



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

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επίδραση της προσθήκης συμπυκνωμάτων  
πρωτεϊνών ορού στα ρεολογικά χαρακτηριστικά  
του κεφίρ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ  
ΚΑΛΑΝΤΖΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΓΡΗΓΟΡΙΟΥ ΕΛΕΝΗ-ANNA**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2011**

Τίτλος  
Επίδραση της προσθήκης των πρωτεϊνών ορού στα ρεολογικά  
χαρακτηριστικά του κεφίρ

Όνοματεπώνυμο  
Καλαντζίδης Γεώργιος  
Γρηγορίου Ελένη-Άννα

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

Ημερομηνία.  
28/01/2011

Εισηγητές  
Αντωνίου Κλειώ, Δημητρέλη Γεωργία

Η επόμενη σελίδα αφορά κάποιες πιθανές ευχαριστίες σε Μέλη του Εκπαιδευτικού Προσωπικού, άλλους Σπουδαστές ή κάποιους φορείς που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής διατριβής.

Ευχαριστούμε θερμά τις καθηγήτριες Αντωνίου Κλειώ και Δημητρέλη Γεωργία για τη βοήθειά και την υποστήριξή που μας παρείχαν. Επίσης, ευχαριστούμε τον Κεσσανόπουλο Αθανάσιο καθώς και τον Εξαρχόπουλο Στέλιο. Τέλος, ευχαριστούμε τον κο Τσακμακίδη Κλέωνα (Group Hellenic Protein) για τη διάθεση των συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού.

## **Τίτλος**

Επίδραση της προσθήκης των πρωτεϊνών ορού στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του κεφίρ

## **Όνοματεπώνυμο**

Καλαντζίδης Γεώργιος

Γρηγορίου Ελένη-Άννα

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

## **Περίληψη**

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της προσθήκης συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ) στο χρόνο επώασης που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής pH 4,4 και στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του κεφίρ. Η προσθήκη των ΣΠΟ έγινε τόσο πριν όσο και μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος. Για την παρασκευή των δειγμάτων κεφίρ χρησιμοποιήθηκε καλλιέργεια εκκίνησης οικιακής παραγωγής (κόκκοι κεφίρ), παστεριωμένο αγελαδινό γάλα λιποπεριεκτικότητας 3,5% και ΣΠΟ σε διαφορετικά ποσοστά προσθήκης (1, 3 και 5%). Οι ρεολογικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση ενός πνευματικού σωληνωτού ρεομέτρου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η προσθήκη συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου επώασης που απαιτείται για την επίτευξη τιμής pH 4,4. Ο χρόνος επώασης που απαιτείται για την επίτευξη τιμής pH 4,4 δεν επηρεάζεται από το εάν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται πριν ή μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος. Η προσθήκη των ΣΠΟ πριν τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς. Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς δε μεταβάλλεται όταν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	2
2.1. Κεφίρ .....	2
2.2. Καλλιέργεια κεφίρ.....	2
2.2.1. Κόκκοι κεφίρ.....	2
2.2.2. Μικροχλωρίδα.....	4
2.3. Προετοιμασία καλλιέργειας (κόκκων) .....	5
2.4. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ .....	6
2.4.1. Παραδοσιακή τεχνική.....	6
2.4.2. Τεχνική που εφαρμόζεται στην βιομηχανία .....	7
2.5. Διαιτητική και θρεπτική αξία κεφίρ .....	9
2.6. Στοιχεία ρεολογίας ρευστών.....	10
3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	13
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	14
4.1. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ.....	14
4.2. Προσδιορισμός ιξώδους .....	15
4.2.1. Περιγραφή ιξωδομέτρου.....	16
4.2.3. Επεξεργασία μετρήσεων.....	19
4.2.4. Φαινόμενα άκρων.....	20
4.2.5. Διόρθωση κινητικής ενέργειας .....	21
4.3. Μέτρηση pH.....	22
4.4. Στατιστική ανάλυση .....	22
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	23
5.1. Χρόνος επώασης για επίτευξη τιμής pH 4,4.....	23
5.2. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ.....	24
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	29
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	30
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	34

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφίρ είναι ένα ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν που προέρχεται από τις παρα-Καυκάσιες χώρες. Η λέξη κεφίρ λέγεται ότι προέρχεται από την Τούρκικη λέξη “Keyif” η οποία σημαίνει “καλό αίσθημα” (good feeling) (Chaitow & Trenev, 2002). Η καλλιέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του κεφίρ είναι σε μορφή κόκκων που περιέχουν λακτοβακίλλους, λακτοκόκκους και ζύμες σε ένα πλέγμα πρωτεϊνών-πολυσακχαριτών (Garrote et al., 1998). Οι αναφορές σχετικά με τις ευεργετικές ιδιότητες του κεφίρ και τη θρεπτική του αξία οδήγησαν σε αύξηση της κατανάλωσης και παραγωγής του. Το κεφίρ θεωρείται ως η γιαούρτη του 21<sup>ου</sup> αιώνα (Irigoyen et al., 2005; Witthuhn et al., 2004; Otles & Cagindi, 2003; Beshkova et al., 2002; Garrote et al., 1998).

Η μελέτη της τεχνολογίας παρασκευής του κεφίρ, του μικροβιακού πληθυσμού του, των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του και της θρεπτικής-διαιτητικής του αξίας αποτελούν αντικείμενο πολλών ερευνητών (Beshkova et al., 2002).

Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση της προσθήκης συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ) που προέρχονται από αιγοπρόβειο τυρόγαλα στο χρόνο επώασης που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής pH 4,4 και στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του κεφίρ. Η προσθήκη των ΣΠΟ έγινε τόσο πριν όσο και μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος

## **2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

### **2.1. Κεφίρ**

Το κεφίρ είναι ένα ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν, το οποίο παράγεται από την δράση βακτηρίων και ζυμών, που περιέχονται στους κόκκους κεφίρ (Farnworth, 2005). Είναι παχύρρευστο πότο, αφρίζον, ξινό με δριμεία γεύση. Από την περιγραφή αυτή μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι έχει πολυσακχαρίτες, οι οποίοι προσδίδουν σε αυτό ιξώδες, και ότι οι μικροοργανισμοί του παράγουν αέρια, συγκεκριμένα διοξείδιο του άνθρακα οπότε δίνει την αίσθηση του αφρώδους, καθώς επίσης οξύτητα, η οποία οφείλεται τόσο σε γαλακτικό οξύ όσο και σε οξικό οξύ και άλλα οξέα. Χαρακτηριστικό προϊόν μεταβολισμού της καλλιέργειας είναι επίσης και η παραγωγή αλκοόλης. Η χαρακτηριστική γεύση του προϊόντος οφείλεται βέβαια στο σύνολο των προϊόντων μεταβολισμού και στην ισόρροπη σχέση μεταξύ τους.

Το κεφίρ θεωρείται ένα ιδιάζον ζυμούμενο ποτό γάλακτος επειδή η καλλιέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή του παρουσιάζει ξεχωριστή ιδιομορφία (Ζερφυρίδης, 2001).

### **2.2. Καλλιέργεια κεφίρ**

Η καλλιέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κεφίρ προέρχεται μόνο από κόκκους κεφίρ ή από μητρικές καλλιέργειες οι οποίες προετοιμάζονται από τους κόκκους αυτούς (Libudzisz & Piatkiewicz, 1990).

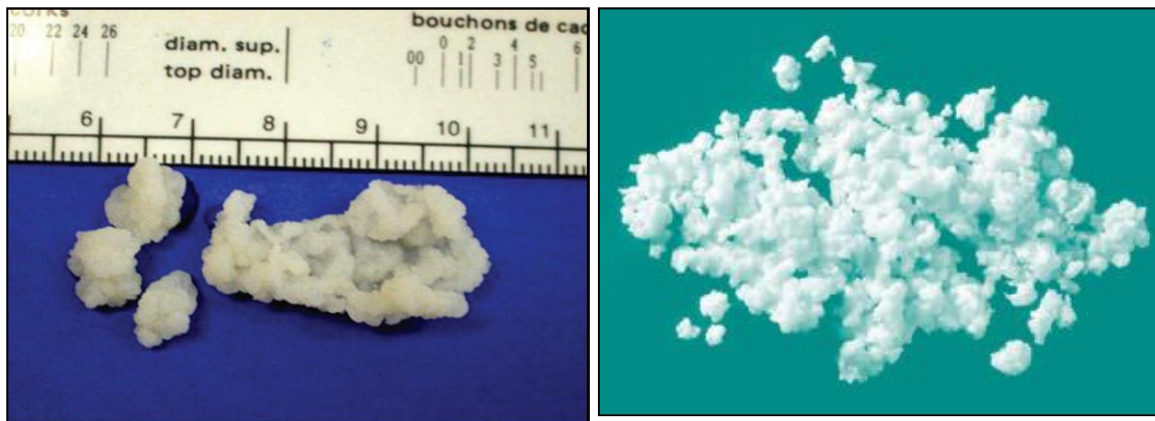
#### **2.2.1. Κόκκοι κεφίρ**

Οι κόκκοι κεφίρ μοιάζουν με κομμάτια κοραλλιού ή μικρές συμπαγείς μάζες κουνουπιδιού (Σχήμα 1) και έχουν μέγεθος από 3-20 mm σε διάμετρο (Libudzisz & Piatkiewicz, 1990). Επίσης μοιάζουν με ζελατινώδη άσπρα ή κίτρινα σωματίδια.

Οι κόκκοι περιέχουν οξυγαλακτικά βακτήρια (λακτοβάκιλλους, λακτόκοκκους, λευκονοστόκια), οξικά βακτήρια και ζύμες σχηματίζοντας συμπαγή μάζα μαζί με την

καζεΐνη και ένα πλέγμα πολυσακχαριτών. Ο κύριος πολυσακχαρίτης είναι μία υδατοδιαλυτή ουσία γνωστή ως κεφειράνη (Arihara et al., 1990).

Το σύνολο των μικροοργανισμών αυτών αποτελεί μία συνεργιστική συμβίωση. Η ολική διοργάνωση των μικροοργανισμών των κόκκων δεν είναι πλήρως διευκρινισμένη. Το πλέγμα των κόκκων αποτελείται από ένα σύμπλεγμα με 13% πρωτεΐνη (επί ξηρής ουσίας), 24% πολυσακχαρίτες, καθώς επίσης κυτταρικά θραύσματα και άγνωστα συστατικά (Halle et al., 1994).



Σχήμα 1. Κόκκοι κεφίρ (Otlés & Cagindi, 2003)

Ο τρόπος της πρώτης δημιουργίας των κόκκων είναι ακόμη άγνωστος γι' αυτό υπάρχουν διάφορες θεωρίες για την προέλευση τους. Η πιο πιθανή φαίνεται να είναι εκείνη σύμφωνα με την οποία το γάλα στην περιοχή του Καυκάσου φυλαγόταν σε ασκούς από κατσικίσιο δέρμα όπου γινόταν η ζύμωση. Καθώς το ζυμούμενο γάλα καταναλωνόταν, φρέσκο γάλα το αντικαθιστούσε και η ζύμωση συνεχιζόταν για πολλές εβδομάδες. Έτσι στα τοιχώματα του ασκού δημιουργούνταν μικρά σωματίδια πρωτεϊνικής φύσεως, τα οποία με τον καιρό μεγάλωναν, με την προσθήκη νέων στρωμάτων πρωτεΐνης με σύγχρονη ενσωμάτωση από την μικροχλωρίδα ζύμωσης. Έτσι η μικροχλωρίδα βρίσκεται μέσα στον κόκκο εγκλωβισμένη μέσα σε ένα πλέγμα το οποίο δένεται από πολυσακχαρίτες (Libudzisz & Piatkiewicz, 1990).

Φαίνεται ίσως παράξενο αλλά οι κόκκοι παράγονται μόνο από άλλους κόκκους τους οποίους σπάνε σε μικρότερους για να μεγαλώσουν διότι δεν κατέστη δυνατόν να δημιουργηθούν κόκκοι από τα είδη των μικροοργανισμών οι οποίοι υπάρχουν μέσα σε αυτούς (Ζερφυρίδης, 2001).



## 2.2.2. Μικροχλωρίδα

Η μικροχλωρίδα των κόκκων βρίσκεται σε μία δυναμική κατάσταση συμβίωσης και αποτελείται από βακτήρια και ζύμες. Αυτή η συμβιωτική κατάσταση κάνει την ταυτοποίηση και την μελέτη των υπαρχόντων μικροοργανισμών μέσα στους κόκκους κεφίρ δύσκολη. Η Koroleva (1991) υποστήριξε ότι τα βακτήρια και οι ζύμες του κεφίρ, όταν διαχωριστούν σαν καθαρές καλλιέργειες, είτε δεν αναπτύσσονται στο γάλα ή παρουσιάζουν μειωμένη βιοχημική δραστηριότητα.

Τα είδη των μικροβίων και η σχέση μεταξύ τους διαφέρει από την επιφάνεια προς το κέντρο των κόκκων. Τα βαθύτερα στρώματα των κόκκων για παράδειγμα έχουν ζύμες που δεν ζυμώνουν την λακτόζη ενώ οι ζύμες της επιφάνειας ζυμώνουν την λακτόζη. Τα επιφανειακά όπως και τα βαθύτερα στρώματα είναι εξίσου πλούσια σε μεσόφιλους λακτοκόκκους, καθώς επίσης σε μεσόφιλους και θερμοφίλους ομοζυμωτικούς και ετεροζυμωτικούς λακτοβακίλλους γαλακτικού και οξικού οξέος. Γενικά, τα γαλακτικά βακτήρια είναι περισσότερα ( $10^8$  -  $10^9$ ) από τις ζύμες ( $10^5$  -  $10^6$ ) και τα οξικά βακτήρια ( $10^5$  -  $10^6$ ) στους κόκκους κεφίρ, παρόλο αυτά οι συνθήκες ζύμωσης μπορούν να επηρεάσουν αυτή τη σχέση (Koroleva, 1982; Garrote et al., 1998). Τα κολοβακτηριοειδή και άλλα παθογόνα δεν υπάρχουν στα ενδιάμεσα στρώματα των κόκκων, είναι όμως δυνατόν να προσκολληθούν στην επιφάνεια από όπου όμως μπορούν να απομακρυνθούν με επανειλημμένες εκπλύσεις με αποστειρωμένο νερό (Ζερφυρίδης, 2001).

Πιο συγκεκριμένα η μικροχλωρίδα των κόκκων αποτελείται από τους παρακάτω μικροοργανισμούς:

### Λακτοβάκιλλοι

Οι λακτοβάκιλλοι του κεφίρ έχουν ευρύ φάσμα ειδών. Αυξάνουν το ιξώδες και επιπλέον την σταθερότητα του κεφίρ (Irigoyen et al., 2005). Κυρίαρχα είδη είναι ο *Lactobacillus brevis* ετεροζυμωτικός, ο *L. casei* προαιρετικά ετεροζυμωτικός μεσόφιλος και οι *L. bulgaricus* και *L. helveticus* ομοζυμωτικοί θερμοφίλοι (Ζερφυρίδης, 2001).

### Λακτόκοκκοι

Οι λακτόκοκκοι που υπάρχουν στο κεφίρ είναι κύρια οι *Lactococcus lactis*, *L. cremoris* και πολλές φορές *L. durans* οι οποίοι είναι ομοζυμωτικοί μεσόφιλοι και

παράγουν γαλακτικό οξύ με γρήγορο ρυθμό στα αρχικά στάδια. Επίσης υπάρχουν οι *Leuconostoc mesenteroides* και *L. dextranicum* οι οποίοι είναι ετεροζυμωτικοί μεσόφιλοι που συμβάλλουν στην γεύση και το άρωμα του κεφίρ (Ζερφυρίδης, 2001).

### Οξικά βακτήρια

Είναι κύρια τα *Acetobacter aceti* και *A. rascens* τα οποία παράγουν οξικό οξύ κατά την ζύμωση του γάλακτος και παίζουν ρόλο στην συμβίωση των μικροοργανισμών του κεφίρ (Ζερφυρίδης, 2001). Αυξάνουν το ιξώδες και επιπλέον την σταθερότητα του κεφίρ (Irigoyen et al., 2005).

### Ζύμες

Έχει αποδειχθεί ότι οι ζύμες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παρασκευή των ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων, όπου μπορούν να παρέχουν θρεπτικά συστατικά όπως τα αμινοξέα και οι βιταμίνες, μεταβάλλουν το pH, παράγουν αιθανόλη και CO<sub>2</sub> (Viljoen, 2001). Οι ζύμες στο κεφίρ έχουν μελετηθεί λιγότερο από τα βακτήρια του κεφίρ, παρόλα αυτά είναι φανερό ότι οι ζύμες στους κόκκους κεφίρ παρέχουν ένα περιβάλλον για την ανάπτυξη των βακτηρίων του κεφίρ, παράγοντας μεταβολίτες που συνεισφέρουν στο άρωμα-γεύση και στην αίσθηση που αφήνει στο στόμα το κεφίρ (Clementi et al., 1989; Kwak et al., 1996; Simova et al., 2002). Ζύμες που έχουν ταυτοποιηθεί είναι *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus* και *Candida kefir* (Ζερφυρίδης, 2001).

## **2.3. Προετοιμασία καλλιέργειας (κόκκων)**

Η καλλιέργεια του κεφίρ είναι οι κόκκοι οι οποίοι αρχικά μπορεί να είναι αποξηραμένοι ή από την κατάψυξη. Οι κόκκοι πρέπει να δραστηριοποιηθούν με επανειλημμένες επώσεις με γάλα σε 18-20°C. Αν και οι κόκκοι είναι η άμεση καλλιέργεια, εντούτοις λόγω ελλείψεως επαρκούς ποσότητας κόκκων ή μέσω διαχωρισμού τους από το ζυμωθέν προϊόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καλλιέργεια και το πρώτο κεφίρ που προέρχεται απευθείας από τους κόκκους ή και το δεύτερο.

Το υγρό κεφίρ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω σαν καλλιέργεια διότι αλλάζουν οι συσχετίσεις στη μικροχλωρίδα και το προϊόν που προκύπτει χάνει βαθμιαία τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά (Ζερφυρίδης, 2001).

Είναι προφανές ότι η καλλιέργεια του κεφίρ υπό μορφή κόκκων πρέπει να διαχωρίζεται από το υγρό κεφίρ και οι μεν κόκκοι να επαναχρησιμοποιηθούν ως καλλιέργεια το δε υγρό κεφίρ να καταναλωθεί. Οι κόκκοι διαχωρίζονται με ηθμούς (στραγγιστήρια) από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι ηθμοί από ύφασμα δεν ενδείκνυνται ούτε και σε οικιακή παραγωγή, διότι το υγρό κεφίρ είναι πυκνόρρευστο και δεν διέρχεται από αυτούς, καθώς επίσης και γιατί υπάρχει κίνδυνος επιμόλυνσης (Ζερφυρίδης, 2001).

Μετά το διαχωρισμό τους οι κόκκοι είναι έτοιμοι να επαναχρησιμοποιηθούν είτε αφού εκπλυθούν με νερό είτε και χωρίς έκπλυση. Στην δεύτερη περίπτωση η επαναχρησιμοποίησή τους σε φρέσκο γάλα δίνει πιο γρήγορη ανάπτυξη οξύτητας απ' ότι στην πρώτη περίπτωση. Η έκπλυση γίνεται μόνο εφόσον οι κόκκοι μολύνθηκαν από κολοβακτηριοειδή και στην περίπτωση αυτή το νερό πρέπει να είναι αποστειρωμένο (Ζερφυρίδης, 2001).

Η χρησιμοποίηση των κόκκων θεωρητικά είναι απεριόριστη και εφόσον δεν χρησιμοποιούνται συνεχώς θα πρέπει να φυλάγονται στο ψυγείο μέσα σε νερό ή γάλα, αλλά θα πρέπει να αναβιώνονται ανά 8ήμερο, ώστε να είναι έτοιμοι πάντα για χρησιμοποίηση (Ζερφυρίδης, 2001).

## **2.4. Τεχνολογία παρασκευής κεφίρ**

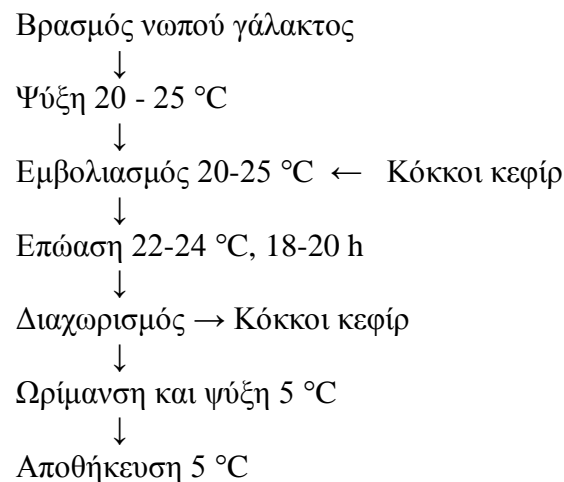
Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι παραγωγής κεφίρ. Χρησιμοποιούνται τόσο οι παραδοσιακές όσο και οι βιομηχανικές μέθοδοι και επίσης συγχρόνως μελετούνται καινούργιες τεχνικές για να παραχθεί κεφίρ με τα ίδια χαρακτηριστικά, όπως αυτά που βρέθηκαν στο παραδοσιακό κεφίρ. Το κεφίρ μπορεί να παραχθεί από οποιαδήποτε τύπο γάλακτος, αγελαδινό, κατσικίσιο, πρόβιο, καρύδας, ρυζιού ή σόγιας. Υπάρχουν πολλές επιλογές για το γάλα: παστεριωμένο, μη παστεριωμένο, πλήρες, χαμηλής λιποπεριεκτικότητας, αποβουτυρωμένο και χωρίς λίπος (Otlés & Cagindi, 2003).

### **2.4.1. Παραδοσιακή τεχνική**

Κατά την παραδοσιακή μέθοδο παρασκευής του κεφίρ (Σχήμα 2), το χρησιμοποιούμενο γάλα είναι συνήθως αγελαδινό αλλά μπορεί να είναι και

οποιοδήποτε άλλο είδος γάλακτος. Χρησιμοποιείται πλήρες ή και ημιαποβουτυρωμένο. Η θέρμανσή του γίνεται όπως και για την παραγωγή γιαούρτης αλλά επαρκεί και ηπιότερη θέρμανση στους 85°C για 15 min. Ακολουθεί ψύξη στους 25°C, εμβολιασμός με κόκκους κεφίρ 3% μέχρι και 5% και επώαση στους 22-24°C μέχρι να γίνει η οξύτητα 90°D (0.09% γαλακτικό οξύ) σε 18-20 ώρες περίπου. Επειδή οι κόκκοι του κεφίρ δεν κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του γάλακτος, γίνεται ανακίνηση του γάλακτος, συνήθως μαζί με τον περιέκτη του κατά την επώαση 2-3 φορές, πράγμα που βοηθά την ομοιόμορφη ανάπτυξη οξύτητας αλλά επιταχύνει και την ανάπτυξη της καλλιέργειας, η οποία έτσι βρίσκεται στο κεφίρ σε μεγαλύτερους αριθμούς μικροοργανισμών. Ακολουθεί μία δεύτερη επώαση στους 10-12°C για 24 ώρες και στη συνέχεια απομακρύνονται οι κόκκοι ενώ το υγρό κεφίρ φέρεται στους 5 °C μέχρι να καταναλωθεί.

Ο παραπάνω τρόπος παραγωγής του κεφίρ είναι ο πλέον συνηθισμένος υπάρχουν όμως διάφορες παραλλαγές του ανάλογα πάντοτε με τις εκάστοτε συνθήκες και παραδοσιακές τεχνικές (Karagozlu & Kavas, 2000; Ζερφυρίδης, 2001).

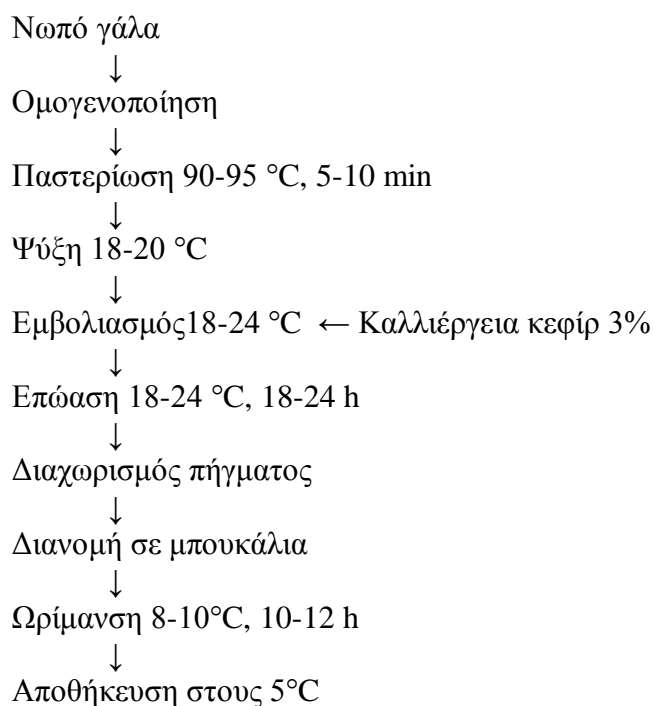


Σχήμα.2. Παραδοσιακή τεχνική παρασκευής κεφίρ (Otlés & Cagindi, 2003)

#### 2.4.2. Τεχνική που εφαρμόζεται στην βιομηχανία

Κατά τη βιομηχανική παραγωγή (Σχήμα 3) το γάλα υφίσταται επιπλέον και ομογενοποίηση όπως και στη γιαούρτη βιομηχανικού τύπου, η δε λιποπεριεκτικότητα μπορεί να ρυθμισθεί στα επιθυμητά επίπεδα. Λόγω της μεγάλης ποσότητας κατά τη

βιομηχανική παραγωγή, οι κόκκοι του κεφίρ χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της καλλιέργειας, η οποία συγκεντρώνεται σε δεξαμενή και χρησιμοποιείται σαν καλλιέργεια σε ποσοστό μέχρι 3% στο γάλα για τη μαζική παραγωγή του κεφίρ.



Σχήμα.3. Βιομηχανική διαδικασία παρασκευής κεφίρ (Otlés & Cagindi, 2003)

Επειδή εδώ ενδιαφέρει η οικονομία χώρων, εξοπλισμού και χρόνου, η ωρίμανση διαρκεί 10-12 ώρες στους 8-10 °C κατά την οποία 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 5°C μέχρι να διατεθεί.

Το κεφίρ της βιομηχανικής παραγωγής συνήθως έχει χαμηλά επίπεδα αλκοόλης (0.1%), δηλαδή όχι και τόσο δυνατό, καθώς και διοξειδίου του άνθρακα (0.6g/l), δηλαδή μη επαρκώς αφρίζον.

Επειδή όμως και τα δύο αυτά συστατικά συμβάλλουν ουσιαστικά στα τυπικά χαρακτηριστικά του κεφίρ, θα πρέπει να επιδιώκεται η εξασφάλισή τους με τις κατάλληλες καλλιέργειες και συνθήκες παραγωγής (Otlés & Cagindi, 2003; Ζερφυρίδης, 2001).

## 2.5. Διαιτητική και θρεπτική αξία κεφίρ

Το κεφίρ είναι ένα φυσικό προβιοτικό. Τα προβιοτικά είναι τρόφιμα που περιέχουν ζωντανά βακτήρια, τα οποία είναι ωφέλιμα για την υγεία (Salminen et al., 1998). Το κεφίρ περιέχει ζωντανές δραστικές καλλιέργειες της φυσιολογικής χλωρίδας του εντέρου, οι οποίες μπορούν να αποικίσουν στο έντερο του ανθρώπου με αποτέλεσμα να βοηθούν στην αναγέννηση της χλωρίδας του εντέρου, ιδιαίτερα ύστερα από χορήγηση αντιβιοτικών (Ottles & Cagindi, 2003).

Το κεφίρ είναι γάλα το οποίο έχει υποστεί γαλακτική και αλκοολική ζύμωση από μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών.

Έτσι υπερτερεί ίσως έναντι της γιαούρτης, η οποία έχει μόνο γαλακτική ζύμωση, καθόσον παρουσιάζει μεγαλύτερο φάσμα ουσιών μεταβολισμού και εντονότερο βαθμό πρωτεολύσεως και λιπολύσεως. Κατά συνέπεια ότι ελέγχθη για τη διαιτητική αξία της γιαούρτης ισχύει ακόμη περισσότερο και για το κεφίρ, με ορισμένες πάντοτε διαφορές κυρίως ως προς τη χρησιμοποίηση των βιταμινών του γάλακτος από τη μικροχλωρίδα και τη σύγχρονη παραγωγή άλλων ή και των ιδίων από αυτή (Davidov & Sokoloncky, 1968; Samsonov & Budagovskaya, 1982).

Με τη θρεπτική αξία του κεφίρ ασχολήθηκαν κυρίως Ρώσοι επιστήμονες, οι οποίοι αποδίδουν σε αυτό πολλές ευεργετικές ιδιότητες, όπως τη μακροζωία των ανθρώπων που ζούνε στον Καύκασο, αλλά υπάρχουν και πολλοί άλλοι επιστήμονες οι οποίοι θεωρούν υπερβολές αυτές τις δοξασίες (Ζερφυρίδης, 2001).

Οι παρακάτω όμως αντιλήψεις για τη θρεπτική αξία του κεφίρ έχουν λογική βάση. Το κεφίρ υπερέχει έναντι των άλλων όξινων προϊόντων γάλακτος ως προς την αντιβιοτική του δράση κατά μικροοργανισμών που εισέρχονται στον πεπτικό σωλήνα με τις τροφές και το νερό, λόγω της παρουσίας των βακτηρίων παραγωγής οξικού οξέος και των ζυμών που περιέχει. Επίσης εμφανίζει έντονη υδρόλυση πρωτεϊνών κι επομένως υψηλή συγκέντρωση αμινοξέων και πεπτιδίων στο έντερο. Επιπλέον έχει αυξημένη ποσότητα βιταμινών Β (Ζερφυρίδης, 2001).

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του κεφίρ είναι η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που συντελεί στη δημιουργία λεπτοτεμαχισμένου πηγματος, με αποτέλεσμα να έρχεται αυτό σε καλύτερη επαφή με τα πεπτικά υγρά και να απορροφάται καλύτερα.

Η παρουσία διοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με τα άλατα ασβεστίου διευκολύνει επίσης την ούρηση (Davidov & Sokoloncky, 1968; Samsonov & Budagovskaya, 1982).

Το κεφίρ, λόγω της ιδιάζουσας γεύσης και των μικροοργανισμών του, προάγει την έκκριση ενζύμων από το στομάχι και το πάγκρεας κι έτσι διευκολύνει την πέψη και τις περισταλτικές κινήσεις του εντέρου και ως εκ τούτου την διέλευση των τροφών από το έντερο.

Στις πρώην σοβιετικές δημοκρατίες το κεφίρ χρησιμοποιείται στα νοσοκομεία στο διαιτολόγιο ασθενών και για ευρύ φάσμα ασθενειών (Zacconi et al., 1995).

## 2.6. Στοιχεία ρεολογίας ρευστών

Ρεολογία ονομάζεται η επιστήμη της ροής και της παραμόρφωσης των υλικών. Ασχολείται με τη σχέση μεταξύ των δυνάμεων που ασκούνται σε ένα υλικό και τον τρόπο με τον οποίο το υλικό αντιδρά στην επίδραση της δύναμης (Darby, 1984).

Η πιο σημαντική φυσική ιδιότητα ενός ρευστού που επηρεάζει την ενεργειακή απώλεια που υφίσταται το ρευστό κατά τη 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 δύο 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  $\eta$ . Από τον ορισμό του ιξώδους έχουμε:

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{u}{Z} \quad (1)$$

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  $\eta$  το ιξώδες. Επίσης ο λόγος  $\frac{u}{Z}$  ονομάζεται ρυθμός διάτμησης  $\dot{\gamma}$  (Perry, 1999).

### Νευτώνεια και μη Νευτώνεια ρευστά

Από το θεμελιώδη ορισμό του ιξώδους προκύπτει η διαφορική σχέση:

$$\frac{F}{A} = \eta \left( \frac{du}{dz} \right) \quad (2)$$

η οποία μπορεί να γραφεί ως:

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (3)$$

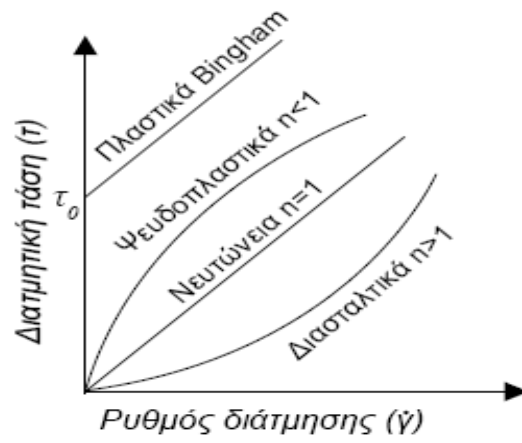
όπου  $\tau$  είναι η διατμητική τάση του ρευστού. Η εξίσωση αυτή αρχικά προτάθηκε από τον Νεύτωνα και ισχύει για ρευστά όπως το νερό. Όμως για πολλά ρευστά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, οι μετρήσεις του ιξώδους δείχνουν απόκλιση από αυτή την απλή σχέση και γι' αυτό το λόγο προτάθηκε μια πιο γενική σχέση:

$$\tau = \tau_0 + k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

που ονομάζεται γενική εξίσωση του εκθετικού νόμου (power law) και όπου το  $k$  είναι ο δείκτης συνεκτικότητας,  $n$  ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς και  $\tau_0$  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 νόμο του Νεύτωνα. Σε διαφορετική περίπτωση το ρευστό ονομάζεται μη Νευτώνειο. Γραφικά οι αποκλίσεις από το νόμο του Νεύτωνα παρίστανται στη ακόλουθη γραφική παράσταση (Σχήμα 4). 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 ρυθμού διάτμησης και όσο αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης τόσο το ιξώδες ελαττώνεται. Αντίθετα όταν  $n > 1$  και  $\tau_0 = 0$  τότε το ρευστό ονομάζεται διασταλτικό, που σημαίνει ότι σε χαμηλές τιμές ρυθμού διάτμησης το ιξώδες είναι χαμηλό και όσο αυξάνει ο ρυθμός διάτμησης τόσο αυξάνει το ιξώδες. Τέλος, αν  $n = 1$  και  $\tau_0 > 0$  τα ρευστά ονομάζονται πλαστικά 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  $\eta_a$ .





Σχήμα 4. Συμπεριφορά των ρευστών ανάλογα με την τιμή του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς και της διατμητικής τάσης

### **3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της προσθήκης συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ) στο χρόνο επώασης που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής pH 4,4 και στα ρεολογικά χαρακτηριστικά του κεφίρ. Η προσθήκη των ΣΠΟ έγινε τόσο πριν όσο και μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.

## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1. Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ

Για την παρασκευή των δειγμάτων κεφίρ χρησιμοποιήθηκε καλλιέργεια εκκίνησης οικιακής παραγωγής (κόκκοι κεφίρ), παστεριωμένο αγελαδινό γάλα λιποπεριεκτικότητας 3,5% και ΣΠΟ (Hellenic Protein, Greece) σε διαφορετικά ποσοστά προσθήκης (1, 3 και 5%). Η σύσταση των ΣΠΟ φαίνεται στον Πίνακα 1. Η προσθήκη των ΣΠΟ έγινε πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος

Πίνακας 1. Σύσταση συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ).

Σύσταση	Περιεκτικότητα (%)
Υγρασία	≤ 5
Πρωτεΐνες	18,5
Λίπος	0,8
Τέφρα	7,0
Λακτόζη	73

Προετοιμασία γάλακτος: Για να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών, έγινε θερμική επεξεργασία του γάλακτος στους 85°C για 15 min και μετά ακολούθησε ψύξη στους 25°C.

Δραστηριοποίηση των κόκκων: Για την αναζωογόνηση των κόκκων το γάλα εμβολιάστηκε με κόκκους κεφίρ σε ποσοστό 3% και επώαστηκε στους 25°C μέχρι τιμής pH 4,4. Ακολούθησε διαχωρισμός των κόκκων με διήθηση με την βοήθεια ηθμού από ανοξείδωτο χάλυβα, στον οποίο κατακρατήθηκαν οι κόκκοι. Η δραστηριοποίηση των κόκκων συνεχίστηκε έως ότου ο χρόνος που απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής pH 4,4 να είναι περίπου 20 h.

Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ χωρίς προσθήκη ΣΠΟ: το θερμικά επεξεργασμένο γάλα εμβολιάστηκε με τους δραστηριοποιημένους κόκκους σε ποσοστό 3%. Ο εμβολιασμός των δειγμάτων έγινε σε αποστειρωμένους γυάλινους περιέκτες. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε κλίβανο για επώαση στους 25°C μέχρι τελική τιμή pH 4,4. Ακολούθησε διαχωρισμός των κόκκων του κεφίρ με διήθηση των

πηγμάτων με την βοήθεια ηθμού από ανοξειδωτο χάλυβα. Το διήθημα, το οποίο αποτελεί το δείγμα του κεφίρ, συλλέχθηκε σε αποστειρωμένους γυάλινους περιέκτες, παρέμεινε για 24 ώρες στους 4-5°C και ακολούθησε προσδιορισμός του ιξώδους.

Παρασκευή δειγμάτων κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ: σε αυτήν την περίπτωση η προσθήκη των ΣΠΟ (σε ποσοστό 1, 3 και 5%) και η διαλυτοποίησή τους στο γάλα πραγματοποιήθηκε τόσο πριν όσο και μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος. Στη συνέχεια, η παρασκευή των δειγμάτων έγινε όπως περιγράφεται στην παρασκευή των δειγμάτων κεφίρ χωρίς την προσθήκη ΣΠΟ.

Κωδικοποίηση δειγμάτων: τα παραπάνω δείγματα κεφίρ ανάλογα με τη συγκέντρωση των ΣΠΟ και τον τρόπο προσθήκης τους στο γάλα (πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία) αναφέρονται στο κείμενο ως εξής:

- **K-0:** Δείγμα κεφίρ χωρίς προσθήκη ΣΠΟ.
- **K-1-Π:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 1% πριν τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- **K-1-M:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 1% μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- **K-3-Π:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 3% πριν τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- **K-3-M:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 3% μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- **K-5-Π:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 5% πριν τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- **K-5-M:** Δείγμα κεφίρ με προσθήκη ΣΠΟ σε ποσοστό 5% μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.

Η παρασκευή όλων των δειγμάτων κεφίρ πραγματοποιήθηκε δύο φορές.

## 4.2. Προσδιορισμός ιξώδους

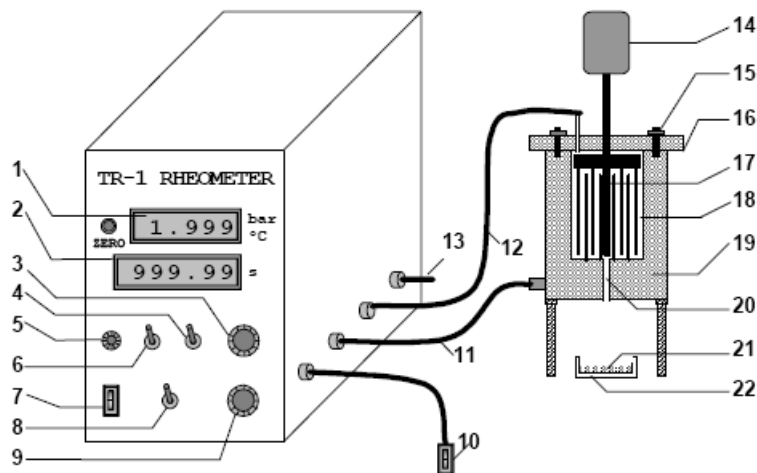
Για τη μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ και τον προσδιορισμό του ιξώδους τους χρησιμοποιήθηκε το ιξωδόμετρο TR-1.

#### 4.2.1. Περιγραφή ιζωδομέτρου

Η συσκευή αυτή (Σχήμα 5) επινοήθηκε και κατασκευάστηκε στο Τμήμα Τεχνολογίας Τροφίμων του Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης. Πρόκειται για ένα ρεόμετρο πνευματικού σωλήνα πολλαπλών σκοπών που αποτελείται από ένα θάλαμο, ο οποίος τροφοδοτείται με πεπιεσμένο αέρα μέσω μιας βαλβίδας εισαγωγής. Η βαλβίδα εισαγωγής ελέγχεται από μια μονάδα ελέγχου της πίεσης έτσι ώστε η πίεση στο θάλαμο του αέρα να ρυθμίζεται με ακρίβεια στην προκαθορισμένη τιμή που μπορεί να κυμαίνεται από  $0.010$  έως  $4.000 \pm 0.001$  bar. Επιπλέον, υπάρχει μια εκτονωτική βάνα για να μπορεί η πίεση στο θάλαμο του αέρα να ρυθμιστεί είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου φαίνεται στο Σχήμα 6. Ο συμπιεσμένος αέρας από το συμπιεστή περνά μέσω ενός φίλτρου, ενός χειροκίνητου ρυθμιστή και της βαλβίδας εισαγωγής V1 στο θάλαμο αέρα. Η βαλβίδα εισαγωγής V1 και η βαλβίδα εξόδου V2 ελέγχονται μέσω μιας μονάδας μέτρησης και ελέγχου, έτσι ώστε η πίεση στο θάλαμο να σταθεροποιείται στην επιθυμητή τιμή. Η πίεση εφαρμόζεται στον περιέκτη του δείγματος όταν ανοίγει η βαλβίδα V3. Σε διαφορετική περίπτωση ο περιέκτης του δείγματος επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα μέσω της V3. Η βαλβίδα V3 ελέγχεται με τη βοήθεια ενός διακόπτη ο οποίος έχει τρεις θέσεις: ανοιχτή (on), κλειστή (off) ή συγχρονισμένη με το χρονοδιακόπτη (sync). Ανοίγοντας αυτή τη βαλβίδα, εφαρμόζεται στο ρευστό ελεγχόμενη πίεση αέρα που το αναγκάζει να ρέει μέσα από ένα σωλήνα στερεωμένο στη βάση του δοχείου με το δείγμα (Xu & Raphaelides, 1998).

Ο περιέκτης του δείγματος είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα, έχει χωρητικότητα 30 mL, ύψος 8,6 cm και εσωτερική διάμετρο 4,9 cm. Το δοχείο είναι εφοδιασμένο με έναν αναδευτήρα ο οποίος περιστρέφεται με σταθερή προκαθορισμένη ταχύτητα ρυθμιζόμενη από τη μονάδα ελέγχου του κινητήρα. Ο αναδευτήρας αποτελείται από τέσσερις ράβδους τοποθετημένες στη σειρά. Τέσσερις επιπλέον ράβδοι είναι στερεωμένες στον πυθμένα του περιέκτη σε θέσεις που δεν περιορίζουν την κίνηση των ράβδων του αναδευτήρα.

Η θέρμανση του θαλάμου του ιζωδομέτρου γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρικών αντιστάσεων.



Σχήμα 5. Σχηματική απεικόνιση του σωληνωτού ρεομέτρου TR-1 (Dimitreli & Thomareis, 2004).

Οι αριθμοί δηλώνουν: (1) Οθόνη πίεσης/θερμοκρασίας, (2) Οθόνη χρόνου, (3) Ρύθμιση Θερμοκρασίας, (4) Διακόπτης επιλογής πίεσης/θερμοκρασίας, (5) Ρύθμιση θερμοκρασίας, (6) Επιλογή τιμής πίεσης X1/X2, (7) Διακόπτης λειτουργίας, (8) Έλεγχος βαλβίδας, ανοιχτή/κλειστή/συγχρονισμένη με το χρονομέτρο, (9) Ρύθμιση πίεσης, (10) Διακόπτης χρονομέτρου, (11) Καλώδιο ελέγχου θερμοκρασίας, (12) Έξοδος πεπιεσμένου αέρα (Βαλβίδα V3), (13) Είσοδος πεπιεσμένου αέρα (βαλβίδα εισόδου V1), (14) Κινητήρας, (15) Μπουλόνια κλεισίματος καπακιού, (16) Καπάκι, (17) Αναδευτήρας, (18) Δείγμα, (19) Περιέκτης δείγματος, (20) Τριχοειδής σωλήνας, (21) Εκρεώμενο υγρό, (22) Συλλέκτης δείγματος.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής είναι:

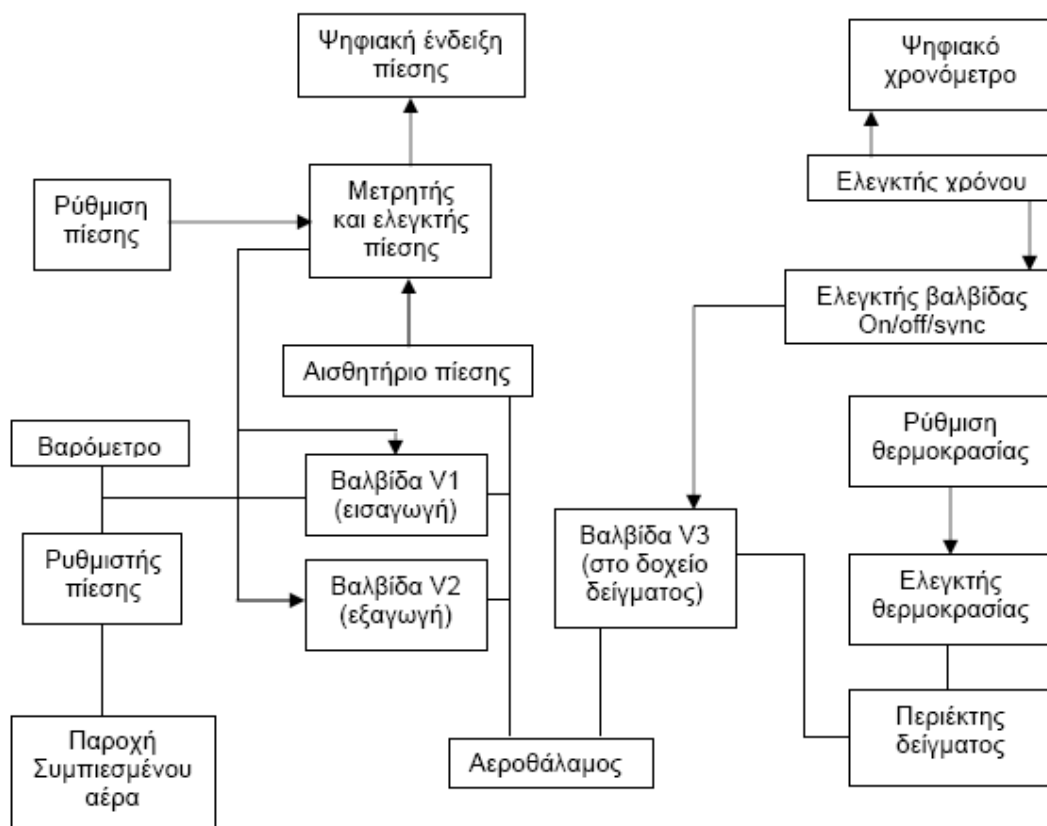
Πίεση:  $0-0,07 \text{ MPa}$  ( $0-0,7 \text{ bar}$ )

Χρόνος:  $0-999,99 \text{ sec}$ .

Θερμοκρασία: Θερμοκρασία περιβάλλοντος έως  $100 \text{ }^\circ\text{C}$

Συμπιεσμένος αέρας:  $0,03-0,5 \text{ MPa}$  ( $0,3-5,0 \text{ bar}$ )

Παροχή ρεύματος:  $AC 220V$



Σχήμα 6. Σχηματική απόδοση της αρχής λειτουργίας του σωληνωτού ρεομέτρου TR-1 (Xu & Raphaelides, 1998).

#### 4.2.2. Πειραματικές μετρήσεις

Στο δοχείο του ιξωδομέτρου προστέθηκαν 30 g δείγματος, τοποθετήθηκε το καπάκι του και τέθηκε σε περιστροφή ο αναδευτήρας στις 50 rpm. Η θερμοκρασία της ηλεκτρικής αντίστασης ρυθμίστηκε στους 20 °C. Μετά την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας το δείγμα παρέμενε για επιπλέον 5 λεπτά πριν την έναρξη των μετρήσεων, ώστε όλη η μάζα του υλικού να αποκτήσει την ίδια θερμοκρασία.

Επειδή τα δείγματα κεφίρ ήταν πολύ λεπτόρρευστα, για τον προσδιορισμό του ιξώδους τους χρησιμοποιήθηκε βελόνα με διάμετρο 0,0653388 cm και μήκος 4.5 cm, η οποία προσαρμόστηκε κατάλληλα στο σωλήνα που βρίσκεται στον πυθμένα του δοχείου του ιξωδομέτρου.

Όταν δείγμα ρέει μέσα σε σωλήνα, μετριέται ο όγκος ή το βάρος του καθώς και ο χρόνος ροής του, οπότε είναι δυνατός ο υπολογισμός του ρυθμού ροής. Το ιξώδες του υγρού υπολογίζεται μέσω της εφαρμοζόμενης πίεσης και του ρυθμού ροής. Έτσι,

με μια σειρά μετρήσεων με τη χρήση διαφορετικών πιέσεων είναι δυνατό να κατασκευαστεί μια καμπύλη ροής. Για την κατασκευή της καμπύλης ροής λαμβάνονταν μετρήσεις σε διαφορετικές πιέσεις για κάθε δείγμα. Η μεγαλύτερη πίεση που εφαρμόστηκε ήταν 1,0 bar και η μικρότερη 0,3 bar. Η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών πιέσεων ήταν πάντα 0,05 bar, ενώ το εύρος των πιέσεων κάθε φορά εξαρτώνταν από το πόσο λεπτόρευστο ή παχύρευστο ήταν το δείγμα.

Σε κάθε πίεση γινόταν η μέτρηση της ποσότητας του δείγματος που εξερχόταν από τον περιέκτη και του χρόνου που χρειαζόταν για να γίνει αυτό. Η συσκευή έδειχνε αυτόματα τον χρόνο μέτρησης και η ζύγιση της ποσότητας του υλικού γινόταν με τη βοήθεια ψηφιακού ζυγού με ακρίβεια 1 mg. Από αυτά τα δεδομένα είναι δυνατό να υπολογιστεί ο ρυθμός διάτμησης του υλικού για κάθε περίπτωση και να σχεδιαστούν οι γραφικές παραστάσεις ιξώδους-ρυθμού διάτμησης για κάθε μεταχείριση.

#### 4.2.3. Επεξεργασία μετρήσεων

Για ροή σε οριζόντιο σωλήνα κυκλικής διατομής, το ιξώδες  $\eta$ , ενός Νευτώνειου ρευστού υπολογίζεται από το νόμο των Hagen-Poiseuille:

$$\eta = \pi D^4 \frac{\Delta P}{128QL} \quad (5)$$

όπου  $D$  είναι η διάμετρος του σωλήνα,  $L$  είναι το μήκος του,  $\Delta P$  είναι η πτώση πίεσης και  $Q$  είναι η ογκομετρική παροχή.

Για μη-Νευτώνεια ρευστά το φαινομενικό ιξώδες  $\eta_a$  υπολογίζεται από τη διατμητική τάση στα τοιχώματα  $\tau_w$ , και την αντίστοιχη ταχύτητα διάτμησης μετά τη μη-Νευτώνεια διόρθωση  $\dot{\gamma}_{corr.}$ , η οποία υπολογίζεται από τη φαινομενική μη διορθωμένη ταχύτητα διάτμησης  $\dot{\gamma}_{uncorr.}$ , με τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\dot{\gamma}_{uncorr.} = \frac{32Q}{\pi D^3} \quad (6)$$

$$\dot{\gamma}_{corr.} = \frac{\dot{\gamma}_{uncorr.} \cdot (3n+1)}{4n} \quad (7)$$



$$\tau_w = \frac{\Delta P \cdot D}{4L} \quad (8)$$

$$\eta = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}_{corr}} \quad (9)$$

#### 4.2.4. Φαινόμενα άκρων

Στη ροή μέσω τριχοειδούς σωλήνα, η συγκλίνουσα ροή στην είσοδο καθώς και η αποκλίνουσα ροή στην έξοδο προκαλούν πτώσεις πίεσης γνωστές ως φαινόμενα άκρων. Αυτό δείχνει πως η ροή του ρευστού σε ένα τριχοειδή σωλήνα μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις περιοχές: την περιοχή εισόδου, την περιοχή πλήρως ανεπτυγμένης ροής και την περιοχή εξόδου. Η περιοχή εισόδου περιέχει το τμήμα του τριχοειδούς σωλήνα όπου αρχίζει να σχηματίζεται ένα οριακό δακτυλιοειδές στρώμα. Η παρουσία αυτού του στρώματος έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση και των αξονικών και των ακτινικών συνιστωσών της ταχύτητας στο σημείο αυτό. Η μεταβολή της κατατομής της ταχύτητας προκαλεί απώλειες ενέργειας, και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της πίεσης με μεγαλύτερα βήματα στην περιοχή εισόδου. Η επιμηκυμένη ροή συμβάλλει επίσης στην πτώση πίεσης στην περιοχή εισόδου.

Όταν το ρευστό εξέρχεται από τον περιέκτη μέσα στον τριχοειδή σωλήνα, κατά μήκος του άξονά του, όπου ο ρυθμός διάτμησης ισούται με μηδέν, η ροή γίνεται επιμηκυμένη και το ιξώδες μπορεί να πάρει πολύ υψηλές τιμές, δίνοντας έτσι μεγαλύτερες πτώσεις πίεσης από το αναμενόμενο. Το πάχος του οριακού δακτυλιοειδούς στρώματος είναι θετική συνάρτηση της απόστασής του από την είσοδο του τριχοειδούς σωλήνα, έτσι ώστε όταν η απόσταση αυτή ισούται με την ακτίνα του σωλήνα, μια πλήρως ανεπτυγμένη ροή σχηματίζεται και σε αυτό το σημείο αρχίζει η περιοχή μέτρησης του ιξώδους. Η περιοχή εξόδου δημιουργείται από την απότομη αλλαγή των συνθηκών στα άκρα του τριχοειδούς σωλήνα. Προβλήματα που έχουν σχέση με την έκταση και την επίδραση της περιοχής εξόδου, μπορεί να δημιουργηθούν στην ερμηνεία των πειραματικών μετρήσεων.

Γενικότερα, οι εσωτερικές απώλειες λόγω τριβών, που συμβαίνουν εξαιτίας της απότομης συστολής και διαστολής του σωλήνα, είναι συνάρτηση του λόγου της επιφάνειας του περιέκτη προς την επιφάνεια του τριχοειδούς σωλήνα, της κινητικής

ενέργειας της ροής του ρευστού, τη γεωμετρία των άκρων του τριχοειδούς σωλήνα και της ίδιας της φύσης του ρευστού.

Τα φαινόμενα άκρων συνήθως εκφράζονται με τη μορφή ισοδύναμου μήκους ( $\zeta D$ ) που προστίθεται στο μήκος του σωλήνα και η πραγματική διατμητική τάση  $\tau_{eff}$  υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\tau_{eff} = \frac{\Delta P \cdot D}{4(L + \zeta D)} \quad (10)$$

Η τιμή του  $\zeta$  για ένα συγκεκριμένο ρυθμό διάτμησης υπολογίζεται από την ευθεία του γραφήματος  $\Delta P - \frac{L}{D}$ , με την τεχνική της προέκτασης, όταν δώσουμε τιμή  $\Delta P=0$ . Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως διόρθωση του Bagley (1957). Η χρήση τριχοειδών σωλήνων με μεγάλο λόγο  $L/D$  συνιστάται έτσι ώστε τα φαινόμενα άκρων να γίνουν αμελητέα (Lapasin & Pricl, 1995).

#### 4.2.5. Διόρθωση κινητικής ενέργειας

Όταν ένα ρευστό εκτονώνεται μέσω ενός τριχοειδούς σωλήνα στον αέρα με μεγάλη ταχύτητα, έχει ένα σημαντικό ποσό κινητικής ενέργειας. Αυτή η κινητική ενέργεια μπορεί να αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό της συνολικά εφαρμοζόμενης πίεσης και θα πρέπει να γίνεται διόρθωση της με τη χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$\Delta P = \Delta P_{obs} - \frac{\rho u^2}{\alpha} = \Delta P_{obs} - \frac{16\rho Q^2}{\alpha\pi^2 D^4} \quad (11)$$

όπου  $\Delta P$  είναι η διορθωμένη πίεση,  $\Delta P_{obs}$  η μετρούμενη πίεση,  $\alpha$  ο συντελεστής διόρθωσης της κινητικής ενέργειας και  $\rho$  η πυκνότητα του ρευστού.

Ο συντελεστής  $\alpha$  είναι συνάρτηση της κατατομής των ταχυτήτων του ρευστού που ρέει διαμέσου του τριχοειδούς σωλήνα. Για Νευτώνεια ρευστά η τιμή του  $\alpha$  ισούται με άπειρο, ενώ για μη Νευτώνεια η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση (van Wazer et al., 1963):

$$\alpha = \frac{(4n+2)(5n+3)}{3(3n+1)^2} \quad (12)$$

Για την επεξεργασία των μετρήσεων, που έγιναν με τη χρήση του ιξωδομέτρου TR-1, χρησιμοποιήθηκε ένα πρόγραμμα υπολογιστή σε γλώσσα GW-Basic, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις παραπάνω διορθώσεις για να υπολογίσει το ιξώδες του ρευστού σε συνάρτηση με το ρυθμό διάτμησης.

Το ιξώδες σε κάθε δείγμα κεφίρ προσδιορίστηκε δύο φορές.

### **4.3. Μέτρηση pH**

Το pH των δειγμάτων κεφίρ προσδιορίστηκε με το εργαστηριακό πεχάμετρο EDT Instruments GP353 ATC pH METER. Το πεχάμετρο ελέγχεται και ρυθμίζεται με τη βοήθεια των ρυθμιστικών διαλυμάτων (Buffer 4 και 7). Η θερμοκρασία του πεχαμέτρου προσαρμόζεται στη θερμοκρασία του δείγματος. Το ηλεκτρόδιο του πεχαμέτρου εμβαπτίζεται στο δείγμα του κεφίρ και σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου. Για τη μέτρηση του pH λαμβάνεται ο μέσος όρος δύο μετρήσεων.

### **4.4. Στατιστική ανάλυση**

Στα στοιχεία του πειράματος εφαρμόστηκε η ανάλυση της διακύμανσης δύο επιλέξιμων παραγόντων (Two-Way ANOVA): ποσοστό προσθήκης ΣΠΟ (4 επίπεδα; 0%, 1%, 3% και 5%) και τρόπος προσθήκης ΣΠΟ στο γάλα (2 επίπεδα; πριν και μετά τη θερμική επεξεργασία). Οι μεταβλητές που μελετήθηκαν ήταν το pH, ο χρόνος επώασης για την επίτευξη τη επιθυμητής τιμής pH 4,4 και ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος Minitab 14.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1. Χρόνος επώασης για επίτευξη τιμής pH 4,4

Στον Πίνακα 2 αναφέρονται οι τιμές pH των διαφορετικών δειγμάτων κεφίρ και οι χρόνοι επώασης που χρειάστηκαν για την επίτευξη της επιθυμητής τιμής pH 4,4. Οι τιμές των μετρήσεων αποτελούν τους μέσους όρους δύο επαναλήψεων.

Πίνακας 2. Τιμές pH και χρόνος επώασης των δειγμάτων κεφίρ

Δείγματα κεφίρ*	Τιμή pH	Χρόνος (min)
<b>K-0</b>	4,40	1448
<b>K-1-Π</b>	4,40	1368
<b>K-1-M</b>	4,40	1355
<b>K-3-Π</b>	4,40	1290
<b>K-3-M</b>	4,40	1275
<b>K-5-Π</b>	4,40	1170
<b>K-5-M</b>	4,39	1155

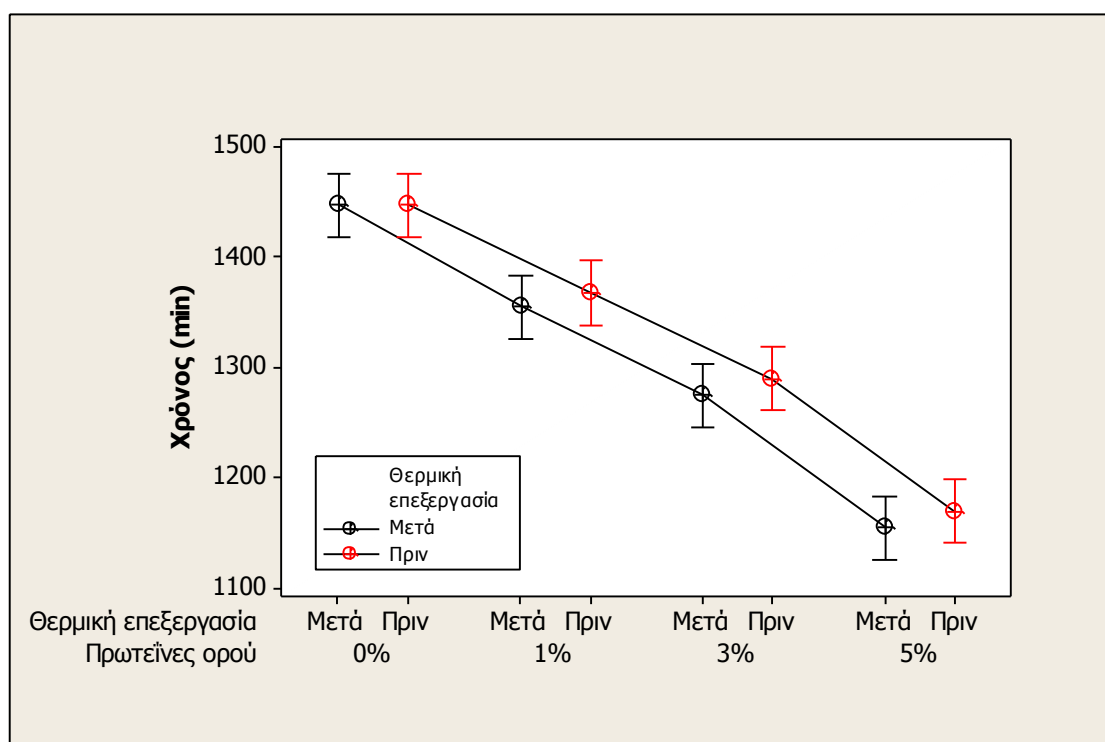
\* Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην Ενότητα 4.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ( $p > 0,05$ ) των τιμών pH μεταξύ των δειγμάτων κεφίρ που παρασκευάστηκαν με την προσθήκη διαφορετικών ποσοστών ΣΠΟ ( $p = 0,225$ ) και στα οποία η προσθήκη των ΣΠΟ πραγματοποιήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την θερμική επεξεργασία ( $p = 0,667$ ) (Παράρτημα).

Ο χρόνος επώασης για την επίτευξη τιμής pH 4,4 επηρεάζεται στατιστικά σημαντικά ( $p < 0,05$ ) από την προσθήκη ΣΠΟ, ενώ δεν επηρεάζεται ( $p > 0,05$ ) από τον τρόπο προσθήκης τους στο γάλα (πριν ή μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος) (Παράρτημα).

Σύμφωνα με τον έλεγχο των 95% ορίων εμπιστοσύνης (Σχήμα 7) η προσθήκη ΣΠΟ έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου επώασης για την επίτευξη τιμής pH 4,4, η οποία μάλιστα είναι ανάλογη της ποσότητας προσθήκης των ΣΠΟ. Οι διαφορές στο χρόνο επώασης που απαιτείται για την επίτευξη τιμής pH 4,4 μεταξύ των δειγμάτων με διαφορετικό ποσοστό προσθήκης ΣΠΟ θα μπορούσε να αποδοθεί στη διαφορετική ρυθμιστική ικανότητα του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή τους. Σύμφωνα με τους Walstra & Jenness (1984) οι πρωτεΐνες ορού

έχουν μειωμένη ρυθμιστική ικανότητα σε σχέση με τις καζεΐνες. Πιθανόν η παρουσία πρωτεϊνών ορού να διαταράσσει τη ρυθμιστική ικανότητα του συστήματος και μάλιστα να μειώνει τη ρυθμιστική ικανότητα της καζεΐνης με αποτέλεσμα η αύξηση του ποσοστού προσθήκης των ΣΠΟ να προκαλεί μείωση της ρυθμιστικής ικανότητας των δειγμάτων κεφίρ. Επιπλέον τα ΣΠΟ περιέχουν υψηλό ποσοστό λακτόζης, την οποία ζυμώνουν οι μικροοργανισμοί που αποτελούν τη μικροχλωρίδα των κόκκων κεφίρ και παράγουν γαλακτικό οξύ. Ο εμπλουτισμός του γάλακτος με λακτόζη διευκολύνει την κατανάλωση της από τους μικροοργανισμούς αφού είναι διαθέσιμη σε μεγαλύτερη ποσότητα με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού παραγωγής γαλακτικού οξέος και επομένως την μείωση της τιμής pH σε μικρότερο χρόνο.



Σχήμα 7. Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης του χρόνου επώασης για την επίτευξη τιμής pH 4,4 των δειγμάτων κεφίρ που παρασκευάστηκαν με την προσθήκη διαφορετικών ποσοστών ΣΠΟ και στα οποία η προσθήκη των ΣΠΟ πραγματοποιήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την θερμική επεξεργασία.

## 5.2. Μελέτη της ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ

Οι τιμές του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης, που προέκυψαν από την

επεξεργασία των μετρήσεων του ιξωδομέτρου, μπορούν να παρασταθούν γραφικά. Η σχέση μεταξύ του ιξώδους και του ρυθμού διάτμησης είναι της μορφής:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = k \dot{\gamma}^{n-1} \quad (13)$$

Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n, flow behavior index), ο οποίος αποτελεί μέτρο της νευτόνιας συμπεριφοράς ενός ρευστού, μπορεί να υπολογιστεί από τις καμπύλες ροής των δειγμάτων (γραφική παράσταση ιξώδους συναρτήσει της ταχύτητας διάτμησης). Οι καμπύλες ροής που προκύπτουν, είναι δυνατόν να παρασταθούν με ευθείες αν λογαριθμήσουμε τους άξονες X και Y, οπότε:

$$\log \eta_a = \log k + (n-1) \log \dot{\gamma} \quad (14)$$

όπου log k είναι η τεταγμένη επί την αρχή των αξόνων και n-1 η κλίση της ευθείας η οποία είναι αρνητική για n<1.

Οι τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των διαφορετικών δειγμάτων κεφίρ παρατίθενται στον Πίνακα 3. Στο Σχήμα 9 φαίνονται οι καμπύλες ροής των δειγμάτων, από τις οποίες προέκυψαν οι τιμές του n.

Πίνακας 3. Τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς (n) των δειγμάτων κεφίρ.

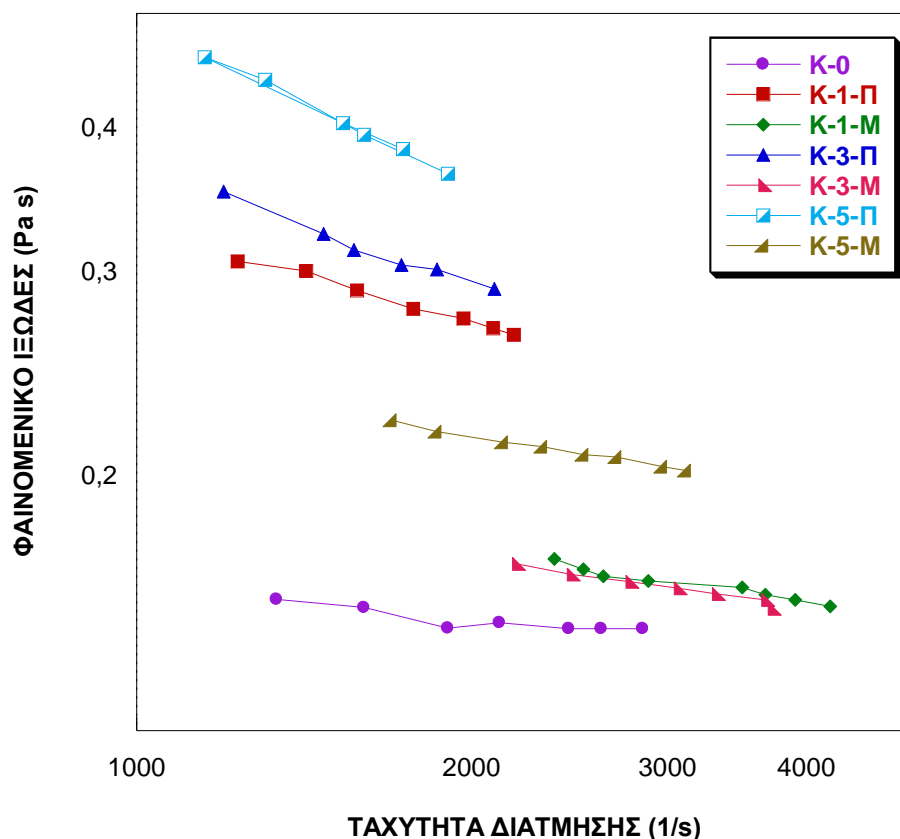
Δείγματα κεφίρ*	Δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς (n)
<b>K-0</b>	0,980
<b>K-1-Π</b>	0,737
<b>K-1-M</b>	0,858
<b>K-3-Π</b>	0,659
<b>K-3-M</b>	0,851
<b>K-5-Π</b>	0,531
<b>K-5-M</b>	0,844

\* Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην Ενότητα 4

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 9 η προσθήκη ΣΠΟ έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του φαινομενικού ιξώδους των δειγμάτων κεφίρ αλλά και της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς τους. Η αύξηση αυτή μάλιστα είναι πιο έντονη στην περίπτωση που η προσθήκη των ΣΠΟ πραγματοποιήθηκε πριν τη θερμική επεξεργασία.

Η μεταβολή της ψευδοπλαστικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ φαίνεται και από τις τιμές του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ANOVA ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς επηρεάζεται τόσο

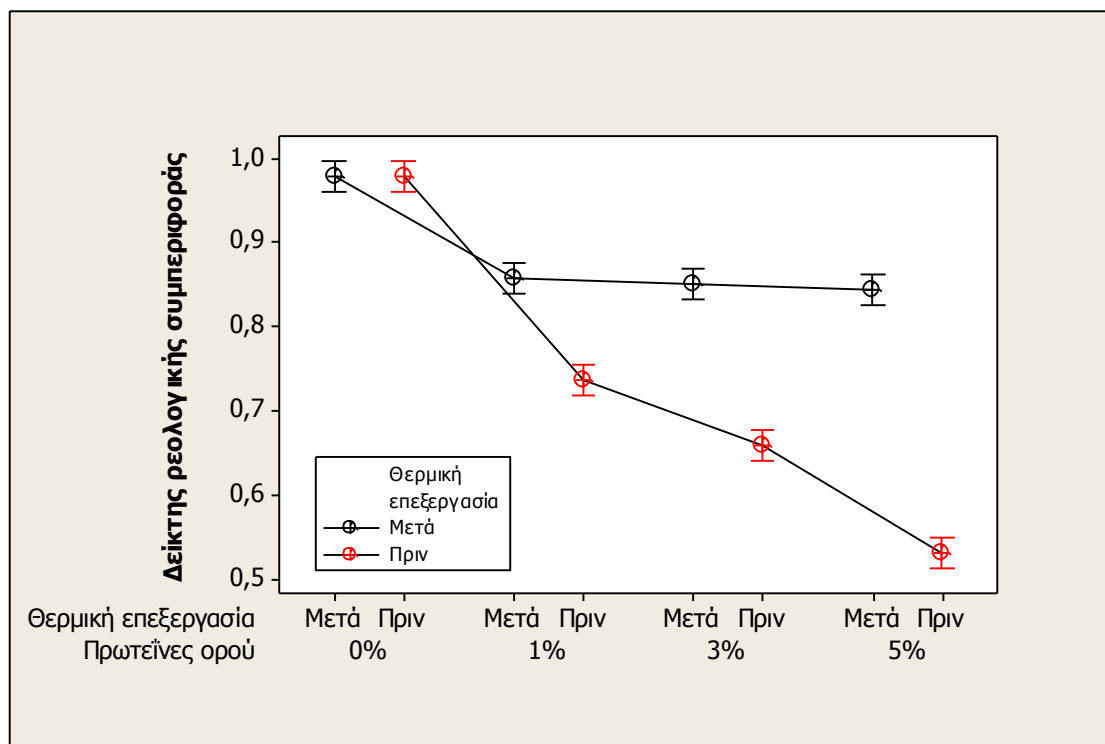
από την προσθήκη ΣΠΟ ( $p < 0,05$ ) όσο και από τον τρόπο προσθήκης τους στο γάλα ( $p < 0,05$ ) (Παράρτημα).



Σχήμα 9. Μεταβολή του ιξώδους συναρτήσει της ταχύτητας διάτμησης στα διαφορετικά δείγματα κεφίρ (Η κωδικοποίηση των δειγμάτων αναφέρεται στην Ενότητα 4).

Στο Σχήμα 10 όπου φαίνονται τα οι μέσοι όροι και τα 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ παρατηρούμε ότι όταν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται πριν τη θερμική επεξεργασία η μείωση των τιμών του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς είναι ανάλογη του ποσοστού προσθήκης τους. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού, η οποία λαμβάνει χώρα κατά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος. Οι πρωτεΐνες ορού όταν προστίθενται πριν τη θερμική επεξεργασία μετουσιώνονται σχηματίζοντας σύμπλοκα αρχικά μεταξύ τους και στη συνέχεια με τις καζεΐνες. Τα σύμπλοκα αυτά, τα οποία φέρουν ενεργές ομάδες και έχουν μεγάλο μέγεθος, παρουσιάζουν αυξημένο

υδροδυναμικό όγκο γεγονός το οποίο συντελεί στην εκδήλωση της ψευδοπλαστικής αυτής συμπεριφοράς, ενώ παράλληλα παρουσιάζουν αυξημένο φαινομενικό ιξώδες.



Σχήμα 10. Μέσοι όροι και 95% όρια εμπιστοσύνης των τιμών του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων κεφίρ που παρασκευάστηκαν με την προσθήκη διαφορετικών ποσοστών ΣΠΟ και στα οποία η προσθήκη των ΣΠΟ πραγματοποιήθηκε τόσο πριν όσο και μετά την θερμική επεξεργασία.

Όταν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται μετά τη θερμική επεξεργασία ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς των δειγμάτων (Σχήμα 10) δεν επηρεάζεται από την προσθήκη των ΣΠΟ, καθότι οι μη μετουσιωμένες πρωτεΐνες ορού ενεργούν ως αδρανές υλικό πλήρωσης στο πλέγμα.

Μελέτη της επίδρασης της θερμικής επεξεργασίας και της προσθήκης πρωτεϊνών ορού στα ρεολογικά χαρακτηριστικά σε όξινα πηγμάτα με προσθήκη γλυκονικής- δ-λακτόνης (glucose-δ-lactone) έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα: Προσθήκη εμπορικού σκευάσματος συμπυκνώματος πρωτεϊνών σε ποσοστό 1% στο γάλα και στη συνέχεια θερμική επεξεργασία του γάλακτος στους 85°C για 30 min έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή συνεκτικότητας  $G'$  σε σχέση με το δείγμα που προέκυψε από γάλα με την ίδια θερμική επεξεργασία χωρίς καμία



προσθήκη. Αντίθετα, προσθήκη του ίδιου συμπυκνώματος και στο ίδιο ποσοστό σε γάλα που έχει ήδη θερμανθεί στους 85<sup>0</sup>C για 30 min έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της τιμής του συντελεστή συνεκτικότητας G' σε σχέση με το προηγούμενο δείγμα και μάλιστα μικρότερη τιμή του συντελεστή συνεκτικότητας σε σχέση με το δείγμα που παρασκευάστηκε από γάλα θερμικά επεξεργασμένο στους 85<sup>0</sup>C για 30 min χωρίς καμία προσθήκη πρωτεϊνών ορού. (Lucey et al. 1998).

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Η προσθήκη συμπυκνωμάτων πρωτεϊνών ορού (ΣΠΟ) έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου επώασης που απαιτείται για την επίτευξη τιμής pH 4,4.
- Ο χρόνος επώασης που απαιτείται για την επίτευξη τιμής pH 4,4 δεν επηρεάζεται από το εάν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται πριν ή μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.
- Η προσθήκη των ΣΠΟ πριν τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του δείκτη ρεολογικής συμπεριφοράς.
- Ο δείκτης ρεολογικής συμπεριφοράς δε μεταβάλλεται όταν η προσθήκη των ΣΠΟ γίνεται μετά τη θερμική επεξεργασία του γάλακτος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Arihana, K., Toba, T., and Adachi, S. (1990). Immunofluorescence microscopic studies on distribution of *L. kefirifaciens* and *L. kefir* in kefir grains. *International Journal Food Microbiology*, **11**, 127-34.
- Bagley, E. B. (1957). End corrections in the capillary flow of polyethylene. *Journal of Applied Physics*, **28**, 624-627.
- Becker, T., and Puhan, Z. (1981). Effect of different processes to increase the milk solid non fat content on the rheological properties of yogurt. *Milchwissenschaft*, **44**, 626-629.
- Beshkova, D. M., Simona, E. D., Simon, Z. I., Frengova, G. I., and Spasov, Z. I. (2002). Pure cultures for making kefir. *Food Microbiology*, **19**, 537-544.
- Chaitow, L., and Trenev, N. (2002). Probiotics. Natasha Trenev Website. [www. Natren.com](http://www.Natren.com).
- Clementi, F., Gobetti, M., and Rossi, J. (1989). Carbon dioxide synthesis by immobilized yeast cells in kefir production. *Milchwissenschaft*, **44**, 70-74.
- Collar, C. (1996). Biochemical and technological assessment of the metabolism of pure and mixed cultures of yeast and lactic acid bacteria in breadmaking applications. *Food Science and Technology International*, **2**, 349-367.
- Darby, R. (1984). Emulsion rheology. In K. J. Lissant (Ed.), *Emulsion and emulsion rheology, Part III*. New York, Basel: Marcel Dekker,.
- Darby, R. (1996). *Chemical engineering fluid mechanics*. New York, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker.
- Davidov, R. B., and Sokolovsky, V. P. (1968). *Milk and milk products in human nutrition*. Moscow: Medicina.
- Dimitreli, G. (2006). Rheological and textural properties of processed cheese. Ph.D. Thesis, University of Lincoln, United Kingdom.
- Farnworth, E. R. (2005). Kefir—a complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Functional Foods*, **2**, 1-17.

- Garrote, G., Abraham, A., and De Antoni, G. (1998). Characteristics of kefir prepared with different grain: milk ratios. *Journal of Dairy Research*, **65**, 149-154.
- Halle C., Leroil, F., Dousset X., and Pidoux, M. (1994). Les kefirs: des associations bacteries lactiques-levures. In De H. Roissart, and F. M. Luquet (Eds), *Bacteries lactiques: Aspects fondamentaux et technologiques*, Vol. 2 (pp. 169-182). Uriage, France, Loriga,.
- Irigoyen, A., Arama, I., Castiella, M., Torre, P., and Ibanez, F.C. (2005). Microbiological, physicochemical, and sensory characteristics of kefir during storage. *Food Chemistry*, **90**, 613-620.
- Karagozlu, C., and Kavas, G. (2000). Alkollu fermente sut icecekleri: Kefir ve kimizin ozellikleri ve insane beslenmesindeki onemi. *Gida*, **6**, 86-93.
- Koroleva, N. S. (1982). Special products (kefir, koumis, etc.). *International Dairy Congress Moscow*, **2**, 146-152.
- Koroleva, N. S. (1988). Technology of kefir and koumis. *Bulletin of the International Dairy Federation*, **227**, 96-100.
- Koroleva, N. S. (1991). Products prepared with lactic acid bacteria and yeasts. In R. K. Robinson (Ed.), *Therapeutic properties of fermented milks* (pp. 159-179). London : Elsevier Applied Sciences Publishers.
- Kwak, H. S., Park, S. K., and Kim, D. S. (1996). Biostabilization of kefir with a nonlactose-fermenting yeast. *Journal of Dairy Science*, **79**, 937-942.
- Lapasin, R., and Prici, S. (1995). *Rheology of industrial polysaccharide, Theory and applications*. Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Libudzisz, Z., and Piatkiewicz, A. (1990). Kefir production in Poland. *Diary Industries International*, **55**, 31-33.
- Lucey, J. A., Munro, P. A., and Singh, H. (1998). Rheological properties and microstructure of acid milk gels as affected by fat content and heat treatment. *Journal of Food Science*, **63**, 660-664.
- McClements, D. J. (1999). *Food emulsions: Principles, practice and techniques*. Boca Raton, London, New York, Washington: CRC Press LLC.
- Merilainen, V. T. (1984). Microorganisms in fermented milks: Other microorganisms. *Bulletin of the International Dairy Federation*, **179**, 89-93.

- Otles, S., and 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, 7<sup>th</sup> Edition*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Salminen, S., Bouley, C., and Boutron Ruault, M. C. (1998). Functional food science and gastrointestinal physiology and function. *British Journal of Nutrition* **80**,147-71.
- Samsonov, M., and Budagovskaya, V. (1982). The Role of Fermented Dairy Drinks as Dietary Products. *XXI International Dairy Congress Moscow*, **2**, 140-5.
- Simona, E., Beshkova, D., Angelov, A., Hristozova, T. S., Frengova, and G., Spasov, Z. (2002). Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, **28**, 1-6.
- Sodini, I., Remeuf, F, Haddad, S., and Corrieu, G. (2004). The relative effect of milk base, starter, and process on yogurt texture: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **44**, 113-137.
- Toba, T., Arihara, K., and Adachi, S. (1987). Comparative study of polysaccharides from kefir grains, an encapsuled homofermentative. *Lactobacillus* species and *Lactobacillus kefir*. *Milchwissenschaft*, **42**, 565-568.
- van Wazer, J. R., Lyons, J. W., Kim, K. I., and Colwell, R. E. (1963). *Viscosity and flow measurements: A laboratory handbook of rheology*. New York: Interscience.
- Viljoen, B. C. (2001). The interaction between yeasts and bacteria in dairy environments. *International Journal Food Microbiology*, **69**, 37-44.
- Walstra, P., & Jenness, R. (1984). Dairy chemistry and physics (pp 194-196). New York : Wiley.
- Witthuhn, R. C., Schoeman, T., and Britz, T. J. (2004). Isolation and characterization of the microbial population of different South African Kefir grains. *International Journal of Dairy Technology*, **57**, 33-37.
- Witthuhn, R. C., Schoeman, T., and Britz, T. J. (2005). Characterisation of the microbial population at different stages of kefir production and kefir grains mass cultivation. *International Dairy Journal*, **15**,383-389.

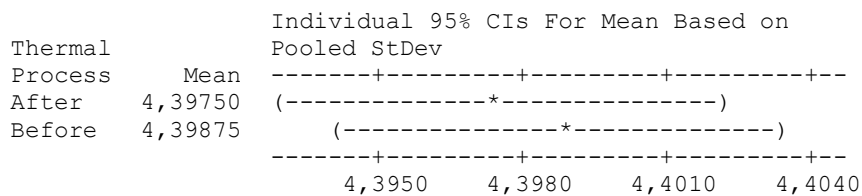
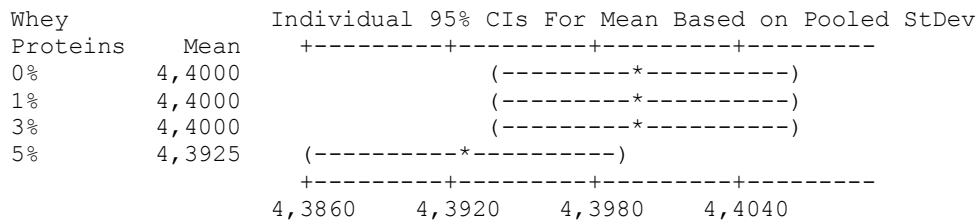
- Xu, Z., and Raphaelides, S. N. (1998). Flow behavior of concentrated starch dispersions using a tube rheometer of novel design, *Journal of Texture Studies*, **29**, 1-13.
- Yokoi, H., Watanabe, T., Fujii, Y., Mukai, T., Toba, T., and Adachi, S. (1991). Some taxonomical characteristics of encapsulated *Lactobacillus* sp. KPB-167B isolated from kefir grains and characterization of its extracellular polysaccharide. *International Journal Food Microbiology*, **13**, 257-264.
- Zacconi, C., Parisi, M. G., Sarra, P. G., Dalvalle, P., and Botazzi, V. (1995). Competitive exclusion of *Salmonella kedougou* in kefir fed chicks. *Microbiology Aliment-Nutrition*, **12**, 387-390.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Two-way ANOVA: pH versus Whey Proteins; Thermal Process

Source	DF	SS	MS	F	P
Whey Proteins	3	0,0001688	0,0000563	1,80	0,225
Thermal Process	1	0,0000062	0,0000062	0,20	0,667
Interaction	3	0,0000187	0,0000062	0,20	0,894
Error	8	0,0002500	0,0000313		
Total	15	0,0004438			

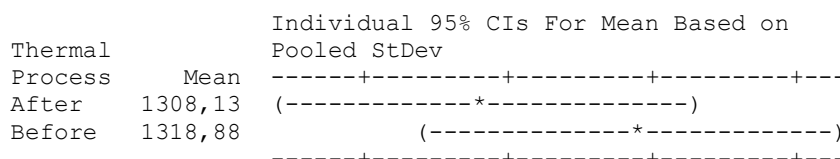
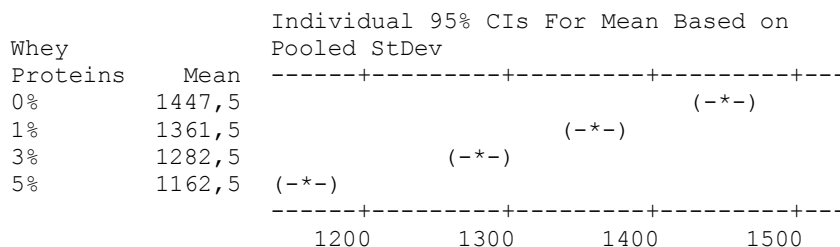
S = 0,005590 R-Sq = 43,66% R-Sq(adj) = 0,00%



### Two-way ANOVA: time (min) versus Whey Proteins; Thermal Process

Source	DF	SS	MS	F	P
Whey Proteins	3	176088	58696,0	185,97	0,000
Thermal Process	1	462	462,3	1,46	0,261
Interaction	3	157	52,3	0,17	0,917
Error	8	2525	315,6		
Total	15	179232			

S = 17,77 R-Sq = 98,59% R-Sq(adj) = 97,36%

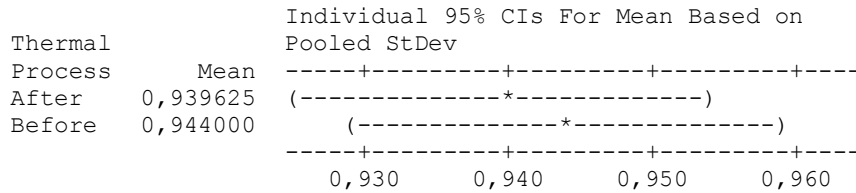
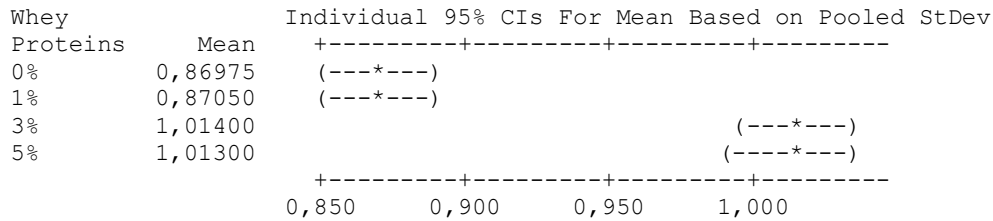


1300            1310            1320            1330

**Two-way ANOVA: lactic acid % versus Whey Proteins; Thermal Process**

Source	DF	SS	MS	F	P
Whey Proteins	3	0,0822287	0,0274096	84,88	0,000
Thermal Process	1	0,0000766	0,0000766	0,24	0,639
Interaction	3	0,0004297	0,0001432	0,44	0,728
Error	8	0,0025835	0,0003229		
Total	15	0,0853184			

S = 0,01797    R-Sq = 96,97%    R-Sq(adj) = 94,32%



**Two-way ANOVA: n versus Whey Proteins; Thermal Process**

Source	DF	SS	MS	F	P
Whey Proteins	3	0,187266	0,0624219	484,13	0,000
Thermal Process	1	0,098126	0,0981256	761,03	0,000
Interaction	3	0,051470	0,0171566	133,06	0,000
Error	8	0,001031	0,0001289		
Total	15	0,337892			

S = 0,01136    R-Sq = 99,69%    R-Sq(adj) = 99,43%

