



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Μεταβολές των Συστατικών & των Ιδιοτήτων του Γάλακτος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αλεξία Χατζηϊωάννου

Επιβλέπουσα: Κωνσταντίνα Τζιά

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια της Διπλωματικής Εργασίας διερευνήθηκε πειραματικά το θέμα της ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους. Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να διαπιστωθεί η καταλληλότητα των υπέρηχων για τη χρήση τους στην ομογενοποίηση γάλακτος, μέσα από διάφορες συνθήκες έντασης-χρόνου και να μελετηθούν οι αλλαγές που συμβαίνουν στις ιδιότητες του γάλακτος και στα συστατικά του, με εφαρμογή αυτής της μεθόδου, τόσο αμέσως μετά την κατεργασία, όσο και κατά την αποθήκευση του γάλακτος. Τα πειράματα εκπονήθηκαν στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Κωνσταντίνα Τζιά, που μου έδωσε την ευκαιρία να συνεργαστώ μαζί της και να αναλάβω τη διεκπεραίωση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, καθώς και για τη βοήθειά της. Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Παναγιώτη Σφακιανάκη, που με βοήθησε να εξοικειωθώ με το εργαστήριο, καθώς και στη Βάσω Πολυχνιάτου, στη Βιργινία Γιάννου, στη Μαριάννα Γιαννόγλου, στο Ζαχαρία Αλεξανδράκη και όλα τα υπόλοιπα μέλη του εργαστηρίου της Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων, που ήταν πάντοτε πρόθυμα να απαντήσουν στις απορίες μου και να με βοηθήσουν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΦΑΓΕ Α.Ε., για τις πρώτες ύλες που μου παρείχε. Ακόμη, πρέπει να ευχαριστήσω το Εργαστήριο Γενικής Χημείας και ιδιαίτερα την κα Ε. Παυλάτου, για την παραχώρηση του οργάνου Zetasizer, για την διεκπεραίωση των μετρήσεων μου. Τέλος, χρωστάω ένα μεγάλο ευχαριστήσω στην οικογένεια και στους φίλους μου, που όλο αυτό το χρόνο με ενθάρρυναν και μου στάθηκαν με κάθε τρόπο.

ΠΙΚΑΝΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
ABSTRACT.....	11
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	13
2.2 ΤΟ ΓΑΛΑ ΚΑΙ Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ	13
3. ΓΑΛΑ - ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	16
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ.....	16
3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΓΕΛΑΔΙΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	19
3.2.1 Νερό.....	19
3.2.2 Λίπος	20
3.2.3 Πρωτεΐνες	22
3.2.4 Υδατάνθρακες.....	25
3.2.5 Ένζυμα ⁴	26
3.2.6 Άλατα	27
3.2.7 Ιχνοστοιχεία	28
3.2.8 Βιταμίνες.....	28
3.2.9 Άλλα Συστατικά ⁴	28
3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	30
3.3.1 Οσμή & Γεύση.....	30
3.3.2 Χρώμα	30
3.3.3 Οξύτητα – Ρυθμιστική Ικανότητα	30
3.3.4 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής	31

3.3.5 Πυκνότητα.....	31
3.3.6 Ιξώδες.....	31
3.3.7 Σημείο Πήξης	32
3.3.8 Σημείο Ζέσης.....	32
3.3.9 Δείκτης Διάθλασης	33
3.3.10 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	33
3.4 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	34
3.4.1 Μικροχλωρίδα Νωπού Γάλακτος	34
3.4.2 Μόλυνση με Βακτήρια Νωπού Γάλακτος.....	38
3.4.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών	39
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	41
4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ	43
4.1.1 Συλλογή σε γαλακτοδοχεία	44
4.1.2 Συλλογή Χύμα	44
4.2 ΒΑΚΤΗΡΙΟΚΑΘΑΡΣΗ	45
4.3 ΘΕΡΜΙΣΜΑ.....	46
4.4 ΠΑΡΑΛΑΒΗ	47
4.5 ΔΙΗΘΗΣΗ	50
4.6 ΑΠΟΚΟΡΥΦΩΣΗ	51
4.6 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΠΟΥΣ	52
4.7 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	53
4.8 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ - ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗ.....	53
4.8.1 Χαμηλή Παστερίωση ή Παστερίωση LTLT (Low Temperature Long Time)	54
4.8.2 Υψηλή Παστερίωση ή Παστερίωση HTST (High Temperature Short Time).....	55

4.8.3 Υπερπαστερίωση	58
4.8.4 UHT (Ultra High Temperature) Παστερίωση	58
4.8.5 Αποστείρωση	59
4.8.6 Εξοπλισμός Παστερίωσης	59
4.9 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΑΣΤΕΡΙΩΜΕΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	62
4.10 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΔΙΑΝΟΜΗ	63
5. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ	64
5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ.....	66
5.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ	68
5.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ	69
5.3.1 Αναμικτήρες Υψηλής Ταχύτητας	69
5.3.2 Ομογενοποιητές Υψηλής Πίεσης.....	69
5.3.3 Μύλοι Κολλοειδών	72
5.3.4 Μικρορευστοποιητές (Microfluidizer).....	72
5.3.5 Ομογενοποίηση με Υπέρηχους.....	73
6. ΥΠΕΡΗΧΟΙ.....	74
6.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	74
6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	76
6.2.1.Εφαρμογές Υπέρηχων με Άμεση Σχέση με το Τρόφιμο	76
6.2.2 Εφαρμογές Υπέρηχων με Έμμεση Σχέση με το Τρόφιμο	83
6.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	86
6.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	87
6.4.1 Βιομηχανικός Εξοπλισμός Υπέρηχων	87

6.4.2	Εργαστηριακός Εξοπλισμός Υπερήχων.....	88
6.5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΤΗΝ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	89
7.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	94
7.1	ΣΚΟΠΟΣ	94
6.2	ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ.....	95
6.2.1	Πρώτες Ύλες.....	95
6.2.2	Αντιδραστήρια	95
6.2.3	Όργανα.....	96
6.2.4	Σκεύη.....	97
6.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	98
6.3.1	Μέτρηση Πυκνότητας Κρέμας Γάλακτος/ Τυποποίηση Λιπαρών.....	99
6.3.2	Πρώτη Παστερίωση (Υψηλή).....	101
6.3.3	Ομογενοποίηση με Υπέρηχους.....	101
6.3.4	Δεύτερη Παστερίωση (Ηπια)	101
6.3.5	Ψύξη.....	102
6.4	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ - ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	102
6.4.1	Μικροσκόπιο – Εμφάνιση & Μέγεθος Λιποσφαιρίων.....	102
6.4.2	Χρώμα Γάλακτος	103
6.4.3	Ρεόμετρο – Ιξώδες Γάλακτος	104
6.4.4	Zetasizer – Μέση Διάμετρος Λιποσφαιρίων	104
6.4.5	Bradford – Μέτρηση Ποσοστού Μετουσίωσης Πρωτεϊνών	105
6.4.6	Μικροβιολογικός Έλεγχος.....	108
6.4.7	Οργανοληπτικός Έλεγχος.....	110
6.5	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....	110

6.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	112
7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	113
7.1 ΜΕΓΕΘΟΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ	113
7.2 ΧΡΩΜΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ	131
7.3 ΙΞΩΔΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	144
7.4 ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ - ΜΙΚΚΥΛΙΩΝ ΚΑΖΕΪΝΗΣ.....	146
7.5 BRADFORD – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΟΥΣΙΩΣΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ	169
7.6 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	172
8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	200
8.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANOVA)	200
8.1.1 Χρώμα	200
8.1.2 Μέγεθος Λιποσφαιρίων (μέτρηση Zetasizer).....	201
8.1.3 Ποσοστό Μετουσίωσης των Πρωτεϊνών του Γάλακτος.....	202
8.1.4 Ιξώδες Γάλακτος.....	202
8.1.5 Μικροβιολογικά Αποτελέσματα.....	202
8.1.6 Οργανοληπτικά Αποτελέσματα	203
8.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ - PCA	204
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	207
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	211
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	214
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	219

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με την ομογενοποίηση, το γάλα αποκτά μια ομοιογενή σύσταση, η οποία διατηρείται για ορισμένο χρονικό διάστημα, χωρίς να αλλάζει. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάσπαση των λιποσφαιρίων του γάλακτος σε μικρότερου μεγέθους λιποσφαίρια, μέσω της διεργασίας της ομογενοποίησης. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος στη βιομηχανία για την ομογενοποίηση του γάλακτος είναι η υψηλή πίεση. Στην παρούσα, όμως, εργασία μελετήθηκε η ικανότητα των υπέρηχων, μηχανικών κυμάτων συχνότητας μεγαλύτερης των 20 KHz, να επιτύχουν ικανοποιητική διάσπαση των λιποσφαιρίων του γάλακτος, ώστε το τελικό προϊόν να μην παρουσιάζει διαχωρισμό λιπαρών (ανομοιογένεια).

Κατά την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις εντάσεις υπέρηχων, δύο χρόνοι έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους και οι συνθήκες αυτές εφαρμόστηκαν σε δύο είδη γάλακτος. Συγκεκριμένα δοκιμάστηκαν σε πλήρες και αποβουτυρωμένο γάλα εντάσεις υπέρηχων 150, 350, 550 και 750 W με διάρκεια έκθεσης 2 και 10 min. Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της επίδρασης της επεξεργασίας στις ιδιότητες του γάλακτος, εκτός από τα δείγματα που ομογενοποιήθηκαν με υπέρηχους, εξετάστηκαν και δύο άλλα δείγματα, το τυφλό (T_1) που δεν είχε υποστεί καμία επεξεργασία και το τυφλό (T_2) που είχε υποστεί μόνο θερμική κατεργασία.

Με βάση τη μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων που επιτεύχθηκε, η ομογενοποίηση με υπέρηχους κρίθηκε αποτελεσματική. Τα λιποσφαίρια μειώθηκαν σε μέγεθος σε ικανοποιητικό βαθμό. Αποδείχθηκε ότι όσο μεγαλύτερη ήταν η ένταση των υπέρηχων και ο χρόνος έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους, τόσο πιο μικρό ήταν και το μέγεθος των λιποσφαιρίων στο ομογενοποιημένο γάλα. Συγκεκριμένα, το μέγεθος των λιποσφαιρίων, πλήρους γάλακτος, πριν την επεξεργασία με υπέρηχους ήταν 3-3,5 μm . Με έκθεση των δειγμάτων σε εντάσεις υπέρηχων 150, 350, 550 και 750 W, για χρόνο επιβολής 2 min, το μέγεθος των λιποσφαιρίων, όπως προσδιορίστηκε μέσω οπτικού μικροσκοπίου, βρέθηκε ίσο με 2,9, 1,8, 1,2 και 0,9 μm , αντίστοιχα. Στις ίδιες εντάσεις υπέρηχων και για χρόνο επιβολής 10 min, το μέγεθος των λιποσφαιρίων βρέθηκε ίσο με 2,3, 0,9, 0,7 και 0,4 μm , αντίστοιχα.

Το μέγεθος των λιποσφαιρίων προσδιορίστηκε, επίσης, και με το όργανο zetasizer. Με το συγκεκριμένο όργανο το μέγεθος των λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος, πριν την επεξεργασία των δειγμάτων κυμαινόταν μεταξύ 5-5,1 μm . Με έκθεση των δειγμάτων σε εντάσεις υπέρηχων 150, 350, 550 και 750 W, για χρόνο επιβολής 2 min, το μέγεθος των λιποσφαιρίων, βρέθηκε ίσο με 4,8, 4,6, 4,7 και 4,5 μm , αντίστοιχα. Στις ίδιες εντάσεις υπέρηχων και για χρόνο επιβολής 10 min, το μέγεθος των λιποσφαιρίων βρέθηκε ίσο με 5,1, 2,7, 0,7 και 0,4 μm , αντίστοιχα.

Με το όργανο zetasizer προσδιορίστηκε και το μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων. Συγκεκριμένα, το μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων των μη επεξεργασμένων δειγμάτων γάλακτος κυμαινόταν μεταξύ 0,35-0,4 μm . Στο πλήρες γάλα, σε εντάσεις υπέρηχων 150, 350, 550 και 750 W και χρόνο επιβολής στους υπέρηχους 2 min, το μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων βρέθηκε ίσο με 0,35, 0,46, 0,51 και 0,6 μm , αντίστοιχα, ενώ για χρόνο επιβολής 10 min, για ένταση υπέρηχων 150 W το μέγεθος των μικκυλίων βρέθηκε ίσο με 0,47 μm , για ένταση 350 W ίσο με 0,67 μm και για ένταση 550 W ίσο με 0,37 μm , ενώ για το δείγμα έντασης 750 W δεν βρέθηκαν καζεϊνικά μικκύλια, πολύ πιθανό λόγω της επικάλυψης της κατανομής τους από την κατανομή των λιποσφαιρίων του γάλακτος. Στην περίπτωση του αποβουτυρωμένου γάλακτος, το μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων, σε όλες τις εντάσεις των υπέρηχων, για χρόνο επιβολής υπέρηχων 2 min, κυμαινόταν μεταξύ 0,28-0,29 μm , ενώ για χρόνο επιβολής 10 min, κυμαινόταν μεταξύ 0,3-0,33 μm .

Τα δείγματα του γάλακτος παρουσίασαν διαφορές στο χρώμα ανάλογα με το χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους. Στο πλήρες γάλα για χρόνο έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους 2 min, με αύξηση της έντασης των υπέρηχων, από 150 W στα 750 W, το χρώμα γινόταν όλο και πιο ανοιχτό, με πιο λευκό χρώμα να παρουσιάζει το δείγμα έντασης υπέρηχων 750 W. Για χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 10 min, λευκότερο χρώμα παρουσίασαν τα δείγματα που εκτέθηκαν σε ένταση υπέρηχων 150 και 750 W, ενώ τα δείγματα σε ένταση υπέρηχων 350 και 550 W είχαν πιο σκούρο χρώμα. Στην περίπτωση του αποβουτυρωμένου γάλακτος, το χρώμα του τόσο για χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 2 min, όσο και για χρόνο 10 min, διατηρήθηκε σταθερό, με το χρώμα του

αποβουτυρωμένου γάλακτος να είναι πιο λευκό κατά την επεξεργασία με υπέρηχους για χρόνο 2 min.

Το ιξώδες των δειγμάτων γάλακτος τόσο για πλήρες όσο και για το αποβουτυρωμένο γάλα δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την επεξεργασία με υπέρηχους.

Όσον αφορά την επίδραση των υπέρηχων στις πρωτεΐνες, βρέθηκε ότι ο βαθμός μετουσίωσης αυτών ήταν σχεδόν ίδιος για όλα τα θερμικά επεξεργασμένα δείγματα πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος για χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 2 min, ενώ για χρόνο 10 min τα επεξεργασμένα με υπέρηχους δείγματα είχαν αυξημένο βαθμό μετουσίωσης, σχεδόν διπλάσιο, πράγμα που αποδεικνύει ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας επιδρά σε μεγαλύτερο βαθμό στη μετουσίωση των πρωτεϊνών.

Με βάση τα μικροβιολογικά αποτελέσματα φάνηκε ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν σε μικρό βαθμό στη μείωση του μικροβιακού φορτίου του γάλακτος και ότι όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων, τόσο σημαντικότερη είναι κι η συμβολή τους.

Από οργανοληπτική άποψη, τα δείγματα με μικρό χρόνο έκθεσης σε υπέρηχους μικρότερης έντασης (150 W 2 min), απορρίπτονταν πολύ σύντομα, λόγω ανεπαρκούς ομογενοποίησης, όπως και τα δείγματα με μεγάλο χρόνο έκθεσης σε υπέρηχους μεγαλύτερης έντασης (750 W 10 min), λόγω αλλοίωσης της οσμής τους.

Τόσο το πλήρες όσο και το αποβουτυρωμένο γάλα που είχε επεξεργαστεί σε μεγαλύτερες εντάσεις υπέρηχων (350, 550 και 750 W) για 4 ημέρες σε ψύξη διατηρήθηκε σταθερό παρουσιάζοντας μικρή συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων.

Στα δείγματα που είχαν επεξεργαστεί με υπέρηχους για χρόνο 10 min το μικροβιακό φορτίο διατηρήθηκε σχεδόν σταθερό και κατά τη διάρκεια των 4 ημερών αποθήκευσης.

ABSTRACT

The aim of this thesis was the application and the effect of ultrasonic homogenization in whole and skim milk and the study of the change of properties and constituents of milk, both immediately after treatment of milk and when stored at cooling for 2 and 4 days.

Due to the homogenization, milk becomes homogeneous and remains stable for a long time. The main effect of homogenization is the reduction of fat globules size. The industrial method for milk homogenization is applied with high pressure homogenizers. In the present project the ability of ultrasound, mechanical sound waves with frequency greater than 20 KHz, was studied as a method of homogenization, during which in the final product fat aggregation and separation would not be observed.

During the experimental procedure there were used four ultrasound intensities 150, 350, 550 and 750 W, two exposure times of the samples to ultrasound 2 and 10 min and two kinds of milk, whole and skim milk. In order to understand the effect of ultrasound in milk, two blank samples were used. The first (T_1) was only fat standardized and the second (T_2) was fat standardized and heat treated.

The action of ultrasound in milk homogenization was observed in the efficiency fat globules size reduction with the help of optical microscope. It was proved that the more intensity and exposure time of ultrasound were increased the more fat globules size was reduced. The initial size was 3-3,5 μm and after homogenization conditions 750 W and 2 min the size was reduced up to 0,9 μm , but for exposure time at the same intensity the size was further reduced to 0,4 μm . The fat globules size was also measured with Zetasizer. The initial size was ranged between 5-5,1 μm and after homogenization conditions 750 W and 2 min the size was reduced up to 4,5 μm , but for exposure time at the same intensity the size was further reduced to 0,4 μm .

As far as the sample colour was concerned there were observed differences due to the exposure time. More specifically, both whole and skim milk treated with higher exposure time presented brighter colour than the samples treated for 2 min.

The viscosity of the milk samples wasn't significantly altered by the ultrasound treatment.

The effect of ultrasound in milk protein denaturation was also measured. For exposure time of 2 min the percentage of protein denaturation was nearly 20% for all heat treated milk samples, which meant that in low exposure times, ultrasound don't further denaturate proteins. On the other hand, for exposure time of 10 min the percentage of milk protein denaturation was up to 40%.

The microbiological results showed that the more intensity and exposure time of ultrasound were increased the more viable colony count was reduced.

As far as the sensory evaluation was concerned, samples treated with low intensity and exposure time (150 W 2 min) were rejected due to the insufficient homogenization whereas samples with high intensity and exposure time (750 W 10 min), were also rejected due to the off flavor of milk. The samples with intermediate conditions of treatment were considered acceptable.

Both whole and skim milk, which were treated with higher ultrasound intensities (350, 550 και 750 W) were remained stable during cooling for 4 days and there were no aggregation was observed. Samples, which were treated with higher exposure time (10 min) haven't shown any change in the viable colony count during storage.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το γάλα, από τους προϊστορικούς χρόνους είχε χρησιμοποιηθεί από τους ανθρώπους ως τροφή. Οι άνθρωποι, γνώριζαν αιώνες πριν, την ικανότητα του γάλακτος να μετατρέπεται σε άλλα προϊόντα όπως γιαούρτι και τυρί.¹ Υπάρχουν μαρτυρίες, από τοιχογραφίες στη Σαχάρα, ότι το γάλα και τα υπόλοιπα γαλακτοκομικά προϊόντα θεωρούνταν πολύ σημαντικά για τη διατροφή του ανθρώπου από το 4000 π.Χ. Εδώ και 3000 χρόνια, οι άνθρωποι ήταν τόσο εξοικειωμένοι με το γάλα και τα προϊόντα του, που τα χρησιμοποιούσαν ακόμη και σε παρομοιώσεις και αλληγορίες. Ένα παράδειγμα είναι ότι η Γη της Επαγγελίας, στη Βίβλο, αναφέρεται και ως η Γη στην οποία θα ρέει γάλα και μέλι. Στο Μεσαίωνα, τα γαλακτοκομικά προϊόντα ήταν σημαντικά τρόφιμα, σε όλη την Ευρώπη. Στην Ελλάδα και τη Ρώμη, το τυρί ήταν πολύ συνηθισμένο, ενώ το φρέσκο γάλα και το βούτυρο ήταν πιο γνωστά στη βόρεια Ευρώπη και την Ασία. Στη βόρεια Αμερική, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα έγιναν γνωστά αφότου αφίχθησαν οι Ευρωπαίοι. Από το Μεσαίωνα μέχρι τον 18^ο αιώνα επήλθαν πολλές αλλαγές στο χειρισμό του γάλακτος και στην παραγωγή των προϊόντων του.² Έκτοτε και λόγω της τεχνολογικής ανάπτυξης, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν αποκτήσει σημαντική θέση στη διαίτα όλου του πληθυσμού της Γης.³

2.2 ΤΟ ΓΑΛΑ ΚΑΙ Η ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΟΦΗ

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό των θηλαστικών είναι η ικανότητά τους να εκκρίνουν γάλα, το οποίο αποτελεί πηγή θρεπτικής και ανοσολογικής προστασίας για τα μικρά τους. Σήμερα, η πλειοψηφία του γάλακτος για την ανθρώπινη κατανάλωση προέρχεται κυρίως από τις αγελάδες, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει και μεγάλη κατανάλωση γάλακτος κατσίκας, βουβαλιού, προβάτου και επιπρόσθετα ανθρώπινου γάλακτος.²

Το γάλα αποτελεί τη μοναδική και πλήρη τροφή για τα πρώτα στάδια της ζωής των νεογέννητων των θηλαστικών. Στον άνθρωπο, μετά από τους πρώτους μήνες της ζωής του, το γάλα δεν επαρκεί για να καλύψει όλες τις ανάγκες του σε θρεπτικά συστατικά. Αποτελεί, όμως, μια άριστη τροφή και μια από τις σημαντικότερες πηγές πρωτεϊνών υψηλής

βιολογικής αξίας, ασβεστίου, φωσφόρου καθώς και εξαιρετική πηγή της βιταμίνης B₁₂, και ικανοποιητική πηγή της βιταμίνης A, της θειαμίνης, της νιασίνης και του μαγνησίου.² 1 L γάλακτος μπορεί να καλύψει σημαντικό μέρος από τις ημερήσιες ανάγκες του ανθρώπου σε ορισμένα θρεπτικά συστατικά.⁴ Επαρκής ποσότητα του γάλακτος και των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι αναγκαία καθόλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου, για την προώθηση της υγείας των οστών, τη μείωση της εμφάνισης χρόνιων ασθενειών, όπως οστεοπόρωση και υπέρταση, και τη γενικότερη συμβολή στην ανθρώπινη διατροφή.²

Η ανάγκη των ανθρώπων για κατανάλωση γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τυποποιημένων προϊόντων, καθώς και στην ανάπτυξη πολλών βιομηχανικών μεθόδων και τεχνικών. Το γάλα, για να καταστεί κατάλληλο προς κατανάλωση, θα πρέπει πρώτα να περάσει από διάφορα στάδια επεξεργασιών. Πρώτα θα πρέπει να απομακρυνθούν οι ανεπιθύμητες προσμίξεις και ποσοστό του μικροβιακού φορτίου, γεγονός που επιτυγχάνεται με διήθηση και φυγοκέντρηση. Το γάλα στη συνέχεια διαχωρίζεται σε αποβουτυρωμένο γάλα και κρέμα, η οποία περιέχει τα λιπαρά. Έπειτα ακολουθεί η τυποποίηση των λιπαρών και στερεών του γάλακτος με προσθήκη της επιθυμητής ποσότητας λίπους στο αποβουτυρωμένο γάλα. Το γάλα στη συνέχεια ομογενοποιείται, με υψηλή πίεση, προκειμένου να διασπαστούν τα λιποσφαίρια, να μειωθεί το μέγεθός τους και να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή τους στο γάλα. Με την ομογενοποίηση, επιτυγχάνεται ομοιογένεια του γάλακτος και έτσι μπορεί να διατηρηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα ομοιογενές, χωρίς να αποκορυφωθούν τα λιποσφαίρια, δηλαδή χωρίς να «ανέλθουν» στην επιφάνειά του. Για τη διατήρηση του γάλακτος, πέρα από την ομογενοποίηση, σημαντική είναι και η παστερίωση, με την οποία μειώνεται το μικροβιακό φορτίο του γάλακτος, σε μεγάλο/ικανοποιητικό βαθμό και έτσι αυτό καθίσταται κατάλληλο για κατανάλωση χωρίς να είναι επικίνδυνο για τη Δημόσια Υγεία. Τέλος, το γάλα συσκευάζεται και αποθηκεύεται σε ψύξη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, μελετάται η ομογενοποίηση του γάλακτος με χρήση υπέρηχων, αντί της κλασικής μεθόδου με υψηλή πίεση. Σκοπός της εργασίας είναι να διαπιστωθεί η αποτελεσματικότητα των υπέρηχων στην ομογενοποίηση του γάλακτος και οι τυχόν επιδράσεις των παραμέτρων της διεργασίας (ένταση υπέρηχων-χρόνος έκθεσης σε

υπερήχους) στις ιδιότητες και στα συστατικά του γάλακτος. Οι υπέρηχοι είναι μηχανικά κύματα, συχνότητας μεγαλύτερη από 20 KHz. Με την εφαρμογή των υπέρηχων στο γάλα, τα λιποσφαίρια διασπώνται, λόγω των παλμών που δημιουργούνται από τα κύματα. Για να διαπιστωθεί η επίδραση των υπέρηχων, ενδιαφέρον παρουσιάζει, εκτός από το μέγεθος των λιποσφαιρίων, η παρακολούθηση ορισμένων ιδιοτήτων του γάλακτος, όπως το ιξώδες, το χρώμα, η προκαλούμενη μετουσίωση των πρωτεϊνών του γάλακτος, το μικροβιακό φορτίο που έχει σημασία για την έκταση της παστερίωσης που θα απαιτηθεί στη συνέχεια και τέλος τα οργανοληπτικά του χαρακτηριστικά αυτού.

Το γάλα είναι σημαντικό στοιχείο της διατροφής των ανθρώπων, σε κάθε στάδιο της ζωής τους. Η μελέτη του, λοιπόν, αποτελεί ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα, όχι μόνο λόγω της συνεισφοράς του στη διατροφή, αλλά και λόγω της πολυπλοκότητάς του. Με την παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται μια προσπάθεια να διαπιστωθεί, αν η ομογενοποίηση, με ένα διαφορετικό, μη βιομηχανικό έως σήμερα τρόπο, τους υπέρηχους, μπορεί να επιφέρει επιθυμητά αποτελέσματα, οπότε να δοθεί η δυνατότητα για ευρύτερη χρήση/εφαρμογή τους.

3. ΓΑΛΑ - ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Ορισμός: το γάλα μπορεί να οριστεί ως το πλήρες, φρέσκο και καθαρό γαλακτικό έκκριμα, που λαμβάνεται με την άμεση υγιών γαλακτοπαραγωγών ζώων. Σε αυτό δεν περιλαμβάνεται το γάλα, που λαμβάνεται 15 ημέρες πριν τον τοκετό και 15 ημέρες μετά το θηλασμό, προκειμένου να μην διαθέτει τις ανεπιθύμητες ιδιότητες του πρωτογάλακτος και να περιέχει το ελάχιστο ποσοστό λίπους και στερεών μη λιπαρών. Ο όρος «γάλα της αγοράς» αναφέρεται στο υγρό, πλήρες γάλα, που πωλείται στους καταναλωτές συνήθως για άμεση κατανάλωση, μετά από επεξεργασία.⁵

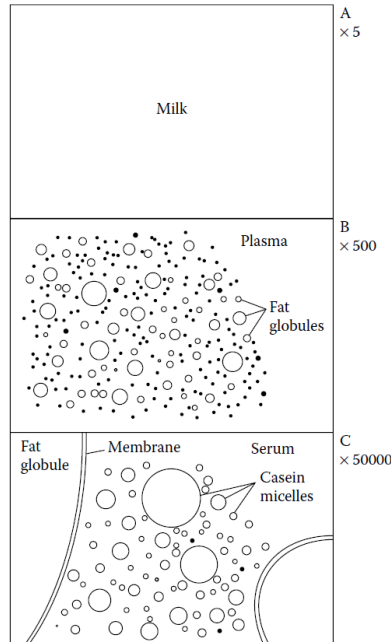
Πρωτόγαλα: είναι το έκκριμα του μαστού των γαλακτοπαραγωγών ζώων κατά τις πρώτες 5-6 ημέρες μετά τον τοκετό. Είναι κιτρινωπό ρευστό με μεγάλο ιξώδες, υπόπικρο και υφάλμυρο. Έχει μεγάλο ειδικό βάρος (1,060-1,070) και υψηλή οξύτητα. Περιέχει μεγάλο αριθμό σωματικών κυττάρων και πήζει με τη θέρμανση. Η χημική του σύσταση διαφέρει από αυτή του κανονικού γάλακτος και έχει μεγάλη αναλογία στερεών συστατικών, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην αύξηση του κλάσματος των πρωτεϊνών. Από τις πρωτεΐνες, οι καζεΐνες βρίσκονται σε διπλάσια αναλογία και οι πρωτεΐνες του ορού σε δεκαπλάσια από εκείνη του φυσιολογικού γάλακτος. Αυτό έχει ως σκοπό να εφοδιάσει το νεογέννητο με αντισώματα τα οποία θα το προστατεύσουν από τυχόν εντερικές λοιμώξεις. Αντίθετα από τις πρωτεΐνες, το πρωτόγαλα περιέχει τη μισή ποσότητα της λακτόζης. Σε όλες τις χώρες απαγορεύεται η διάθεση προς κατανάλωση του πρωτογάλακτος, διότι μπορεί να προκαλέσει γαστρεντερικές διαταραχές.⁴

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Τα κύρια δομικά συστατικά του γάλακτος και των περισσότερων γαλακτοκομικών προϊόντων είναι τα λιποσφαίρια του γάλακτος και τα καζεϊνικά μικκύλια. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά το μέγεθος αυτών των δομικών συστατικών, μέσα από διάφορες μεγεθύνσεις. Στην εικόνα Α, παρουσιάζεται το γάλα, όπου δεν φαίνεται κανένα δομικό συστατικό. Στην εικόνα Β, υπάρχουν σφαιρικά σταγονίδια, που αποτελούνται από λιπαρά, τα γνωστά λιποσφαίρια. Τα λιποσφαίρια ρέουν σε ένα υγρό, το πλάσμα του γάλακτος. Στην εικόνα C, το πλάσμα περιέχει πρωτεϊνικά σωματίδια, τα οποία είναι τα καζεϊνικά μικκύλια.

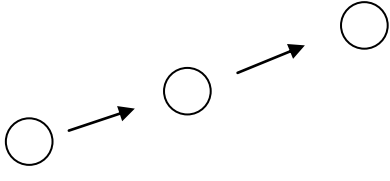
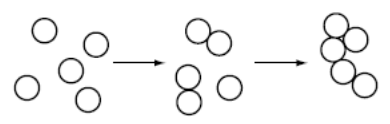
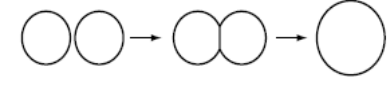
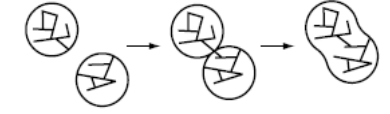
Στην εικόνα αυτή φαίνεται ότι τα λιποσφαίρια καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα, τη μεμβράνη των λιποσφαιρίων. Τα παραπάνω θα αναπτυχθούν εκτενώς, στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Επιπλέον, μαζί με τα λιποσφαίρια και τα καζεϊνικά μικκύλια, μπορεί κατά τη διάρκεια ορισμένων διεργασιών να εγκλωβίζονται και φυσαλίδες αέρα στο γάλα.⁶ Οι αλλαγές που μπορεί να συμβούν στα παραπάνω σωματίδια φαίνονται στον πίνακα 1.

Στην εικόνα 1, φαίνεται το πλάσμα του γάλακτος, καθώς και ο ορός αυτού. Ως πλάσμα του γάλακτος ορίζεται το γάλα εκτός των λιποσφαιρίων του, το οποίο μοιάζει αρκετά ως προς τη σύσταση με το αποβουτυρωμένο γάλα, παρόλο που στην περίπτωση του αποβουτυρωμένου γάλακτος, η απομάκρυνση των λιποσφαιρίων δεν είναι συνήθως πλήρης. Ο ορός του γάλακτος ορίζεται ως το πλάσμα του γάλακτος χωρίς τα καζεϊνικά μικκύλια. Το συνολικό περιεχόμενο από όλα τα συστατικά εκτός του νερού, ονομάζεται περιεχόμενο ξηρής ύλης. Επιπλέον, υπάρχει διάκριση μεταξύ των μη λιπαρών στερεών και των περιεχόμενων λιπών στην ξηρή ύλη (ΣΥΑΛ: στερεά άνευ λιπαρών).⁶

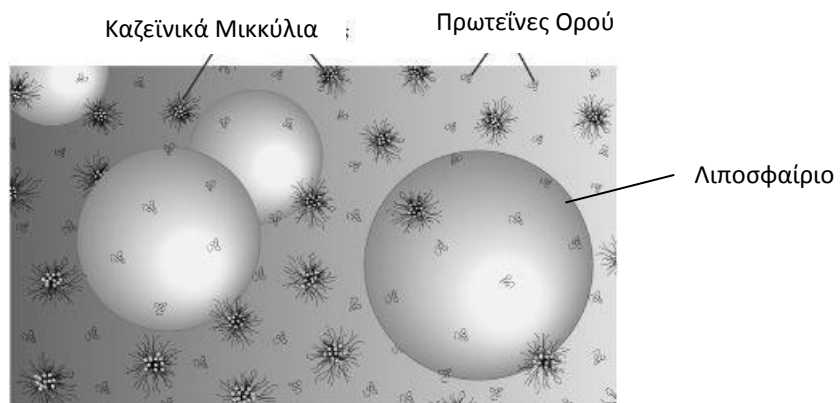


Εικόνα 1: Μορφή του γάλακτος και κύριων δομικών συστατικών του (λιποσφαίρια και καζεΐνες)

Πίνακας 1: Τύποι αλλαγών κολλοειδών συστατικών

Τύπος Αλλαγής		Σωματίδια που εμπλέκονται
Αποκορύφωση		Λ, Α
Συσσωμάτωση		Λ, Κ
Συνένωση		Λ, (Κ), Α
Μερική Συνένωση		Λ

Το Α αντιστοιχεί στις φυσαλίδες αέρα (μέση διάμετρος 50 μm), το Κ στα μικύλια καζεΐνης (0,1 μm) και το Λ στα λιποσφαίρια του γάλακτος (3 μm). Οι γραμμές στην περίπτωση της μερικής συνένωσης υποδηλώνουν τους κρυστάλλους του λίπους.⁶



Εικόνα 2: Τρισδιάστατη Απεικόνιση των βασικών δομικών συστατικών του γάλακτος

3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΓΕΛΑΔΙΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Η μέση χημική σύσταση του αγελαδινού γάλακτος όσον αφορά τα κύρια συστατικά του είναι:

- Νερό 87 %
- Λακτόζη 4,9 %
- Λίπος 3,6 %,
- Καζεΐνες 2,8 %
- Πρωτεΐνες ορού 0,6 %
- Ανόργανα Άλατα (τέφρα) 0,7 % ^{4,7}

Πίνακας 2: Συστατικά Γάλακτος

Συστατικά	Περιεκτικότητα στο γάλα (% w/w)	Περιεκτικότητα στην ξηρή ύλη (% w/w)
Νερό	87,1	-
Μη λιπαρά στερεά	8,9	-
Λιπαρά ξηρής ύλης	31	-
Λακτόζη	4,6	36
Λίπη	4	31
Πρωτεΐνη	3,3	25
Καζεΐνη	2,6	20
Ανόργανες Ουσίες	0,7	5,4
Οργανικά Οξέα	0,17	1,3
Ίχνη	0,15	1,2

3.2.1 Νερό

Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε νερό κυμαίνεται από 85% έως 88%. Σε όλα τα είδη γάλακτος αποτελεί το συστατικό με τη μεγαλύτερη αναλογία. Εξάιρεση αποτελεί το γάλα ορισμένων θαλάσσιων θηλαστικών, όπου το λίπος είναι περισσότερο από το νερό.⁴

Το γάλα είναι μια τροφή σχεδιασμένη έτσι, ώστε να βοηθά στην ανάπτυξη των νεαρών θηλαστικών και περιέχει πολύ περισσότερα στερεά συστατικά, σε σύγκριση

με πολλά άλλα κοινά τρόφιμα. Το νερό είναι το μέσο, στο οποίο όλα τα υπόλοιπα συστατικά του γάλακτος (ολικά στερεά) είναι διαλυμένα ή διεσπαρμένα. Ένα μικρό ποσοστό του νερού του γάλακτος βρίσκεται στην ενυδατωμένη λακτόζη και σε ενυδατωμένα άλατα, και ένα ακόμη μικρό ποσοστό είναι συνδεδεμένο με τις πρωτεΐνες. Το νερό είναι επίσης σημαντικό συστατικό της μεμβράνης των λιποσφαιρίων.^{5,8,9}

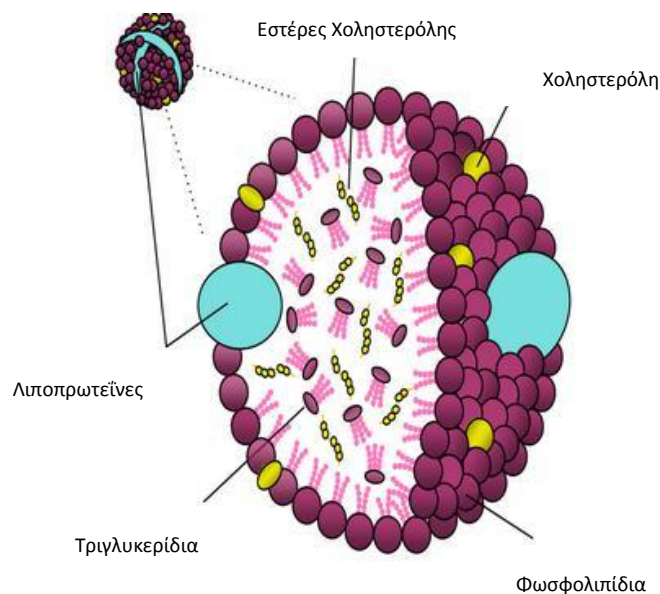
3.2.2 Λίπος

Η περιεκτικότητα του αγελαδινού γάλακτος σε λίπος κυμαίνεται σε ευρέα όρια από 2,5% μέχρι 6%. Ο ελληνικός Κώδικας Τροφίμων και Ποτών δέχεται για το τυποποιημένο πλήρες γάλα ως τιμή λιποπεριεκτικότητας το 3,5%.^{4,10}

Το λίπος είναι μορφοποιημένο σε λιποσφαίρια, τα οποία κατά το μεγαλύτερό τους μέρος (95–98%) αποτελούνται από τριγλυκερίδια, η σύσταση των οποίων εξαρτάται από τις εποχιακές διατροφικές συνήθειες των ζώων καθώς και από τον κύκλο γαλουχίας τους. Το μεγάλο αυτό ποσοστό των τριγλυκεριδίων έχει άμεση επίδραση και στις ιδιότητες του γάλακτος.^{4,6,11} Το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείται από φωσφολιπίδια τα οποία σε ποσοστό 65% βρίσκονται στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων, στερόλες, συγκεκριμένα χοληστερόλες, εστέρες χοληστερολών, καροτινοειδή, λιποδιαλυτές βιταμίνες A, D, E και K⁹ με ένα μικρό ποσοστό από μικρής αλυσίδας λιπαρά οξέα (C_{4:0}–C_{10:0}) και ένα μικρό ποσοστό από μακράς αλυσίδας πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Το γάλα, μετά την άμελη, περιέχει επίσης μικρές ποσότητες από διγλυκερίδια και μονογλυκερίδια.¹² Συγκεκριμένα, η περιεκτικότητα των λιπαρών του γάλακτος σε επιμέρους συστατικά φαίνονται στον Πίνακα 3, ενώ σχηματικά η δομή του λιποσφαιρίου παρουσιάζεται στην εικόνα 3.

Πίνακας 3: Κύριες κατηγορίες Λιπαρών στο Γάλα

Κατηγορία Λιπαρών	Περιεκτικότητα (%)
Τριγλυκερίδια	98,3
Διγλυκερίδια	0,3
Μονογλυκερίδια	0,03
Ελεύθερα Λιπαρά Οξέα	0,1
Φωσφολιπίδια	0,8
Στερόλες	0,3
Καροτινοειδή	Ίχνη
Λιποδιαλυτές Βιταμίνες	Ίχνη



Εικόνα 3: Δομή Λιποσφαιρίου

Το μέγεθος των λιποσφαιρίων ποικίλλει και κυμαίνεται από 0,1-20 μm , με μέσο όρο τα 3,5 μm . Το γάλα φαίνεται ότι περιέχει πολλά και μικρά λιποσφαίρια, τα οποία αποτελούν μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνολικού λίπους. Σφαιρίδια μικρότερα από 1 μm αποτελούν περίπου το 75% των λιποσφαιρίων. Το φρέσκο γάλα περιέχει, επίσης, λίγα λιποσφαίρια διαμέτρου μεταξύ 10 και 15 μm , που πιθανώς έχουν διαμορφωθεί από τη συνένωση μικρότερων λιποσφαιρίων κατά τη διάρκεια της ροής του γάλακτος στους αδενικούς αγωγούς.⁶

Τα λιποσφαίρια περιβάλλονται από μια λεπτή μεμβράνη, η οποία μειώνει τις συνέπειες των φαινομένων αποσταθεροποίησης του γάλακτος, όπως είναι η κροκίδωση, η συνένωση και περαιτέρω η αποκορύφωση. Ο όρος «μεμβράνη» υιοθετήθηκε, διότι κατά την έκκριση του γάλακτος από το μαστό, το λιποσφαίριο αποκτά ένα περίβλημα από την πλασματική μεμβράνη. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να θεωρηθεί ως μια πραγματική βιολογική μεμβράνη. Η μεμβράνη αυτή, έχει πάχος περίπου 10 nm και αποτελείται κυρίως από φωσφολιπίδια, πρωτεΐνες, που δεν περιλαμβάνονται στις πρωτεΐνες του ορού, γλυκοπρωτεΐνες, ένζυμα, ουδέτερα λιπίδια, νερό και χοληστερόλη.⁹ Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων περιέχει, επίσης, πολύ υψηλό ποσοστό πολυακόρεστων λιπαρών οξέων, σε σύγκριση με το περιεχόμενο του γάλακτος σε λιπαρά και για αυτό το λόγο είναι πιο ευαίσθητη στην οξείδωση.

Το κύριο ανεπιθύμητο φαινόμενο, στην περίπτωση του γάλακτος, είναι η αποκορύφωση των λιπαρών, δηλαδή η εμφάνιση κρέμας στην επιφάνειά του, ακόμη και μερικά λεπτά μετά την άμελη. Το φαινόμενο αυτό είναι αποτέλεσμα της μεγάλης ταχύτητας ανύψωσης των μεγάλων λιποσφαιρίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 4 μm, τα οποία καθώς ανυψώνονται παίρνουν μαζί τους και μικρότερα λιποσφαίρια που κινούνται με αργό ρυθμό, έτσι ώστε να συσσωματώνονται και τελικά η ενιαία αυτή μάζα να κινείται με ταχύτατους ρυθμούς προς την επιφάνεια του γάλακτος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στρώματος κρέμας.¹¹

3.2.3 Πρωτεΐνες

Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε πρωτεΐνες κυμαίνεται από 3,3 g/100 mL έως 3,9 g/100 mL, με μέσο όρο περίπου 3,5 g/100 mL.⁴ Οι κύριες ομάδες πρωτεϊνών είναι οι καζεΐνες, οι πρωτεΐνες του ορού και οι ανοσοσφαιρίνες. Περίπου το 80% των πρωτεϊνών του γάλακτος αποτελούν οι καζεΐνες.¹³

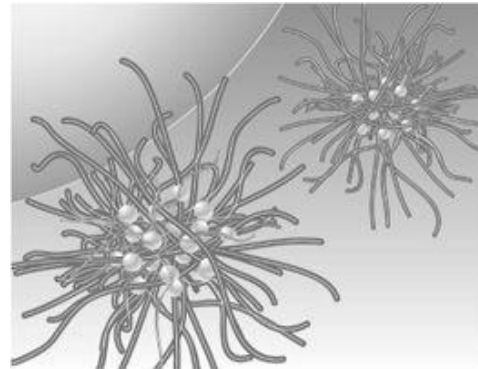
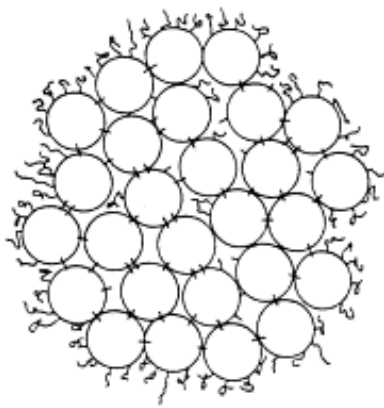
Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα είδη πρωτεϊνών που περιέχονται στο αγελαδινό γάλα.

- Καζεΐνες: είναι το κλάσμα των φωσφοπρωτεϊνών που καθιζάνει ύστερα από οξίνιση σε pH 4,6 και σε θερμοκρασία 20°C.^{4,9,14} Οι καζεΐνες είναι υδρόφοβες, έχουν υψηλό

φορτίο, και περιέχουν πολλές προλίνες και λίγα τμήματα κυστεΐνης. Το υψηλό φορτίο τους, διατηρεί τις καζεΐνες σε διασπορά. Οι καζεΐνες πολύ δύσκολα μετουσιώνονται καθώς διαθέτουν πολύ μικρή δευτεροταγή και τριτοταγή δομή.⁶ Με βάση τη διάταξη των αμινοξέων στο μόριό τους διακρίνονται σε: α_{s1} -, α_{s2} -, β - και κ - καζεΐνες.⁴

1. α_{s1} -καζεΐνη: αποτελεί το 1,2–1,5% των συστατικών του γάλακτος, διαθέτει υψηλό αρνητικό φορτίο και υψηλό φωσφορικό περιεχόμενο.^{4,6}
2. α_{s2} -καζεΐνη: αποτελεί το 0,3–0,4% των συστατικών του γάλακτος, περιέχει δύο τμήματα κυστεΐνης και καμία ομάδα υδατανθράκων. Είναι ευαίσθητη σε κατιόντα ασβεστίου.
3. β -καζεΐνη: αποτελεί το 0,9–1,1% των συστατικών του γάλακτος. Είναι η πλέον υδρόφοβη καζεΐνη και περιέχει σε μεγάλο ποσοστό προλίνη.^{4,6}
4. γ -καζεΐνη: είναι προϊόν υποβάθμισης της β -καζεΐνης. Η ποσότητα της γ -καζεΐνης στο γάλα ποικίλλει ανάλογα με την ηλικία και τη θερμοκρασία διατήρησης του γάλακτος.^{4,6}
5. κ -καζεΐνη: αποτελεί το 0,3–0,4% των συστατικών του γάλακτος και το 15% των συνολικών καζεϊνών. Διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από τις υπόλοιπες πρωτεΐνες.^{4,6,11}

Σύμπλοκα καζεϊνών–μικκύλια: οι καζεΐνες που αναφέρθηκαν παραπάνω απαντούν στο γάλα σε μορφή συμπλόκων μορίων των α_{s1} -, α_{s2} -, β - και κ - καζεϊνών, τα οποία καλούνται μικκύλια και βρίσκονται σε κολλοειδή διασπορά στην υδατική φάση. Τα μικκύλια αποτελούνται κατά 93% από καζεΐνες και το υπόλοιπο από ανόργανη ύλη. Κύριο συστατικό της ανόργανης ύλης αποτελεί ο φωσφόρος και το ασβέστιο τα οποία απαντούν, κυρίως με τη μορφή φωσφορικού ασβεστίου και συμβάλλουν στο σχηματισμό και τη διατήρηση του σχήματος των μικκυλίων. Τα μικκύλια καζεΐνης δεν είναι μικκύλια με τη χημική έννοια, είναι απλά μικρά σωματίδια. Το μέγεθος των μικκυλίων κυμαίνεται από 10 έως 780 nm, και το μοριακό βάρος τους είναι της τάξης των 10^7 με 10^9 Da. Τα μικκύλια είναι σχεδόν σφαιρικοί σχηματισμοί που συντίθενται από αριθμό μικρότερων υπομονάδων, τα υπομικκύλια, με μέγεθος 8-20 nm, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με φωσφορικό ασβέστιο.^{4,11}



- υπομικκύλια καζεΐνης
- πλευρική αλυσίδα (κ-καζεΐνης)
- φωσφορικό ασβέστιο

Εικόνα 4: Καζεϊνικά Μικκύλια αποτελούμενο από υπομικκύλια

Το γεγονός ότι οι καζεΐνες στο γάλα δεν εμφανίζονται διαλυμένες, αλλά σε μορφή μικκυλίων, έχει σημαντικές συνέπειες στις ιδιότητες του γάλακτος. Σε μεγάλο βαθμό τα καζεϊνικά μικκύλια προσδιορίζουν τη φυσική σταθερότητα των προϊόντων του γάλακτος κατά τη θερμική κατεργασία, τη συμπύκνωση και την αποθήκευση.^{6,9}

- Πρωτεΐνες ορού γάλακτος: αποτελούν το 20% των πρωτεϊνών του αγελαδινού γάλακτος και είναι οι πρωτεΐνες που απομένουν στον ορό του γάλακτος, μετά από την καθίζηση των καζεϊνών. Οι κυριότερες εξ αυτών είναι η οροαλβουμίνη, η γαλακταλβουμίνη, η β-γαλακτογλοβουλίνη και οι ανοσοσφαιρίνες.⁴ Οι περισσότερες είναι σφαιρικές πρωτεΐνες, υδρόφοβες και διαθέτουν συμπαγώς διπλωμένες πεπτιδικές αλυσίδες. Οι πρωτεΐνες του ορού καθίστανται αδιάλυτες σε τιμές pH χαμηλότερες από 6,5, όταν το γάλα θερμανθεί.⁶

1. Βόειος οροαλβουμίνη: έχει τις ίδιες φυσικές και ανοσογενετικές ιδιότητες με την αλβουμίνη του ορού του αίματος της αγελάδας. Αποτελεί το 0,01-0,04% των συστατικών του γάλακτος και έχει μοριακό βάρος 66.000 περίπου.⁴

2. α-Γαλακταλβουμίνη (α-La): αποτελεί το 0,06-0,17% των συστατικών του γάλακτος. Είναι ένα συνένζυμο που είναι απαραίτητο στη σύνθεση της λακτόζης.^{4,6} Διαθέτει ένα μη εκτεθειμένο άκρο που προορίζεται για σύνδεση με κατιόν ασβεστίου. Το ασβέστιο, συνδέεται στο άκρο αυτό και έτσι σταθεροποιεί τη στερεοδιάταξη της πρωτεΐνης. Η αφαίρεση του ασβεστίου ή μείωση του pH στο 4, που χαλαρώνει το δεσμό με το ασβέστιο, προκαλεί μια τετηγμένη κατάσταση σφαιριδίων και έτσι η πρωτεΐνη υπόκειται σε αναντίστροφη μετουσίωση σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία. Η α-γαλακταλβουμίνη παρουσιάζει πλήρη μετουσίωση κατά τη θερμική κατεργασία, εάν δεν υπάρχει κάποια άλλη πρωτεΐνη κατά τη θέρμανση.⁶
3. β-Γαλακτογλοβουλίνη (β-Lg): αποτελεί την κύρια οροπρωτεΐνη και εμφανίζεται σε ποσοστό 0,2-0,4% των συστατικών του γάλακτος.^{4,6} Οι ιδιότητές της τείνουν να επικρατήσουν έναντι των ιδιοτήτων των οροπρωτεϊνών. Η διαλυτότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το pH και την ιοντική ισχύ. Δεν καθιζάνει κατά την όξινηση του γάλακτος, γεγονός που ισχύει και για τις άλλες πρωτεΐνες του ορού.
4. Ανοσοσφαιρίνες: είναι αντισώματα που συντίθενται για την εξουδετέρωση ειδικών αντιγόνων και παράγονται κυρίως στο αίμα. Οι ανοσοσφαιρίνες είναι μεγάλα μόρια γλυκοπρωτεϊνών ετερογενούς σύνθεσης, ακόμη και στην ίδια κατηγορία. Αυτό συμβαίνει δεδομένου ότι σχηματίζονται από διαφορετικά κύτταρα, όπου το καθένα μπορεί να παράγει διαφορετικές πεπτιδικές αλυσίδες.⁶

3.2.4 Υδατάνθρακες

- Λακτόζη: είναι το κύριο σάκχαρο του γάλακτος των θηλαστικών με εξαίρεση το γάλα ορισμένων θαλάσσιων θηλαστικών.⁴ Είναι ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από D-γλυκόζη και D-γαλακτόζη, οι οποίες είναι ενωμένες με β-γλυκοζιτικό δεσμό. Είναι προϊόν των θηλών των θηλαστικών και συναντάται στη φύση μόνο στο γάλα.^{6,8} Η περιεκτικότητά της στο αγελαδινό γάλα κυμαίνεται από 2,7 έως 5,2%, με μέση τιμή το 4,7%.⁴ Η λακτόζη παρέχει στα νεογέννητα ενέργεια, περίπου 17 KJ/g λακτόζης,

αλλά επίσης έχει και την ιδιότητα να προσδίδει μια γλυκιά γεύση στο γάλα. Ένα διάλυμα λακτόζης είναι 0,3 φορές περισσότερο γλυκό από ότι ένα διάλυμα σακχαρόζης, ίδιας συγκέντρωσης. Στο γάλα, η γλυκύτητα καλύπτεται σε κάποιο βαθμό από τις πρωτεΐνες και κυρίως από τις καζεΐνες. Συνεπώς, οι πρωτεΐνες του ορού διαθέτουν πιο γλυκιά γεύση. Αν η λακτόζη στο γάλα υδρολυθεί σε γλυκόζη και γαλακτόζη, η γλυκύτητα αλλάζει αισθητά.⁶

- Άλλοι Υδατάνθρακες: εκτός από τη λακτόζη υπάρχουν σε μικρά ποσά αρκετοί μονοσακχαρίτες ουδέτεροι ή όξινοι ολιγοσακχαρίτες καθώς και σάκχαρα δεσμευμένα με πρωτεΐνες και πεπτίδια⁴, αλλά όχι πολυσακχαρίτες.⁶ Από τους μονοσακχαρίτες ανευρίσκονται η γλυκόζη και η γαλακτόζη σε ποσά από 10-20 mg/100 mL. Επίσης έχουν βρεθεί και οι υδατάνθρακες φουκόζη, N-ακετυλογλυκοζαμίνη, η N-ακετυλογαλακτοζαμίνη και το N-ακετυλονευραμινικό οξύ, είτε ως ελεύθερα σάκχαρα, είτε κυρίως ως ολιγοσακχαρίτες, γλυκοπεπτίδια ή γλυκοπρωτεΐνες.⁴

3.2.5 Ένζυμα⁴

Τα ένζυμα που βρίσκονται φυσιολογικά στο γάλα παράγονται από τα κύτταρα του μαστού και δεν έχει αποδειχθεί εάν παίζουν κάποιο ιδιαίτερο ρόλο ή πρέπει να θεωρείται ότι εισάγονται τυχαία κατά τη διαδικασία της έκκρισης του γάλακτος. Τα ένζυμα που παράγονται από μικροοργανισμούς δεν θεωρούνται ως συστατικά του γάλακτος. Ενδιαφέρον από άποψη υγιεινής και τεχνολογίας του γάλακτος παρουσιάζουν τα παρακάτω:

- Αλκαλική Φωσφατάση: εντοπίζεται στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων. Είναι θερμοευαίσθητη, αλλά περισσότερο ανθεκτική από τα μη σπορογόνα παθογόνα βακτήρια. Η αδρανοποίησή της κατά τη θέρμανση του γάλακτος υποδηλώνει και την καταστροφή των παθογόνων βακτηρίων.
- Λιπάσες: υπάρχουν κατά 90% στα μικκύλια της καζεΐνης. Διασπούν τα τριγλυκερίδια του λίπους του γάλακτος, οπότε ελευθερώνονται λιπαρά οξέα, γλυκερόλη, μονογλυκερίδια και διγλυκερίδια, μεταβολές που επηρεάζουν τη συντήρηση του γάλακτος και των προϊόντων του, προσδίδοντάς του γεύση και οσμή ταγγού. Οι

λιπάσες αδρανοποιούνται μερικώς κατά την παστερίωση και πλήρως κατά την αποστείρωση του γάλακτος. Η δράση τους περιορίζεται σε θερμοκρασία μικρότερη από τους 10°C.

- Καταλάση: χρησιμοποιείται στη διάγνωση του γάλακτος που προέρχεται από ζώα που πάσχουν από μαστίτιδα, διότι τότε η δραστηριότητά της αυξάνεται κατά 10-15 φορές. Η καταλάση προέρχεται από τον ορό του αίματος.
- Οξειδάση Ξανθίνης: δεν αδρανοποιείται στη θερμοκρασία παστερίωσης, αλλά σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 80°C, γι' αυτό και χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί εάν το γάλα έχει υποστεί βρασμό. Η δραστηριότητά της αυξάνεται με αύξηση του αριθμού των σωματικών κυττάρων στο γάλα (από μαστίτιδες).
- Πρωτεάσες: παρότι ανευρίσκονται σε μικρή συγκέντρωση στο γάλα, παίζουν κάποιο ρόλο στη διάσπαση των πρωτεϊνών κατά τη συντήρηση του παστεριωμένου γάλακτος. Απαντούν σε αλκαλική και όξινη μορφή και φέρονται συνδεδεμένες με τις καζεΐνες. Στο γάλα όμως υπάρχουν και μικροβιακής προέλευσης πρωτεάσες.
- Υπεροξειδάση: συντίθεται στο μαστό και είναι ποσοτικά το πρώτο ένζυμο του γάλακτος (1% των οροπρωτεϊνών). Η υπεροξειδάση του γάλακτος, σε συνδυασμό με τα θειοκυανικά άλατα και το υπεροξειδίο του υδρογόνου, είναι σημαντική λόγω της αντιμικροβιακής της δράσης.
- Λυσοζύμη: είναι ένα ένζυμο το οποίο υδρολύει γλυκοζιτικούς δεσμούς των κυτταρικών τοιχωμάτων των Gram θετικών βακτηρίων. Ανευρίσκεται σε μικρή αναλογία, 13 μg/100 mL και απενεργοποιείται μερικώς με την παστερίωση. Φαίνεται απίθανο το ένζυμο αυτό να έχει αντιμικροβιακή δράση σε γάλατα, που έχουν υποστεί επεξεργασία και η επίδρασή του είναι πιθανώς μικρή στο νωπό γάλα.¹⁵

3.2.6 Άλατα

Το γάλα περιέχει αρκετά μεταλλικά στοιχεία είτε σε ιοντική μορφή, είτε δεσμευμένα σε άλλα συστατικά, είτε τέλος με μορφή οργανικών ή ανόργανων αλάτων. Από τα κατιόντα τα κυριότερα είναι το Ca⁺⁺, το Na⁺, το K⁺ και το Mg⁺⁺, ενώ από τα ανιόντα το Cl⁻, ο P⁻ και τα κιτρικά. Το κάλιο, νάτριο και χλώριο βρίσκονται κυρίως ως ελεύθερα ιόντα, ενώ το

ασβέστιο και μαγνήσιο μόνο σε μικρό ποσοστό είναι σε ιονισμένη μορφή. Στο αγελαδινό γάλα το 20% του ασβεστίου είναι δεσμευμένο στις καζεΐνες σε συνδυασμό με το φωσφόρο, το 50% βρίσκεται σε ανόργανη κolloειδή μορφή και το 30% σε ιονισμένη μορφή. Σχετικά με το φωσφόρο, το 30% περίπου είναι σε ανόργανη διαλυτή μορφή, το 20% είναι δεσμευμένο στα μόρια των καζεϊνών, το 40% σε κolloειδή ανόργανη μορφή και το υπόλοιπο 10% δεσμευμένο στα λιπίδια.⁴

3.2.7 Ιχνοστοιχεία

Το γάλα περιέχει πολλά στοιχεία σε συγκεντρώσεις της τάξης των ppm (mg/L) ή ppb (μg/L) τα οποία είναι γνωστά ως ιχνοστοιχεία. Η παρουσία τους στο γάλα είναι συνάρτηση της περιεκτικότητάς τους στην τροφή των ζώων. Το γάλα ως προς τα ιχνοστοιχεία θεωρείται πλούσια πηγή, η ύπαρξη όμως ορισμένων όπως ο μόλυβδος και το αρσενικό χαρακτηρίζεται ως μόλυνση. Τα ιχνοστοιχεία ανευρίσκονται στο γάλα κυρίως με μορφή οργανικών ενώσεων, συνδεδεμένα κυρίως με τις πρωτεΐνες, αν και ορισμένα από αυτά, όπως ο χαλκός και ο σίδηρος, βρίσκονται και στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων.⁴

3.2.8 Βιταμίνες

Το γάλα περιέχει όλες σχεδόν τις βιταμίνες, άλλες σε ικανοποιητική ποσότητα και άλλες σε ίχνη. Από τις λιποδιαλυτές βιταμίνες, η Α υπάρχει κυρίως ως εστέρας του παλμιτικού οξέος και η D ως μίγμα D₂ και D₃. Η βιταμίνη Ε απαντά κυρίως ως α-τοκοφερόλη, ενώ η βιταμίνη Κ ανευρίσκεται μόνο σε ίχνη.⁴ Το γάλα δεν είναι καλή πηγή της βιταμίνης C (ασκορβικό οξύ).¹⁵ Από τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες, εκείνες του συμπλέγματος Β ανευρίσκονται σταθερές στο γάλα των μηρυκαστικών, ανεξάρτητα από τη διακύμανση της περιεκτικότητάς τους στις ζωοτροφές.⁴ Το άπαχο γάλα, το γάλα με λίγα λιπαρά, καθώς και το πλήρες γάλα, περιέχουν την ίδια ποσότητα βιταμινών.

3.2.9 Άλλα Συστατικά⁴

- Ορμόνες: πρόκειται για τις φυσικές ορμόνες του ίδιου του γαλακτοπαραγωγού ζώου, οι οποίες απαντούν και στο γάλα σε πολύ μικρές ποσότητες και κυμαίνονται

ανάλογα με το στάδιο της γαλακτοπαραγωγής. Έχει διαπιστωθεί ύπαρξη προλακτίνης, τεστοστερόνης, προγεστερόνης και οιστρογόνων.

- Αλδεΐδες, κετόνες και αλειφατικά οξέα: απαντούν σε συνολικό ποσό που κυμαίνεται από 10 έως 20 mg/100 mL. Έχει ταυτοποιηθεί η ύπαρξη ακετογλουταρικού οξέος, γαλακτικού οξέος, μυρμηκικού οξέος, φορμαλδεΐδης, ακεταλδεΐδης και ακετόνης.
- Μη πρωτεϊνικής φύσης αζωτούχες ουσίες: το συνολικό μη πρωτεϊνικό άζωτο δεν υπερβαίνει τα 20–30 mg/100 mL και προέρχεται κυρίως από ενώσεις, όπως η αμμωνία, η ουρία και το ουρικό οξύ.
- Θειούχες ενώσεις: είναι διάφορες διμεθυλο-σουλφόνες, θειοκυανικές ρίζες κ.α. που παίζουν ρόλο στην αντιμικροβιακή δράση του νωπού γάλακτος.
- Χρωστικές: πρόκειται κυρίως για καροτένια που δίνουν υποκίτρινο χρώμα στο λίπος καθώς επίσης και για ριβοφλαβίνη που προσδίδει την πρασινοκίτρινη απόχρωση στο αποβουτυρωμένο γάλα.
- Αέρια: το γάλα περιέχει οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο έως 5% του όγκου του.
- Κύτταρα: το γάλα περιέχει φυσιολογικά έως 500.000 λευκοκύτταρα και επιθηλιακά κύτταρα ανά mL και ο αριθμός αυτός αυξάνεται σε περίπτωση μαστίτιδας.

Η σύσταση του γάλακτος, όπως παραλαμβάνεται από το ζώο, διαφέρει, λόγω πολλών παραγόντων, οπότε δεν μπορεί ποτέ να είναι σταθερή. Ο πρώτος παράγοντας είναι η φυλή της αγελάδας. Μεγάλη διαφορά παρουσιάζει το γάλα των αγελάδων, ανάλογα με τη χώρα εκτροφής, γεγονός που συνεπάγεται και διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Επίσης, έχει βρεθεί διαφορά, κυρίως στα λιπαρά του γάλακτος, που διαφοροποιούνται ανάλογα με την περίοδο της ημέρας άμελης, όπως πρωί ή απόγευμα και κατά διαστήματα. Η περίοδος του χρόνου και η εποχή επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο στη σύσταση του γάλακτος. Κατά την περίοδο γαλουχίας, το ζώο εμφανίζει σημαντικές διαφορές στο παραγόμενο γάλα, αλλά και η διατροφή του ζώου παίζει σημαντικό ρόλο σε αυτό.⁷

3.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

3.3.1 Οσμή & Γεύση

Η οσμή του γάλακτος είναι ιδιόζουσα και η γεύση του ευχάριστη, ήπια και ελαφρώς υπόγλυκη. Η λακτόζη προσφέρει μια γλυκύτητα, ενώ τα άλατα μια αλμύρα. Πολλά μικρά μόρια που περιέχονται σε μικρές ποσότητες συμβάλλουν και αυτά στη γεύση. Απόκλιση από τη φυσιολογική οσμή και γεύση παρατηρείται συχνά λόγω διαφόρων αιτιών, που πολλές φορές υποδηλώνουν όχι μόνο ακαταλληλότητα αλλά και μη υγιεινή κατάσταση του γάλακτος.^{4,6}

3.3.2 Χρώμα

Το χρώμα του γάλακτος είναι λευκωπό, λευκοκίτρινο ή κυανόλευκο ανάλογα με το είδος του ζώου, τη φυλή και την ύπαρξη χρωστικών. Το λευκωπό χρώμα του αγελαδινού γάλακτος είναι αποτέλεσμα του σκεδασμού του φωτός που προκαλείται από την ανάκλασή του πάνω στα λιποσφαίρια και στα μικκύλια της καζεΐνης.^{4,11}

3.3.3 Οξύτητα - Ρυθμιστική Ικανότητα

Το αγελαδινό γάλα μετά την άμελξή του είναι ελαφρώς όξινο. Η αρχική αυτή οξύτητα του γάλακτος εκφρασμένη σε γαλακτικό οξύ, κυμαίνεται μεταξύ 0,12–0,15 g/100 mL και οφείλεται.^{4,15}

α) στις καζεΐνες κατά 0,05-0,08 %

β) στα συστατικά του ορού (αλβουμίνη, CO₂, κιτρικά) κατά 0,03-0,05%

γ) στο φωσφορικό ασβέστιο κατά 0,04-0,05%

Η οξύτητα μπορεί να εκφραστεί ως ενεργός οξύτητα (pH) και λαμβάνει τιμή 6,7 έως 6,5 με μέσο όρο το 6,6 σε θερμοκρασία 20°C.^{4,6,9} Το pH του γάλακτος σε περιπτώσεις μαστίτιδας είναι αρκετά υψηλότερο από εκείνο που παραλαμβάνεται από υγιή ζώα, και φτάνει σε τιμή 7,5.⁹

Το γάλα έχει και ρυθμιστική ικανότητα που αυτό οφείλεται στο φωσφορικό και το κιτρικό ασβέστιο. Η θέρμανση του γάλακτος προκαλεί μικρή άνοδο του pH λόγω απώλειας CO₂ και μειώνει τη ρυθμιστική του ικανότητα λόγω καθίζησης του καζεϊνικού ασβεστίου, με παράλληλη απελευθέρωση ιόντων υδρογόνου. Θέρμανση όμως πάνω από τους 100°C προκαλεί μείωση του pH (αύξηση οξύτητας) λόγω παραγωγής οξέων από τη μερική διάσπαση της λακτόζης.⁴

3.3.4 Δυναμικό Οξειδοαναγωγής

Το γάλα περιέχει αρκετά οξειδοαναγωγικά συστήματα (ασκορβικό οξύ, γαλακτικό οξύ, πυροσταφυλικό οξύ, ριβοφλαβίνη, οξυγόνο), η σχετική συγκέντρωση των οποίων καθορίζει και το δυναμικό οξειδοαναγωγής του (Eh) σε δεδομένη στιγμή. Το πρόσφατης άμελης φυσιολογικό γάλα έχει θετικό δυναμικό που κυμαίνεται από +200 και +300 mV και αυτό οφείλεται στο διαλυμένο οξυγόνο που περιέχει.^{4,9}

3.3.5 Πυκνότητα

Η πυκνότητα του γάλακτος εκφράζεται σε Kg/m³ και διαμορφώνεται από την πυκνότητα των επιμέρους συστατικών του. Συνεπώς εξαρτάται από τη συγκέντρωση των συστατικών, το βαθμό ενυδάτωσης των πρωτεϊνών και τον ειδικό όγκο της λιπαρής φάσης του γάλακτος.^{4,6} Αυτή η ιδιότητα χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των μη λιπαρών στερεών στο γάλα, καθώς και της προσθήκης νερού στο γάλα, η οποία μειώνει την πυκνότητα.¹⁵ Για την πυκνότητα του νερού μπορεί να ληφθεί η τιμή 998,2 Kg/m³, σε θερμοκρασία 20°C, περίπου 918 Kg/m³ για το λίπος, 1400 Kg/m³ για τις πρωτεΐνες, 1780 Kg/m³ για τη λακτόζη και περίπου 1850Kg/m³ για τα συνολικά συστατικά του γάλακτος. Η πυκνότητα του φρέσκου πλήρους γάλακτος κατά μέσο όρο είναι 1028 Kg/m³ και αυξάνεται με αύξηση των στερεών μη λιπαρών, ενώ μειώνεται με αύξηση του περιεχόμενου λίπους.^{6,10}

3.3.6 Ιξώδες

Το ιξώδες του γάλακτος μετριέται σε Pa·s ή σε cP και μέτρησή του γίνεται με ιξωδόμετρα. Το ιξώδες του γάλακτος είναι χαμηλό, περίπου διπλάσιο του νερού, πράγμα που σημαίνει ότι το γάλα μπορεί εύκολα να αναμιχθεί, ακόμη και από

ρεύματα μεταφοράς που προκύπτουν από μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 2,1 cP και επηρεάζεται κυρίως από τη συγκέντρωση και τη διασπορά των κολλοειδών μικκυλίων καζεΐνης και τον αριθμό των λιποσφαιρίων. Η ομογενοποίηση αυξάνει τον αριθμό των λιποσφαιρίων επιφέροντας αύξηση στο ιξώδες. Το ιξώδες επηρεάζεται, επίσης, από τη θερμοκρασία και αυξάνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες.^{4,6}

3.3.7 Σημείο Πήξης

Το σημείο πήξης κάθε υδατικού συστήματος εξαρτάται από τη συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών συστατικών. Έτσι στο γάλα το σημείο πήξης εξαρτάται από τη συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών συστατικών του όπως της λακτόζης, των πρωτεϊνών του ορού και των αλάτων κυρίως του χλωρίου.^{4,15}

Το σημείο πήξης του γάλακτος είναι σχετικά σταθερό, είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο νερού και ποικίλλει με τη σύστασή του.^{15,16} Το σημείο πήξης στο αγελαδινό γάλα κυμαίνεται από $-0,530^{\circ}\text{C}$ έως $-0,570^{\circ}\text{C}$ με μέση τιμή τους $-0,547^{\circ}\text{C}$.⁴

Το σημείο πήξης θεωρείται μια αξιόπιστη φυσική παράμετρος του γάλακτος. Αύξηση αυτού, επέρχεται με την προσθήκη νερού. π.χ. προσθήκη κατ' όγκο 1% νερού προκαλεί αύξηση του σημείου πήξης κατά $0,0055^{\circ}\text{C}$. Έτσι, προσδιορίζοντας το σημείο πήξης του ενός δείγματος και του δείγματος αναφοράς ($-0,547^{\circ}\text{C}$), μπορεί να υπολογιστεί η % προστιθέμενη ποσότητα νερού. Από τη νομοθεσία πολλών χωρών θεωρείται νοθεία η ανεύρεση τιμής μεγαλύτερης από 3%.⁴

3.3.8 Σημείο Ζέσης

Το σημείο ζέσης του γάλακτος είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο του καθαρού νερού, πάλι λόγω των διαλυμένων συστατικών μέσα στο γάλα.¹⁵ Επίσης, ποικίλλει με τη σύσταση του γάλακτος.¹⁶ Το γάλα βράζει στους $100,15^{\circ}\text{C}$ έως $100,17^{\circ}\text{C}$ λόγω των υδατοδιαλυτών συστατικών του. Μετά από βρασμό το σημείο ζέσης ελαττώνεται λόγω μερικής καθίζησης ορισμένων συστατικών του.⁴

Με το βρασμό του γάλακτος σε κανονική πίεση, προκαλούνται ορισμένες αλλαγές στο προϊόν:

- Μειώνεται το ποσοστό της κρέμας που θα ανυψωθεί στην επιφάνεια
- Σκουραίνει το χρώμα του γάλακτος
- Προκύπτει στο γάλα γεύση μαγειρεμένου
- Πήζει η αλβουμίνη και σχηματίζεται μια πέτσα στην επιφάνεια
- Αποσυντίθενται οι πρωτεΐνες
- Καταβυθίζονται τα άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου
- Διασπώνται τα λιποσφαίρια
- Καταστρέφονται τα ένζυμα
- Μειώνεται η τάση για πήξη του γάλακτος.¹⁶

3.3.9 Δείκτης Διάθλασης

Ο δείκτης διάθλασης του γάλακτος εξαρτάται από τη συγκέντρωση των υδατοδιαλυτών συστατικών, τη θερμοκρασία και το μήκος κύματος του φωτός που χρησιμοποιείται. Σε θερμοκρασία 20°C και με μήκος κύματος φωτός 589,0 nm και 589,6 nm, ο δείκτης διάθλασης του ορού του γάλακτος κυμαίνεται από 1,3440 έως 1,3485.

Ο δείκτης διάθλασης χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί το στερεό υπόλειμμα του γάλακτος, επειδή έχει διαπιστωθεί γραμμική μεταβολή του με την ποσότητα του στερεού υπολείμματος.⁴

3.3.10 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Στο γάλα η αγωγιμότητα εξαρτάται από τη συγκέντρωση των ιόντων των διαφόρων αλάτων και για αυτό χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του συνολικού ιοντικού περιεχομένου του γάλακτος. Τα κυριότερα ιόντα που επηρεάζουν την αγωγιμότητα είναι του νατρίου και του χλωρίου. Από τη στιγμή που τα ποσοστά του νατρίου και του χλωρίου αυξάνονται με τη μαστίτιδα, οι μετρήσεις της αγωγιμότητας του γάλακτος, χρησιμοποιούνται για την ανεύρεση της εν λόγω ασθένειας.^{4,15}

3.4 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΝΩΠΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Η μικροβιολογία του γάλακτος έχει σημαντικές συνέπειες στην παραγωγή και κατανάλωση των γαλακτοκομικών προϊόντων. Πολλά είδη βακτηρίων μπορούν να αναπτυχθούν στο γάλα και να υποβαθμίσουν τα συστατικά του, προσδίδοντας ανεπιθύμητα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μειώνοντας τη διάρκεια ζωής του επεξεργασμένου προϊόντος. Λόγω των πολυάριθμων παθογόνων μικροοργανισμών, που σχετίζονται με το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα, η μικροβιολογία του γάλακτος έχει σημαντικές συνέπειες και στην ανθρώπινη υγεία.

3.4.1 Μικροχλωρίδα Νωπού Γάλακτος

Το γάλα των υγιών ζώων, όταν εκκρίνεται από τα αδενικά κύτταρα του μαστού δεν περιέχει μικροοργανισμούς. Κατά τη συγκέντρωσή του όμως στις γαλακτοφόρους οδούς, αποκτά μικρό αριθμό βακτηρίων, μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες βακτήρια ανά mL, τα οποία όμως είναι ακίνδυνα. Σε περίπτωση, βέβαια, μαστίτιδας, το γάλα που εκκρίνεται από το μαστό είναι μολυσμένο σε μεγάλο βαθμό από βακτήρια και ίσως να είναι ακόμη και ακατάλληλο για κατανάλωση. Ακόμη και αν όταν ο μαστός δεν είναι μολυσμένος, το γάλα συνήθως επιμολύνεται μετά την έξοδό του από το μαστό με διάφορους μικροοργανισμούς, οι οποίοι προέρχονται από τα κόπρανα του ζώου, το τρίχωμά του, τα χρησιμοποιούμενα σκεύη, τη σκόνη, τους ανθρώπινους χειρισμούς και την υγιεινή και γενικά από το περιβάλλον εκτροφής του ζώου.^{4,17}

Σχεδιασμένο να προσδίδει πλήρη θρέψη για τα μοσχάρια, το αγελαδινό γάλα είναι, επίσης, ένα κατάλληλο μέσο για την ανάπτυξη διαφόρων μικροοργανισμών και ιδίως βακτηρίων. Η αφθονία των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών και των λιπών, συνδυαζόμενη με το σχετικά ουδέτερο pH, υποστηρίζει την ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας, η οποία μπορεί να είναι ποικίλη και άκρως μεταβλητή.

Οι μικροοργανισμοί που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του γάλακτος χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Βακτήρια
- Μύκητες
- Ιοί και Βακτηριοφάγοι.

3.4.1.1 Βακτήρια

Τα βακτήρια είναι μονοκύτταροι οργανισμοί και πολλαπλασιάζονται με κυτταρική διαίρεση. Τα σφαιρικά βακτήρια και οι κόκκοι έχουν διάμετρο από 0,5 μέχρι 2 μm και τα ραβδοειδή, γνωστά και ως βάκιλλοι, έχουν μήκος 0,5–10 μm και διάμετρο 0,3–3 μm. Ορισμένα βακτήρια έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού ενδοσπορίων. Τα σπόρια είναι αρκετά σταθερά σε θέρμανση, ξήρανση και ακτινοβολία και δύσκολα μεταβολίζονται. Ενώ τα βακτήρια μπορεί να καταστραφούν στους 100°C, τα σπόριά τους συνεχίζουν να επιβιώνουν και μπορούν να αναπαράγουν βακτήρια. Γενικά για την καταστροφή των σπορίων χρησιμοποιείται θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 115°C. Παραδείγματα παθογόνων βακτηρίων που έχουν βρεθεί στο νωπό γάλα είναι τα: *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus Cereus*, *Bacillus Thermophilus*, *Bacillus Subtilis*, *Escherichia coli (O157 H7)*, *Aeromonas hydrophilia* και το *Mycobacterium tuberculosis*.^{6,14,17}

Πέρα από τα παθογόνα βακτήρια που μπορεί να υπάρχουν στο γάλα, τα υπόλοιπα βακτήρια διακρίνονται σε βακτήρια γαλακτικού οξέος, κολοβακτηρίδια, βακτήρια βουτυρικού οξέος, βακτήρια προπιονικού οξέος και σε σηπτικά βακτήρια.

3.4.1.1.1 Βακτήρια Γαλακτικού Οξέος

Τα γαλακτικά βακτήρια βρίσκονται στη φύση στα φυτά, αλλά ορισμένα είδη τους υπάρχουν σε μεγάλες ποσότητες σε μέρη όπου υπάρχει γάλα. Είναι προαιρετικά αναερόβια και το μεγαλύτερο ποσοστό τους θανατώνεται με θέρμανση στους 70°C. Τα γαλακτικά βακτήρια χρησιμοποιούν τη λακτόζη ως πηγή άνθρακα και τη μετατρέπουν σε γαλακτικό οξύ. Για την ανάπτυξή τους χρειάζονται, όμως, και οργανικό άζωτο, το οποίο προμηθεύονται από τις καζεΐνες. Στο γάλα μπορεί να αποτελούν μόλυνση, αλλά καλλιέργειες γαλακτικών

βακτηρίων χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του γιαουρτιού. Τα κυριότερα είδη των γαλακτικών βακτηρίων είναι τα *Streptococcus*, *Lactococcus* και *Lactobaccillus*.

3.4.1.1.2 Κολοβακτηρίδια

Τα κολοβακτηρίδια είναι προαιρετικά αναερόβια με βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης 30-37°C και μπορούν να θανατωθούν σε υψηλή θερμοκρασία. Βρίσκονται στο έντερο του ζώου, στην κοπριά, στο χώμα, σε μολυσμένο νερό και στα φυτά. Μετατρέπουν τη λακτόζη σε γαλακτικό οξύ και σε άλλα οργανικά οξέα και διασπούν τις πρωτεΐνες του γάλακτος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ξένης οσμής στο γάλα. Παράδειγμα αυτών είναι ο *Bacillus Clostridium*.

3.4.1.1.3 Βακτήρια Βουτυρικού Οξέος

Τα βακτήρια βουτυρικού οξέος είναι κοινά στη φύση και βρίσκονται κυρίως στο χώμα, τα φυτά, την κοπριά, αλλά και στο γάλα. Η κακή αποθήκευση των ζωοτροφών και η επαφή τους με χώμα μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα βακτηριακών σπορίων βουτυρικού οξέος, με αποτέλεσμα την παραγωγή από το ζώο έντονα μολυσμένου γάλακτος. Τα βακτήρια βουτυρικού οξέος είναι αναερόβια, σπορογόνα βακτήρια και η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους είναι οι 37°C, βέβαια η ανάπτυξή τους στο γάλα είναι περιορισμένη, επειδή υπάρχει οξυγόνο, αλλά ευδοκιμούν στα τυριά, όπου οι συνθήκες είναι αναερόβιες. Τα κυριότερα βακτήρια βουτυρικού οξέος είναι: *Clostridium tyrobutyricum* και *Clostridium butyricum*.

3.4.1.1.3 Βακτήρια Προπιονικού Οξέος

Τα βακτήρια προπιονικού οξέος δεν σχηματίζουν σπόρια και η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους είναι οι 30°C. Ορισμένα είδη των βακτηρίων αυτών επιβιώνουν ακόμη και μετά από έντονη θερμική κατεργασία. Μεταβολίζουν το γαλακτικό οξύ σε προπιονικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και άλλα προϊόντα. Οι καθαρές καλλιέργειες των βακτηρίων αυτών χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του τυριού Emmenthal.

3.4.1.1.4 Σηπτικά Βακτήρια

Τα σηπτικά βακτήρια παράγουν ένζυμα που διασπούν τις πρωτεΐνες, παράγοντας αμμωνία. Ορισμένα εξ αυτών χρησιμοποιούνται στη γαλακτοβιομηχανία, αλλά τα περισσότερα είναι ανεπιθύμητα. Τα σηπτικά βακτήρια είναι κόκκοι ή βάκιλοι και αναπτύσσονται είτε αερόβια είτε αναερόβια. Εισέρχονται στο γάλα από την κοπριά, τη ζωοτροφή και το νερό. Αρκετά παράγουν και το ένζυμο λιπάση, οπότε μπορούν να διασπούν τα λίπη. Τα σημαντικότερα σηπτικά βακτήρια είναι το *Brevibacterium linens*, το οποίο χρησιμοποιείται στην παραγωγή τυριού και τα *Pseudomonas fluorescens* και *Clostridium sporogenes* τα οποία είναι ανεπιθύμητα.¹⁸

3.4.1.2 Μύκητες

Οι μύκητες είναι μια ομάδα μικροοργανισμών που βρίσκονται συχνά στη φύση. Τα διάφορα είδη των μυκήτων διαφέρουν ως προς τη δομή και τον τρόπο αναπαραγωγής. Οι μύκητες χωρίζονται σε ζύμες και σε μούχλες.

3.4.1.2.1 Ζύμες

Οι ζύμες είναι στρογγυλού σχήματος μονοκύτταροι οργανισμοί, με μέγεθος 4–10 μm και πολλαπλασιάζονται με εκβλάστηση. Ορισμένες σχηματίζουν και σπόρια, τα οποία όμως καταστρέφονται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 60°C. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης των ζυμών είναι περίπου 25°C, ενώ η ανάπτυξή τους αναστέλλεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Μια από τις ιδιαιτερότητές τους είναι ότι μπορούν να αναπτύσσονται σε όξινα μέσα με υψηλή συγκέντρωση σακχάρων. Ορισμένες ζύμες αναπτύσσονται και υπό αναερόβιες συνθήκες. Τα στελέχη που σχηματίζουν σπόρια ανήκουν στα είδη των *Ascomycetes* και *Basidiomycetes*, ενώ εκείνα που αναπαράγονται με εκβλάστηση ανήκουν στην κατηγορία των *Fungi imperfecti*. Οι ζύμες κατά κύριο λόγο είναι ανεπιθύμητες στη γαλακτοβιομηχανία, με μοναδική εξαίρεση την παραγωγή του γαλακτοκομικού προϊόντος Kefir, το οποίο ζυμώνεται με καλλιέργεια ζυμών και γαλακτικών βακτηρίων.^{6,14,18}

3.4.1.2.2 Μούχλες

Οι μούχλες σχηματίζουν νηματοειδείς υφές, που έχουν διάμετρο από 5 μm και μήκος από 100 μm ή και παραπάνω. Ένα σύνολο από υφές ορίζεται ως μικκύλιο. Η αναπαραγωγή του γίνεται είτε μέσω διαίρεσης των υφών είτε με σχηματισμό σπορίων. Οι μούχλες καθώς και τα σπόριά τους μπορούν να καταστραφούν σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 100°C. Οι μούχλες είναι επίσης αερόβιες, οπότε για την ανάπτυξή τους είναι αναγκαίο το οξυγόνο. Γενικά είναι ανεπιθύμητες στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, για αυτό θα πρέπει να υπάρχουν αυστηρά μέτρα υγιεινής κατά την παραγωγική διαδικασία, προκειμένου να μην μπορούν να αναπτυχθούν. Υπάρχουν, όμως, και ορισμένες μούχλες που είναι σημαντικές στη γαλακτοβιομηχανία, όπως το *Penicillium*, που παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή των τυριών Blue cheese (*Penicillium roquerofti*) και Camembert (*Penicillium rcamemberti*) και το *Geotrichum candidum*.^{6,14,18}

3.4.1.3 Ιοί και Βακτηριοφάγοι

Οι ιοί και οι βακτηριοφάγοι είναι οι μικρότεροι μικροοργανισμοί, με μέγεθος από 0,01–0,1 μm. Αναπαράγονται μόνο παρασιτικά σε συγκεκριμένα κύτταρα ξενιστές και δεν είναι ανθεκτικά σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τους 100°C.^{6,14,18}

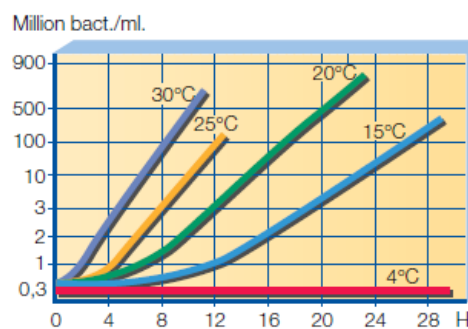
3.4.2 Μόλυνση με Βακτήρια Νωπού Γάλακτος

Οι πηγές της βακτηριακής μόλυνσης του νωπού γάλακτος μπορεί να σχετίζονται με το περιβάλλον, τους μαστούς του ζώου και τον εξοπλισμό άμελης. Οι περιβαλλοντικές πηγές περιλαμβάνουν το νερό, το χώμα, τη βλάστηση και το υλικό στρωμνής και ποικίλλουν ως προς τον αριθμό και το είδος των μικροοργανισμών που μπορούν να εισάγουν στο νωπό γάλα. Γενικά, η μόλυνση με ψυχρότροφη μικροχλωρίδα σχετίζεται με το υλικό στρωμνής, το μη επεξεργασμένο νερό, το χώμα και τη βλάστηση, τα κολοβακτηρίδια σχετίζονται με το χώμα και τα σπορογόνα με το υλικό στρωμνής. Η κακή και μη υγιεινή άμελη του μαστού μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή όλων των παραπάνω υλικών και των μικροοργανισμών που σχετίζονται με αυτά, στο γάλα. Κατά τον καθαρισμό και το στέγνωμα του μαστού αμέσως μετά την άμελη, ο αριθμός των συνολικών βακτηρίων μπορεί να μειωθεί.

Οι κοινές πηγές μόλυνσης, που σχετίζονται με τον εξοπλισμό άμελης, περιλαμβάνουν τα μηχανήματα, τους σωλήνες, και τα δοχεία συλλογής και μεταφοράς του γάλακτος. Ακατάλληλο πλύσιμο των παραπάνω μπορεί να αφήσει υπολείμματα γάλακτος στον εξοπλισμό, δημιουργώντας έτσι ένα περιβάλλον κατάλληλο για ανάπτυξη μικροοργανισμών. Τα βακτήρια αναπτύσσονται σε αυτά τα υπολείμματα του γάλακτος και μολύνουν το προς επεξεργασία γάλα, όταν διέρχεται από τον εξοπλισμό.¹⁷

3.4.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών

Ο αριθμός των μικροοργανισμών στο ακατέργαστο γάλα, που λαμβάνεται μέσω μηχανής από τα ζώα, με υψηλές συνθήκες υγιεινής, μπορεί να είναι 10^3 με 10^4 οργανισμοί/cm³. Ο αριθμός των μικροοργανισμών στο νωπό γάλα αυξάνει ταχύτατα σε υψηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης, ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η αύξηση είναι πολύ μικρή. Για αυτό το γάλα ψύχεται κατευθείαν στη φάρμα για τον περιορισμό της ανάπτυξης των μικροοργανισμών και τη διατήρηση της ποιότητάς του. Φθάνοντας στη βιομηχανία, το γάλα θα πρέπει να περιέχει 10^4 – 10^6 οργανισμούς/cm³.



Εικόνα 5: Εξάρτηση της βακτηριακής ανάπτυξης από τη θερμοκρασία στο νωπό γάλα

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών εξαρτάται, λοιπόν, από τη θερμοκρασία όπως φαίνεται σχηματικά στην εικόνα 5. Σε υψηλές θερμοκρασίες ο ρυθμός ανάπτυξης των βακτηρίων είναι πολύ μεγάλος, ενώ με την ψύξη, η ανάπτυξή τους παραμένει σταθερή. Γενικά, οι περισσότεροι μικροοργανισμοί, που απαντώνται στο γάλα, σταματούν να αναπτύσσονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ωστόσο όμως παραμένουν βιώσιμοι. Οι ψυχρότροφοι μικροοργανισμοί, που περιλαμβάνουν τις μούχλες, κάποιες ζύμες και ορισμένα βακτήρια, είναι ικανοί να αναπτύσσονται στους 0°C, με βέλτιστη θερμοκρασία τους 10–20°C, ενώ δεν

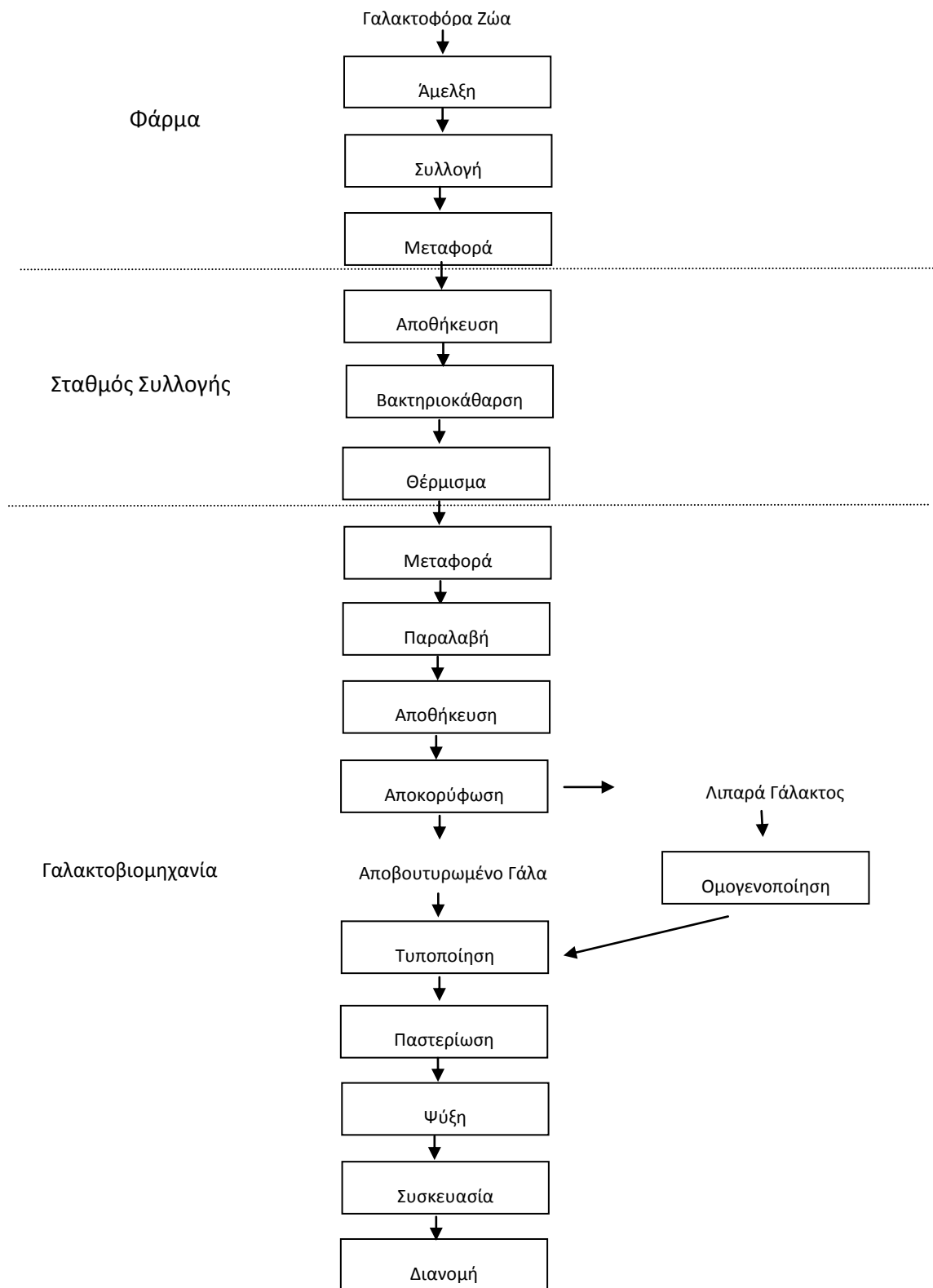
επιζούν πάνω από τους 30°C. Οι περισσότεροι, όμως, μικροοργανισμοί που εμφανίζονται στο γάλα είναι μεσόφιλοι, όπως τα αερόβια σπόρια, και αναπτύσσονται στους 5°C, με βέλτιστη θερμοκρασία τους 20–30°C, ενώ δεν είναι βιώσιμοι πάνω από τους 40°C. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και ορισμένοι αναερόβιοι μικροοργανισμοί.^{14,17}

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Το γάλα μετά την άμελξή του από τα ζώα πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία πριν διατεθεί προς κατανάλωση στους ανθρώπους. Στη γαλακτοβιομηχανία, το νωπό γάλα περνά από διάφορα στάδια επεξεργασίας, μέσα από διάφορα είδη εξοπλισμού πριν φτάσει στον καταναλωτή ως τελικό προϊόν. Η όλη παραγωγή γίνεται συνεχώς σε κλειστό κύκλωμα. Η επεξεργασία του γάλακτος αποσκοπεί στη μείωση του μικροβιακού φορτίου που διαθέτει το γάλα αμέσως μετά την άμελξή του, προκειμένου να είναι ασφαλές για τη Δημόσια Υγεία. Επίσης, κάποιες διεργασίες έχουν ως σκοπό τη διατήρηση του γάλακτος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στάδια της παραγωγής του γάλακτος αναλυτικά.

Η επεξεργασία του γάλακτος χωρίζεται σε τρία στάδια: α) επεξεργασία του γάλακτος, στη φάρμα, όπου γίνεται η άμελξη του ζώου, η συλλογή του γάλακτος και η μεταφορά του στο σταθμό συλλογής, β) επεξεργασία στο σταθμό συλλογής όπου γίνεται η βακτηριοκάθαρση του γάλακτος και θερμική κατεργασία του, το θέρμισμα και γ) η επεξεργασία του γάλακτος στη γαλακτοβιομηχανία προς παραγωγή τυποποιημένου, παστεριωμένου και συσκευασμένου προϊόντος.

Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Ροής Παραγωγής Γάλακτος

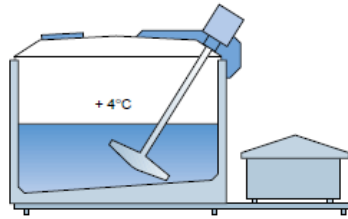


4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Το γάλα παραλαμβάνεται από μέρη που βρίσκονται αρκετά μακριά από τις γαλακτοβιομηχανικές μονάδες, οπότε η καθημερινή παραλαβή είναι αδύνατη. Η συλλογή του γάλακτος, λοιπόν, γίνεται κάθε δεύτερη ημέρα, αλλά μπορεί να γίνεται κάθε τρίτη ή ακόμη και τέταρτη ημέρα.¹⁸

Ιδανικά, θα έπρεπε να εξετάζεται η μικροβιακή μόλυνση του νωπού γάλακτος, με μετρήσεις ακόμη και στη φάρμα. Όμως, είναι τόσες πολλές οι πηγές μόλυνσης, που είναι δύσκολη η πρόληψη της μόλυνσης από όλα τα πιθανά βακτήρια. Για αυτό το λόγο, το γάλα, αμέσως μετά την άμελη, θα πρέπει να ψύχεται σε θερμοκρασία 4°C και να διατηρείται σε τόσο χαμηλή θερμοκρασία μέχρι να φτάσει στη μονάδα επεξεργασίας. Αν η ψύξη είναι ελλιπής, τότε οι μικροοργανισμοί που υπάρχουν στο γάλα θα αρχίσουν να πολλαπλασιάζονται. Μεταγενέστερη ψύξη του γάλακτος μπορεί να σταματήσει την ανάπτυξη, αλλά η ζημιά θα έχει ήδη συμβεί, διότι ο πληθυσμός των βακτηρίων θα έχει αυξηθεί επηρεάζοντας αρνητικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος.¹⁸ Γενικά, οι χαμηλές θερμοκρασίες αναστέλλουν την ανάπτυξη των μεσόφιλων και θερμοφίλων μικροοργανισμών και μειώνουν τη δραστηριότητα των ενζύμων, γι' αυτό και είναι σημαντική η άμεση ψύξη του γάλακτος.¹⁷

Για να διασφαλιστεί η ποιότητα του γάλακτος, θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την προστασία του από τη φάρμα. Η διεργασία της άμελης θα πρέπει να γίνεται σε όσο το δυνατόν πιο υγιεινές συνθήκες, το σύστημα άμελης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο, ώστε να αποφεύγεται η εισροή αέρα και το σύστημα ψύξης θα πρέπει να είναι σωστά βαθμονομημένο. Οι φάρμες διαθέτουν ειδικούς χώρους για αποθήκευση του γάλακτος σε ψύξη, συνήθως ψυχόμενες δεξαμενές, οι οποίες έχουν χωρητικότητα από 250 μέχρι 10000 L. Οι δεξαμενές διαθέτουν ανάδευση, σύστημα ψύξης και καλή μόνωση, ώστε όλη η ποσότητα του γάλακτος να ψύχεται σε θερμοκρασία μικρότερη από 4°C μέσα στις επόμενες 2 h από τη διαδικασία της άμελης.¹⁸



Εικόνα 6: Δεξαμενή ψύξης γάλακτος με αναδευτήρα και σύστημα ψύξης

Το νωπό γάλα παραλαμβάνεται στη γαλακτοβιομηχανία σε γαλακτοδοχεία ή σε ψυχόμενα μεταφορικά οχήματα-βυτία, τα τελευταία χρησιμοποιούνται μόνο σε συνδυασμό με τις δεξαμενές ψύξης του γάλακτος. Οι απαιτήσεις είναι ίδιες και για τις δύο μεθόδους. Το γάλα πρέπει να διατηρείται σε καλή ψύξη, μακριά από αέρα και γενικότερα πρέπει να αντιμετωπίζεται όσο το δυνατόν πιο προσεκτικά. Για παράδειγμα, τα δοχεία θα πρέπει να πληρώνονται σωστά, έτσι ώστε να μην χύνεται το γάλα κατά τη μεταφορά του.¹⁸

4.1.1 Συλλογή σε γαλακτοδοχεία

Τα γαλακτοδοχεία που χρησιμοποιούνται είναι διαφόρων μεγεθών, αλλά τα πιο κοινά είναι αυτά των 30 ή 50 L. Κατά τη μεταφορά τους, τα γαλακτοδοχεία θα πρέπει να προφυλάσσονται από τον ήλιο είτε μέσα σε φορτηγά ψυγεία, είτε ακόμη καλύτερα είναι να χρησιμοποιούνται δοχεία με καλή μόνωση.¹⁸



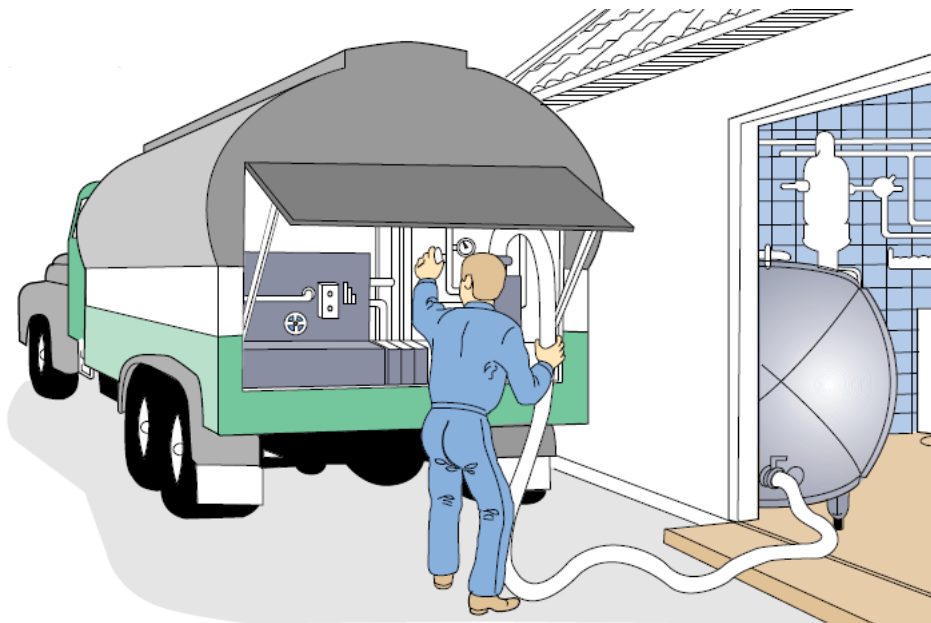
Εικόνα 7: Μεταφορά γαλακτοδοχείων με μονωτικό υλικό για προστασίας

4.1.2 Συλλογή Χύμα

Όταν το γάλα μεταφέρεται με βυτιοφόρο, το τελευταίο θα πρέπει να προσεγγίσει το χώρο αποθήκευσης του γάλακτος της φάρμας. Ο σωλήνας φόρτωσης του βυτιοφόρου συνδέεται

με την εξωτερική βαλβίδα της δεξαμενής ψύξης της φάρμας. Το βυτιοφόρο, συνήθως, διαθέτει ροόμετρο και αντλία, έτσι ώστε να καταγράφεται ο όγκος του γάλακτος αυτόματα. Σε πολλές περιπτώσεις το βυτιοφόρο είναι εξοπλισμένο και με απαερωτή.

Η άντληση σταματά, μόλις η δεξαμενή ψύξης αδειάσει. Αυτό αποτρέπει την ανάμιξη του αέρα μέσα στο γάλα. Η δεξαμενή του οχήματος για τη χύμα συλλογή, διαιρείται σε ορισμένα διαμερίσματα, για να αποτραπεί η μετακίνηση του γάλακτος κατά τη μεταφορά. Κάθε διαμέρισμα γεμίζεται με τη σειρά του και όταν το βυτιοφόρο ολοκληρώσει τη συλλογή του γάλακτος από όλες τις προγραμματισμένες φάρμες, το παραδίδει στη γαλακτοβιομηχανία.¹⁸



Εικόνα 8: Χύμα Συλλογή Γάλακτος

4.2 ΒΑΚΤΗΡΙΟΚΑΘΑΡΣΗ

Πρόκειται για μια μέθοδο, η οποία απομακρύνει από το γάλα το μεγαλύτερο μέρος των βακτηρίων με φυγοκέντρηση και βασίζεται στη μεγαλύτερη σχετικά πυκνότητα των βακτηριακών κυττάρων και των άλλων ξένων σωματιδίων. Ενδείκνυται στις περιπτώσεις που το γάλα έχει μεγάλο μικροβιακό φορτίο και η παστερίωση δεν εξασφαλίζει τη μείωσή του στο προβλεπόμενο όριο ή περιέχει πολλά θερμοάντοχα βακτήρια και σπόρια. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ειδικός φυγοκεντρικός διαχωριστήρας υψηλής ταχύτητας

(20.000 rpm), ο οποίος σε θερμοκρασία 70–72°C απομακρύνει σε συνεχή λειτουργία το 99% των βακτηρίων. Το πλούσιο σε βακτήρια κλάσμα, δεν απορρίπτεται, αλλά αποστειρώνεται με μέθοδο UHT (140°C/3-4s) και αναμιγνύεται με την υπόλοιπη ποσότητα.^{4,17}

4.3 ΘΕΡΜΙΣΜΑ

Η διαδικασία του θερμίσματος μπορεί να γίνει είτε στο σταθμό συλλογής του γάλακτος, είτε στην ίδια τη γαλακτοβιομηχανία. Και στις δύο περιπτώσεις ο κύριος σκοπός είναι η μείωση των ενζύμων και των μικροοργανισμών, που μπορεί να αλλοιώσουν το γάλα και να υποβαθμίσουν την ποιότητά του. Στην περίπτωση του σταθμού συλλογής επιδίωξη είναι αποφυγή της αλλοίωσης του γάλακτος κατά τη μεταφορά του στη γαλακτοβιομηχανία. Το θέρμισμα λαμβάνει χώρα και στην ίδια τη γαλακτοβιομηχανία, διότι πολλές φορές είναι αδύνατη η επεξεργασία όλης της ποσότητας του γάλακτος, οπότε για να μην αλλοιωθεί κατά την αποθήκευσή του, μέχρι να υποστεί επεξεργασία, υποβάλλεται σε θέρμισμα.

Η θερμοκρασία του θερμίσματος είναι πάντα μικρότερη από την αντίστοιχη της παστερίωσης, για να ανασταλεί προσωρινά η βακτηριακή ανάπτυξη. Το γάλα θερμαίνεται σε θερμοκρασία 63–65°C για περίπου 15 s. Ο χρόνος θερμίσματος είναι τόσο μικρός, ώστε να προκαλέσει αισθητή μείωση των θερμοάντοχων ενζύμων, που διασπούν τα λίπη και τις πρωτεΐνες. Επιπρόσθετα, το θέρμισμα έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αδρανοποίηση των λιπασών του γάλακτος (περίπου κατά 50%) και επιτρέπει μια ελαφρώς χαμηλότερη παστερίωση στην παραγωγή του ομογενοποιημένου γάλακτος. Η διπλή παστερίωση απαγορεύεται από το νόμο σε πολλές χώρες, για αυτό το λόγο το θέρμισμα πρέπει να σταματά λίγο πριν τις συνθήκες παστερίωσης.

Για την αποφυγή πολλαπλασιασμού των αερόβιων σπορογόνων βακτηρίων, αμέσως μετά το θέρμισμα το γάλα πρέπει να ψύχεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 4°C και σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να αναμιγνύεται με μη επεξεργασμένο γάλα. Το θέρμισμα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Γενικότερα, όλο το παραλαμβανόμενο γάλα πρέπει να παστεριώνεται μέσα σε 24 h από την άφιξή του στη γαλακτοβιομηχανία. Παρά τα πλεονεκτήματα του θερμίσματος, οι γαλακτοκομικές μονάδες, συχνά ψύχουν

απλά το γάλα (για μείωση του κόστους), λαμβάνοντας το ρίσκο ανάπτυξης ψυχροτροφικών βακτηρίων.^{6,18}

4.4 ΠΑΡΑΛΑΒΗ

Στις φάρμες γίνεται, μόνο, μια γενική εκτίμηση της ποιότητας του γάλακτος. Κατά την παραλαβή του στο εργοστάσιο, το γάλα υποβάλλεται σε ορισμένους ποιοτικούς ελέγχους, προκειμένου να αποφασιστεί η καταλληλότητά του για οποιαδήποτε περαιτέρω επεξεργασία. Στην περίπτωση των γαλακτοδοχείων, το περιεχόμενο κάθε δοχείου εξετάζεται χωριστά προτού αδειάσει στη δεξαμενή ζύγισης. Εάν η παραλαβή γίνεται από όχημα-βυτίο, τότε εξετάζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα από κάθε διαμέρισμα του βυτίου και μετά γίνεται η παραλαβή.^{4,18}

Η ακριβής δειγματοληψία είναι η πρώτη προϋπόθεση για ένα σωστό σύστημα ελέγχου της ποιότητας του γάλακτος. Το νωπό γάλα μέσα στα γαλακτοδοχεία και τις δεξαμενές χύμα προϊόντος θα πρέπει να αναμιγνύεται προσεκτικά για να διαλυθεί το λίπος του γάλακτος, πριν να ληφθεί δείγμα γάλακτος για ποιοτικό έλεγχο.¹⁹ Οι πιο κοινοί έλεγχοι στους οποίους υποβάλλεται το γάλα είναι:

1. Έλεγχος Γεύσης και Οσμής–Οργανοληπτικός Έλεγχος

Ο οργανοληπτικός έλεγχος προσφέρει γρήγορο διαχωρισμό του γάλακτος καλής και κακής ποιότητας, κατά την παραλαβή του. Το γάλα, το οποίο διαφέρει στη γεύση και την οσμή από το φυσιολογικό γάλα, βαθμολογείται με μικρότερο βαθμό, αλλά κρατείται στη γαλακτοβιομηχανία για επεξεργασία. Στην περίπτωση, όμως, γάλακτος που η οσμή και η γεύση του έχουν σημαντική διαφορά από εκείνη του φυσιολογικού, θα πρέπει να απορρίπτεται.^{18,19}

2. Έλεγχος Υγιεινής και Ρεσαζουρίνης

Το βακτηριακό περιεχόμενο του γάλακτος είναι μέρος της ποιότητάς του. Η δοκιμή ρεσαζουρίνης χρησιμοποιείται πολύ συχνά. Η ρεσαζουρίνη είναι μια μπλε χρωστική, που αποχρωματίζεται, όταν ανάγεται χημικά, λόγω της απομάκρυνσης του οξυγόνου. Όταν

προστίθεται σε δείγμα γάλακτος, η μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων, που βρίσκονται στο γάλα, έχει την ικανότητα να αλλάζει το χρώμα της χρωστικής. Ανάλογα με το βαθμό αλλαγής του χρώματος, μπορεί άμεσα να βρεθεί ο αριθμός των βακτηρίων στο δείγμα. Πρόκειται για ταχεία εξέταση μέσω της οποίας μπορεί εύκολα να απορριφθεί μια κακή παρτίδα. Αν η χρωστική αρχίζει να αλλάζει χρώμα άμεσα, το γάλα θεωρείται ακατάλληλο για κατανάλωση από τον άνθρωπο.¹⁸

3. Απαρίθμηση σωματικών κυττάρων

Μεγάλος αριθμός (πάνω από 500.000/mL γάλακτος) σωματικών κυττάρων στο γάλα, δείχνει ότι οι αγελάδες υποφέρουν από μαστίτιδα. Το περιεχόμενο σε σωματικά κύτταρα προσδιορίζεται με ειδικά σχεδιασμένους μετρητές σωματιδίων.¹⁸

4. Απαρίθμηση Βακτηρίων

Μια απλοποιημένη μορφή απαρίθμησης των βακτηρίων μπορεί, επίσης, να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του βακτηριακού περιεχομένου στο γάλα. Στη μέθοδο Leesment, τα βακτήρια καλλιεργούνται σε θερμοκρασία 30°C για 72 h, σε δείγμα γάλακτος 0,001 mL με ένα θρεπτικό υπόστρωμα. Η απαρίθμηση των βακτηρίων γίνεται σε ειδική οθόνη.¹⁸

5. Πρωτεϊνικό Περιεχόμενο

Πολλές γαλακτοβιομηχανίες κοστολογούν την πληρωμή των παραγωγών με βάση το περιεχόμενο του γάλακτος σε πρωτεΐνες. Το πρωτεϊνικό περιεχόμενο, προσδιορίζεται με τη βοήθεια εξοπλισμού, που λειτουργεί με υπέρυθρες ακτίνες.¹⁸

6. Περιεχόμενο Λιπαρών

Για τον προσδιορισμό του περιεχομένου λίπους στο γάλα υπάρχουν πολλές μέθοδοι. Ο έλεγχος Gerber, όμως, είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος, σύμφωνα με τον οποίο το λίπος διαχωρίζεται από τις πρωτεΐνες με προσθήκη θειικού οξέος. Η προσθήκη διευκολύνεται με

τη χρήση αμυλικής αλκοόλης και φυγοκέντρησης. Η περιεκτικότητα σε λίπος μετράται με ειδικά βαθμονομημένο βουτυρόμετρο.¹⁸

7. Σημείο Πήξης

Πολλές γαλακτοβιομηχανίες ελέγχουν το σημείο πήξης του γάλακτος για να προσδιορίσουν αν έχει αραιωθεί με νερό. Το γάλα, κανονικής σύστασης, έχει σημείο πήξης που κυμαίνεται μεταξύ $-0,54$ και $-0,59^{\circ}\text{C}$. Το σημείο πήξης, στην περίπτωση προσθήκης νερού παρουσιάζεται αυξημένο.^{18,19}

8. Βρασμός Γάλακτος

Ο έλεγχος αυτός είναι απλός και σύντομος. Με αυτό τον τρόπο ελέγχεται, αν το γάλα είναι υπερβολικά όξινο ($\text{pH}<5,8$) ή ακατάλληλο για κατανάλωση (πρωτόγαλα, μαστίτιδα). Το γάλα δεν περνά τον έλεγχο, όταν περιέχει πολλούς μικροοργανισμούς παραγωγής οξέων ή αν περιέχει μεγάλη ποσότητα πρωτεϊνών εκτός φυσιολογικών ορίων, όπως συμβαίνει στο πρωτόγαλα. Τέτοιου είδους γάλα, δεν αντέχει στη θερμική κατεργασία και για αυτό το λόγο θα πρέπει να απορρίπτεται. Κατά τον έλεγχο αυτό, μικρή ποσότητα γάλακτος, τοποθετείται σε δοκιμαστικό σωλήνα και γίνεται βρασμός. Αν παρατηρηθεί πήξη ή καθίζηση, τότε το γάλα απορρίπτεται.¹⁹

9. Έλεγχος Αλκοόλης

Ο έλεγχος αυτός βασίζεται στην αστάθεια των πρωτεϊνών όταν μεταβάλλεται το όξινο περιβάλλον, λόγω προσθήκης αλκοόλης. Συγκεκριμένα ο έλεγχος γίνεται με ανάμιξη ίσων ποσοτήτων γάλακτος, συνήθως 2 mL, και 2 mL διαλύματος αιθανόλης 68% σε δοκιμαστικό σωλήνα. Αν η ποιότητα του εξεταζόμενου δείγματος είναι καλή, τότε δεν παρατηρείται πήξη ή κατακάθιση, με αυτό τον έλεγχο.¹⁹

10. Έλεγχος Οξύτητας

Τα βακτήρια που αναπτύσσονται φυσιολογικά στο νωπό γάλα παράγουν ποσότητα γαλακτικού οξέος. Κατά τον έλεγχο της οξύτητας, προστίθεται υδροξείδιο του νατρίου

0,1 N, για να γίνει ουδέτερο το pH του γάλακτος και μετράται η ποσότητα της βάσης που προστέθηκε και μέσω αυτής υπολογίζεται το ποσοστό του γαλακτικού οξέος. Η αποδεκτή οξύτητα του γάλακτος κυμαίνεται μεταξύ 0,16-0,18%. Τα δείγματα που έχουν μεγαλύτερο ποσοστό από αυτό, απορρίπτονται λόγω του μεγάλου μικροβιακού φορτίου, που διαθέτουν και παράγουν μεγάλη ποσότητα γαλακτικού οξέος.¹⁹

11. Έλεγχος Καθαριότητας

Η εσωτερική επιφάνεια των γαλακτοδοχείων και των βυτιοφόρων εξετάζεται προσεκτικά. Οποιοδήποτε υπόλειμμα γάλακτος είναι απόδειξη ανεπαρκών συνθηκών υγιεινής και καθαρισμού, με αποτέλεσμα να θεωρηθεί το γάλα χαμηλότερης ποιότητας.¹⁸

12. Έλεγχος Ιζήματος

Αυτός ο έλεγχος έχει εφαρμογή μόνο στα γαλακτοδοχεία. Λαμβάνεται δείγμα από τον πυθμένα των γαλακτοδοχείων, με τη βοήθεια πιπέτας και στη συνέχεια μεταφέρεται σε ένα φίλτρο. Σε περίπτωση που είναι ορατές ακαθαρσίες στο φίλτρο, η ποιότητα του γάλακτος υποβαθμίζεται αρκετά.¹⁸

4.5 ΔΙΗΘΗΣΗ

Η διήθηση είναι μια απαραίτητη εργασία που αποσκοπεί στην απομάκρυνση από το γάλα των ξένων στοιχείων, όπως σωματικά κύτταρα, φυτικές ίνες, τρίχες ζώων, χώμα, βακτήρια κ.α. Η διήθηση γίνεται με χρήση ειδικών φυγοκεντρικών διηθητήρων-διαχωριστήρων, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να κάνουν αυτό το διαχωρισμό, εφόσον είναι επιθυμητό, όπως και το διαχωρισμό της κρέμας.

Τα κύτταρα και οι άλλες ξένες ύλες καθώς και μεγάλος αριθμός βακτηρίων συγκεντρώνονται στην περιφέρεια του διαχωριστήρα με μορφή ιλύος και απομακρύνονται σταδιακά. Ο καθαρισμός αυτός πρέπει να γίνεται συχνά, γιατί σε αντίθετη περίπτωση ο αριθμός βακτηρίων του γάλακτος θα αυξηθεί προκαλώντας μόλυνση στο γάλα.⁴

Καλύτερα αποτελέσματα μπορεί να προκύψουν με μικροδιήθηση και υπερδιήθηση, όπου αξιοποιώντας το σχετικά μεγαλύτερο μέγεθος των βακτηριακών κυττάρων, υποβοηθείται ο διαχωρισμός των μικροβιακών μολυσματικών παραγόντων από το γάλα. Φίλτρα με πολύ μικρό πορώδες επιτρέπουν στα συστατικά του γάλακτος να περάσουν διαμέσου τους, ενώ εμποδίζουν την είσοδο των βακτηρίων διαχωρίζοντας έτσι τις επιμολύνσεις. Η τυπική διάμετρος του πορώδους στη μικροδιήθηση, είναι μεταξύ 0,2-5 μm. Παρόλο που με τη διήθηση δεν μπορούν να απομακρυνθούν όλοι οι μικροοργανισμοί, μπορεί να επιτευχθεί 99,99% μείωση του ολικού βακτηριακού φορτίου και 99,95% του ολικού φορτίου των σπορίων, αντίστοιχα.¹⁷

4.6 ΑΠΟΚΟΡΥΦΩΣΗ

Συνήθως, πριν την τυποποίηση του λίπους του γάλακτος, γίνεται η αποκορύφωση των λιπαρών, προκειμένου να διαχωριστούν αυτά (κρέμα γάλακτος) από το υπόλοιπο γάλα, το οποίο μετά το διαχωρισμό αποτελεί το αποβουτυρωμένο γάλα. Ο διαχωρισμός γίνεται με χρήση μηχανικών, φυγοκεντρικών διαχωριστήρων. Τα λιποσφαίρια με μέγεθος μικρότερο από 2 μm, δεν απομακρύνονται τελείως. Η απόδοση του διαχωρισμού αυξάνεται με τη θερμοκρασία, ιδίως μεταξύ 20-40°C, οπότε η ελεγχόμενη αφαίρεση της κρέμας του γάλακτος πρέπει να γίνεται με τη βοήθεια ειδικών φυγοκεντρικών διαχωριστήρων, οι οποίοι συνδέονται συνήθως στη γραμμή παστερίωσης, ώστε το γάλα να έχει θερμοκρασία τουλάχιστον 40°C.⁴



Εικόνα 9: Φυγοκεντρικός Διαχωριστήρας Γάλακτος

4.6 ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΛΙΠΟΥΣ

Με την τυποποίηση του λίπους του γάλακτος εννοείται η ρύθμιση της λιποπεριεκτικότητας του σε ορισμένη αναλογία με προσθήκη ή αφαίρεση κρέμας. Οι κοινές τιμές λιποπεριεκτικότητας του γάλακτος αντιστοιχούν σε 1,5% για γάλα χαμηλών λιπαρών και 3,5% για πλήρες γάλα.¹⁸

Συνήθως, το γάλα περιέχει 3,7–4,2 g λιπαρών/100 g. Για να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε λιπαρά ακολουθούνται οι παρακάτω μέθοδοι:

- αφαίρεση λιπαρών από το γάλα
- ανάμιξη πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος
- προσθήκη κρέμας γάλακτος στο γάλα
- ή και συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων¹²

4.7 ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

Ως ομογενοποιημένο γάλα ορίζεται το γάλα που έχει υποστεί επεξεργασία και τα λιποσφαίριά του έχουν διασπαστεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε μετά από αποθήκευσης του γάλακτος για 48 h, να μην παρατηρείται διαχωρισμός της κρέμας.

Τα λιποσφαίρια του γάλακτος έχουν την τάση να ανέρχονται προς την επιφάνειά του και να σχηματίζουν στρώμα κρέμας. Η τάση του λίπους να κορυφώνεται παρεμποδίζεται, ή έστω καθυστερεί με την ομογενοποίηση, κατά την οποία τα λιποσφαίρια θραύονται, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρότερου μεγέθους λιποσφαιρίων που φτάνουν έως τα 0,2 μm και κατανέμονται ομοιόμορφα στο γάλα. Τα ομογενοποιημένα λιποσφαίρια είναι τόσο μικρά που μόνο μικρό ποσοστό τους έχει τη δυνατότητα να ανυψωθεί, λόγω της δύναμης της βαρύτητας. Η ομογενοποίηση συνήθως εφαρμόζεται πριν την παστερίωση, διότι στον ομογενοποιητή, το γάλα μπορεί να επιμολυνθεί από βακτήρια.^{4,6,14,16}

Η επεξεργασία του γάλακτος με ομογενοποίηση θα αναπτυχθεί περαιτέρω σε ειδικό κεφάλαιο.

4.8 ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ - ΠΑΣΤΕΡΙΩΣΗ

Επειδή το γάλα που παράγεται, ακόμη και από τα πιο υγιή ζώα είναι δυνατό να περιέχει επικίνδυνους για τη Δημόσια Υγεία μικροοργανισμούς, είναι ανάγκη να εξυγιανθεί προτού δοθεί για κατανάλωση. Ο πιο ικανοποιητικός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό, είναι η ορισμένου βαθμού θερμική επεξεργασία του, γνωστή ως **παστερίωση**.

Με την παστερίωση επιδιώκεται και πρέπει να επιτυγχάνεται η καταστροφή όλων των επικίνδυνων για τον καταναλωτή μικροοργανισμών. Επιδιώκεται, επίσης, μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο και του αριθμού των μη παθογόνων βακτηρίων καθώς και η αδρανοποίηση των περισσότερων ενζυμικών συστημάτων του γάλακτος. Με αυτό τον τρόπο το γάλα εκτός από υγιεινό, συντηρείται και για περισσότερο χρόνο.⁴ Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους συνδυασμούς θερμοκρασίας και χρόνου θέρμανσης, οι οποίοι πάντως έχουν μεγαλύτερη ή μικρότερη επίπτωση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, στη θρεπτική αξία και το χρόνο ζωής του γάλακτος.

Η παστερίωση προκαλεί αντιστρεπτές ή αναντίστρεπτες αλλαγές στα συστατικά του γάλακτος, επιθυμητές ή ανεπιθύμητες.²⁰ Η αποτελεσματικότητα της παστερίωσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το χρόνο και μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες των θρεπτικών συστατικών (βιταμίνες, πρωτεΐνες), να δημιουργήσει ανεπιθύμητες οσμές και δυσάρεστο χρώμα στο προϊόν και τελικά να υποβαθμίσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, ειδικότερα όταν εφαρμόζεται υψηλή θερμοκρασία για μεγάλη διάρκεια.^{21,22} Οπότε σημαντική είναι η διαφύλαξη της θρεπτικής αξίας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (γεύση, χρώμα και υφή) του προϊόντος. Τα παραπάνω προβλήματα επιλύονται με χρήση συνδυασμών υψηλής θερμοκρασίας-μικρής διάρκειας, με ασηπτικές συσκευασίες ή ειδικά σχεδιασμένες συσκευασίες για τρόφιμα.²¹

Η θερμική κατεργασία παίζει σημαντικό ρόλο στον έλεγχο του αριθμού των βακτηρίων στα επεξεργασμένα γαλακτοκομικά προϊόντα. Οι τέσσερις εναλλακτικές προσεγγίσεις για τη θερμική κατεργασία του γάλακτος είναι: η παστερίωση, η υπερπαστερίωση, η UHT παστερίωση και η αποστείρωση, που διαφέρουν ως προς το επιτυγχανόμενο αποτέλεσμα. Η απλή παστερίωση έχει ως σκοπό να περιορίσει τους μη σπορογόνους παθογόνους μικροοργανισμούς που είναι ανθεκτικοί στη θερμοκρασία και να μειώσει τον αριθμό των μη παθογόνων βακτηρίων στο γάλα. Η υπερπαστερίωση έχει επιπρόσθετα ως στόχο να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος, μέσω επιπλέον μείωσης του ολικού αριθμού βακτηρίων. Η UHT- παστερίωση χρησιμοποιείται για την καταστροφή των σπορίων, ενώ η αποστείρωση έχει ως σκοπό τη θανάτωση όλου του μικροβιακού φορτίου.^{17,23} Τα διάφορα είδη θερμικών κατεργασιών παρατίθενται παρακάτω.

4.8.1 Χαμηλή Παστερίωση ή Παστερίωση LTLT (Low Temperature Long Time)

Το γάλα θερμαίνεται ασυνεχώς στους 52-65°C για 30 min. Η ασυνεχής θέρμανση γίνεται σε ειδικούς λέβητες με διπλά τοιχώματα, στα οποία κυκλοφορεί θερμό νερό ή ατμός. Κάθε λέβητας είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστικά και καταγραφικά μηχανήματα για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και του χρόνου θέρμανσης. Αν και η λειτουργία είναι ασυνεχής, μπορούν να συνδεθούν πολλοί λέβητες σε σειρά, ώστε να υπάρχει συνεχής τροφοδοσία της γραμμής.⁴

Η μέθοδος αυτή έχει αντικατασταθεί από την υψηλή παστερίωση, η οποία πλεονεκτεί σε πολλά σημεία συγκριτικά με τη χαμηλή. Η τελευταία όμως προσφέρεται για επεξεργασία μικρών ποσοτήτων γάλακτος από μικρές μονάδες, οι οποίες παστεριώνουν το γάλα, προκειμένου να το χρησιμοποιήσουν στην παραγωγή διαφόρων γαλακτοκομικών προϊόντων.^{4,18}

4.8.2 Υψηλή Παστερίωση ή Παστερίωση HTST (High Temperature Short Time)

Είναι η επικρατέστερη μέχρι σήμερα μέθοδος παστερίωσης και χρησιμοποιείται για την εξυγίανση όλης σχεδόν της ποσότητας γάλακτος που καταναλώνεται διεθνώς ως παστεριωμένο.

Το γάλα πρέπει να θερμανθεί στους 72-75°C για χρόνο τουλάχιστον 15-20 s, πριν ψυχθεί. Η καταστροφή των επικίνδυνων για τη Δημόσια Υγεία μικροοργανισμών δεν είναι αποτέλεσμα μόνο του παραπάνω συνδυασμού χρόνου και θερμοκρασίας, αλλά επιτυγχάνεται κυρίως με το θερμικό σοκ που επιφέρει στα βακτήρια, διότι το γάλα από τους 4°C περίπου θερμαίνεται εντός δευτερολέπτων στους 72°C, παραμένει σε αυτή τη θερμοκρασία για τουλάχιστον 15 s και ψύχεται πάλι σε θερμοκρασία κάτω των 7°C εντός δευτερολέπτων.^{4,18}

4.8.2.1 Επίδραση της παστερίωσης στο γάλα και τα συστατικά του

Τόσο η υψηλή όσο και η χαμηλή παστερίωση έχουν ελάχιστη επίδραση στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος. Συγκεκριμένα οι φυσικοχημικές ιδιότητες του γάλακτος δεν επηρεάζονται, παρατηρείται μόνο μικρή μείωση της οξύτητας λόγω απώλειας CO₂. Το χρώμα, η οσμή και η γεύση επηρεάζονται ελάχιστα, κυρίως στην υψηλή παστερίωση, όπου το γάλα αποκτά ιδιόζουσα γεύση λόγω της θέρμανσης. Όσον αφορά τα συστατικά του γάλακτος, το λίπος, η λακτόζη και οι πρωτεΐνες δεν επηρεάζονται καθόλου. Μόνο με θέρμανση πάνω από τους 75°C αρχίζει η μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού του γάλακτος. Η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος (υψηλή παστερίωση ή UHT παστερίωση) μειώνει το περιεχόμενο του γάλακτος σε βιταμίνη B₁ (θειαμίνη) περίπου κατά 10% και σε βιταμίνη C κατά 20%. Οι βιταμίνες B₂ (ριβοφλαβίνη) και B₆ (πυριδοξίνη) δεν επηρεάζονται από την παστερίωση, αλλά είναι φωτοδιασπώμενες, όταν εκτίθενται στο

ηλιακό φως. Το περιεχόμενο της βιταμίνης B₁₂ (κοβαλμίνη) δεν επηρεάζεται από την παστερίωση ή την αποθήκευση σε ψύξη.¹⁵

Ως συμπέρασμα προκύπτει ότι το παστεριωμένο γάλα έχει την ίδια θρεπτική αξία με το νωπό. Η μικρή υποβάθμιση (20%) της βιταμίνης C δεν αλλοιώνει την όλη εικόνα του γάλακτος, επειδή το νωπό περιέχει περίπου 20 mg/L βιταμίνη C, η οποία δεν είναι έτσι και αλλιώς επαρκής για να καλύψει τις ημερήσιες ανάγκες ενός ενήλικα που ανέρχονται σε 60 mg περίπου την ημέρα.⁴

Οι κύριες επιδράσεις της παστερίωσης στα συστατικά του γάλακτος και το περιεχόμενο μικροβιακό φορτίο αναλύονται παρακάτω.

4.8.2.1.1 Μετουσίωση Πρωτεϊνών²⁴

Η μετουσίωση είναι μια διαδικασία, κατά την οποία μεταβάλλεται η μοριακή δομή της πρωτεΐνης, χωρίς όμως να διασπώνται οι πεπτιδικοί της δεσμοί. Οι πρωτεΐνες μπορούν να μετουσιωθούν λόγω πολλών παραγόντων. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι η θέρμανση, το pH, τα άλατα και τα επιφανειακά φαινόμενα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η μετουσίωση είναι μια αναντίστροφη διεργασία, παρόλα αυτά υπάρχουν και ορισμένες εξαιρέσεις, όπως η ανάκτηση ορισμένων ενζύμων μετά από θέρμανση.

Η μετουσίωση μπορεί ορισμένες φορές να οδηγήσει στην κροκίδωση των σφαιρικών πρωτεϊνών, αλλά μπορεί, επίσης, να οδηγήσει και στο σχηματισμό πήγματος. Το θερμοκρασιακό εύρος, στο οποίο οι περισσότερες πρωτεΐνες μετουσιώνονται και πήζουν είναι μεταξύ 55 και 75°C. Υπάρχουν βέβαια και ορισμένες εξαιρέσεις, όπως η καζεΐνη είναι για παράδειγμα που μπορεί να υποστεί έντονη θέρμανση χωρίς αλλαγή. Η εξαιρετική σταθερότητα των καζεϊνών, τις καθιστά μη ικανές να πήζουν, ακόμη και κατά το βρασμό και την αποστείρωση του γάλακτος. Η σταθερότητα αυτή οφείλεται στην περιορισμένη σύσταση των διθειοϋφιδρικών δεσμών, λόγω του χαμηλού περιεχομένου σε κυστεΐνη και κυστίνη. Τα πεπτίδια που έχουν περιορισμένη συγκέντρωση σε αυτά τα αμινοξέα, είναι λιγότερο πιθανό να πήξουν. Η καζεΐνη, που έχει υπερβολικά χαμηλό περιεχόμενο σε θειούχα αμινοξέα, αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της συμπεριφοράς.

4.8.2.1.2 Σχηματισμός Νέων Συστατικών

Το μη ενζυμικό μαύρισμα ή οι αντιδράσεις Maillard είναι πολύ σημαντικές στην παρασκευή των τροφίμων και τα αποτελέσματά τους μπορεί να είναι είτε επιθυμητά, είτε ανεπιθύμητα. Συγκεκριμένα, στα γαλακτοκομικά προϊόντα η αλλοίωση του χρώματος του γάλακτος εβαπορέ και του αποστειρωμένου γάλακτος είναι ανεπιθύμητη. Στα προϊόντα, όπου οι αντιδράσεις αυτές είναι ανεπιθύμητες, το χρώμα και η γεύση μπορούν να γίνουν δυσάρεστα.²⁴

Η αντίδραση αμαύρωσης μπορεί να οριστεί ως μια αλληλουχία δράσεων, που ξεκινά με την αντίδραση της αμινομάδας των αμινοξέων, του πεπτιδίου ή της πρωτεΐνης με την υδροξυλιωμένη γλυκοζιτική ομάδα των σακχάρων. Η αλληλουχία ολοκληρώνεται με το σχηματισμό καστανών αζωτούχων πολυμερών και μελανοειδών.²⁴ Η λακτόζη είναι ένα αναγωγικό σάκχαρο, οπότε κατά τη διάρκεια της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος μπορεί να λάβουν χώρα οι αντιδράσεις Maillard, μεταξύ λακτόζης και κυρίως των καζεϊνών. Αυτές οι αντιδράσεις έχουν ως συνέπεια το σχηματισμό γευστικών συστατικών και καστανών πηγμάτων στο γάλα.^{6,23}

4.8.2.2 Επίδραση της παστερίωσης στη μικροβιολογία του γάλακτος

Η παστερίωση αποσκοπεί στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι στην πλειοψηφία τους προέρχονται από τα ζώα και μπορούν, έστω και με λίγα κύτταρα, να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο. Τόσο η χαμηλή όσο και η υψηλή παστερίωση θεωρείται ότι καταστρέφουν τους επικίνδυνους μικροοργανισμούς. Βέβαια, η παστερίωση δεν καταστρέφει τα σπόρια των βακτηρίων ούτε και των μυκήτων. Η κοινή χλωρίδα θανατώνεται σε ποσοστό 90–99% ανάλογα με τον αρχικό πληθυσμό και τη θερμοανθεκτικότητα των μικροοργανισμών που επικρατούν. Σε μεγάλο ποσοστό έως 50%, επιβιώνουν ο *Streptococcus thermophilus* και ορισμένοι λακτοβάκιλλοι (*L. bulgaricus* και *L. lactis*). Τα κολοβακτήρια είναι θερμοευαίσθητα και θανατώνονται εύκολα, για αυτό η παρουσία τους στο άμεσα παστεριωμένο γάλα οφείλεται είτε σε ατελή παστερίωση είτε σε μετέπειτα επιμόλυνση.⁴

Ακόμη και αμέσως μετά την παστερίωση το γάλα περιέχει 10^4 – 10^5 οργανισμούς/mL. Αυτοί είναι μικροοργανισμοί ανθεκτικοί στη θέρμανση, οι οποίοι προέρχονται από το νωπό γάλα, όπως ο *Streptococcus thermophilus*. Διάφορες μορφές σπορίων καθώς και ορισμένοι λακτοβάκιλλοι ανθεκτικοί στη θέρμανση υπάρχουν σε μικρότερους αριθμούς. Η έκταση στην οποία οι μικροοργανισμοί θα μειωθούν μέσω της παστερίωσης εξαρτάται όχι μόνο από τον αρχικό αριθμό τους στο γάλα, αλλά και από το είδος των μικροοργανισμών.¹⁴

4.8.3 Υπερπαστερίωση

Η υπερπαστερίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όταν απαιτείται η επίτευξη συγκεκριμένης διάρκειας ζωής ενός προϊόντος. Για ορισμένους παραγωγούς ακόμη και δύο ημέρες επιπλέον είναι αρκετές, ενώ άλλοι στοχεύουν σε 30–40 ημέρες, σε σύγκριση με τις 2–16 ημέρες, οι οποίες αντιστοιχούν στα παστεριωμένα προϊόντα. Η βασική αρχή είναι να μειωθούν οι κύριες αιτίες επιμόλυνσης του προϊόντος κατά την επεξεργασία και τη συσκευασία του, έτσι ώστε να επιμηκυνθεί ο χρόνος ζωής του. Αυτό απαιτεί πολύ υψηλά επίπεδα υγιεινής κατά την παραγωγική διαδικασία και θερμοκρασία μικρότερη από τους 7°C, διότι όσο χαμηλότερη η θερμοκρασία, τόσο επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής του προϊόντος.¹⁸

Κατά την εφαρμογή της υπερπαστερίωσης το γάλα θερμαίνεται στους 125-138°C για 2–4 s και στη συνέχεια ψύχεται σε θερμοκρασία μικρότερη από τους 7°C, προκειμένου να επιμηκυνθεί ο χρόνος ζωής του.¹⁸

4.8.4 UHT (Ultra High Temperature) Παστερίωση

Η UHT παστερίωση είναι μια τεχνική για τη διατήρηση ρευστών τροφίμων, με έκθεσή τους σε βραχεία, αλλά έντονη θέρμανση. Οι χρησιμοποιούμενες θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 135-140°C και η διάρκεια είναι μερικά δευτερόλεπτα, 5 s. Με τη μέθοδο αυτή θανατώνονται οι μικροοργανισμοί και ιδίως τα σπόριά τους που διαφορετικά θα κατέστρεφαν το προϊόν.^{18,23}

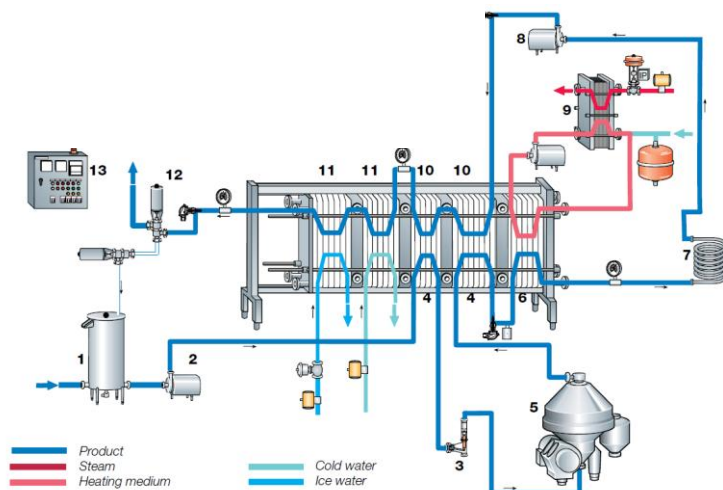
Η UHT επεξεργασία είναι μια συνεχής διεργασία, η οποία λαμβάνει χώρα σε κλειστό σύστημα, αποφεύγοντας έτσι την επιμόλυνση του γάλακτος με αερόβιους

μικροοργανισμούς. Το προϊόν διέρχεται μεταξύ θερμών και ψυχρών σταδίων με ταχείες εναλλαγές. Το ασηπτικό γέμισμα, για την αποφυγή επιμόλυνσης του προϊόντος, ολοκληρώνει τη διεργασία.¹⁸

4.8.5 Αποστείρωση

Η μορφή αποστείρωσης, που χρησιμοποιείται ακόμη, είναι η αποστείρωση εντός της συσκευασίας, συνήθως σε θερμοκρασία 115-120°C για 20–30min.¹⁸

4.8.6 Εξοπλισμός Παστερίωσης



1. Δεξαμενή Ισορροπίας
2. Αντλία Παροχής
3. Ροόμετρο
4. Μονάδα Προθέρμανσης
5. Φυγόκεντρος
6. Μονάδα Θέρμανσης
7. Σωλήνας Παραμονής
8. Αντλία
9. Σύστημα θέρμανσης με ζεστό νερό
10. Μονάδα Πρόψυξης
11. Μονάδα Ψύξης
12. Βαλβίδα αντίστροφης ροής
13. Σύστημα Ελέγχου

Εικόνα 10: Εξοπλισμός Παστερίωσης

Οι απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας στην υψηλή παστερίωση, προκειμένου να μειώσουν σε επιθυμητό βαθμό, το μικροβιακό φορτίο, επιτυγχάνονται με ειδικούς εναλλάκτες θερμότητας στους οποίους το γάλα ρέει με ορισμένη ταχύτητα και σε πολύ λεπτό στρώμα κατά μήκος τους, όπου διαδοχικά προθερμαίνεται, θερμαίνεται και ψύχεται. Υπάρχουν πολλοί τύποι εναλλακτών θερμότητας, αλλά αυτός που έχει επικρατήσει στην παστερίωση του γάλακτος είναι ο πλακοειδής εναλλάκτης. Οι πλάκες από τις οποίες αποτελείται ο εναλλάκτης έχουν επιφάνεια που φέρει αυλακώσεις ή εμβαθύνσεις, ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια θέρμανσης. Όταν συναρμολογούνται δημιουργούνται δύο διαφορετικοί θάλαμοι κυκλοφορίας οι οποίοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά διαχωρίζονται από την ανώμαλη επιφάνεια των πλακών. Στον ένα θάλαμο κυκλοφορεί το γάλα και στον άλλο, σε αντίθετη ροή, το θερμαντικό ή ψυκτικό μέσο.⁴

Δεξαμενή Ισορροπίας

Η εσωτερική βαλβίδα ελέγχου της ροής, ρυθμίζει τη ροή του γάλακτος και επιτυγχάνει ένα σταθερό επίπεδο μέσα στη δεξαμενή ισορροπίας. Αν η παροχή του γάλακτος διακοπεί, η στάθμη θα αρχίσει να κατεβαίνει.

Επειδή το σύστημα παστερίωσης πρέπει καθόλη τη διάρκεια της λειτουργίας του να είναι γεμάτο, έτσι ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του προϊόντος στις πλάκες του εναλλάκτη, η δεξαμενή ισορροπίας είναι συνήθως εφοδιασμένη με ένα θερμοστοιχείο, το οποίο μεταδίδει σήμα στο κέντρο ελέγχου, όταν η δεξαμενή φτάσει στο ελάχιστο της στάθμη της. Αυτό το σήμα ενεργοποιεί τη βαλβίδα αντίστροφης ροής, η οποία επιστρέφει το προϊόν στη δεξαμενή ισορροπίας.

Αντλία Παροχής

Η αντλία παροχής εφοδιάζει το σύστημα με γάλα από τη δεξαμενή εξισορρόπησης, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται σταθερή παροχή.

Ροόμετρο

Το ροόμετρο διατηρεί τη ροή του γάλακτος μέσα στο σύστημα σε μια σταθερή τιμή. Αυτό εγγυάται σταθερό έλεγχο της θερμοκρασίας και σταθερό χρόνο παραμονής του γάλακτος, προκειμένου να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα της παστερίωσης.

Μονάδα Προθέρμανσης

Το ψυχρό, μη επεξεργασμένο γάλα αντλείται στο πρώτο τμήμα του συστήματος παστερίωσης, που είναι το τμήμα προθέρμανσης. Σε αυτό το σημείο το γάλα θερμαίνεται με το ήδη παστεριωμένο γάλα, ενώ ταυτόχρονα το δεύτερο ψύχεται.

Παστερίωση

Η παστερίωση γίνεται με τη βοήθεια θερμού νερού και η τελική θερμοκρασία του γάλακτος είναι 2-3°C, πάνω από τη θερμοκρασία παστερίωσης. Το πιο θερμό γάλα κινείται προς τον εξωτερικό σωληνοειδή χώρο παραμονής. Μετά την παραμονή, η θερμοκρασία του γάλακτος ελέγχεται με αισθητήρα στη γραμμή παστερίωσης.¹⁸

Βαλβίδα Αντίστροφης Ροής

Ένας αισθητήρας μετά το χώρο παραμονής του γάλακτος, μεταδίδει σήμα στη μονάδα ελέγχου της θερμοκρασίας. Μόλις η θερμοκρασία κατέβει κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή που αντιστοιχεί στην ελάχιστη θερμοκρασία, το κέντρο ελέγχου αλλάζει τη βαλβίδα αντίστροφης ροής και αντιστρέφει τη ροή του γάλακτος, οδηγώντας το στη δεξαμενή ισορροπίας για να παστεριωθεί εκ νέου.

Ψύξη

Μετά την παραμονή του, το γάλα κινείται προς το τμήμα ψύξης. Εκεί το παστεριωμένο γάλα μεταδίδει τη θερμότητά του στο εισερχόμενο ψυχρό γάλα. Το παστεριωμένο γάλα ψύχεται επιπλέον στο δεύτερο τμήμα ψύξης με ψυχρό και παγωμένο νερό.¹⁸

4.9 ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΑΣΤΕΡΙΩΜΕΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Για την προώθηση του γάλακτος στον καταναλωτή, το παστεριωμένο γάλα πρέπει να συσκευαστεί, ώστε να προστατεύεται η υγιεινή του. Η συσκευασία γίνεται στο εργοστάσιο στο τμήμα συσκευασίας, ή αλλιώς στο τμήμα εμφιάλωσης, το οποίο πρέπει να είναι απομονωμένο και να λειτουργεί σε αυστηρές συνθήκες υγιεινής, επειδή στη φάση αυτή υπάρχει κίνδυνος επιμόλυνσης του γάλακτος. Η συσκευασία γίνεται κυρίως σε πλαστικές φιάλες μια χρήσης, στις οποίες χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά όπως χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο ή πολυβινυλόχλωρίδιο (PVC) και σε χαρτονένια κουτιά διαφόρου σχήματος, τα οποία διαμορφώνονται τη στιγμή της πλήρωσης από ειδική μηχανή. Η εσωτερική τους επένδυση αποτελείται από ειδικής προδιαγραφής πλαστική μεμβράνη, συνήθως πολυαιθυλένιο, το οποίο πρέπει να μην αντιδρά με τα συστατικά του γάλακτος και να μην αφήνει κατάλοιπα σε αυτό. Η συσκευασία αυτή, παρά τα πλεονεκτήματά της παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα υγιεινής και συχνά το γάλα επιμολύνεται στη φάση αυτή. Η χρήση γυάλινων συσκευασιών, πλέον δεν χρησιμοποιείται, αφού έχουν αναπτυχθεί πιο σύγχρονα υλικά. Σε κάθε περίπτωση, το υλικό της συσκευασίας, πρέπει να μην επιτρέπει την είσοδο νερού και ξένων οσμών και να μην αντιδρά με το παστεριωμένο γάλα προσδίδοντας του ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά. Επίσης, σε περίπτωση χονδρικής πώλησης το γάλα συσκευάζεται σε γαλακτοδοχεία χωρητικότητας μέχρι 20 L, τα οποία πρέπει να αποστειρώνονται πριν τη χρήση τους.^{4,14}

4.10 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ - ΔΙΑΝΟΜΗ

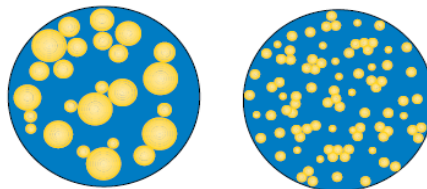
Το παστεριωμένο γάλα πρέπει να συντηρείται σε θερμοκρασία ψύξης <7°C, στην οποία μπορεί να διατηρηθεί για χρόνο 3-5 ημερών. Η διανομή ανάλογα με την απόσταση των καταστημάτων και των πρατηρίων πώλησης από το εργοστάσιο πρέπει να γίνεται είτε με ισοθερμοκρασιακά οχήματα είτε με οχήματα-ψυγεία και η θερμοκρασία του γάλακτος δεν πρέπει να ανέρχεται πάνω από τους 10°C. Στα πρατήρια πρέπει να τοποθετείται αμέσως μέσα στα ψυγεία, τα οποία πρέπει να λειτουργούν σε θερμοκρασία μικρότερη από 7°C.⁴

Η ψύξη του γάλακτος προκαλεί κάποιες αλλαγές, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι:

1. Η ανάπτυξη των περισσότερων μικροοργανισμών, είναι πολύ πιο αργή, αν όχι μηδενική και έτσι δεν προκαλούνται αλλαγές στο γάλα λόγω αυτών.
2. Σχεδόν όλες οι χημικές και ενζυμικές αντιδράσεις επιβραδύνονται.
3. Η αυτοοξειδωση των λιπών, είτε προκαλείται από το φως είτε από τα ιόντα Cu^{2+} , ενισχύεται πιθανώς, επειδή η δραστηριότητα του ενζύμου υπεροξειδικής δισμουτάσης μειώνεται.
4. Λαμβάνουν χώρα αλλαγές στη διαλυτότητα των αλάτων. Το ποσοστό των μικκυλίων φωσφορικού ασβεστίου μειώνεται και το pH αυξάνεται.
5. Τα μικκύλια των καζεϊνών καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και μέρος των καζεϊνών, κυρίως οι β-καζεΐνες, διαλύονται μέσα στο γάλα, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ιξώδους.
6. Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων χάνει ορισμένα συστατικά, οπότε η δομή της αλλάζει και η αλλαγή αυτή είναι αναντίστροφη.
7. Τα τριγλυκερίδια στα λιποσφαίρια κρυσταλλώνονται μερικώς.⁶

5. ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ

Η ομογενοποίηση είναι μια βιομηχανική διεργασία, που χρησιμοποιείται ως μέσο σταθεροποίησης των λιπαρών στα γαλακτώματα, ενάντια στο διαχωρισμό λόγω βαρύτητας.⁷ Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω με τον όρο ομογενοποίηση εννοείται η διάσπαση των λιποσφαιρίων σε πολλά μικρότερα, τα οποία σταθεροποιούνται από μια σχηματιζόμενη διεπιφάνεια που αποτελείται από τη μεμβράνη τους, καθώς και από προσροφημένες πρωτεΐνες, που περιλαμβάνουν καζεΐνες και πρωτεΐνες ορού, κυρίως τη β-γαλακτογλουβίνη.²⁵ Ταυτόχρονα συμβαίνουν και άλλα φαινόμενα, όπως είναι η αύξηση του ιξώδους και η μείωση της τάσης του γάλακτος προς πήξη.^{16,26} Τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά του γάλακτος αλλάζουν με την ομογενοποίηση. Η πιο εμφανής επίδραση είναι στα λιποσφαίρια, όμως παρατηρούνται και μικρές, αλλά πολύ σημαντικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά των πρωτεϊνών ορού. Μετά την ομογενοποίηση το μέγεθος των λιποσφαιρίων μειώνεται και η διάμετρος τους φτάνει τα 2–3μm, ενώ για μία επιτυχημένη ομογενοποίηση αναφέρεται ότι το μέγεθός τους θα πρέπει να είναι μικρότερο από 1μm.⁷



Εικόνα 11: Μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων με την ομογενοποίησή τους

Πιο αναλυτικά η ομογενοποίηση χρησιμοποιείται για τους παρακάτω λόγους:⁶

- Για εξουδετέρωση της αποκορύφωσης: Για να επιτευχθεί αυτό, το μέγεθος των λιποσφαιρίων θα πρέπει να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό. Ένα στρώμα κρέμας στην επιφάνεια του προϊόντος μπορεί να είναι ανεπιθύμητος παράγοντας για τους

καταναλωτές, ειδικότερα όταν η συσκευασία δεν είναι διαφανής και δεν μπορούν να αναγνωρίσουν το ελάττωμα άμεσα.

- Για βελτίωση της σταθερότητας ενάντια στη συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων: Η αυξημένη σταθερότητα των ομογενοποιημένων λιποσφαιρίων οφείλεται στη μειωμένη τους διάμετρο και στη διασπορά τους στην επιφάνεια.
- Για τη δημιουργία επιθυμητών ρεολογικών ιδιοτήτων: Ο σχηματισμός ομογενοποιημένων συσσωματωμάτων μπορεί να αυξήσει το ιξώδες κάποιου γαλακτοκομικού προϊόντος, όπως είναι η κρέμα. Το ομογενοποιημένο γάλα έχει υψηλότερο ιξώδες σε σχέση με το μη ομογενοποιημένο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ομογενοποιημένα λιποσφαίρια καταλαμβάνουν μεγαλύτερη επιφάνεια από τα μη ομογενοποιημένα και καλύπτονται μερικώς από καζεΐνη, συμμετέχοντας στη συσσωμάτωση των καζεϊνικών μικκυλίων.

Η ομογενοποίηση προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Ομοιόμορφη κατανομή της λιπαρής φάσης στο γάλα
- Μειωμένη τάση συσσωμάτωσης λιποσφαιρίων κατά τη διατήρηση του γάλακτος σε ψύξη
- Λευκότερο χρώμα του γάλακτος
- Αύξηση του ιξώδους του γάλακτος
- Ταχύτερη πήξη του γάλακτος με πυτιά
- Μειωμένη τάση του λίπους για οξειδωση και ως εκ τούτου μείωση του σχηματισμού ξένης γεύσης-αρώματος στο γάλα
- Από θρεπτική άποψη η ομογενοποίηση βοηθά στην απορρόφηση των λιπαρών και στην καλύτερη αξιοποίηση των πρωτεϊνών από τον ανθρώπινο οργανισμό, γεγονός που οφείλεται στο ότι μετά την ομογενοποίηση όχι μόνο τα λίπη, αλλά και οι πρωτεΐνες βρίσκονται σε πολύ καλή διασπορά.^{4,6,14,18}

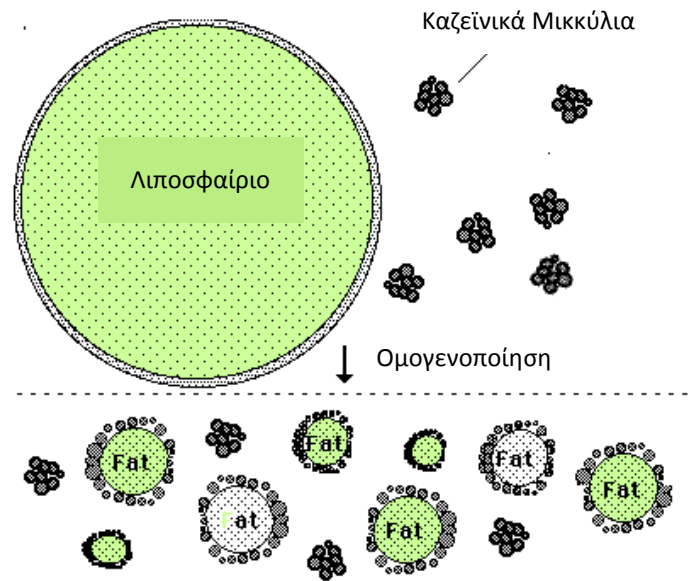
Η ομογενοποίηση εμφανίζει όμως και ορισμένα μειονεκτήματα όπως:

- Δεν μπορεί να διαχωριστεί αποτελεσματικά το λίπος μετά από αυτή, αν χρειαστεί
- Το γάλα γίνεται ευαίσθητο στο ηλιακό φως και αποκτά γρήγορα μεταλλική γεύση

- Λόγω της βλάβης της μεμβράνης των λιποσφαιρίων, δρουν ευκολότερα τα λιπολυτικά ένζυμα (λιπάσες)
- Μειώνεται η σταθερότητα των πρωτεϊνών στη θέρμανση.^{4,18}
- Αναπτύσσεται μια γεύση «ψαριού», μετά την ομογενοποίηση. Αυτό κυρίως οφείλεται στα φωσφολιπίδια που απελευθερώνονται, όταν καταστραφεί η μεμβράνη των λιποσφαιρίων και μπορούν να παράγουν μεταβολίτες με οσμή «ψαριού», όταν συνεργήσουν με ορισμένους μικροοργανισμούς, όπως ψευδομονάδες.¹⁴

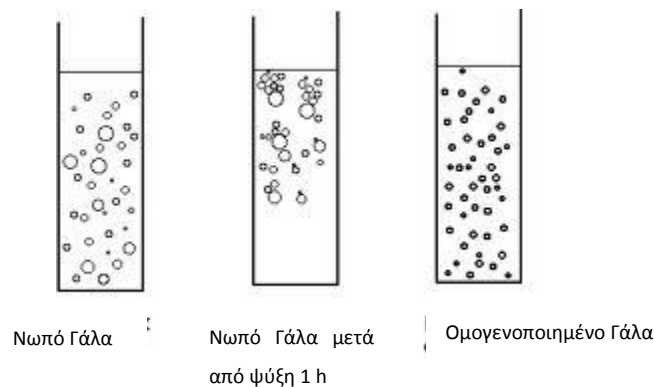
5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΣΠΑΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΤΩΝ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, με την ομογενοποίηση τα λιποσφαίρια διασπώνται σε μικρότερα, που φτάνουν σε μέγεθος ακόμη και $<1 \mu\text{m}$. Επίσης, τα λιποσφαίρια περιβάλλονται από μια μεμβράνη, η οποία αποτελείται κατά το $1/3$ από φωσφατίδια (φωσφολιπίδια) και κατά τα $2/3$ από πρωτεΐνες. Η ιδιότητα αυτής της μεμβράνης είναι να διατηρεί το γάλα σταθερό. Κατά την ομογενοποίηση όμως του γάλακτος, η μεμβράνη αυτή καταστρέφεται και τα ακάλυπτα τμήματα των λιποσφαιρίων προσελκύουν τα υπομικκυλία, με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέας μεμβράνης. Το πλέον ομογενοποιημένο γάλα είναι ιδιαίτερα σταθερό και η νέα μεμβράνη των λιποσφαιρίων αποτελείται κυρίως από καζεΐνες, ενώ η ποσότητα των φωσφολιπιδίων είναι μειωμένη. Η αρνητική φόρτιση των απορροφημένων μικκυλίων καζεΐνης, κάνει τα λιποσφαίρια πιο απωθητικά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα τη διατήρηση των λιποσφαιρίων χωρίς να συσσωματώνονται.¹⁵ Οπότε η ομογενοποίηση δεν επιδρά μόνο στο μέγεθος των λιποσφαιρίων, αλλά και στη σύσταση της μεμβράνης αυτών.¹⁴



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση λιποσφαιρίων πριν και μετά την ομογενοποίηση

Ο πιο σημαντικός παράγοντας στη μείωση της τάσης αποκορύφωσης των λιπαρών δεν είναι τόσο η μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων, αλλά το ότι η διασπορά τους παραμένει σταθερή και ομοιόμορφη μέσα στο γάλα. Έτσι σε ένα κανονικά ομογενοποιημένο γάλα, δεν υπάρχει έντονη τάση μεταξύ των λιποσφαιρίων, να σχηματίζουν χαλαρά συσσωματώματα, όπως γίνεται στο μη ομογενοποιημένο γάλα.⁷ Όπως φαίνεται και στην εικόνα 13, το νωπό γάλα περιέχει μικρά και μεγάλα λιποσφαίρια, τα οποία κατά τη διατήρησή τους σε ψύξη συσσωματώνονται και ανυψώνονται. Στην περίπτωση, όμως του ομογενοποιημένου γάλακτος, τα λιποσφαίρια, με μικρό μέγεθος είναι ομοιόμορφα κατανομημένα και δεν παρουσιάζουν τέτοια τάση συσσωμάτωσης και ανύψωσης.

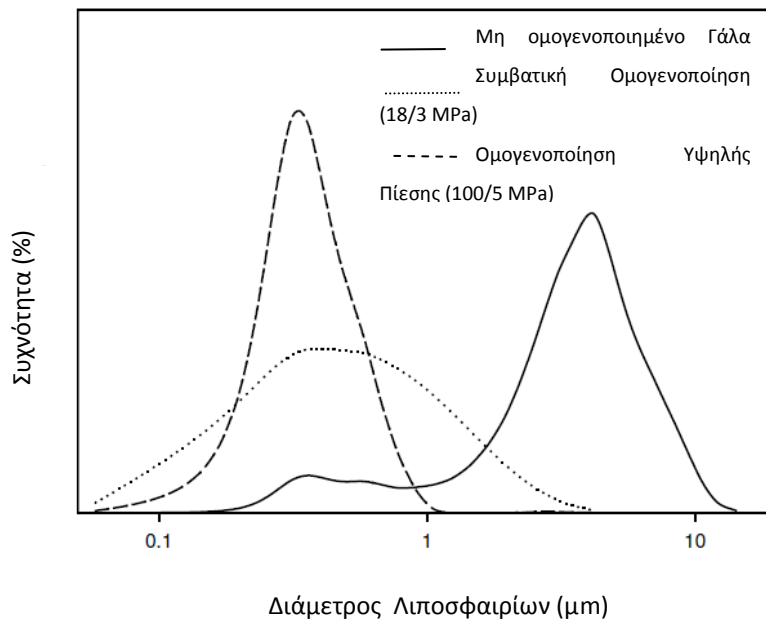


Εικόνα 13: Παρουσίαση κατανομής και μεγέθους λιποσφαιρίων, σε διάφορες καταστάσεις

5.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ

Ένας από τους καλύτερους τρόπους για τον προσδιορισμό της απόδοσης της ομογενοποίησης είναι η εξέταση δειγμάτων μέσω ενός μικροσκοπίου, όπου μπορεί να εκτιμηθεί το μέγεθος των λιποσφαιρίων.¹⁶ Με το οπτικό μικροσκόπιο γίνεται οπτική παρουσίαση των λιποσφαιρίων, ο προσδιορισμός, όμως, του μεγέθους τους, μέσω του οργάνου αυτού είναι δύσκολος και χρονοβόρος, ενώ δεν υπάρχει δυνατότητα να μετρηθούν τα λιποσφαίρια με διάμετρο $<0,3 \mu\text{m}$. Ένα σχετικά νέο όργανο, το Coulter LS130 φασματοφωτόμετρο φωτονίου, το οποίο χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ, μπορεί να προσδιορίσει σωματίδια με διάμετρο από 1 έως 10.000 nm. Οι μετρήσεις βασίζονται στην περίθλαση, τη σκέδαση και την πόλωση των ακτίνων λέιζερ. Με αυτό τον τρόπο προσδιορίζεται η διάμετρος των σωματιδίων του γάλακτος, που κυμαίνεται από 0,1 μέχρι 900 μm . Μπορεί, επίσης, να μετρηθούν με αυτό το όργανο κατανομές κάτω από τα 0,6 μm , που οφείλονται στα μικκύλια των καζεϊνών.¹⁵ Ένας ακόμη τρόπος που χρησιμοποιείται τόσο για τη μέτρηση της κατανομής των λιποσφαιρίων, όσο και της κατανομής των καζεϊνικών μικκυλίων είναι το όργανο zetasizer, για το οποίο υπάρχουν ορισμένες αναφορές.^{27,28}

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η κατανομή της διαμέτρου των λιποσφαιρίων σε μη ομογενοποιημένο γάλα, σε ομογενοποιημένο γάλα με χαμηλή πίεση και σε ομογενοποιημένο γάλα με υψηλή πίεση. Στο μη ομογενοποιημένο γάλα η κατανομή των λιποσφαιρίων δεν είναι κανονική και φαίνεται σαν να υπάρχουν και άλλες κορυφές, γεγονός που οφείλεται στο ότι περιέχονται σε αυτό από πολύ μικρά σε μέγεθος λιποσφαίρια ($<1 \mu\text{m}$) σε μικρό ποσοστό, μέχρι πολύ μεγάλα, με την πλειοψηφία αυτών να κυμαίνεται μεταξύ 1-10 μm . Στην περίπτωση της συμβατικής ομογενοποίησης, η διάμετρος των λιποσφαιρίων του γάλακτος είναι μικρότερη από αυτή του μη ομογενοποιημένου γάλακτος και κυμαίνεται μεταξύ 0,1-5 μm . Τα λιποσφαίρια που έχουν ομογενοποιηθεί με υψηλή πίεση, παρουσιάζουν κανονική κατανομή και κυμαίνονται μεταξύ 0,1-1 μm , πολύ μικρότερα από εκείνα των λιποσφαιρίων των δύο προηγούμενων δειγμάτων γάλακτος.



Διάγραμμα 2: Επίδραση της ομογενοποίησης στην κατανομή του μεγέθους των λιποσφαιρίων γάλακτος

5.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗΣ

Πέντε είναι οι κύριες συσκευές ομογενοποίησης:

- Αναμικτήρες υψηλής ταχύτητας
- Ομογενοποιητές υψηλής πίεσης
- Μύλοι κολλοειδών
- Μικρορευστοποιητές (Microfluidizer)
- Ομογενοποιητές με υπέρηχους.

5.3.1 Αναμικτήρες Υψηλής Ταχύτητας

Οι αναμικτήρες υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιούν τουρμπίνες ή προπέλες για την προ-ανάμιξη γαλακτωμάτων μικρού ιξώδους. Λειτουργούν με διατμητική τάση πάνω στο τρόφιμο, λόγω των ακμών των λεπίδων.²⁶

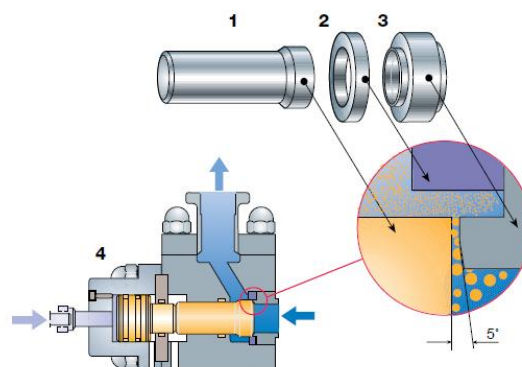
5.3.2 Ομογενοποιητές Υψηλής Πίεσης

Οι ομογενοποιητές υψηλής πίεσης αποτελούνται από την αντλία υψηλής πίεσης, η οποία συνδέεται με τη βαλβίδα ομογενοποίησης. Το μίγμα των λιπαρών και του

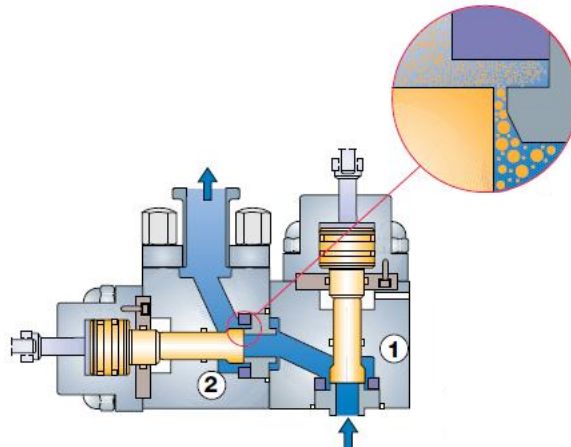
αποβουτυρωμένου γάλακτος ομογενοποιείται με χρήση υψηλής πίεσης (10–20 MPa) σε θερμοκρασίες 55–70°C,²⁹ κοντά σε αυτές που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες παστερίωσης. Όταν το υγρό αντλείται μέσα από το μικρό κενό μεταξύ της βαλβίδας και της βάσης της βαλβίδας, η υψηλή πίεση αυξάνει την ταχύτητα του υγρού (80–150 m/s). Τη στιγμή που το ρευστό απομακρύνεται από τη βαλβίδα, στιγμιαία η ταχύτητά του μειώνεται. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται δραστικές δυνάμεις, οι οποίες φυσικά διασπούν τα λιποσφαίρια, κυρίως τα μεγαλύτερα εξ αυτών, οδηγώντας σε μείωση της μέσης διαμέτρου από 3–4 μm σε λιγότερο από 1 μm.^{15,26}

Υπάρχουν δύο είδη ομογενοποιητών υψηλής πίεσης. Αυτοί που διαθέτουν μία μόνο συσκευή ομογενοποίησης και αυτοί που διαθέτουν δύο συσκευές συνδεδεμένες σε σειρά, για αυτό και ονομάζονται ομογενοποιητές ενός σταδίου και δύο σταδίων αντίστοιχα. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι αυτή της ομογενοποίησης των δύο σταδίων, η οποία επιτυγχάνει τα βέλτιστα αποτελέσματα ομογενοποίησης, εφόσον τα πιθανά συσσωματώματα των λιποσφαιρίων, που μπορεί να σχηματιστούν στην ομογενοποίηση ενός σταδίου, αποφεύγονται με τη χρήση δεύτερης βαλβίδας ομογενοποίησης.^{18,26}

Η ενός σταδίου ομογενοποίηση χρησιμοποιείται για ομογενοποίηση προϊόντων στα οποία απαιτείται υψηλό ιξώδες. Η δύο σταδίων ομογενοποίηση χρησιμοποιείται σε προϊόντα με υψηλό περιεχόμενο σε λιπαρά και σε αυτά που είναι επιθυμητή υψηλή απόδοση ομογενοποίησης.^{16,18}



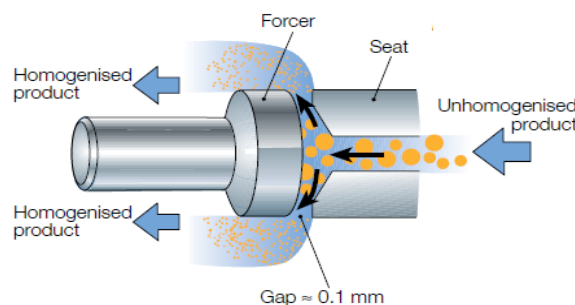
Εικόνα 14: Ομογενοποιητής ενός σταδίου



Εικόνα 15: Ομογενοποιητής δύο σταδίων

5.3.2.1 Βαλβίδα Ομογενοποίησης

Η καρδιά του ομογενοποιητή είναι η βαλβίδα ομογενοποίησης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 16. Αυτή μπορεί να έχει διάφορα σχήματα και μεγέθη. Οι περισσότερες από τις βαλβίδες έχουν και ένα δεύτερο τμήμα το οποίο ονομάζεται δακτύλιος θραύσης, ο οποίος περιβάλλει την κυρίως βαλβίδα, έτσι ώστε το ρευστό να χτυπά κάθετα στην εσωτερική επιφάνεια του δακτυλίου, καθώς απομακρύνεται από το ακροφύσιο, το οποίο σχηματίζεται με τη βαλβίδα και μια βάση. Τα μέρη της βαλβίδας υπόκεινται σε υπερβολική τριβή, λόγω της υψηλής ταχύτητας και πίεσης, με τις οποίες το ρευστό διαπερνά τη βαλβίδα, για αυτό το λόγο θα πρέπει να κατασκευάζονται από πολύ σκληρά και ανθεκτικά στη φθορά μέταλλα.¹⁶



Εικόνα 16: Βαλβίδα Ομογενοποίησης

Το μέγεθος της βαλβίδας θα πρέπει να είναι κατάλληλο, έτσι ώστε η μηχανή να επιτυγχάνει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Βαλβίδες που είναι πολύ μεγάλες έχουν την τάση να

δημιουργούν συσσωματώματα, ενώ αυτές που είναι αρκετά μικρές μπορεί να μην θραύουν κατάλληλα τα λιποσφαίρια και επίσης να δημιουργούν συσσωματώματα.¹⁶

5.3.3 Μύλοι Κολλοειδών

Οι μύλοι κολλοειδών είναι μύλοι σε σχήμα δίσκου, με μικρό κενό (0,05–1,3 mm) μεταξύ ενός στάσιμου δίσκου και ενός κάθετου σε αυτό δίσκου που στρέφεται στις 3000–15000 rpm. Δημιουργούν υψηλές διατμητικές τάσεις, οι οποίες είναι πιο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους ομογενοποιητές πίεσης, όσον αφορά τα ρευστά μεγάλου ιξώδους. Στην περίπτωση των ρευστών με μέσο ιξώδες παράγουν μεγαλύτερα μεγέθη σφαιριδίων, από ότι οι ομογενοποιητές πίεσης. Η τριβή που δημιουργείται από τα πολύ ιξώδη τρόφιμα, απαιτεί τη ψύξη των μύλων, με σύστημα κυκλοφορίας νερού.²⁶

5.3.4 Μικρορευστοποιητές (Microfluidizer)

Ο μικρορευστοποιητής είναι ένας θάλαμος κωνικού σχήματος, που διαθέτει έναν εφαπτομενικό σωλήνα τροφοδοσίας στο κέντρο της διάταξης και σωλήνες εξόδου στο τέλος του κώνου. Το υγρό τροφοδοσίας εισέρχεται στο θάλαμο με υψηλή ταχύτητα, η οποία του επιτρέπει να κινείται περιστροφικά μέσα στο θάλαμο σε όλο μικρότερους κύκλους και αυξανόμενης της ταχύτητάς του, μέχρι να φτάσει στην έξοδο, όπου και απομακρύνεται. Η όλη διαδικασία διαρκεί ελάχιστα δευτερόλεπτα. Οι διαφορές στην ταχύτητα ανάμεσα στα γειτονικά στρώματα του υγρού προκαλούν ισχυρές διατμητικές δυνάμεις και σε συνδυασμό με τη σπηλαίωση και τις υπερυψηλής συχνότητας δονήσεις, διασπών τα σφαιρίδια σε μικρότερα φτάνοντας σε μέγεθος τα 2-8 μm. Ο μικρορευστοποιητής χρησιμοποιείται για τη μείωση του μεγέθους των σωματιδίων, για τη διάλυση των γαλακτωμάτων και για τη διάσπαση των κυττάρων. Αν και η χρήση του μικρορευστοποιητή δεν είναι τόσο διαδεδομένη ως μέθοδος ομογενοποίησης, έχει εφαρμοστεί σε διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα και κυρίως σε τυριά.^{26,30,31}



Εικόνα 17: Μικρορευστοποιητής

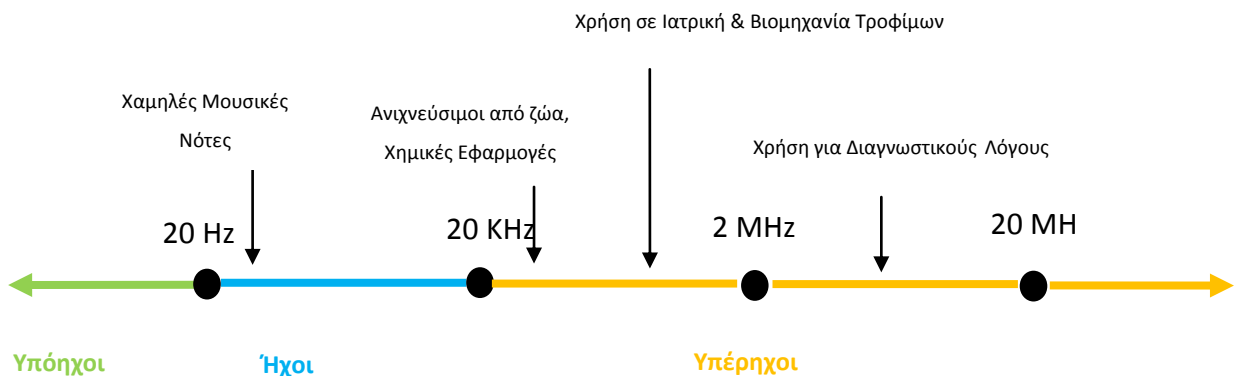
5.3.5 Ομογενοποίηση με Υπέρηχους

Πριν γίνει περιγραφή του εξοπλισμού ομογενοποίησης με υπέρηχους, είναι σημαντικό να οριστούν οι υπέρηχοι και να εξηγηθεί η δράση τους. Τα παραπάνω αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 6.

6. ΥΠΕΡΗΧΟΙ

6.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

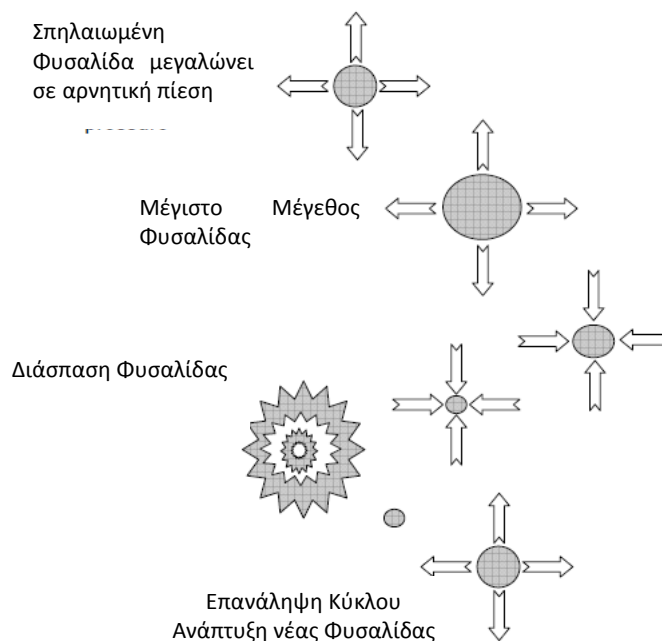
Οι υπέρηχοι είναι μηχανικά κύματα που χρειάζονται ένα ελαστικό μέσο για να διαδοθούν. Η διαφορά μεταξύ ήχων και υπέρηχων είναι η συχνότητα του κύματος, τα ηχητικά κύματα σε συχνότητες ανθρώπινου αυτιού είναι από 20 Hz μέχρι 20 KHz, ενώ οι υπέρηχοι έχουν συχνότητα πάνω από αυτή του ανθρώπινου αυτιού, η οποία είναι μεγαλύτερη από 20 KHz. Παρακάτω φαίνεται το ηχητικό φάσμα, που χωρίζεται σε υπόηχους, ήχους, που γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί και υπέρηχους.



Σχήμα 1: Ηχητικό Φάσμα

Το κύριο φαινόμενο που σχετίζεται με τους υπέρηχους είναι το φαινόμενο της σπηλαίωσης. Συγκεκριμένα, σπηλαίωση είναι η διαδικασία σχηματισμού, ανάπτυξης και διάσπασης φυσαλίδων με τη διάδοση των υπέρηχων σε ένα μέσο. Καθώς τα κύματα διαπερνούν το μέσο, υπάρχουν συνεχόμενες αλλαγές της πίεσης, οι οποίες οδηγούν στη σπηλαίωση. Οι φυσαλίδες σχηματίζονται στις περιοχές, όπου το ηχητικό κύμα είναι πιο αραιό, λόγω της αρνητικής πίεσης που δημιουργείται σε αυτό το σημείο. Καθώς το κύμα περνά, οι φυσαλίδες ταλαντώνονται και αυξάνουν σε μέγεθος, μέχρι ένα μέγιστο, μη σταθερό μέγεθος, πέρα του οποίου δεν μπορούν να μεγαλώσουν άλλο. Οι φυσαλίδες τότε διασπώνται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κρουστικών κυμάτων. Όταν η διάσπαση συμβεί κοντά στην επιφάνεια ενός στερεού, όπως για παράδειγμα το κυτταρικό τοίχωμα των βακτηρίων, είναι ικανή να καταστρέψει την επιφάνεια των κυττάρων. Η διάσπαση των φυσαλίδων αυξάνει τοπικά σε μεγάλο βαθμό και για σύντομο χρονικό διάστημα τη θερμοκρασία (5500°C) και την πίεση (50 MPa). Αυτά τα τοπικά φαινόμενα μπορεί να

οδηγήσουν σε χημικές αντιδράσεις και στην παραγωγή ελευθέρων ριζών. Για παράδειγμα, αν το χρησιμοποιούμενο μέσο είναι το νερό, δημιουργούνται ρίζες υδρογόνου και υδροξυλίου. Αύξηση της συχνότητας των υπέρηχων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των σπηλαιωμένων φυσαλίδων. Στα 20 KHz οι σπηλαιωμένες φυσαλίδες είναι παροδικές, ενώ όσο αυξάνεται η συχνότητα οι φυσαλίδες γίνονται όλο και πιο σταθερές. Η συγκεκριμένη συχνότητα έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδανική για την επεξεργασία των τροφίμων, εφόσον το ποσό των ριζών που παράγεται είναι το λιγότερο δυνατό, σε σύγκριση με άλλες συχνότητες.³²⁻³⁶



Εικόνα 18: Σπηλαιώση υπό την επίρεια των υπέρηχων

6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Η εφαρμογή των υπέρηχων στις διεργασίες των τροφίμων είναι μια αρκετά νέα και πολλά υποσχόμενη διεργασία. Οι υπέρηχοι έχουν σημαντικές εφαρμογές στην εκχύλιση διαφόρων συστατικών από φυτά, αλλά και στην ομογενοποίηση του γάλακτος. Έχει αποδειχθεί ότι υψηλής έντασης κύματα υπέρηχων μπορούν να διαρρήξουν κύτταρα και να μετουσιώσουν ένζυμα και ακόμη και οι χαμηλής έντασης υπέρηχοι είναι ικανοί να τροποποιήσουν το μεταβολισμό των κυττάρων. Τέλος, σημαντική είναι και η συμβολή των υπέρηχων στον καθαρισμό επιφανειών. Η εφαρμογή των υπέρηχων στα τρόφιμα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη χρήση τους:

6.2.1.Εφαρμογές Υπέρηχων με Άμεση Σχέση με το Τρόφιμο

6.2.1.1 Χρήση Υπέρηχων για Επεξεργασία Τροφίμων

Η απαίτηση για προϊόντα υψηλής ποιότητας, ως προς τη φυσική οσμή και γεύση, τα οποία δεν θα περιέχουν πρόσθετα και συντηρητικά, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη μη θερμικών διεργασιών, όπως είναι οι υπέρηχοι. Η εφαρμογή των υπέρηχων στην επιστήμη είναι πολύ σημαντική. Η χρήση του εξοπλισμού των υπέρηχων, του λουτρού υπέρηχων ή της διάταξης με το στέλεχος έχει καθιερωθεί στις πετροχημικές, χημικές, φαρμακευτικές βιομηχανίες και στις βιομηχανίες υφαντουργίας, πολυμερών και καλλυντικών, ενώ στη βιομηχανία των τροφίμων αρχίζει να αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο.³⁷

6.2.1.1.1 Οι Υπέρηχοι ως Αναλυτική Μέθοδος

Η πιο διαδεδομένη χρήση των υπέρηχων στη βιομηχανία των τροφίμων είναι ως αναλυτική μέθοδος, που παρέχει πληροφορίες για τις φυσικοχημικές ιδιότητες του τροφίμου, όπως είναι η σύσταση, η δομή και η φυσική του κατάσταση. Οι υπέρηχοι σε αυτό τον τομέα εμφανίζουν πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες αναλυτικές μεθόδους. Οι μετρήσεις είναι πιο γρήγορες, μη καταστρεπτικές, ακριβείς, αυτοματοποιημένες και μπορούν να εφαρμοστούν στο εργαστήριο ή και επιτόπου. Με τη χρήση των υπέρηχων μπορεί να προσδιοριστεί ακόμη και ο βαθμός ομογενοποίησης της κρέμας του γάλακτος με το αποβουτυρωμένο γάλα.^{35,38}

6.2.1.1.2 Οι Υπέρηχοι στη Γαλακτωματοποίηση

Μια από τις αρχικές χρήσεις των υπέρηχων είναι στη διεργασία της γαλακτωματοποίησης. Τα γαλακτώματα που παράγονται με τους υπέρηχους είναι πιο σταθερά, από εκείνα που παράγονται με συμβατική μέθοδο και συνήθως απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου ποσότητα σταθεροποιητή. Η μαγιονέζα, για παράδειγμα, είναι μια ενδιαφέρουσα περίπτωση γαλακτώματος, καθώς το λευκό της χρώμα αντικατοπτρίζει το εξαιρετο γαλάκτωμα που παράγεται με τη χρήση υπέρηχων.³⁵

6.2.1.1.3 Οι Υπέρηχοι στην Ομογενοποίηση του γάλακτος

Οι υπέρηχοι είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την ομογενοποίηση του γάλακτος και έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στον κλάδο της γαλακτοκομικής βιομηχανίας. Το μέγεθος των λιποσφαιρίων, με χρήση υπέρηχων, μπορεί να μειωθεί μέχρι 81,5% και να επιτευχθεί μέγεθος μικρότερο από 1 μm. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι συνδυάζει και θερμική παστερίωση με μικρές απώλειες στη γεύση, καλύτερη ομογενοποίηση και σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Σημαντική είναι και η συνεισφορά των υπέρηχων στη μετουσίωση των πρωτεϊνών. Συγκεκριμένα, η μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού είναι μικρότερη, από ότι στο συμβατικά ομογενοποιημένο γάλα.^{33,34,39}

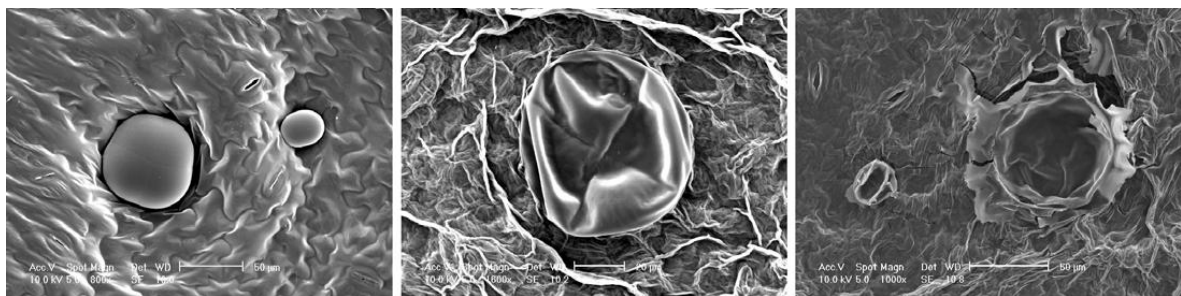
6.2.1.1.4 Οι Υπέρηχοι στην Πήξη γαλακτοκομικών προϊόντων

Οι υπέρηχοι είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία του αποβουτυρωμένου γάλακτος για την παραγωγή πηγμένων προϊόντων, όπου ο έλεγχος και ο χειρισμός της σταθεροποίησης των πηγμάτων είναι πολύ σημαντικός. Συγκεκριμένα, μια ειδικά σχεδιασμένη συσκευή υπέρηχων (τύπου σφυρίχτρας) χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τυριού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαδικασία είχε μειωμένα απόβλητα, μικρότερη κατανάλωση ενέργειας και παραγωγή πιο μαλακού τυριού. Έχει αποδειχθεί από μελέτες ότι η σταθερότητα των πηγμάτων μπορεί να επιτευχθεί, όταν εφαρμόζονται υπέρηχοι στο αποβουτυρωμένο γάλα, αυτό οφείλεται κυρίως, στη θερμότητα που παράγεται κατά την εφαρμογή των υπέρηχων. Στην περίπτωση του γιαουρτιού, οι υπέρηχοι βελτίωσαν τη δράση των λακτοβάκιλων κατά 50% και επίσης προσέδωσαν στο γιαούρτι μια γλυκιά γεύση, χωρίς όμως να αυξάνουν το περιεχόμενό του

σε θερμίδες. Επίσης, το γιαούρτι παρασκευασμένο από γάλα, ομογενοποιημένο με υπέρηχους έχει τη δυνατότητα να συγκρατεί καλύτερα το νερό, παρουσιάζοντας πολύ μικρότερο βαθμό συναίρεσης, ενώ χρειάζεται επίσης μικρότερο χρόνο πήξης.^{29,33,34,39}

6.2.1.1.5 Οι Υπέρηχοι στην Εκχύλιση

Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται στα τρόφιμα και για την εκχύλιση φυτικών ενώσεων από φυτά και καρπούς. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η σπηλαιωμένη φυσαλίδα μπορεί να δημιουργηθεί κοντά στην επιφάνεια του υλικού του φυτού και στη συνέχεια να διασπαστεί. Η υψηλή πίεση και θερμοκρασία που δημιουργούνται κατά τη διάσπαση καταστρέφουν τα κυτταρικά τοιχώματα και το περιεχόμενό τους διαχέεται στο μέσο. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την εκχύλιση συστατικών από φυσικά προϊόντα. Σε αυτή τη διεργασία, οι υπέρηχοι προσδίδουν καλύτερη διείσδυση του διαλύτη στα κύτταρα και βελτιώνουν τη μεταφορά της μάζας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι υπέρηχοι, αυξάνουν την απόδοση της εκχύλισης, με χρήση χαμηλότερων θερμοκρασιών, παράγοντας καθαρότερο προϊόν, σε μικρότερο χρόνο. Στην εικόνα 21 φαίνεται η εκχύλιση ελαίου από βασιλικό. Έχουν γίνει αναφορές για τη χρήση των υπέρηχων στην εκχύλιση των τζιντζερολών από το τζίντζερ. Επίσης, η εκχύλιση αρωμάτων από παλαιωμένα μπράντι, τσάι, κρασί, σαφράν, τομάτες, πιπέρι κ.α., έχει πραγματοποιηθεί με χρήση λουτρού υπέρηχων. Η εκχύλιση συστατικών με τη χρήση υπέρηχων είναι από τις σημαντικότερες και οικονομικά αποδοτικές εφαρμογές των υπέρηχων στα τρόφιμα.^{22,32,34,35}



Εικόνα 19: Παράδειγμα εξαγωγής ελαίων από βασιλικό: η σπηλαιωμένη φυσαλίδα σπάει και εξέρχεται το εσωτερικό συστατικό

6.2.1.1.6 Άλλες Εφαρμογές Υπέρηχων

Οι υψηλής έντασης υπέρηχοι, έχουν εφαρμοστεί για να επιταχύνουν τις διαδικασίες μεταφοράς μάζας κατά την ανάμιξη, τη ξήρανση, την εξαγωγή, την απαέρωση των υγρών τροφίμων, για επαγωγή αντιδράσεων οξειδοαναγωγής, για την εκχύλιση πρωτεϊνών, για αδρανοποίηση ενζύμων και θανάτωση μικροβίων. Ορισμένα παραδείγματα εφαρμογών υψηλής έντασης υπέρηχων στις διεργασίες των τροφίμων φαίνονται στον πίνακα 5.

Επιπρόσθετα, οι υπέρηχοι έχουν εφαρμογές και στη γεωργία. Η χρήση των υπέρηχων διεγείρει τη βλάστηση των σπόρων, αυξάνοντας έτσι την παραγωγικότητα των μεγάλων καλλιεργειών. Οι αποδόσεις αυτών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα της ποικιλίας του φυτού και από το ποσοστό βλάστησης και ανάπτυξης των σπόρων. Έχει βρεθεί, λοιπόν, ότι η απόδοση των καλλιεργειών αυξάνεται, όταν οι σπόροι, πριν τη σπορά τους, υπόκεινται σε επεξεργασία με υπέρηχους.^{35,38}

6.2.1.1 Χρήση Υπέρηχων για μείωση του Μικροβιακού φορτίου

Οι υπέρηχοι έχουν χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά και στη μείωση του μικροβιακού φορτίου των τροφίμων. Τα αποτελέσματα της χρήσης υπέρηχων είναι παρόμοια με αυτά των συμβατικών μεθόδων θέρμανσης, και επειδή οι υπέρηχοι μπορούν να ελέγχουν τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς, η χρήση τους υπό ελεγχόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες, μπορεί να είναι μια εναλλακτική τεχνολογία, η οποία μπορεί να επιτυγχάνει τις επιθυμητές λειτουργικές ιδιότητες, καθώς και τη σταθερότητα του γάλακτος κατά την αποθήκευση. Πολύ σημαντικός είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται κατά την εφαρμογή των υπέρηχων, ο οποίος θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή για να μην μετουσιώνονται οι πρωτεΐνες.^{29,33,34}

Σε συνδυασμό με θέρμανση, οι υπέρηχοι μπορούν να επιταχύνουν το ρυθμό αποστείρωσης των τροφίμων, καθώς μειώνουν τη διάρκεια και την ένταση της θερμικής κατεργασίας, αλλά και τις προκύπτουσες αλλοιώσεις. Το αποτέλεσμα, βέβαια, ως προς την καταστροφή των μικροοργανισμών, δεν είναι το επιθυμητό, όταν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο υπέρηχοι. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν πολύ υψηλές

εντάσεις υπερήχων ή απλούστερα μπορεί να γίνει συνδυασμός των υπερήχων με θέρμανση, πίεση ή και τα δύο μαζί, δηλαδή:

- Συνδυασμός υπερήχων και πίεσης (Manosonication, MS)
- Συνδυασμός υπερήχων και θέρμανσης (Thermosonocation, TS)
- Συνδυασμός υπερήχων, πίεσης και θέρμανσης (Manothermosonication, MTS)

Ο συνδυασμός θέρμανσης, πίεσης και υπερήχων είναι ο πιο αποτελεσματικός, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση στο μικροβιακό φορτίο (Πίνακας 4).^{22,35,37,38}

Πίνακας 4: Επίδραση των υπερήχων σε συνδυασμό με θέρμανση και πίεση²²

Απενεργοποίηση από:	Βλαστικά κύτταρα	Σπόρια	Ένζυμα
Υπέρηχοι (US)	+	-	-
Υπέρηχοι & Θέρμανση (TS)	+	+	-
Υπέρηχοι & Θέρμανση & Πίεση (MTS)	+	+	+

6.2.1.1.1 Απενεργοποίηση Μικροοργανισμών

Έχει βρεθεί ότι όλοι οι μικροοργανισμοί δεν αντιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο στους υπερήχους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των υπερήχων στους μικροοργανισμούς είναι:

- Το εύρος των κυμάτων των υπερήχων
- Ο χρόνος έκθεσης στους υπερήχους
- Η σύσταση του τροφίμου
- Η θερμοκρασία.

Η αποτελεσματικότητα, πέρα από τους παραπάνω παράγοντες, εξαρτάται και από το είδος, το σχήμα ή τη διάμετρο των μικροοργανισμών. Τα μεγαλύτερα κύτταρα είναι πιο ευαίσθητα από ότι τα πιο μικρά. Τα Gram-θετικά βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά, συγκριτικά με τα Gram-αρνητικά, πιθανώς διότι το κυτταρικό τους τοίχωμα είναι πιο παχύ, παρέχοντάς τους καλύτερη προστασία ενάντια στους υπερήχους. Λαμβάνοντας υπόψη το

σχήμα των μικροοργανισμών οι κόκκοι είναι πιο ανθεκτικοί συγκριτικά με τους βάκιλους. Η αντιμικροβιακή δράση των υπέρηχων βασίζεται στις ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της σπηλαίωσης, οδηγώντας στην καταστροφή των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η χρήση των μεθόδων TS, MS ή MTS σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες βρέθηκε αποτελεσματική στην απενεργοποίηση του μικροβιακού φορτίου. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός υπέρηχων με ήπια θερμική κατεργασία είχε ως αποτέλεσμα την αδρανοποίηση διαφόρων μικροοργανισμών, για παράδειγμα οι ζύμες καταστρέφονται γρηγορότερα με τη χρήση συνδυασμού υπέρηχων και θερμικής κατεργασίας.^{22,36}

Ένας, όμως, από τους περιορισμούς της χρήσης των υπέρηχων, είναι η ένταση αυτών που χρειάζεται για να επιτευχθεί επιθυμητή μικροβιακή θανάτωση. Αυτή μπορεί να είναι τέτοια, που να προκαλεί αρνητικές συνέπειες στη φυσική κατάσταση του τροφίμου. Έχει βρεθεί ότι το «λαστιχένιο» άρωμα που μπορεί να αποκτήσει το γάλα μετά από την εφαρμογή υπέρηχων είναι λιγότερο έντονο όσο μειώνεται και η ένταση των υπέρηχων. Για αυτό το λόγο οι επαγόμενες αντιδράσεις από τους υπέρηχους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, έτσι ώστε η εισαγωγή της τεχνολογίας των υπέρηχων υψηλής έντασης στις διεργασίες των τροφίμων να είναι επιτυχής.^{34,40}

6.2.1.1.2 Απενεργοποίηση Σπορίων

Τα βακτηριακά σπόρια είναι ανθεκτικά σε ακραίες συνθήκες, όπως υψηλές θερμοκρασίες και οσμωτική πίεση, υψηλά και χαμηλά pH και μηχανικά σοκ. Τα σπόρια που μπορούν να επιζήσουν έπειτα από θερμική κατεργασία μπορεί να πλήξουν το χρόνο ζωής του τροφίμου λόγω αλλοίωσής του. Τα ενδοσπόρια των ειδών *Bacillus* και *Clostridium* είναι πολύ ανθεκτικά σε ακραίες συνθήκες, για παράδειγμα τα σπόρια του *Bacillus thermophilus* μπορούν να καταστραφούν με θέρμανση στους 100°C για 4 h.²²

Τα σπόρια του *Bacillus subtilis* είναι πολύ δύσκολο να καταστραφούν. Συνεπώς, χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας διαφόρων κατεργασιών, εφόσον είναι πολύ ανθεκτικά, όπου η επιτυχία της διεργασίας μπορεί να

μετρηθεί με βάση τα σπόρια θανατώθηκαν. Συνδυασμός υπέρηχων και πίεσης στα 500 KPa για 12 min απενεργοποιούν πάνω από το 99% των σπορίων.²²

6.2.1.1.3 Απενεργοποίηση Ενζύμων

Για να αποφύγει τη μετουσίωση ένα ένζυμο, θα πρέπει να διατηρήσει τη διαμόρφωσή του. Υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις, δεσμοί υδρογόνου, αλληλεπιδράσεις van der Waals, ηλεκτροστατικές δυνάμεις και εστερικοί περιορισμοί σταθεροποιούν την τρισδιάστατη μοριακή δομή των σφαιρικών πρωτεϊνών.²²

Για τη σταθεροποίηση ορισμένων υλικών του τροφίμου, τα ένζυμα θα πρέπει να απενεργοποιηθούν ή να μειωθεί η δραστηριότητά τους. Στην πραγματικότητα, η πρωτεόλυση που συμβαίνει από κάποια ένζυμα, τις πρωτεάσες, μπορεί να δημιουργήσει ελαττώματα στη γεύση και να εμφανίσει καφέ χρωματισμό στο τρόφιμο. Η απενεργοποίηση των ενζύμων επιτυγχάνεται με θερμική κατεργασία. Παρόλα αυτά, σε μερικές περιπτώσεις τα ανθεκτικά ένζυμα σε έντονη θερμική κατεργασία μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα καθώς η θέρμανση μπορεί να επιδρά αρνητικά σε ορισμένες ιδιότητες του τροφίμου όπως στη γεύση, το χρώμα και τη θρεπτική του αξία. Το γεγονός αυτό έχει αυξήσει το ενδιαφέρον για τους υπέρηχους. Η επίδραση των υπέρηχων στις πρωτεΐνες είναι περίπλοκη. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες, διασπώνται σε υπομονάδες και όταν υπάρχει οξυγόνο η τεταρτοταγής δομή τους δεν μπορεί να ανακτηθεί. Αν οι υπέρηχοι έχουν μεγάλη διάρκεια, οι πρωτεΐνες μπορούν να υδρολυθούν και οι πολυπεπτιδικές τους αλυσίδες να διασπαστούν. Η ευαισθησία των υπέρηχων εξαρτάται από τις συνθήκες της κατεργασίας, αλλά και από τη φύση του ενζύμου. Γενικά, οι υπέρηχοι σε συνδυασμό με άλλες κατεργασίες είναι πιο αποτελεσματικοί και στην απενεργοποίηση των ενζύμων στα τρόφιμα. Ο συνδυασμός υπέρηχων, θέρμανσης και πίεσης (MTS) έχει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα από ότι οι υπέρηχοι χωριστά και επίσης, απενεργοποιεί ορισμένα ένζυμα σε μικρότερες θερμοκρασίες και/ή σε μικρότερους χρόνους από ότι οι θερμικές κατεργασίες στην ίδια θερμοκρασία.^{22,38}

6.2.2 Εφαρμογές Υπέρηχων με Έμμεση Σχέση με το Τρόφιμο

Μια από τις κύριες βιομηχανικές εφαρμογές των υπέρηχων είναι ο καθαρισμός των επιφανειών και έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική τεχνολογία. Το κύριο πλεονέκτημα των υπέρηχων στον καθαρισμό επιφανειών είναι ότι μπορούν να φτάσουν σε σημεία, ακόμη και ρωγμές, όπου οι συμβατικές μέθοδοι καθαρισμού δεν μπορούν. Τα αντικείμενα που μπορούν να καθαριστούν έχουν εύρος από μεγάλα κιβώτια που χρησιμοποιούνται για τη συσκευασία τροφίμων και τη μεταφορά τους, μέχρι λεπτά χειρουργικά μέσα, όπως είναι τα ενδοσκόπια. Η χρήση των υπέρηχων επιτρέπει την καταστροφή ποικιλίας μυκήτων, βακτηρίων και ιών σε πολύ μικρότερο χρόνο, σε σύγκριση με τη θερμική κατεργασία στις ίδιες θερμοκρασίες. Η απομάκρυνση των βακτηρίων από διάφορες επιφάνειες είναι μεγάλης σημασίας στη βιομηχανία τροφίμων και μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά συνδυάζοντας χρήση θερμού νερού που έχει υποστεί επεξεργασία με υπέρηχους και με προσθήκη βιοκτόνων απορρυπαντικών. Τυπικά παραδείγματα αντικειμένων που χρειάζονται επαναλαμβανόμενο καθάρισμα είναι οι πλαστικοί κάδοι, οι γάντζοι στους οποίους κρέμονται τα πουλερικά στη γραμμή παραγωγής και οι ιμάντες μεταφοράς τροφίμων. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υπέρηχων στη διαδικασία καθαρισμού είναι η μικρότερη κατανάλωση χημικών, ο περιορισμός της επαφής του ανθρώπου με τα επικίνδυνα χημικά καθαριστικά, η αύξηση της ταχύτητας καθαρισμού και γενικότερα η ικανότητα των υπέρηχων να καθαρίζουν ακόμη και τις απρόσιτες επιφάνειες.^{22,32,35,38}

Σε πολλές χώρες η χρήση αντιβιοτικών στα τρόφιμα απαγορεύεται αυστηρά. Έχουν γίνει ορισμένες αναφορές για τη χρήση των υπέρηχων στη βελτίωση των αποτελεσμάτων των αντιβιοτικών στον καθαρισμό επιφανειών, και πιο συγκεκριμένα στην απομάκρυνση των βιοφίλων. Οι υπέρηχοι είναι ικανοί να προάγουν την αποτελεσματικότητα ορισμένων αντιβιοτικών σε τέτοια συγκέντρωση, όπου μόνα τους τα βιοφίλα δεν θα μπορούσαν να μειώσουν τη βιωσιμότητα των βακτηρίων. Αυτή η συνέργεια μειώνει τη βιωσιμότητα των μικροοργανισμών. Καθώς η ηλικία των καλλιεργειών αυξάνεται, τα βακτήρια γίνονται πιο ανθεκτικά στην επίδραση μόνο των αντιβιοτικών και έτσι ο συνδυασμός των αντιβιοτικών με τους υπέρηχους αντιστρέφει αυτή την ανθεκτικότητα. Τα αντιβιοτικά μόνα τους

καταστρέφουν το 82% των κυττάρων μέσα σε 2 h, ενώ ο συνδυασμός τους με τους υπέρηχους καταστρέφει το 99% των κυττάρων στον ίδιο χρόνο.^{22,35}

Η αποστείρωση του εξοπλισμού συνήθως γίνεται με θέρμανση, όμως για να επιτευχθεί θανάτωση μεγαλύτερου μικροβιακού φορτίου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες μπορεί να καταστρέψουν τα υλικά περιεκτών, όπως είναι τα ελαστικά και τα πλαστικά. Ορισμένα χημικά μπορούν, επίσης, να χρησιμοποιηθούν για να αποστειρώσουν τον εξοπλισμό, αλλά αυτά μπορεί να είναι δύσκολα στη χρήση τους και επικίνδυνα ως προς θέματα υγείας και ασφαλείας. Η γλουταραλδεΐδη είναι ένα χημικό αποστειρωτικό, το οποίο εφαρμόζεται σε θερμοκρασία δωματίου και σε pH μεγαλύτερο από 7,4, όπου είναι πιο αποτελεσματικό. Μελέτες έδειξαν ότι η χρήση διαλύματος γλουταραλδεΐδης σε συνδυασμό με υπέρηχους ενισχύουν την αποτελεσματικότητα της διεργασίας αποστείρωσης, η οποία πια δεν εξαρτάται από την τιμή pH του διαλύματος, όταν αυτό χρησιμοποιείται στους 70°C. Οι υπέρηχοι μείωσαν το χρόνο αποστείρωσης στους 25°C, που για τη γλουταραλδεΐδη ήταν 3 h στα 30 min και σε pH=8. Σε pH 2,2 και θερμοκρασίες μεταξύ 60–65°C, ο απαιτούμενος χρόνος για την απενεργοποίηση των σπορίων μειώθηκε από 10 στα 4 min, με υπέρηχους 20 KHz.²²

Πίνακας 5: Εφαρμογές Υπέρηχων στις Διεργασίες Τροφίμων

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	ΑΡΧΗ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΠΡΟΪΟΝΤΑ
Μαγείρεμα	Κουζίνα Τηγάνισμα Υδατόλουτρο,...	Ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας	Λιγότερος χρόνος Βελτίωση μεταφοράς θερμότητας και οργανοληπτικών	Κρέας Λαχανικά
Ψύξη/ Κρυστάλλωση	Ψύκτης Ψύξη με εμβάπτιση Ψύξη με επαφή,....	Ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας	Λιγότερος χρόνος Μικροί Κρύσταλλοι Βελτίωση της διάχυσης Γρήγορη μείωση της θερμοκρασίας	Κρέας Λαχανικά Φρούτα Γαλακτοκομικά
Ξήρανση	Με ρεύμα θερμού ατμού Με κατάψυξη Με κονιοποίηση	Ομοιόμορφη μεταφορά θερμότητας	Λιγότερος χρόνος Βελτίωση μεταφοράς θερμότητας και οργανοληπτικών	Αφυδατωμένα προϊόντα (φρούτα, λαχανικά)
Απαέρωση	Μηχανική Κατεργασία	Φαινόμενο Συμπίεσης-Αραίωσης	Λιγότερος χρόνος Βελτίωση Υγιεινής	Σοκολάτα Προϊόντα Ζύμωσης (μπύρα)
Διήθηση	Φίλτρα (μεμβράνες)	Δονήσεις	Λιγότερος χρόνος Βελτίωση Διήθησης	Υγρά (Χυμοί)
Αποκαλουπτωτικά Μέσα	Καλούπια Σιλικόνης, κ.α	Δονήσεις	Λιγότερος χρόνος Μείωση απωλειών προϊόντων	Μαγειρεμένα Προϊόντα (κέικ)
Μη δημιουργία αφρού	Θερμική Κατεργασία Χημική Κατεργασία Μηχανική Κατεργασία	Φαινόμενα Σπηλαίωσης	Λιγότερος χρόνος Βελτίωση Υγιεινής	Ανθρακούχα ποτά Προϊόντα Ζύμωσης (μπύρα)
Γαλακτωματοποίηση	Μηχανική Κατεργασία	Φαινόμενα Σπηλαίωσης	Λιγότερος χρόνος Σταθερότητα Γαλακτώματος	Γαλακτώματα (κέτσαπ, μαγιονέζα)
Οξειδωση	Επαφή με αέρα	Φαινόμενα Σπηλαίωσης	Λιγότερος χρόνος	Αλκοολούχα ποτά (κρασί, ουίσκι)
Κοπή	Μαχαίρια	Φαινόμενα Σπηλαίωσης	Μείωση απωλειών, Ακριβές και Επαναλήψιμο Κόψιμο	Εύθραυστα Προϊόντα (κέικ, τυρί)

6.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Λόγω των αυξημένων απαιτήσεων των καταναλωτών για υψηλής ποιότητας προϊόντα, πρέπει να αναπτυχθούν νέες, ασφαλείς και αποτελεσματικές μέθοδοι για τις διεργασίες παραγωγής και συντήρησης τροφίμων. Τα ηχητικά κύματα θεωρούνται, γενικά, ως ασφαλή, μη τοξικά και φιλικά προς το περιβάλλον, γεγονός που δίνει ένα επιπλέον πλεονέκτημα στους υπέρηχους συγκριτικά με άλλες μεθόδους. Για τη βιομηχανία των τροφίμων αυτή η νέα τεχνολογία έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς επιτρέπει την προώθηση της «πράσινης» χημείας, με χημικές αντιδράσεις που χρησιμοποιούν φιλικούς προς το περιβάλλον διαλύτες και αντιδραστήρια.⁴⁰

Χρησιμοποιώντας υπέρηχους, όλη η επεξεργασία των τροφίμων μπορεί να ολοκληρωθεί σε λίγα δευτερόλεπτα ή λεπτά της ώρας με υψηλή επαναληψιμότητα, μείωση κόστους επεξεργασίας, παρέχοντας τελικό προϊόν μεγαλύτερης καθαρότητας, απαλλάσσοντας από την επεξεργασία των αποβλήτων και καταναλώνοντας μόνο μικρό μέρος του χρόνου και της ενέργειας που συνήθως απαιτούνται στις συμβατικές διαδικασίες. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης υπέρηχων στην επεξεργασία τροφίμων συμπεριλαμβάνουν την πιο αποτελεσματική ανάμιξη και μικροανάμιξη, την ταχύτερη μεταφορά ενέργειας και μάζας, τη μείωση θερμοκρασίας, την επιλεκτική εκχύλιση, τη μείωση του μεγέθους του εξοπλισμού, την ταχύτερη ανταπόκριση, την ταχύτερη έναρξη, την αυξημένη παραγωγή και τον περιορισμό των σταδίων της διαδικασίας. Ορισμένες διεργασίες όπως, ψύξη, ξήρανση, λεύκανση, αποστείρωση και εκχύλιση έχουν εφαρμοστεί αποτελεσματικά στη βιομηχανία των τροφίμων.²²

Συγκεκριμένα στην ομογενοποίηση του γάλακτος τα πλεονεκτήματα της χρήσης υπέρηχων είναι πολλά. Μελέτες έχουν δείξει ότι η διάρκεια ζωής του γάλακτος μπορεί να επιμηκυνθεί με τη χρήση των υπέρηχων, προφέροντας μια εναλλακτική τεχνολογία για την παστερίωση του γάλακτος. Το μέγεθος των λιποσφαιρίων στο πλήρες γάλα μειώνεται ουσιαστικά με τη χρήση των υπέρηχων, ενώ ταυτόχρονα

είναι πολύ μικρότερο από εκείνο που επιτυγχάνεται με τη συμβατική ομογενοποίηση. Επίσης, οι υπέρηχοι μπορούν εν μέρει να λειτουργήσουν και ως παστερίωση με μικρότερες απώλειες στη γεύση και την οσμή του γάλακτος, μειώνοντας σημαντικά το μικροβιακό φορτίο και εξασφαλίζοντας σημαντική οικονομία από άποψη ενέργειας. Σημαντική είναι και η συνεισφορά των υπέρηχων στη μετουσίωση των πρωτεϊνών. Συγκεκριμένα, η μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού είναι μικρότερη, από ότι στο συμβατικά ομογενοποιημένο γάλα. Οι υπέρηχοι πλεονεκτούν έναντι της συμβατικής μεθόδου ομογενοποίησης και των μικρορευστοποιητών. Συγκεκριμένα, ο καθαρισμός της συσκευής υπέρηχων είναι πολύ πιο εύκολος και πιο γρήγορος σε σύγκριση με τον καθαρισμό των δύο άλλων ομογενοποιητών.^{22,33,35,39,41,42}

Όσον αφορά την παραγωγή γιαουρτιού από πλήρες γάλα ομογενοποιημένο με υπέρηχους, οι ιδιότητές του είναι βελτιωμένες. Το επεξεργασμένο γιαούρτι, με υπέρηχους, έχει αυξημένη σταθερότητα και ικανότητα συγκράτησης του νερού, ενώ το φαινόμενο της συναίρεσης είναι μειωμένο, χρειάζεται λιγότερο χρόνο για να πήξει, παρουσιάζει μεγαλύτερο pH πήξης και διαθέτει καλύτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά σε σύγκριση με γιαούρτια, στα οποία το γάλα έχει ομογενοποιηθεί με συμβατική μέθοδο, με ομογενοποίηση υψηλής πίεσης. Μελέτες έχουν δείξει ότι γιαούρτι, που έχει παραχθεί από γάλα με επεξεργασία συνδυασμού υπέρηχων και θέρμανσης, διαθέτει ακόμη καλύτερη υφή και σταθερότητα.^{33,39,42}

6.4 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

6.4.1 Βιομηχανικός Εξοπλισμός Υπέρηχων

Η χρήση των υπέρηχων για την ομογενοποίηση του γάλακτος δεν είναι, ακόμη, διαδεδομένη σε βιομηχανική κλίμακα. Στην περίπτωση όμως της εκχύλισης με χρήση υπέρηχων, η εταιρεία REUS (www.etsreus.com, Γαλλία), έχει αναπτύξει ένα ειδικό αντιδραστήρα (από 0,5 μέχρι 3 L). Η ένταση των υπέρηχων είναι περίπου 1 W/cm^2 και η συχνότητά τους 25 KHz. Για να μπορέσει να διατηρήσει τη θερμοκρασία σταθερή, ο αντιδραστήρας είναι κατασκευασμένος από διπλό

μανδύα, μέσα στον οποίο μπορεί να κυκλοφορεί κρύο νερό. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι τα φυσικά προϊόντα και οι διαλύτες εκχύλισης, αναμιγνύονται σε μια δεξαμενή και οι υπέρηχοι, εφαρμόζονται άμεσα στο μίγμα. Για τη χρήση των αντιδραστήρων σε βιομηχανικό επίπεδο, η εταιρεία έχει αναπτύξει και αντιδραστήρες χωρητικότητας 30–1000 L.²²

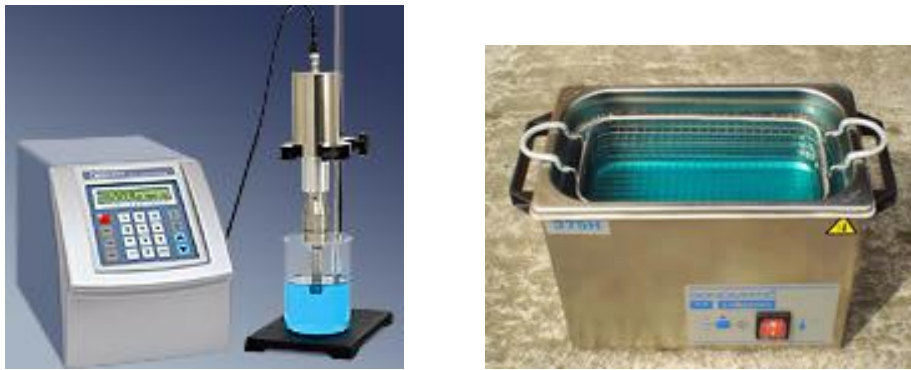


Εικόνα 20: Βιομηχανικός Εξοπλισμός Υπέρηχων 50, 500 & 1000 L

6.4.2 Εργαστηριακός Εξοπλισμός Υπερήχων

Σε εργαστηριακή κλίμακα χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά είδη εξοπλισμού υπέρηχων. Το πρώτο είναι το λουτρό υπέρηχων, το οποίο χρησιμοποιείται για διαχωρισμό των στερεών σε διαλύματα, για απαέρωση διαλυμάτων ή ακόμη και για καθαρισμό μικρών υλικών με βύθιση των ποτηριών ζέσης στο λουτρό. Τα λουτρά υπέρηχων δεν χρησιμοποιούνται τόσο πολύ σε περίπτωση χημικών αντιδράσεων, ακόμη και αν είναι εύκολα στη χρήση και οικονομικότερα, λόγω της χαμηλής αναπαραγωγισιμότητας της αντίδρασης. Στην πραγματικότητα η μεταφερόμενη

ένταση των υπέρηχων είναι χαμηλή και φτάνει εξασθενημένη στο εσωτερικό του ποτηριού ζέσης, λόγω του νερού που περιέχεται στο λουτρό και των τοιχωμάτων του ποτηριού ζέσης που χρησιμοποιείται για το πείραμα. Η δεύτερη διάταξη είναι το στέλεχος υπέρηχων, το οποίο έχει μεγαλύτερη δύναμη, λόγω της έντασης υπέρηχων, η οποία μεταφέρεται σε μικρότερη επιφάνεια, σε σύγκριση με το λουτρό υπέρηχων. Μια ακόμη διαφορά είναι ότι το στέλεχος είναι άμεσα βυθισμένο στο ποτήρι ζέσης, οπότε μπορούν να μειωθούν οι απώλειες, λόγω της μεταφοράς ενέργειας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για δείγματα μικρού όγκου, τα οποία όμως χρήζουν μεγάλης προσοχής, λόγω της ταχείας αύξησης της θερμοκρασίας στο δείγμα.²² Οι δύο διατάξεις φαίνονται στην εικόνα 20.



Εικόνα 21: Συσκευές Υπέρηχων: 1) με στέλεχος (πάνω), 2) λουτρό υπέρηχων (κάτω)

6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΣΤΗΝ ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Η επεξεργασία και συγκεκριμένα η ομογενοποίηση του γάλακτος, γίνεται κυρίως με τη συσκευή υπέρηχων με στέλεχος, ενώ δεν υπάρχουν αναφορές για τη χρήση των λουτρών υπέρηχων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται η συχνότητα, η ένταση, ο χρόνος και η ποσότητα των δειγμάτων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες πειραματικές εφαρμογές.

Πίνακας 6: Στοιχεία Υπέρηχων σε διάφορες πειραματικές εφαρμογές

Συχνότητα (KHz)	Ένταση (W)	Ένταση (%)	Χρόνος (min)	Ποσότητα (mL)	Διάμετρος Στελέχους (mm)	Βιβλιογραφία
20	90, 225, 450		1, 6, 10	150	13	²⁹
24	200		0, 2, 4, 8, 16	200	22	³⁹
24	400		10	200	22	⁴³
30		20, 60, 100	2, 6, 10, 15	150	7, 10	⁴⁴
30	100		5, 10	400	10	⁴⁵

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για τη χρήση υπέρηχων στην ομογενοποίηση του γάλακτος, αλλά και στην παραγωγή γιαουρτιού από ομογενοποιημένο γάλα, και έχει διαπιστωθεί ότι οι υπέρηχοι έχουν σημαντικές επιδράσεις στις ιδιότητες τόσο του γάλακτος, όσο και του γιαουρτιού.

Κατά την ομογενοποίηση του γάλακτος έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες συχνότητες, εντάσεις υπέρηχων, χρόνοι έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους, αλλά και διάφορα μεγέθη στελεχών. Σε μελέτη που είχε ως σκοπό τον προσδιορισμό της επίδρασης της ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους στις μικροβιολογικές και οργανοληπτικές ιδιότητες πλήρους γάλακτος (3,5%) χρησιμοποιήθηκαν νωπό, θερμισμένο (55°C για 15 s) και παστεριωμένο γάλα (75°C για 15 s). Οι υπέρηχοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν συχνότητας 24 KHz και έντασης 200 W. Η συσκευή των υπέρηχων διέθετε στέλεχος 22 mm και ομογενοποιήθηκαν 250 mL από κάθε δείγμα. Ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων στους υπέρηχους ήταν 0, 2, 4, 8 και 16 min. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας τα δείγματα τοποθετούνταν σε παγωμένο λουτρό, προκειμένου να αποφεύγεται η υπερθέρμανσή τους και η διατήρηση της θερμοκρασίας μεταξύ 15-25°C. Στη συνέχεια τα δείγματα ψύχονταν και αποθηκεύονταν στους 4°C. Τα δείγματα του νωπού, θερμισμένου και παστεριωμένου γάλακτος εξετάστηκαν κατά τη διάρκεια 8 ημερών αποθήκευσής τους. Στα δείγματα μετρήθηκαν τα μικροβιολογικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Το ολικό μικροβιακό φορτίο του νωπού γάλακτος βρέθηκε αρκετά υψηλό (5,89 log CFU/mL), γεγονός αναμενόμενο για το

μη θερμικά επεξεργασμένο γάλα. Μετά την πρώτη και δεύτερη ημέρα αποθήκευσης το μικροβιακό φορτίο ξεπερνούσε την οριακή τιμή 7 log CFU/mL. Για το θερμισμένο γάλα η αρχική τιμή του ήταν 5,68 log CFU/mL και η οριακή τιμή ξεπεράστηκε μεταξύ δεύτερης και τρίτης ημέρας αποθήκευσης. Στην περίπτωση του παστεριωμένου γάλακτος η αρχική τιμή του ολικού μικροβιακού φορτίου ήταν 4,30 log CFU/mL και η οριακή τιμή ξεπεράστηκε μετά την έκτη και έβδομη ημέρα της αποθήκευσης. Κατά την επεξεργασία των δειγμάτων με υπέρηχους παρατηρήθηκε ότι όσο αυξανόταν ο χρόνος των υπέρηχων τόσο μειωνόταν και το ολικό μικροβιακό φορτίο. Ενδεικτικά δίνονται οι τιμές του ολικού μικροβιακού φορτίου για το παστεριωμένο γάλα στους διάφορους χρόνους επεξεργασίας με υπέρηχους, τη μηδενική ημέρα, 3,84, 3,08, 2,90 και 2,85 log CFU/mL για 2, 4, 8 και 16 min επεξεργασίας με υπέρηχους, αντίστοιχα. Κατά την οργανοληπτική εξέταση ως προς την οσμή και τη γεύση, το νωπό γάλα, χωρίς υπέρηχους, είχε καλύτερα οργανοληπτικά αποτελέσματα από εκείνο που ήταν επεξεργασμένο. Στην περίπτωση του θερμισμένου γάλακτος η επεξεργασία με υπέρηχους για χρόνο 2 min έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από ότι το μη επεξεργασμένο με υπέρηχους δείγμα. Ενώ το παστεριωμένο γάλα σε όλους τους χρόνους επεξεργασίας με υπέρηχους είχε παρόμοια ή και χειρότερα αποτελέσματα από το μη επεξεργασμένο, αποδεικνύοντας ότι οι υπέρηχοι προσδίδουν ξένη οσμή στο γάλα.³⁹

Μελέτες έδειξαν, επίσης, ότι πέρα από την ένταση και το χρόνο έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους, η διάμετρος του στελέχους της συσκευής υπέρηχων παίζει σημαντικό ρόλο στην ομογενοποίηση, αλλά και στις φυσικές ιδιότητες του αγελαδινού γάλακτος. Με χρήση υπέρηχων συχνότητας 30 KHz και σε εντάσεις 20, 60 και 100% για χρόνο 2, 6, 10 και 15 min, ομογενοποιήθηκαν δείγματα γάλακτος ποσότητας 150 mL με χρήση στελεχών 7 και 10 mm. Με τη χρήση του στελέχους των 10 mm παρατηρήθηκε σημαντική επιρροή στην πυκνότητα του γάλακτος, ενώ το στέλεχος των 7 mm είχε επιρροή στην τιμή pH του γάλακτος. Και στις δύο περιπτώσεις ο βαθμός ομογενοποίησης ήταν μεγαλύτερος στην περίπτωση μεγαλύτερου χρόνου και μεγαλύτερης έντασης υπέρηχων.⁴⁴

Κατά την ομογενοποίηση με χρήση υπέρηχων έχει μελετηθεί, επίσης, η επίδραση τους στο γάλα, όταν η ομογενοποίηση γίνεται υπό ελεγχόμενη ή μη θερμοκρασία. Δείγματα αποβουτυρωμένου γάλακτος ομογενοποιήθηκαν με υπέρηχους συχνότητας 22,5 KHz και έντασης 50 W για χρόνους από 0-30 min. Ελέγχοντας τη θερμοκρασία με εμβάπτιση των δειγμάτων σε ελαιόλουτρο στους 80°C για 30 min. Κατά την ομογενοποίηση των δειγμάτων χωρίς θερμοκρασιακό έλεγχο, η θερμοκρασία τους έφτανε τους 95°C εντός 15 min και οι πρωτεΐνες του ορού μετουσιώνονταν. Παρατηρήθηκαν επίσης αλλαγές στο μέγεθος των καζεϊνικών μικκυλίων, με μείωσή τους σε μικρούς χρόνους επεξεργασίας, ενώ σε μεγαλύτερους χρόνους τα μικκύλια παρουσίαζαν αύξηση. Η παραγωγή γιαουρτιού με αυτή τη διαδικασία για χρόνο έως 15 min, είχε ως αποτέλεσμα αυξημένη σταθερότητα στο γιαούρτι, ενώ για μεγαλύτερο χρόνο η σταθερότητά του ήταν μειωμένη. Στην περίπτωση της επεξεργασίας με έλεγχο της θερμοκρασίας, οι πρωτεΐνες του ορού δεν παρουσίαζαν μετουσίωση και η παραγωγή του γιαουρτιού είχε μεγάλη σταθερότητα. Με βάση αυτή τη μελέτη συμπεραίνεται ότι η ομογενοποίηση με υπέρηχους με ελεγχόμενη θερμοκρασία δεν επιδρά στα συστατικά του γάλακτος, σε σύγκριση με την αντίστοιχη χωρίς έλεγχο της θερμοκρασίας, κατά την οποία η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει σε τιμές που προκαλούν μετουσίωση των πρωτεϊνών.³³

Σε μελέτη για παραγωγή γιαουρτιού, το γάλα πριν την ομογενοποίησή του παστεριώθηκε σε πλακοειδή εναλλάκτη θερμοκρασίας 90°C για 15 s, προκειμένου να θανατωθούν οι περισσότεροι μικροοργανισμοί και να απενεργοποιηθούν τα ένζυμα. Η ομογενοποίηση έγινε με συσκευή υπέρηχων με στέλεχος διαμέτρου 13 mm, συχνότητας 20 KHz, σε δείγματα 150 mL και εξετάστηκαν οι εντάσεις 90, 225 και 450 W, για χρόνους έκθεσης 1,6 και 10 min. Τα δείγματα μετά την επεξεργασία ψύχθηκαν σε θερμοκρασία 20°C και αναλύθηκαν. Η απόδοση της ομογενοποίησης εξετάστηκε με χρήση οπτικού μικροσκοπίου και βρέθηκε ότι οι μεγαλύτεροι χρόνοι έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους και οι μεγαλύτερες εντάσεις υπέρηχων είχαν ως αποτέλεσμα μικρότερο μέγεθος λιποσφαιρίων. Κατά την παραγωγή γιαουρτιού, χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή υπέρηχων σε εντάσεις 90, 225, 450 W

για χρόνο επεξεργασίας 6 min. Η χρήση των υπέρηχων πριν τον εμβολιασμό της καλλιέργειας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκράτησης του νερού και τη μείωση της συναίρεσης. Η εφαρμογή των υπέρηχων μετά τον εμβολιασμό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου πήξης του γιαουρτιού και την αύξηση της ικανότητα συγκράτησης νερού, αλλά καμία ευεργετική συνέπεια ως προς τη συναίρεση. Ενώ το ιζώδες παρουσίασε αύξηση σε όλες τις περιπτώσεις.²⁹

7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

7.1 ΣΚΟΠΟΣ

Οι υπέρηχοι είναι μηχανικά κύματα, συχνότητας μεγαλύτερης από αυτή που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί, δηλαδή μεγαλύτερη από 20 KHz. Η αρχική τους εφαρμογή στη βιομηχανία ήταν για τον καθαρισμό των επιφανειών, αλλά και των συσκευών, με εξαιρετική αποτελεσματικότητα. Στη συνέχεια όμως η χρήση τους επεκτάθηκε και στη βιομηχανία των τροφίμων, για την εκχύλιση συστατικών από φυτά και τρόφιμα, τη μείωση του μικροβιακού φορτίου και την ομογενοποίηση-γαλακτωματοποίηση τροφίμων, όπως η μαγιονέζα. Η αποτελεσματικότητά τους, στις παραπάνω διεργασίες βασίζεται στο φαινόμενο της σπηλαιώσης, σύμφωνα με το οποίο δημιουργούνται φυσαλίδες, μέσα στο ρευστό όπου διαδίδονται οι υπέρηχοι, οι οποίες αυξάνονται μέχρι ένα κρίσιμο μέγεθος και έπειτα διασπώνται, καταστρέφοντας μεμβράνες και κυτταρικά τοιχώματα.

Η ομογενοποίηση του γάλακτος αφορά στη διάσπαση των λιποσφαιρίων του σε μικρότερα, ώστε να αποκτήσει μια ομοιογενή σύσταση. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος στη βιομηχανία για την ομογενοποίηση του γάλακτος είναι η υψηλή πίεση, η οποία όμως παρουσιάζει μειονεκτήματα (λειτουργική δυσκολία, υψηλό κόστος, περιβαλλοντική επιβάρυνση). Μια νέα πολλά υποσχόμενη μέθοδος ομογενοποίησης του γάλακτος είναι με τη χρήση υπέρηχων. Πράγματι, πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι υπέρηχοι συχνότητας 20-30 KHz επιτυγχάνουν αποτελεσματική ομογενοποίηση, αλλά και συμβάλλουν σε κάποιο βαθμό στη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Η επιτυχημένη ομογενοποίηση του γάλακτος εξαρτάται από την ένταση των υπέρηχων και το χρόνο εφαρμογής τους στο δείγμα. Παρόλα αυτά οι λιγοστές πειραματικές μελέτες, που αφορούν στην ομογενοποίηση του γάλακτος με χρήση υπέρηχων και στη διατήρηση της ομοιογενούς σύστασής του κατά τη φύλαξη, δεν επιτρέπουν τη χρήση τους σε βιομηχανικό επίπεδο.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η μελέτη των αλλαγών των ιδιοτήτων και των συστατικών πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος μετά από κατεργασία με υπέρηχους, καθώς και η μελέτη της διατήρησης των αλλαγών αυτών μετά από ψύξη για 2 και 4 ημέρες.

Συγκεκριμένα μελετήθηκε η επίδραση υπέρηχων έντασης 150, 350, 550 και 750 W, διάρκειας 2 και 10 min, σε τυποποιημένο, παστεριωμένο πλήρες και αποβουτυρωμένο γάλα όσον αφορά στα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Οργανοληπτικά (εμφάνιση και οσμή)
2. Μέγεθος Λιποσφαιρίων
3. Μέγεθος Καζεϊνικών Μικκυλίων
4. Χρώμα
5. Ιξώδες
6. Ποσοστό Μετουσίωσης Πρωτεϊνών
7. Μικροβιολογικό Φορτίο

6.2 ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

6.2.1 Πρώτες Ύλες

- Γάλα αποβουτυρωμένο
- Κρέμα Γάλακτος

Το γάλα και η κρέμα γάλακτος ήταν προσφορά της ΦΑΓΕ Α.Ε. (Ερμού 35 – 144 52 Μεταμόρφωση, Αθήνα).

6.2.2 Αντιδραστήρια

- Απιονισμένο Νερό
- Coomassie Brilliant Blue G250
- Καθαρή Αιθανόλη (EtOH)
- Φωσφορικό Οξύ (H_3PO_4 , 85 %)

- Αλβουμίνη Βόειου ορού (Bovine Serum Albumin)
- Υδροχλωρικό οξύ (HCl, 37%)
- Καστορέλαιο
- Σκόνη PCA (Plate Count Agar)
- Σκόνη MRS (de Mann, Rogosa and Sharpe's)
- Σκόνη Maximal Recovery Diluent (Ringer)

6.2.3 Όργανα

Για τα πειράματα ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους χρησιμοποιήθηκαν:

- Συσκευή εκπομπής υπέρηχων Sonics Vibracell VC750, Sonics and Materials Inc, (Newton USA) (Εικόνα 1)
- Ανακινούμενο Υδατόλουτρο GFL 1083, ακριβείας $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- Αναλυτικός ζυγός, ακριβείας 4 δεκαδικών ψηφίων Precisa Series 320 XT - Model XT220A, Swiss
- Ζυγός ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων Precisa Series 320 XB – Model XB620C, Swiss
- Επωαστήρας Sanyo Labo Autoclave, MLS – 3020, Sanyo Electric Co. Ltd. Japan
- Ρυθμιστής Θερμοκρασίας Polyscience Temperature Controller, Polyscience, USA



Εικόνα 1: Συσκευή Υπέρηχων



Εικόνα 2: Zetasizer

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν:

- Οπτικό Μικροσκόπιο Leica DM2500 M, Leica Microsystems, USA
- Χρωματόμετρο Minolta RC - 200, Konica Minolta Optics. Inc., UK
- Ροόμετρο Rheotech- RC1 (Germany) και το στέλεχος MS-CC48 FTK/DIN
- ρΗμετρο pH 340i/SET 2A30 – 101T Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany
- Zetasizer nano zs, Malvern Instruments Ltd., U.K (Εικόνα 2)
- Φασματοφωτόμετρο Hitachi U – 2900 Spectrophotometer, Japan
- Φυγόκεντρος Hettich Universal II Centrifuge, UK

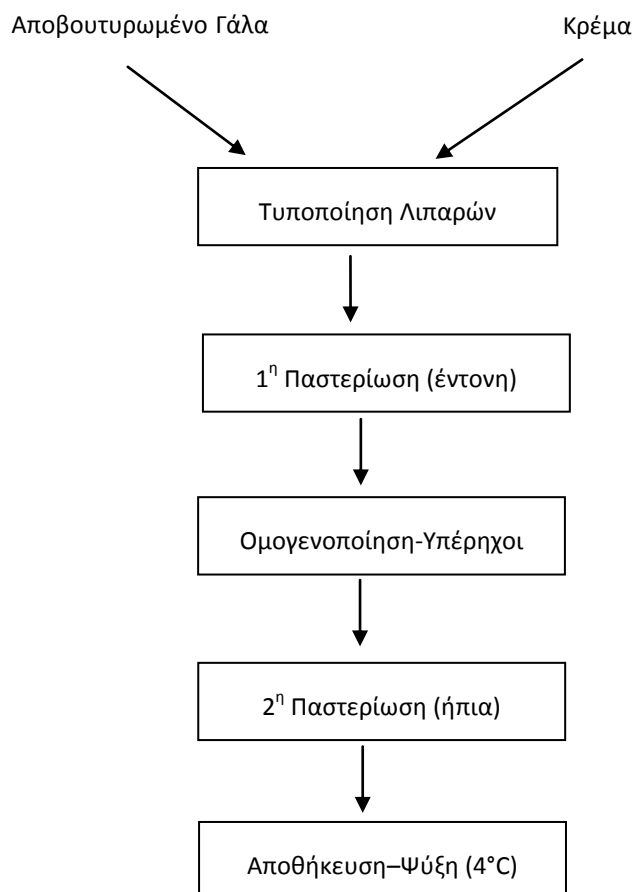
6.2.4 Σκεύη

- Ποτήρια Ζέσης (10–1000 mL)
- Ογκομετρικές φιάλες (25, 100 και 250 mL)
- Κωνικές φιάλες (250–1000 mL)
- Ογκομετρικοί κύλινδροι (50, 250 mL)
- Σιφώνια 5 & 10 mL
- Γυάλινα μπουκάλια με καπάκι
- Eppendorf (1, 2 mL)
- Γυάλινη κυψελίδα Χρωματόμετρου
- Πλαστική κυψελίδα φασματοφωτόμετρου
- Πλαστικές κυψελίδες οργάνου zetasizer με καπάκι
- Βαθμονομημένοι δοκιμαστικοί σωλήνες
- Αντικειμενοφόρες πλάκες
- Καλυπτρίδες
- Πιπέτες Παστέρ
- Τριβλία
- Αποστειρωμένα Σωληνάκια με πώμα
- Στατό
- Πιπέτες 100 & 1000 μL

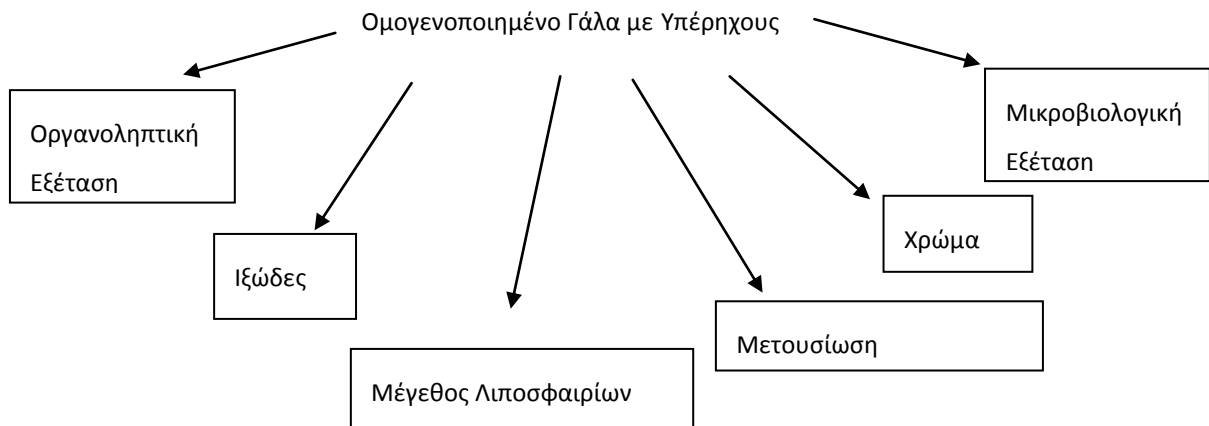
- Τίπς Πιπετών
- Στιλαιό Μικροβιολογικών
- Γκαζάκι

6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της πειραματικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε κατά την επεξεργασία ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους, καθώς και οι μετρήσεις (διάγραμμα 2) που έγιναν στο ομογενοποιημένο γάλα για τη μελέτη της επίδρασης της επεξεργασίας με υπέρηχους στις ιδιότητες του γάλακτος.



Διάγραμμα 1: Πειραματική Διαδικασία Ομογενοποίησης Γάλακτος με υπέρηχους



Διάγραμμα 2: Μετρήσεις για τον έλεγχο της επίδρασης της επεξεργασίας με υπέρηχους στις ιδιότητες του ομογενοποιημένου γάλακτος

6.3.1 Μέτρηση Πυκνότητας Κρέμας Γάλακτος/ Τυποποίηση Λιπαρών

Αρχικά σε προζυγισμένη ογκομετρική φιάλη των 25 mL, ζυγίζεται με ζυγό δύο δεκαδικών ψηφίων ποσότητα κρέμας, ώστε να γεμίσει η φιάλη ως τη χαραγή. Με διαίρεση της μάζας προς τον όγκο των 25 mL, υπολογίζεται η πυκνότητα της κρέμας γάλακτος.

Η κρέμα έχει συγκεκριμένη περιεκτικότητα σε λιπαρά, η οποία δίνεται από τον προμηθευτή. Για την παρασκευή τυποποιημένου πλήρους γάλακτος, υπολογίζεται η ποσότητα κρέμας (g) που αντιστοιχεί στα 250 mL, που είναι η ποσότητα κάθε δείγματος προς επεξεργασία, με βάση ότι το πλήρες γάλα περιέχει 3,5% λιπαρά. Γνωρίζοντας τη συγκεκριμένη ποσότητα, υπολογίζεται ο όγκος της κρέμας με βάση την περιεκτικότητα του προμηθευτή. Ο όγκος αυτός πολλαπλασιάζεται με την πυκνότητα της κρέμας και έτσι υπολογίζεται η κρέμα που πρέπει να ζυγιστεί για πλήρωση ογκομετρικής φιάλης 250 mL. Για πιο ολοκληρωμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένα τυφλό, τυποποιημένο δείγμα (T_1), προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση της θερμικής κατεργασίας και των υπερήχων στα δείγματα γάλακτος.

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω, δίνεται ένα γενικό παράδειγμα.

Γενικό Παράδειγμα Υπολογισμού Λιπαρών

Στα 100 mL γάλακτος περιέχονται 3,5 g λιπαρών

Στα V mL γάλακτος περιέχονται —

α g λιπαρών περιέχονται σε 100 mL γάλακτος

— περιέχονται σε — mL

Γνωρίζοντας την πυκνότητα της κρέμας, την πολλαπλασιάζουμε με τον υπολογισμένο όγκο και έτσι υπολογίζονται τα g της κρέμας που αντιστοιχούν στον επιθυμητό όγκο.

Τελικά για τον υπολογισμό της μάζας χρησιμοποιείται ο παρακάτω τύπος:

—

ρ : πυκνότητα της κρέμας (g/mL)

V: επιθυμητός όγκος δείγματος (mL)

α: περιεκτικότητα λιπαρών της κρέμας (g)

6.3.2 Πρώτη Παστερίωση (Υψηλή)

Η παστερίωση του γάλακτος γίνεται μέσα σε υδατόλουτρο, θερμοκρασίας 80°C και για χρόνο 15 min. Τα δείγματα μεταφέρονται σε ποτήρια ζέσης των 500mL, τα οποία στη συνέχεια τοποθετούνται στο υδατόλουτρο και καλύπτονται με αλουμινόχαρτο για αποφυγή επιμόλυνσης του γάλακτος. Πέρα από τα δείγματα του γάλακτος με επεξεργασία στους υπέρηχους χρησιμοποιήθηκε και ένα τυφλό τυποποιημένο, παστεριωμένο δείγμα γάλακτος (T₂), προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση της παστερίωσης στα δείγματα.

6.3.3 Ομογενοποίηση με Υπέρηχους

Στο πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές πειραμάτων. Στην πρώτη ο χρόνος έκθεσης του γάλακτος στους υπέρηχους ήταν σε ένα κατώτατο όριο των 2min και στη δεύτερη σε ένα ανώτατο όριο των 10min. Για κάθε χρόνο τέσσερα δείγματα γάλακτος εκτέθηκαν σε υπέρηχους, σε διαφορετικές εντάσεις το κάθε ένα. Οι εντάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 150, 350, 550 και 750 W. Με αυτή τη διεργασία πραγματοποιήθηκε η ομογενοποίηση του γάλακτος σε διάφορες συνθήκες έντασης-χρόνου.

Για τους υπέρηχους χρησιμοποιήθηκε συσκευή εκπομπής υπέρηχων με στέλεχος, συχνότητας 20 KHz, με εύρος έντασης από 150–750 W. Το στέλεχος βυθιζόταν περίπου στη μέση της ποσότητας του γάλακτος στο ποτήρι ζέσης. Η ποσότητα γάλακτος που ήταν επιθυμητή για να γίνει σωστά η ομογενοποίηση ήταν τα 250 mL.

6.3.4 Δεύτερη Παστερίωση (Ήπια)

Η δεύτερη παστερίωση γινόταν επίσης στο υδατόλουτρο, σε θερμοκρασία 68°C και για χρόνο 10 min. Τα τέσσερα δείγματα μετά την κατεργασία στους υπέρηχους, όπως ήταν μέσα στα ποτήρια ζέσης, καλύπτονταν με αλουμινόχαρτο και τοποθετούνταν στο υδατόλουτρο, όλα μαζί ταυτόχρονα. Μετά από αρχικά

πειράματα, που έγιναν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, κρίθηκε αναγκαία η ύπαρξη και δεύτερης παστερίωσης.

6.3.5 Ψύξη

Τα δείγματα του γάλακτος (επεξεργασμένα και τυφλά) τοποθετούνταν σε γυάλινα μπουκαλάκια με πώμα, για να αποθηκευτούν σε ψυγείο θερμοκρασίας 4°C, για χρόνο τεσσάρων ημερών. Η εξέταση των δειγμάτων γινόταν τη μηδενική ημέρα (0), η οποία ήταν και η ημέρα παρασκευής των δειγμάτων, τη δεύτερη (2) και την τέταρτη (4) ημέρα.

Τις ημέρες της εξέτασης των δειγμάτων, τα δείγματα γάλακτος πρώτα υποβάλλονταν σε οργανοληπτικό έλεγχο, έλεγχο της οσμής, της εμφάνισης και της ομογενοποίησης του γάλακτος. Στα δείγματα που ήταν αποδεκτά γίνονταν οι επιθυμητοί έλεγχοι ενώ όσα δεν περνούσαν τον έλεγχο απορρίπτονταν.

Κατά τις ημέρες της εξέτασης των δειγμάτων, ποσότητα 1–2 mL από τα αποδεκτά, φυλάσσονταν σε erpendorf και στη συνέχεια στην κατάψυξη σε θερμοκρασία -2,3°C. Τα δείγματα αυτά αποσκοπούσαν για την εξέταση των μικροβιολογικών παραμέτρων.

6.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ - ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

6.4.1 Μικροσκόπιο – Εμφάνιση & Μέγεθος Λιποσφαιρίων

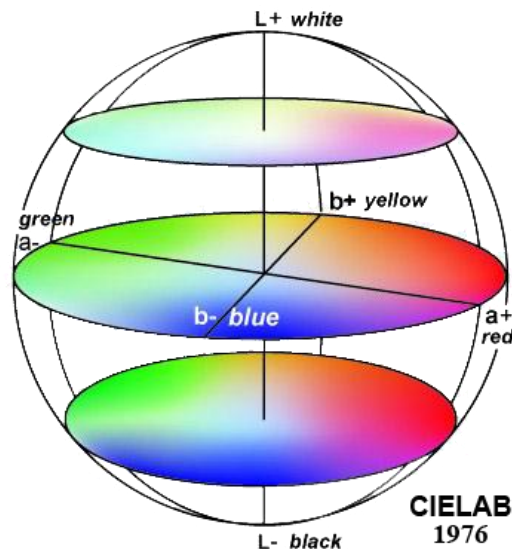
Όλα τα δείγματα εξετάστηκαν σε οπτικό μικροσκόπιο με τη βοήθεια του προγράμματος Leica Application Suite V3. Σκοπός της χρήσης του μικροσκοπίου ήταν για την απεικόνιση των λιποσφαιρίων και για τον έλεγχο της ομογενοποίησης. Περαιτέρω το μικροσκόπιο χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων και για σύγκριση των αποτελεσμάτων με εκείνα του οργάνου Zetasizer. Για να είναι ευκρινείς οι μετρήσεις γινόταν αραιώση του γάλακτος 1:1.

Συγκεκριμένα σε ποτήρι ζέσης 50 mL τοποθετούνταν με χρήση σιφωνίου 10 mL γάλακτος και 10 mL απιονισμένου νερού, χωριστά για κάθε δείγμα.

Στο μικροσκόπιο τοποθετείτο η αντικειμενοφόρας πλάκα και με τη βοήθεια πιπέτας παστέρ, μια σταγόνα του δείγματος τοποθετείτο πάνω στην πλάκα για εξέταση. Η σταγόνα καλυπτόταν με την καλυπτρίδα και πάνω σε αυτή τοποθετείτο μια σταγόνα καστορέλαιο για να εφάπτεται ο μεγεθυντικός φακός (x100) του μικροσκοπίου.

6.4.2 Χρώμα Γάλακτος

Η μέτρηση των συντεταγμένων του χρώματος έγινε με χρωματόμετρο. Μικρή ποσότητα του δείγματος τοποθετείτο σε ειδική γυάλινη κυψελίδα με γυάλινο καπάκι. Για κάθε δείγμα λαμβάνονταν δύο μετρήσεις, έτσι ώστε να υπάρχει επαναληψιμότητα. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράζονται στην κλίμακα CIELAB (L, a, b), η οποία εκφράζει τη μαθηματική προσέγγιση της μη γραμμικής απόκρισης του ματιού. Το L εκφράζει τη φωτεινότητα, μια θετική τιμή του a υποδεικνύει κόκκινο χρώμα, ενώ μια αρνητική πράσινο χρώμα. Μια θετική τιμή για το b, υποδεικνύει κίτρινο χρώμα, ενώ μια αρνητική τιμή μπλε χρώμα. Η τιμή του χρώματος υπολογίζεται από τον τύπο:



Εικόνα 3: Κλίμακα Χρώματος CIELAB

6.4.3 Ρεόμετρο - Ιξώδες Γάλακτος

Η μέτρηση του ιξώδους πραγματοποιήθηκε σε ρεόμετρο, μοντέλο RC1 rheotec. Το ρεόμετρο ήταν συνδεδεμένο με κυκλοφορητή θερμοκρασίας, με τη βοήθεια του οποίου ρυθμιζόταν η τιμή στους 25°C. Για τη μέτρηση κάθε δείγματος χρειαζόταν ποσότητα 22 mL, η οποία υπολογιζόταν με τη βοήθεια ογκομετρικού κυλίνδρου και εν συνεχεία το δείγμα τοποθετείτο μέσα στον κύλινδρο του ρεομέτρου. Η μέτρηση γινόταν και το αποτέλεσμα λαμβανόταν με επεξεργασία μέσω του προγράμματος Rheo V 2.6, το οποίο τελικά έδινε την τιμή του ιξώδους του γάλακτος σε Pa·s.

6.4.4 Zetasizer - Μέση Διάμετρος Λιποσφαιρίων

Με το όργανο Zetasizer και επιλογή της μέτρησης Size βρισκόταν η κατανομή του μεγέθους των λιποσφαιρίων σε nm και η μέση διάμετρος αυτών. Σε πλαστική κυψελίδα και με τη βοήθεια πιπέτας (1000 μ L), τοποθετείτο ποσότητα 1 mL από κάθε δείγμα χωριστά. Στη συνέχεια η κυψελίδα καλυπτόταν με πλαστικό καπάκι και τοποθετείτο εντός του οργάνου. Με τη βοήθεια υπολογιστή και του προγράμματος Malvern Zetasizer V. 6.20, το όργανο ξεκινούσε τη μέτρηση. Η μέτρηση κάθε δείγματος λαμβανόταν σχηματικά ως κατανομή, επίσης δίνονταν οι κορυφές της

κατανομής και το εύρος τους, καθώς και ο μέσος όρος όλων των κορυφών. Για την επεξεργασία των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της κάθε κορυφής.

6.4.5 Bradford - Μέτρηση Ποσοστού Μετουσίωσης Πρωτεϊνών

Για τη μέτρηση του βαθμού μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος χρησιμοποιήθηκε μια φασματοφωτομετρική μέθοδος, με βάση το αντιδραστήριο Bradford και την καμπύλη αναφοράς βοδινού ορού αλβουμίνης (bovine serum albumin).

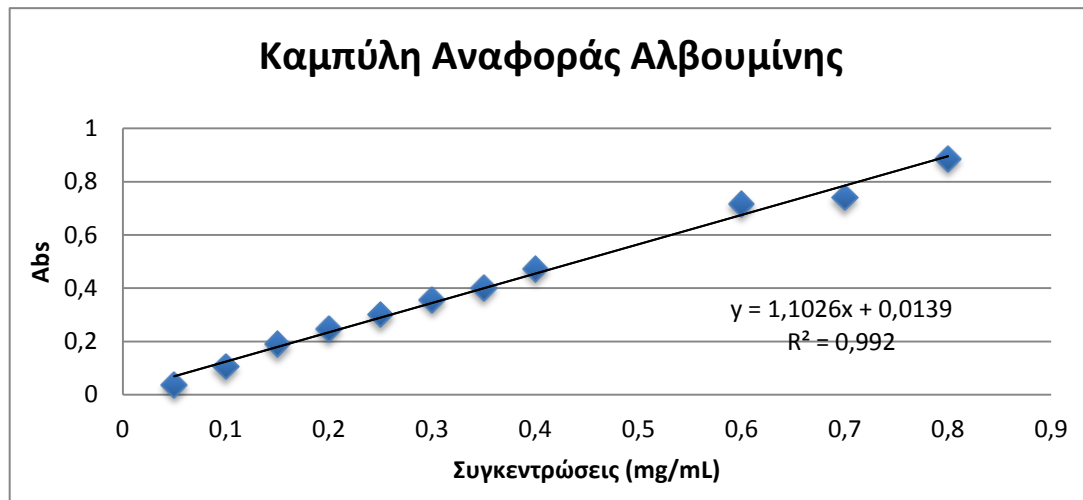
Για την παρασκευή 1 L Bradford ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

100 mg Coomassie Brilliant Blue G250 διαλύονται σε 50 mL αιθανόλης (EtOH, 95%). Στη συνέχεια προστίθενται 100 mL φωσφορικού οξέος (H_3PO_4 , 85%) και 850 mL απιονισμένου νερού. Το διάλυμα αυτό διηθείται σε γυάλινο χωνί με διηθητικό χαρτί και το διήθημα αποτελεί το αντιδραστήριο Bradford.

Για την κατασκευή της καμπύλης αναφοράς, παρασκευάστηκε πρότυπο διάλυμα αλβουμίνης συγκέντρωσης 1 mg / mL και όγκου 50 mL. Από αυτό το διάλυμα έγιναν αραιώσεις, ώστε να ληφθεί ένα φάσμα τιμών συγκέντρωσης. Οι συγκεντρώσεις που εξετάστηκαν ήταν: 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,35, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 και 0,9 mg / mL. Σε erpendorf των 2 mL, τοποθετείτο αρχικά 1 mL αντιδραστηρίου Bradford και στη συνέχεια 20 μ L δείγματος από κάθε αραιώση. Τα δείγματα ανακινούνταν καλά, τοποθετούνταν σε στατό, καλύπτονταν με αλουμινόχαρτο και τοποθετούνταν σε σκιερό μέρος για 15 min.⁴⁶

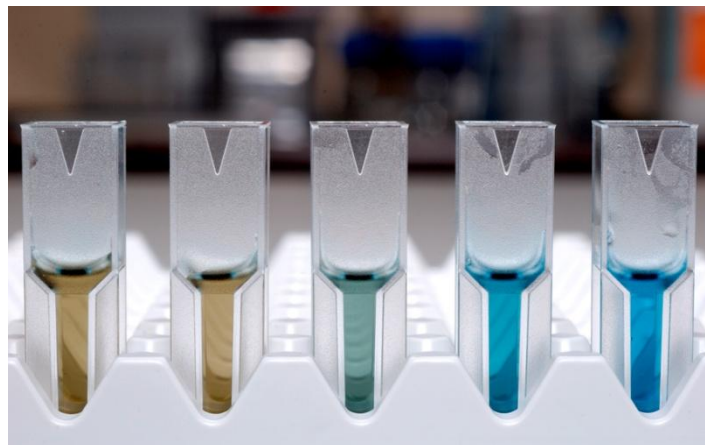
Μετά το πέρας του χρόνου όλο το δείγμα τοποθετείτο σε πλαστική κυψελίδα και μετρητό η απορρόφησή του σε φασματοφωτόμετρο, στα 595 nm. Για το τυφλό δείγμα χρησιμοποιείται 1 mL αντιδραστηρίου Bradford και 20 μ L απιονισμένου νερού. Για κάθε δείγμα γίνονταν δύο μετρήσεις, έτσι ώστε να υπάρχει επαναληψιμότητα.

Η καμπύλη αναφοράς της αλβουμίνης φαίνεται παρακάτω.



Διάγραμμα 3: Καμπύλη Αναφοράς Αλβουμίνης

Με το αντιδραστήριο Bradford έγιναν δύο μετρήσεις. Πρώτον, με τα δείγματα του γάλακτος ως έχουν για να βρεθούν οι ολικές πρωτεΐνες σε κάθε δείγμα και δεύτερον, με καταβύθιση μέρους των δειγμάτων του γάλακτος, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι μη καταβυθισμένες πρωτεΐνες. Με βάση αυτές τις δύο μετρήσεις βρέθηκε το ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών.



Εικόνα 22: Κυψελίδες με δείγμα γάλακτος και Bradford από χαμηλή σε υψηλή συγκέντρωση πρωτεϊνών(αριστερά προς τα δεξιά)

Η μέτρηση αυτή γινόταν σε όλα τα δείγματα, την επόμενη ημέρα της παρασκευής τους (1^η ημέρα), θεωρώντας ότι με την αποθήκευση σε ψύξη το γάλα δεν αλλοιωνόταν.

1^η Μέτρηση - Γάλα ως έχει

Κάθε δείγμα γάλακτος αραιώθηκε 1:100, ώστε οι συγκεντρώσεις που θα υπολογίζονταν από την καμπύλη αναφοράς να είναι εντός αυτής. Ποσότητα 1 mL Bradford τοποθετήθηκε σε erpendorf και έπειτα προστέθηκαν 20 μ L δείγματος. Η διαδικασία της φωτομέτρησης πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφηκε παραπάνω.

2^η Μέτρηση – Καταβύθιση Πρωτεϊνών

Για την καταβύθιση των πρωτεϊνών παρασκευάστηκε διάλυμα υδροχλωρικού οξέος 1M από υδροχλωρικό οξύ 37 %.

Από κάθε δείγμα γάλακτος λαμβάνονταν 5 mL με τη βοήθεια σιφωνίου και τοποθετούνταν σε ποτήρι ζέσης των 10 mL. Το pH μετρητό με pH-μετρο. Με χρήση πιπέτας παστέρ ριχνόταν στάγδην ποσότητα HCl 1M, μέχρι το pH να φτάσει στην τιμή 4,5, όπου και καταβυθίζονταν οι πρωτεΐνες.

Τα δείγματα τοποθετούνταν σε προζυγισμένους βαθμονομημένους γυάλινους δοκιμαστικούς σωλήνες, με τη βοήθεια ζυγού ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων και υποβάλλονταν σε φυγοκέντρηση στις 3000 rpm για 30 min.

Μετά το πέρας του χρόνου το μεν υπερκείμενο υγρό αραιωνόταν κατά 1:20 και φωτομετρήτο με το αντιδραστήριο Bradford, όπως περιγράφηκε παραπάνω, το δε ίζημα ζυγιζόταν σε ζυγό ακριβείας τεσσάρων δεκαδικών ψηφίων.

Ο βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

6.4.6 Μικροβιολογικός Έλεγχος

Το συνολικό βακτηριακό φορτίο μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια τριβλίων και του μη επιλεκτικού υποστρώματος PCA (Plate Count Agar), το οποίο υπολογίζει όλα τα βακτήρια που είναι ικανά να σχηματίσουν αποικίες σε θρεπτικό άγαρ μέσα σε 48 h σε θερμοκρασία 32°C. Τα δείγματα αραιώνονται, έτσι ώστε σε κάθε τριβλίο να φαίνονται από 30 έως 300 αποικίες. Ο αριθμός των αποικιών πολλαπλασιασμένος επί την αραιώση δίνει τη συγκέντρωση των βακτηριακών κυττάρων στο αρχικό δείγμα. Αυτή η συγκέντρωση αναφέρεται ως μονάδες σχηματισμού αποικιών CFU (Colony-Forming Units). Επειδή ορισμένα βακτήρια παραμένουν συνδεδεμένα μεταξύ τους, μετά τη διαίρεσή τους, ο αριθμός των αποικιών μπορεί να είναι μικρότερος από τον πραγματικό αριθμό των ζωντανών κυττάρων. Αυτό ισχύει κυρίως στην περίπτωση ειδών *Lactococcus* και *Streptococcus*, όπως επίσης και για ορισμένα είδη *Bacillus* και του *Lactobacillus*.^{6,17}

Για το μικροβιολογικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκαν δύο υποστρώματα το PCA (Plate Count Agar) για το ολικό μικροβιακό φορτίο και το MRS για τους αναερόβιους μικροοργανισμούς.

Για κάθε δείγμα γάλακτος γίνονταν έξι αραιώσεις, εκ των οποίων οι τρεις τελευταίες χρησιμοποιούνταν για εμβολιασμό στα τριβλία. Ο αριθμός των τριβλίων που θα χρησιμοποιούνταν σε κάθε περίπτωση υπολογιζόταν πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των εξεταζόμενων δειγμάτων (erpendorf στην κατάψυξη) επί τις τρεις αραιώσεις επί δύο τριβλία για κάθε αραιώση.

Στη συνέχεια γινόταν υπολογισμός της ποσότητας των υποστρωμάτων που θα χρειαζόταν για τα δείγματα, γνωρίζοντας ότι σε κάθε τριβλίο αντιστοιχούν 10 mL PCA και 15 mL MRS. Όσον αφορά το μέσο αραιώσης, το Ringer, η ποσότητά του υπολογιζόταν πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των δειγμάτων επί τις έξι αραιώσεις επί 10 mL για κάθε αραιώση.

Σε κάθε αποστειρωμένο σωληνάκι τοποθετούνταν 9 mL Ringer, για κάθε δείγμα χρησιμοποιήθηκαν έξι σωληνάκια, ένα για κάθε αραιώση. Στο πρώτο (1^η αραιώση) προστίθεται 1 mL από το δείγμα και ανακινείται καλά. Από το πρώτο λαμβάνεται 1 mL και τοποθετείται στο δεύτερο, ανακινείται επίσης καλά και η διαδικασία επαναλαμβάνεται ούτε καθ' εξής.

Για το υπόστρωμα του ολικού μικροβιακού φορτίου (PCA) στρώνονται τα τριβλία με 10 mL το καθένα και αφήνονται να στεγνώσουν κοντά σε γκαζάκι. Έπειτα εμβολιάζονται με τη βοήθεια πιπέτας με 0,1 mL (100 μL) από κάθε αραιώση από τις τρεις τελευταίες (2 τριβλία για κάθε αραιώση), κλείνονται, τοποθετούνται σε μια στοίβα μέσα σε αποστειρωμένη σακούλα και αφήνονται για επώαση για 3 ημέρες σε κλίβανο στους 25–27°C.

Για το υπόστρωμα των αναερόβιων μικροοργανισμών (MRS) εμβολιάζονται τα τριβλία με 1 mL (1000 μL), με τη βοήθεια πιπέτας, από τις τρεις τελευταίες αραιώσεις (2 τριβλία για κάθε αραιώση). Στη συνέχεια προστίθεται μικρή ποσότητα MRS και κάνοντας κυκλικές κινήσεις, μεταφέρεται η ποσότητα του δείγματος παντού. Αφήνονται τα τριβλία ανοιχτά κοντά σε γκαζάκι να στεγνώσουν και έπειτα προστίθεται και άλλη ποσότητα MRS και αφήνονται αυτά πάλι να στεγνώσουν. Μετά κλείνονται, τοποθετούνται σε μία στοίβα μέσα σε αποστειρωμένη σακούλα και αφήνονται για επώαση για 5 ημέρες σε κλίβανο στους 25 – 27°C.

Τα υποστρώματα, το Ringer, τα tips και το σιφώνιο των 10 mL αποστειρώνονται στον αποστειρωτήρα για 1 h. Κατά την εξέταση των μικροβιολογικών παραμέτρων ο πάγκος εργασίας θα πρέπει να είναι καθαρός και αποστειρωμένος με οινόπνευμα, όπως και τα χέρια του χειριστή. Κάθε ενέργεια πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο γκαζάκι, προκειμένου να διατηρούνται ασηπτικές συνθήκες και να μην υπάρχει περίπτωση επιμόλυνσης των τριβλίων.

Μετά το πέρας των ημερών για κάθε υπόστρωμα, τα τριβλία εξέρχονται από τον κλίβανο και καταμετρούνται οι αποικίες τους. Τριβλία που περιέχουν επιμολύνσεις απορρίπτονται.

6.4.7 Οργανοληπτικός Έλεγχος

Η οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων γινόταν με βάση την εμφάνιση του γάλακτος, από άποψη ομοιογένειας και με βάση την οσμή του, αν ήταν ξινισμένο ή αν ήταν «καμμένο» λόγω υψηλής έντασης των υπέρηχων και του χρόνου έκθεσης σε αυτούς. Κατά κύριο λόγο, τα τυφλά δείγματα, εφόσον δεν είχαν ομογενοποιηθεί κατά τη δεύτερη ημέρα της αποθήκευσης, πολλές φορές και την ημέρα της παρασκευής τους, κρίνονταν ακατάλληλα και απορρίπτονταν. Τα ακραία δείγματα χαμηλής έντασης υπέρηχων/ χαμηλού χρόνου και υψηλής έντασης υπέρηχων/ υψηλού χρόνου, συνήθως και αυτά απορρίπτονταν. Τα μεν πρώτα, διότι η ομογενοποίηση δεν μπορούσε να διατηρηθεί κατά την αποθήκευση και τα δε δεύτερα, διότι οι ακραίες αυτές συνθήκες αλλοίωναν την οσμή του γάλακτος, οπότε δεν θα μπορούσε να είναι αποδεκτά. Στην περίπτωση του αποβουτυρωμένου γάλακτος, η απουσία κρέμας δεν βοηθούσε στην εξέταση του παράγοντα της ομογενοποίησης, εφόσον μπορούσε να είναι εμφανής μόνο μέσω του μικροσκοπίου, αλλά δεν είχε σημασία. Οπότε η οργανοληπτική εξέταση του αποβουτυρωμένου γάλακτος γινόταν μόνο με βάση την οσμή του.

6.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Κατά την πειραματική διαδικασία εξετάστηκαν έξι δείγματα γάλακτος δύο τυφλά και τέσσερα που εκτίθονταν σε διαφορετικές συχνότητες υπέρηχων. Για να υπάρχει μια ολοκληρωμένη εικόνα για το γάλα που χρησιμοποιήθηκε καθώς και για την αποτελεσματικότητα της παστερίωσης χρησιμοποιήθηκαν τα δύο τυφλά δείγματα. Το τυφλό 1 (T₁) και το τυφλό 2 (T₂), τα οποία παρασκευάζονταν με βάση την τυποποίηση λιπαρών, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω (6.3.1), σε ποσότητες των 100 mL. Το τυφλό 1 πέρα από την τυποποίηση των λιπαρών δεν είχε υποστεί καμία άλλη διεργασία. Το τυφλό 2 είχε υποστεί και τις δύο παστεριώσεις χωρίς όμως να

ομογενοποιηθεί με υπέρηχους. Τα υπόλοιπα τέσσερα δείγματα αντιστοιχούν στην ομογενοποίηση με εντάσεις υπέρηχων 150, 350, 550 και 750 W.

Για τα τέσσερα δείγματα των υπέρηχων χρησιμοποιήθηκε κωδικοποίηση, που δείχνει την ένταση σε W και το χρόνο σε min, π.χ. για ένταση υπέρηχων 150 W και χρόνο εφαρμογής των υπέρηχων 2 min, χρησιμοποιείται: 150w 2m, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Πίνακας Κωδικοποιήσεων Πειραμάτων

Δείγματα	Ένταση (W)	Χρόνος (min)	Συχνότητα (KHz)	Ποσότητα (mL)
T ₁	-	-	-	100
T ₂	-	-	-	100
150w 2m (150/2)	150	2	20	250
350w 2m (350/2)	350	2	20	250
550w 2m (550/2)	550	2	20	250
750w 2m (750/2)	750	2	20	250
150w 10m (150/10)	150	10	20	250
350w 10m (350/10)	350	10	20	250
550w 10m (550/10)	550	10	20	250
750w 10m (750/10)	750	10	20	250

Οι κωδικοποιήσεις αυτές αντιστοιχούν τόσο για πλήρες, όσο και για αποβουτυρωμένο γάλα. Η παραπάνω διάκριση, θα αναφέρεται σε κάθε περίπτωση.

6.6 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων μελετήθηκαν και από στατιστική άποψη. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), με την οποία διαπιστώθηκε αν υπάρχει επίδραση της έντασης των υπέρηχων, του χρόνου έκθεσης σε αυτούς και του είδους του γάλακτος, στις ιδιότητες και τα συστατικά του γάλακτος, έτσι ώστε να βρεθεί εάν κάποια σχεδιαστική παράμετρος (ένταση, χρόνος, είδος γάλακτος) επιδρά στις εξεταζόμενες ιδιότητες του γάλακτος (ιξώδες, χρώμα, μέγεθος λιποσφαιρίων, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, μικροβιολογικά αποτελέσματα, μετουσίωση πρωτεϊνών). Επίσης, έγινε ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) για την εύρεση των κύριων συνιστωσών του πειράματος, καθώς και των μεταβλητών που προκαλούν διακυμάνσεις στις συνιστώσες αυτές και για τη συσχέτιση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων από τα πειράματα ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους που έλαβαν χώρα κατά τη διεξαγωγή της διπλωματικής εργασίας, καθώς και η επεξεργασία τους. Η αποτελεσματικότητα της ομογενοποίησης ελέγχθηκε με βάση το μέγεθος των λιποσφαιρίων, ενώ παράλληλα ελέγχθηκαν και ορισμένες ιδιότητες του ομογενοποιημένου γάλακτος (χρώμα, ιξώδες, οργανοληπτικά, μικροβιολογικά) τόσο αμέσως μετά την επεξεργασία με υπέρηχους όσο και κατά τη διάρκεια των 4 ημερών αποθήκευσης σε ψύξη.

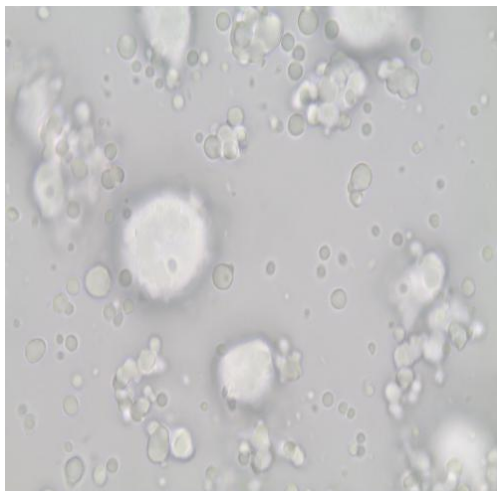
7.1 ΜΕΓΕΘΟΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ

Ημέρα παρασκευής

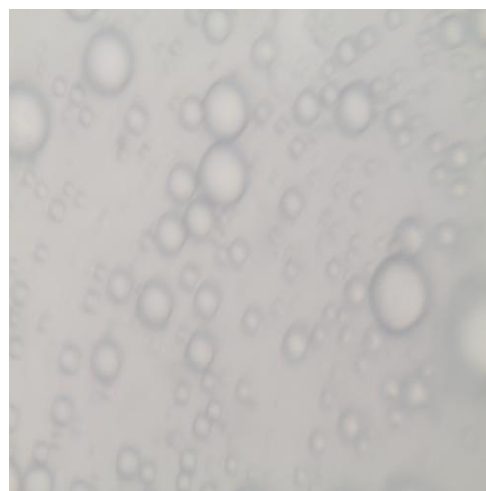
Με παρατήρηση στο μικροσκόπιο, φαίνεται ότι η ομογενοποίηση είναι επιτυχής με τη μέθοδο των υπέρηχων, και μάλιστα όσο αυξάνει η ένταση των υπέρηχων τόσο μειώνεται το μέγεθος των λιποσφαιρίων και αυξάνεται ο αριθμός αυτών.

Πλήρες Γάλα

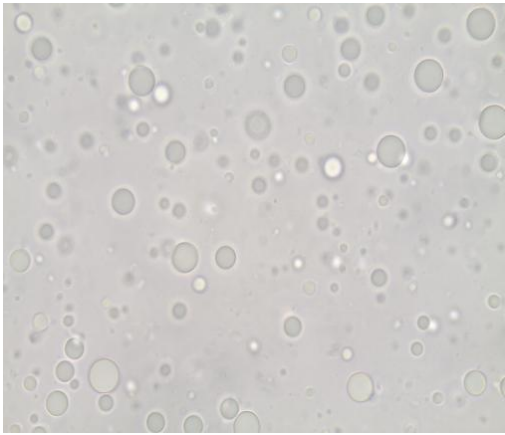
- Χρόνος Αποθήκευσης σε υπέρηχους 2 min



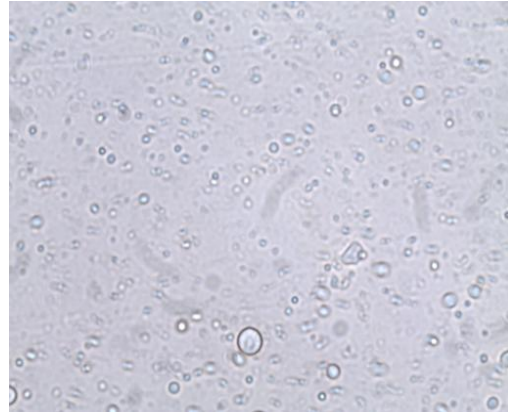
Εικόνα 5: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 0d



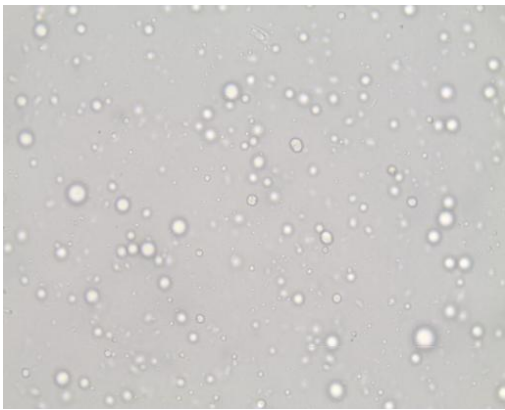
Εικόνα 6: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 0d



Εικόνα 7: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 2m 0d



Εικόνα 8: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 2m 0d



Εικόνα 23: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 2m 0d

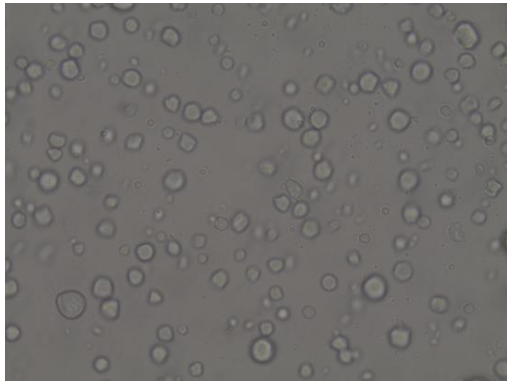


Εικόνα 10: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 2m 0d

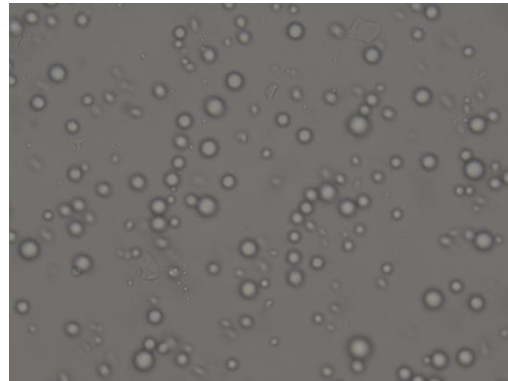
Όπως φαίνεται και στις εικόνες 5-10, τα λιποσφαίρια, του πλήρους γάλακτος, στο δείγμα T_1 έχουν συσσωματωθεί είναι μεγάλα κατά κύριο λόγο και εμφανίζονται ως ενιαία μάζα, ενώ υπάρχουν και ορισμένα μικρότερα. Στο δείγμα T_2 η συσσωμάτωση είναι πολύ μικρότερη και το μέγεθος των λιποσφαιρίων είναι όπως και προηγουμένως με κυρίως μεγάλα λιποσφαίρια. Στα ομογενοποιημένα δείγματα, με χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 2 min, φαίνεται ότι τα λιποσφαίρια μικραίνουν σε μέγεθος σταδιακά αντιστρόφως ανάλογα με την ένταση των υπέρηχων. Στο πείραμα 750w 2m τα λιποσφαίρια είναι αρκετά μικρά και τα περισσότερα από αυτά δεν είναι εμφανή στην εικόνα.

Από τις παραπάνω εικόνες συμπεραίνεται ότι η ομογενοποίηση με εφαρμογή υπέρηχων είναι επιτυχής.

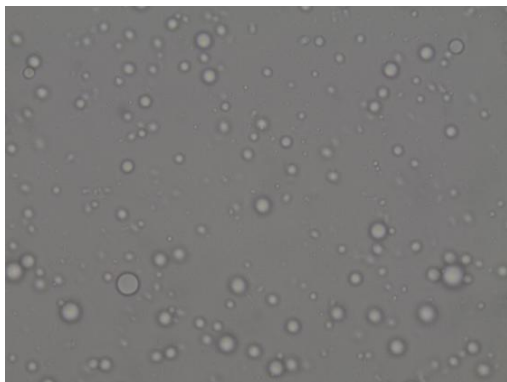
- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 10 min



Εικόνα 11: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 0d



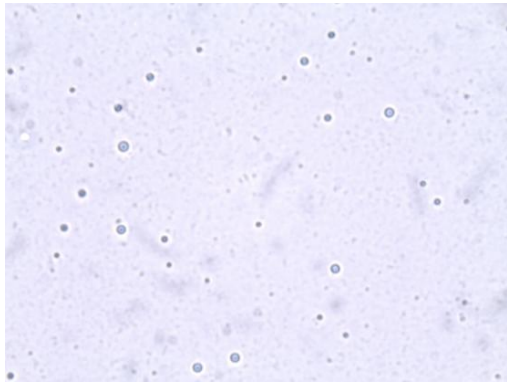
Εικόνα 12: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 0d



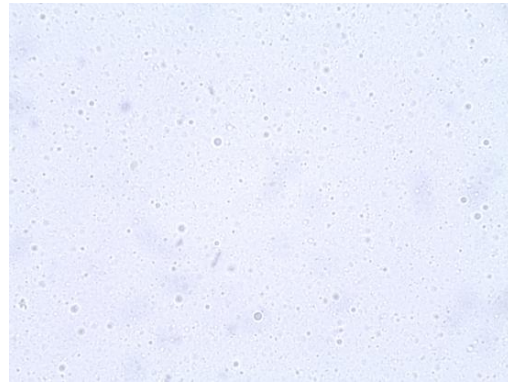
Εικόνα 13: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 0d



Εικόνα 14: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 0d



Εικόνα 15: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 0d



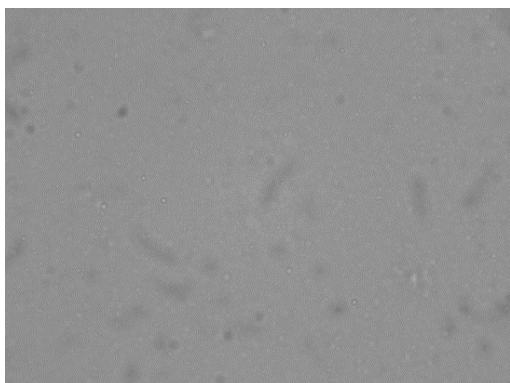
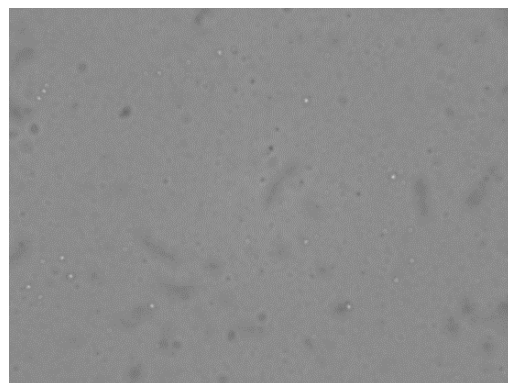
Εικόνα 16: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 0d

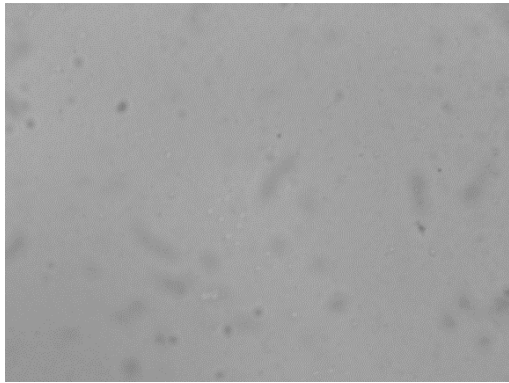
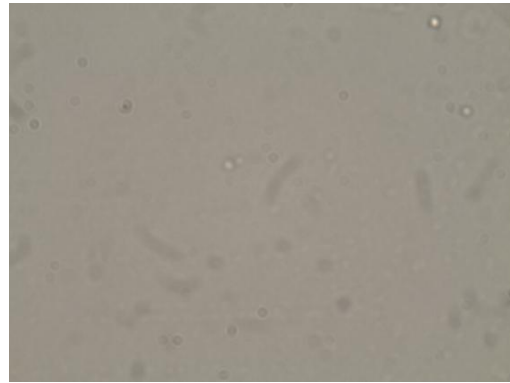
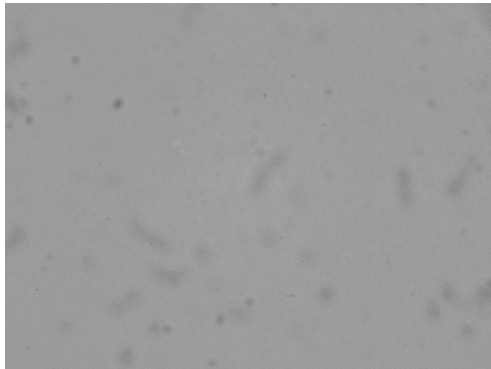
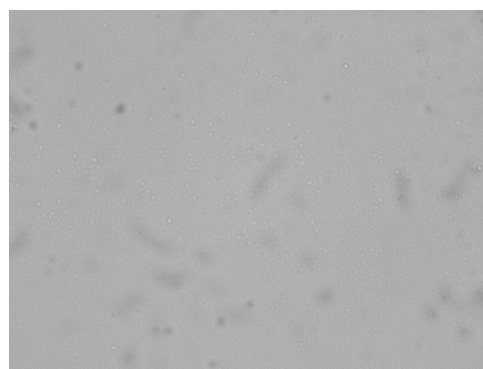
Όπως φαίνεται και στις εικόνες 11-16, τα λιποσφαίρια στο δείγμα T_1 είναι μεγάλα κατά κύριο λόγο. Στο δείγμα T_2 το μέγεθος των λιποσφαιρίων είναι όπως και προηγουμένως, στη σειρά ομογενοποίησης πλήρους γάλακτος για 2 min. Στα ομογενοποιημένα δείγματα παρατηρείται ότι τα λιποσφαίρια μικραίνουν σε μέγεθος σταδιακά αντιστρόφως ανάλογα με την ένταση των υπέρηχων.

Από τις παραπάνω εικόνες συμπεραίνεται ότι η ομογενοποίηση με εφαρμογή υπέρηχων είναι επιτυχής.

Αποβουτυρωμένο Γάλα

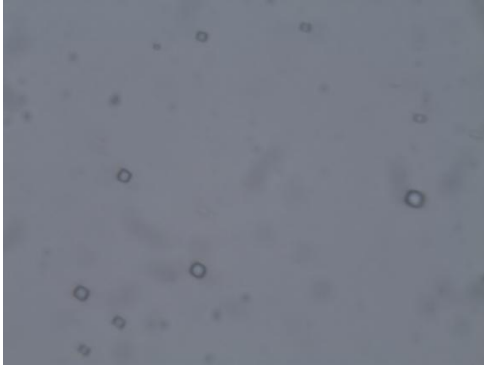
- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 2 min

Εικόνα 17: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_1 0dΕικόνα 24: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_2 0d

**Εικόνα 19: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 2m 0d****Εικόνα 20: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 2m 0d****Εικόνα 21: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 2m 0d****Εικόνα 22: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 2m 0d**

Στο αποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο δεν περιέχει κρέμα, όπου βρίσκονται τα λιπαρά, μπορούν να παρατηρηθούν λίγα λιποσφαίρια. Αυτό είναι φυσιολογικό, εφόσον κατά το διαχωρισμό των λιπαρών του γάλακτος μπορεί να παραμείνει περιορισμένος μόνο αριθμός λιποσφαιρίων στο αποβουτυρωμένο γάλα. Τα λιποσφαίρια καθώς η ένταση της ομογενοποίησης αυξάνεται, σχεδόν δεν φαίνονται σαφώς στις εικόνες.

- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 10 min



Εικόνα 23: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_1 0d



Εικόνα 24: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_2 0d



Εικόνα 25: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 0d



Εικόνα 26: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 0d



Εικόνα 27: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 0d



Εικόνα 28: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 0d

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται και στην επεξεργασία με υπέρηχους του αποβουτυρωμένου γάλακτος, για χρόνο 10 min. Τα λιποσφαίρια του δείγματος T_1

είναι εμφανή, αλλά όχι πολλά. Με την ομογενοποίηση όμως μειώνονται σε τέτοιο βαθμό που δεν είναι καν εμφανή.

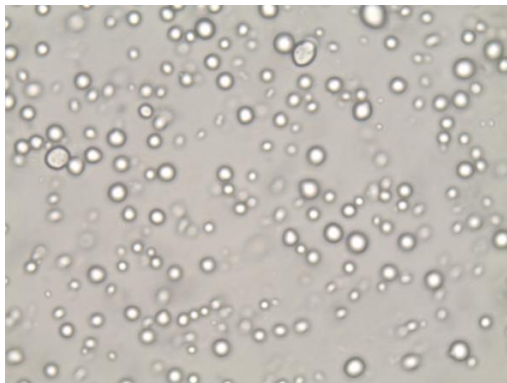
Κατά την Αποθήκευση

Τις ημέρες εξέτασης κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, σε ορισμένες σειρές μετρήσεων παρατηρούνται συσσωματώματα, γεγονός που σημαίνει ότι η ομογενοποίηση με υπέρηχους διατηρείται έως ένα χρονικό διάστημα και μετά το γάλα εφόσον δεν είναι ομοιογενές καθίσταται μη αποδεκτό. Βέβαια, στην πλειοψηφία των μετρήσεων το ομογενοποιημένο γάλα στις μεγάλες εντάσεις υπέρηχων φαίνεται να είναι αποδεκτά ομογενοποιημένο ακόμη και την τέταρτη ημέρα αποθήκευσής του.

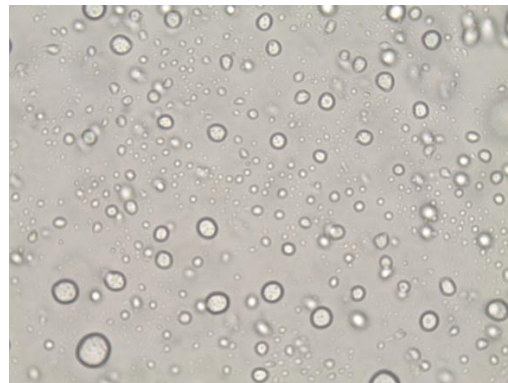
Πλήρες Γάλα

- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 2 min

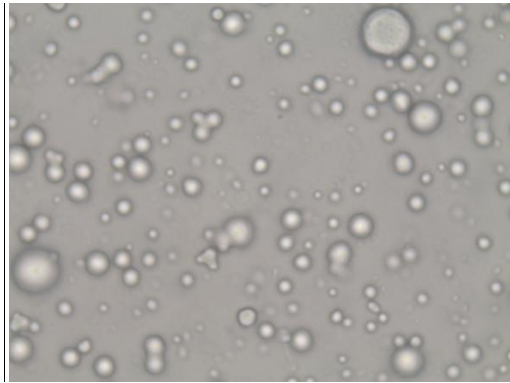
Δεύτερη Ημέρα Αποθήκευσης (2d)



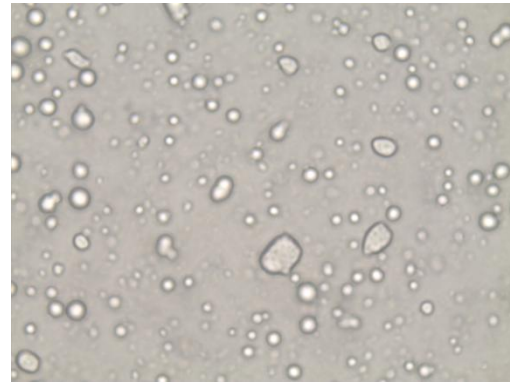
Εικόνα 29: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_1 2d



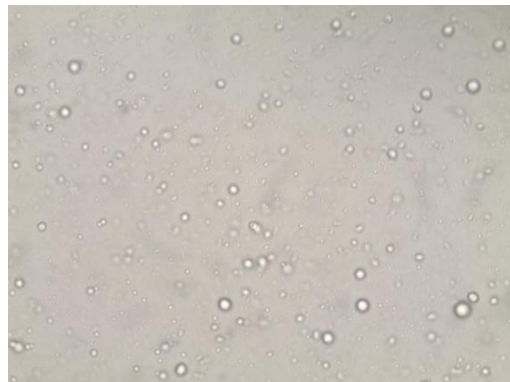
Εικόνα 30: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_2 2d



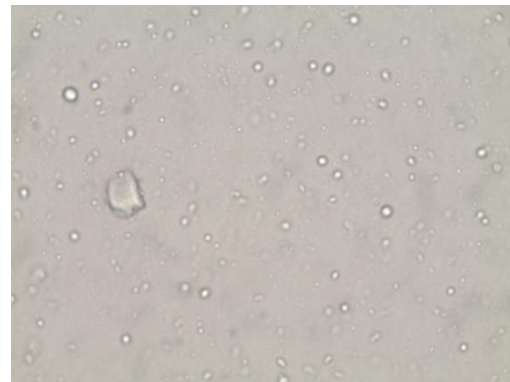
Εικόνα 31: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 2m 2d



Εικόνα 32: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 2m 2d



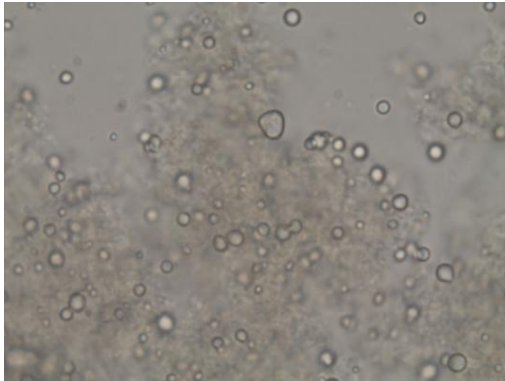
Εικόνα 33: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 2m 2d



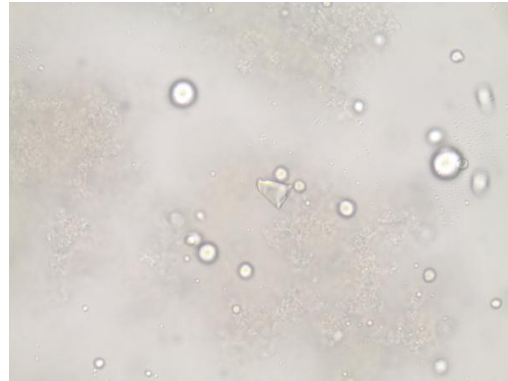
Εικόνα 34: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 2m 2d

Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρείται κάποιος βαθμός συσσωμάτωσης κατά τη δεύτερη ημέρα της αποθήκευσης, ιδίως στα τυφλά δείγματα και στο επεξεργασμένο δείγμα 150w 2m. Στα επεξεργασμένα δείγματα με τις μεγαλύτερες εντάσεις υπέρηχων η συσσωμάτωση είναι πολύ μικρή, τόσο ώστε να μην επηρεάζει σημαντικά την ομογενοποίηση και παρατηρείται επίσης ότι τα λιποσφαίρια διατηρούν το μικρό τους μέγεθος.

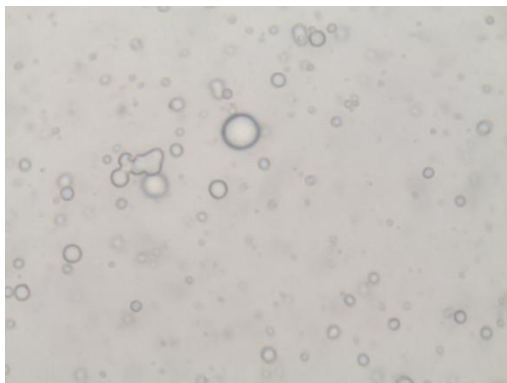
Τέταρτη Ημέρα Αποθήκευσης (4d)



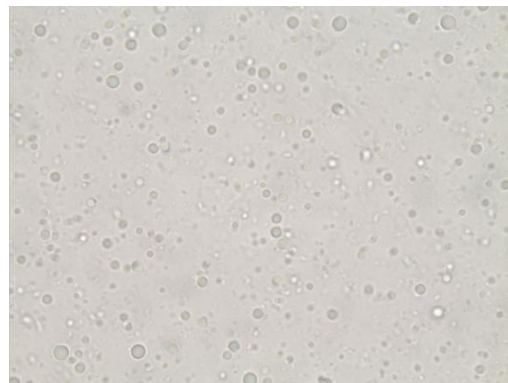
Εικόνα 35: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_1 4d



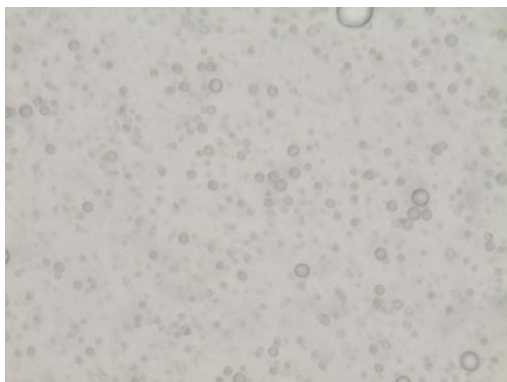
Εικόνα 36: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T_2 4d



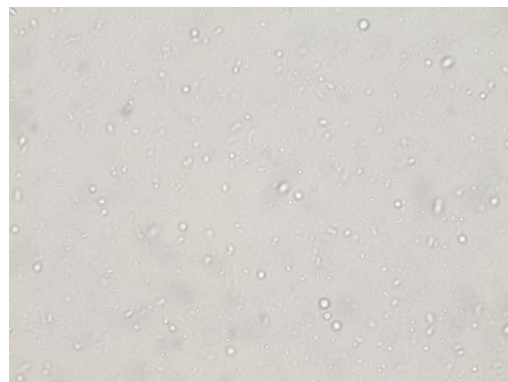
Εικόνα 37: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 2m 4d



Εικόνα 38: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 2m 4d



Εικόνα 39: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 2m 4d

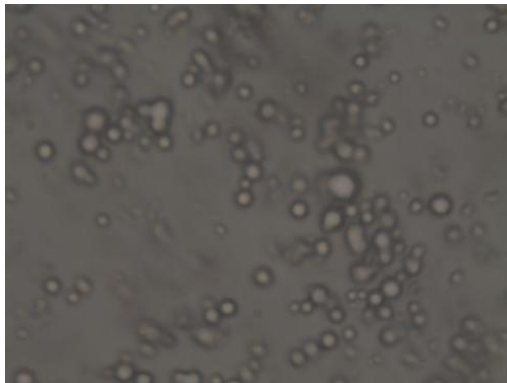


Εικόνα 40: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 2m 4d

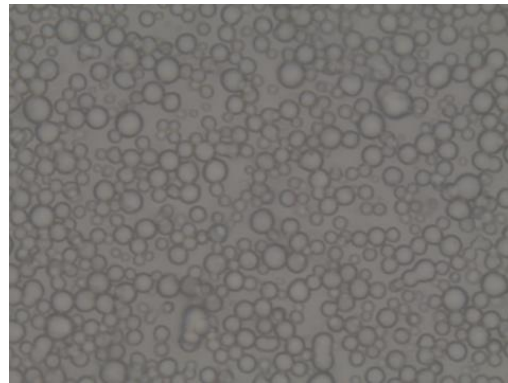
Στο δείγμα T₂ παρατηρούνται κάποια σημεία της εικόνας που είναι σαν «σύννεφα», αυτό είναι το φαινόμενο της αποκορύφωσης, αφού όλα τα λιποσφαίρια έχουν συσσωματωθεί και έχουν σχηματίσει ένα στρώμα πέτσας. Στο δείγμα 150w 2m, η συσσωμάτωση, αν και δεν είναι έντονη, είναι εμφανής. Στα επεξεργασμένα δείγματα κατεργασμένα με μεγαλύτερες εντάσεις υπέρηχων, τα λιποσφαίρια ακόμη και μετά από 4 ημέρες αποθήκευσης στους 4°C διατηρούν το μικρό τους μέγεθος.

- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 10 min

Δεύτερη Ημέρα Αποθήκευσης (2d)



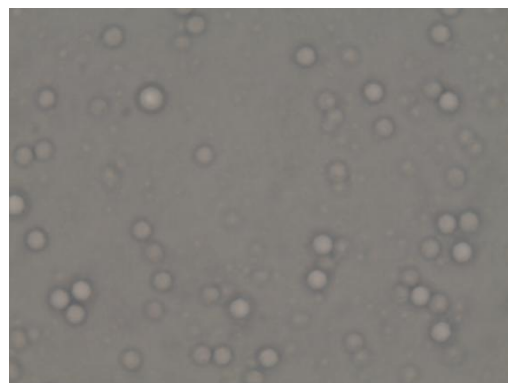
Εικόνα 41: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 2d



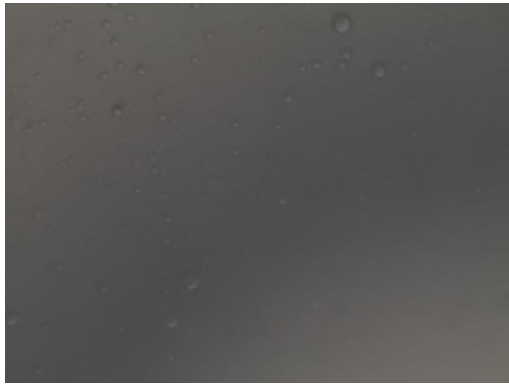
Εικόνα 42: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 2d



Εικόνα 43: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 2d



Εικόνα 44: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 2d



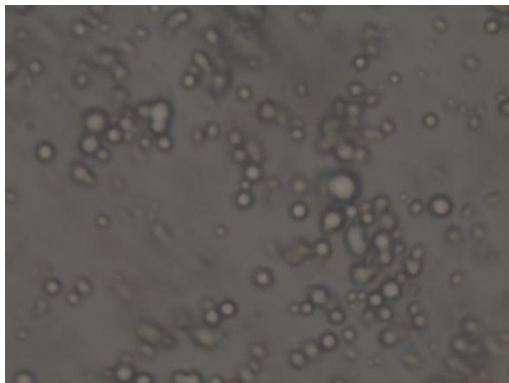
Εικόνα 45: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 2d

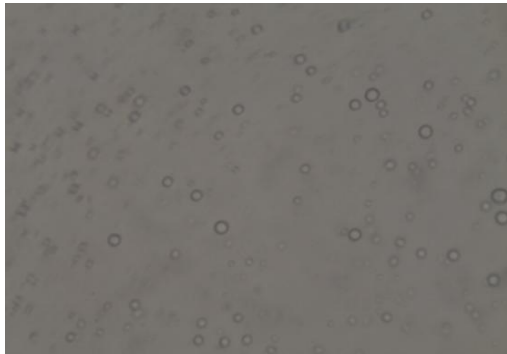


Εικόνα 46: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 2d

Κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, στα επεξεργασμένα δείγματα με υπέρηχους διάρκειας 10 min παρατηρείται μια συσσωμάτωση σε ένταση υπέρηχων 150W, ενώ τα λιποσφαίρια σχεδόν δεν φαίνονται σε εντάσεις 550 και 750 W.

Τέταρτη Ημέρα Αποθήκευσης (4d)

Εικόνα 47: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 4d



Εικόνα 48: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 4d



Εικόνα 49: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 4d



Εικόνα 50: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 4d



Εικόνα 51: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 4d

Από την εικόνα 47 παρατηρείται συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων στο δείγμα T₁, την τέταρτη ημέρα αποθήκευσης, φυσιολογικό, εφόσον το δείγμα αυτό δεν έχει υποστεί ομογενοποίηση. Τα δείγματα επεξεργασμένα με εντάσεις υπέρηχων 150 και 350 W έχουν σαφώς μικρότερο μέγεθος λιποσφαιρίων, το οποίο μειώνεται σταδιακά, όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων. Στις εικόνες αυτές δεν παρατηρείται κανένα ίχνος συσσωμάτωσης, γεγονός που δείχνει ότι η ομογενοποίηση με υπέρηχους είναι μια αποτελεσματική μέγεθος και μετά το πέρας τεσσάρων ημερών αποθήκευσης.

Αποβουτυρωμένο Γάλα

- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 2 min

Δεύτερη Ημέρα Αποθήκευσης (2d)Εικόνα 52: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 2d

Εικόνα 53: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 2m 2d



Εικόνα 54: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 2m 2d

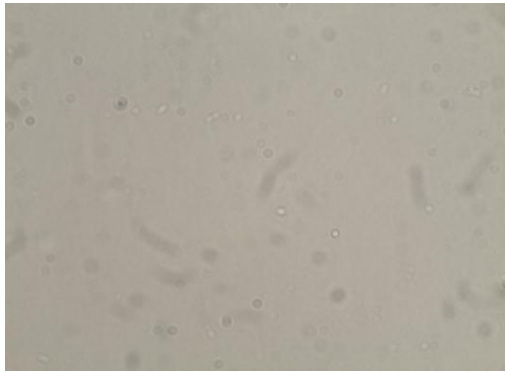


Εικόνα 55: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 2m 2d

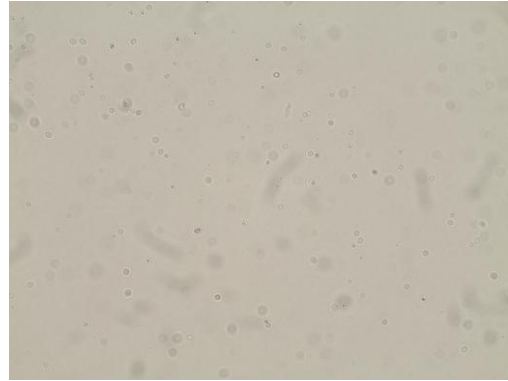
Στο αποβουτυρωμένο γάλα επεξεργασμένο με υπέρηχους για χρόνο 2min, και κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης τα λιποσφαίρια είναι πολύ μικρά και δεν φαίνονται σχεδόν καθόλου.

- Χρόνος έκθεσης σε υπέρηχους 10 min

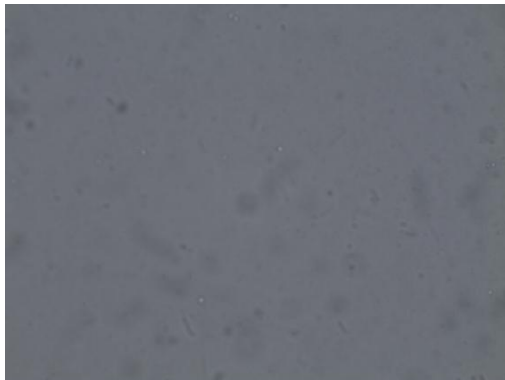
Δεύτερη Ημέρα Αποθήκευσης (2d)



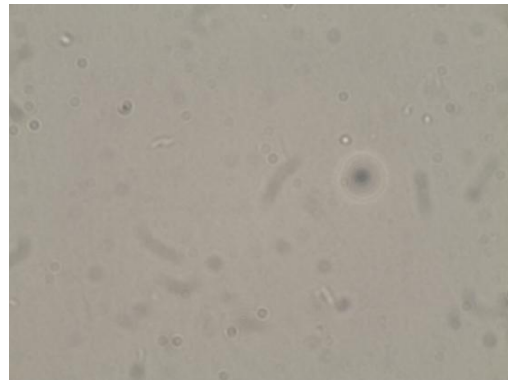
Εικόνα 56: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 2d



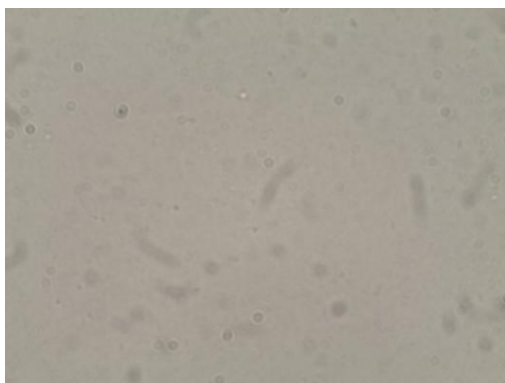
Εικόνα 57: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 2d



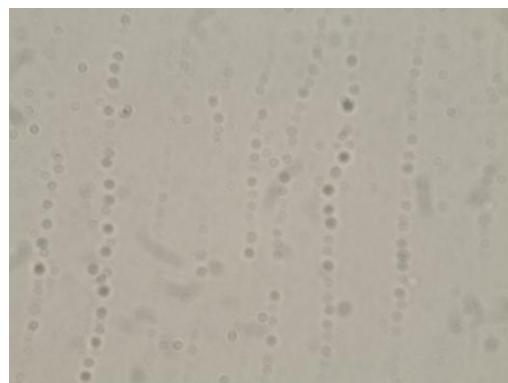
Εικόνα 58: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 2d



Εικόνα 59: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 2d



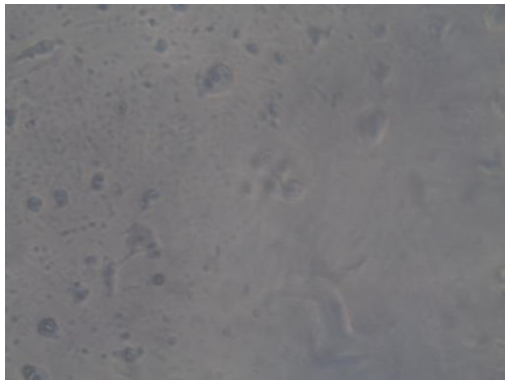
Εικόνα 60: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 2d



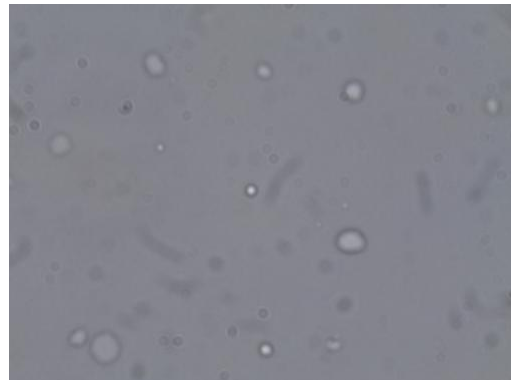
Εικόνα 61: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 2d

Αντίστοιχα και στο επεξεργασμένο γάλα με υπέρηχους για χρόνο 10 min, τα λιποσφαίρια είναι πολύ μικρά, αλλά περισσότερο εμφανή ακόμη και σε ένταση 550W. Τα σφαιρίδια που φαίνονται στο δείγμα των 750 W, δεν πρέπει να είναι λιποσφαίρια (πιθανώς οφείλεται σε προσμίξεις του δείγματος ή σε κακή εστίαση του φακού).

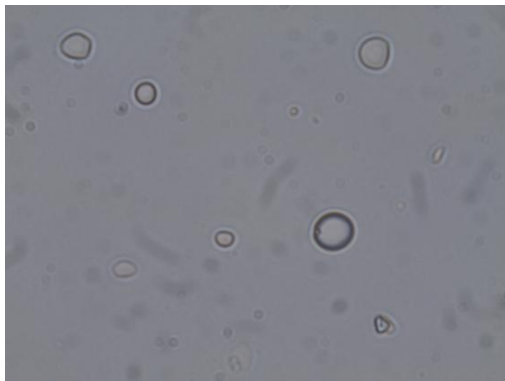
Τέταρτη Ημέρα Αποθήκευσης (4d)



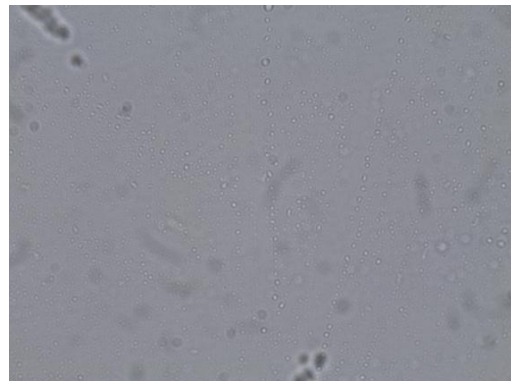
Εικόνα 62: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₁ 4d



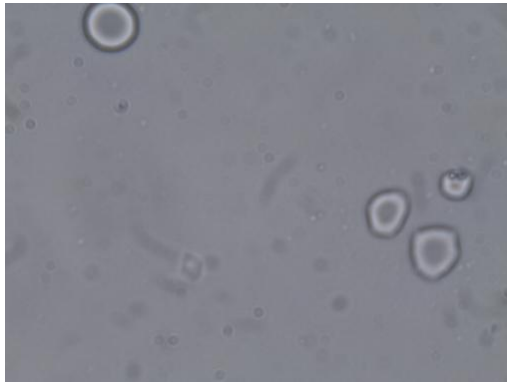
Εικόνα 63: Απεικόνιση λιποσφαιρίων T₂ 4d



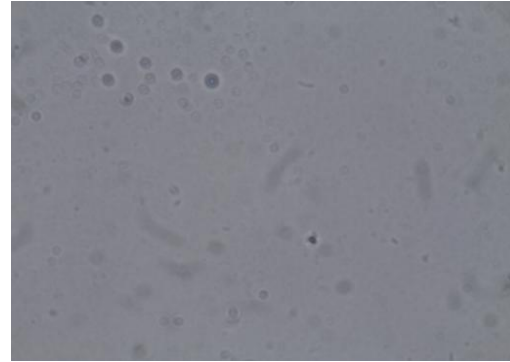
Εικόνα 64: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 150w 10m 4d



Εικόνα 65: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 350w 10m 4d



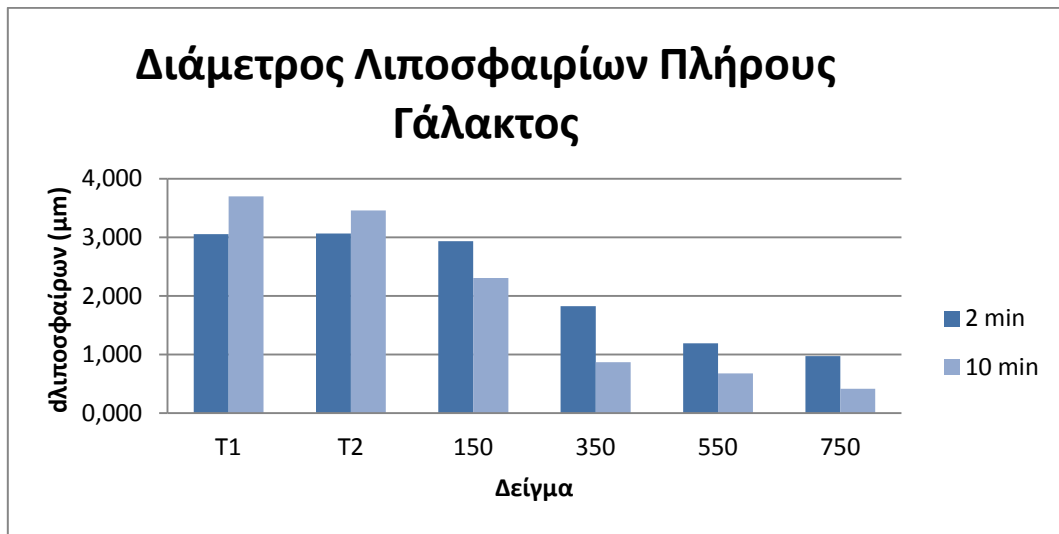
Εικόνα 66: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 550w 10m 4d



Εικόνα 67: Απεικόνιση λιποσφαιρίων 750w 10m 4d

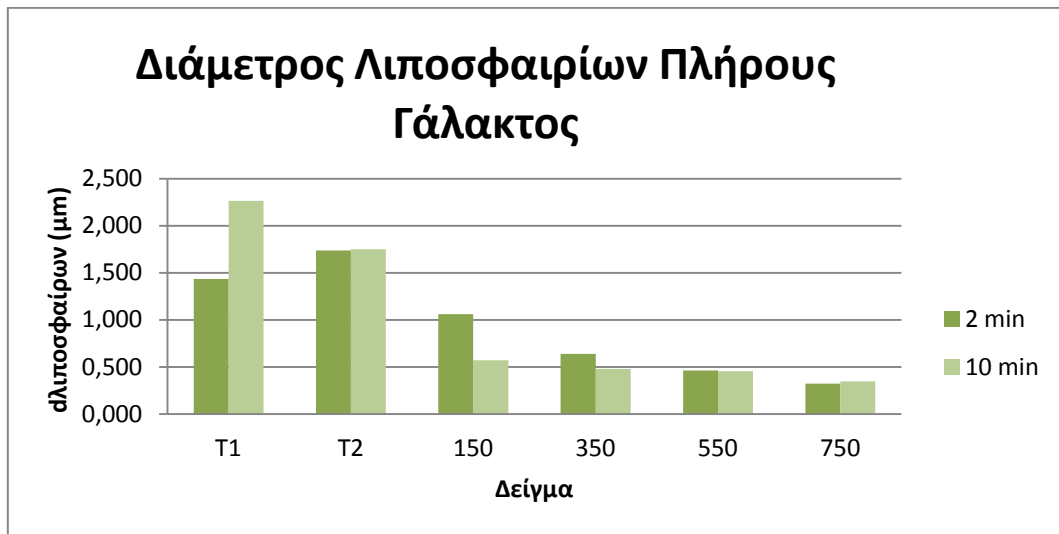
Κατά την τέταρτη ημέρα στο δείγμα γάλακτος με επεξεργασία στους υπέρηχους για 10 min, παρατηρείται ότι ακόμη και τα λίγα λιποσφαίρια που υπάρχουν στο αποβουτυρωμένο γάλα συσσωματώνονται και καθίστανται πολύ μεγαλύτερα από ότι αυτά του δείγματος T_1 κατά την ημέρα παρασκευής του γάλακτος. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι μετά από κάποιες ημέρες η ομογενοποίηση με υπέρηχους δεν διατηρείται τόσο αποτελεσματική.

Με βάση τις μετρήσεις που έλαβαν χώρα με τη βοήθεια του μικροσκοπίου παρατίθενται παρακάτω διαγράμματα, τα οποία παρουσιάζουν τη μεταβολή της μέσης διαμέτρου των λιποσφαιρίων πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος για τους δύο χρόνους επεξεργασίας των δειγμάτων στους υπέρηχους.



Διάγραμμα 4: Σύγκριση Μέσης Διαμέτρου λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι, όπως φαίνεται και από τις αντίστοιχες εικόνες για το πλήρες γάλα, η διάμετρος των λιποσφαιρίων μειώνεται όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων. Η μείωση είναι πολύ μεγαλύτερη κατά την επεξεργασία πλήρους γάλακτος με υπέρηχους για χρόνο 10 min. Επίσης παρατηρείται ότι τα δείγματα T_1 και T_2 έχουν παραπλήσιες τιμές μεγέθους λιποσφαιρίων. Αυτό, είναι φυσιολογικό, αφού τα δείγματα αυτά δεν έχουν υποστεί ομογενοποίηση και η παστερίωση δεν επιδρά στο μέγεθος των λιποσφαιρίων. Τα λιποσφαίρια ξεκινούν από μέγεθος 3–3,5 μm και με τη μέθοδο της ομογενοποίησης με υπέρηχους στα μεν 2 min φτάνουν τα 0,9 μm , στα δε 10 min φτάνουν περίπου στα 0,4 μm . Συνεπώς μπορεί να προκύψει ότι μεγαλύτερος χρόνος ομογενοποίησης, διασπά σε μεγαλύτερο βαθμό τα λιποσφαίρια.

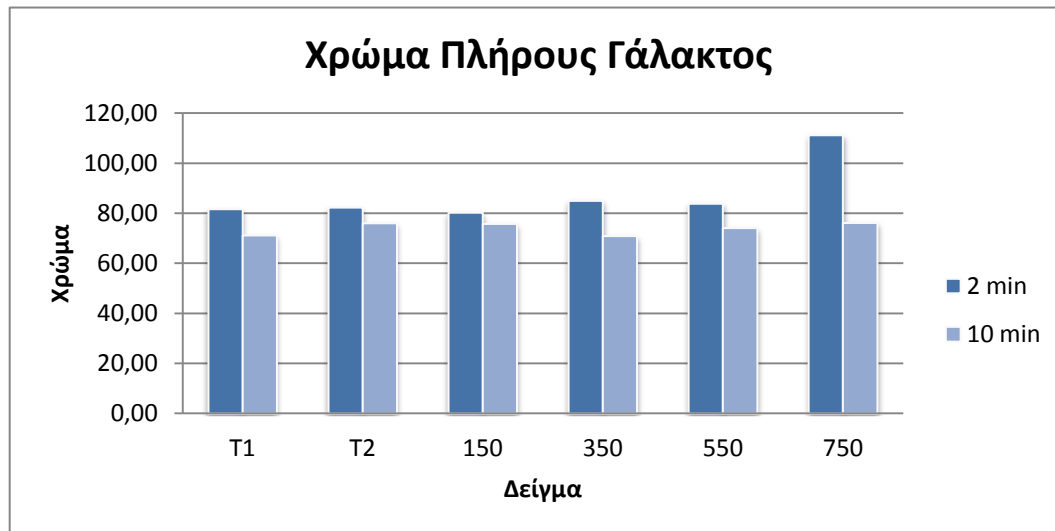


Διάγραμμα 5: Σύγκριση Μέσης Διαμέτρου λιποσφαιρίων αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Στο αποβουτυρωμένο γάλα παρατηρείται ότι για χρόνο επεξεργασίας 2 min με υπέρηχους, το δείγμα T₁, έχει μικρότερη μέση διάμετρο από ότι το δείγμα T₂. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα παρόλα αυτά η διαφορά είναι σημαντική. Με τους υπέρηχους τόσο σε χρόνο 2 min, όσο και σε 10 min, η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων φαίνεται να μειώνεται, όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων. Τα λιποσφαίρια στο αποβουτυρωμένο γάλα είναι πολύ λιγότερα σε ποσότητα συγκριτικά με το πλήρες γάλα. Όμως υπάρχει πιθανότητα εμφάνισης τους, διότι κατά τη φυγοκέντρωση του νωπού γάλακτος στη βιομηχανία είναι αδύνατη η 100% απομάκρυνση όλων των λιποσφαιρίων. Τα λιποσφαίρια ξεκινούν σε μέγεθος από τα 2–2,5 μm και με τη μέθοδο της ομογενοποίησης με υπέρηχους τόσο σε χρόνο 2 min, όσο και σε 10 min φτάνουν σε μέγεθος 0,3 μm.

7.2 ΧΡΩΜΑ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

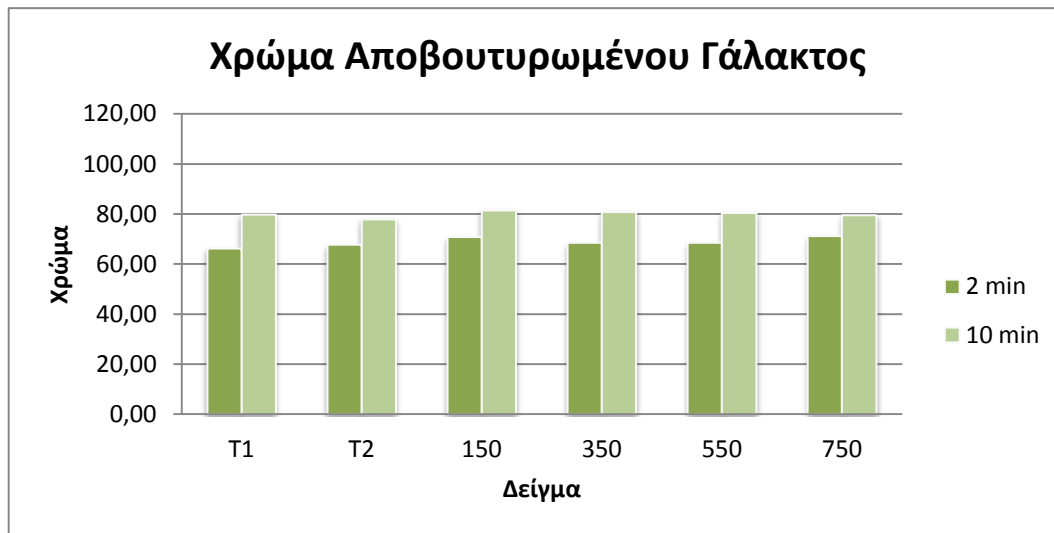
- Ημέρα Παρασκευής

Πλήρες Γάλα

Διάγραμμα 6: Διάγραμμα σύγκρισης χρώματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Για 2 min επεξεργασίας με υπέρηχους, το πλήρες γάλα παρουσιάζει πιο ανοιχτό χρώμα σε ένταση υπέρηχων 750 W και στη συνέχεια ακολουθούν οι εντάσεις 350 W και 550W με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ τους. Το χρώμα του δείγματος 150w 2m, φαίνεται να είναι λίγο πιο σκούρο ακόμη και από τα τυφλά δείγματα. Στα 10 min, επεξεργασίας με υπέρηχους, δεν υπάρχουν τόσο μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των δειγμάτων, αλλά και σε αυτή την περίπτωση το δείγμα έντασης υπέρηχων 750 W έχει το πιο ανοιχτό χρώμα. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται από τη θεωρία, αφού με τους υπέρηχους το χρώμα του γάλακτος γίνεται πιο ανοιχτό, πιο λευκό.⁶

Αποβουτυρωμένο Γάλα

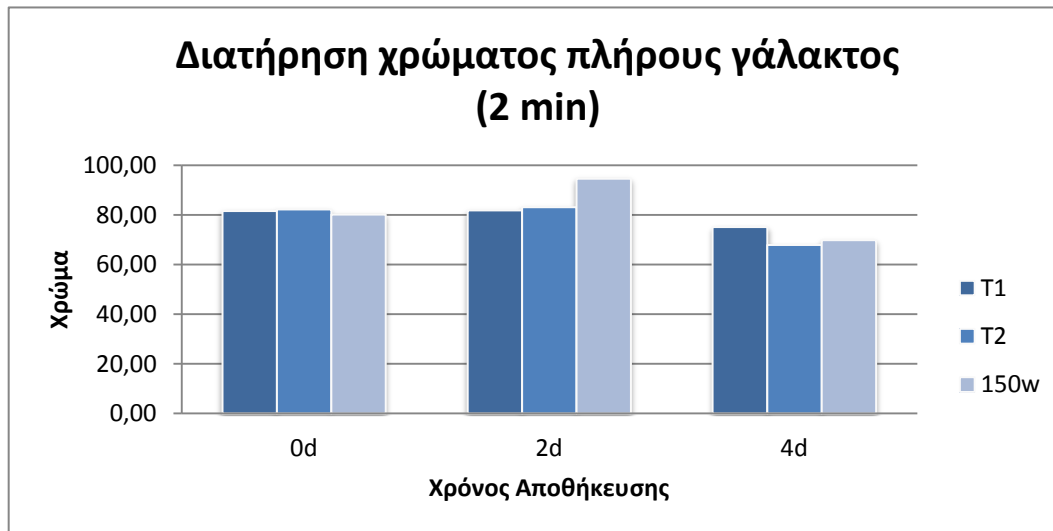


Διάγραμμα 7: Διάγραμμα σύγκρισης χρώματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Οι τιμές του χρώματος στο αποβουτυρωμένο γάλα τόσο για επεξεργασία με υπέρηχους για 2 min, όσο και για 10 min δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις. Σε χρόνο επεξεργασίας 2 min τη μέγιστη τιμή, δηλαδή πιο ανοιχτό, λευκό χρώμα έχει το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 750 W, ενώ στα 10 min, το πιο ανοιχτό χρώμα έχει το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W.

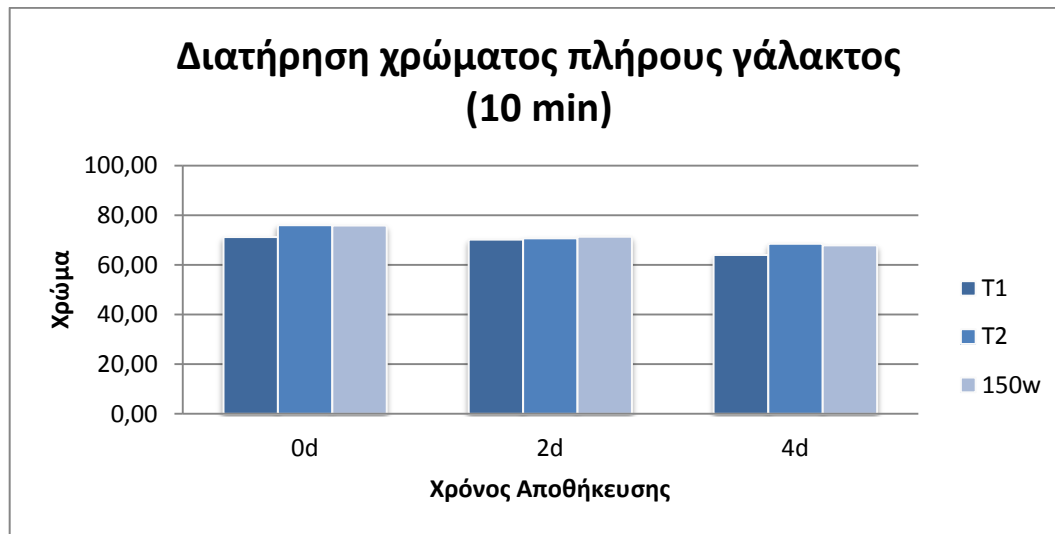
- Κατά την Αποθήκευση

Πλήρες Γάλα



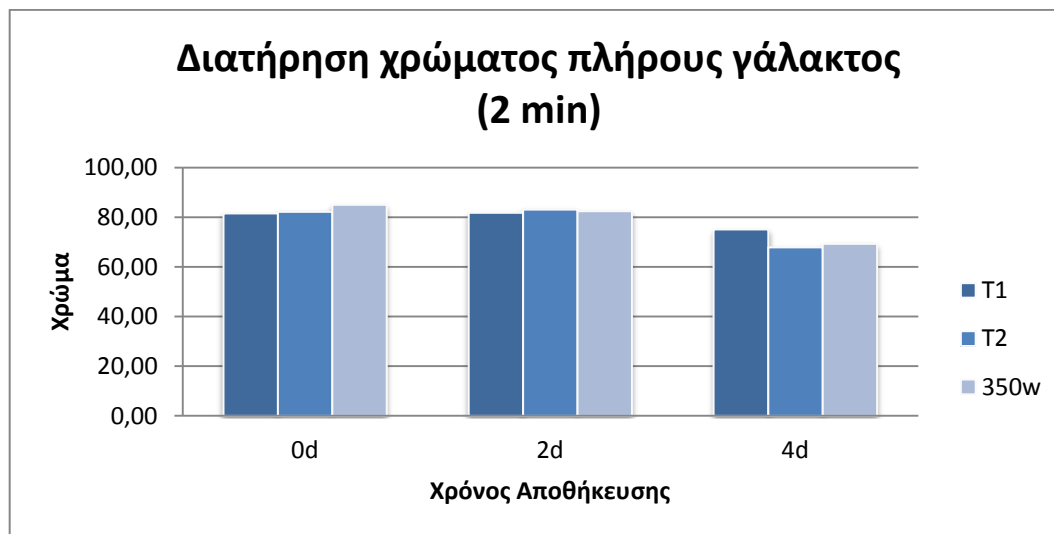
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Το χρώμα του 1^{ου} τυφλού δείγματος πλήρους γάλακτος φαίνεται ότι είναι πιο ανοιχτό μέχρι και τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και στη συνέχεια σκουραίνει, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε οξειδώσεις των λιπαρών. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται και στο δείγμα T₂, όπου μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης έχει ανοιχτό χρώμα και την τέταρτη φαίνεται να σκουραίνει. Στο επεξεργασμένο δείγμα με υπέρηχους έντασης 150 W για 2 min, το χρώμα την τέταρτη ημέρα αποθήκευσης γίνεται είναι αρκετά σκουρότερο. Συγκριτικά παρατηρείται ότι τα δύο τυφλά δείγματα έχουν τιμές παραπλήσιες, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ το επεξεργασμένο δείγμα με υπέρηχους έντασης 150 W παρουσιάζει πάντα χαμηλότερες τιμές, με εξαίρεση τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσής του. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι οι υπέρηχοι και η παστερίωση πρέπει να υποβαθμίζουν το χρώμα του γάλακτος.



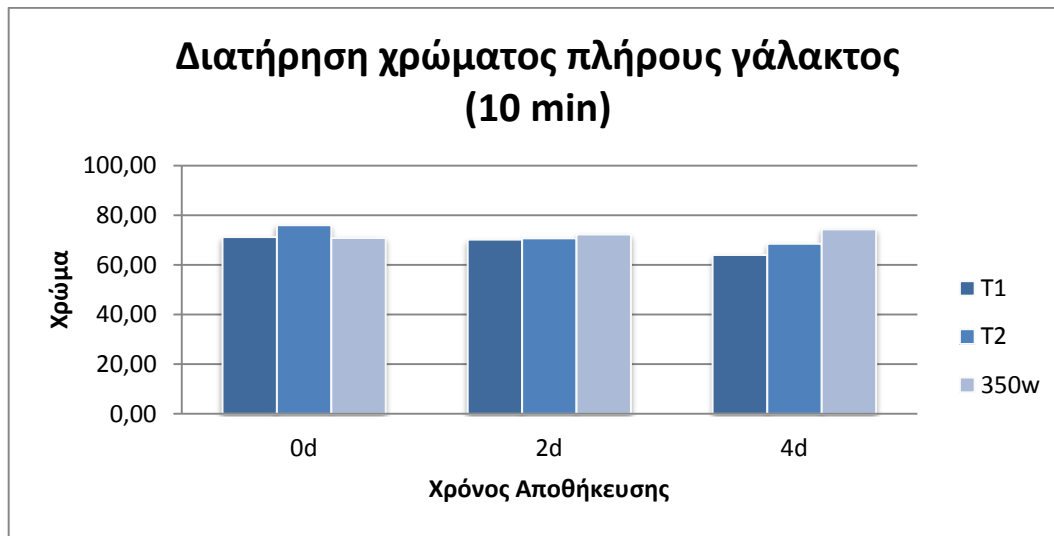
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας πλήρους γάλακτος με υπέρηχους 10 min το χρώμα του δείγματος T₁ είναι πιο ανοιχτό την ημέρα παρασκευής του γάλακτος και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σκουραίνει. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχουν και τα δείγματα T₂ και 150w 10m. Παρατηρείται επίσης συγκριτικά με το προηγούμενο διάγραμμα ότι σε μικρότερο χρόνο έκθεσης σε υπέρηχους το χρώμα του γάλακτος είναι πιο έντονο.



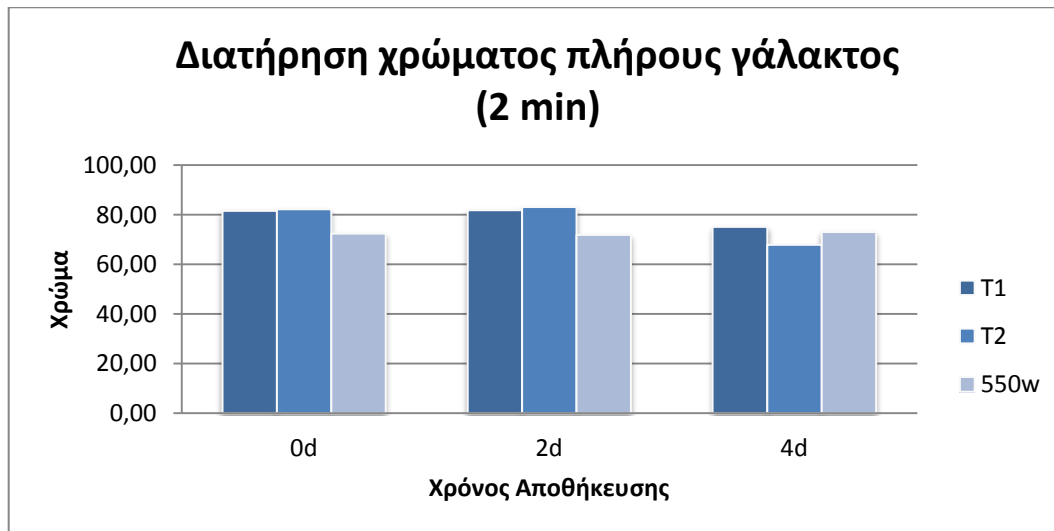
Διάγραμμα 10: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Κατά την επεξεργασία πλήρους γάλακτος με υπέρηχους για χρόνο 2 min, το χρώμα σκουραίνει κατά την αποθήκευση, γεγονός, που μπορεί να οφείλεται στην οξείδωση των λιπαρών. Επίσης, είναι φανερό ότι το χρώμα του επεξεργασμένου με υπέρηχους γάλα είναι πιο ανοιχτό από τα άλλα δύο τυφλά, τουλάχιστον κατά την ημέρα παρασκευής, γεγονός που εξηγείται θεωρητικά, ότι όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων τόσο το χρώμα γίνεται πιο λευκό. Ενώ τη δεύτερη ημέρα ξεκινά η υποβάθμιση του χρώματος του δείγματος με ένταση υπέρηχων 350W, με σχεδόν σταθερό το χρώμα των δύο τυφλών, την τέταρτη ημέρα τα δύο επεξεργασμένα δείγματα T₂ και 350w 2m, έχουν πολύ σκουρότερο χρώμα από αυτό του μη επεξεργασμένου δείγματος T₁, γεγονός που δείχνει ότι η επεξεργασία του προϊόντος συμβάλλει στην υποβάθμιση του χρώματος κατά την αποθήκευση, κυρίως όταν η επεξεργασία με υπέρηχους διαρκεί 2 min.



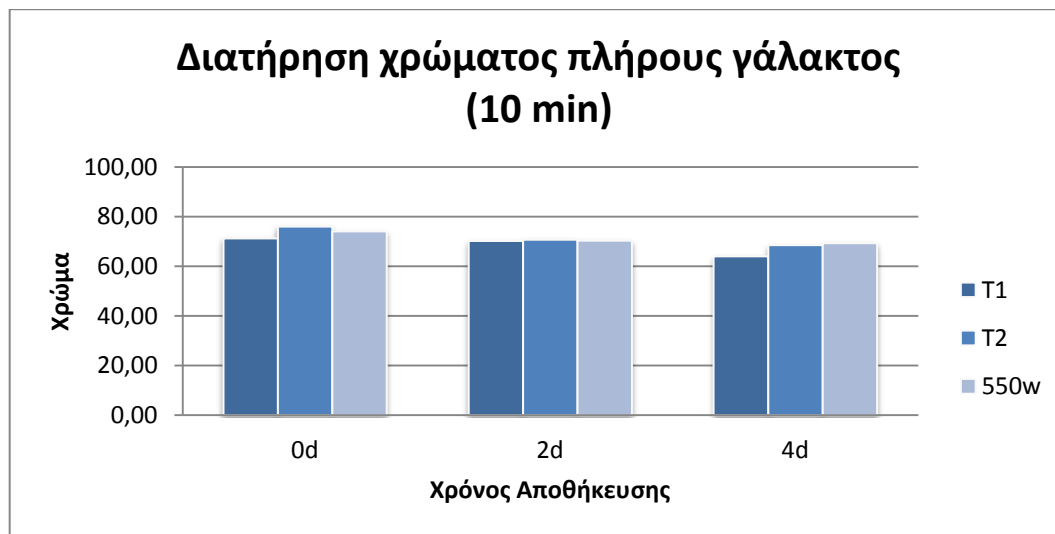
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Με επεξεργασία υπέρηχων διάρκειας 10 min, παρατηρείται ότι το χρώμα του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση 350 W γίνεται συνεχώς πιο έντονο κατά την αποθήκευση. Αντίθετα τα δύο τυφλά δείγματα, έχουν πιο ανοιχτό χρώμα την ημέρα παρασκευής και έπειτα αυτό σκουραίνει.



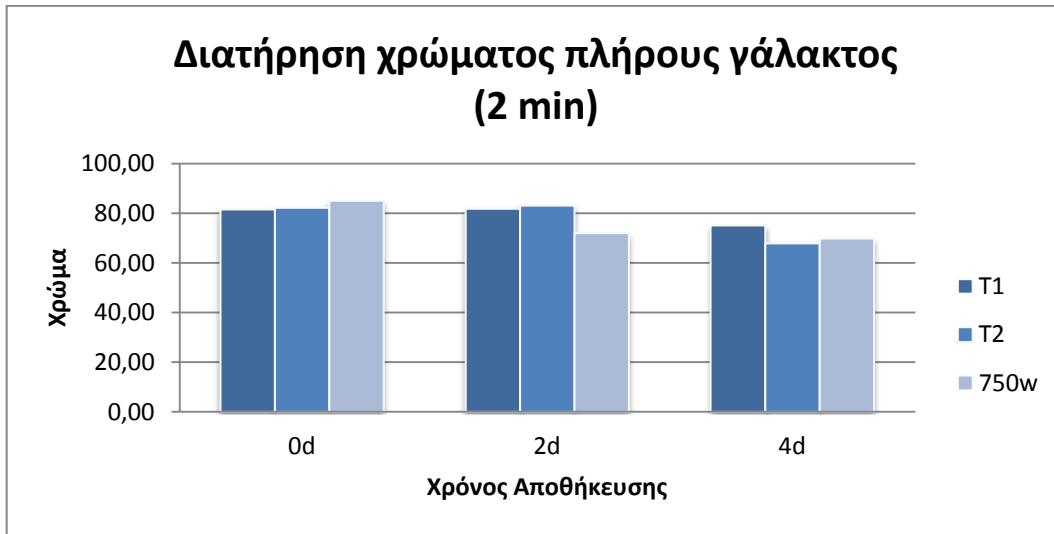
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Στο επεξεργασμένο δείγμα πλήρους γάλακτος με ένταση υπέρηχων 550 W για 2 min, το χρώμα διατηρείται σχεδόν σταθερό με μικρή αύξηση κατά την αποθήκευση. Τα δείγματα T₁ και T₂ φαίνονται να παραμένουν και αυτά σταθερά μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και έπειτα μειώνονται με το δείγμα T₂ να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση. Το χρώμα το δείγματος 550w 2m κατά την τέταρτη ημέρα είναι πιο σκούρο από αυτό του T₁.



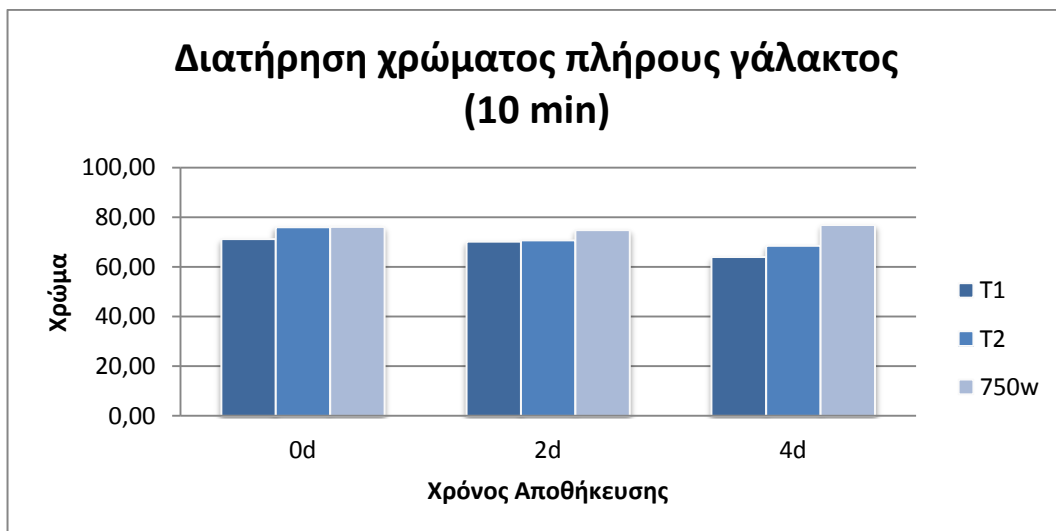
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Με επεξεργασία υπέρηχων για χρόνο 10 min, η κατάσταση είναι αντίστοιχη (όπως για χρόνο 2 min), με το χρώμα να γίνεται πιο σκούρο κατά την αποθήκευση των δειγμάτων. Αντίστοιχη εικόνα ακολουθούν και τα δύο τυφλά δείγματα. Παρατηρείται επίσης ότι κατά την αποθήκευση το επεξεργασμένο γάλα με υπέρηχους, έντασης 550 W, έχει πιο ανοιχτό χρώμα συγκριτικά με το μη επεξεργασμένο γάλα και σχεδόν παραπλήσιο με το απλά παστεριωμένο γάλα (δείγμα T₁).



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

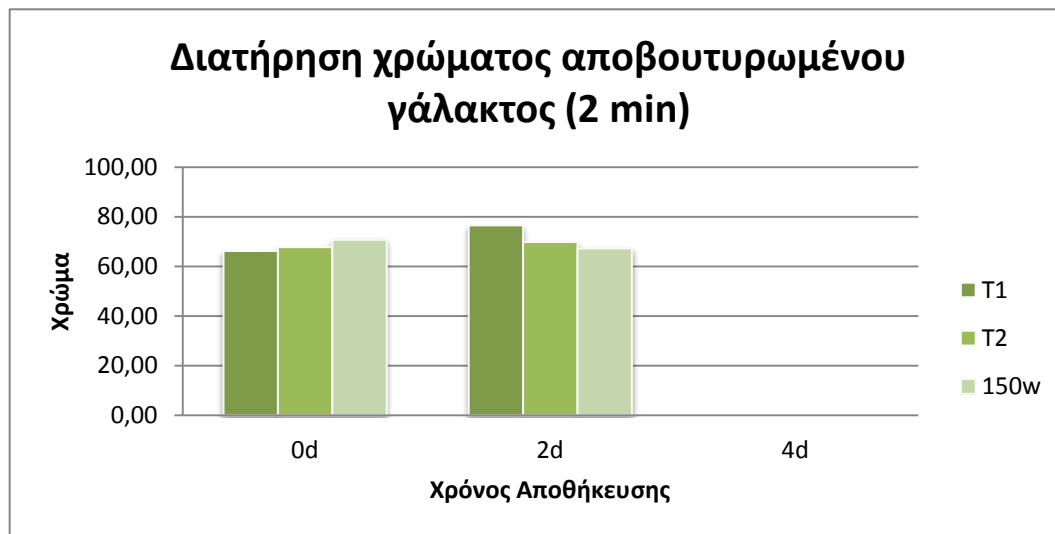
Για χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους 2 min το χρώμα του επεξεργασμένου δείγματος πλήρους γάλακτος με ένταση 750 W φαίνεται να μειώνεται κατά την αποθήκευση. Αντίστοιχη, όμως, είναι και η συμπεριφορά των τυφλών δειγμάτων και ενώ αρχικά το δείγμα 750w 2m έχει πιο ανοιχτό χρώμα, τελικά το χρώμα του γίνεται πιο σκούρο από ότι του δείγματος T₁.



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

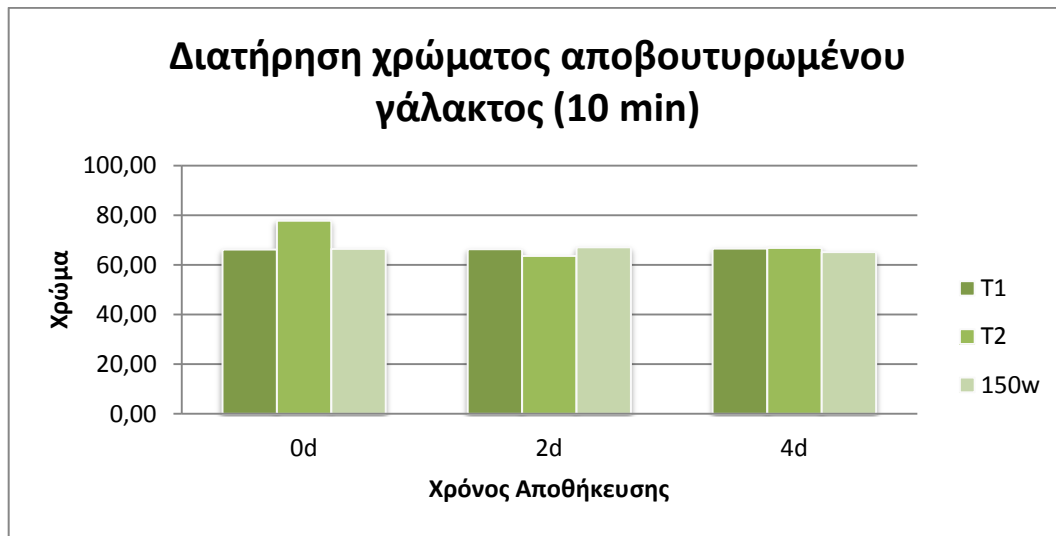
Στο επεξεργασμένο δείγμα πλήρους γάλακτος με ένταση υπέρηχων 750 W στα 10 min, το χρώμα γίνεται πιο ανοιχτό κατά την αποθήκευση, ενώ τα τυφλά παρουσιάζουν μείωση, διατηρώντας το χρώμα δείγμα του δείγματος 750w 10m πάντα πιο ανοιχτό.

Αποβουτυρωμένο Γάλα



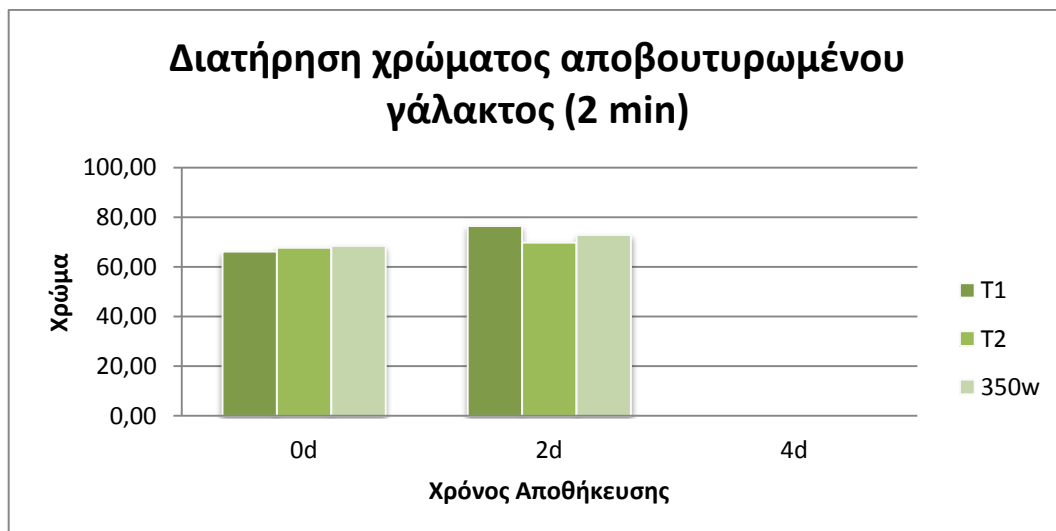
Διάγραμμα 16: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Στο αποβουτυρωμένο γάλα, το χρώμα των δειγμάτων T_1 και T_2 είναι πιο ανοιχτό κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης από ότι την ημέρα παρασκευής. Στο επεξεργασμένο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος με ένταση υπέρηχων 150 W το χρώμα σκουραίνει κατά την αποθήκευση, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε αντιδράσεις αμαύρωσης που λαμβάνουν χώρα κατά τη θέρμανση του προϊόντος.



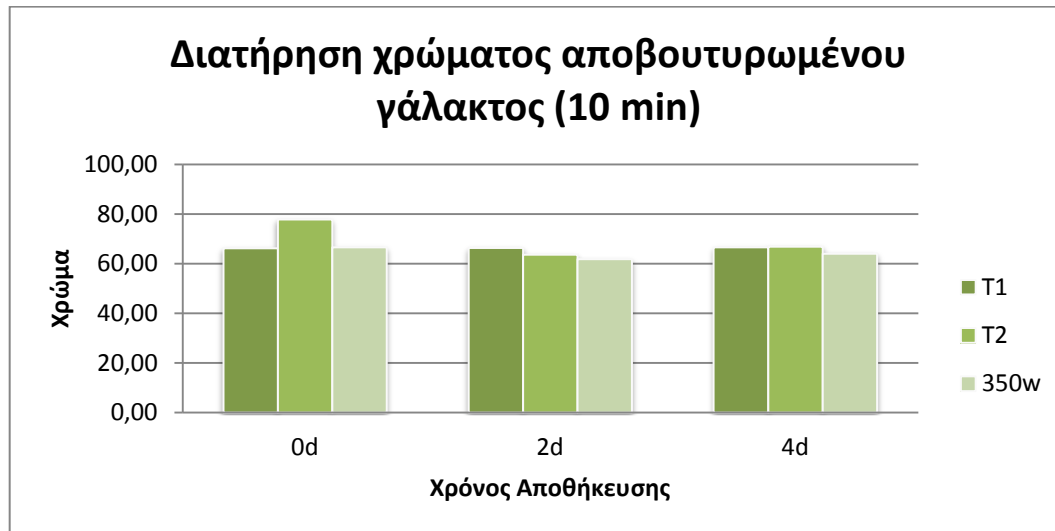
Διάγραμμα 17: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας υπέρηχων 10 min το χρώμα του αποβουτυρωμένου γάλακτος διατηρείται σταθερό κατά την αποθήκευση για τα δείγματα T₁ και 150w 10m, ενώ το τελευταίο είναι πιο ανοιχτό τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης. Όσον αφορά το δείγμα T₂, το χρώμα του είναι πιο ανοιχτό κατά την ημέρα παρασκευής, ενώ τη δεύτερη ημέρα γίνεται πιο σκούρο.



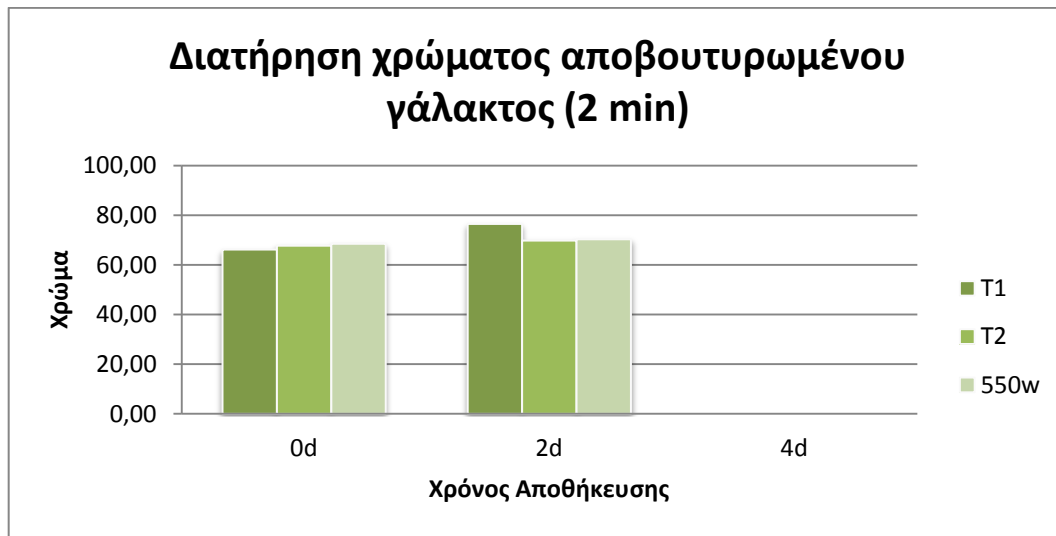
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Στο επεξεργασμένο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος με ένταση υπέρηχων 350 W, για χρόνο 2 min το χρώμα είναι πιο έντονο τη δεύτερη ημέρα της αποθήκευσης, ενώ την ημέρα παρασκευής είναι πιο σκούρο για όλα τα δείγματα. Το δείγμα T₁, ενώ την ημέρα παρασκευής έχει σκουρότερο χρώμα, τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης έχει το πιο ανοιχτό χρώμα από όλα τα άλλα δείγματα.



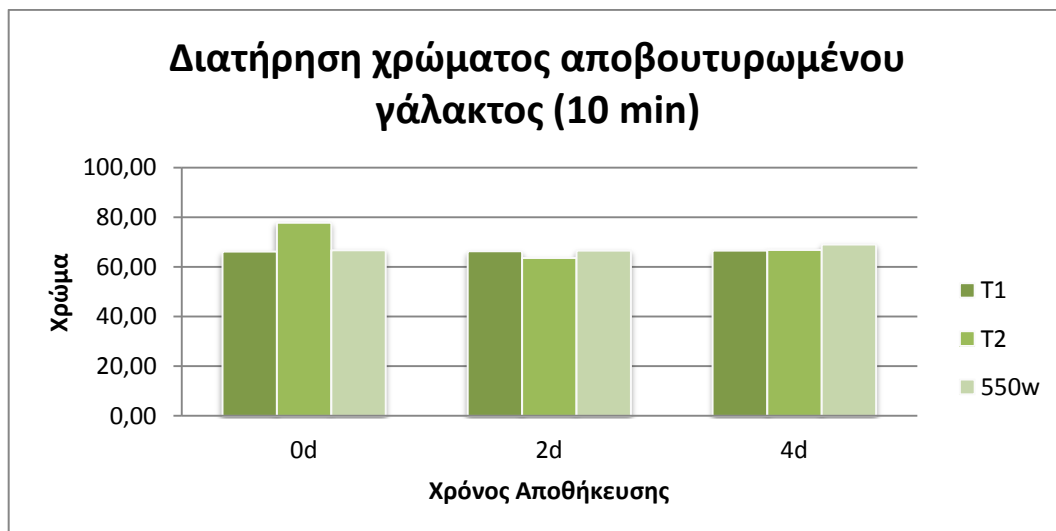
Διάγραμμα 19: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας σε υπέρηχους 10 min, το χρώμα του αποβουτυρωμένου γάλακτος για τα δείγματα T₁ και 350w 10m είναι σχεδόν σταθερό, κατά την αποθήκευση, ενώ για το δείγμα T₂ είναι πιο ανοιχτό κατά την ημέρα παρασκευής και τη δεύτερη ημέρα γίνεται πιο σκούρο.



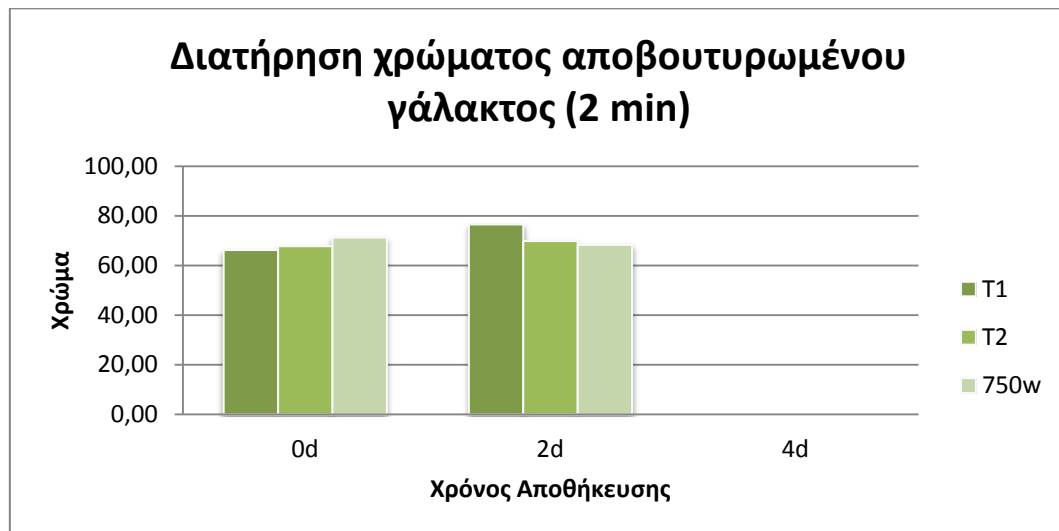
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Για χρόνο επεξεργασίας σε υπέρηχους 2 min, το χρώμα των δειγμάτων αποβουτυρωμένου γάλακτος γενικώς γίνεται πιο ανοιχτό κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης συγκριτικά με την ημέρα παρασκευής. Το δείγμα T₁ φαίνεται να έχει ανοιχτότερο χρώμα, σε σχέση με όλα τα άλλα, κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης.



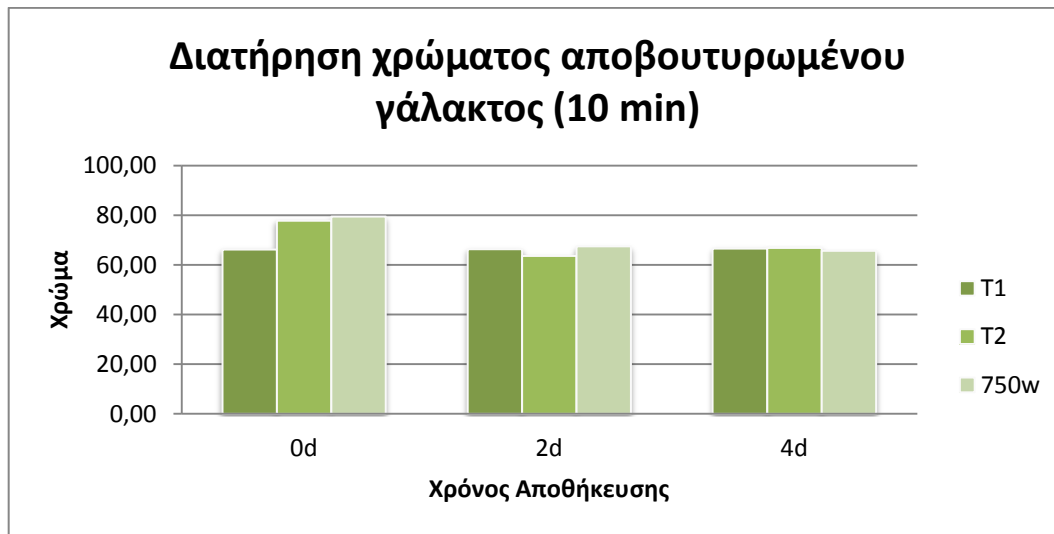
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους 10 min, το χρώμα του αποβουτυρωμένου γάλακτος διατηρείται σταθερό για τα δείγματα T₁ και το δείγμα έντασης 550 W, ενώ το χρώμα του δείγματος T₂ φαίνεται να μειώνεται κατά την αποθήκευση.



Διάγραμμα 22: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Στο επεξεργασμένο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 2 min, το χρώμα σκουραίνει κατά την αποθήκευσης. Αντίθετα, τα τυφλά δείγματα παρουσιάζουν αύξηση, οπότε το χρώμα τους γίνεται πιο ανοιχτό.



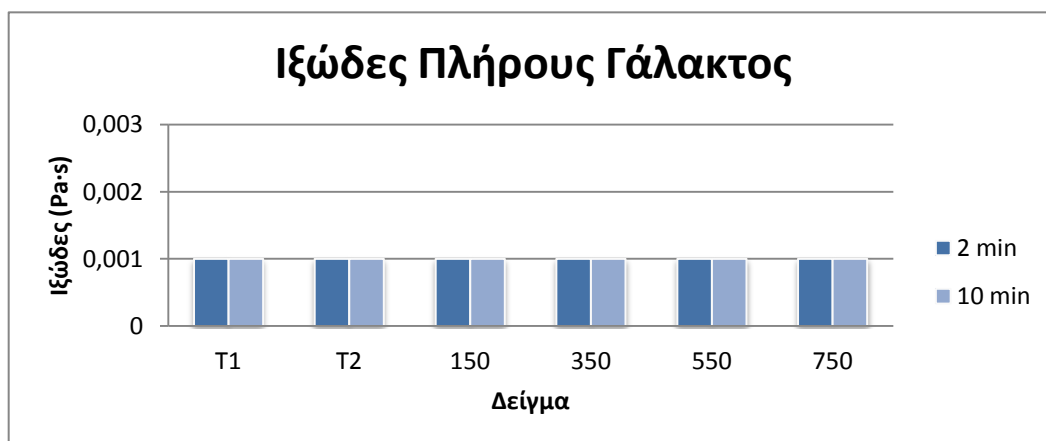
Διάγραμμα 23: Διάγραμμα μεταβολής χρώματος κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Στο επεξεργασμένο με υπέρηχους δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος 750w 10m, το χρώμα σκουραίνει κατά την αποθήκευση, με αντίστοιχη συμπεριφορά όπως και για το δείγμα T₂, ενώ το χρώμα του δείγματος T₁ διατηρείται σταθερό.

7.3 ΙΞΩΔΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

- Ημέρα Παρασκευής

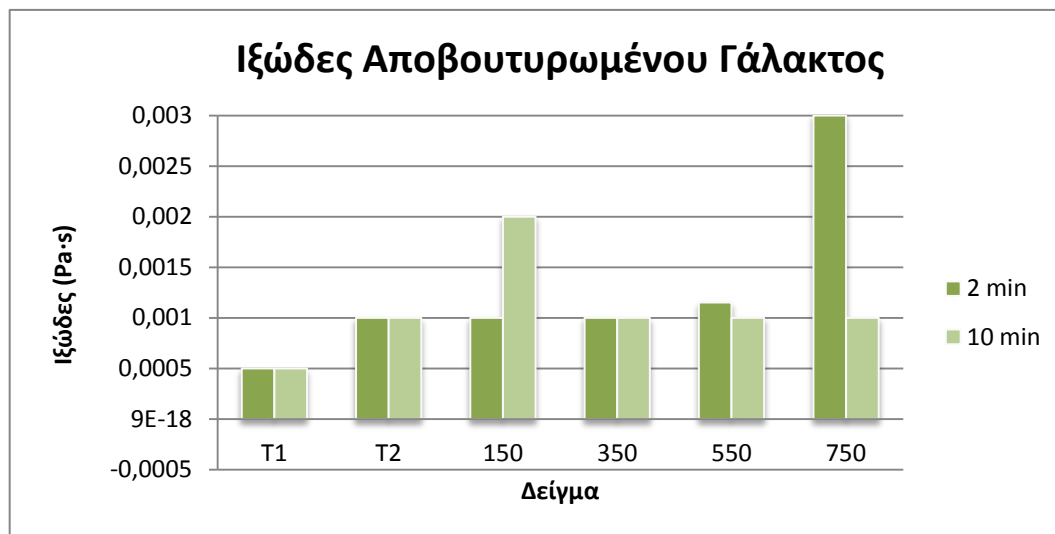
Πλήρες Γάλα



Διάγραμμα 24: Διάγραμμα σύγκρισης ιξώδους πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα του πλήρους γάλακτος που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους, τόσο για χρόνο 2 min όσο και για χρόνο 10 min, το ιξώδες παραμένει σταθερό, με τιμή 0,001 Pa·s. Σύμφωνα με τη θεωρία, το ιξώδες θα έπρεπε να αυξάνεται όσο αυξάνει η ένταση των υπέρηχων, γεγονός που δεν αποδεικνύεται στα πειράματα αυτά.

Αποβουτυρωμένο Γάλα

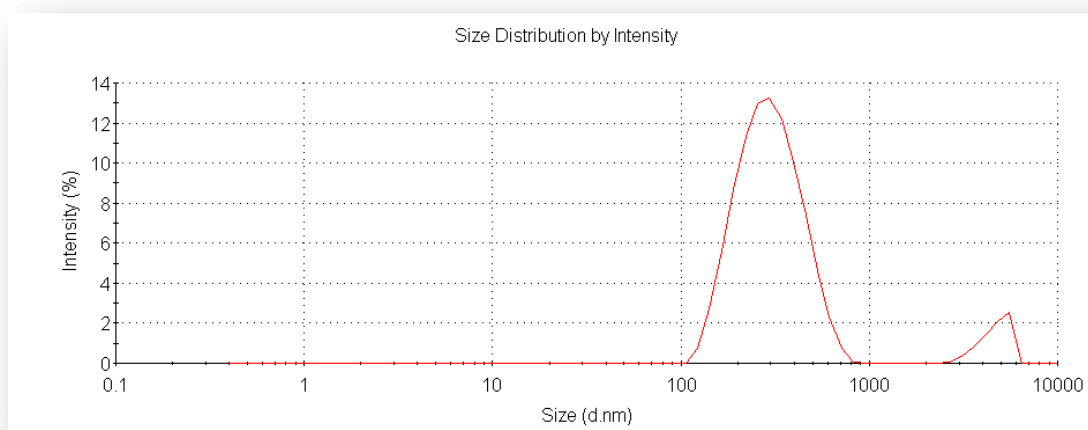


Διάγραμμα 25: Διάγραμμα σύγκρισης ιξώδους αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

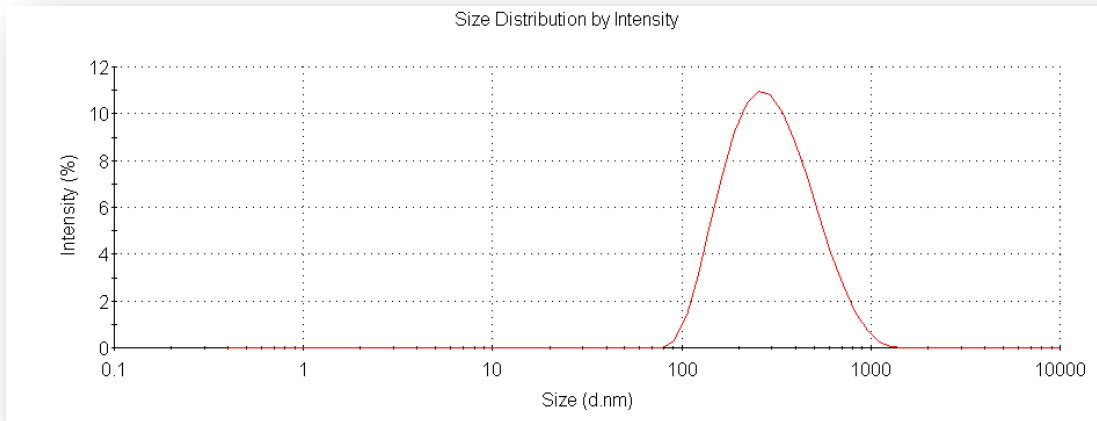
Από το γράφημα του ιξώδους για το αποβουτυρωμένο γάλα, παρατηρείται αύξηση του ιξώδους των δειγμάτων αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένων με υπέρηχους ή μικρές αυξομειώσεις, που ποτέ δεν είναι χαμηλότερες από το ιξώδες του 1^{ου} τυφλού. Για χρόνο επεξεργασίας υπέρηχων 2 min, το ιξώδες αυξάνεται, παραμένει σταθερό και έπειτα στο δείγμα έντασης υπέρηχων 550 W υπάρχει μια μικρή αύξησή του, ενώ στο δείγμα έντασης 750 W παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση. Αυτό συμβαδίζει με τη βιβλιογραφία, ότι δηλαδή το ιξώδες αυξάνεται όσο αυξάνει η ένταση των υπέρηχων. Για χρόνο 10 min έκθεσης σε υπέρηχους, παρατηρείται αύξηση του ιξώδους μέχρι το δείγμα έντασης 150W, και στη συνέχεια μείωση και σταθεροποίησή του στα 0,001 Pa·s.

7.4 ΜΕΣΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΛΙΠΟΣΦΑΙΡΙΩΝ - ΜΙΚΚΥΛΙΩΝ ΚΑΖΕΪΝΗΣ

Με το όργανο Zetasizer, η μέτρηση του μεγέθους των σωματιδίων λαμβανόταν με γράφημα κανονικής κατανομής, αλλά και με τις αντίστοιχες μετρήσεις του γραφήματος, που παρείχαν τις κορυφές κάθε κατανομής, το μέσο όρο όλων των κορυφών, καθώς και τα ποσοστά και το μέγεθος των λιποσφαιρίων σε κάθε κανονική κατανομή. Στο πλήρες γάλα η κατανομή παρουσίαζε γενικώς δύο κορυφές η πρώτη στα 0,2 με 0,3 μm και η δεύτερη στα 1-5 μm, ενώ στο αποβουτυρωμένο μία κοντά στα 0,2 με 0,3 μm. Έτσι, και με βάση άλλες μελέτες, έγινε κατανοητό ότι η πρώτη κορυφή που μετρά το όργανο τόσο στο πλήρες, όσο και στο αποβουτυρωμένο γάλα, αναφέρεται στα καζεϊνικά μικκύλια και όχι στα λιποσφαίρια. Συγκεκριμένα σε μελέτη που έγινε από άλλους ερευνητές, η μέση διάμετρος των πρωτεϊνών του γάλακτος, που δεν είχε υποστεί καμία επεξεργασία, με τη βοήθεια του οργάνου Zetasizer υπολογιζόταν ίση με $184,2 \pm 48,3$ nm, ενώ σε δείγματα γάλακτος που είχαν υποστεί θερμική κατεργασία τα μικκύλια των πρωτεϊνών παρουσίαζαν αυξημένο μέγεθος ίσο με $262,5 \pm 83,5$ nm.²⁸ Οι εικόνες παρακάτω δείχνουν τις δύο αυτές περιπτώσεις δύο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος αντίστοιχα.



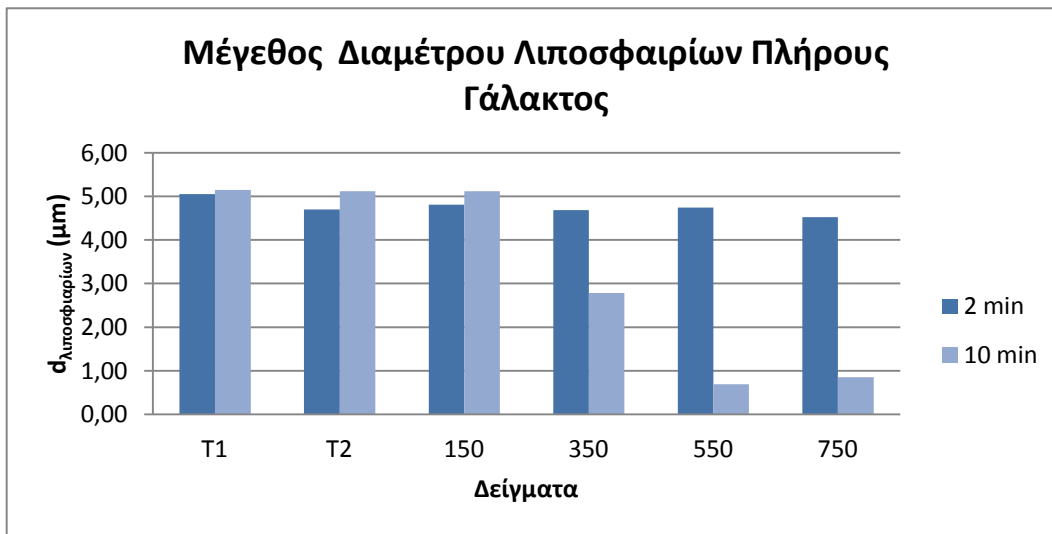
Εικόνα 68: Κατανομή Καζεϊνικών Μικκυλίων & Λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος με το όργανο zetasizer



Εικόνα 69: Κατανομή Καζεϊνικών Μικκυλίων & Λιποσφαιρίων αποβουτυρωμένου γάλακτος με το όργανο zetasizer

- *Ημέρα Παρασκευής*

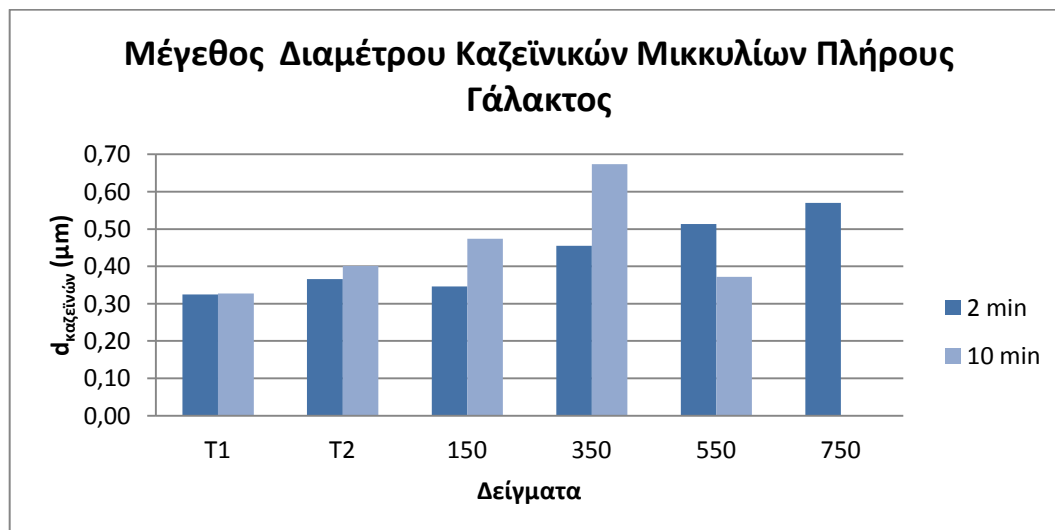
Πλήρες Γάλα



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα σύγκρισης διαμέτρου λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι σε πλήρες γάλα η διάμετρος των λιποσφαιρίων για χρόνο επεξεργασίας υπέρηχων 2 min, αν και παρουσιάζει μια σχετική μείωση από το δείγμα T₁, φαίνεται να είναι σχεδόν σταθερή κατά την επεξεργασία με διάφορες εντάσεις υπέρηχων. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η επίδραση των υπέρηχων για χρόνο 2 min, ίσως να μην είναι ικανή να μειώσει

σημαντικά τη διάμετρο των λιποσφαιρίων. Αντίθετα για χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους 10 min φαίνεται ότι ενώ αρχικά με ένταση υπέρηχων 150 W η διάμετρος των λιποσφαιρίων είναι παρόμοια με εκείνη των τυφλών δειγμάτων, έπειτα μειώνεται σημαντικά. Το ότι οι εντάσεις 350 και 750 W παρουσιάζουν σχεδόν ίδια τιμή μεγέθους λιποσφαιρίων, μπορεί να οφείλεται σε μόλυνση του δείγματος 750 κατά τη μέτρηση στο όργανο, διότι αναμένεται σημαντική μείωση στη διάμετρο των λιποσφαιρίων με τη μεγαλύτερη ένταση υπέρηχων. Πάντως επαληθεύεται και με αυτή τη μέθοδο, όπως και με το μικροσκόπιο, ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας με υπέρηχους μειώνει σημαντικότερα τη διάμετρο των λιποσφαιρίων συγκριτικά με το μικρότερο χρόνο.

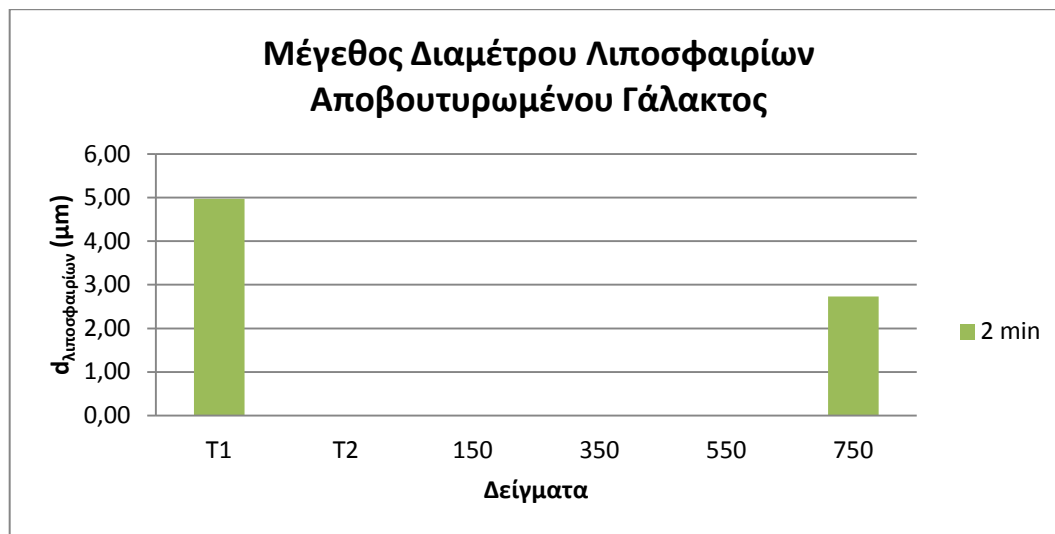


Διάγραμμα 27: Διάγραμμα σύγκρισης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων για το πλήρες γάλα, όπως υπολογίστηκε από το όργανο zetasizer, με χρόνους επεξεργασίας στους υπέρηχους 2 και 10 min και σε διάφορες εντάσεις υπέρηχων. Για χρόνο επεξεργασίας σε υπέρηχους 2 min παρατηρείται ότι τα μικκύλια της καζεΐνης αυξάνονται όσο μεγαλώνει η ένταση των υπέρηχων. Για χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους 10 min, η μέση διάμετρος των μικκυλίων της καζεΐνης αυξάνεται μέχρι την ένταση υπέρηχων 350 W και έπειτα παρουσιάζει μείωση. Η

αύξηση του μεγέθους μπορεί να εξηγηθεί, στη συσσωμάτωση των καζεϊνών, η οποία όπως φαίνεται διαγραμματικά αυξάνεται όσο πιο έντονη είναι η επεξεργασία των δειγμάτων. Σύμφωνα, όμως και με τη βιβλιογραφία, τα μικκύλια της καζεΐνης αυξάνονται με τη θερμική κατεργασία. Οπότε και οι δύο αυτοί παράγοντες μπορούν να εξηγήσουν, το παραπάνω διάγραμμα.

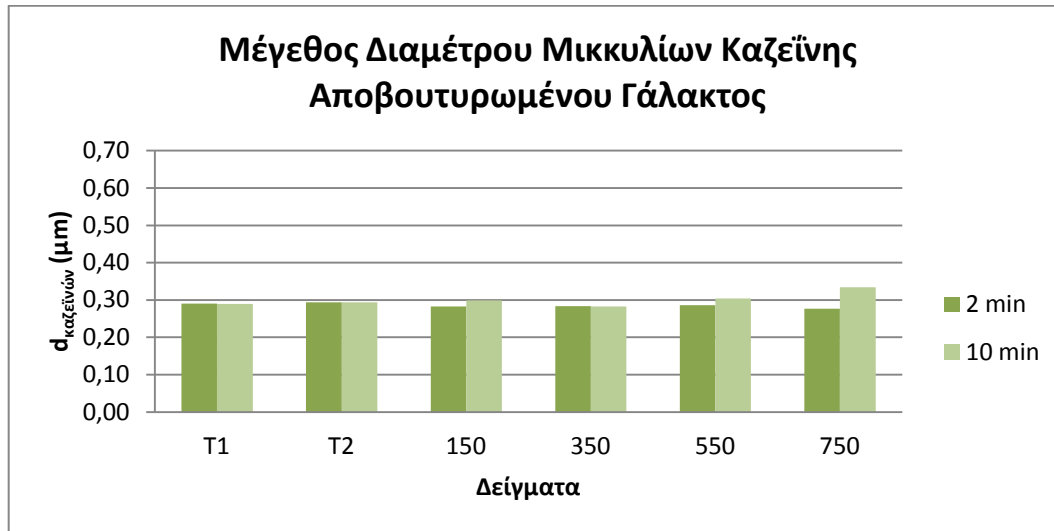
Αποβουτυρωμένο Γάλα



Διάγραμμα 28: Διάγραμμα σύγκρισης διαμέτρου λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Στο αποβουτυρωμένο γάλα στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ανιχνεύονται λιποσφαίρια. Μόνο στα δείγματα T1 και 750w 2m εμφανίζονται λιποσφαίρια, όπου και παρατηρείται μείωση της μέσης διαμέτρου από το τυφλό στο επεξεργασμένο με υπέρηχους δείγμα και συγκεκριμένα από μέγεθος 5 μm στα 2,5 μm. Συγκεκριμένα, επειδή δεν αναμένεται το αποβουτυρωμένο γάλα να έχει σημαντική ποσότητα λιποσφαιρίων, οπότε ίσως να υπάρχουν λιποσφαίρια στο δείγμα T1, τα οποία με την ομογενοποίηση μειώνονται και γίνονται τόσο μικρά που ουσιαστικά συμβαδίζουν σε μέγεθος με τα μικκύλια καζεΐνης, όπου θα φανούν σε επόμενο διάγραμμα, και συνεπώς δεν μπορεί να γίνει διαχωρισμός με το όργανο zetasizer.

Ίσως, βέβαια, το όργανο να μην έχει μετρήσει λιποσφαίρια και οι ράβδοι που προεξέχουν στα δείγματα T1 και 750 να είναι απλά μολύνσεις.

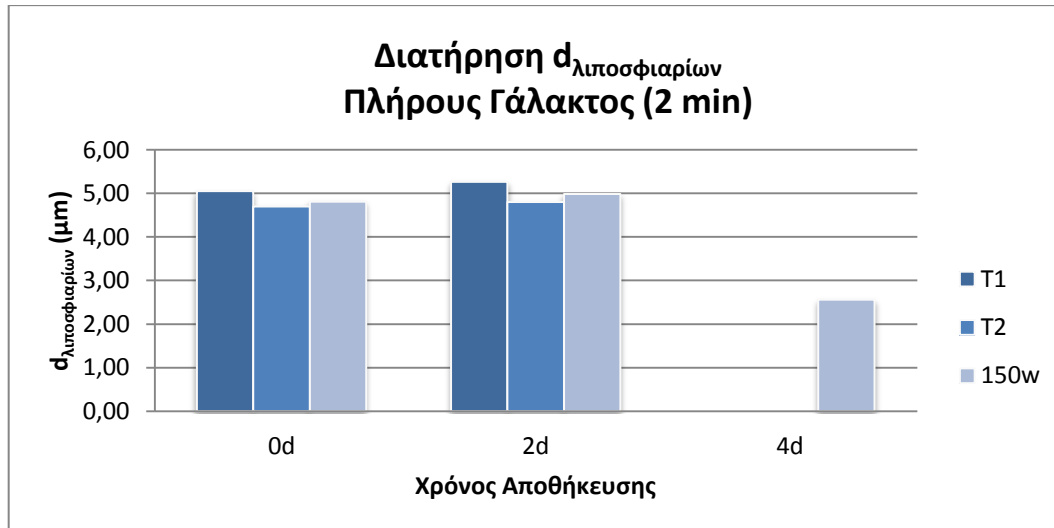


Διάγραμμα 29: Διάγραμμα σύγκρισης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

Στο αποβουτυρωμένο γάλα, τα μικκύλια της καζεΐνης, επίσης αυξάνονται, όπως και στο πλήρες γάλα, αλλά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Η αύξηση αυτή είναι πιο έντονη στη σειρά επεξεργασίας με υπέρηχους για χρόνο 10 min.

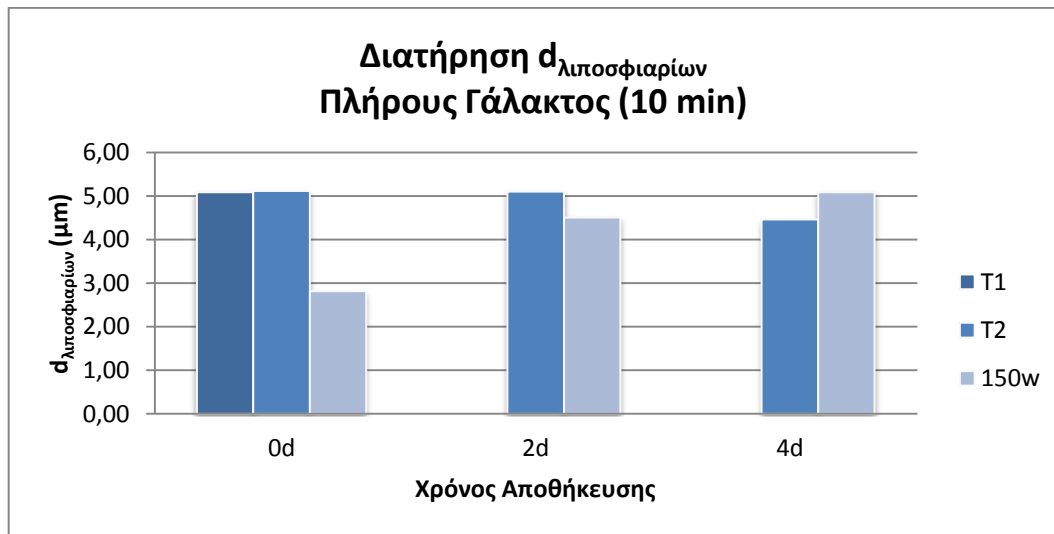
- Κατά την Αποθήκευση

Διατήρηση Διαμέτρου Λιποσφαιρίων Πλήρους Γάλακτος



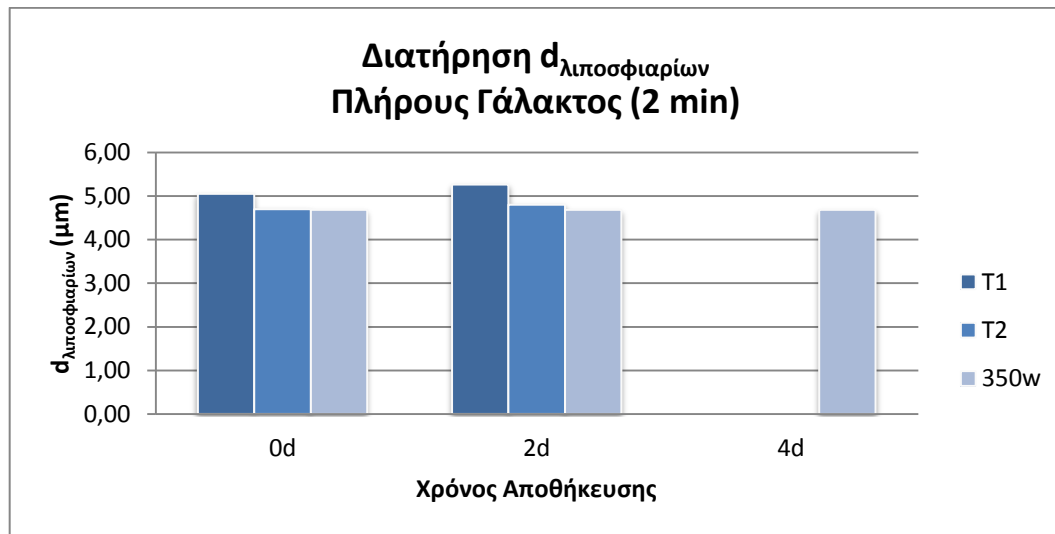
Διάγραμμα 30: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Στο δείγμα πλήρους γάλακτος T_1 παρατηρείται ότι η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων αυξάνεται κατά την αποθήκευσή του τις πρώτες 2 ημέρες, λογικά αναμενόμενο εφόσον τα λιποσφαίρια του συγκεκριμένου δείγματος δεν έχουν ομογενοποιηθεί και συσσωματώνονται. Στο δείγμα T_2 , όσο αυξάνεται ο χρόνος αποθήκευσης σε ψύξη, η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων διατηρείται σχεδόν σταθερή. Τέλος, στο επεξεργασμένο δείγμα με υπέρηχους έντασης 150 W εμφανίζεται κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης μικρή αύξηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων, που μπορεί να συμβαίνει λόγω συσσωμάτωσης. Το ότι την τέταρτη ημέρα η διάμετρος των λιποσφαιρίων μειώνεται κατά πολύ, αποδίδεται σε πειραματικό σφάλμα, εφόσον τα λιποσφαίρια δεν μπορούν να μικρύνουν περισσότερο κατά τη διατήρησή τους σε ψύξη.



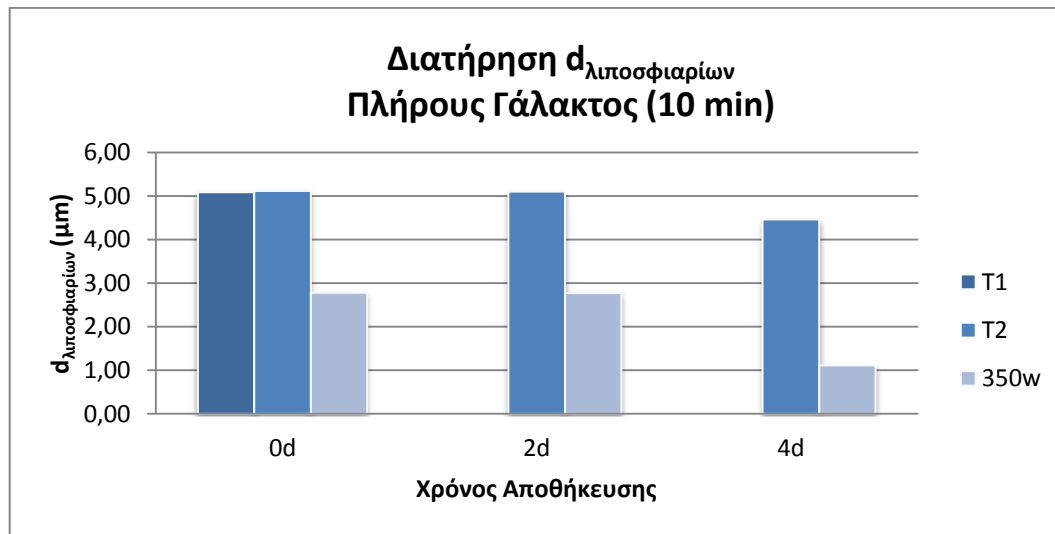
Διάγραμμα 31: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Το μέγεθος των λιποσφαιρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος T₂ φαίνεται να διατηρείται σταθερό μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και έπειτα να μειώνεται. Αντίθετα, η διάμετρος των λιποσφαιρίων του επεξεργασμένου δείγματος με υπέρηχους έντασης 150 W για 10 min φαίνεται να αυξάνεται, γεγονός που δείχνει ότι η ένταση ομογενοποίησης δεν είναι ικανή να διατηρήσει τα διασπασμένα λιποσφαίρια όπως έχουν, με αποτέλεσμα αυτά τα συσσωματώνονται.



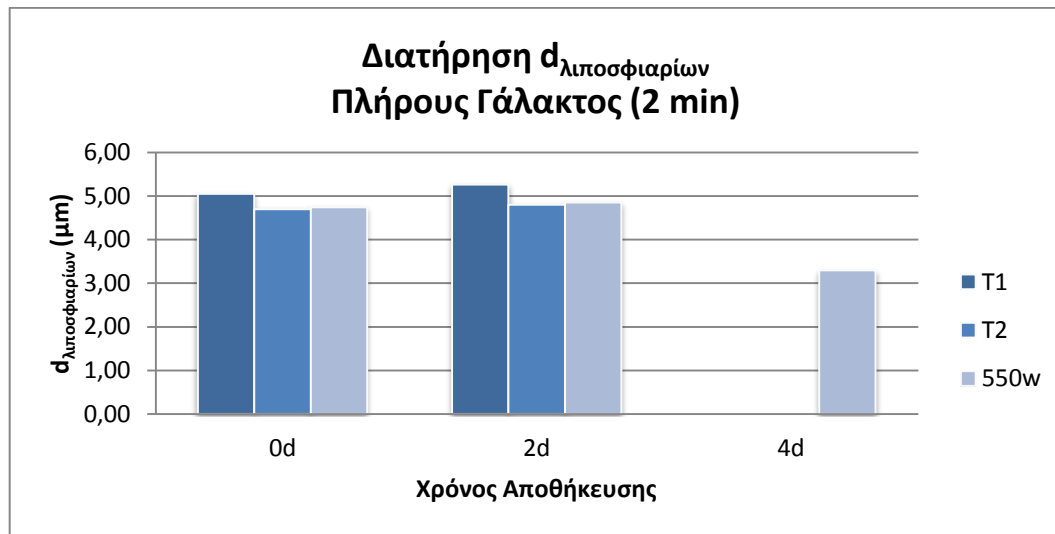
Διάγραμμα 32: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Για χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους 2 min σε πλήρες γάλα, παρατηρείται ότι το δείγμα έντασης 350 W διατηρείται σταθερό, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, γεγονός που δείχνει ότι η συγκεκριμένη ένταση υπέρηχων είναι ικανή να διατηρήσει τα διασπασμένα λιποσφαίρια ως έχουν. Ταυτόχρονα παρατηρείται ότι το δείγμα T_1 παρουσιάζει αύξηση στη διάμετρο, που είναι φυσιολογικό εφόσον δεν έχει υποστεί ομογενοποίηση. Κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, το δείγμα T_2 παρουσιάζει σημαντική μείωση, που μάλλον όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελεί πειραματικό σφάλμα.



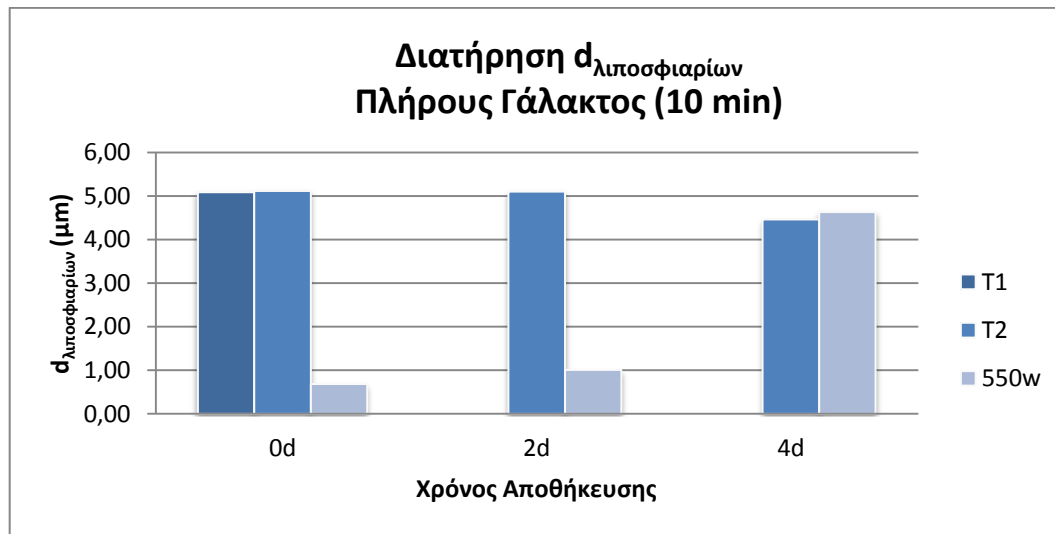
Διάγραμμα 33: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων του επεξεργασμένου δείγματος πλήρους γάλακτος με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 10 min, φαίνεται να είναι πολύ μικρότερη συγκριτικά με τα τυφλά δείγματα, γεγονός που δείχνει ότι όσο αυξάνεται η ένταση υπέρηχων, σε συνδυασμό με τη μεγάλη διάρκεια έκθεσης σε αυτούς, τόσο μειώνεται το μέγεθος των λιποσφαιρίων. Το μέγεθος αυτό τόσο για το δείγμα T₂, όσο και για το 350w 10m διατηρείται σταθερό μέχρι τη δεύτερη ημέρα και έπειτα παρουσιάζει μικρή μείωση.



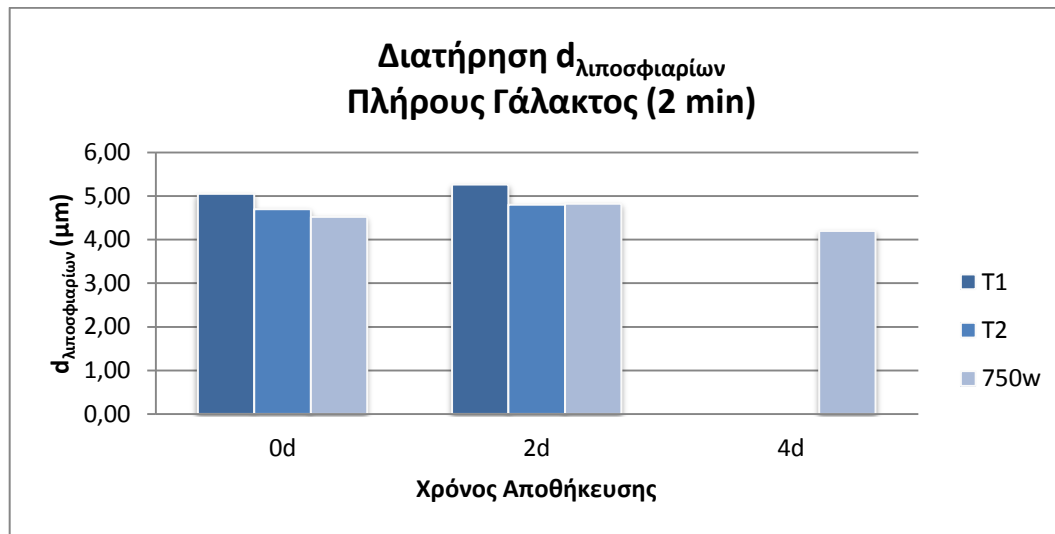
Διάγραμμα 34: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων του επεξεργασμένου δείγματος πλήρους γάλακτος με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min διατηρείται σταθερή και σχεδόν ίση με τη μέση διάμετρο του δείγματος T₂, μέχρι και τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, ενώ την τέταρτη ημέρα αποθήκευσης μειώνεται αφύσικα. Το δείγμα T₁ αυξάνεται και έχει τη μεγαλύτερη διάμετρο μεταξύ των δειγμάτων, όπως αναμένεται εφόσον δεν έχει ομογενοποιηθεί.



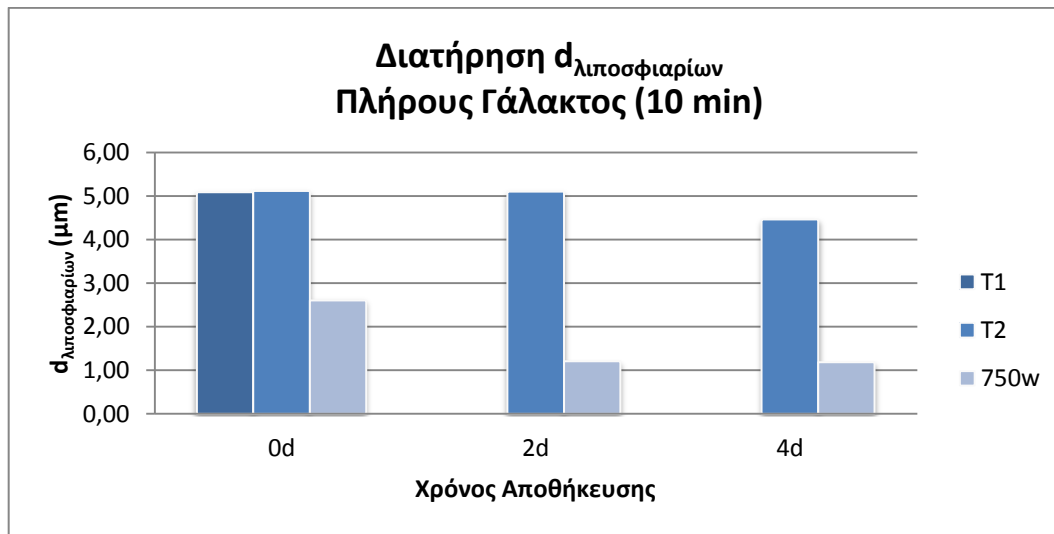
Διάγραμμα 35: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας πλήρους γάλακτος με υπέρηχους 10 min, η διάμετρος των λιποσφαιρίων του δείγματος με ένταση υπέρηχων 550 W είναι αρκετά μειωμένη συγκριτικά με εκείνη των τυφλών δειγμάτων, αποδεικνύοντας έτσι ότι η ένταση ομογενοποίησης είναι αποτελεσματική στη μείωση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων και μερικώς ικανή να διατηρήσει τα διασπασμένα λιποσφαίρια σχεδόν ως έχουν, μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης. Την τέταρτη ημέρα τα λιποσφαίρια φαίνεται να αυξάνονται κατά πολύ φτάνοντας σχεδόν το αντίστοιχο μέγεθος του δείγματος T₂.



Διάγραμμα 36: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

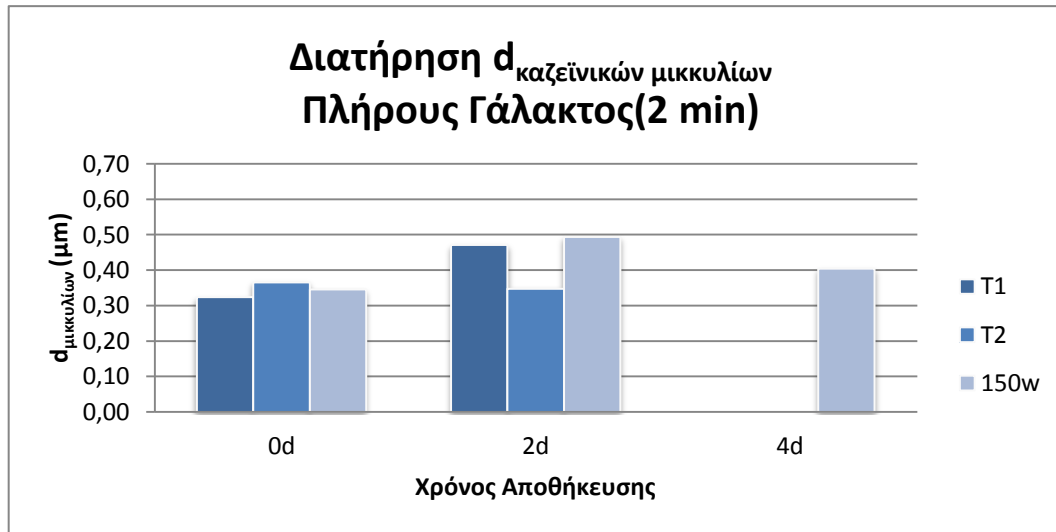
Η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους 750w 2m είναι σχεδόν σταθερή, με μικρές αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό δείχνει ότι η συγκεκριμένη ένταση ομογενοποίησης δεν είναι απόλυτα ικανή να διατηρήσει τα διασπασμένα λιποσφαίρια ως έχουν. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα παρατηρείται ότι το μέγεθος των λιποσφαιρίων του επεξεργασμένου δείγματος με ένταση υπέρηχων 750 W είναι μεν μικρότερο από αυτό των τυφλών, δεν παρουσιάζει όμως τόση μείωση όπως τα δείγματα με ένταση 350 και 550 W, που ίσως να οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.



Διάγραμμα 37: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου λιποσφαιρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

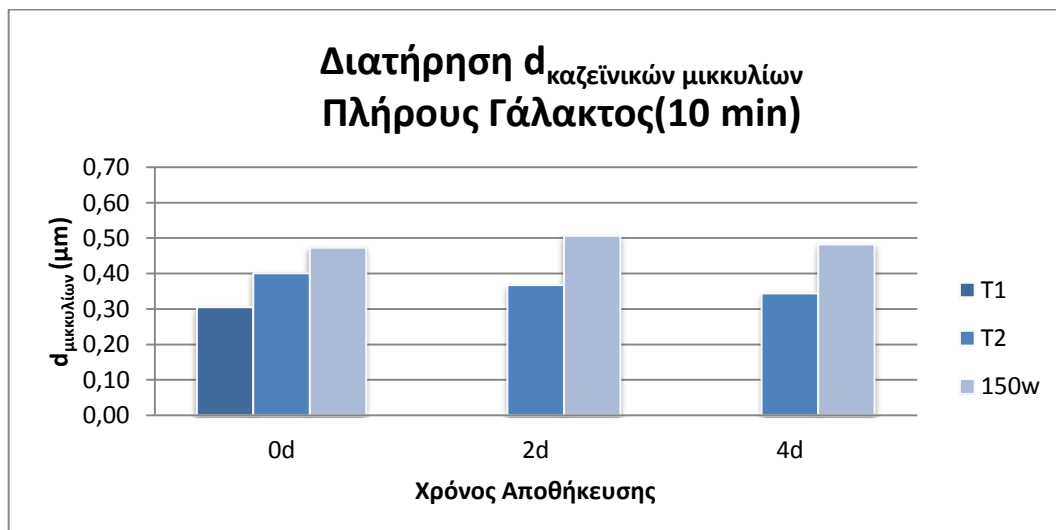
Στην επεξεργασία πλήρους γάλακτος με υπέρηχους για χρόνο 10 min παρατηρείται ότι η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων είναι πολύ μικρότερη από αυτή των τυφλών δειγμάτων, όπως και ήταν αναμενόμενο με βάση τα επεξεργασμένα δείγματα έντασης 350 και 550 W. Επίσης, παρατηρείται ότι η διάμετρος αυτή μειώνεται κατά τη δεύτερη ημέρα της αποθήκευσης και έπειτα διατηρείται σχεδόν σταθερή.

Διατήρηση Διαμέτρου Μικκυλίων Καζεΐνης Πλήρους Γάλακτος



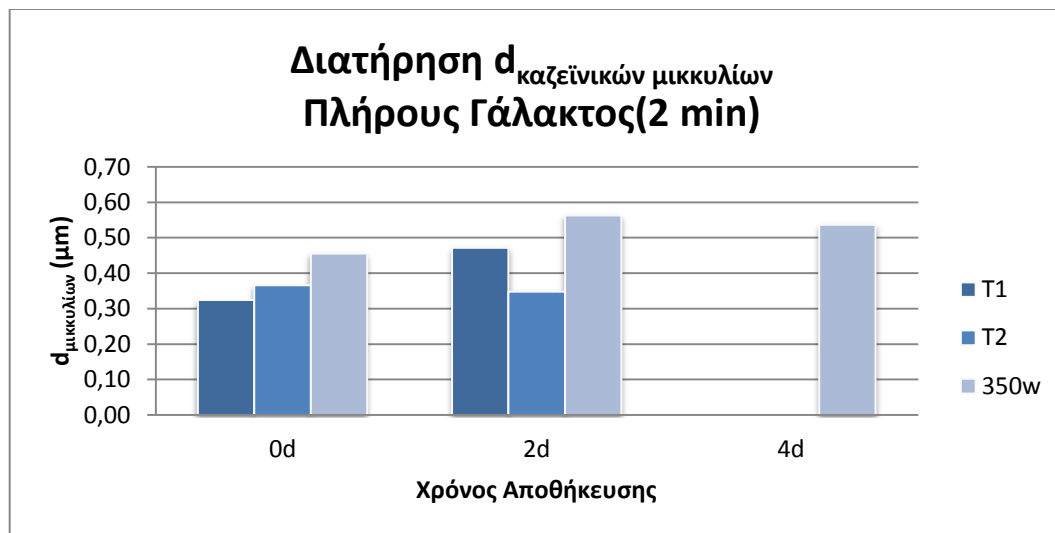
Διάγραμμα 38: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεΐνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των καζεΐνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος για το δείγμα T₁, αυξάνεται κατά την αποθήκευση. Στο δείγμα T₂, διατηρείται η μέση διάμετρος των μικκυλίων, ενώ στο επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 2 min παρουσιάζεται αρχικά αύξηση στη μέση διάμετρο των καζεΐνικών μικκυλίων.



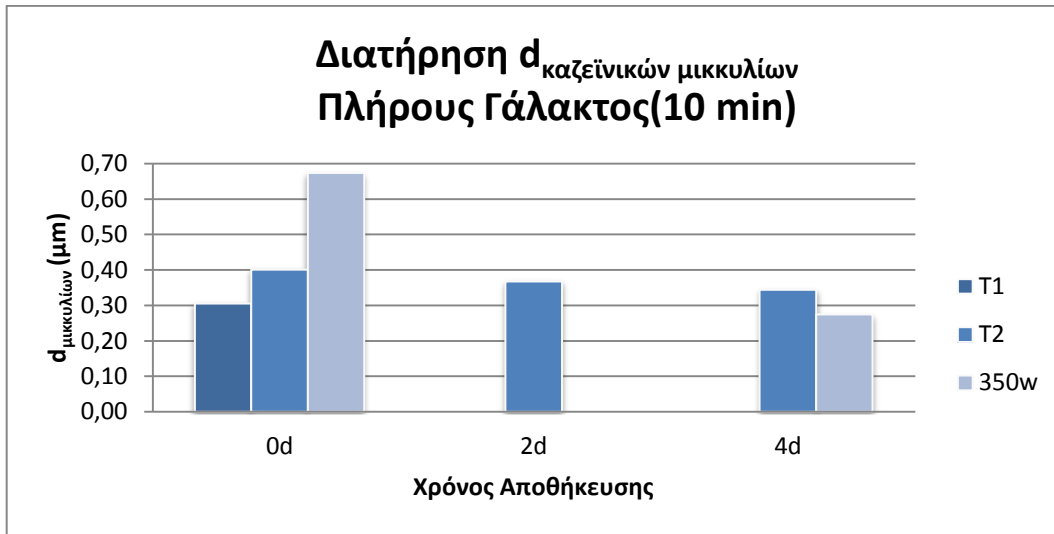
Διάγραμμα 39: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεΐνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος για το δείγμα T₂, μειώνεται κατά την αποθήκευση. Το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει αύξηση στη μέση διάμετρο των καζεϊνικών μικκυλίων.



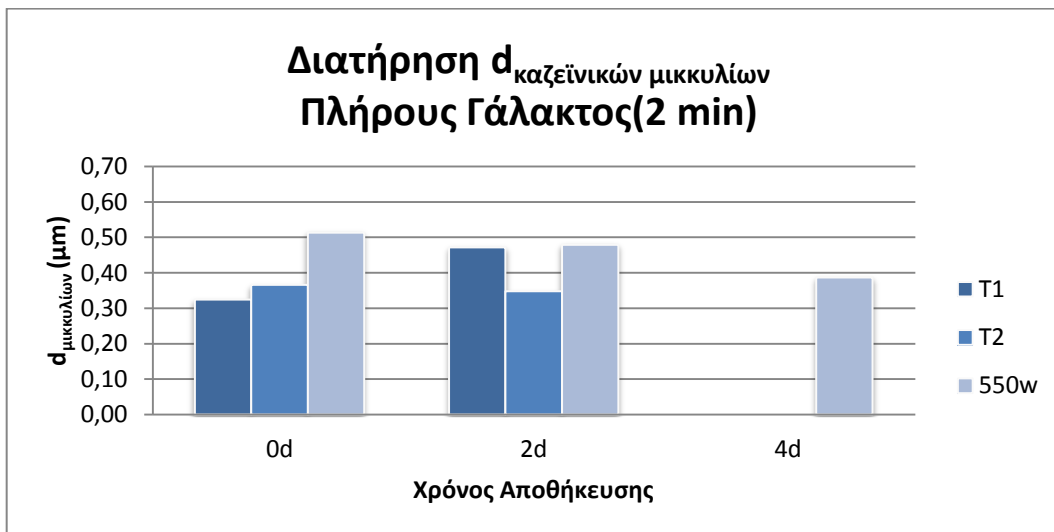
Διάγραμμα 40: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει αρχικά αύξηση και στη συνέχεια μειώνεται, οι διακυμάνσεις αυτές, βέβαια, δεν είναι έντονες.



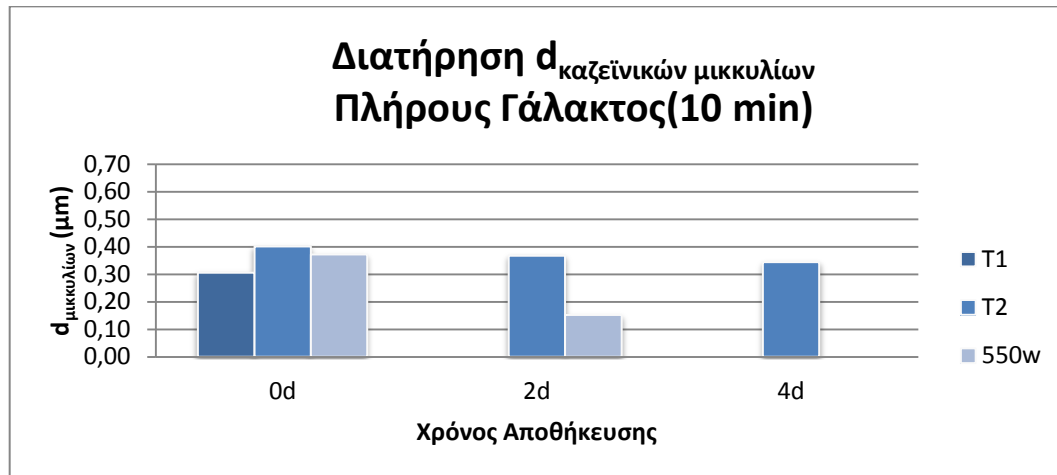
Διάγραμμα 41: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει μεγάλη μείωση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε ψύξη.



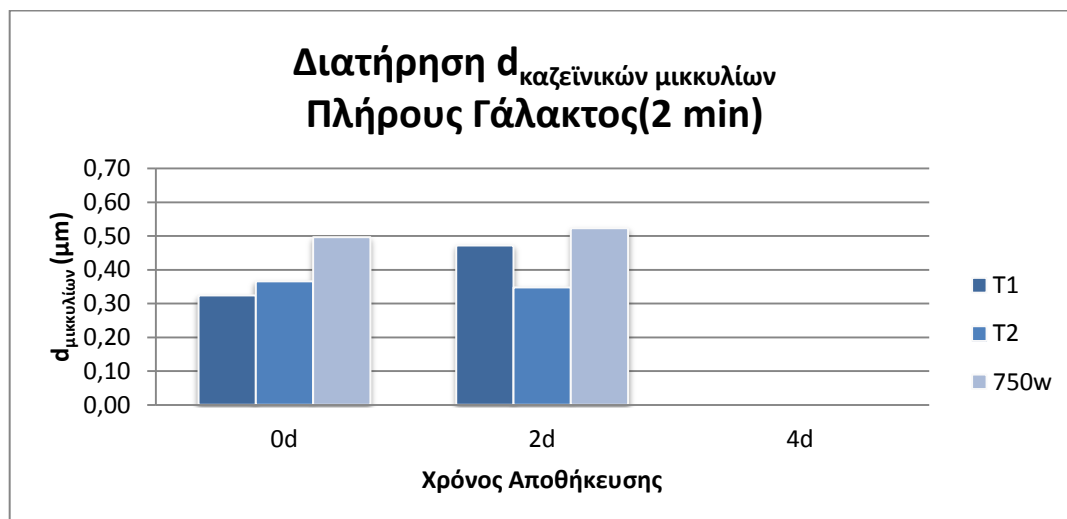
Διάγραμμα 42: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει μείωση κατά τη διάρκεια αποθήκευσης σε ψύξη.



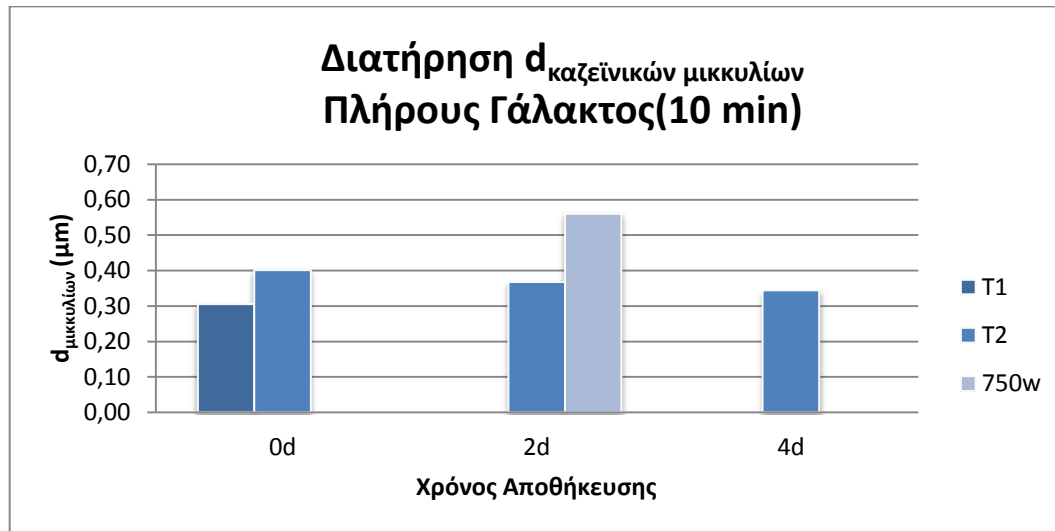
Διάγραμμα 43: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει σημαντική μείωση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης σε ψύξη.



Διάγραμμα 44: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος για επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει μικρή αύξηση από την ημέρα παρασκευής του δείγματος έως τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης.

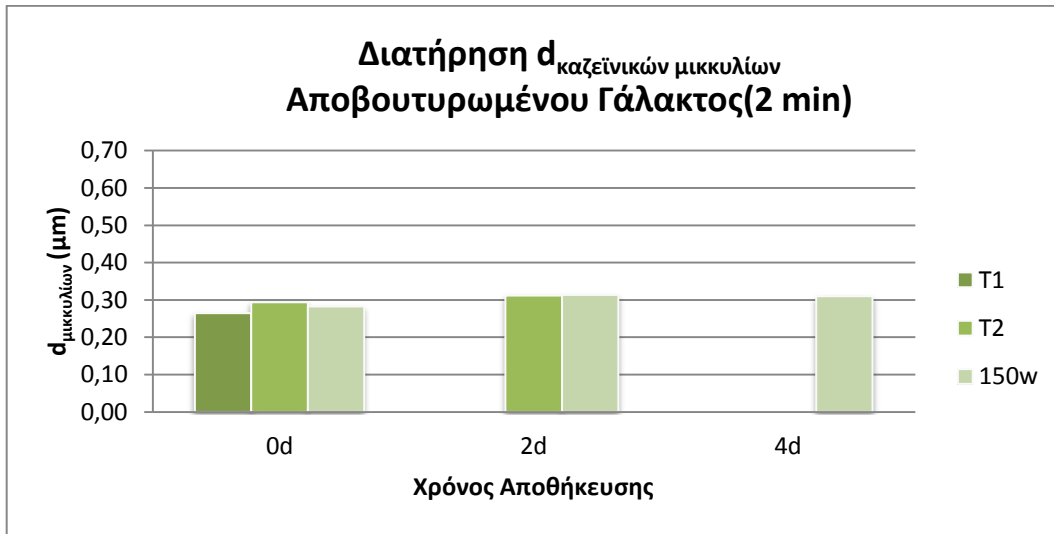


Διάγραμμα 45: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 10 min κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης φαίνεται αρκετά αυξημένη συγκριτικά με αυτή του δείγματος T₂, γεγονός που δείχνει ότι με την επίδραση των υπέρηχων η μέση διάμετρος των μικκυλίων αυξάνεται.

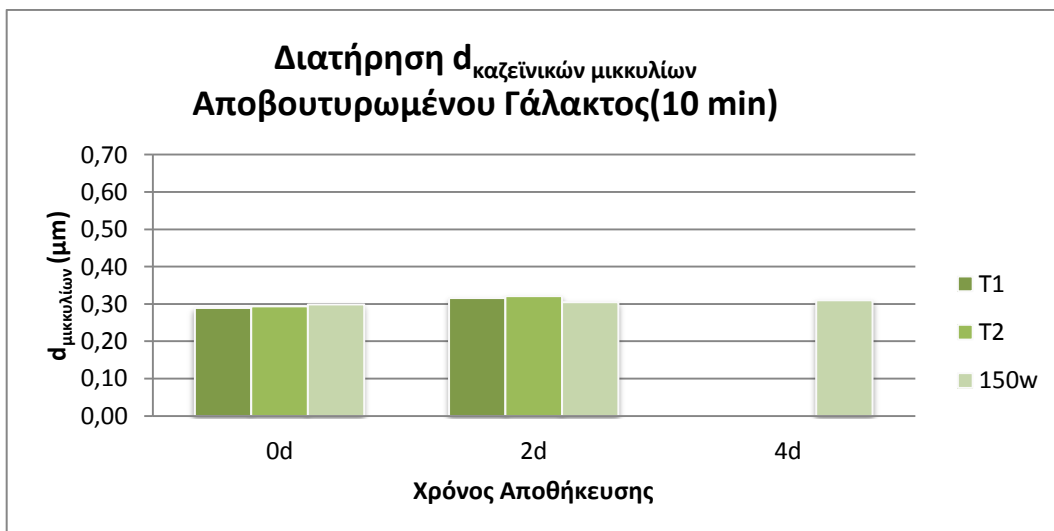
Διατήρηση Διαμέτρου Μικκυλίων Καζεΐνης Αποβουτυρωμένου Γάλακτος

Στο αποβουτυρωμένο γάλα, τα λιποσφαίρια των δειγμάτων είναι πολύ λίγα και σε ορισμένα δείγματα είτε δεν υπάρχουν καθόλου, είτε μπορεί να είναι τόσο μικρά, ώστε η κατανομή τους να ενώνεται με αυτή των μικκυλίων καζεΐνης, οπότε η παράθεσή τους δεν έχει μεγάλη σημασία, οπότε παρακάτω θα παρατεθούν για το αποβουτυρωμένο γάλα τα διαγράμματα διατήρησης της διαμέτρου των μικκυλίων καζεΐνης.



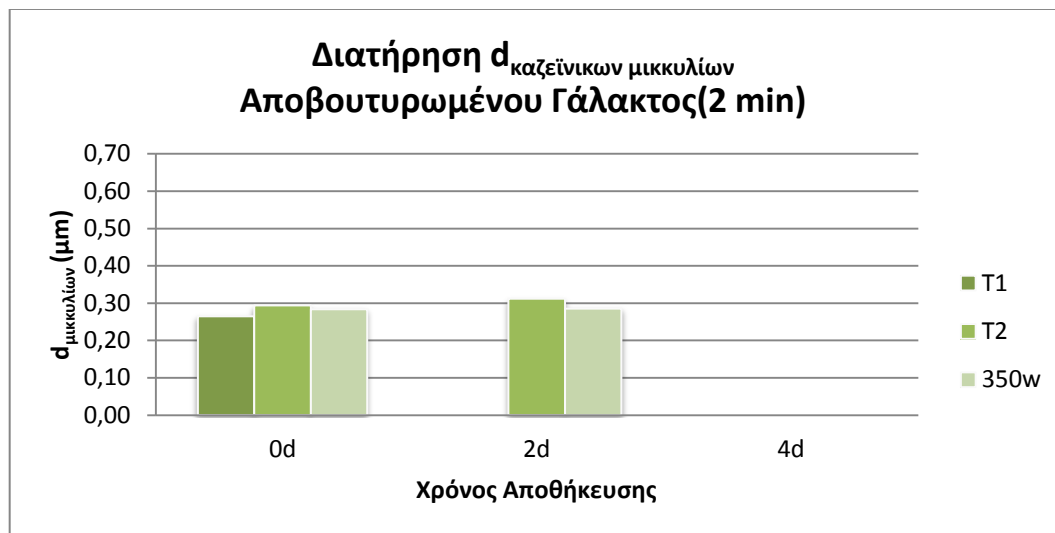
Διάγραμμα 46: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος T₂, αυξάνεται ελάχιστα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αντίστοιχη είναι και η συμπεριφορά για τη μέση διάμετρο των καζεϊνικών μικκυλίων του επεξεργασμένου δείγματος με ένταση 150 W, όπου τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης αυξάνεται λίγο και στη συνέχεια διατηρείται σταθερή.



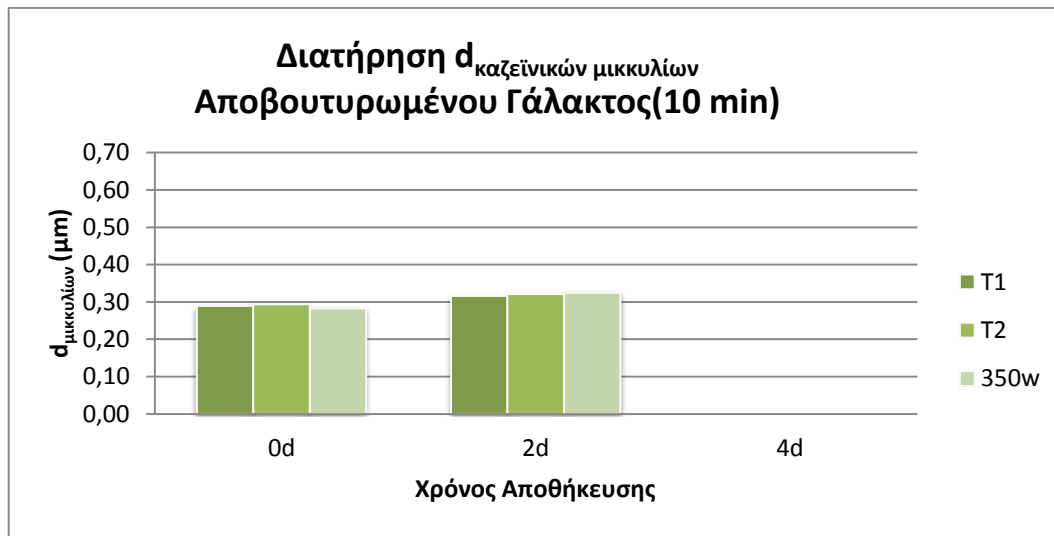
Διάγραμμα 47: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 10 min διατηρείται σταθερή, γεγονός που δείχνει ότι ο μεγάλος χρόνος επεξεργασίας επιδρά σε αυτή τη διατήρηση.



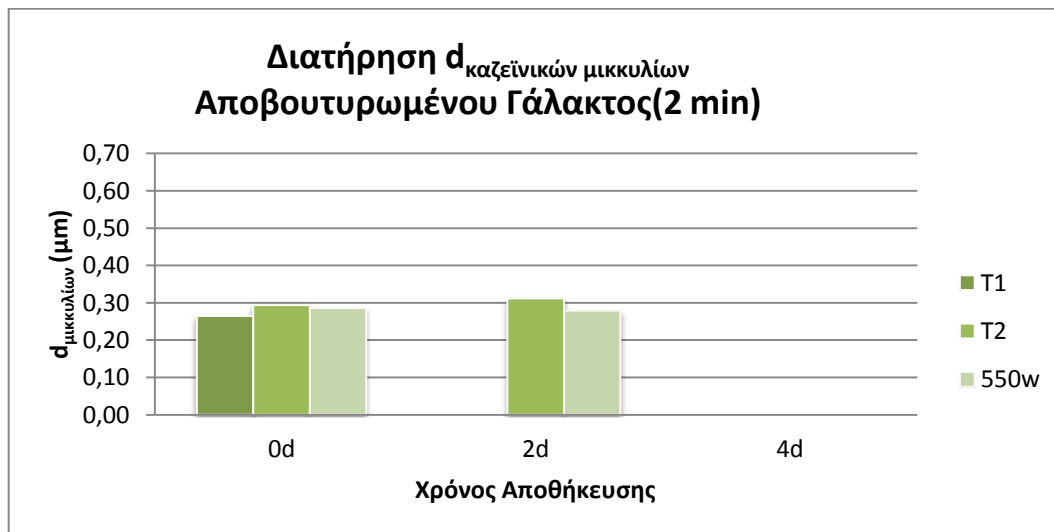
Διάγραμμα 48: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 2 min, διατηρείται σταθερή, γεγονός που δείχνει ότι όσο μεγαλώνει η ένταση υπέρηχων, αυτή επιδρά στη διατήρηση του μεγέθους των μικκυλίων.



Διάγραμμα 49: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

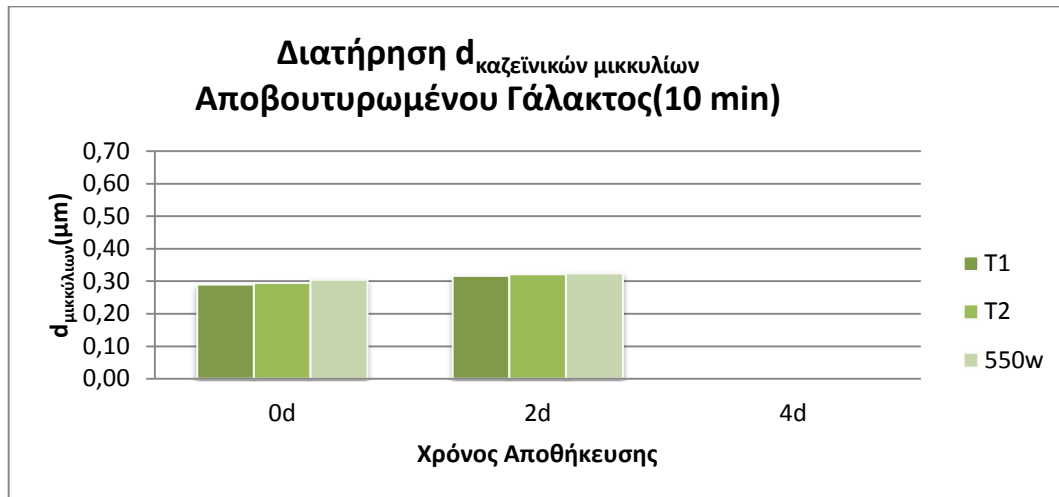
Στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένο με υπέρηχους 350w 10m παρατηρείται ότι το μέγεθος των μικκυλίων καζεΐνης αυξάνεται σταδιακά έως τη δεύτερης ημέρα αποθήκευσης, χωρίς όμως η αύξηση αυτή να είναι σημαντική.



Διάγραμμα 50: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

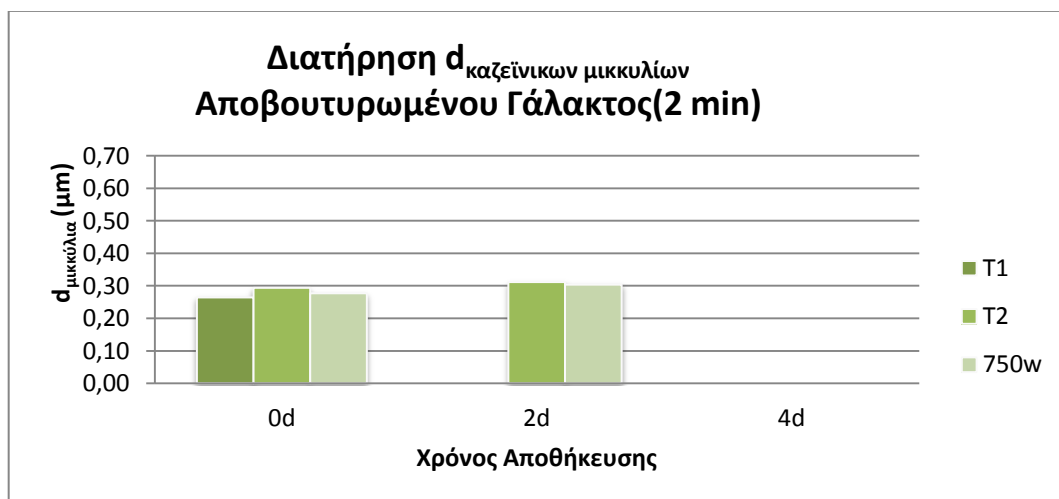
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι η μέση διάμετρος των καζεϊνικών μικκυλίων στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση

υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min διατηρείται σταθερή, γεγονός που δείχνει ότι όσο αυξάνει η ένταση των υπέρηχων, αυτή επιδρά στη διατήρηση του μεγέθους των μικκυλίων.



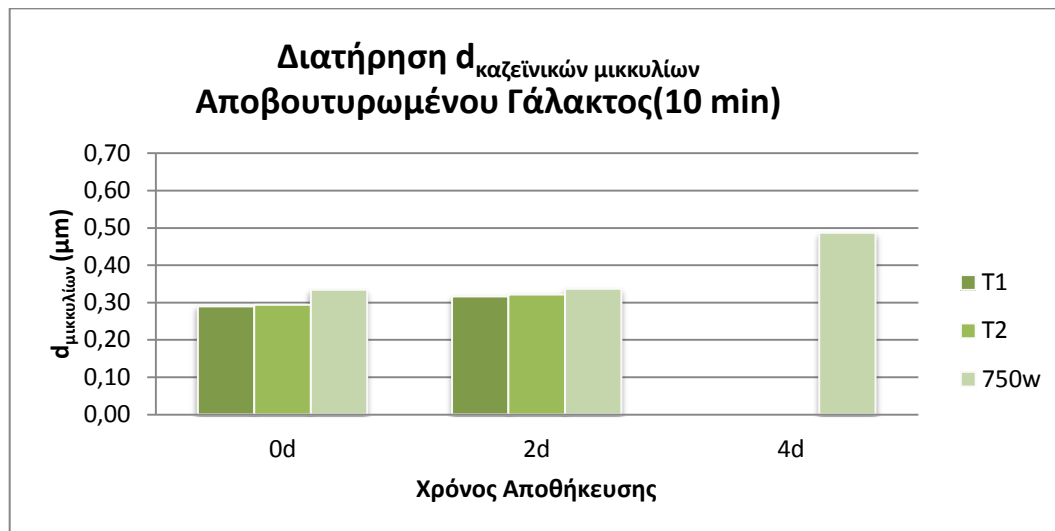
Διάγραμμα 51: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένο με υπέρηχους 550w 10m παρατηρείται ότι το μέγεθος των μικκυλίων καζεΐνης αυξάνεται λίγο έως τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης.



Διάγραμμα 52: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεϊνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους 750w 2m, παρατηρείται ότι το μέγεθος των μικκυλίων καζεΐνης αυξάνεται λίγο έως τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης.



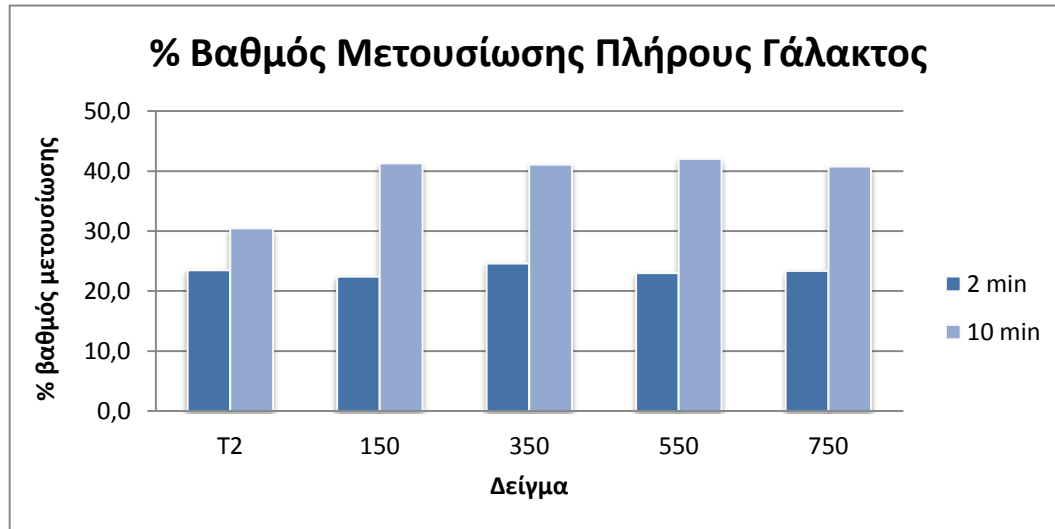
Διάγραμμα 53: Διάγραμμα διατήρησης διαμέτρου καζεΐνικών μικκυλίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Στο δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους 750w 10m, παρατηρείται ότι το μέγεθος των μικκυλίων καζεΐνης αυξάνεται λίγο έως τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, ενώ την τέταρτη ημέρα η αύξηση είναι αρκετά μεγάλη.

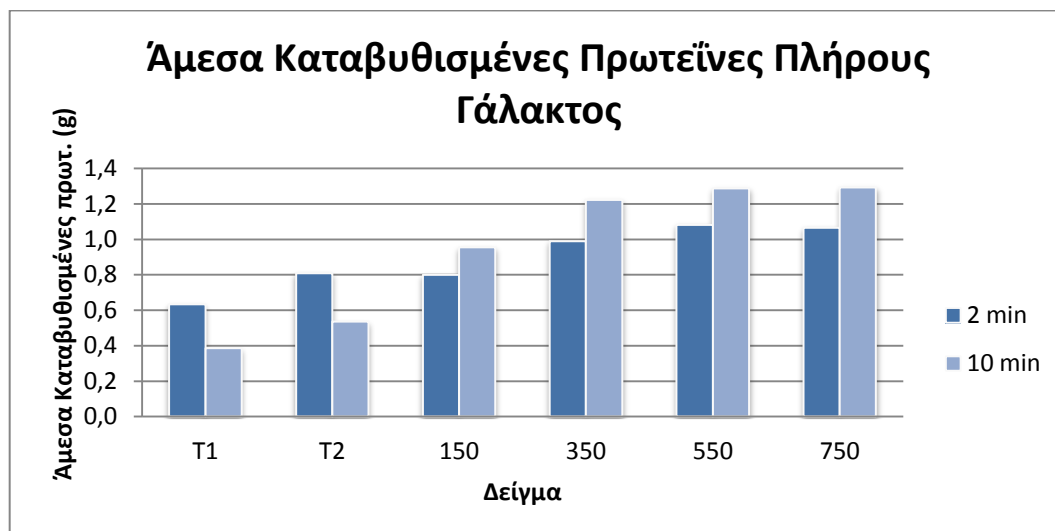
7.5 BRADFORD – ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΟΥΣΙΩΣΗΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ

- Ημέρα Παρασκευής

Πλήρες Γάλα



Διάγραμμα 54: Σύγκριση % μετουσίωσης πρωτεϊνών πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

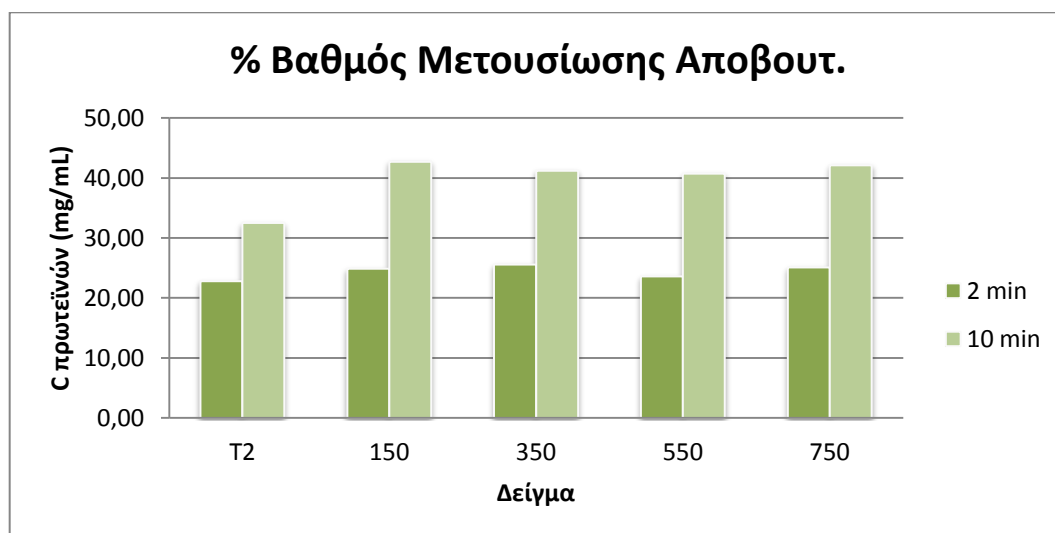


Διάγραμμα 55: Σύγκριση ποσού άμεσα καταβυθιζόμενων πρωτεϊνών πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

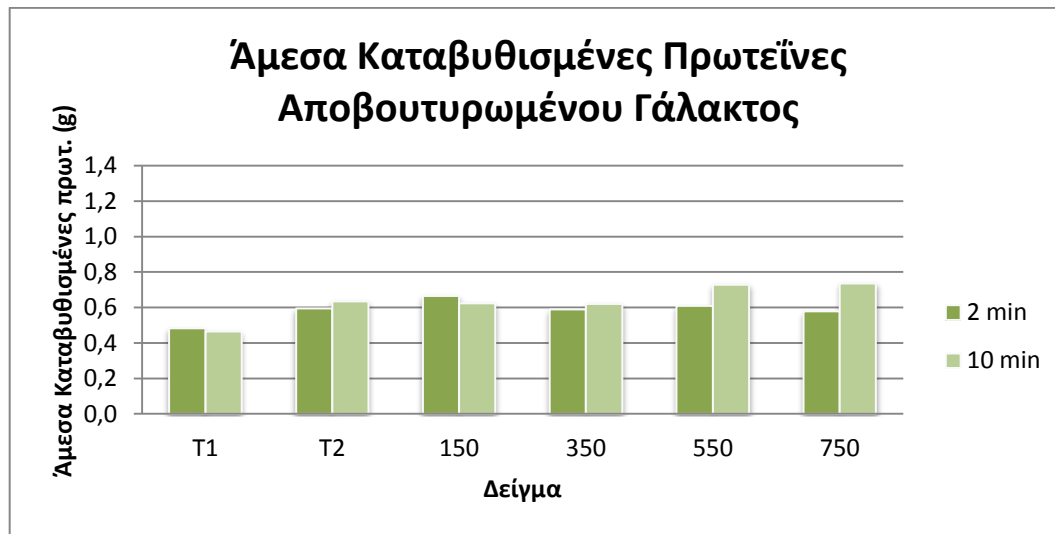
Από το διάγραμμα 54 παρατηρείται ότι ο βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών πλήρους γάλακτος, με χρόνο έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους για χρόνο 2

min σε όλα τα δείγματα κυμαίνεται περίπου στο 20%, χωρίς σημαντικές διαφορές. Για χρόνο 10 min, το παστεριωμένο δείγμα T₂ παρουσιάζει ποσοστό μετουσίωσης περίπου 30%, ενώ όλα τα δείγματα πλήρους γάλακτος επεξεργασμένα με υπέρηχους εντάσεων 150, 350, 550 και 750 W παρουσιάζουν μετουσίωση 40%, υποδεικνύοντας ότι σημαντικότερο ρόλο στη μετουσίωση των πρωτεϊνών του πλήρους γάλακτος παίζει ο χρόνος εφαρμογής των υπέρηχων. Στην περίπτωση του μικρού χρόνου, 2 min, η μετουσίωση των πρωτεϊνών δεν επηρεάζεται από τους υπέρηχους, αλλά κυρίως από την παστερίωση. Οι άμεσα καταβυθισμένες πρωτεΐνες του πλήρους γάλακτος, τόσο για χρόνο έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους 2 min, όσο και για 10 min αυξάνονται όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων.

Αποβουτυρωμένο Γάλα



Διάγραμμα 56: Σύγκριση % μετουσίωσης πρωτεϊνών πλήρους αποβουτυρωμένου επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min



Διάγραμμα 57: Σύγκριση ποσού άμεσα καταβυθιζόμενων πρωτεϊνών αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους για 2 και 10 min

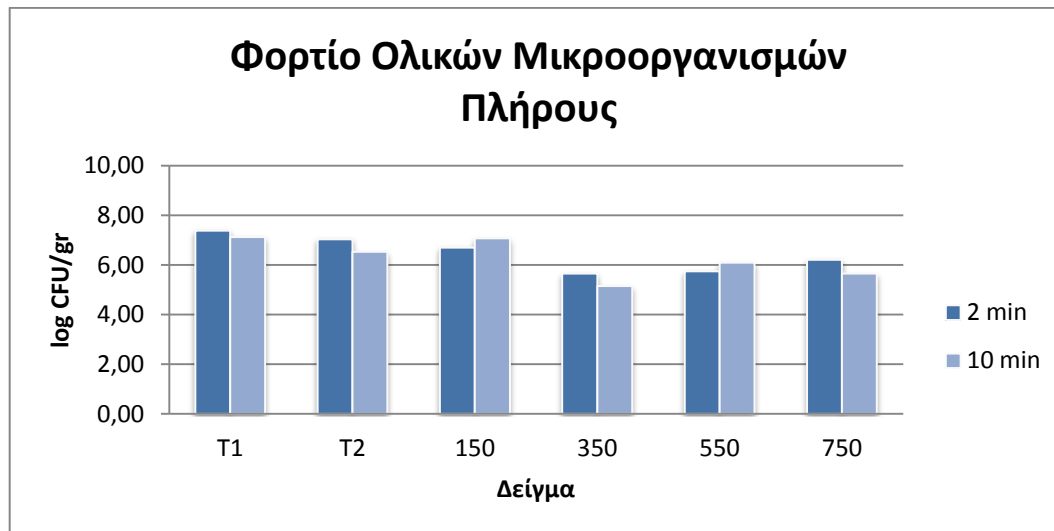
Από το διάγραμμα 56 παρατηρείται ότι ο βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών του αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους, για χρόνο έκθεσης 2 min είναι σχεδόν ίδιος για όλα τα επεξεργασμένα δείγματα και κυμαίνεται στο 20-25%. Για χρόνο 10 min ο βαθμός μετουσίωσης όλων των επεξεργασμένων δειγμάτων με υπέρηχους κυμαίνεται περίπου στο 40%, ενώ είναι λίγο χαμηλότερος για το παστεριωμένο δείγμα T₂. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι μόνο οι υπέρηχοι μεγάλης έντασης επιδρούν στη μετουσίωση των πρωτεϊνών του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Όσον αφορά τις άμεσα καταβυθιζόμενες πρωτεΐνες του αποβουτυρωμένου γάλακτος, με επεξεργασία υπέρηχων για χρόνο 2 min παρουσιάζουν ένα μέγιστο στην ένταση υπέρηχων 150 W, ενώ για χρόνο 10 min το μέγιστο βρίσκεται μεταξύ των εντάσεων 550 W και 750 W.

7.6 ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

- Ημέρα Παρασκευής

Πλήρες Γάλα

PCA

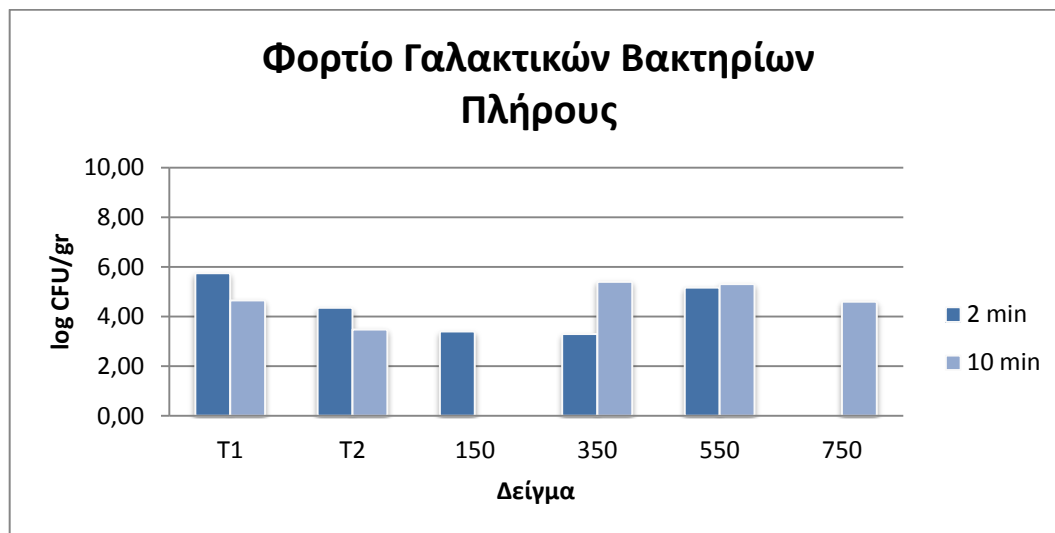


Διάγραμμα 58: Σύγκριση ολικού μικροβιακού φορτίου πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου σε υπέρηχους για 2 και 10 min

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι υψηλότερο μικροβιακό φορτίο έχει το 1^ο τυφλό, όπως ήταν αναμενόμενο, εφόσον δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία για μείωση των περιεχόμενων μικροοργανισμών. Το δείγμα T₂, παρά τις δύο παστεριώσεις έχει μικροβιακό φορτίο λίγο χαμηλότερο από αυτό του δείγματος T₁. Σε επεξεργασμένα δείγματα με υπέρηχους για χρόνο 2 min παρατηρείται μείωση του μικροβιακού φορτίου από το δείγμα έντασης 150 W μέχρι το δείγμα έντασης 550 W, γεγονός που ίσως να οφείλεται στην επίδραση των υπέρηχων στο μικροβιακό φορτίο. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι υπέρηχοι βοηθούν στη μείωση του μικροβιακού φορτίου.^{33,39} Παρατηρείται όμως ότι το επεξεργασμένο δείγμα σε ένταση 750 W παρουσιάζει αύξηση του μικροβιακού φορτίου στα 2 min, επεξεργασίας με υπέρηχους. Ίσως το δείγμα αυτό να είχε επιμολυνθεί από άλλους παράγοντες, όπως από μη καλό καθαρισμό της συσκευής υπέρηχων. Βέβαια και

πάλι το μικροβιακό του φορτίο δεν ξεπερνά αυτό του δείγματος T_1 . Στα 10 min επεξεργασίας με υπέρηχους παρατηρείται μείωση του μικροβιακού φορτίου στο δείγμα T_2 , καθώς και μείωση σε αυξημένες εντάσεις υπέρηχων 350 W και 750 W, με εξαίρεση το δείγμα στα 550 W που παρουσιάζει λίγο αυξημένο μικροβιακό φορτίο, χωρίς όμως να ξεπερνά εκείνο του δείγματος T_1 . Το δείγμα έντασης 150 W παρουσιάζει αυξημένο μικροβιακό φορτίο σχεδόν ίσο με αυτό του δείγματος T_1 , πιθανών λόγω επιμολύνσεων ή λόγω της μειωμένης συμβολής των υπέρηχων μικρών εντάσεων στο μικροβιακό φορτίο.

MRS



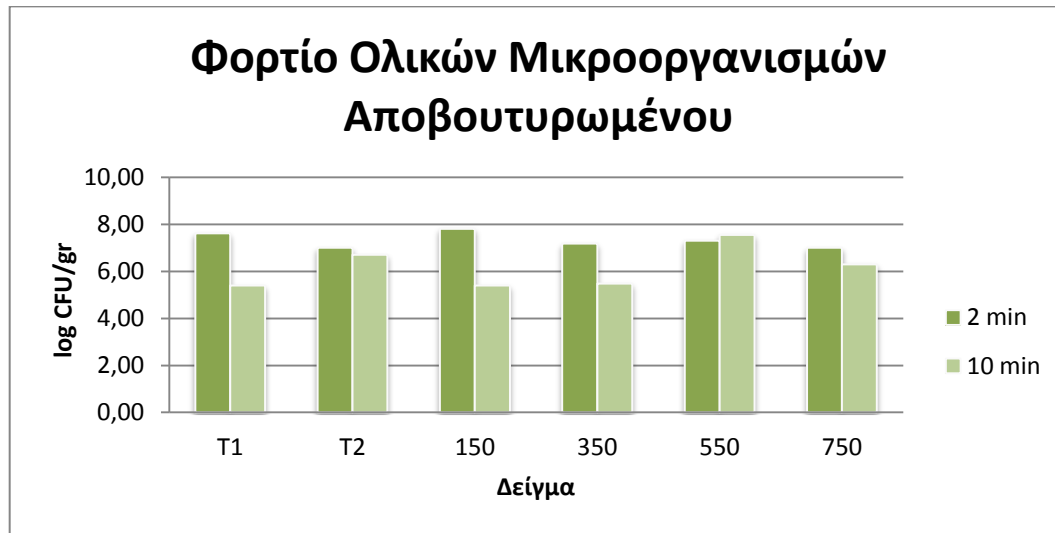
Διάγραμμα 59: Σύγκριση φορτίου γαλακτικών βακτηρίων πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου σε υπέρηχους για 2 και 10 min

Για χρόνο επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους για 2 min, το φορτίο των γαλακτικών βακτηρίων στο δείγμα T_1 είναι αρκετά αυξημένο και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι το δείγμα έντασης 350 W, δείχνοντας πως και οι παστεριώσεις αλλά κι οι υπέρηχοι έχουν συμβάλει στη μείωση αυτή. Στο επεξεργασμένο δείγμα με ένταση 550 W παρατηρείται αύξηση, η οποία όμως δεν ξεπερνά το φορτίο του 1^{ου} τυφλού. Στα 10 min επεξεργασίας με υπέρηχους, ενώ τα δείγματα T_1 και T_2 έχουν σχετικά χαμηλό φορτίο γαλακτικών βακτηρίων, τα επεξεργασμένα δείγματα

με εντάσεις υπέρηχων 350, 550 και 750 W παρουσιάζουν αυξημένο φορτίο γαλακτικών βακτηρίων.

Αποβουτυρωμένο Γάλα

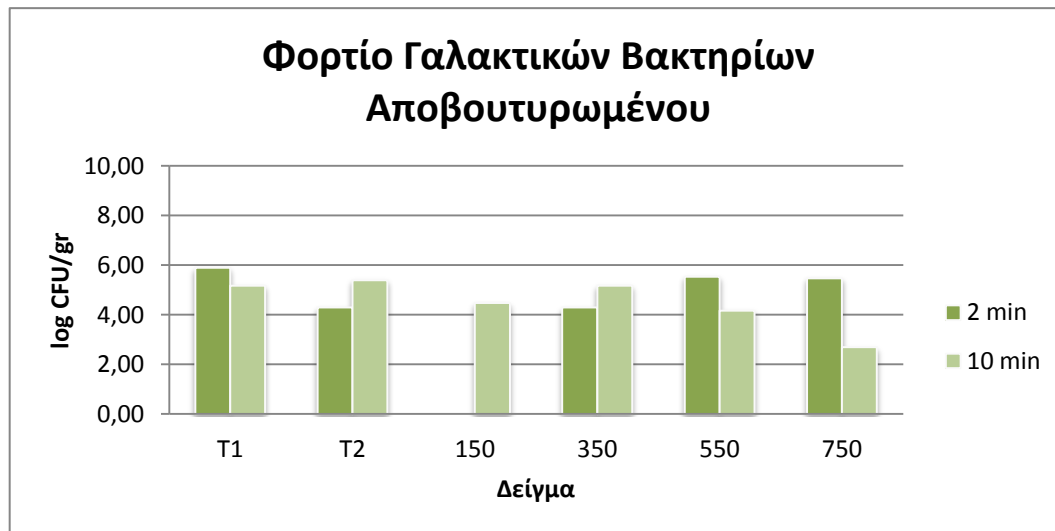
PCA



Διάγραμμα 60: Σύγκριση ολικού μικροβιακού φορτίου αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου σε υπέρηχους για 2 και 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του αποβουτυρωμένου γάλακτος που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους για 2 min παρουσιάζει αυξομειώσεις. Οι τιμές που είναι υψηλότερες από αυτές του T₁ μπορεί να οφείλονται σε μη σωστή παστερίωση και σε ανεπαρκή καθαρισμό της συσκευής υπέρηχων. Με επεξεργασία στα 10 min, το δείγμα T₁ παρουσιάζει χαμηλό μικροβιακό φορτίο, το οποίο όμως στο δείγμα T₂ φαίνεται να αυξάνεται, γεγονός που δείχνει είτε ότι η παστερίωση δεν έγινε σωστά, είτε ότι υπήρχε επιμόλυνση του δείγματος μετά από αυτή ή και ακόμη κατά την εξέταση των μικροβιολογικών. Τα επεξεργασμένα δείγματα με υπέρηχους έντασης 150 και 350 W παρουσιάζουν μείωση του μικροβιακού φορτίου, με τιμή σχεδόν ίση με του δείγματος T₁. Εξάιρεση αποτελεί το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 550 W και 750 W που παρουσιάζουν τιμές, που ξεπερνούν την τιμή του T₁, πιθανόν λόγω επιμολύνσεων.

MRS



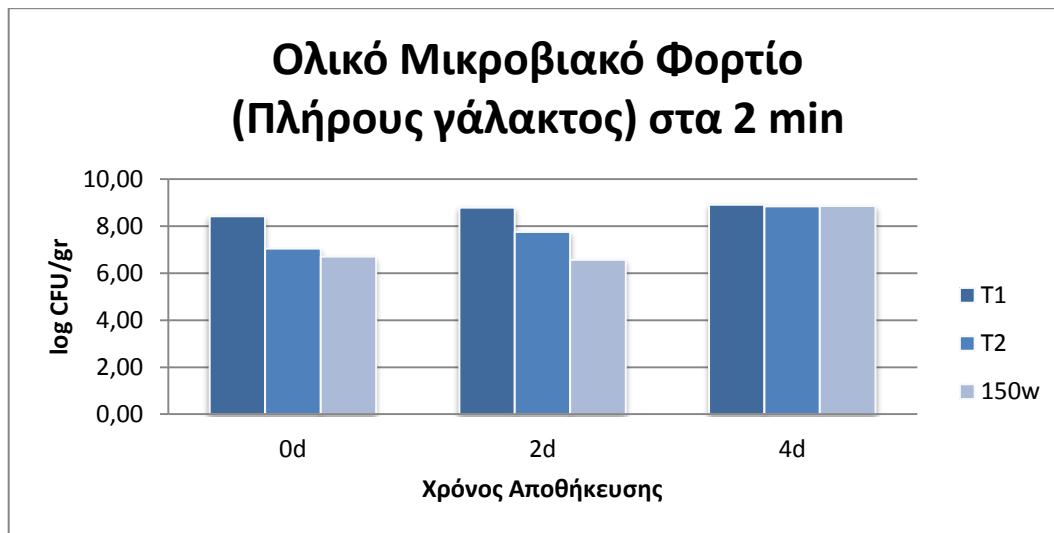
Διάγραμμα 61: Σύγκριση φορτίου γαλακτικών βακτηρίων αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου σε υπέρηχους για 2 και 10 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων αποβουτυρωμένου γάλακτος για επεξεργασία με υπέρηχους για χρόνο 2 min, όπως φαίνεται από το παραπάνω διάγραμμα μειώνεται από το δείγμα T₁ στο T₂ και αν στα επεξεργασμένα δείγματα με ένταση υπέρηχων 350, 550 και 750 W φαίνεται να αυξάνεται, κανένα δεν ξεπερνά την τιμή του δείγματος T₁. Σε αντίθετη περίπτωση στην επεξεργασία των 10 min, το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα T₁ είναι χαμηλότερο ή και ίσο συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα, με εξαίρεση το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 750 W, όλα τα υπόλοιπα παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές.

- Κατά την Αποθήκευση

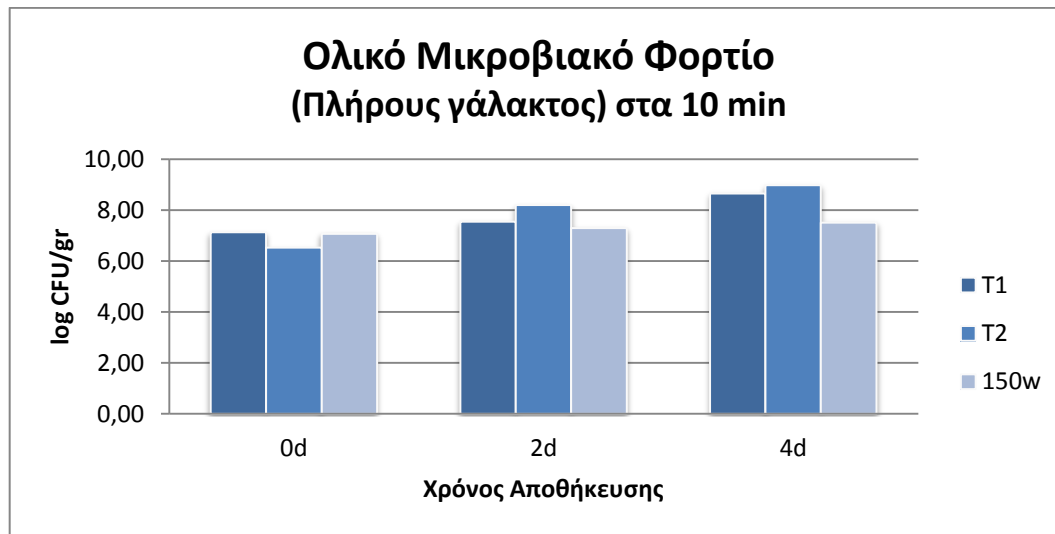
Πλήρες Γάλα

PCA



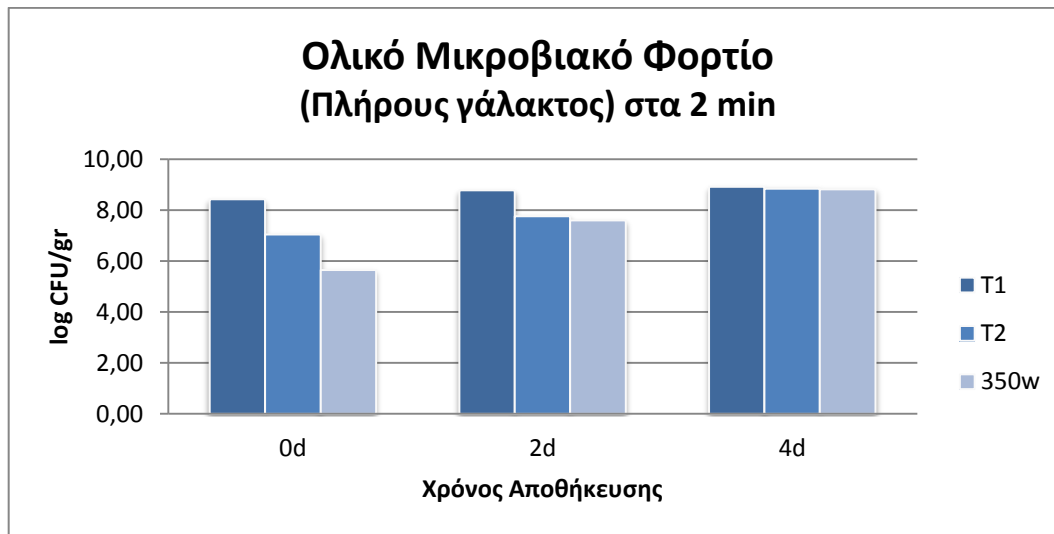
Διάγραμμα 62: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος T₁ στο πλήρες γάλα, παρουσιάζει αύξηση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Στο μη παστεριωμένο και μη ομογενοποιημένο γάλα, εφόσον δεν έχει μειωθεί αρχικά το μικροβιακό φορτίο μπορεί να αυξηθεί. Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος T₂ στο πλήρες γάλα, παρουσιάζει αύξηση κατά το χρόνο αποθήκευσης, με σημαντική αύξηση τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και μικρότερη κατά την τέταρτη ημέρα. Το ολικό μικροβιακό φορτίο του επεξεργασμένου δείγματος πλήρους γάλακτος με ένταση υπέρηχων 150 W είναι σταθερό μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και έπειτα παρουσιάζει αύξηση, με χρόνο επεξεργασίας υπέρηχων 2 min. Παρατηρείται επίσης ότι το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος 150w 2m είναι λίγο μικρότερο από του δείγματος T₂, γεγονός που δείχνει ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν σε κάποιο βαθμό στη μείωση του μικροβιακού φορτίου.



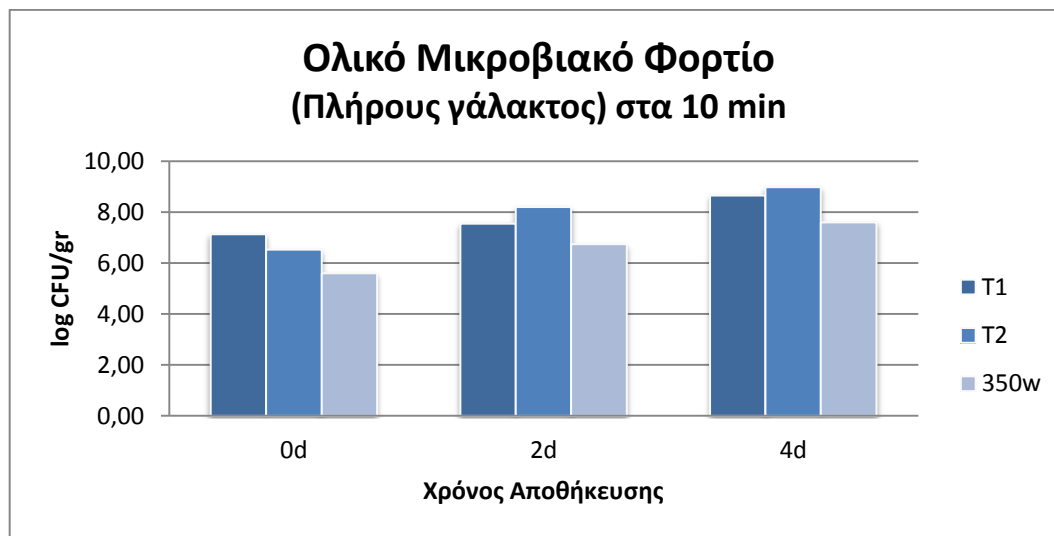
Διάγραμμα 63: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Στην επεξεργασία πλήρους γάλακτος με υπέρηχους για χρόνο 10 min, παρατηρείται ότι αρχικά το υψηλότερο ολικό μικροβιακό φορτίο το έχει το δείγμα T₁, όπως ήταν αναμενόμενο, αφού δεν έχει υποστεί καμία επεξεργασία, και κατά την αποθήκευση αυτό αυξάνεται. Αυξημένο μικροβιακό φορτίο παρατηρείται και στο δείγμα T₂ που μπορεί να οφείλεται σε επιμόλυνση. Αντίθετα, το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος 150w 10m φαίνεται να διατηρείται σχετικά σταθερό, γεγονός που δείχνει, συγκριτικά με το χρόνο επεξεργασίας στα 2 min ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας σε υπέρηχους συμβάλλει σημαντικά στη μείωση και διατήρηση του μικροβιακού φορτίου του γάλακτος.



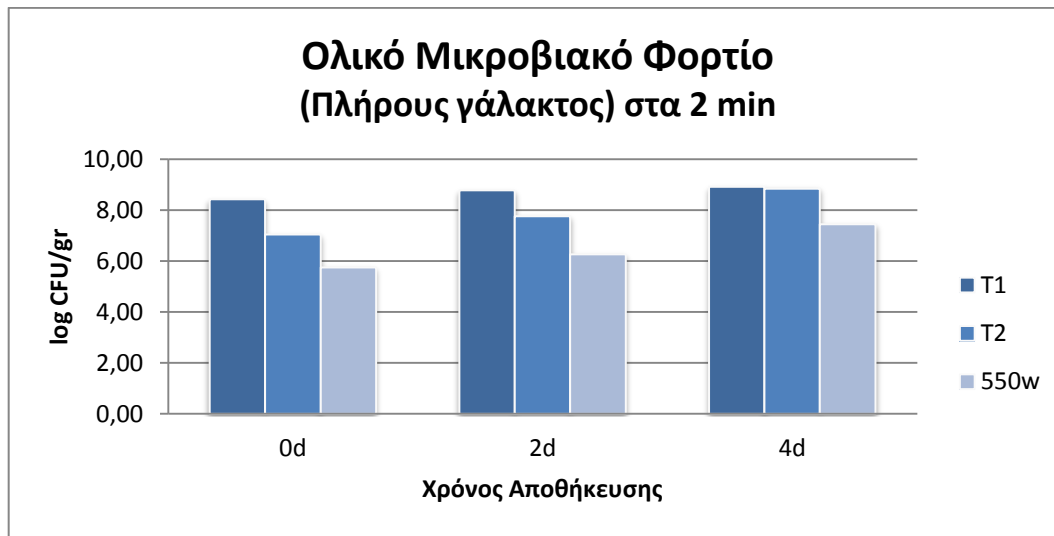
Διάγραμμα 64: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους έντασης 350 W για 2 min, παρουσιάζει σταδιακή αύξηση. Παρατηρείται επίσης ότι το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος 350w 2m κατά την ημέρα παρασκευής είναι αρκετά μικρότερο από αυτό του δείγματος T₂, γεγονός που δείχνει ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν σε κάποιο βαθμό στη μείωση του μικροβιακού φορτίου και συγκεκριμένα όσο αυξάνει η έντασή τους τόσο μειώνεται και το μικροβιακό φορτίο.



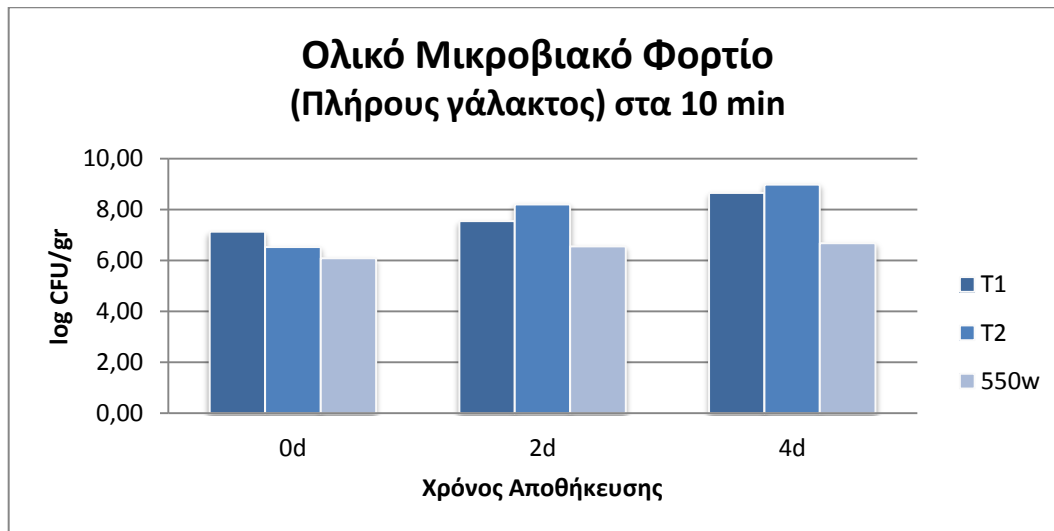
Διάγραμμα 65: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους έντασης 350W για 10 min παρουσιάζει αύξηση κατά την αποθήκευση, η οποία μέχρι τη δεύτερη ημέρα δεν είναι σημαντική και τόσο μεγάλη όσο στα τυφλά δείγματα. Σε κάθε περίπτωση η τιμή του ολικού μικροβιακού φορτίου του δείγματος έντασης 350W είναι μικρότερη από αυτή των τυφλών δειγμάτων, γεγονός που και πάλι επιβεβαιώνει ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν στη μείωση του μικροβιακού φορτίου.



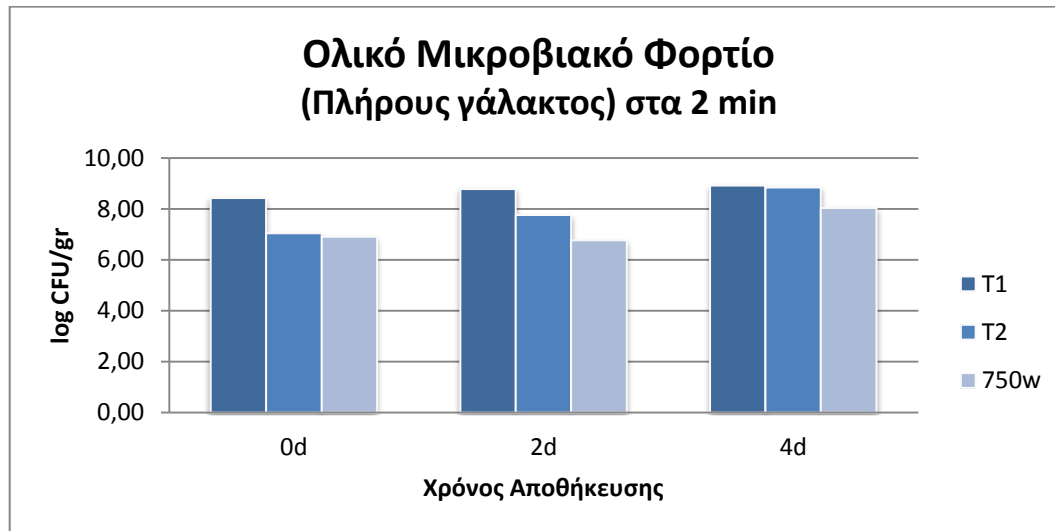
Διάγραμμα 66: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει μικρή αύξηση, σχεδόν ασήμαντη κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, ενώ την τέταρτη ημέρα είναι μεγαλύτερη, χωρίς όμως να ξεπερνά την τιμή των τυφλών δειγμάτων.



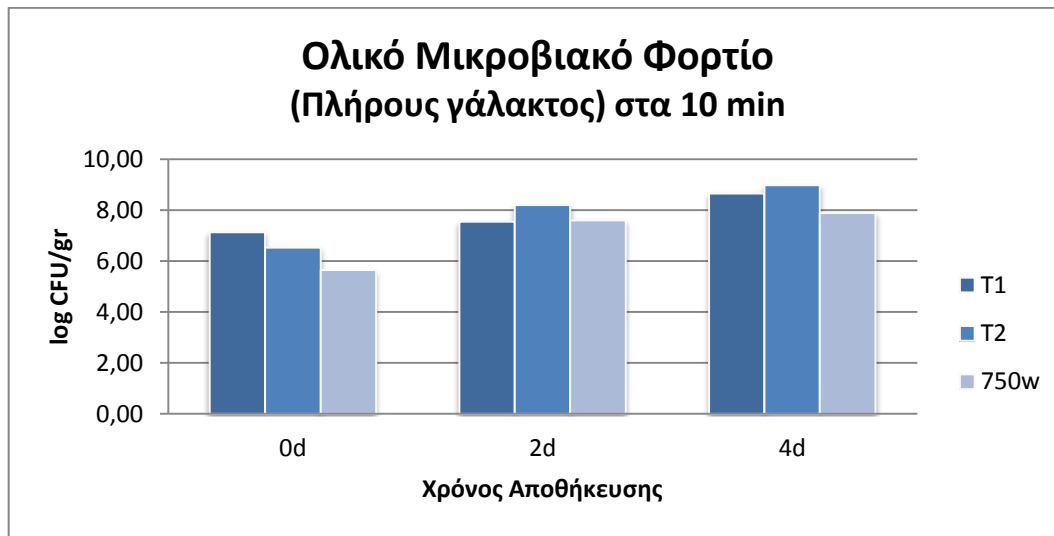
Διάγραμμα 67: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους 550 W για χρόνο 10m φαίνεται να είναι σχετικά σταθερό, με τιμή πολύ μικρότερη από αυτή των τυφλών δειγμάτων. Αυτό δείχνει ότι, συγκριτικά με το χρόνο επεξεργασίας 2 min, ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας σε υπέρηχους συμβάλλει σημαντικά στη μείωση και διατήρηση του μικροβιακού φορτίου.



Διάγραμμα 68: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

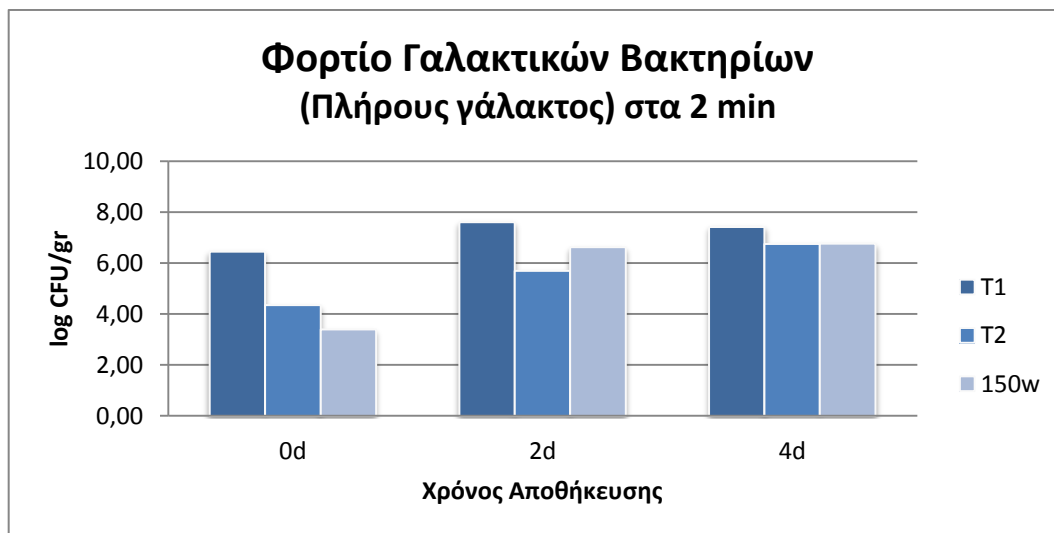
Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος έντασης επεξεργασμένου με υπέρηχους 750 W μέχρι τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης φαίνεται σταθερό, την τέταρτη ημέρα παρουσιάζει αύξηση χωρίς να ξεπερνά την τιμή των τυφλών δειγμάτων. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα φαίνεται ότι η ένταση υπέρηχων 750 W δεν συμβάλλει τόσο πολύ, όσο οι προηγούμενες, στη μείωση του μικροβιακού φορτίου.



Διάγραμμα 69: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

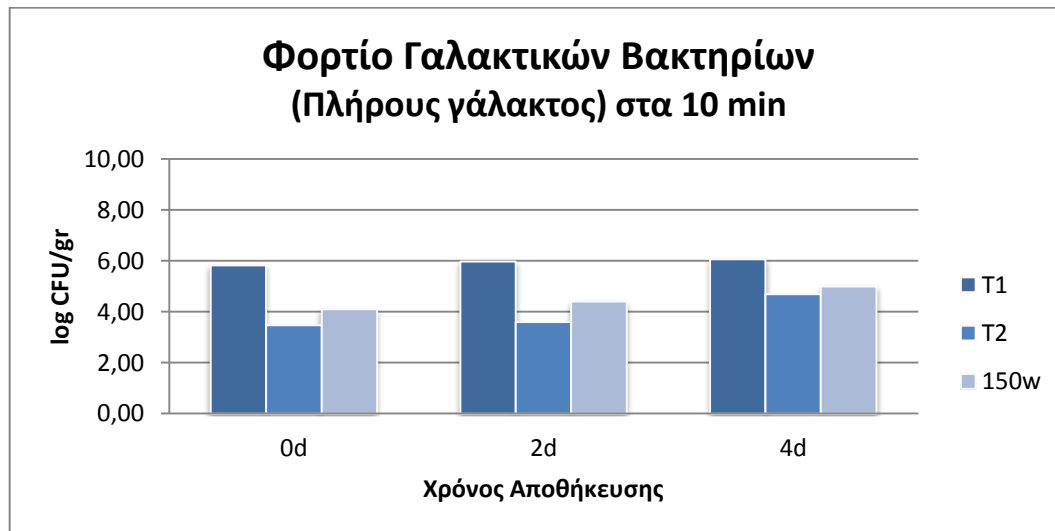
Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 10 min, παρουσιάζει αύξηση κατά την αποθήκευση του, η οποία βέβαια είναι μικρότερη από αυτή των τυφλών δειγμάτων.

MRS



Διάγραμμα 70: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

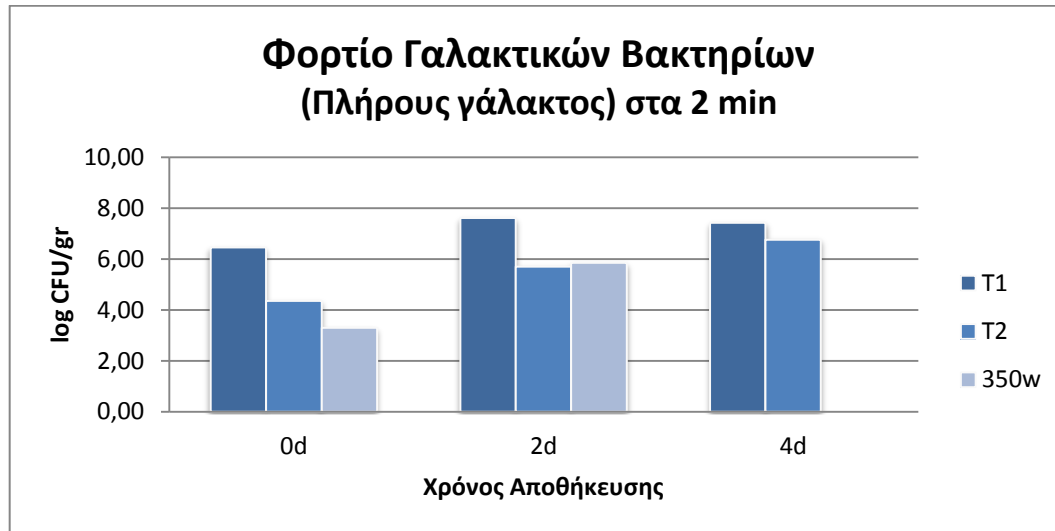
Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος T₁, πλήρους γάλακτος, αυξάνεται κατά την αποθήκευση, αναμενόμενο αφού το συγκεκριμένο δείγμα δεν έχει υποστεί παστερίωση. Για το δείγμα T₂ η αύξηση κατά την αποθήκευση είναι πολύ πιο έντονη, ειδικά κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης. Αύξηση του φορτίου γαλακτικών βακτηρίων παρουσιάζει και το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 2 τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και στη συνέχεια διατηρείται σταθερό. Το συγκεκριμένο δείγμα κατά την ημέρα παρασκευής παρουσιάζει μικρότερη τιμή γαλακτικών βακτηρίων από ότι τα τυφλά δείγματα, που σημαίνει ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν και στη μείωση του φορτίου των γαλακτικών βακτηρίων.



Διάγραμμα 71: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

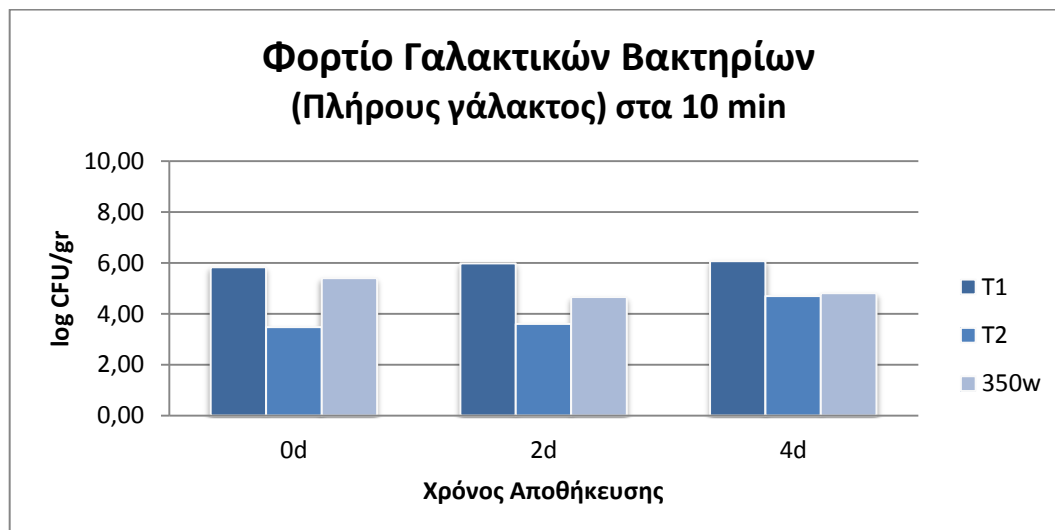
Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος T₁, πλήρους γάλακτος, αυξάνεται σταδιακά κατά την αποθήκευση, αναμενόμενο αφού το συγκεκριμένο δείγμα δεν έχει υποστεί παστερίωση. Για το δείγμα T₂ το φορτίο των γαλακτικών βακτηρίων διατηρείται σταθερό έως και τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και στη συνέχεια αυξάνεται. Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του επεξεργασμένου δείγματος με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 10 min αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Το συγκεκριμένο δείγμα παρουσιάζει τιμή γαλακτικών βακτηρίων

μικρότερη από αυτή του δείγματος T₁ αλλά λίγο μεγαλύτερη από αυτή του δείγματος T₂, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε επιμόλυνση.



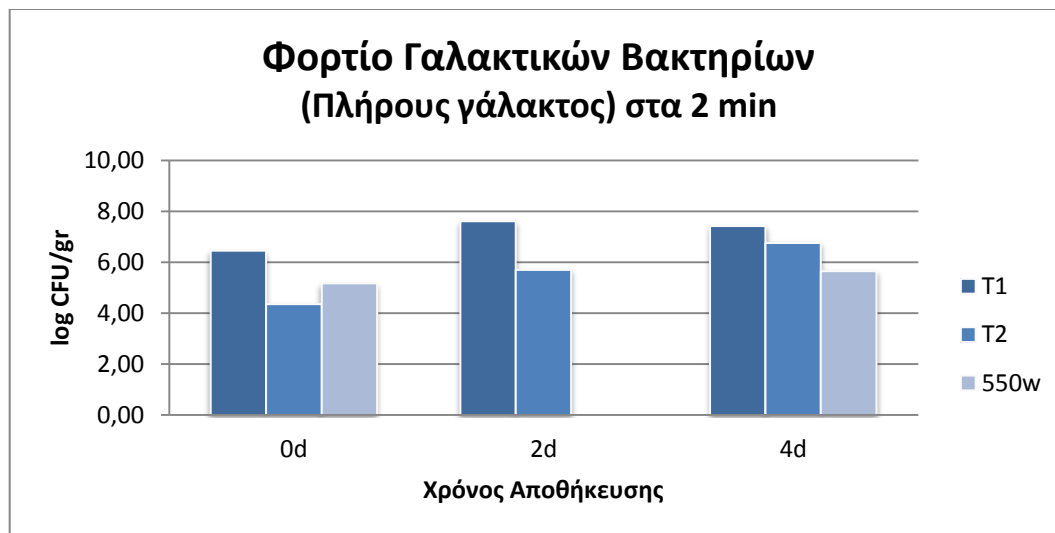
Διάγραμμα 72: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει αύξηση με χρόνο επεξεργασίας υπέρηχων 2 min.



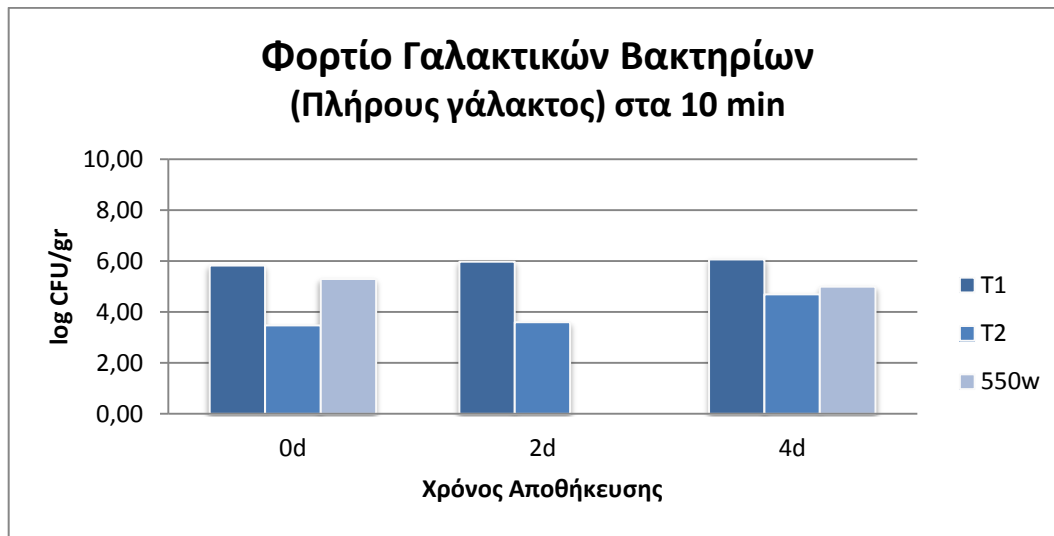
Διάγραμμα 72: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Στο δείγμα πλήρους γάλακτος επεξεργασμένο με υπέρηχους έντασης 350 W για 10 min, η μείωση του φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση πρέπει να οφείλεται σε μόλυνση ή πιθανόν οι υπέρηχοι να επηρεάζουν τα γαλακτικά βακτήρια.



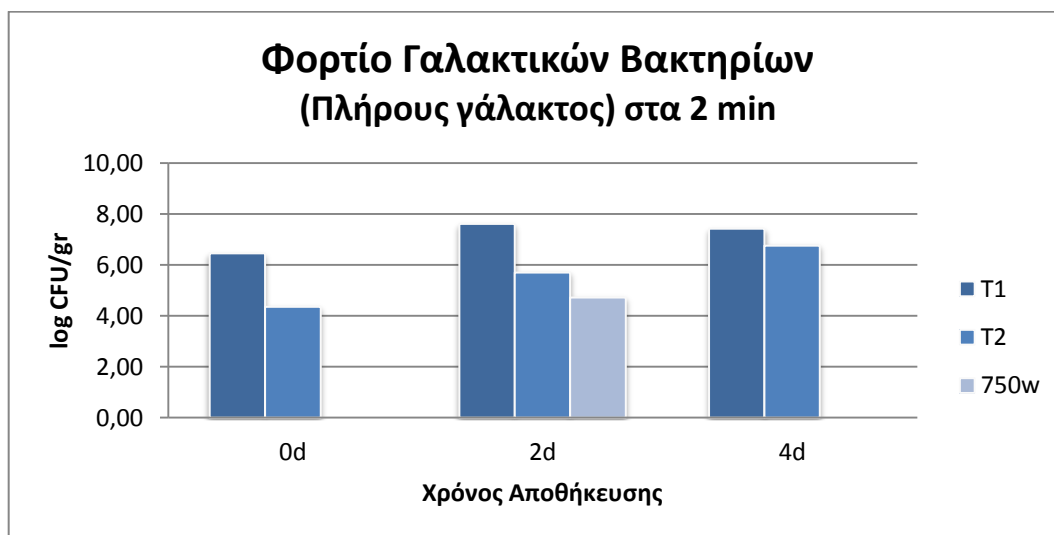
Διάγραμμα 73: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει αύξηση. Όπως και στα προηγούμενα δείγματα παρατηρείται ότι κατά την ημέρα παρασκευής του δείγματος, το φορτίο των γαλακτικών βακτηρίων είναι υψηλότερο από αυτό του δείγματος T₂, πράγμα που δείχνει ότι μάλλον οι υπέρηχοι επηρεάζουν τα γαλακτικά βακτήρια.



Διάγραμμα 74: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

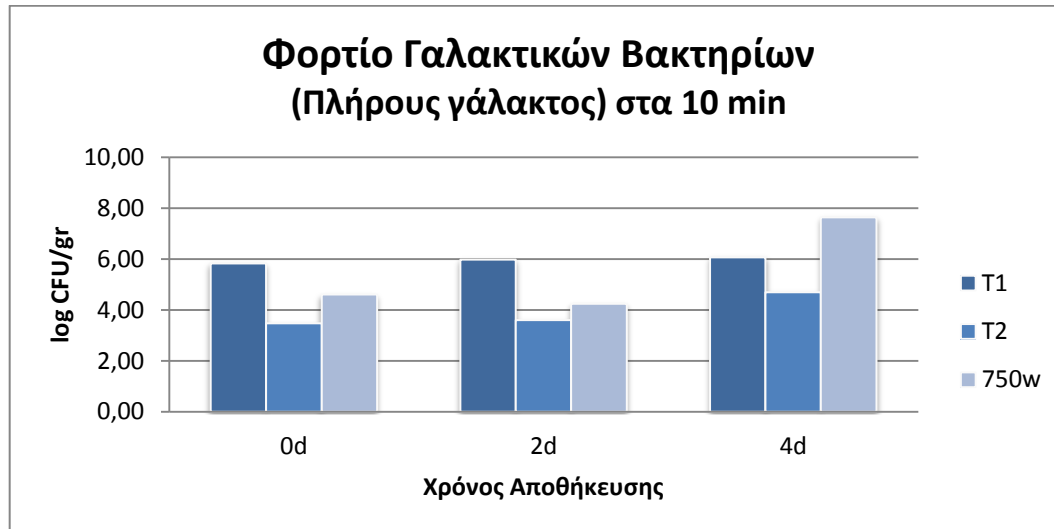
Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 10 min που παρουσιάζει μικρή μείωση οφείλεται σε πειραματικό σφάλμα.



Διάγραμμα 75: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Το φορτίο των γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 2 min, είναι μικρότερο τόσο

από αυτό του δείγματος T₁, όσο και από του δείγματος T₂, γεγονός που δείχνει τη συμβολή των υπέρηχων στη μείωση του φορτίου των γαλακτικών βακτηρίων.

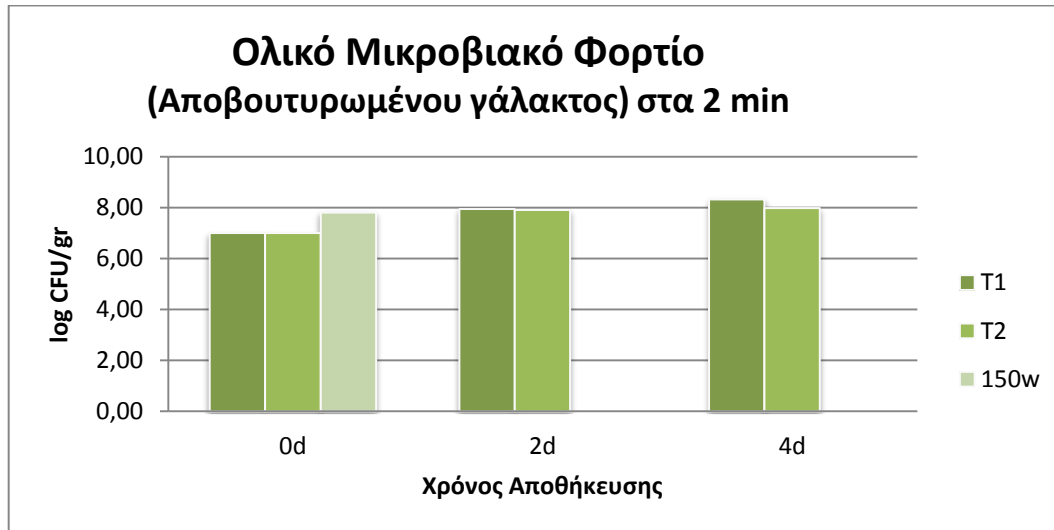


Διάγραμμα 76: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος πλήρους γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει αρχικά μείωση και την τέταρτη ημέρα αποθήκευσης μεγάλη αύξηση.

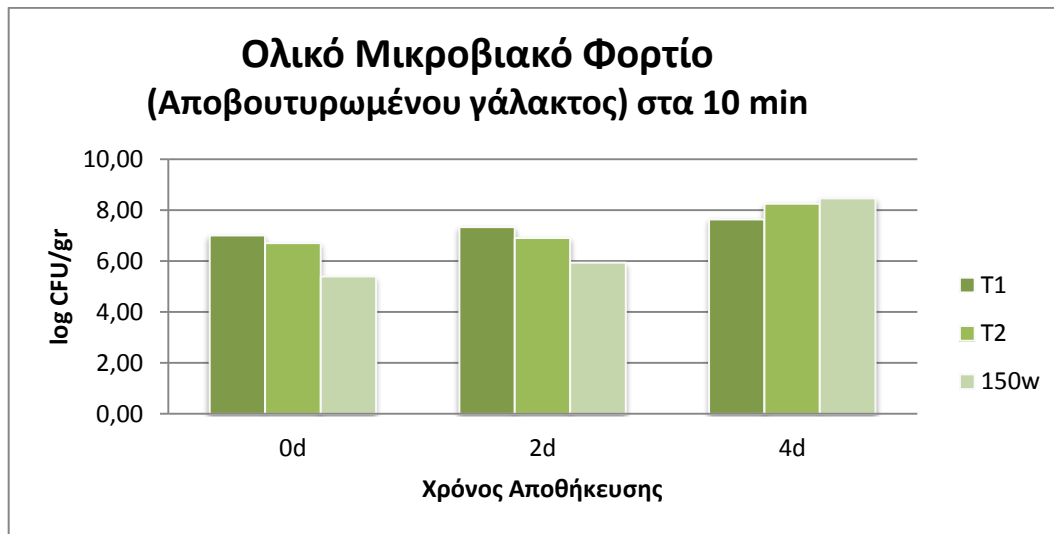
Αποβουτυρωμένο Γάλα

PCA



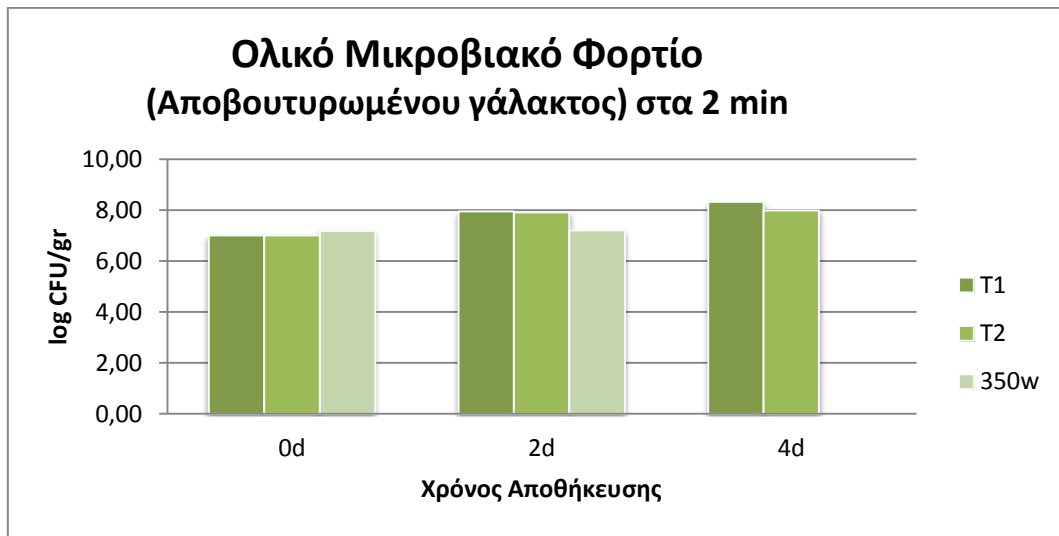
Διάγραμμα 77: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 2 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος T_1 αποβουτυρωμένου γάλακτος, παρουσιάζει αύξηση κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης και έπειτα διατηρείται σταθερό. Παρόμοια συμβαίνουν και για το δείγμα T_2 είναι κατά την αποθήκευση. Το πολύ αυξημένο ολικό μικροβιακό φορτίο που παρουσιάζει το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W, ανώτερο των τυφλών δειγμάτων, πρέπει να οφείλεται σε μόλυνση.



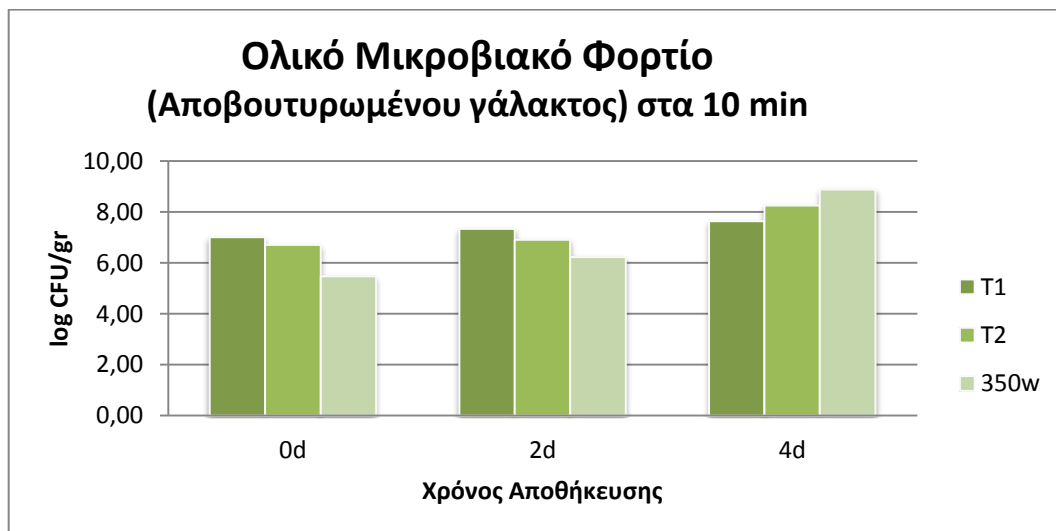
Διάγραμμα 78: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο των δειγμάτων αποβουτυρωμένου γάλακτος T_1 και T_2 αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Παρόμοια ισχύουν για το επεξεργασμένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 10 min, όπου το ολικό μικροβιακό του φορτίο του κατά την αποθήκευση. Αυτό οφείλεται στο ότι η ένταση της ομογενοποίησης είναι χαμηλή, γεγονός που δεν βοηθά στη θανάτωση των μικροοργανισμών, με αποτέλεσμα μετά την παστερίωση να αναπτύσσονται. Με εξαίρεση την τελευταία ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων, το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος είναι χαμηλότερο από αυτό των τυφλών, αποδεικνύοντας έτσι ότι οι υπέρηχοι με μεγάλο χρόνο επεξεργασίας, 10 min, συμβάλλουν στην μείωση του φορτίου αυτού.



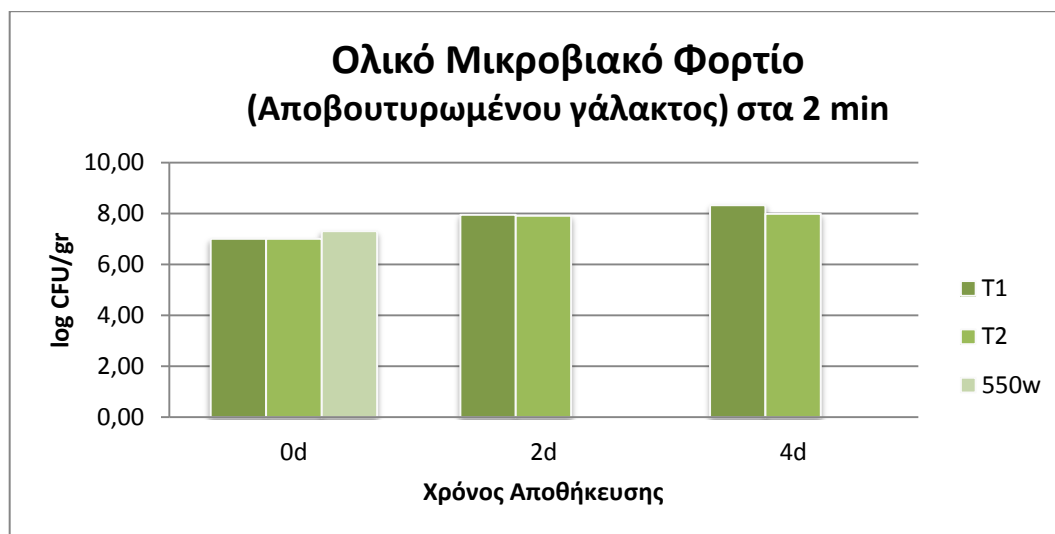
Διάγραμμα 79: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350W για χρόνο 2 min παρουσιάζει ελάχιστα αυξημένο ολικό μικροβιακό φορτίο, πιθανόν λόγω πειραματικού σφάλματος. Πάντως το μικροβιακό φορτίο του δείγματος αυτού διατηρείται σταθερό και τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης, που σημαίνει ότι η αυξημένη ένταση υπέρηχων βοηθά στη διατήρηση του μικροβιακού φορτίου.



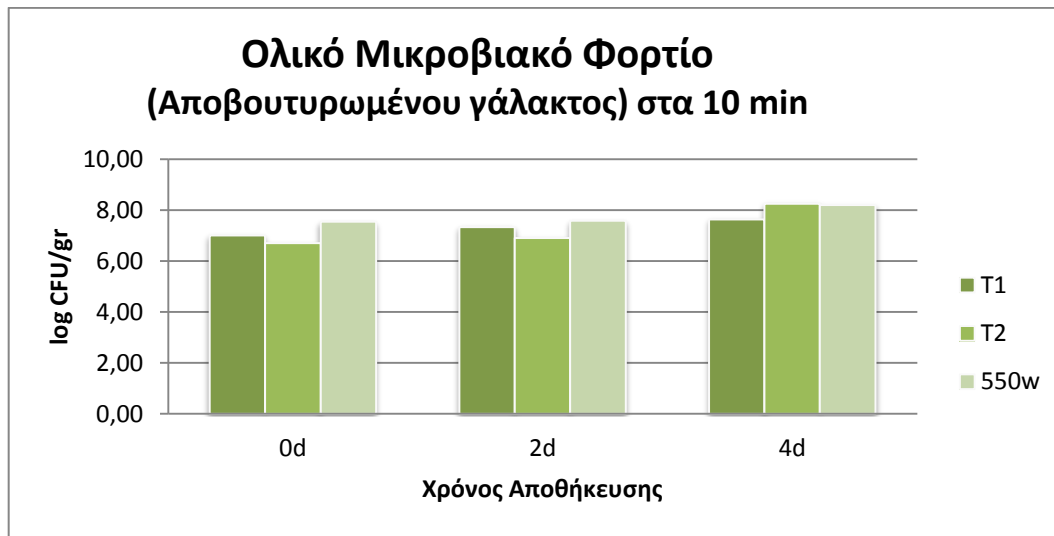
Διάγραμμα 80: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει αύξηση κατά την αποθήκευση. Με εξαίρεση την τελευταία ημέρα αποθήκευσης των δειγμάτων, το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος είναι χαμηλότερο από αυτό των τυφλών, αποδεικνύοντας έτσι ότι οι υπέρηχοι με μεγάλο χρόνο επεξεργασίας 10 min συμβάλλουν στη μείωση του μικροβιακού φορτίου.



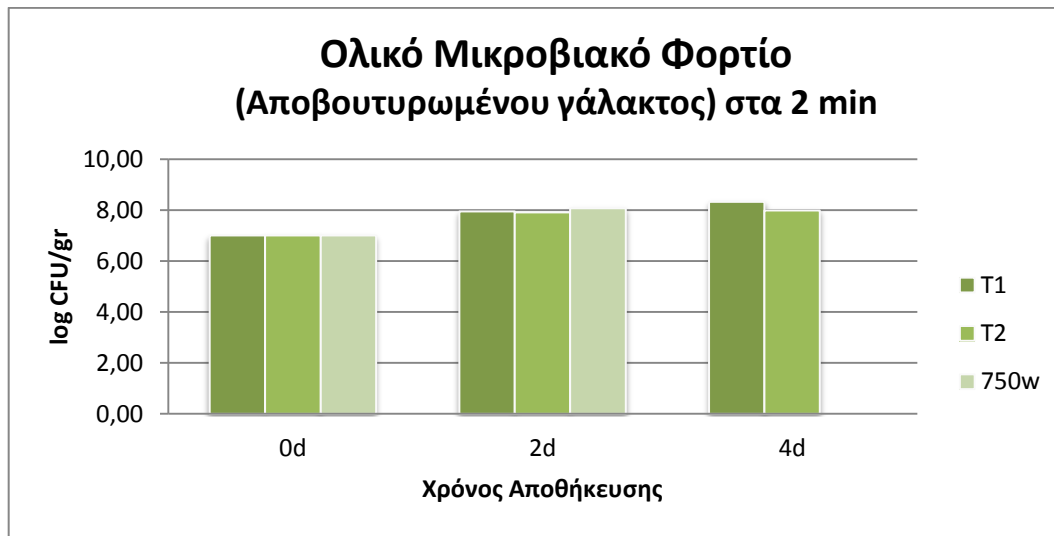
Διάγραμμα 81: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 2 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min κατά την ημέρα παρασκευής του παρουσιάζεται αυξημένο μεγαλύτερο από αυτό των τυφλών, γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε μόλυνση.



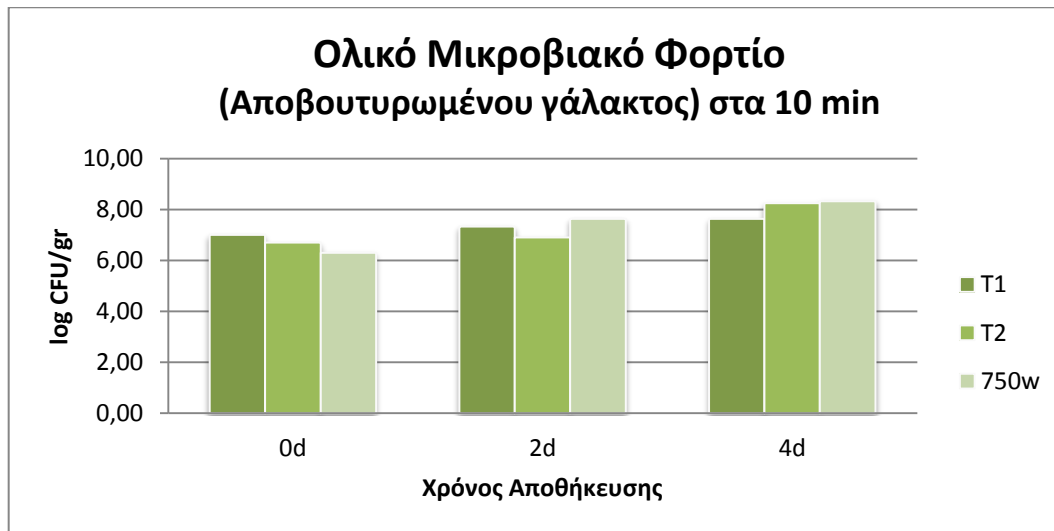
Διάγραμμα 82: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος έντασης αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 10 min της φαίνεται να είναι σταθερό καθόλη τη διάρκεια της αποθήκευσης και την τέταρτη ημέρα παρουσιάζει μικρή αύξηση. Πάντως το ολικό μικροβιακό φορτίο είναι υψηλότερο από αυτό των τυφλών λόγω μόλυνσης των δειγμάτων, είτε οι μεγάλες εντάσεις υπερήχων να επηρεάζουν το ολικό μικροβιακό φορτίο του γάλακτος.



Διάγραμμα 83: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

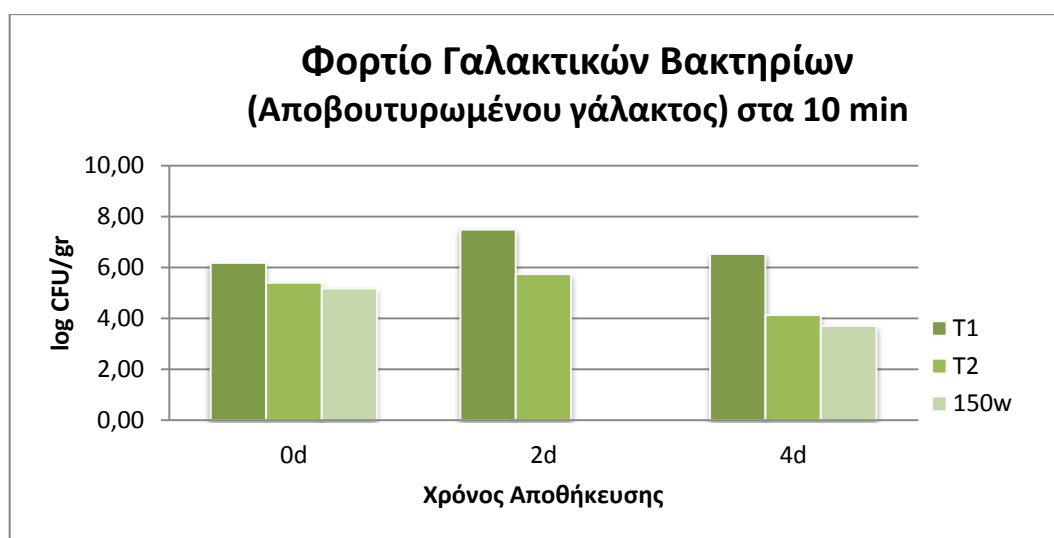
Το ολικό μικροβιακό φορτίο του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει τιμή ίση με τα τυφλά κατά την ημέρα παρασκευής και στη συνέχεια αυξάνεται, όσο αυξάνονται και τα τυφλά δείγματα.



Διάγραμμα 84: Διάγραμμα μεταβολής ολικού μικροβιακού φορτίου κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 10 min, ενώ αρχικά έχει ολικό μικροβιακό φορτίο χαμηλότερο από αυτό των τυφλών δειγμάτων, στη συνέχεια αυξάνεται αρκετά. Από τα δεδομένα κατά την ημέρα παρασκευής μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν σε μικρό βαθμό στην περαιτέρω μείωση του μικροβιακού φορτίου. Το γεγονός αυτό, βέβαια, μπορεί να οφείλεται και στο συνδυασμό της υψηλής έντασης υπέρηχων με την μεγάλη διάρκεια εφαρμογής αυτών.

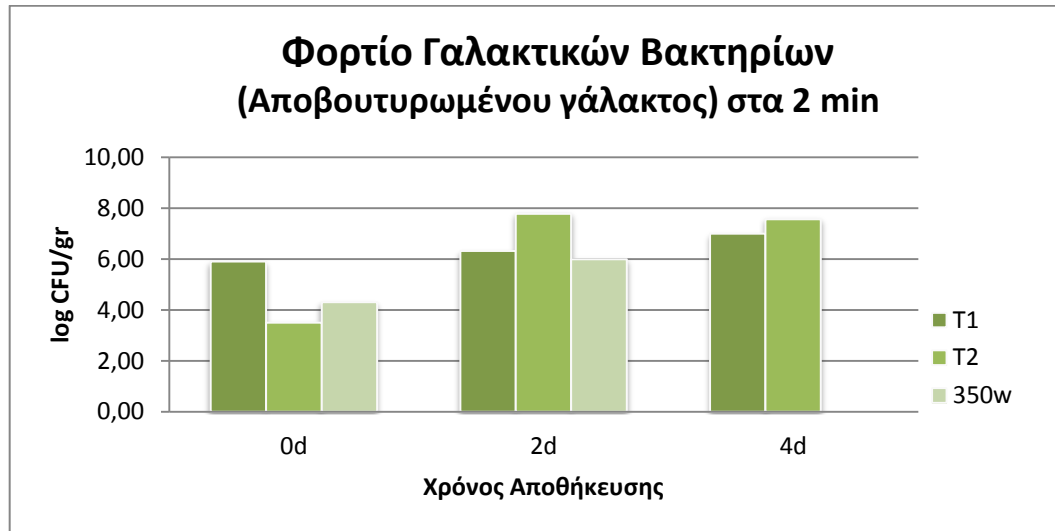
MRS



Διάγραμμα 85: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 150 W για 10 min

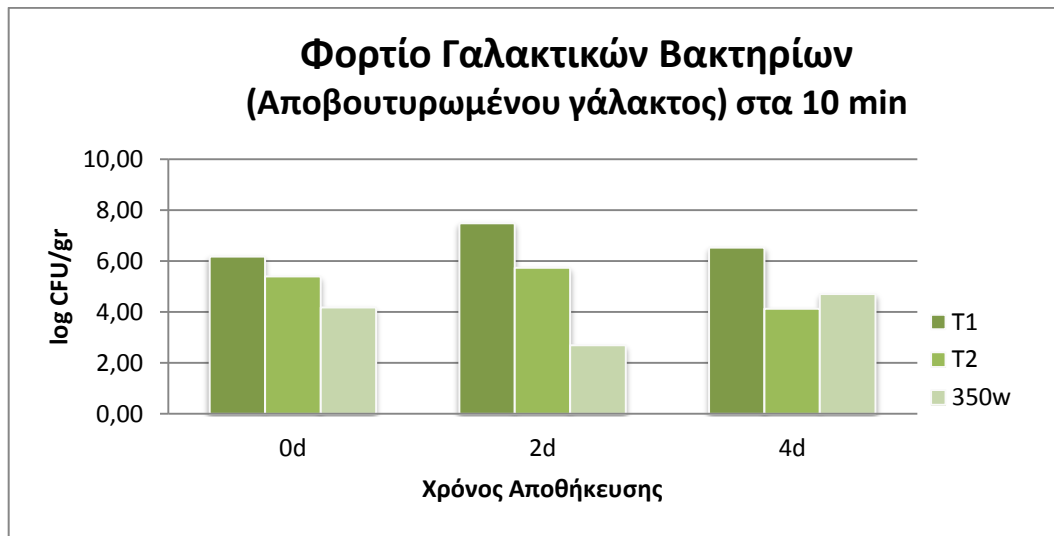
Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος T₁ παρουσιάζει μεγάλη αύξηση κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης καθώς δεν έχει υποστεί θερμική επεξεργασία. Αντίστοιχη είναι και η συμπεριφορά του φορτίου του δείγματος T₂. Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 150 W για χρόνο 10 min μπορεί να παρουσιάζει κατά την αποθήκευση, αλλά σε κάθε περίπτωση το φορτίο του δείγματος είναι μικρότερο από αυτό των τυφλών και έτσι

επαληθεύεται ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν στη μείωση του φορτίου των γαλακτικών βακτηρίων.



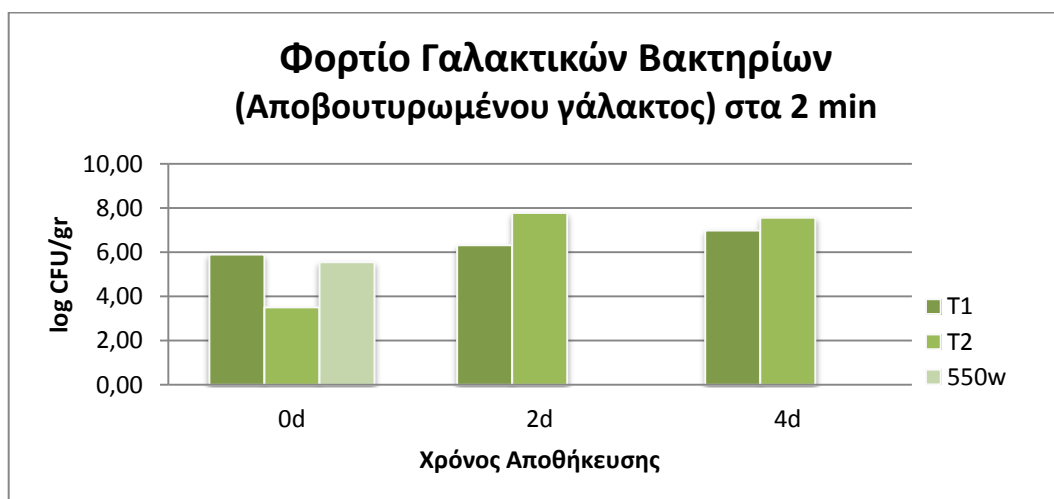
Διάγραμμα 86: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 2 min

Όσον αφορά το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος T_1 , το φορτίο του αυξάνεται σταδιακά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, αναμενόμενο εφόσον δεν έχει υποστεί κάποια επεξεργασία. Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος T_2 , ενώ αρχικά είναι πολύ μειωμένο, συγκριτικά με το T_1 , λόγω της παστερίωσης που έχει υποστεί, στη συνέχεια αυξάνεται ξεπερνώντας και το φορτίο του δείγματος T_1 . Επίσης το αντίστοιχο φορτίο για το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 2 min είναι σαφώς μικρότερο, κατά την παρασκευή του, από αυτό του δείγματος T_1 , αλλά ξεπερνά το δείγμα T_2 . Στη συνέχεια αυξάνεται, αποδεικνύοντας, εάν δεν υπάρχουν πειραματικά σφάλματα, ότι η ένταση σε συνδυασμό με το χρόνο των 2 min δεν είναι ικανή να διατηρήσει το φορτίο των γαλακτικών βακτηρίων του γάλακτος.



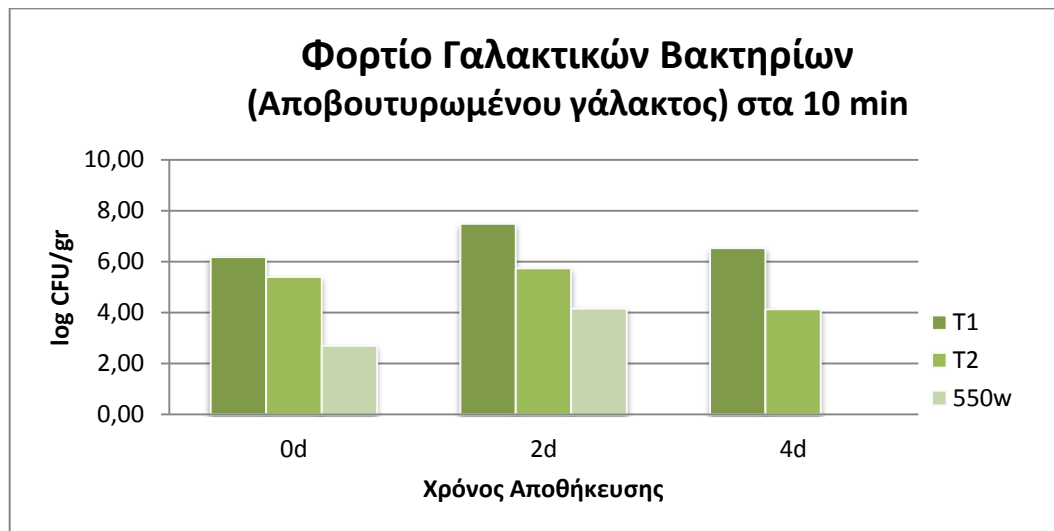
Διάγραμμα 87: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 350 W για 10 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 350 W για χρόνο 10 min, είναι αρκετά μικρότερο από αυτών των τυφλών, συμβάλλοντας έτσι στο ότι οι υπέρηχοι έχουν θετική επίδραση στα μικροβιολογικά αποτελέσματα. Υποθέτοντας κάποια πειραματικά σφάλματα φαίνεται τελικά πως το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων διατηρείται σταθερό.



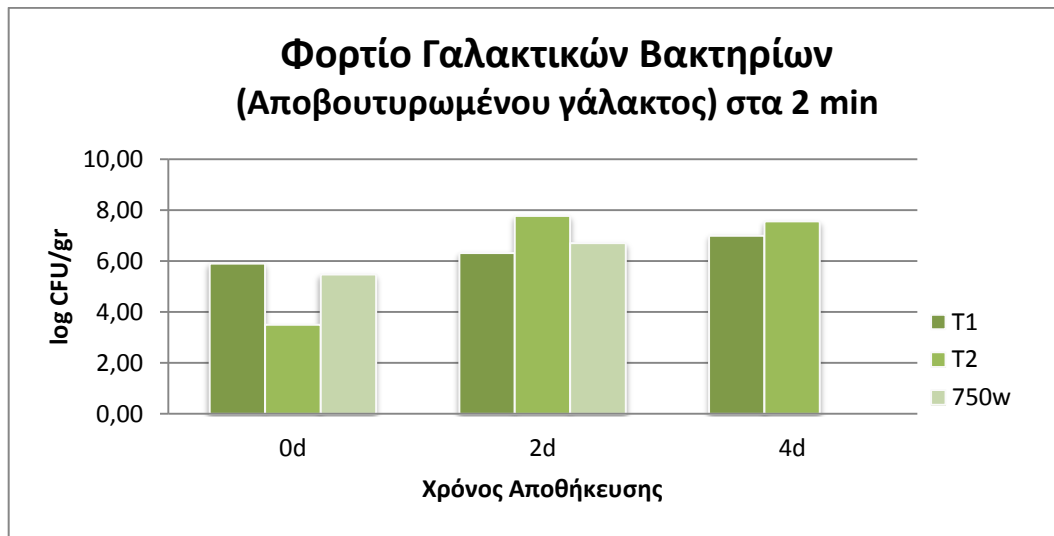
Διάγραμμα 88: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων για το δείγμα αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 2 min, είναι μικρότερο από αυτό του δείγματος T₁.



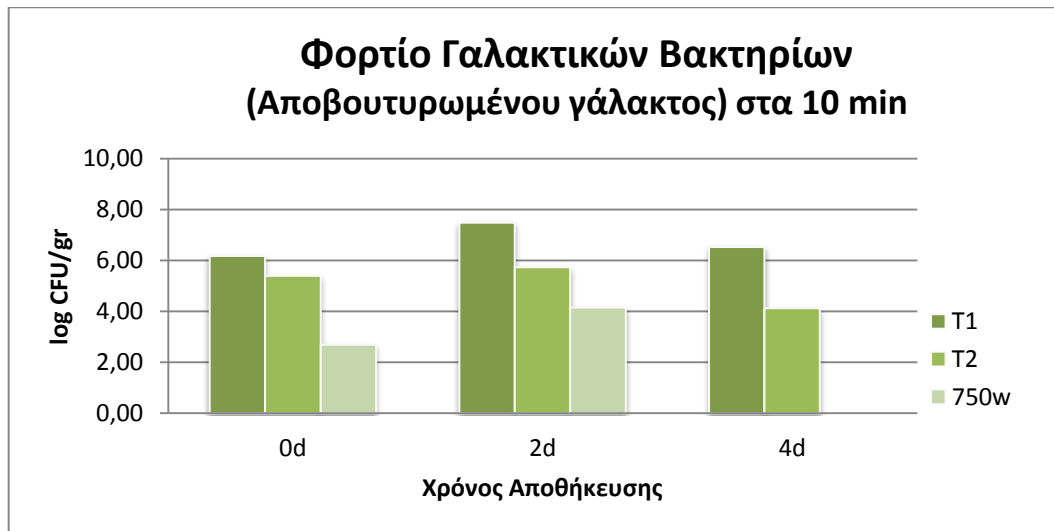
Διάγραμμα 89: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 550 W για 10 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 550 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει αύξηση κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης. Πάντως το φορτίο είναι πολύ μικρότερο από αυτό των τυφλών δειγμάτων, αποδεικνύοντας ότι η υψηλή ένταση υπέρηχων σε συνδυασμό με μεγάλο χρόνο επεξεργασίας συμβάλλει στη μείωση του φορτίου των γαλακτικών βακτηρίων.



Διάγραμμα 90: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 2 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 2 min παρουσιάζει αύξηση τη δεύτερη μέρα αποθήκευσης. Το φορτίο κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης είναι ελαφρώς αυξημένο από το αντίστοιχο του δείγματος T₁.



Διάγραμμα 91: Διάγραμμα μεταβολής φορτίου γαλακτικών βακτηρίων κατά την αποθήκευση δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με υπέρηχους στα 750 W για 10 min

Το φορτίο γαλακτικών βακτηρίων του δείγματος αποβουτυρωμένου γάλακτος επεξεργασμένου με ένταση υπέρηχων 750 W για χρόνο 10 min παρουσιάζει αύξηση κατά τη δεύτερη ημέρα αποθήκευσης. Σε κάθε περίπτωση το φορτίο είναι πολύ μικρότερο από των τυφλών δειγμάτων, αποδεικνύοντας ότι η υψηλή ένταση υπέρηχων σε συνδυασμό με μεγάλο χρόνο επεξεργασίας, συμβάλλει στη μείωση του φορτίου των γαλακτικών βακτηρίων.

8. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα Statistica 7. Η αρχική επεξεργασία έγινε με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) για να βρεθεί ποια είναι η σχέση και η εξάρτηση μεταξύ έντασης υπέρηχων, χρόνου έκθεσης σε υπέρηχους και είδους γάλακτος (παράγοντες) στις διάφορες ιδιότητες του γάλακτος, όπως το χρώμα, το ιξώδες, η διάμετρος λιποσφαιρίων, ο βαθμός % μετουσίωσης των πρωτεϊνών, όπως και τα μικροβιολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (παράμετροι). Όταν βρεθεί η ύπαρξη επίδρασης των παραπάνω παραγόντων στις παραμέτρους, ακολουθεί σύγκριση των μέσων όρων των παραμέτρων με τον έλεγχο Duncan. Τέλος, γίνεται η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA, Principal Component Analysis), που σκοπό έχει να συσχετίσει τα πειραματικά αποτελέσματα από όλες τις εξετασθείσες ιδιότητες του γάλακτος (μεταβλητές).

8.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ (ANOVA)

8.1.1 Χρώμα

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2 του Παραρτήματος, ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους είχε σημαντική επίδραση στο χρώμα του γάλακτος ($p < 0,05$). Όπως φάνηκε και από τα διαγράμματα στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων ο χρόνος έπαιξε σημαντικό ρόλο στη διακύμανση του χρώματος. Πιο συγκεκριμένα στο πλήρες γάλα, με επεξεργασία στα 2 min, το γάλα ήταν πιο ανοιχτόχρωμο, σε αντίθεση με τα 10 min. Αντίθετα αποτελέσματα είχε το αποβουτυρωμένο γάλα, όπου σε χρόνο 2 min, το γάλα είχε πιο σκούρο χρώμα από ότι αυτό που είχε επεξεργαστεί στα 10 min.

Κατά μέσο όρο ο μικρότερος χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους, δηλαδή τα 2 min, έδωσε μικρότερη τιμή στο χρώμα, δηλαδή πιο σκούρο χρώμα, από ότι ο μεγάλος χρόνος επεξεργασίας με υπέρηχους, τα 10 min.

Το πιο ανοιχτό και πιο λευκό χρώμα του γάλακτος, οφείλεται στην κατανομή των λιποσφαιρίων, όσο πιο πολλά, μικρά και ομοιόμορφα κατανεμημένα είναι τα λιποσφαίρια τόσο πιο λευκό είναι το χρώμα του. Σε μικρότερο χρόνο επεξεργασίας, η κατανομή των λιποσφαιρίων δεν είναι τόσο καλή όσο στο μεγαλύτερο χρόνο έκθεσης του γάλακτος στους υπέρηχους, για αυτό το λόγο το χρώμα του γάλακτος στα 2 min, κατά μέσο όρο, είναι σκουρότερο.

8.1.2 Μέγεθος Λιποσφαιρίων (μέτρηση Zetasizer)

Από τον Πίνακα 4 του Παραρτήματος, τόσο ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων στους υπέρηχους, όσο και το είδος του γάλακτος, επιδρούν στο μέγεθος των λιποσφαιρίων του γάλακτος ($p < 0,05$). Το είδος του γάλακτος είναι φυσιολογικό να επηρεάζει το μέγεθος των λιποσφαιρίων, εφόσον το αποβουτυρωμένο γάλα δεν περιέχει λιποσφαίρια, ή πιο σωστά περιέχει αλλά σε πολύ μικρό αριθμό. Η παραπάνω στατιστική ανάλυση συμπίπτει με τα αποτελέσματα που εξετάστηκαν στην επεξεργασία των μετρήσεων και συγκεκριμένα βρέθηκε ότι ο μεγαλύτερος χρόνος επεξεργασίας, είχε ως αποτέλεσμα μικρότερο μέγεθος λιποσφαιρίων.

Κατά μέσο όρο ο μικρότερος χρόνος επεξεργασίας με υπέρηχους (2 min) έδωσε μεγαλύτερη διάμετρο λιποσφαιρίων από ότι ο μεγαλύτερος χρόνος (10 min).

Κατά μέσο όρο το πλήρες γάλα έδωσε μεγαλύτερη διάμετρο λιποσφαιρίων από ότι το αποβουτυρωμένο.

8.1.3 Ποσοστό Μετουσίωσης των Πρωτεϊνών του Γάλακτος

Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης, η ένταση των υπέρηχων και γενικότερα η επεξεργασία του γάλακτος, καθώς και ο χρόνος έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους έχουν σημαντική επίδραση στο ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος ($p < 0,05$), όπως φαίνεται και στο Παράρτημα Ι, Πίνακας 7. Παραπάνω αναφέρθηκε ότι η μετουσίωση των πρωτεϊνών είναι σημαντική όταν το γάλα εκτίθεται σε επεξεργασία υπέρηχων για χρόνο 10 min, ενώ στην περίπτωση του χρόνου 2 min οι υπέρηχοι δεν επιδρούν περαιτέρω στη μετουσίωση των πρωτεϊνών του γάλακτος.

Κατά μέσο όρο ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους 2 min έδωσε το μικρότερο ποσοστό μετουσίωσης των πρωτεϊνών, συγκριτικά με το χρόνο 10 min. Επίσης, κατά μέσο όρο μεγαλύτερο βαθμό μετουσίωσης έδωσε το δείγμα έντασης υπέρηχων 750 W, ενώ το μικρότερο το παστεριωμένο δείγμα T₂.

8.1.4 Ιξώδες Γάλακτος

Το είδος της επεξεργασίας του γάλακτος, το είδος του γάλακτος, αλλά και ο χρόνος έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους δεν είχαν σημαντική επίδραση στο ιξώδες του γάλακτος ($p > 0,05$). Τα παραπάνω φάνηκαν και διαγραμματικά στην επεξεργασία των μετρήσεων.

8.1.5 Μικροβιολογικά Αποτελέσματα

Με βάση την ανάλυση διακύμανσης, το είδος της επεξεργασίας του γάλακτος, το είδος του γάλακτος, αλλά και ο χρόνος έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους δεν είχαν σημαντική επίδραση στα μικροβιολογικά αποτελέσματα του γάλακτος ($p > 0,05$). Η επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων είχε καταλήξει ότι οι υπέρηχοι, και πιο γενικά το είδος της επεξεργασίας του γάλακτος συμβάλλουν σε κάποιο βαθμό στη μείωση του μικροβιακού φορτίου. Επίσης, ότι όταν ο χρόνος

έκθεσης στους υπέρηχους ήταν 10 min, τότε το μικροβιακό φορτίο ήταν μικρότερο συγκριτικά με εκείνο στα 2 min.

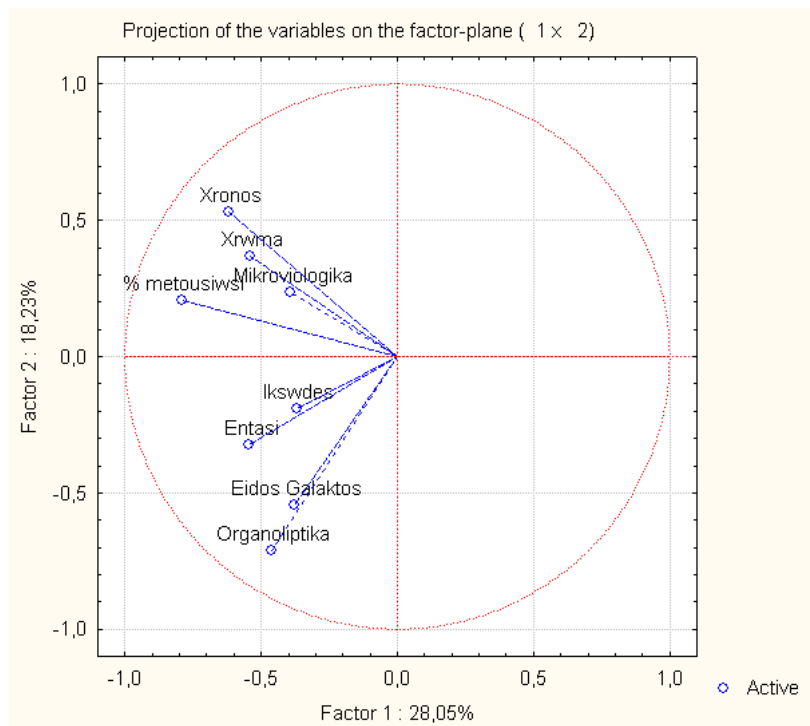
8.1.6 Οργανοληπτικά Αποτελέσματα

Το είδος του γάλακτος είχε σημαντική επίδραση στα οργανοληπτικά αποτελέσματα του γάλακτος ($p < 0,05$). Η οργανοληπτική εξέταση των δειγμάτων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, γινόταν με βάση την εμφάνιση του γάλακτος, από άποψη ομοιογένειας και με βάση την οσμή του, αν ήταν ξινισμένο ή αν ήταν «καμμένο» λόγω της υψηλής έντασης των υπέρηχων και του χρόνου έκθεσης σε αυτούς. Στην περίπτωση του αποβουτυρωμένου γάλακτος, η απουσία κρέμας, δεν βοήθησε στην εξέταση του παράγοντα της ομογενοποίησης, εφόσον τυχόν συσσωματώματα μπορούσαν να είναι εμφανή μόνο μέσω του μικροσκοπίου αλλά δεν είχε τόσο σημασία. Οπότε η οργανοληπτική εξέταση του αποβουτυρωμένου γάλακτος γινόταν μόνο με βάση την οσμή του. Στην περίπτωση, λοιπόν, του αποβουτυρωμένου γάλακτος οι πιθανότητες να βρεθεί μη αποδεκτό ήταν λιγότερες συγκριτικά με το πλήρες, γεγονός που δικαιολογεί την εξάρτηση των οργανοληπτικών αποτελεσμάτων από το είδος του γάλακτος.

Κατά μέσο όρο το αποβουτυρωμένο γάλα έδωσε καλύτερα οργανοληπτικά αποτελέσματα από ότι το πλήρες γάλα.

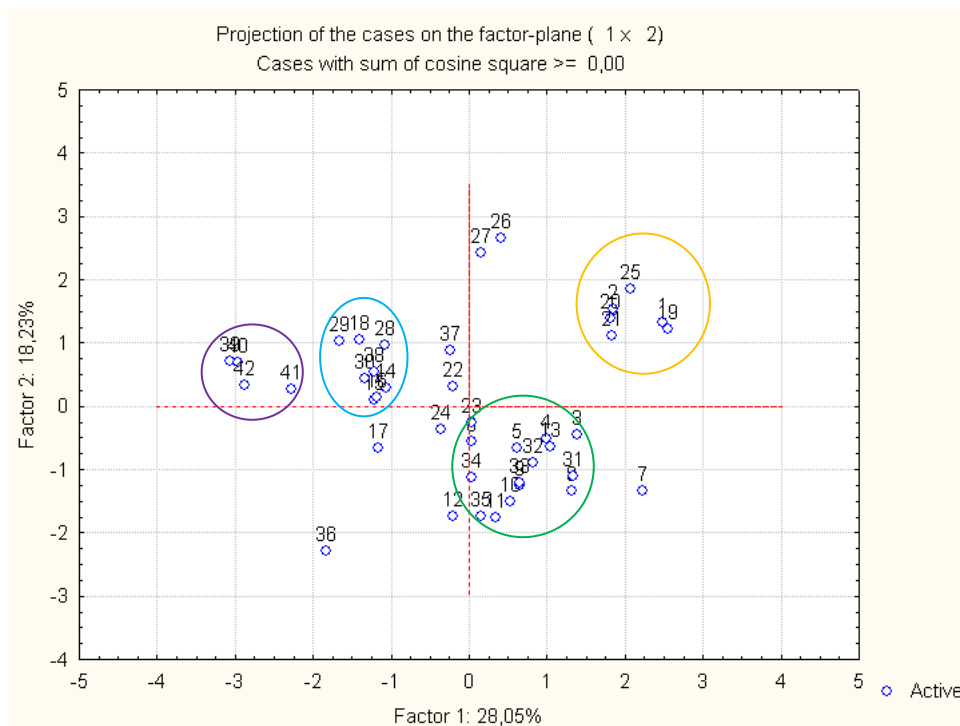
8.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ - PCA

Το πείραμα της ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους, με το σχεδιασμό πειραμάτων ως προς ένταση, χρόνο έκθεσης σε υπέρηχους και είδος γάλακτος που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία αποδείχτηκε ότι έχει δύο κύριες συνιστώσες. Η πρώτη έχει συνεισφορά 28,05% και η δεύτερη 18,23%.



Εικόνα 70: Διάγραμμα Συσχέτισης Εξεταζόμενων Μεταβλητών

Οι μεταβλητές που προκαλούν διακυμάνσεις στην πρώτη κύρια συνιστώσα είναι ο βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος. Σημαντικές επιδράσεις στη δεύτερη κύρια συνιστώσα προκαλούν κυρίως τα οργανοληπτικά αποτελέσματα.



Εικόνα 71: Διάγραμμα Συσχέτισης Πειραμάτων

Από το παραπάνω διάγραμμα συσχέτισης των πειραμάτων ομογενοποίησης γάλακτος με υπέρηχους που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία μπορούν να διακριθούν οι παρακάτω ομάδες.

Ομάδα 1^η :

Η ομάδα 1 αφορά πειράματα πλήρους γάλακτος. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από τα πειράματα 1 (2 min, T_1), 2 (2 min, T_2), 19 (2 min, T_1), 20 (2 min, T_2), 21 (2 min, 150 W) και 25 (10 min, T_1) τα οποία ομαδοποιούνται ως προς το ιξώδες, που έχουν όλα την ίδια τιμή και ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπου κανένα από αυτά δεν χαρακτηρίστηκε ως αποδεκτό.

Ομάδα 2^η:

Η ομάδα 2 αφορά πειράματα για χρόνο υπέρηχων 10 min. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από τα πειράματα 14 (αποβουτυρωμένο γάλα, T_2), 15 (αποβουτυρωμένο γάλα, 150 W), 18 (αποβουτυρωμένο γάλα, 750 W), 28 (πλήρες

γάλα, 350 W), 29 (πλήρες γάλα, 550 W), 30 (πλήρες γάλα, 750 W) και 38 (αποβουτυρωμένο γάλα, T_2) τα οποία ομαδοποιούνται ως προς το ιξώδες, που έχουν όλα την ίδια τιμή κι ως προς το βαθμό μετουσίωσης των πρωτεϊνών, που κυμαίνεται μεταξύ 42-44%.

Ομάδα 3^η:

Τα πειράματα 3 (πλήρες γάλα, 2 min, 150 W), 4 (πλήρες γάλα, 2 min, 350 W), 9 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 150 W), 10 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 350 W), 11 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 550 W), 13 (αποβουτυρωμένο γάλα, 10 min, T_1), 23 (πλήρες γάλα, 2 min, 550 W), 31 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, T_1), 34 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 350 W), 35 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 550 W) και 36 (αποβουτυρωμένο γάλα, 2 min, 750 W) τα οποία ομαδοποιούνται ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπου όλα τα δείγματα θεωρήθηκαν αποδεκτά και ως προς το βαθμό % μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος, όπου σε όλες τις περιπτώσεις κυμαίνεται γύρω στο 20%.

Ομάδα 4^η:

Η ομάδα 4 αφορά πειράματα αποβουτυρωμένου γάλακτος με χρόνο επεξεργασίας 10 min. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από τα πειράματα 39 (150 W), 40 (350 W), 41 (550 W) και 42 (750 W) τα οποία ομαδοποιούνται ως προς την τιμή του χρώματος που αντιστοιχεί σε σχετικά σκούρο χρώμα γάλακτος, ως προς το βαθμό μετουσίωσης που κυμαίνεται στο 40% και ως προς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπου όλα τα δείγματα θεωρήθηκαν αποδεκτά.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Κατά την πειραματική διαδικασία μελετήθηκε η ομογενοποίηση του γάλακτος με υπέρηχους και οι μεταβολές των συστατικών και των ιδιοτήτων του γάλακτος, τόσο την ημέρα παρασκευής του, όσο και κατά την αποθήκευσή του σε ψύξη.

Η ομογενοποίηση με υπέρηχους έντασης (150-750 W) για χρόνο (2-10 min) αποδείχθηκε κατάλληλη για την περίπτωση του γάλακτος. Το μέγεθος των λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος μειώνεται σε επιθυμητό βαθμό. Η μείωση φαίνεται οπτικά από τις εικόνες του οπτικού μικροσκοπίου, αλλά και ποσοτικά από τη μέση διάμετρο των λιποσφαιρίων που υπολογίστηκε με το οπτικό μικροσκόπιο αλλά και με το όργανο Zetasizer. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση των υπέρηχων και ο χρόνος έκθεσης σε αυτούς, τόσο πιο μικρό είναι και το μέγεθος των λιποσφαιρίων. Για παράδειγμα, σε ένταση 750 W και χρόνο 10 min, το μέγεθος των λιποσφαιρίων ήταν το μικρότερο δυνατό, ενώ σε ένταση 150W και χρόνο 2 min το μέγεθος των λιποσφαιρίων ήταν μεγαλύτερο από το πρώτο, αλλά και μικρότερο από εκείνο των τυφλών δειγμάτων (που δεν έχουν υποστεί ομογενοποίηση). Συγκεκριμένα, με κατεργασία με υπέρηχους έντασης 750 W για χρόνο 2 min η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων φτάνει τα 0,9 μm, ενώ για χρόνο 10 min, τα 0,4 μm αντίστοιχα, από αρχικό μέγεθος 3–3,5 μm. Κατά την αποθήκευση των δειγμάτων του γάλακτος, τα λιποσφαίρια των τυφλών συσσωματώνονται, διότι δεν έχουν ομογενοποιηθεί. Η ομογενοποίηση με ένταση 150 W, παρουσιάζει και αυτή μερική συσσωμάτωση, ενώ οι υπόλοιπες εντάσεις 350, 550 και 750 W έχουν καλύτερα αποτελέσματα. Τα παραπάνω επαληθεύουν και οι μετρήσεις του Zetasizer, όπου η μέση διάμετρος των λιποσφαιρίων πλήρους γάλακτος για τα τυφλά δείγματα T₁, T₂ και για το δείγμα έντασης υπέρηχων 150 W αυξάνεται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ αντίθετα στις εντάσεις 350, 550 και 750 W η μέση διάμετρος διατηρείται σταθερή ή αυξάνεται λίγο. Όσον αφορά το αποβουτυρωμένο γάλα τα λιποσφαίρια είναι λίγα σε αριθμό και οι παραπάνω μετρήσεις δεν έδωσαν σημαντικά συμπεράσματα.

Τόσο για το πλήρες όσο και για το αποβουτυρωμένο γάλα παρατηρήθηκε ότι η επεξεργασία των δειγμάτων με υπέρηχους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους των μικκυλίων της καζεΐνης και ιδιαίτερα για χρόνο επεξεργασίας 10 min, ενώ για χρόνο 2 min η μέση διάμετρος των μικκυλίων καζεΐνης διατηρείται σταθερή.

Το χρώμα των δειγμάτων του γάλακτος επηρεάζεται από το χρόνο έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους, τόσο στο πλήρες όσο και στο αποβουτυρωμένο γάλα. Συγκεκριμένα για χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 2 min το χρώμα του γάλακτος είναι πιο σκούρο, ενώ για χρόνο 10 min, όπου η ομογενοποίηση είναι πιο επιτυχημένη το χρώμα του γάλακτος είναι πιο ανοιχτό.

Το ιξώδες του πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος διατηρείται σταθερό σε όλους τους τύπους επεξεργασίας με μικρές αυξομειώσεις.

Ο βαθμός μετουσίωσης των πρωτεϊνών τόσο πλήρους όσο και αποβουτυρωμένου γάλακτος βρέθηκε ότι για χρόνο επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους 2 min είναι παρόμοιος για όλα τα επεξεργασμένα δείγματα και κυμαίνεται στο 20%, αποδεικνύοντας ότι οι υπέρηχοι με μικρό χρόνο εφαρμογής δεν συμβάλλουν στην περαιτέρω μετουσίωση των πρωτεϊνών του γάλακτος, ενώ για χρόνο 10 min, η μετουσίωση των πρωτεϊνών των επεξεργασμένων δειγμάτων με υπέρηχους είναι σχεδόν διπλάσια από αυτή των μόνο παστεριωμένων δειγμάτων (T_2) και κυμαίνεται στο 40%, αποδεικνύοντας ότι ο μεγάλος χρόνος εφαρμογής των υπερήχων συμβάλλει στη μετουσίωση των πρωτεϊνών.

Όσον αφορά τα μικροβιολογικά αποτελέσματα για το πλήρες γάλα το ολικό μικροβιακό φορτίο του γάλακτος μειώνεται, όσο αυξάνεται η ένταση των υπέρηχων, αποδεικνύοντας ότι οι υπέρηχοι συμβάλλουν, έστω και σε μικρό βαθμό, στη μείωση του ολικού μικροβιακού φορτίου. Με άλλα λόγια, συμπληρώνουν τη δράση της παστερίωσης. Ο μεγαλύτερος χρόνος έκθεσης των δειγμάτων στους υπέρηχους έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση του ολικού μικροβιακού φορτίου των δειγμάτων, ακόμη και την τέταρτη ημέρα της αποθήκευσής τους. Στα παραπάνω εξαίρεση

αποτελεί το ομογενοποιημένο δείγμα με ένταση υπέρηχων 750 W, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στο ότι η υπερβολικά υψηλή ένταση υπέρηχων, αν και έχει πολύ καλά αποτελέσματα στην ομογενοποίηση (ως προς το μέγεθος και την κατανομή των λιποσφαιρίων) τελικά επιφέρει αντίθετα αποτελέσματα στις υπόλοιπες ιδιότητες του γάλακτος.

Από οργανοληπτική άποψη τα τυφλά δείγματα απορρίπτονταν αν όχι κατά την ημέρα παρασκευής, τη δεύτερη ημέρα της αποθήκευσης, διότι δεν είχαν ομογενοποιηθεί, οπότε κρίνονταν ακατάλληλα. Το δείγμα T₁, που δεν είχε παστεριωθεί, μέσα σε λίγες ώρες ξίνιζε, οπότε και πάλι ήταν απορριπτέο. Η ένταση των υπέρηχων 150 W δεν φάνηκε ικανή να διατηρήσει την ομοιογένεια μετά από 2 ή 4 ημέρες αποθήκευσης καθώς δημιουργούσε αποκορύφωση. Τα ομογενοποιημένα δείγματα με ένταση υπέρηχων 350 και 550 W διατηρούνταν σε καλύτερη κατάσταση και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Το ομογενοποιημένο δείγμα στα 750 W και ειδικότερα για διάρκεια 10 min, στις ανώτατες ακραίες συνθήκες δηλαδή, απορριπτόταν, όχι από άποψη ομογενοποίησης, αλλά από άποψη οσμής, καθώς το δείγμα διέθετε μια ξένη οσμή και οσμή καμμένου. Ο χρόνος επεξεργασίας των δειγμάτων με υπέρηχους έπαιξε σημαντικό ρόλο και στα υπόλοιπα δείγματα, αφού τα δείγματα με χρόνο 10 min διατηρούνταν περισσότερο συγκριτικά με αυτά των 2 min.

Με βάση τα παραπάνω, καλύτερα αποτελέσματα έδωσαν οι εντάσεις υπέρηχων 350 και 550 W, εφόσον διατηρούσαν τις ιδιότητες του γάλακτος καλύτερα από όλες τις άλλες εντάσεις και παρείχαν τα καλύτερα δείγματα από οργανοληπτική άποψη. Τα αποτελέσματα είναι ακόμη καλύτερα για χρόνο έκθεσης στους υπέρηχους 10 min, χωρίς όμως να είναι απορριπτέος και ο χρόνος των 2 min.

Κατά την πειραματική διαδικασία, μετρήσεις έγιναν μόνο σε ακραίους χρόνους τα 2 και 10 min, θα ήταν λοιπόν αναγκαίο να μελετηθούν και ενδιάμεσοι χρόνοι επεξεργασίας με υπέρηχους, έτσι ώστε να υπάρξει μια συνολική μελέτη για τους υπέρηχους και για να βρεθεί το βέλτιστο ζεύγος έντασης/χρόνου, όπου

επιτυγχάνεται άριστη ομογενοποίηση, χωρίς να υποβαθμίζονται τα οργανοληπτικά και άλλα χαρακτηριστικά του γάλακτος. Είναι, επίσης, αναγκαία και η μελέτη του περιορισμού της αλλοίωσης της γεύσης και της οσμής του γάλακτος κατά την ομογενοποίηση με υπέρηχους.

Μια επιπλέον μελέτη θα μπορούσε να γίνει στα πλαίσια της συνεισφοράς των υπέρηχων στην παστερίωση. Να δοκιμαστούν οι συνθήκες της κατεργασίας με υπέρηχους που έχουν τα βέλτιστα αποτελέσματα στη μείωση του μικροβιακού φορτίου, χωρίς όμως να αλλοιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος, ώστε να απαιτούν τη μικρότερη δυνατή συμπληρωματική παστερίωση.

Η μελέτη της ομογενοποίησης του γάλακτος με υπέρηχους θα μπορούσε να επεκταθεί και σε άλλα γαλακτοκομικά, όπως γιαούρτι και τυρί.

Θα μπορούσε επίσης να γίνει συγκριτική μελέτη μεταξύ των διαφόρων συσκευών υπέρηχων, να εξεταστεί, δηλαδή, τόσο η διάταξη με το στέλεχος, όσο και το λουτρό υπέρηχων και να βρεθούν οι τυχόν διαφοροποιήσεις που έχουν στην ομογενοποίηση, αλλά και στις ιδιότητες του γάλακτος οι δύο αυτές συσκευές.

Οι υπέρηχοι στην ομογενοποίηση του γάλακτος παρέχουν αρκετά πλεονεκτήματα, ίσως λοιπόν να πρέπει να μελετηθεί η εφαρμογή τους και η χρήση τους σε βιομηχανική κλίμακα, από οικονομική και ενεργειακή σκοπιά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Hui, Y.H. *Dairy science and technology handbook*, (VCH, New York, N.Y., 1993).
2. Miller, G.D., Jarvis, J.K., McBean, L.D. & National Dairy Council. *Handbook of dairy foods and nutrition*, (CRC Press, Boca Raton, 2007).
3. *International Dairy Foods Association, Dairy Facts 2004*, (Washington, 2004).
4. Μάντη, Α.Ι. *Υγιεινή και τεχνολογία του γάλακτος και των προϊόντων του*, (Αφοι Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1991).
5. Chandan, R.C. *Dairy Processing & Quality Assurance*, (Wiley-Blackwell, 2008).
6. Walstra, P., Wouters, J.T.M. & Geurts, T.J. *Dairy science and technology*, (CRC/Taylor & Francis, Boca Raton, 2006).
7. Wong, N.P. *Fundamentals of dairy chemistry*, (Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1988).
8. Fox, P.F. *Advanced dairy chemistry. Vol. 3, Lactose, water salts and vitamins*, (Chapman & Hall, London ; New York, 1997).
9. Wong, N.P. *Fundamentals of Dairy Chemistry*, (Aspen Publishers, Gaithersburg, 1999).
10. Ελληνικός Κώδικας Τροφίμων και Ποτών. Vol. Είδη γάλακτος (27.1.2006).
11. Fox, P.F. & McSweeney, P.L.H. *Dairy chemistry and biochemistry*, (Blackie Academic & Professional, London ; New York, 1998).
12. Fox, P.F. *Advanced dairy chemistry. Vol. 2 Lipids*, (Chapman & Hell, London, 1995).
13. Mattila-Sandholm, T. *Functional dairy products*, (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2003).
14. Kessler, H.G. *Food engineering and dairy technology*, (Freising, Federal Republic of Germany Munich, 1981).
15. Jensen, R.G. *Handbook of milk composition*, (Academic Press, San Diego, 1995).
16. Farrall, A.W. *Dairy engineering*, (Wiley, New York, 1953).
17. Marth, E.H. & Steele, J.L. *Applied dairy microbiology*, (Marcel Dekker, New York, 2001).
18. Bylund, G. *Dairy processing handbook*, (Tetra Pak Processing System AB, Lund, 1995).
19. *Milk testing and Quality Control*, (FAO/TCP/KEN/6611).
20. Gutierrez-Lopez, G.F. & Barbosa-Cánovas, G.V. *Food science and food biotechnology*, (CRC Press, Boca Raton, Fla., 2003).

21. Maroulis, Z.B. & Saravacos, G.D. *Food process design*, (Marcel Dekker, New York, 2003).
22. Chemat, F., Zill e, H. & Khan, M.K. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrason Sonochem* **18**, 813-835 (2011).
23. Britz, T.J. *Advanced Dairy Science and Technology*, (Blackwell, 2008).
24. DeMan, J.M. *Principles of food chemistry*, (Aspen Publishers, Gaithersburg, Md., 1999).
25. Tamime, A.Y. *Structure of dairy products*, (Blackwell Pub., Oxford, UK ; Ames, Iowa, 2007).
26. Fellows, P. *Food processing technology : principles and practice*, (CRC Press ; Woodhead Pub., Boca Raton, FL Cambridge, England, 2000).
27. Anema, S.G. Role of K-Casein in the Association of Denatured Whey Proteins with Casein Micelles in Heated Reconstituted Skim Milk. (2007).
28. Zander, L. The effect of mixing and sonication during protein coagulation on the particle size distribution in the suspension created. *14th European Conference on mixing*, 523-527 (2012).
29. Wu, H. Effect of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter. *Innovative food science & emerging technologies* **1**, 211-218 (2000).
30. Mc Crae, C. Homogenization of milk emulsions: use of microfluidizer. *J Soc Dairy Techn* **47**, 28-31 (1994).
31. Olson, D.W. Effect of pressure and fat content on particle sizes in microfluidized milk. *J Dairy Science* **87**, 3217-3223 (2004).
32. Muthupandian, A. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innov Food Science & Emerg Tech* **9**, 155-160 (2008).
33. Nguyen, H.A. Effect of ultrasonication on the properties of skim milk used in the formation of acid gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* **11**, 616-622 (2010).
34. Soria, A.C. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology* **21**, 323-331 (2010).
35. Dolatowski, Z.J. Applications of Ultrasound in Food Technology. *Acta Sci. Pol.* **6**, 89-99 (2007).
36. Torley, P.J. *Ultrasound in Food Processing and Preservation*, (CRC Press, 2007).
37. Rastogi, N.K. Opportunities and Challenges in Application of Ultrasound in Food Processing. *Food Science and Nutrition* **51**, 705-722 (2011).

38. Mason, T.J. The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry* **3**, 253-260 (1996).
39. Chouliara, E. Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk. *Intern Dairy Journal* **20**, 307-313 (2009).
40. Arzeni, A.C. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. *J Food Engineering* **108**, 463-472 (2012).
41. Bermudez, L.D. Nonthermal processing of milk 399 (2008).
42. Ashokkumar, M. The ultrasonic processing of dairy products –An overview. *Dairy Sci. Technol.* **90**, 147-168 (2010).
43. Riener, J. The effect of thermosonication of milk on selected physicochemical and microstructural properties of yoghurt gels during fermentation. *Food Chemistry* **114**, 905-911 (2009).
44. Bosiljkov, T. Influence of high intensity ultrasound with different probe diameter on the degree of homogenization (variance) and physical properties of cow milk. *African J. of Biotechnology* **10**, 34-41 (2010).
45. Jambrak, A.R. Rheological, functional and thermo-physical properties of ultrasound treated whey proteins with addition of sucrose or milk powder. *Mljekarstvo* **61**, 79-91 (2011).
46. Bradford, M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical Biochemistry* **72**, 248-254 (1976).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας 2: Ανονα για το χρώμα του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for Xrwma (telikes metriseis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	225510,8	1	225510,8	2933,824	0,000000
Entasi	62,2	5	12,4	0,162	0,974777
Xronos	500,9	1	500,9	6,517	0,015344
Eidos Galaktos	20,8	1	20,8	0,271	0,605981
Error	2613,4	34	76,9		

Πίνακας 3: Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση του χρώματος του γάλακτος με το χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους

Duncan test; variable Xrwma (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 76,866, df = 34,000

	Xronos	{1} 71,546	{2} 78,383
1	2		0,017483
2	10	0,017483	

Πίνακας 4: Ανονα για τη διάμετρο των λιποσφαιρίων του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for Zeta (telikes metriseis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	232785985	1	232785985	205,0867	0,000000
Entasi	9568044	5	1913609	1,6859	0,164635
Xronos	6288913	1	6288913	5,5406	0,024500
Eidos Galaktos	132764768	1	132764768	116,9670	0,000000
Error	38592090	34	1135061		

Πίνακας 5: Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων του γάλακτος με το χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους

Duncan test; variable Zeta (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1135E3, df = 34,000

	Xronos	{1} 2808,9	{2} 1408,6
1	2		0,000284
2	10	0,000284	

Πίνακας 6: Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση της διαμέτρου των λιποσφαιρίων του γάλακτος με το είδος του γάλακτος

Duncan test; variable Zeta (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1135E3, df = 34,000

	Eidos Galaktos	{1} 4366,4	{2} 590,55
1	1		0,000120
2	2	0,000120	

Πίνακας 7: Ανονα για την % μετουσίωση των πρωτεϊνών του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for % metousiws (telikes metriseis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition

	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	28169,56	1	28169,56	1084,765	0,000000
Entasi	5574,83	5	1114,97	42,936	0,000000
Xronos	2673,23	1	2673,23	102,942	0,000000
Eidos Galaktos	2,10	1	2,10	0,081	0,777814
Error	882,92	34	25,97		

Πίνακας 8: Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση της % μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος με την ένταση των υπέρηχων

Duncan test; variable % metousiwnsi (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 25,968, df = 34,000

	Entasi	{1} 0	{2} 26,3	{3} 31,6	{4} 31,5	{5} 31,2	{6} 31,7
1	1		0,000120	0,000032	0,000054	0,000062	0,000027
2	2	0,000120		0,081294	0,076585	0,082747	0,080045
3	150	0,000032	0,081294		0,975197	0,876221	0,958586
4	350	0,000054	0,076585	0,975197		0,892454	0,938405
5	550	0,000062	0,082747	0,876221	0,892454		0,844243
6	750	0,000027	0,080045	0,958586	0,938405	0,844243	

Πίνακας 9: Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση της % μετουσίωσης των πρωτεϊνών του γάλακτος με το χρόνο επεξεργασίας με υπέρηχους

Duncan test; variable % metousiwnsi (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 25,968, df = 34,000

	Xronos	{1} 18,363	{2} 34,789
1	2		0,000120
2	10	0,000120	

Πίνακας 10: Ανονα για το ιζώδες του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for Ikswdes (telikes metrisesis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	0,000047	1	0,000047	78,58381	0,000000
Entasi	0,000003	5	0,000001	1,01100	0,426363
Xronos	0,000000	1	0,000000	0,22275	0,639966
Eidos Galaktos	0,000000	1	0,000000	0,66255	0,421326
Error	0,000020	34	0,000001		

Πίνακας 11: Ανονα για τα μικροβιολογικά αποτελέσματα του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for Mikroviologika (telikes metrisesis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	9,669444	1	9,669444	37,13816	0,000001
Entasi	1,047619	5	0,209524	0,80473	0,554279
Xronos	0,544444	1	0,544444	2,09109	0,157316
Eidos Galaktos	0,002778	1	0,002778	0,01067	0,918340
Error	8,852381	34	0,260364		

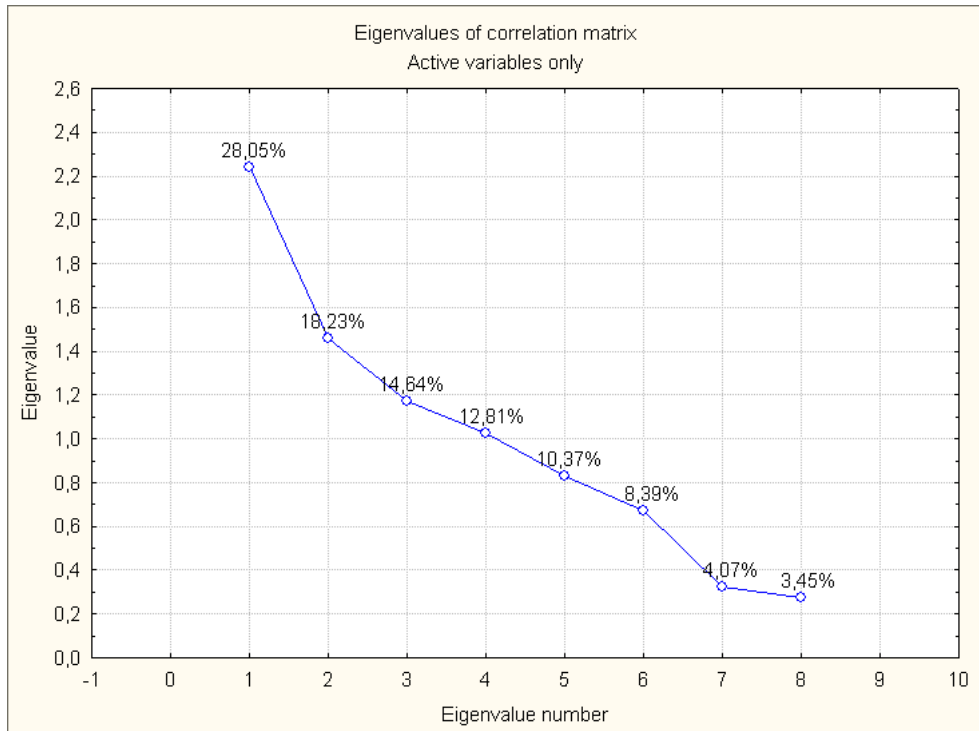
Πίνακας 12: Ανονα για τα οργανοληπτικά αποτελέσματα του γάλακτος

Univariate Tests of Significance for Organoliptika (telikes metrisesis.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of	MS	F	p
Intercept	22,50000	1	22,50000	192,3952	0,000000
Entasi	1,35714	5	0,27143	2,3210	0,064500
Xronos	0,06944	1	0,06944	0,5938	0,446271
Eidos Galaktos	1,73611	1	1,73611	14,8453	0,000493
Error	3,97619	34	0,11695		

Πίνακας 13 : Έλεγχος Duncan για την εξάρτηση των οργανοληπτικών αποτελεσμάτων του γάλακτος με το είδος του γάλακτος

Duncan test; variable Organoliptika (telikes metriseis.sta) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,11695, df = 34,000			
	Eidos Galaktos	{1} 0,55556	{2} 0,95833
1	1		0,000722
2	2	0,000722	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ



Εικόνα 72: Ποσοστά Κυρίων Συνιστωσών Πειράματος Ομογενοποίησης