής μεμβράνης τους, αυξάνοντας έτσι την επιφάνεια των λιποσφαιρίων που είναι εκτεθειμένη στις λιπάσες, γι' αυτό το γάλα πρέπει να ομογενοποιείται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία. Τα μικρότερα σε μέγεθος λιποσφαίρια διαχέουν καλύτερα το φως (η γιαούρτη αποκτά λευκότερο και λαμπερότερο χρώμα), αυξάνουν το ιξώδες και βελτιώνουν τη γεύση καθιστώντας την πιο κρεμώδη. Ταυτόχρονα, μειώνεται το μέγεθος των μικκυλίων της καζεΐνης με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα υδρόφιλα χαρακτηριστικά του πηγματος.

Θερμική επεξεργασία

Η θερμική επεξεργασία που υφίσταται το γάλα είναι εντονότερη της παστερίωσης (72°C για 15s) και οι συνήθεις συνδυασμοί θερμοκρασίας-χρόνου που χρησιμοποιούνται είναι 95°C για 5 min ή 80-85°C για 20-30 min. Με τη θερμική επεξεργασία επιδιώκεται α) η εξυγίανση του γάλακτος (καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και η μείωση του μικροβιακού φορτίου, ώστε να καταστραφούν οι μικροοργανισμοί που δρουν ανταγωνιστικά προς τους μικροοργανισμούς της καλλιέργειας εκκίνησης), β) η παραγωγή ενώσεων που διεγείρουν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών της οξυγαλακτικής καλλιέργειας και γ) η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού και ο σχηματισμός συμπλόκου μεταξύ της β-γαλακτογλοβουλίνης και της κ-καζεΐνης. Το σύμπλοκο αυτό είναι υδρόφιλο οπότε αυξάνεται η ικανότητα συγκράτησης νερού και μειώνεται η τάση αποβολής ορού στο τελικό προϊόν. Ταυτόχρονα, λόγω της αύξησης του μεγέθους και επομένως του υδροδυναμικού όγκου των καζεϊνικών μικκυλίων αυξάνεται και η συνεκτικότητα της γιαούρτης.

Εμβολιασμός με οξυγαλακτική καλλιέργεια και επώαση

Στη συνέχεια πραγματοποιείται ο εμβολιασμός του γάλακτος με την οξυγαλακτική καλλιέργεια. Το γάλα ψύχεται μετά τη θερμική επεξεργασία στη θερμοκρασία επώασης και τότε προστίθεται η καλλιέργεια. Ο εμβολιασμός μπορεί να γίνει είτε με προσθήκη γιαούρτης που έχει παρασκευαστεί την προηγούμενη μέρα, είτε με προσθήκη εμπορικών καλλιεργειών σε λυοφιλωμένη μορφή. Η ποσότητα της καλλιέργειας με την οποία θα εμβολιασθεί το γάλα εξαρτάται από τη μορφή της, από τη θερμοκρασία και τη διάρκεια επώασης, και από τη δραστικότητα των μικροοργανισμών.

Ψύξη

Η ψύξη είναι μια βασική διαδικασία καθώς επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του προϊόντος. Στοχεύει στην αναστολή της βιολογικής δράσης των μικροοργανισμών και ρυθμίζει την τελική οξύτητα. Πρέπει να πραγματοποιείται σταδιακά καθώς η

απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί συστολή του πήγματος και απελευθέρωση ορού. Η τελική θερμοκρασία ψύξης και αποθήκευσής της είναι 4°C.

2.2.3. Θρεπτική αξία της γιαούρτης

Η γιαούρτη είναι ένα προϊόν με υψηλή διατροφική αξία που αφομοιώνεται εύκολα από τον οργανισμό. Έχει παρόμοια θρεπτική αξία με το γάλα, ενώ ως όξινο γαλακτοκομικό έχει επιπλέον οφέλη για την υγεία των καταναλωτών. Κατά την παραγωγή γιαούρτης, ένα μεγάλο ποσοστό της λακτόζης μειώνεται λόγω της ζύμωσης της από τους μικροοργανισμούς. Η μείωση αυτή βοηθάει ανθρώπους που παρουσιάζουν δυσανεξία στη λακτόζη. Επίσης το κολλοειδές φωσφορικό ασβέστιο που βρίσκεται στα καζεϊνικά μικκύλια, σε όξινο περιβάλλον μεταβάλλεται σε υδατοδιαλυτό και απορροφάται πιο εύκολα από τον ανθρώπινο οργανισμό με αποτέλεσμα την πρόληψη της οστεοπόρωσης. Η κατανάλωση γιαούρτης έχει επίσης ευεργετική δράση στην υγεία. Παρεμποδίζει την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών στο πεπτικό σύστημα και ενισχύει το ανοσοποιητικό (Tamime & Robinson, 2007).

2.3. Παγωτό

Το παγωτό είναι ένα πολύπλοκο γαλακτοκομικό προϊόν. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία σαν παγωτό ορίζεται το προϊόν που παρασκευάζεται με ανάμιξη διαφόρων ειδών γάλακτος (νωπό, παστεριωμένο, γάλα μακράς διάρκειας) και σε συνδυασμό μεταξύ τους, με χυμούς φρούτων, με φυσικές γλυκαντικές ύλες και άλλες ύλες που αναφέρονται σαφώς στη σχετική νομοθεσία, μετά από ψύξη της ομογενοποιημένης αυτής μάζας. Η σύνθεση των παγωτών διαφέρει από τύπο σε τύπο. Τη σύνθεση μπορεί να την επηρεάσει η νομοθεσία και οι απαιτήσεις των καταναλωτών (Κεχαγιάς, 2011).

2.3.1. Συστατικά παγωτού

Τα συστατικά που προστίθενται στο παγωτό διακρίνονται σε βασικά και σε πρόσθετα. Στα βασικά συστατικά ανήκει το γάλα (πλήρες παστεριωμένο ή

αποστειρωμένο, ή αραιωμένο συμπυκνωμένο ή αποβουτυρωμένο γάλα, σκόνη γάλακτος), η κρέμα γάλακτος ή το βούτυρο, η γλυκαντική ύλη και ο σταθεροποιητής. Στα πρόσθετα ανήκουν το αυγό και τα προϊόντα του, ο καφές, η σοκολάτα και το κακάο, διάφορες αρωματικές ουσίες, φυσικές χρωστικές, ξηροί καρποί, χυμοί φρούτων και γαλακτωματοποιητές (Μάντης, 2005; Κεχαγιάς, 2011).

Το κάθε συστατικό προσδίδει και μια συγκεκριμένη ιδιότητα στο προϊόν. Το λίπος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς είναι υπεύθυνο για την υφή και για τη γεύση του παγωτού. Σαν λίπος χρησιμοποιείται το λίπος του γάλακτος. Σε ορισμένες χώρες το λίπος του γάλακτος υποκαθίσταται από φυτικό λίπος, όπως για παράδειγμα φοινικέλαιο. Η υψηλή περιεκτικότητα σε λίπος οδηγεί σε κοκκώδη υφή. Η χαμηλή λιποπεριεκτικότητα συμβάλλει σε μία πιο ομοιογενή και λεία υφή. Το ΣΥΑΛ συμβάλλει στη γεύση του προϊόντος και είναι υπεύθυνο εν μέρει για τη μείωση του σημείου πήξης. Η ζάχαρη προσδίδει γλυκύτητα και βοηθάει στη διαμόρφωση της υφής. Συγκεκριμένα, μειώνει το σημείο πήξης του συστήματος με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μικρότερη ποσότητα παγοκρυστάλλων προσδίδοντας μία πιο μαλακή υφή και μειώνοντας την παγωμένη αίσθηση στο στόμα. Η μικρή συγκέντρωση ζάχαρης έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγάλης ποσότητας πάγου, ενώ μεγάλη ποσότητα αυτής προσδίδει στο προϊόν υπερβολική γλυκύτητα. Για το λόγο αυτό πολλές φορές χρησιμοποιείται σιρόπι γλυκόζης, το οποίο είναι λιγότερο γλυκό από τη ζάχαρη και παράλληλα μπορεί να μειώσει το σημείο πήξης περισσότερο. Η προσθήκη σταθεροποιητών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους, τη διευκόλυνση της ενσωμάτωσης του αέρα και τη βελτίωση της υφής. Οι γαλακτωματοποιητές βοηθάνε τα λιποσφαίρια να προσκολληθούν στις φυσαλίδες αέρα. Επίσης, στο παγωτό μπορούν να προστεθούν διάφορες αρωματικές ουσίες, οι οποίες προσδίδουν άρωμα και γεύση στο τελικό προϊόν (Walstra et al., 2006).

2.3.2. Τεχνολογία παρασκευής παγωτού

Τα στάδια παραγωγής του παγωτού είναι τα εξής (Κεχαγιάς, 2011; Goff & Hartel, 2013):

Προετοιμασία του μίγματος

Οι ποσότητες των πρώτων υλών πρέπει να υπολογίζονται, ώστε το τελικό προϊόν να ανταποκρίνεται στα νομοθετικά όρια άλλα και στις απαιτήσεις του καταναλωτή.

Αρχικά αναμιγνύονται τα συστατικά που βρίσκονται σε υγρή κατάσταση (γάλα, κρέμα γάλακτος, κ.α.) και θερμαίνονται υπό συνεχή ανάδευση. Τα συστατικά που βρίσκονται σε στερεά μορφή (σκόνη γάλακτος, ζάχαρη, σταθεροποιητές, κ.α.) προστίθενται σιγά-σιγά και πριν η θερμοκρασία φτάσει τους 50°C.

Παστερίωση

Η θερμική επεξεργασία, η οποία είναι ισοδύναμη ή εντονότερη της παστερίωσης μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους συνδυασμούς, όπως 68-70°C για 30 min ή 78-80°C για 20-25 s ή 145-150°C για 2-3 s. Ο σκοπός της παστερίωσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αλλά και η καλή διάλυση και ανάμιξη των συστατικών του μίγματος.

Ομογενοποίηση

Η ομογενοποίηση μπορεί να γίνει πριν ή μετά τη θερμική επεξεργασία. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί ομογενοποίηση δύο φάσεων, ώστε να αποφευχθεί η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων μετά την πρώτη φάση. Σκοπός της ομογενοποίησης είναι η ομοιόμορφη κατανομή του λίπους, αλλά και η βέλτιστη ανάμιξη των συστατικών του μίγματος, ώστε το τελικό προϊόν να έχει ομοιογενή υφή.

Ψύξη και ωρίμανση

Το μίγμα παγωτού στη συνέχεια ψύχεται στους 4-5°C για 3-6 ώρες. Παλαιότερα η ψύξη διαρκούσε 24 h, ωστόσο ικανοποιητικά αποτελέσματα λαμβάνονται και σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση επιμήκυνσης του χρόνου ψύξης, υπάρχει κίνδυνος ανάπτυξης ψυχρότροφων μικροοργανισμών. Η διεργασία αυτή είναι γνωστή ως ωρίμανση. Κατά την ωρίμανση αυξάνεται ο βαθμός ενυδάτωσης των πρωτεϊνών και των σταθεροποιητών, κρυσταλλώνεται το λίπος και αυξάνεται το ιζώδες. Η ωρίμανση επηρεάζει επίσης την υφή του παγωτού (γίνεται πιο απαλή) και αυξάνει το βαθμό διόγκωσης και την αντίσταση στην τήξη.

Προσθήκη χρώματος και αρωματικών ουσιών

Η προσθήκη χρωστικών και αρωματικών ουσιών εξαρτάται από το είδος του παγωτού που παρασκευάζεται και πραγματοποιείται μετά την ωρίμανση του μίγματος.

Κατάψυξη

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται μείωση της θερμοκρασίας στους -4°C έως -6°C με σύγχρονη ανάδευση και ενσωμάτωση αέρα. Με την κατάψυξη το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού παγώνει, ενώ ο αέρας που ενσωματώνεται αυξάνει τον όγκο του παγωτού σε ποσοστό διόγκωσης από 50% έως 120% του αρχικού όγκου.

Συσκευασία

Μετά την κατάψυξη το παγωτό έχει γίνει παχύρευστο και συσκευάζεται με τη βοήθεια καλουπιών είτε σε κύπελλα διαφόρων μεγεθών, είτε σε ξυλάκια είτε σε χωνάκια. Επίσης, μπορούν να προστεθούν φρούτα, ξηροί καρποί και να γίνει επικάλυψη με σοκολάτα.

Σκλήρυνση

Το συσκευασμένο πλέον παγωτό είναι παχύρευστο αλλά όχι στερεό για να διατηρεί το σχήμα του. Για το λόγο αυτό συνεχίζεται η κατάψυξη μέχρι να φτάσει η θερμοκρασία στο κέντρο του παγωτού τους -18°C έως -26°C . Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια σφράγγων κατάψυξης, όπου υπάρχουν ισχυρά ρεύματα αέρα θερμοκρασίας -30°C έως -40°C . Προτιμάται η γρήγορη κατάψυξη καθώς σχηματίζονται μικρού μεγέθους κρύσταλλοι που επηρεάζουν ευνοϊκά την υφή του παγωτού, σε αντίθεση με την αργή κατάψυξη.

Αποθήκευση

Μετά τη σκλήρυνση το παγωτό μπορεί να διατεθεί άμεσα για κατανάλωση ή να αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες -18°C έως -23°C που κρίνονται ικανοποιητικές για τη συντήρηση του παγωτού.

2.3.2 Διατροφική αξία παγωτού

Η διατροφική αξία του παγωτού εξαρτάται από τη διατροφική αξία των συστατικών από τα οποία παράγεται. Τα προϊόντα γάλακτος που προστίθενται στο μίγμα του παγωτού περιέχουν τα συστατικά του γάλακτος, αλλά σε διαφορετικές ποσότητες. Συγκεκριμένα, το παγωτό περιέχει τρεις έως τέσσερις φορές περισσότερο λίπος και περίπου 12-16% περισσότερη πρωτεΐνη σε σχέση με το γάλα. Επιπλέον, μπορεί να περιέχει και άλλα τρόφιμα, όπως φρούτα, ξηρούς καρπούς, αυγό και ζάχαρη, τα οποία μπορεί να ενισχύσουν τη θρεπτική αξία του. Το παγωτό περιέχει περίπου τέσσερις φορές περισσότερο υδατάνθρακες σε σχέση με το γάλα. Το παγωτό αποτελεί μία εξαιρετική πηγή ενέργειας, ενώ τα συστατικά του είναι σχεδόν πλήρως αφομοιώσιμα από τον οργανισμό (Goff & Hartel, 2013).

2.4. Παγωτό-γιαούρτη

Το παγωτό-γιαούρτη εμφανίστηκε στην αγορά περίπου το 1970 σαν ένα εναλλακτικό υγιεινό επιδόρπιο. Τα επόμενα χρόνια η παραγωγή του εμφάνισε μεγάλη αύξηση και σε αυτό συνέβαλε το γεγονός ότι συνδυάζει τη θρεπτική αξία των ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων με τη χαρακτηριστική και ευχάριστη αίσθηση του παγωτού (Inoue et al., 1998).

2.4.1. Τεχνολογία παρασκευής

Το παγωτό-γιαούρτη μπορεί να παρασκευαστεί είτε αναμιγνύοντας γιαούρτη με το μίγμα του παγωτού, είτε προσθέτοντας στο μίγμα του παγωτού τους μικροοργανισμούς της γιαούρτης και επωάζοντας το μίγμα πριν επεξεργαστεί περαιτέρω (TetraPack, 1995).

2.4.1.1. Προσθήκη γιαούρτης στο μίγμα του παγωτού

Προϊόν με ζωντανούς μικροοργανισμούς μπορεί να παρασκευαστεί με την προσθήκη υψηλών (40 – 70 g/100 g προϊόντος) ή χαμηλών (< 40 g/100 g προϊόντος) ποσοτήτων γιαούρτης στο μίγμα του παγωτού. Εναλλακτικά, αποξηραμένη σκόνη γιαούρτης με

ζωντανά βακτήρια μπορεί να αξιοποιηθεί στη θέση του νωπού υγρού προϊόντος. Επίσης, συμπυκνωμένη αρχική καλλιέργεια γιαούρτης μπορεί να προστεθεί στο μίγμα για να ζυμωθεί το μίγμα του παγωτού ή απλώς για να ενσωματωθούν ζωντανά βακτήρια στην σύνθεση, ώστε να συνάδει η παραγωγή του προϊόντος με το πρότυπο της ταυτοποίησης του παγωτού-γιαούρτης (Tamime, 2006).

Το παγωτό-γιαούρτη που παράγεται με υψηλό ποσοστό γιαούρτης έχει χαμηλό pH και ιδιαίτερα όξινη γεύση, σε αντίθεση με το προϊόν που παρασκευάζεται με μικρή ποσότητα γιαούρτης. Το ποσοστό των συνολικών στερεών των περισσότερων εμπορικών προϊόντων φυσικής γιαούρτης κυμαίνεται μεταξύ των 12 και 15 g/100 g προϊόντος και είναι αρκετά μικρότερο εν συγκρίσει με αυτό του τυπικού μίγματος παγωτού. Όσον αφορά τα σάκχαρα, η σουκρόζη είναι ο κύριος παράγοντας που ελέγχει τη μείωση του σημείου πήξεως στα παγωμένα επιδόρπια. Για να βελτιωθεί η γεύση και η υφή του παγωμένου προϊόντος, η συνολική περιεκτικότητα σε ζάχαρη πρέπει να είναι υψηλότερη από αυτήν του παγωτού. Ανεπαρκή επίπεδα ζάχαρης θα αυξήσουν το σημείο πήξης και αυτό θα οδηγήσει σε μία εύθραυστη και τραχεία δομή (Tamime, 2006).

Μετά την προσθήκη της γιαούρτης στο μίγμα του παγωτού, το οποίο έχει ήδη παστεριωθεί, ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παραγωγή του παγωτού.

2.4.1.2. Άμεση ζύμωση του μίγματος παγωτού

Αντί να προστεθεί γιαούρτη στο μίγμα του παγωτού, είναι δυνατή η ζύμωση του μίγματος με την χρήση μίας αρχικής καλλιέργειας μικροοργανισμών. Η άμεση ζύμωση του μίγματος παγωτού είναι πολύ απλούστερη διεργασία για την παρασκευή παγωτού-γιαούρτης σε σχέση με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω, διότι απαιτεί λιγότερο εξοπλισμό για την επεξεργασία και οι δεξαμενές ωρίμανσης, μπορούν να αξιοποιηθούν για να επωαστεί το μίγμα στους 42°C (Tamime, 2006).

Εξ' αιτίας των υψηλών περιεκτικοτήτων σε ζάχαρη και σε ΣΥΑΛ, καθώς και της χαμηλής ενεργότητας νερού του μίγματος παγωτού, το ποσοστό εμβολιασμού της καλλιέργειας είναι αρκετά μεγαλύτερο (3 – 5 φορές) από αυτό της συμβατικής γιαούρτης. Όμως, παρά το υψηλό ποσοστό εμβολιασμού, ο χρόνος ζύμωσης παραμένει ακόμη πολύ μεγάλος και η οξύτητα και το άρωμα είναι λιγότερο έντονα σε

σύγκριση με την προσθήκη γιαούρτης στο μίγμα παγωτού. Εκτός των άλλων, τα περισσότερα μίγματα σταθεροποιητών για το παγωτό περιέχουν γαλακτωματοποιητές, οι οποίοι περιορίζουν την ανάπτυξη της αρχικής καλλιέργειας. Είναι επομένως απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα μίγμα σταθεροποιητών με λίγους ή ειδικά επιλεγμένους γαλακτωματοποιητές (Tamime, 2006).

Το μίγμα, ενισχυμένο με τον κατάλληλο σταθεροποιητή και γαλακτωματοποιητή, παρασκευάζεται ουσιαστικά με τον ίδιο τρόπο που παρασκευάζεται η συμβατική γιαούρτη. Σε γενικές γραμμές η διεργασία παρασκευής περιλαμβάνει την απαέρωση των πρώτων υλών, οι οποίες έχουν αναμιχθεί μεταξύ τους, και την ομογενοποίηση αυτών στους 70°C πριν παστεριωθούν σε έναν εναλλάκτη θερμότητας στους 90°C για 5 min. Έπειτα από την ψύξη στους 43°C, το μίγμα μεταφέρεται στις δεξαμενές επώασης, στις οποίες προστίθεται περίπου 4 – 6 % καλλιέργεια εκκίνησης. Ο χρόνος επώασης που απαιτείται για ένα επίπεδο σακχαρόζης του 10 – 12% είναι 7 – 8 ώρες, ώστε να επιτευχθεί η χαρακτηριστική οξύτητα της γιαούρτης, η οποία υφίσταται σε pH 4,5. Όταν το απαιτούμενο pH έχει επιτευχθεί, το μίγμα της γιαούρτης ψύχεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας για να σταματήσει η διεργασία της ζύμωσης. Αρωματικές ύλες και ζάχαρη μπορούν να προστεθούν σε αυτό το στάδιο και πριν μεταφερθεί το μίγμα για ωρίμανση. Ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παραγωγή του παγωτού (TetraPack, 1995).

2.4.2 Διατροφική αξία παγωτού-γιαούρτης

Το παγωτό-γιαούρτη πλεονεκτεί σε σχέση με το απλό παγωτό γιατί έχει λιγότερο λίπος και ταυτόχρονα διαθέτει τη θρεπτική αξία και την ευεργετική δράση της γιαούρτης (Goff & Hartel, 2013). Επίσης, η διατροφική και λειτουργική αξία του παγωτού γιαούρτη ενισχύεται με την παραγωγή προϊόντων μειωμένης περιεκτικότητας σε ζάχαρη, χοληστερόλη, υδατάνθρακες και θερμίδες (Tamime, 2006).

2.5. Παγωτό-κεφίρ

Ένα άλλο ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν παγωτού που συνδυάζει τις ευεργετικές ιδιότητες των όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων με τα αρεστά οργανοληπτικά

χαρακτηριστικά του παγωτού είναι το παγωτό-κεφίρ . Η τεχνολογία παρασκευής του είναι παρόμοια με αυτή του παγωτού-γιαούρτης με τη διαφορά ότι χρησιμοποιούνται διαφορετικές καλλιέργειες εκκίνησης. Ωστόσο, υπερτερεί σε σχέση με το παγωτό-γιαούρτη εξαιτίας των λειτουργικών ιδιοτήτων που διαθέτει το κεφίρ.

2.6.Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του παγωτού

2.6.1. Ρεολογία

Η ρεολογία είναι ο κλάδος της επιστήμης που μελετά τη δομή των υλικών υποβάλλοντας τα σε παραμόρφωση υπό την επίδραση τάσης (δύναμης/επιφάνεια) που ασκείται σε αυτά σε συνάρτηση με το χρόνο άσκησης της τάσης. Η κατεύθυνση εφαρμογής της δύναμης σε σχέση με την υπό τάση επιφάνεια καθορίζει και τον τύπο της τάσης. Δηλαδή αν η δύναμη εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια, τότε η τάση ονομάζεται κανονική. Σ' αυτή τη περίπτωση το υλικό στο οποίο εφαρμόζεται η δύναμη θα βρίσκεται υπό καθεστώς συμπίεσης ή εφελκυσμού. Όταν η δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα (εφαπτομενικά) με την επιφάνεια του υλικού στην οποία ασκείται τότε ονομάζεται τάση διάτμησης (Steffe, 1996).

Με βάση τα ανωτέρω, έχουν αναπτυχθεί σειρά από ρεολογικές δοκιμές οι οποίες χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρίσουν τη δομή ενός υλικού ανάλογα με τη φύση του δηλαδή αν πρόκειται για ρευστό (αέριο, υγρό), πηκτή ή στερεό.

Δεδομένου ότι το παγωτό, όταν καταναλωθεί λιώνει στο στόμα, το προϊόν μπορεί να θεωρηθεί ως ρευστό, οπότε για τη μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς του είναι δυνατόν να προσδιοριστεί το ιξώδες του. Επίσης, για τη μελέτη των ρεολογικών ιδιοτήτων του μπορούν να εφαρμοστούν και οι δοκιμές μικρής παραμόρφωσης, οι οποίες θα δώσουν πληροφορίες για τον ιξωδοελαστικό χαρακτήρα των προϊόντων (Dogan, 2011). Οι δοκιμές μπορούν να εφαρμοστεί στο προϊόν όταν αυτό είναι ακόμη σε στερεή κατάσταση, μετά τη ρευστοποίηση του ή κατά το λιώσιμο του (θερμοκρασιακό προφίλ).

Στις δοκιμές μικρής παραμόρφωσης το υλικό μπορεί να συμπιεσθεί στα όρια της γραμμικής του ελαστικότητας (Steffe, 1996), δηλαδή να θραυσθεί ένας αριθμός από τους πλέον ασθενείς δευτερεύοντες δεσμούς κατά τη διάρκεια της παραμόρφωσης

του υλικού, οι οποίοι όμως ξαναδημιουργούνται με την άρση εφαρμογής της τάσης. Για τη μελέτη του ιξωδοελαστικού χαρακτήρα των όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων παγωτού θα περιγραφεί η δυναμική δοκιμή.

2.6.2. Δυναμική δοκιμή

Κατά αυτή τη δοκιμή το δείγμα υποβάλλεται σε περιοδική τάση διάτμησης ή συμπίεσης μέσα στα όρια της γραμμικής ελαστικότητας του (μικρό ποσοστό παραμόρφωσης) (Ferry, 1980). Το δείγμα βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων πλακών εκ των οποίων η κάτω παραμένει ακίνητη ενώ η επάνω κινείται παλινδρομικά και στη περίπτωση της διάτμησης κινείται σε οριζόντια διεύθυνση πάντα σε επαφή με το δείγμα. Αν υποθεθεί ότι εφαρμόζεται απλή ημιτονοειδής διάτμηση τότε η παραμόρφωση γ σε συνάρτηση με το χρόνο t δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \gamma_o \sin(\omega t) \quad (1)$$

όπου γ_o είναι το πλάτος της παραμόρφωσης και ω είναι η συχνότητα σε rad/s.

Οπότε, στη περίπτωση αυτή ο περιοδικός ρυθμός διάτμησης προκύπτει από τη σχέση (1) ως παράγωγος της παραμόρφωσης:

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{d(\gamma_o \sin(\omega t))}{dt} \quad (2)$$

η οποία μετατρέπεται σε:

$$\dot{\gamma} = \gamma_o \omega \cos(\omega t) \quad (3)$$

Για παραμορφώσεις εντός των ορίων της γραμμικής ελαστικότητας κατά την προαναφερθείσα παραμόρφωση αναπτύσσεται η ακόλουθη διατμητική τάση σ :

$$\sigma = \sigma_o \sin(\omega t + \delta) \quad (4)$$

όπου σ_o είναι το πλάτος της διατμητικής τάσης και δ είναι η καθυστέρηση φάσης ή μετατόπιση φάσης. Αν αμφότεροι οι όροι της εξίσωσης διαιρεθούν με γ_o προκύπτει

$$\frac{\sigma}{\gamma_o} = \left[\frac{\sigma_o}{\gamma_o} \right] \sin(\omega t + \delta) \quad (5)$$

Η διατμητική τάση που προκύπτει από μια ημιτονοειδή παραμόρφωση μπορεί να γραφεί και ως:

$$\sigma = G' \gamma + (G''/\omega) \dot{\gamma} \quad (6)$$

και

$$G'' = \left[\begin{array}{c} \sigma_o \\ \gamma_o \end{array} \right] \sin(\delta) \quad (7)$$

Το $G'\gamma_o$ μπορεί να ερμηνευθεί ως το μέρος της τάσης σε φάση με τη παραμόρφωση και το $G''\gamma_o$ το μέρος της τάσης που είναι κατά 90° εκτός φάσης με τη παραμόρφωση. Άλλες παράμετροι περιλαμβάνουν το μιγαδικό συντελεστή (complex modulus, G^*):

$$G^* = \left[\begin{array}{c} \sigma_o \\ \gamma_o \end{array} \right] = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (8)$$

και το μιγαδικό ιξώδες η^* (complex viscosity):

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} = \sqrt{(\eta')^2 + (\eta'')^2} \quad (9)$$

όπου, η' είναι το δυναμικό ιξώδες και η'' είναι το εκτός φάσης μέρος του η^* .

Μια άλλη παράμετρος που συχνά χρησιμοποιείται είναι η εφαπτομένη της γωνίας δ που επίσης είναι συνάρτηση της συχνότητας:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (10)$$

Η παράμετρος αυτή εκφράζει το λόγο της απώλειας ενέργειας ανά κύκλο ταλάντωσης προς την ενέργεια που αποθηκεύεται, ανά κύκλο ταλάντωσης.

Αναφορικά με τη δοκιμή ταλάντωσης υπό καθεστώς διάτμησης οι ρεολογικές παράμετροι που συνήθως μετρούνται είναι ο συντελεστής ελαστικότητας (storage modulus, G'), ο συντελεστής απώλειας (loss modulus, G'') και η εφαπτομένη δ ($\tan\delta$).

Για καλύτερη κατανόηση της φυσικής σημασίας των παραμέτρων αυτών θα αναφερθεί η συμπεριφορά των ιδανικών στερεών υλικών (Hookean solids) και των ιδανικών υγρών υλικών (Newtonian liquids). Η ρεολογική συμπεριφορά των στερεών χαρακτηρίζεται από το ότι η τάση με τη παραμόρφωση είναι σε φάση και η γωνία δ έχει τιμή μηδέν. Οπότε G'' και η'' είναι μηδέν γιατί δεν υπάρχει καμιά απώλεια ενέργειας λόγω απουσίας του ιξώδους και το G' είναι σταθερό και ίσο με το συντελεστή διάτμησης G . Η ρεολογική συμπεριφορά των υγρών χαρακτηρίζεται από το ότι η τάση με τη παραμόρφωση είναι εκτός φάσης κατά 90° . Σε αυτή την

περίπτωση το G' και το η'' είναι μηδέν γιατί το υλικό δεν έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει ενέργεια. Οπότε, το η' είναι ίσο με το νευτώνειο ιξώδες.

2.6.3. Προσδιορισμός ιξώδους

Η πιο σημαντική φυσική ιδιότητα ενός ρευστού που επηρεάζει την ενεργειακή απώλεια που υφίσταται το ρευστό κατά την ροή του είναι το ιξώδες του, που αποτελεί το μέτρο μέτρησης της εσωτερικής τριβής του ρευστού. Το ιξώδες ενός ρευστού προκαλεί την ανάπτυξη δυνάμεων που αντιστέκονται στη σχετική κίνηση γειτονικών στοιβάδων ρευστού (McClements, 1999).

Αν δυο παράλληλα επίπεδα στη μάζα ενός ρευστού κινούνται το ένα σχετικά με το άλλο, έχει βρεθεί ότι μια σταθερή δύναμη θα πρέπει να εξασκείται ώστε να διατηρείται μια σταθερή σχετική πίεση. Αν τα επίπεδα βρίσκονται σε απόσταση z το ένα από το άλλο και αν η σχετική τους ταχύτητα είναι u , τότε η δύναμη F που απαιτείται για να διατηρήσει την κίνηση έχει βρεθεί πειραματικά να είναι ανάλογη της u και αντίστροφα ανάλογη της Z για πολλά ρευστά. Ο συντελεστής αναλογίας ονομάζεται ιξώδες του ρευστού και συμβολίζεται ως η . Από τον ορισμό του ιξώδους έχουμε:

$$\frac{F}{A} = \eta \times \frac{u}{Z} \quad (11)$$

Όπου F είναι η ασκούμενη δύναμη, A η επιφάνεια στην οποία ασκείται η δύναμη, Z η απόσταση μεταξύ των επιπέδων, u η ταχύτητα των επιπέδων σχετικά το ένα ως προς το άλλο και η το ιξώδες. Επίσης, ο λόγος u/z ονομάζεται ρυθμός διάτμησης $\dot{\gamma}$ (Perry, 1999).

Από τον θεμελιώδη ορισμό του ιξώδους προκύπτει η διαφορική σχέση:

$$\frac{F}{A} = \eta \times \frac{du}{dZ} \quad (12)$$

η οποία μπορεί να γραφεί ως:

$$\tau = \eta \times \dot{\gamma} \quad (13)$$

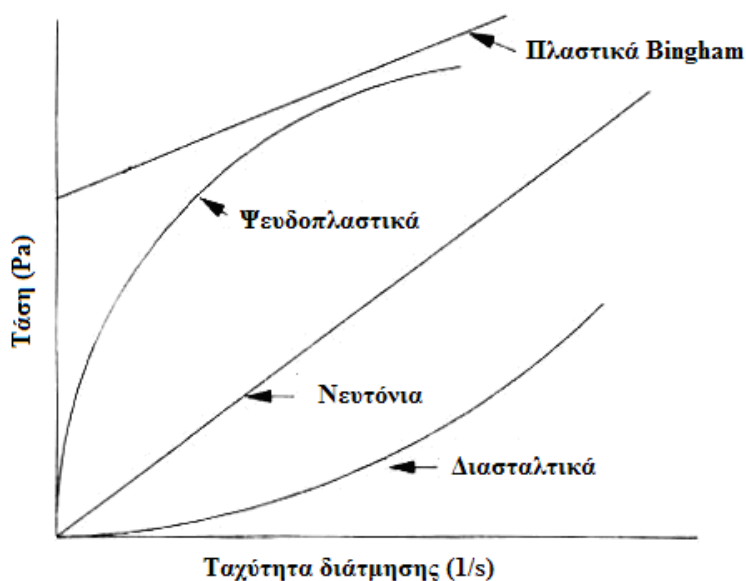
όπου τ είναι η διατμητική τάση του ρευστού. Η εξίσωση αυτή αρχικά προτάθηκε από τον Νεύτωνα και ισχύει για ρευστά όπως το νερό. Όμως για πολλά ρευστά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, οι μετρήσεις του ιξώδους δείχνουν

απόκλιση από αυτή την απλή σχέση και για αυτόν το λόγο προτάθηκε μια πιο γενική σχέση:

$$\tau = \tau_0 + k \times \dot{\gamma}^n \quad (14)$$

που ονομάζεται γενική εξίσωση του εκθετικού νόμου (power law) και όπου το k είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας, n ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς και τ_0 η τάση διαρροής, η οποία απαιτείται σε ορισμένα υγρά για να αρχίσουν να ρέουν. Όταν ο εκθέτης έχει τιμή 1 και $\tau_0 = 0$ τότε το ρευστό ονομάζεται Νευτώνειο, γιατί υπακούει στο νομό του Νεύτωνα. Σε διαφορετική περίπτωση το ρευστό ονομάζεται μη-Νευτώνειο. Γραφικά οι αποκλίσεις από το νόμο του Νεύτωνα παρίστανται στην ακόλουθη γραφική παράσταση (Σχήμα 2.3). Τα ρευστά με $n < 1$ και $\tau_0 = 0$ ονομάζονται ψευδοπλαστικά και από το σχήμα της καμπύλης τους φαίνεται ότι το ιξώδες τους είναι υψηλό σε χαμηλές τιμές του ρυθμού διάτμησης και όσο αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης τόσο το ιξώδες ελαττώνεται. Αντίθετα αν $n > 1$ και $\tau_0 = 0$ τότε το ρευστό ονομάζεται διασταλτικό, που σημαίνει ότι σε χαμηλές τιμές του ρυθμού διάτμησης το ιξώδες είναι χαμηλό και όσο αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης τόσο αυξάνει και το ιξώδες. Τέλος, αν $n = 1$ και $\tau_0 > 0$ τα ρευστά ονομάζονται Bingham (Darby, 1996).

Πρέπει να σημειωθεί ότι στα ρευστά τα οποία το ιξώδες τους δεν παραμένει σταθερό αλλά μεταβάλλεται με το ρυθμό διάτμησης, έχει καθιερωθεί ο όρος φαινομενικό ιξώδες η_a .



Σχήμα 2.3.: Συμπεριφορά των ρευστών ανάλογα με την τιμή του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και της διατμητικής τάσης.

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή παγωτού-κεφίρ και η μελέτη της δομής και των φυσικοχημικών και ρεολογικών ιδιοτήτων του. Για την επίτευξη του συγκεκριμένου σκοπού παρασκευάστηκαν δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης (τα οποία διέφεραν ως προς τη χημική τους σύσταση), ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιδιοτήτων των δύο διαφορετικών ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων παγωτού. Συγκεκριμένα, για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης όξινου γαλακτοκομικού προϊόντος (45% και 65%) και δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης ζάχαρης (10% και 18%). Στα δείγματα προσδιορίστηκε η τιμή pH, η οξύτητα, ο βαθμός διόγκωσης και ο ρυθμός τήξης, μελετήθηκαν οι ρεολογικές ιδιότητες εφαρμόζοντας τη δυναμική δοκιμή (G' και $\tan\delta$) και προσδιορίζοντας το φαινομενικό ιξώδες, και παρατηρήθηκε η δομή με τη χρήση συνεστιακού μικροσκοπίου σάρωσης (Confocal).

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. Υλικά

Για την παρασκευή του κεφίρ και της γιαούρτης χρησιμοποιήθηκε γάλα ημιαποβουτυρωμένο (1,5% λίπος), ομογενοποιημένο, παστεριωμένο (ΜΕΒΓΑΛ) και καλλιέργειες εκκίνησης σε λυοφιλωμένη μορφή (έτοιμες για χρήση χωρίς την παρασκευή μητρικών καλλιέργειών): KEFNLY1 (CSL Centro Spermentale, de Latte S.P.A, Zelo Buon Persico, Italy) για το κεφίρ και Jointex X3 (Dosi 4; CSL Centro Spermentale, de Latte S.P.A, Zelo Buon Persico, Italy) για τη γιαούρτη. Για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού χρησιμοποιήθηκε εμφιαλωμένο νερό (ΖΑΓΟΠΙ), σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος (REGILAIT) (89,9% στερεό υπόλειμμα), κρέμα γάλακτος (ΦΑΓΕ) (35% λίπος, 40,48% στερεό υπόλειμμα), ζάχαρη λευκή κρυσταλλική (CRISTALCO HELLENIK) και σταθεροποιητής (Cream Gold 50, Technoblend, Zonaindustrial JESCEsn, Matera, Italy).

4.2. Παρασκευή δειγμάτων

4.2.1. Προετοιμασία του γάλακτος

Το γάλα που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του κεφίρ και της γιαούρτης θερμάνθηκε στους 95°C για 5 min υπό συνεχή ανάδευση, ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών ορού. Στη συνέχεια ψύχθηκε στους 42°C και χωρίστηκε σε δύο μέρη. Το γάλα για την παρασκευή της γιαούρτης χρησιμοποιήθηκε ως έχει, ενώ αυτό για την παρασκευή του κεφίρ ψύχθηκε περαιτέρω στους 30°C.

4.2.2. Παρασκευή κεφίρ

Η καλλιέργεια προστέθηκε (σύμφωνα με τις οδηγίες του παρασκευαστή) αρχικά σε μικρή ποσότητα θερμικά επεξεργασμένου γάλακτος, το οποίο μεταφέρθηκε σε υδατόλουτρο, στους 30°C για 5 min. Έπειτα, αναμίχθηκε με την υπόλοιπη ποσότητα γάλακτος, αναδεύτηκε και τοποθετήθηκε για επώαση στους 30°C για 18 h και 35 min

μέχρι το pH να μειωθεί στο 4,24. Ακλούθησε ψύξη αρχικά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ανάδευση και τοποθέτηση στους 4°C για 24 h προτού χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ. Το κεφίρ που παρασκευάστηκε είχε περιεκτικότητα σε λίπος 1,5% και στερεό υπόλειμμα 10,24%.

4.2.3. Παρασκευή γιαούρτης

Σε μικρή ποσότητα θερμικά επεξεργασμένου γάλακτος προστέθηκε η καλλιέργεια εκκίνησης (σύμφωνα με τις οδηγίες του παρασκευαστή), ακολούθησε διαλυτοποίηση σε υδατόλουτρο στους 42°C για 5 min και ανάμιξη με την υπόλοιπη ποσότητα του γάλακτος. Το εμβολιασμένο γάλα επώαστηκε στους 42°C για 8 h και 15 min μέχρι το pH να μειωθεί στο 4,31. Ακλούθησε ψύξη της γιαούρτης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, ανάδευση και τοποθέτηση στους 4°C για 24 h προτού χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού-γιαούρτης. Η γιαούρτη που παρασκευάστηκε είχε 1,5% λιποπεριεκτικότητα και 10,24% στερεό υπόλειμμα.

4.2.4. Υπολογισμός των συστατικών του μίγματος παγωτού

Για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης όξινου γαλακτοκομικού προϊόντος (45% και 65%) και δύο διαφορετικά ποσοστά προθήκης ζάχαρης (10% και 18%). Ο σταθεροποιητής προστέθηκε σε ποσοστό 1% και η τελική περιεκτικότητα των δειγμάτων παγωτού σε λίπος ρυθμίστηκε στο 1,5%. Ο υπολογισμός των συστατικών του μίγματος πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη τη χημική σύσταση των πρώτων υλών και χρησιμοποιώντας τη σχέση που ακολουθεί για την εξισορρόπηση του μίγματος του παγωτού:

$$\text{Στερεό Υπόλειμμα Άνευ Λίπους (\%)} = \frac{100 - (\text{Λίπος} + \text{Ζάχαρη} + \text{Σταθεροποιητής})}{7} \quad (4.1)$$

Συγκεκριμένα, όταν το ποσοστό προσθήκης ζάχαρης ήταν 10%, το ΣΥΑΛ του μίγματος υπολογίστηκε στο 12,50%, ενώ σε συγκέντρωση ζάχαρης 18% το ΣΥΑΛ του μίγματος βρέθηκε ίσο με 11,36%. Η ποσοστιαία αναλογία (%) των συστατικών του μίγματος φαίνεται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1.: Ποσοστιαία αναλογία (%) των συστατικών του μίγματος των ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων παγωτού.

Συστατικά μίγματος παγωτού	Ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος (%)			
	45		65	
	Ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (%)		Ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (%)	
	10	18	10	18
Κεφίρ/Γιαούρτη	45	45	65	65
Κρέμα γάλακτος	2,36	2,36	1,5	1,5
Σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος	9,47	8,19	7,56	6,29
Ζάχαρη	10	18	10	18
Σταθεροποιητής	1	1	1	1
Νερό	32,17	25,45	14,94	8,21

4.2.5. Παρασκευή παγωτού

Σε ποτήρι ζέσεως τοποθετήθηκε το νερό και θερμάνθηκε στους 50°C. Ακολούθησε η προσθήκη της σκόνης γάλακτος υπό συνεχή ανάδευση σε μαγνητικό αναδευτήρα. Μετά τη διάλυση της σκόνης το μίγμα τοποθετήθηκε στο ψυγείο (4°C) για 24 ώρες. Στην συνέχεια το μίγμα θερμάνθηκε στους 50°C και προστέθηκε η κρέμα γάλακτος, η ζάχαρη και ο σταθεροποιητής υπό συνεχή ανάδευση μέχρι πλήρους διαλυτοποίησης τους. Ακολούθησε θερμική επεξεργασία στους 80°C για 15 s, ψύξη στους 45°C και προσθήκη του ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος. Το μίγμα στη συνέχεια τοποθετήθηκε στο ψυγείο (4°C) για 24 h και στη συνέχεια μεταφέρθηκε σε οικιακή παγωτομηχανή (Grand Gelato GIRMI) για να καταψυχθεί (-6°C) υπό σύγχρονη

συσσωμάτωση αέρα. Για την κατάψυξη του μίγματος χρησιμοποιήθηκε μίγμα αιθυλενογλυκόλης-νερού. Αμέσως μετά την κατάψυξη τα δείγματα μεταφέρθηκαν σε περιέκτες (πλαστικά κυπελλάκια ή πλαστικά ποτηράκια ή ειδικά κατασκευασμένους μεταλλικούς περιέκτες ή αντικειμενοφόρες πλάκες ανάλογα με τη μέθοδο ανάλυσης και όπως περιγράφεται παρακάτω) και τοποθετήθηκαν για σκλήρυνση στον καταψύκτη, όπου αποθηκεύτηκαν στους -18°C . Σε αυτήν την θερμοκρασία παρέμειναν μέχρι να πραγματοποιηθούν όλες οι αναλύσεις (περίπου 10 ημέρες).

4.2.6. Κωδικοποίηση δειγμάτων

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων έγινε ως εξής: ο κωδικός κάθε δείγματος αποτελούνταν από 3 μέρη, το πρώτο αναφερόταν στο είδος του ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δειγμάτων παγωτού (Κ-κεφίρ και Γ-γιαούρτη), το δεύτερο αφορούσε το ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος (45% και 65%) και το τρίτο δήλωνε το ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (10% και 18%). Για παράδειγμα ο κωδικός K-45-10 αναφέρεται στο δείγμα παγωτού-κεφίρ που παρασκευάστηκε με ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος 45% και ποσοστό προσθήκης ζάχαρης 10%.

4.3 Φυσικοχημικές αναλύσεις

4.3.1. Προσδιορισμός λίπους

Ο προσδιορισμός του λίπους στο κεφίρ και στη γιαούρτη έγινε με τη μέθοδο Gerber. Η μέθοδος στηρίζεται στο ότι όταν προστεθεί θειικό οξύ στο δείγμα διασπώνται όλα τα συστατικά του εκτός από το λίπος, το οποίο μετά την καταστροφή της μεμβράνης των λιποσφαιρίων ελευθερώνεται και διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα συστατικά με τη βοήθεια αμυλικής αλκοόλης και την επίδραση φυγοκέντρωσης.

Σε ποτήρι ζέσεως ζυγίστηκαν 11,33 g δείγματος. Στη συνέχεια προστέθηκαν 6 mL θειικού οξέος. Με μια γυάλινη ράβδο διαλύθηκαν τα πηγμάτα καζεΐνης που σχηματίστηκαν και μεταφέρθηκαν ποσοτικά σε βουτυρόμετρο, χρησιμοποιώντας επιπλέον 4 mL θειικού οξέος. Στη συνέχεια, προστέθηκε 1 mL αμυλικής αλκοόλης και το βουτυρόμετρο πωματίστηκε και ανακινήθηκε. Ακολούθησε φυγοκέντρωση

στους 65°C στις 1200 στροφές για 5min. Η λιποπεριεκτικότητα (%) του δείγματος προέκυψε από τη διαφορά της ένδειξης στο κάτω μέρος του μηνίσκου της στοιβάδας λίπους με την ένδειξη της διαχωριστικής γραμμής της στοιβάδας του λίπους και των υπολοίπων συστατικών (Δημητρέλη, 2014).

4.3.2. Προσδιορισμός του στερεού υπολείμματος

Ο προσδιορισμός του στερεού υπολείμματος στο κεφίρ και στη γιαούρτη έγινε με την σταθμική μέθοδο, η οποία στηρίζεται στην ξήρανση του δείγματος στους 102±1°C μέχρι σταθερού βάρους.

Σε κάψα από πορσελάνη προστέθηκαν 20-30 g άμμου και μαζί με μία γυάλινη ράβδο ξηράθηκαν στον κλίβανο στους 102±1°C για μία ώρα. Στη συνέχεια, μεταφέρθηκαν στον ξηραντήρα μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος. Κατόπιν, ζυγίστηκαν και προστέθηκε περίπου 1 g δείγματος, αναμίχθηκαν με την άμμο και ξηράθηκαν στον κλίβανο για τρεις ώρες. Μετά την ξήρανση ακολούθησε ψύξη στον ξηραντήρα για 10 min και ζύγιση του δείγματος. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν για άλλη μισή ώρα στον κλίβανο και ζυγίστηκαν εκ νέου. Η διαδικασία της ξήρανσης επαναλήφθηκε μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους των δειγμάτων (Δημητρέλη, 2014). Το στερεό υπόλειμμα υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$\Sigma Y\% = \frac{(\alpha_3 - \alpha_1)}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \times 100 \quad (4.2)$$

Όπου α_1 : το βάρος της κάψας, της γυάλινης ράβδου και της άμμου; α_2 : το βάρος της κάψας, της γυάλινης ράβδου, της άμμου και του δείγματος πριν την ξήρανση; α_3 : είναι το βάρος της κάψας, της γυάλινης ράβδου, της άμμου και του δείγματος μετά την ξήρανση.

4.3.3. Προσδιορισμός οξύτητας

Η μέτρηση της οξύτητας των δειγμάτων παγωτού πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας την άμεση μέθοδο προσδιορισμού της οξύτητας με εξουδετέρωση. Η μέθοδος βασίζεται στο ότι μία ισοδύναμη ποσότητα αλκάλειως εξουδετερώνει μια ισοδύναμη ποσότητα οξέος. Για την αντίδραση εξουδετέρωσης χρησιμοποιήθηκε διάλυμα καυστικού νατρίου (NaOH) N/4.

Για τον προσδιορισμό της οξύτητας τα δείγματα παγωτού, τα οποία είχαν τοποθετηθεί σε πλαστικούς περιέκτες πριν τη σκλήρυνση τους, παρέμειναν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι να ρευστοποιηθούν. Στη συνέχεια 10g δείγματος ζυγίστηκαν σε κωνική φιάλη και προστέθηκαν 10 mL απεσταγμένου νερού και 2 σταγόνες δείκτη φαινυλοφθαλείνης. Όταν παρατηρήθηκε αλλαγή χρώματος από λευκό σε ανοιχτόχρωμο ροζ έλαβε τέλος η ογκομέτρηση και μετρήθηκαν τα mL του NaOH που καταναλώθηκαν (Δημητρέλη, 2014). Η οξύτητα εκφρασμένη σε °SH υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$^{\circ}\text{SH} = \frac{\text{mL NaOH N/4}}{\text{Βάρος δείγματος}} \times 100 \quad (4.3)$$

Η μετατροπή των °SH σε περιεκτικότητα % σε γαλακτικό οξύ έγινε με τη χρήση της σχέσης:

$$1 \text{ } ^{\circ}\text{SH} = 0,0225 \% \text{ γαλακτικό οξύ} \quad (4.4)$$

4.3.4. Προσδιορισμός pH

Το pH των δειγμάτων κεφίρ, γιαούρτης και παγωτού προσδιορίστηκε με την βοήθεια ενός εργαστηριακού πεχαμέτρου (GP 353 ATC pHMETER, EDT Instruments, Kent U.K.). Το πεχάμετρο ρυθμίστηκε με την χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων (Buffer 4 και 7). Η θερμοκρασία του οργάνου προσαρμόστηκε στην θερμοκρασία του δείγματος, το ηλεκτρόδιο εμβαπτίστηκε στο δείγμα και ακολούθως σημειώθηκε η ένδειξη του πεχαμέτρου. Όσον αφορά τα δείγματα παγωτού, η μέτρηση πραγματοποιήθηκε εμβαπτίζοντας το ηλεκτρόδιο στο ρευστοποιημένο δείγμα παγωτού που βρισκόταν μέσα στους πλαστικούς περιέκτες.

4.4. Βαθμός διόγκωσης

Η διόγκωση (overrun), εκφρασμένη επί τοις εκατό, είναι μία φυσική μεταβλητή που εκφράζει την αύξηση του όγκου του παγωτού σε σύγκριση με το μίγμα πριν την κατάψυξη (Goff & Hartel, 2013).

Για τον προσδιορισμό του βαθμού διόγκωσης, σε ένα ποτήρι χωρητικότητας 50 mL τοποθετήθηκε δείγμα από το μίγμα του παγωτού μετά την ωρίμανση, μέχρι να γεμίσει το ποτήρι έως τα χείλη, και στη συνέχεια ζυγίστηκε. Μετά την κατάψυξη του

μίγματος, το ίδιο ποτήρι γέμισε μέχρι τα χείλη με ποσότητα παγωτού και ζυγίστηκε πάλι. Ο βαθμός διόγκωσης υπολογίστηκε από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Βαθμός διόγκωσης (\%)} = \frac{\text{Βάρος μίγματος} - \text{Βάρος παγωτού}}{\text{Βάρος παγωτού}} \times 100 \quad (4.5)$$

4.5. Ρυθμός τήξης

Ο ρυθμός τήξης (melting rate) του παγωτού εκφράζει την ποσότητα του παγωτού που λιώνει σε συγκεκριμένο χρόνο και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία σε σχέση με το αρχικό του βάρος (Goff & Hartel, 2013).

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού τήξης, ποσότητα (40g) από τα δείγματα παγωτού πριν τη σκλήρυνσή τους ζυγίστηκαν σε πλαστικά ποτηράκια και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στους -18°C . Για την εκτέλεση του πειράματος, τα δείγματα βγήκαν από την κατάψυξη και αμέσως όλη η μάζα του παγωτού αφαιρέθηκε από το πλαστικό ποτήρι και τοποθετήθηκε σε ανοξείδωτο ηθμό κάτω από το οποίο υπήρχε ένα ποτήρι ζέσεως. Ο ηθμός με το δείγμα παρέμεινε σε κλίβανο στους 20°C για μια ώρα. Η ποσότητα του παγωτού που έλιωσε στο ποτήρι ζέσεως ζυγίστηκε στα 30 min και στα 60 min. Τα αποτελέσματα του ρυθμού τήξης εκφράστηκαν ως το βάρος του παγωτού που έλιωσε στα 30 min και στα 60 min ως ποσοστό (%) επί του αρχικού βάρους του δείγματος, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{Ποσοστό λιωμένου παγωτού (\%)} = \frac{\text{Βάρος λιωμένου παγωτού}}{\text{Αρχικό βάρος παγωτού}} \times 100 \quad (4.6)$$

4.6. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων

Για τη μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων παγωτού χρησιμοποιήθηκε ο δυναμικός μηχανικός αναλυτής Bohlin C-VOR 150 (Malvern Instruments Ltd, Worcestershire, UK). Στα δείγματα εφαρμόστηκε η δυναμική δοκιμή και προσδιορίστηκε το ιξώδες τους. Η θερμοκρασία μέτρησης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μεταβαλλόταν. Συγκεκριμένα, αρχικά οι μετρήσεις ξεκινούσαν από τους -4°C (αντιστοιχεί περίπου στη θερμοκρασία εισόδου του δείγματος στο στόμα) και ολοκληρώνονταν στους 30°C (αντιστοιχεί περίπου στη θερμοκρασία κατάποσης του δείγματος). Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας ήταν $6^{\circ}\text{C} / \text{min}$. Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν δυο φορές για κάθε δείγμα.

4.6.1. Δυναμική δοκιμή ή δοκιμή ταλάντωσης

Κατά την εφαρμογή της δοκιμής η συχνότητα ήταν 0,1 Hz, ενώ οι μετρήσεις έγιναν υπό καθεστώς ελεγχόμενης παραμόρφωσης, ώστε να διασφαλίζεται ότι η δοκιμή θα πραγματοποιούνταν εντός της περιοχής της γραμμικής ελαστικότητας (καθορίστηκε με προκαταρκτικές δοκιμές). Η παραμόρφωση των δειγμάτων ήταν $1,5 \times 10^{-5}$. Για τη μελέτη της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς, τα δείγματα παγωτού μετά την παρασκευή τους τοποθετήθηκαν σε ειδικά κατασκευασμένους περιέκτες (ο πυθμένας είχε οδοντωτή επιφάνεια για να αποφευχθούν φαινόμενα ολίσθησης) και ακολούθησε η σκλήρυνση τους (αποθηκεύτηκαν στους -18°C). Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, ο περιέκτης με το δείγμα (μετά την απομάκρυνση από την κατάψυξη) στερεώθηκε στη βάση του οργάνου και η κεφαλή η οποία είχε οδοντωτή επιφάνεια μετακινήθηκε προς το δείγμα μέχρι να έρθει σε επαφή μαζί του. Στη συνέχεια δόθηκε εντολή για έναρξη της μέτρησης. Από την εφαρμογή της δοκιμής προσδιορίστηκαν ο G' και η $\tan\delta$ στους -4°C και στους 30°C .

4.6.2. Προσδιορισμός ιξώδους

Το ιξώδες των δειγμάτων προσδιορίστηκε σε ταχύτητα διάτμησης 40 s^{-1} (αντιστοιχεί περίπου στην παραμόρφωση που υφίσταται το δείγμα την ώρα της κατάποσης). Ποσότητα δείγματος παγωτού (θερμοκρασίας περίπου -6°C) τοποθετήθηκε στο δειγματοφορέα του οργάνου. Το δείγμα λήφθηκε από τους πλαστικούς περιέκτες, όπου είχε τοποθετηθεί πριν την σκλήρυνση του (πριν τον προσδιορισμό του ιξώδους οι περιέκτες με τα δείγματα μεταφέρθηκαν για περίπου 12 ώρες στους -9°C). Το σύστημα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό του ιξώδους ήταν αυτό του κώνου-πλάκας. Ο κώνος, ο οποίος σχημάτιζε γωνία 4° μετακινήθηκε προς το δείγμα, έτσι ώστε να δημιουργηθεί διάκενος χώρος μεταξύ του κώνου και της πλάκας 150 μm . Η περίσσεια του δείγματος αφαιρέθηκε με τη βοήθεια σπάτουλας και στη συνέχεια δόθηκε εντολή για έναρξη της μέτρησης. Από τις καμπύλες ροής των δειγμάτων υπολογίστηκε το φαινομενικό ιξώδες των δειγμάτων στους -4°C και στους 30°C .

4.7. Παρατήρηση δειγμάτων στο Confocal

Για τη μελέτη της δομής, μικρή ποσότητα δείγματος παγωτού μετά την κατάψυξη του μεταφέρθηκε σε αντικειμενοφόρο πλάκα και προστέθηκε με μικροπιπέτα 1 σταγόνα διαλύματος Rodamine B συγκέντρωσης 0,1% (υδατικό διάλυμα). Ακολούθησε ανάμιξη, τοποθέτηση καλυπτρίδας και μεταφορά των δειγμάτων στον καταψύκτη (-18°C) για σκλήρυνση, όπου και παρέμειναν μέχρι να αναλυθούν. Για την παρατήρηση των δειγμάτων στο Confocal χρησιμοποιήθηκε μήκος κύματος διέγερσης 488 nm.

4.8. Στατιστική ανάλυση

Στα στοιχεία του πειράματος εφαρμόστηκε η ανάλυση διακύμανσης ενός παράγοντα (One-Way ANOVA). Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την χρήση του προγράμματος Minitab 18.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Βαθμός διόγκωσης δειγμάτων παγωτού

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές του βαθμού διόγκωσης, των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA, ο βαθμός διόγκωσης επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα).

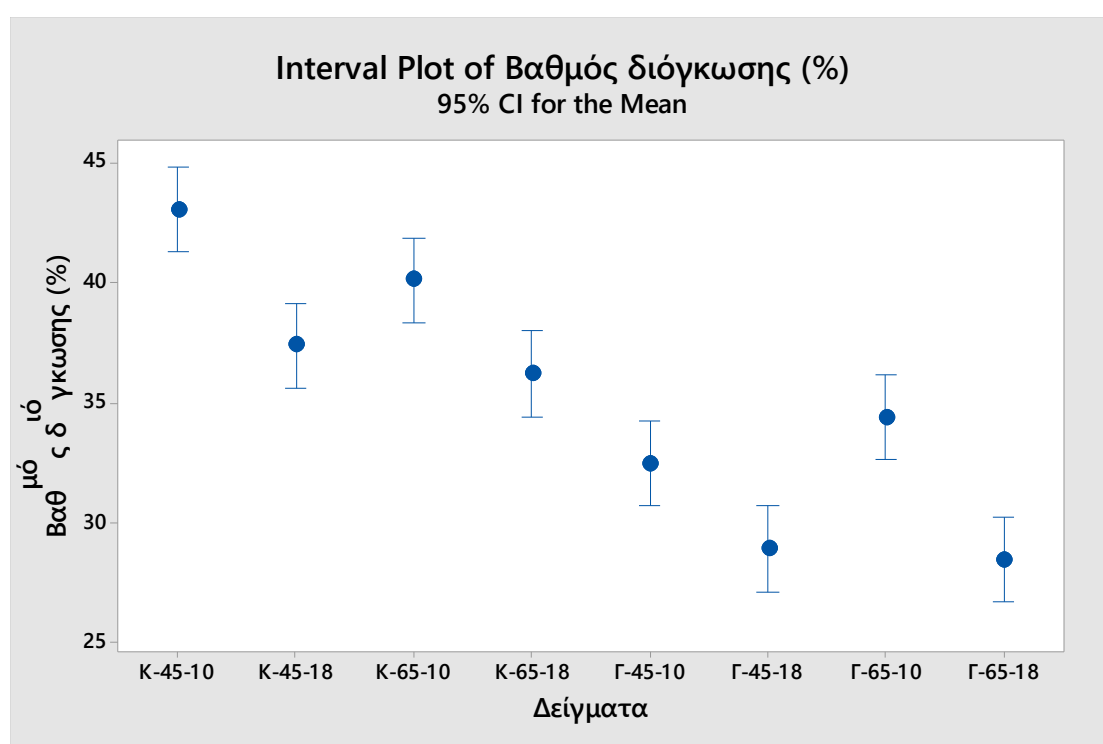
Πίνακας 5.1.: Ο βαθμός διόγκωσης (%) των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης. Οι τιμές αποτελούν το μέσο όρο δύο επαναλήψεων. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

Δείγματα	Βαθμός διόγκωσης (%)
K-45-10	43,1
K-45-18	37,4
K-65-10	40,1
K-65-18	36,2
Γ-45-10	32,5
Γ-45-18	28,9
Γ-65-10	34,4
Γ-65-18	28,4

Σύμφωνα με το Σχήμα 5.1, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές του βαθμού διόγκωσης σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα στο κεφίρ, το οποίο πιθανόν να διευκόλυνε την ενσωμάτωση του αέρα στο μίγμα του παγωτού.

Στο Σχήμα 5.1 μπορεί να παρατηρηθεί επίσης, ότι τα δείγματα παγωτού (τόσο παγωτού-κεφίρ όσο και παγωτού-γιαούρτης) που παρασκευάστηκαν με το ίδιο

ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος εμφάνισαν μειωμένες τιμές του βαθμού διόγκωσης, όταν το ποσοστό προσθήκης ζάχαρης ήταν υψηλό (18%). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της συγκέντρωσης του ΣΥΑΛ από το 12,50%, στο 11,36% με την αύξηση του ποσοστού προσθήκης ζάχαρης από 10% σε 18%. Η μείωση της περιεκτικότητας σε ΣΥΑΛ είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης των πρωτεϊνών, οι οποίες διευκολύνουν την ενσωμάτωση του αέρα και σταθεροποιούν το σχηματισμό των φυσαλίδων αέρα στο μίγμα του παγωτού (Walstra et al., 2006).



Σχήμα 5.1.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του βαθμού διόγκωσης των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

5.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες

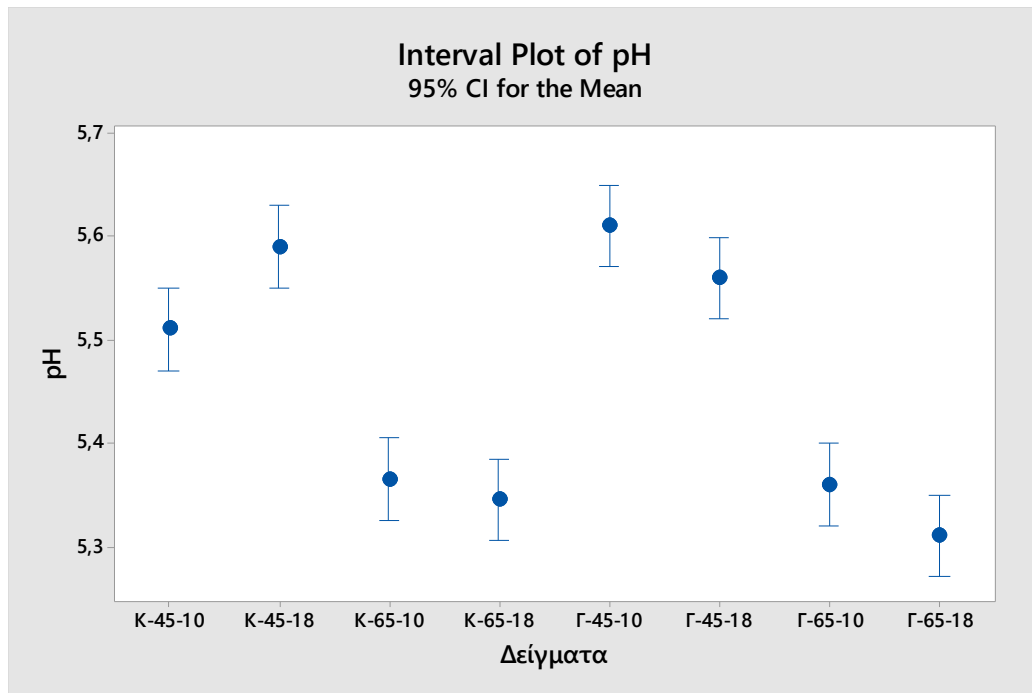
Οι τιμές του pH και της οξύτητας (εκφρασμένη ως περιεκτικότητα % σε γαλακτικό οξύ), των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης φαίνονται στον Πίνακα 5.2.

Πίνακας 5.2.: Οι μέσοι όροι των τιμών pH και οξύτητας (εκφρασμένη ως περιεκτικότητα % σε γαλακτικό οξύ), των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

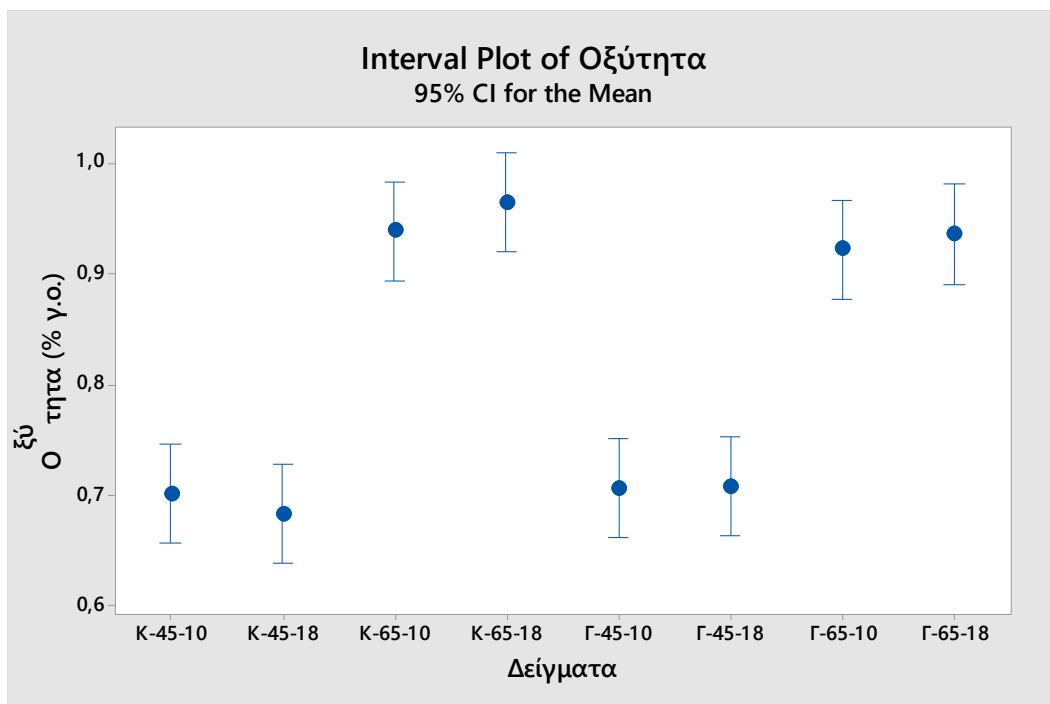
Δείγματα	pH	Οξύτητα (% γ.ο.)
K-45-10	5,51	0,701
K-45-18	5,59	0,683
K-65-10	5,37	0,939
K-65-18	5,35	0,965
Γ-45-10	5,61	0,706
Γ-45-18	5,56	0,708
Γ-65-10	5,36	0,923
Γ-65-18	5,31	0,936

Η εφαρμογή της ANOVA έδειξε ότι η τιμή pH των δειγμάτων επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 5.2, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος (65%) εμφάνισαν μειωμένες τιμές pH. Αυτό οφείλεται στην χαμηλή τιμή pH που έχουν το κεφίρ και η γιαούρτη (4,24 και 4,31, αντίστοιχα για τα συγκεκριμένα δείγματα που παρασκευάστηκαν) ως ζυμούμενα γαλακτοκομικά προϊόντα που είναι.

Η οξύτητα των δειγμάτων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα). Συγκεκριμένα, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος (65%) εμφάνισαν αυξημένη οξύτητα σε σχέση με τα δείγματα όπου το ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος ήταν χαμηλό (45%) (Σχήμα 5.3). Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη χαμηλή τιμή pH που είχε το κεφίρ και η γιαούρτη.



Σχήμα 5.2.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του pH των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.



Σχήμα 5.3.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών της οξύτητας (εκφρασμένη ως περιεκτικότητα % σε γαλακτικό οξύ) των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

5.3. Ρυθμός τήξης δειγμάτων

Οι μετρήσεις του ρυθμού τήξης, οι οποίες εκφράστηκαν ως το βάρος του παγωτού που έλιωσε στα 30 min και στα 60 min ως ποσοστό % του αρχικού βάρους του δείγματος φαίνονται στον Πίνακα 5.3. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA, ο ρυθμός τήξης τόσο στα 30 min όσο και στα 60 min επηρεάστηκαν στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα).

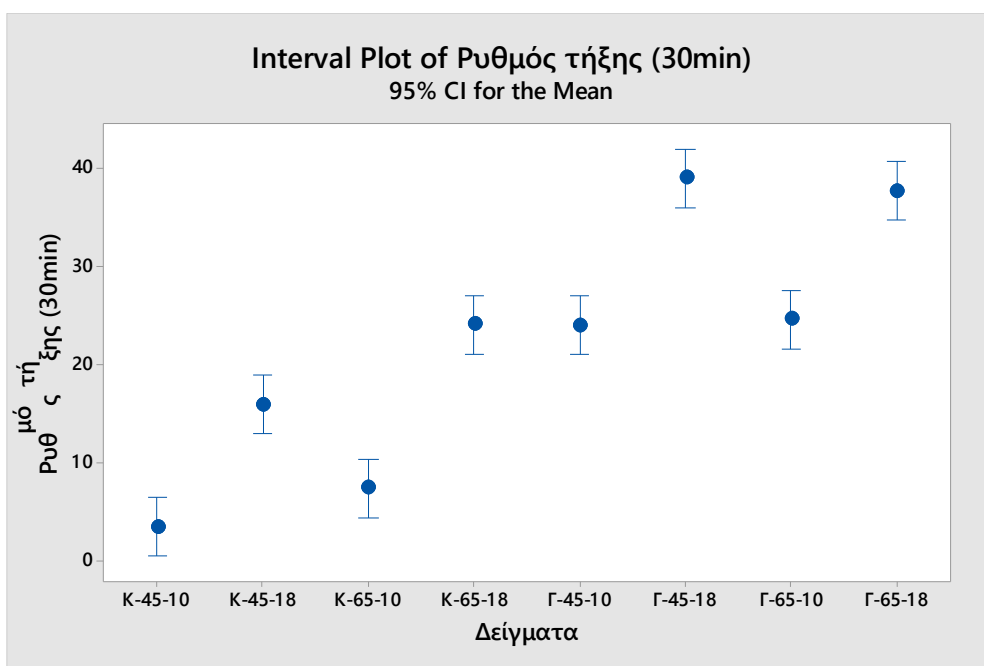
Πίνακας 5.3.: Μέσοι όροι των μετρήσεων του ρυθμού τήξης (οι οποίες εκφράστηκαν ως το βάρος του παγωτού που έλιωσε στα 30 min και στα 60 min ως ποσοστό % επί του αρχικού βάρους του δείγματος) των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

Δείγματα	Ρυθμός τήξης (30 min)	Ρυθμός τήξης (60 min)
K-45-10	3,5	62,5
K-45-18	16,0	81,6
K-65-10	7,4	69,0
K-65-18	24,2	87,7
Γ-45-10	24,1	84,9
Γ-45-18	39,2	95,3
Γ-65-10	24,7	83,9
Γ-65-18	37,9	97,9

Όπως φαίνεται στα Σχήματα 5.4 και 5.5, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μειωμένο ρυθμό τήξης (στα 30min και στα 60min, αντίστοιχα) σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης, τα οποία είχαν αντίστοιχη χημική σύσταση (ίδιο ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος και ζάχαρης). Οι μειωμένες τιμές του ρυθμού τήξης που εμφάνισαν τα δείγματα παγωτού-κεφίρ πιθανόν να μπορούν να αποδοθούν στον αυξημένο βαθμό διόγκωσης των δειγμάτων. Σύμφωνα με τους Muse & Hartel (2004), η αύξηση του βαθμού διόγκωσης δειγμάτων

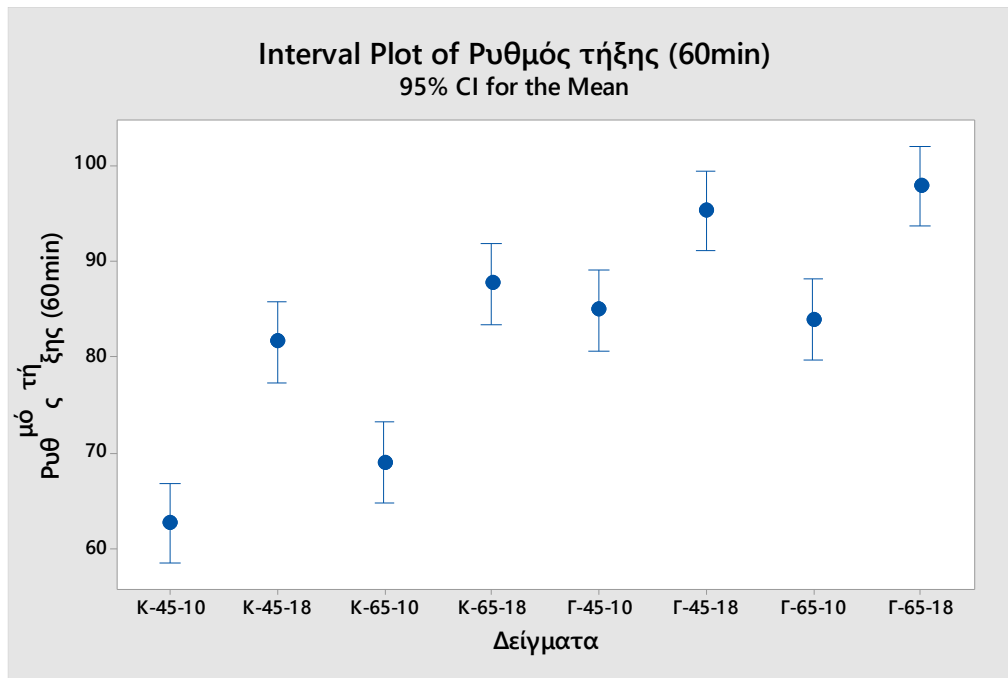
παγωτού προκαλεί μείωση του ρυθμού τήξης εξαιτίας της μείωσης του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας, η οποία οφείλεται στην αύξηση του όγκου του αέρα που ενσωματώνεται στα δείγματα. Η μείωση του ρυθμού τήξης, όπως αναφέρουν οι συγγραφείς, πιθανόν να μπορεί να αποδοθεί και στην αύξηση της καμπύλης επιφάνειας, από την οποία το ρευστό παγωτό πρέπει να περάσει.

Επιπρόσθετα, όσον αφορά τα δείγματα του παγωτού-κεφίρ, υπεύθυνα για τη μείωση του ρυθμού τήξης θα μπορούσε πιθανόν να είναι και η κεφίρανη εξαιτίας της ικανότητας της να σχηματίζει κρυσπηκτές. Ο σχηματισμός των κρυσπηκτών είναι το αποτέλεσμα ενδομοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ αλυσίδων πολυμερών (όπως είναι και η κεφίρανη) κατά την κατάψυξη υδατικών διαλυμάτων τους, ως αποτέλεσμα της αύξησης της συγκέντρωσης τους τοπολογικά, εξαιτίας του σχηματισμού κρυστάλλων πάγου. Η δομή που σχηματίζεται παραμένει και μετά την απόψυξη του συστήματος (Lozinsky et al., 2003). Σύμφωνα με τους Exarhopoulos et al. (2018), υδατικά διαλύματα κεφίρανης μπορούν να σχηματίσουν κρυσπηκτές, εάν βρίσκονται σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις (μεγαλύτερες από περίπου 2%). Η παραγωγή του πολυσακχαρίτη κεφίρανη *in situ* μπορεί να φτάσει τα 712 με 1140 mg/L (0,0712 με 0,1140%) με βελτιστοποίηση των συνθηκών παραγωγής (Cheirsilp et al., 2003; Ghasemlou et al., 2012), συγκέντρωση η οποία είναι σχετικά χαμηλή. Ωστόσο, εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι ιδιότητες ενός πολυσακχαρίτη μπορεί να είναι διαφορετικές μετά την απομόνωση του σε σχέση με αυτές που θα είχε εάν παραγόταν *in situ* από τα βακτήρια (Duboc & Mollet, 2001). Σύμφωνα με τα ανωτέρω και βασιζόμενοι στα αποτελέσματα της μελέτης της δομής των δειγμάτων, η οποία γίνεται σε επόμενη ενότητα, η κεφίρανη πιθανόν να μπορεί να σχηματίσει κρυσπηκτές ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις, όταν παράγεται *in situ* από τα βακτήρια. Ο σχηματισμός μίας τέτοιας δομής κατά την κατάψυξη των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ παρεμποδίζει τη ρευστοποίηση της μάζας του παγωτού, (το ρευστό παγωτό πρέπει να περάσει από τη συγκεκριμένη δομή) και η τήξη των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ πραγματοποιείται με αργό ρυθμό. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι ο σχετικά αργός ρυθμός τήξης είναι επιθυμητός για την παραγωγή παγωτού καλής ποιότητας (Goff & Hartel, 2013). Η χρήση επομένως της κεφίρανης θα μπορούσε να βελτιώσει τις ιδιότητες τήξης σε προϊόντα παγωτού αντισταθμίζοντας τα μειονεκτήματα, ως προς αυτές τις ιδιότητες, άλλων συστατικών του μίγματος του παγωτού.



Σχήμα 5.4.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του ρυθμού τήξης (εκφρασμένος ως το βάρος του παγωτού που έλιωσε στα 30 min ως ποσοστό % του αρχικού βάρους του δείγματος) των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

Τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (18%) εμφάνισαν αυξημένο ρυθμό τήξης στα 30min και στα 60min (Σχήματα 5.4 και 5.5, αντίστοιχα). Η αύξηση της συγκέντρωσης της ζάχαρης μειώνει το σημείο πήξης του μίγματος του παγωτού, εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης των διαλυτών στερεών, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρού αριθμού παγοκρυστάλλων (Walstra et al., 2006), οι οποίοι λιώνουν σχετικά γρήγορα. Επίσης, η αύξηση του ρυθμού τήξης με την αύξηση του ποσοστού ζάχαρης θα μπορούσε να αποδοθεί και στη μείωση του βαθμού διόγκωσης των δειγμάτων, ο οποίος επηρεάζει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας, όπως προαναφέρθηκε.



Σχήμα 5.5.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του ρυθμού τήξης (εκφρασμένος ως το βάρος του παγωτού που έλιωσε στα 60 min ως ποσοστό % του αρχικού βάρους του δείγματος) των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

5.4. Ρεολογικές ιδιότητες δειγμάτων

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι ιξωδοελαστικές ιδιότητες των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης κατά την εφαρμογή της δυναμικής δοκιμής στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης (-4°C και 30°C). Σύμφωνα με την ANOVA, τόσο ο G' όσο και η $\tan\delta$ στους -4°C και στους 30°C επηρεάστηκαν στατιστικά σημαντικά από το είδος δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα).

Συγκεκριμένα, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές του G' σε σχέση με τα δείγματα αντίστοιχης χημικής σύστασης (ίδιο ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος και ζάχαρης) παγωτού-γιαούρτης τόσο στους -4°C όσο και στους 30°C (Σχήματα 5.6 και 5.7, αντίστοιχα). Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα που παράγεται κατά τη ζύμωση του κεφίρ. Το διοξείδιο του άνθρακα στο σύστημα του παγωτού-κεφίρ μπορεί να θεωρηθεί ως αφρός, ο οποίος ρεολογικά συμπεριφέρεται ως στερεό υλικό, αυξάνοντας την ακαμπτότητα (αυξημένες τιμές του G') του συστήματος (Zu &

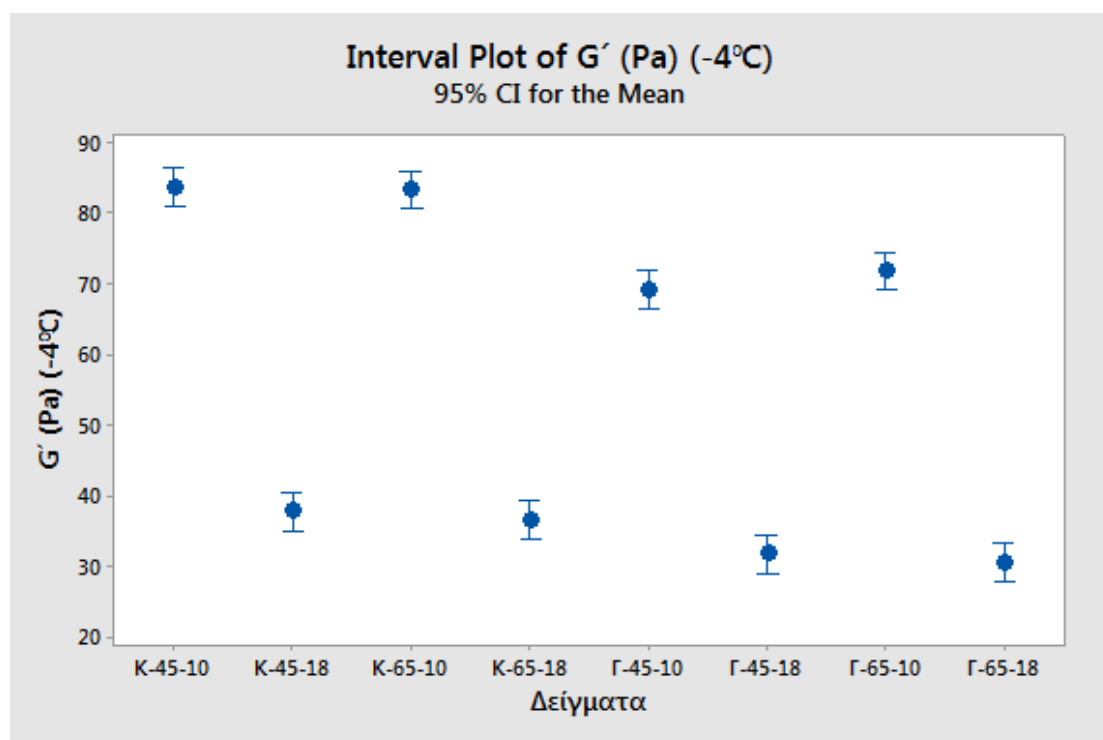
Raphaelides, 2005). Ωστόσο, στην αύξηση της ελαστικότητας των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα παγωτού-γιαούρτης θα μπορούσε να συνεισφέρει και η κεφίρανη εξαιτίας της ικανότητας της να σχηματίζει κρυσταλλίτες, όπως προαναφέρθηκε. Ο σχηματισμός μίας τέτοιας δομής, η οποία παραμένει και μετά την απόψυξη του συστήματος, αυξάνει το αριθμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μεγαλομορίων του συστήματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ελαστικότητα των δειγμάτων.

Πίνακας 5.4.: Μέσοι όροι του συντελεστή ελαστικότητας (G') και της $\tan\delta$ των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης (-4°C και 30°C). Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

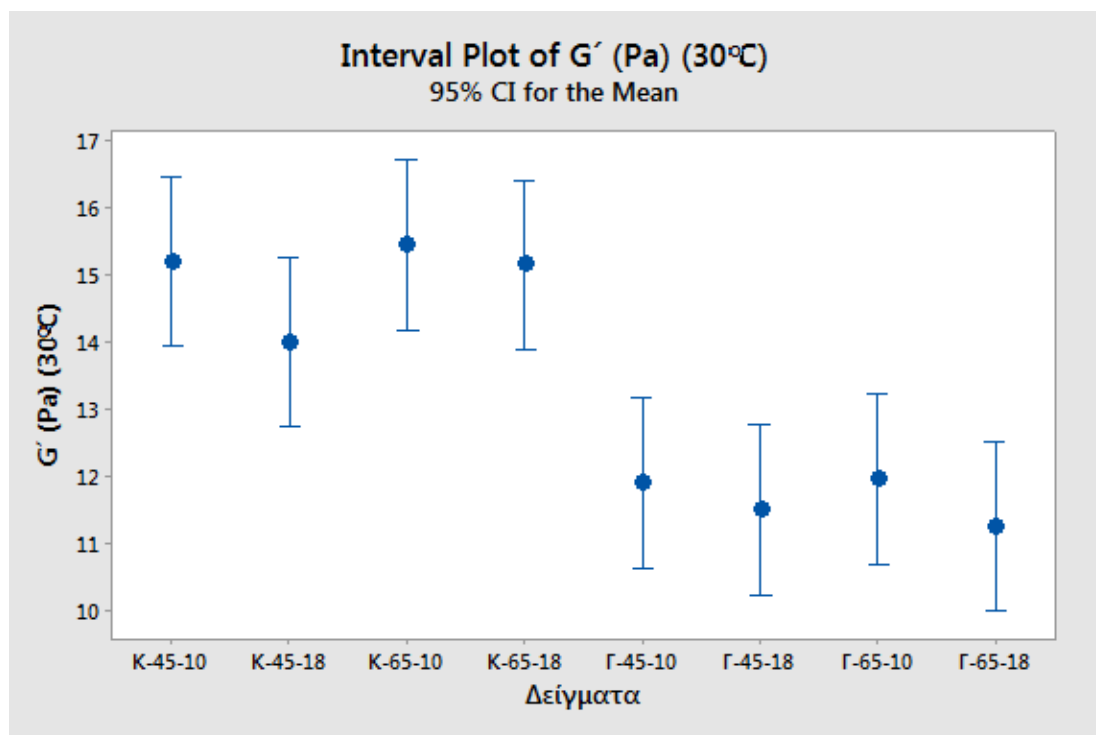
Δείγματα	G' (Pa) (-4°C)	G' (Pa) (30°C)	$\tan\delta$ (-4°C)	$\tan\delta$ (30°C)
K-45-10	83,6	15,2	0,688	0,723
K-45-18	37,7	8,0	0,780	0,817
K-65-10	83,2	16,0	0,658	0,733
K-65-18	36,5	9,2	0,870	0,828
Γ-45-10	69,1	12,2	0,758	0,818
Γ-45-18	34,2	6,5	0,875	0,907
Γ-65-10	71,7	12,0	0,748	0,823
Γ-65-18	35,5	6,7	0,870	0,903

Όπως παρατηρείται στα Σχήματα 5.6 και 5.7, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (18%) εμφάνισαν μειωμένες τιμές του G' μόνο στους -4°C . Η μείωση της ελαστικότητας των δειγμάτων με την αύξηση του ποσοστού προσθήκης ζάχαρης μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της συγκέντρωσης του ΣΥΑΛ (από το 12,5%, στο 11,36% με την αύξηση του ποσοστού προσθήκης ζάχαρης από 10% σε 18%) και κατ'

επέκταση στη μείωση της συγκέντρωσης των πρωτεϊνών. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων που σχηματίζουν μεταξύ τους αυξάνουν την ελαστικότητα του συστήματος (Sodini et al., 2004). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές σχηματίζονται τόσο μεταξύ των καζεϊνών εξαιτίας της εξουδετέρωσης του φορτίου τους από τη μείωση του pH κοντά στο ισοηλεκτρικό τους φορτίο κατά την παρασκευή των όξινων γαλακτοκομικών προϊόντων, όσο και μεταξύ μετουσιωμένων πρωτεϊνών ορού και καζεϊνών εξαιτίας της έντονης θερμικής επεξεργασίας που υφίσταται το γάλα (Walstra et al., 2006). Ωστόσο, σημαντικό μέρος των σχηματιζόμενων δεσμών είναι ενθαλπικής φύσεως-υδρόφιλοι (δεσμοί υδρογόνου, ιοντικές αλληλεπιδράσεις) (Lucey & Singh, 1998), οι οποίοι χαλαρώνουν-εξασθενούν με την αύξηση της θερμοκρασίας. Πιθανόν αυτός είναι και ο λόγος, όπου η ελαστικότητα στους 30°C των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με διαφορετικό ποσοστό προσθήκης ζάχαρης, δε διαφοροποιήθηκε.



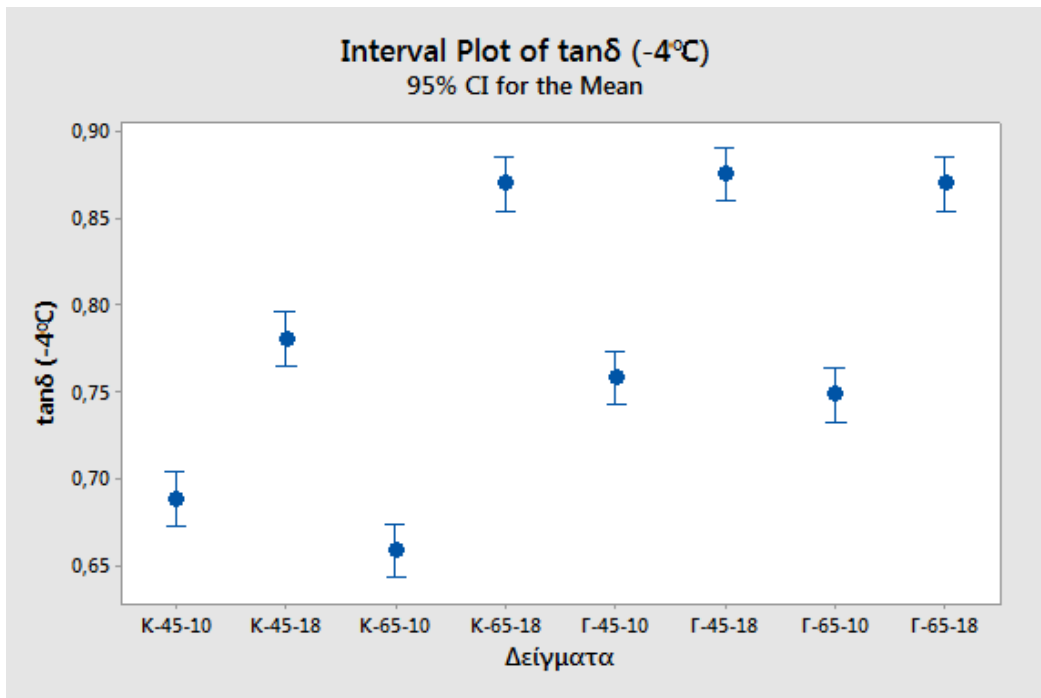
Σχήμα 5.6.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του συντελεστή ελαστικότητας (G') των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, ο οποίος μετρήθηκε στους -4°C. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.



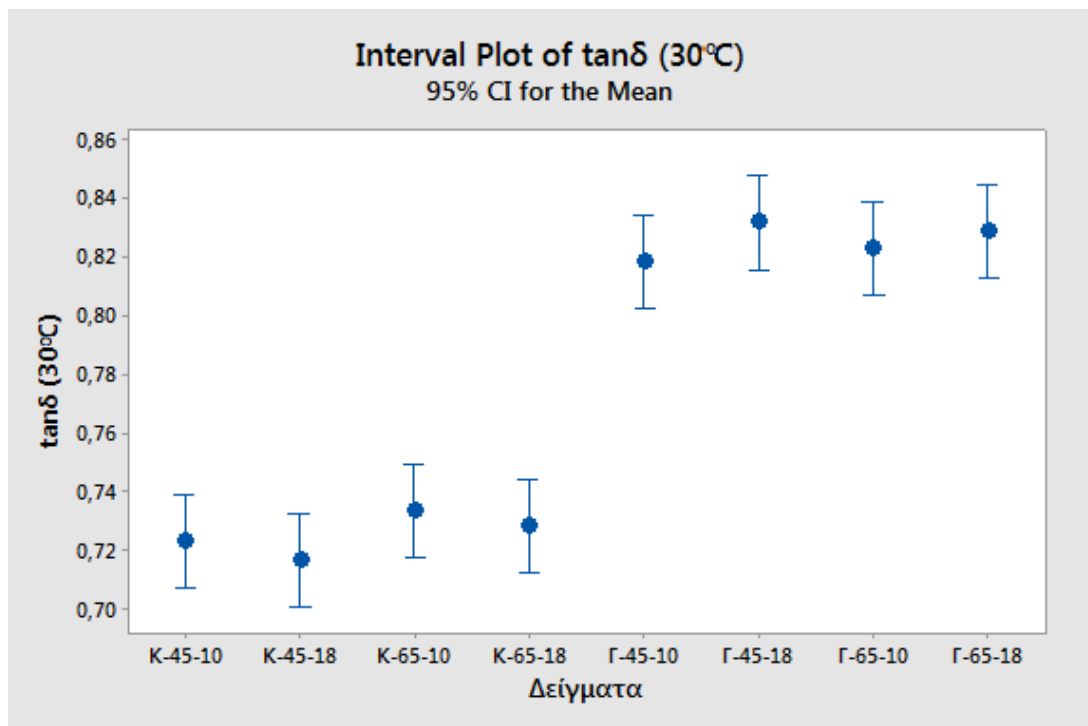
Σχήμα 5.7.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του συντελεστή ελαστικότητας (G') των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, ο οποίος μετρήθηκε στους 30°C . Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

Όσον αφορά την $\tan\delta$, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μειωμένες τιμές της $\tan\delta$ σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης (αντίστοιχης χημικής σύστασης) τόσο στους -4°C όσο και στους 30°C (Σχήματα 5.8 και 5.9, αντίστοιχα). Η $\tan\delta$ αποτελεί μέτρο της ιξώδους συμπεριφοράς των δειγμάτων (Steffe, 1996). Αυτός είναι και ο λόγος όπου τα δείγματα παγωτού-κεφίρ που εμφάνισαν αυξημένες τιμές του G' , εμφάνισαν μειωμένες τιμές της $\tan\delta$.

Σύμφωνα με τα Σχήματα 5.8 και 5.9, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (18%) εμφάνισαν αυξημένες τιμές της $\tan\delta$ μόνο στους -4°C . Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μείωση της συνεκτικότητας των δειγμάτων εξαιτίας της μείωσης της συγκέντρωσης των πρωτεϊνών, όπως προαναφέρθηκε.



Σχήμα 5.8.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών της $\tan\delta$ των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, η οποία μετρήθηκε στους -4°C. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.



Σχήμα 5.9.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών της $\tan\delta$ των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, η οποία μετρήθηκε στους 30°C. Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

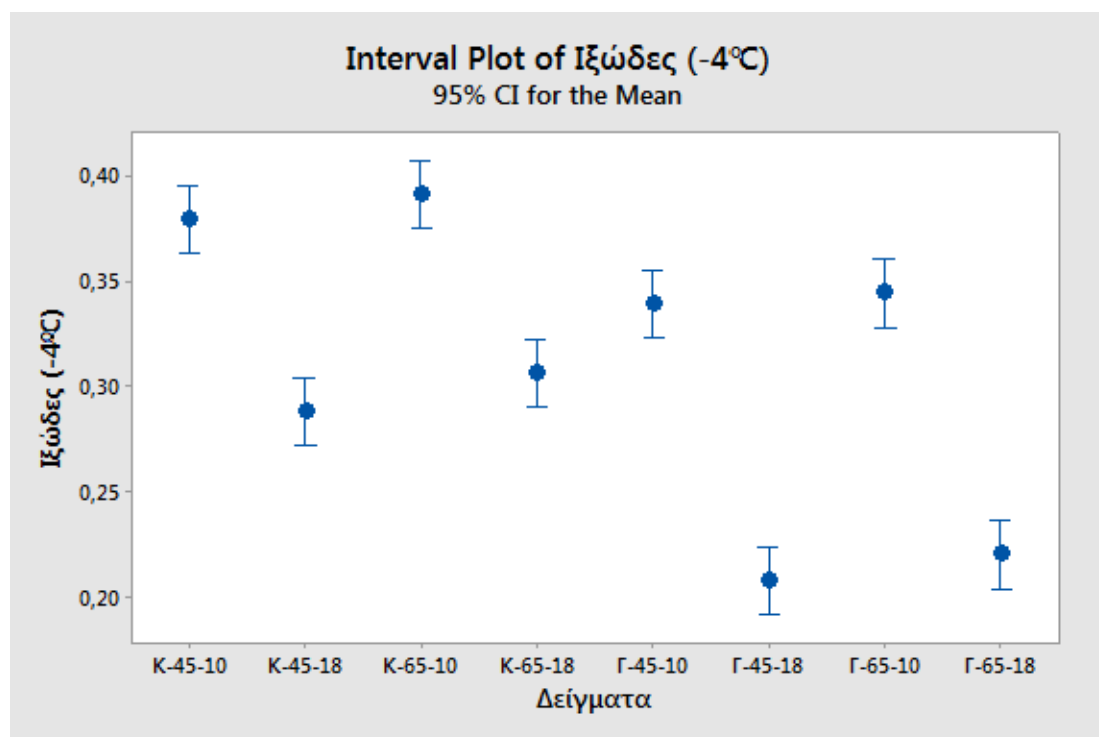
Στον Πίνακα 5.5 φαίνονται οι τιμές του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, στις δύο διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης (-4°C και 30°C). Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, το ιξώδες στους -4°C επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από το είδος του δείγματος ($p < 0,05$) (Παράρτημα), σε αντίθεση με το ιξώδες που προσδιορίστηκε στους 30°C, το οποίο δεν εμφάνισε στατιστική σημαντικότητα του μελετούμενου παράγοντα ($p = 0,426$) (Παράρτημα).

Πίνακας 5.5.: Οι μέσοι όροι των τιμών του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης σε δύο διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης (-4°C και 30°C). Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

Δείγματα	Ιξώδες (Pa · s) (-4°C)	Ιξώδες (Pa · s) (30°C)
K-45-10	0,380	0,187
K-45-18	0,288	0,154
K-65-10	0,392	0,178
K-65-18	0,307	0,156
Γ-45-10	0,340	0,139
Γ-45-18	0,208	0,107
Γ-65-10	0,345	0,132
Γ-65-18	0,220	0,109

Όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 5.10, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές του φαινομενικού ιξώδους σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Αυτό πιθανόν να μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία της κεφίρανης και στην ικανότητα της να σχηματίζει κρυσταλλικές. Ο σχηματισμός μίας τέτοιας δομής αυξάνει τον υδροδυναμικό όγκο των συσσωματωμάτων του συστήματος με

αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντίσταση τους στη ροή και επομένως να αυξάνεται και το ιξώδες των δειγμάτων.

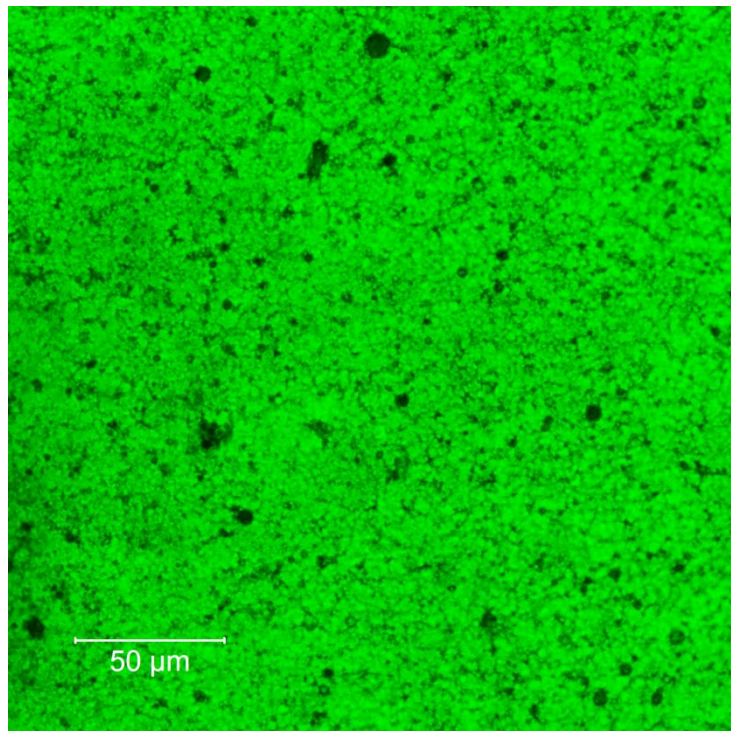


Σχήμα 5.10.: Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης, το οποίο μετρήθηκε στους -4°C . Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην ενότητα 2.4.

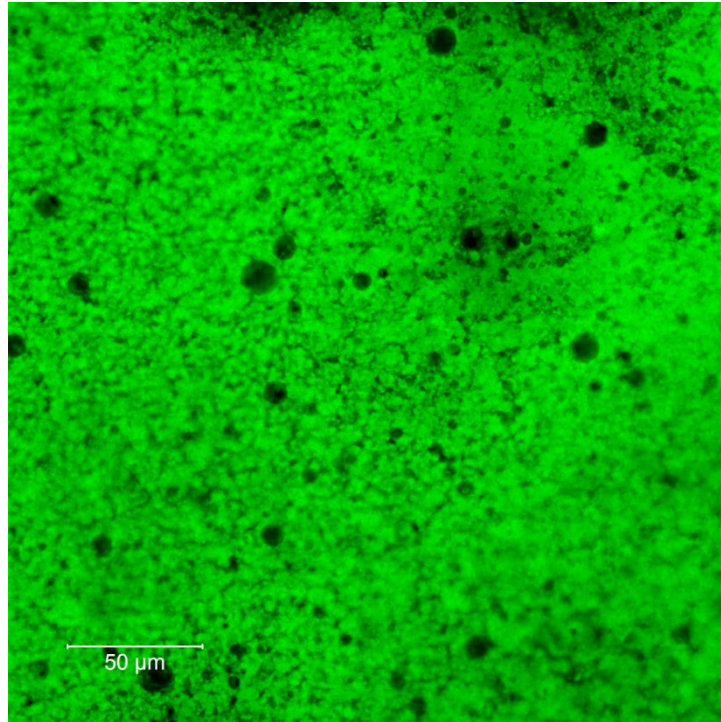
Τα δείγματα παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης που παρασκευάστηκαν με αυξημένο ποσοστό προσθήκης ζάχαρης (18%) χαρακτηρίστηκαν από μείωση των τιμών του ιξώδους σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα παγωτού-γιαούρτης (Σχήμα 5.10). Υπεύθυνη για αυτή τη συμπεριφορά είναι η μείωση του σημείου πήξης του μίγματος του παγωτού, εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης της ζάχαρης, η οποία οδήγησε στο σχηματισμό μικρότερου αριθμού παγοκρυστάλλων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντίστασης που παρουσίασαν τα σωματίδια του συστήματος κατά την εφαρμογή διατμητική τάσης και επομένως τη μείωση του ιξώδους των δειγμάτων.

5.5. Δομή δειγμάτων

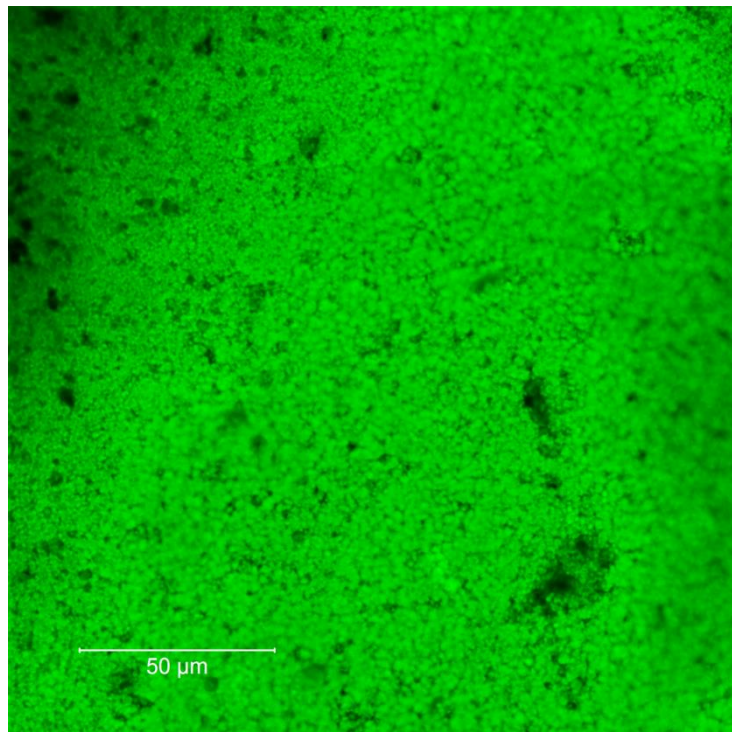
Στα Σχήματα 5.11 έως 5.14 απεικονίζεται η δομή των δειγμάτων παγωτού. Συγκεκριμένα, στα Σχήματα 5.11 και 5.13 φαίνεται η δομή δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και στα Σχήματα 5.12 και 5.14 παρατηρείται η δομή δειγμάτων παγωτού-γιαούρτης. Όπως μπορεί να διαπιστωθεί, ανεξάρτητα από το ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος και ζάχαρης τα δείγματα παγωτού-κεφίρ παρουσιάζουν μία πιο συμπαγή δομή σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης, τα οποία εμφανίζουν μία πιο ανοιχτή δομή. Τα αποτελέσματα από την παρατήρηση των δειγμάτων στο συνεστιακό μικροσκόπιο σάρωσης επιβεβαιώνουν τα όσα προαναφέρθηκαν σχετικά με την πιθανή δημιουργία δομής (κρυσπηκτή) από την κεφίρανη, η οποία παράγεται *in situ* από τα βακτήρια, κατά την εφαρμογή θερμοκρασιών κατάψυξης (σκλήρυνση δειγμάτων) και είναι υπεύθυνη για την περισσότερο συμπαγή δομή που παρουσιάζουν τα δείγματα παγωτού-κεφίρ.



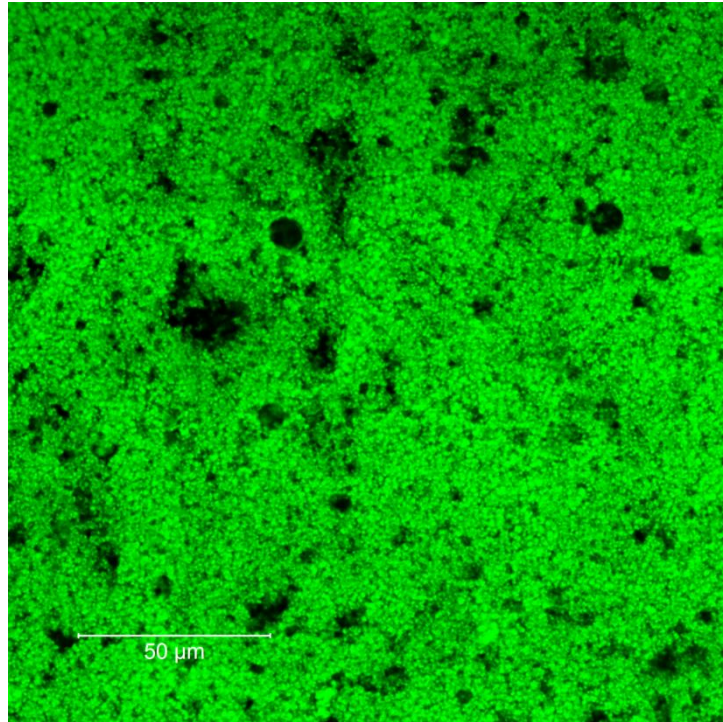
Σχήμα 5.11.: Δομή δείγματος παγωτού-κεφίρ παρασκευασμένο με ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος 45% και ποσοστό προσθήκης ζάχαρης 10%.



Σχήμα 5.12.: Δομή δείγματος παγωτού-γιαούρτης παρασκευασμένο με ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος 45% και ποσοστό προσθήκης ζάχαρης 10%.



Σχήμα 5.13.: Δομή δείγματος παγωτού-κεφίρ παρασκευασμένο με ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος 65% και ποσοστό προσθήκης ζάχαρης 18%.



Σχήμα 5.14.: Δομή δείγματος παγωτού-γιαούρτης παρασκευασμένο με ποσοστό προσθήκης ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος 65% και ποσοστό προσθήκης ζάχαρης 18%.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα δείγματα παγωτού-κεφίρ παρουσίασαν μεγαλύτερο βαθμό διόγκωσης και μειωμένο ρυθμό τήξης σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης.

Η κεφίρανη, η οποία παράγεται από τα βακτήρια *in situ* πιθανόν μπορεί να σχηματίσει δομή κρυσταλλική κατά την εφαρμογή θερμοκρασιών κατάψυξης, η οποία επηρεάζει το ρυθμό τήξης, τις ρεολογικές ιδιότητες και τη δομή των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ. Συγκεκριμένα, τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές του G' στους -4°C και στους 30°C , καθώς επίσης και μεγαλύτερες τιμές του φαινομενικού ιξώδους στους -4°C σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Η $\tan\delta$ παρουσίασε μειωμένες τιμές στα δείγματα παγωτού-κεφίρ σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης. Τα δείγματα παγωτού-κεφίρ εμφάνισαν πιο συμπαγή δομή σε σχέση με τα δείγματα παγωτού-γιαούρτης.

Η αύξηση του ποσοστού προσθήκης ζάχαρης, οδήγησε σε μείωση του βαθμού διόγκωσης, του G' στους -4°C και του φαινομενικού ιξώδους στους -4°C των δειγμάτων παγωτού-κεφίρ και παγωτού γιαούρτης, ενώ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού τήξης και της $\tan\delta$ στους -4°C .

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Μελέτη της επίδραση της προσθήκης:

α) της κεφειράνης

β) του γλυκαντικού στέβια

γ) των χυμών φρούτων

στις φυσικοχημικές, ρεολογικές και οργανοληπτικές ιδιότητες παγωτού-κεφίρ και παγωτού-γιαούρτης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη

- Belitz, H. -D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2006). *Food Chemistry*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Cheirsilp, B., Shimizu, H., & Shioya S. (2003). Enhanced kefir production by mixed culture of *Lactobacillus kefiranofaciens* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Biotechnology*, 100, 43–53.
- Darby, R. (1996). *Chemical engineering fluid mechanics*. New York, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker.
- Dogan, M. (2011). Rheological behavior and physicochemical properties of kefir with honey. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 6, 327–332.
- Duboc, P., & Mollet, B. (2001). Applications of exopolysaccharides in the dairy industry. *International Dairy Journal*, 11, 759–768.
- Exarhopoulos, S., Raphaelides, S. N., & Kontominas, M. G. (2018). Flow behavior studies of kefir systems. *Food Hydrocolloids*, 79, 282–290.
- El-Nagar, G., Clowes, G., Tudorica, C. M., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Rheological quality and stability of yog-ice cream with added inulin. *International Journal of Dairy Technology*, 55, 89–93.
- Farnworth, E. R. (2005). Kefir – a complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, 2, 1–17.
- Ferry, J. D. (1980). *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3rd Ed. New York: John Wiley & Sons.
- Garrote, G. L., Abraham, A. G., & De Antoni, G. L. (1997). Preservation of Kefir Grains, a Comparative Study. *Academic Press Limited*, 30, 77–84.
- Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Jahanbin, K., & Gharibzahedi, S. M. T., Taheri, S. (2012). Structural investigation and response surface optimisation for improvement of kefir production yield from a low-cost culture medium. *Food Chemistry*, 133, 383–389.
- Goff, H. D., & Hartel, R.W. (2013). *Ice cream*, 7nd Edition. New York: Springer Science & Business Media.

- Inoue, K., Shiota, K., & Ito, T. (1998). Preparation and properties of ice cream type frozen yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 51, 44-50.
- Irigoyen, A., Arama, I., Castiella, M., Torre, P., & Ibanez, F. C. (2005). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*, 90, 613–620.
- Karagozlu, C., & Kavas, G. (2000). Alkollu fermente sut icecekleri: Kefir ve kimizin ozellikleri ve insane beslenmesindeki onemi. *Gida*, 6, 86–93.
- Libudzisz, Z., & Piatkiewicz, A. (1990). Kefir production in Poland. *Dairy Industries International*, 55, 31–33.
- Lozinsky, V. I., Galaev, I. Yu., Plieva, F. M., Savina, I. N., Jungvid, H., & Mattiasson, B. (2003). Polymeric cryogels as promising materials of biotechnological interest. *Trends in Biotechnology*, 21, 445–451.
- Lucey, J. A., & Singh, H. (1998). Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 30, 529–542.
- McClements, D. J. (1999). *Food Emulsions: Principles, practice and techniques*. Boca Raton, London, New York, Washington: CRC Press LLC.
- Muse, M. R., & Hartel, R. W. (2004). Ice Cream Structural Elements that Affect Melting Rate and Hardness. *Journal of Dairy Science*, 87, 1–10.
- Otles, S., & Cadingi, O. (2003). Kefir: A probiotic dairy-composition, nutritional and therapeutic aspects. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2, 54–59.
- Perry, H. R. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th Edition. Singapore: McGraw – Hill Book Company.
- Piermaria, J. A., de la Canal, M. L., & Abraham, A. G. (2008). Gelling properties of kefiran, a food-grade polysaccharide obtained from kefir grain. *Food Hydrocolloids*, 22, 1520–1527.
- Rodrigues, K. L., Caputo, L. R. G., Carvalho, J. C. T., Evangelista, J., & Schneedorf, J. M. (2005). Antimicrobial and healing activity of kefir and kefiran extract. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 25, 404–408.
- Sodini, I., Remeuf, F., Haddad, S., & Corrieu, G. (2004). The relative effect of milk base starter culture and process on yogurt texture: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 113–137.

- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. 2nd Edition. East Lansing: Freeman Press.
- Tamime, A. Y. (2006). *Fermented milks*. Oxford: Blackwell Science, Ltd.
- Tamime, A. Y. & Robinson, R. K. (2007). *Tamine and Robinson's yogurt. Science and technology*, 3rd Edition. Boca Raton, Boston, New York, Washington, DC: CRC Press.
- Tetra Pack, 1995. *Dairy processing handbook*. Lund: Tetra Pack Processing Systems AB.
- Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. (2006). *Dairy Science and Technology*, 2nd Edition. Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press.
- Xu Z., & Raphaelides S. N. (2005). A dynamic U-tube rheometer of novel design for the study of weak gels and foams. *Rheologica Acta*, 45, 77–82.

Ελληνική

- Δημητρέλη, Γ. (2014). *Τεχνολογία και έλεγχος ποιότητας γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων*. Σημειώσεις εργαστηρίου γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων. Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης.
- Ζερφυρίδης, Γ., (2001). *Τεχνολογία προϊόντων γάλακτος – Τυροκομία*. Αθήνα: Εκδόσεις Γιαχούδη.
- Κεχαγιάς, Χ. (2011). *Γάλα-Επιστήμη, Τεχνολογία και Έλεγχοι για τη Διασφάλιση της Ποιότητας*. Αθήνα: Εκδοτικός Όμιλος Ίων- Μαρία Παρίκου & ΣΙΑ Ε.Π.Ε.
- Μάντης, Α. Ι. (2005). *Υγιεινή και Τεχνολογία του Γάλακτος και των Προϊόντων του*, 3^η Έκδοση. Αθήνα: Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, Α.Ε.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

General Linear Model: Βαθμός διόγκωσης (%) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	371,632	53,090	44,89	0,000
Error	8	9,462	1,183		
Total	15	381,094			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,08755	97,52%	95,34%	90,07%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	35,124	0,272	129,19	0,000	
a/a					
1	7,956	0,719	11,06	0,000	1,75
2	2,271	0,719	3,16	0,013	1,75
3	5,006	0,719	6,96	0,000	1,75
4	1,091	0,719	1,52	0,168	1,75
5	-2,674	0,719	-3,72	0,006	1,75
6	-6,224	0,719	-8,65	0,000	1,75
7	-0,739	0,719	-1,03	0,334	1,75

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Βαθμός διόγκωσης (%)	Fit	Resid	Std Resid	R
1	41,330	43,080	-1,750	-2,28	R
2	44,830	43,080	1,750	2,28	R

R Large residual

General Linear Model: pH versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,213075	0,030439	51,81	0,000
Error	8	0,004700	0,000588		
Total	15	0,217775			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0242384	97,84%	95,95%	91,37%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5,45625	0,00606	900,43	0,000	
a/a					
1	0,0538	0,0160	3,35	0,010	1,75
2	0,1337	0,0160	8,34	0,000	1,75
3	-0,0913	0,0160	-5,69	0,000	1,75
4	-0,1113	0,0160	-6,94	0,000	1,75
5	0,1537	0,0160	9,59	0,000	1,75
6	0,1038	0,0160	6,47	0,000	1,75
7	-0,0963	0,0160	-6,00	0,000	1,75

General Linear Model: Οξύτητα versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,235500	0,033643	43,94	0,000
Error	8	0,006125	0,000766		
Total	15	0,241625			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0276699	97,47%	95,25%	89,86%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,82000	0,00692	118,54	0,000	
a/a					
1	-0,1187	0,0183	-6,49	0,000	1,75
2	-0,1375	0,0183	-7,51	0,000	1,75
3	0,1187	0,0183	6,49	0,000	1,75
4	0,1450	0,0183	7,92	0,000	1,75
5	-0,1138	0,0183	-6,22	0,000	1,75
6	-0,1125	0,0183	-6,15	0,000	1,75
7	0,1025	0,0183	5,60	0,001	1,75

General Linear Model: melting rate (30min) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	2321,73	331,675	41,78	0,000
Error	8	63,51	7,939		
Total	15	2385,24			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2,81758	97,34%	95,01%	89,35%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	20,463	0,704	29,05	0,000	
a/a					
1	-17,01	1,86	-9,13	0,000	1,75
2	-4,51	1,86	-2,42	0,042	1,75
3	-13,06	1,86	-7,01	0,000	1,75
4	3,74	1,86	2,01	0,080	1,75
5	3,59	1,86	1,92	0,090	1,75
6	20,69	1,86	11,10	0,000	1,75
7	-6,81	1,86	-3,66	0,006	1,75

General Linear Model: melting rate (60min) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	2142,47	306,07	29,05	0,000
Error	8	84,28	10,54		
Total	15	2226,75			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3,24577	96,22%	92,90%	84,86%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	84,225	0,811	103,80	0,000	
a/a					
1	-21,57	2,15	-10,05	0,000	1,75
2	3,37	2,15	1,57	0,155	1,75
3	-15,27	2,15	-7,12	0,000	1,75
4	8,43	2,15	3,92	0,004	1,75

5	1,67	2,15	0,78	0,458	1,75
6	10,08	2,15	4,69	0,002	1,75
7	-0,33	2,15	-0,15	0,883	1,75

General Linear Model: G' (Pa) (-4°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	7073,98	1010,57	410,38	0,000
Error	8	19,70	2,46		
Total	15	7093,68			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1,56924	99,72%	99,48%	98,89%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	56,413	0,392	143,80	0,000	
a/a					
1	27,19	1,04	26,19	0,000	1,75
2	-18,76	1,04	-18,08	0,000	1,75
3	26,79	1,04	25,81	0,000	1,75
4	-19,96	1,04	-19,23	0,000	1,75
5	12,69	1,04	12,22	0,000	1,75
6	-22,26	1,04	-21,45	0,000	1,75
7	15,29	1,04	14,73	0,000	1,75

General Linear Model: G' (Pa) (30°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	46,740	6,6771	11,08	0,001
Error	8	4,820	0,6025		
Total	15	51,560			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,776209	90,65%	82,47%	62,61%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	13,300	0,194	68,54	0,000	
a/a					
1	1,900	0,513	3,70	0,006	1,75
2	0,700	0,513	1,36	0,210	1,75
3	2,150	0,513	4,19	0,003	1,75
4	1,850	0,513	3,60	0,007	1,75
5	-1,400	0,513	-2,73	0,026	1,75
6	-1,800	0,513	-3,51	0,008	1,75
7	-1,350	0,513	-2,63	0,030	1,75

General Linear Model: $\tan\delta$ (-4°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,100026	0,014289	156,17	0,000
Error	8	0,000732	0,000092		
Total	15	0,100758			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0095656	99,27%	98,64%	97,09%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,78063	0,00239	326,43	0,000	
a/a					
1	-0,09313	0,00633	-14,72	0,000	1,75
2	-0,00062	0,00633	-0,10	0,924	1,75
3	-0,12262	0,00633	-19,38	0,000	1,75
4	0,08888	0,00633	14,05	0,000	1,75
5	-0,02312	0,00633	-3,65	0,006	1,75
6	0,09437	0,00633	14,92	0,000	1,75
7	-0,03263	0,00633	-5,16	0,001	1,75

General Linear Model: $\tan\delta$ (30°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,040613	0,005802	60,95	0,000
Error	8	0,000762	0,000095		
Total	15	0,041374			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0097564	98,16%	96,55%	92,64%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,77519	0,00244	317,82	0,000	
a/a					
1	-0,05219	0,00645	-8,09	0,000	1,75
2	-0,05869	0,00645	-9,09	0,000	1,75
3	-0,04219	0,00645	-6,54	0,000	1,75
4	-0,04719	0,00645	-7,31	0,000	1,75
5	0,04281	0,00645	6,63	0,000	1,75
6	0,05631	0,00645	8,73	0,000	1,75
7	0,04781	0,00645	7,41	0,000	1,75

General Linear Model: Ιξώδες (-4°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,065269	0,009324	93,36	0,000
Error	8	0,000799	0,000100		
Total	15	0,066068			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0099937	98,79%	97,73%	95,16%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,30963	0,00250	123,93	0,000	
a/a					

1	0,06987	0,00661	10,57	0,000	1,75
2	-0,02163	0,00661	-3,27	0,011	1,75
3	0,08188	0,00661	12,39	0,000	1,75
4	-0,00313	0,00661	-0,47	0,649	1,75
5	0,02987	0,00661	4,52	0,002	1,75
6	-0,10212	0,00661	-15,45	0,000	1,75
7	0,03487	0,00661	5,28	0,001	1,75

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Ιξώδες C)°(-4)	Fit	Resid	Std Resid	
9	0,32500	0,33950	-0,01450	-2,05	R
10	0,35400	0,33950	0,01450	2,05	R

R Large residual

General Linear Model: Ιξώδες (30°C) versus a/a Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
a/a	Fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
a/a	7	0,1906	0,02723	1,14	0,426
Error	8	0,1915	0,02394		
Total	15	0,3822			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,154727	49,88%	6,03%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0,1880	0,0387	4,86	0,001	
a/a					
1	-0,012	0,102	-0,11	0,913	1,75
2	-0,020	0,102	-0,19	0,854	1,75
3	-0,011	0,102	-0,10	0,921	1,75
4	0,283	0,102	2,77	0,024	1,75
5	-0,059	0,102	-0,58	0,580	1,75
6	-0,058	0,102	-0,57	0,583	1,75
7	-0,059	0,102	-0,58	0,577	1,75

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Ιξώδες C)°(30)	Fit	Resid	Std Resid	
7	0,780	0,471	0,309	2,82	R

8 0,162 0,471 -0,309 -2,82 R
R Large residual