



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ IV: ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Παραγωγή προϊόντων πόσιμου γιαουρτιού με χρήση νέων τεχνολογιών και με εμπλουτισμένα συστατικά

Διπλωματική Εργασία

Μίτρε Άρτεμις, ch17099

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Τζιά Κωνσταντίνα

Αθήνα, 2022

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Τζιά Κωνσταντίνα για την εμπιστοσύνη και την καθοδήγησή της. Οι συμβουλές και οι διορθώσεις της ήταν πολύτιμες για την εξέλιξη της μελέτης αυτής καθώς και τη συγγραφή του παρόντος κειμένου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κυρία Γιάννου Βιργινία για την καθημερινή υποστήριξη στο εργαστήριο, αλλά και για τη μεταφορά του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή του γιαουρτιού, που αποτέλεσε έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για τη σωστή εκτέλεση των πειραμάτων και γενικότερα την πορεία της εργασίας μου. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη διδάκτορα Φρακολάκη Γεωργία για τη βοήθειά της στο ξεκίνημα αυτού του εγχειρήματος και την υποστήριξή της κατά τη διάρκεια αυτού.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου η οποία με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαίτερα αυτή τη δύσκολη χρονιά κατά την οποία ολοκληρώνω τη διπλωματική μου εργασία. Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους φίλους μου χωρίς τους οποίους τα χρόνια φοίτησής μου στη Σχολή Χημικών Μηχανικών δεν θα είχαν περάσει το ίδιο ευχάριστα ή εύκολα Όλοι αυτοί οι άνθρωποι τους οποίους ευχαριστώ, καθώς και οι εμπειρίες που απέκτησα χάρη στη Σχολή αυτή, με διαμόρφωσαν στον άνθρωπο που είμαι τώρα και δεν υπάρχουν φράσεις να χωρέσουν πραγματικά την ευγνωμοσύνη που νιώθω για όλα.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
Abstract	10
1 Θεωρητικό μέρος	12
1.1 Γάλα.....	12
1.1.1 Σύσταση γάλακτος.....	12
1.2 Δυσανεξία στη λακτόζη – Ενζυμική υδρόλυση λακτόζης.....	17
1.2.1 Δυσανεξία.....	17
1.2.2 Λακτάση.....	18
1.3 Συμβατική παραγωγική διαδικασία του γιαουρτιού	19
1.3.1 Νωπό γάλα	19
1.3.2 Μεταφορά - παραλαβή.....	20
1.3.3 Αποθήκευση	20
1.3.4 Προεπεξεργασία - καθαρισμός	21
1.3.5 Αποκορύφωση.....	21
1.3.6 Τυποποίηση λιπαρών	21
1.3.7 Τυποποίηση στερεού υπολείμματος άνευ λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.).....	22
1.3.8 Ομογενοποίηση.....	22
1.3.9 Θερμική κατεργασία του γάλακτος.....	23
1.3.10 Εμβολιασμός	25
1.3.11 Ψύξη	28
1.3.12 Προσθήκη φρούτων – βελτιωτικών οσμής - χρωστικών	28
1.3.13 Συσκευασία	29
1.4 Τροποποίηση συμβατικής παραγωγής γιαουρτιού	29
1.4.1 Προσθήκη σταθεροποιητών – Υδροκολλοειδή.....	29
1.4.2 Προϊόντα υδρολυμένης λακτόζης	31
1.4.3 Λειτουργικά προϊόντα – Προβιοτικά βακτήρια	32
1.4.4 Καινοτόμες μέθοδοι παρασκευής γιαουρτιού	34
1.4.5 Διατήρηση γιαουρτιού υπό κατάψυξη	35
1.5 Ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα	37
1.5.1 Είδη γιαουρτιού.....	37
1.5.2 Άλλα πόσιμα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα.....	39
1.6 Θρεπτική αξία του γιαουρτιού	43
1.6.1 Υδατάνθρακες	44

1.6.2	Πρωτεΐνες.....	45
1.6.3	Λιπαρά.....	45
1.6.4	Μέταλλα και βιταμίνες.....	46
1.7	Πόσιμο γιαούρτι.....	46
1.7.1	Εμπορική σημασία	47
2	Πειραματικό Μέρος	49
2.1	Σκοπός	49
2.2	Υλικά και συσκευές	50
2.2.1	Πρώτες ύλες	50
2.2.2	Όργανα και συσκευές.....	50
2.3	Παραγωγή ρευστού γιαουρτιού	50
2.3.1	1 ^η Σειρά πειραμάτων: Θερμικές κατεργασίες γάλακτος για παραγωγή ρευστού γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης.....	50
2.3.2	2 ^η Σειρά πειραμάτων: Εφαρμογή υπερήχων	51
2.3.3	3 ^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Ενζύμου Λακτάσης	51
2.3.4	4 ^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Υδροκολλοειδών.....	51
2.3.5	5 ^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Προβιοτικών Βακτηρίων.....	52
2.3.6	6 ^η Σειρά πειραμάτων: Κατάψυξη – Προσθήκη κρουπροστατευτικής ουσίας	52
2.4	Μετρήσεις	52
2.4.1	Προσδιορισμός pH	52
2.4.2	Προσδιορισμός ιξώδους.....	52
2.4.3	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	52
2.4.4	Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης ύδατος	53
2.4.5	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	53
2.4.6	Προσδιορισμός λακτόζης	53
2.5	Λογισμικό επεξεργασίας αποτελεσμάτων	53
2.5.1	Εξαγωγή μοντέλων Gompertz	53
2.5.2	Στατιστική επεξεργασία	54
3	Αποτελέσματα – Επεξεργασία	55
3.1	Θερμικές κατεργασίες γάλακτος.....	55
3.1.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	55
3.1.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	57
3.1.3	Χρόνος ζύμωσης.....	59
3.1.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	60

3.1.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	61
3.1.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h	62
3.1.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	63
3.1.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	63
3.1.9	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	64
3.1.10	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	67
3.2	Εφαρμογή Υπερήχων.....	67
3.2.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	68
3.2.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	70
3.2.3	Χρόνος ζύμωσης	71
3.2.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	71
3.2.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	73
3.2.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h	73
3.2.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	75
3.2.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	76
3.2.9	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	77
3.2.10	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	81
3.3	Προσθήκη Ενζύμου Λακτάσης – Μεταβολή Λακτόζης	82
3.3.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	82
3.3.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	83
3.3.3	Χρόνος ζύμωσης	84
3.3.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	85
3.3.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	86
3.3.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h	87
3.3.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	87
3.3.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	88
3.3.9	Μεταβολή λακτόζης	89
3.3.10	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	90
3.3.11	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	93
3.4	Προσθήκη Υδροκολλοειδών.....	93
3.4.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	93
3.4.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	94
3.4.3	Χρόνος ζύμωσης	95
3.4.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	96

3.4.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	97
3.4.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h	97
3.4.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	98
3.4.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	99
3.4.9	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	100
3.4.10	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	102
3.5	Προσθήκη Προβιοτικών Βακτηρίων.....	103
3.5.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	103
3.5.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	103
3.5.3	Χρόνος ζύμωσης	105
3.5.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	105
3.5.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	107
3.5.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h	107
3.5.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	108
3.5.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	109
3.5.9	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	109
3.5.10	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	111
3.6	Κατάψυξη – Προσθήκη κρουπροστατευτικής ουσίας	112
3.6.1	Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.....	112
3.6.2	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH	113
3.6.3	Χρόνος ζύμωσης	115
3.6.4	Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους.....	115
3.6.5	Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C	116
3.6.6	Ιξώδες μετά από διατήρηση σε κατάψυξη για 5 d	117
3.6.7	Ικανότητα συγκράτησης ύδατος	119
3.6.8	Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή	120
3.6.9	Ανάλυση αντικειμενικής υφής	121
3.6.10	Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	124
4	Συμπεράσματα – Προτάσεις	127
4.1	Συμπεράσματα	127
4.2	Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη	129
5	Βιβλιογραφία.....	130
6	Παράρτημα.....	134

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ρευστού γιαουρτιού από πλήρες φρέσκο γάλα μελετώντας την επίδραση διαφόρων παραμέτρων όπως της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, της εφαρμογής υπερήχων, της χρήσης προβιοτικής καλλιέργειας, της υδρόλυσης της λακτόζης, και της χρήσης υδροκολλοειδών και κρυοπροστατευτικών (σε περίπτωση κατάψυξης του προϊόντος). Μελετάται η επίδραση της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος μέσω μεταβολής των συνθηκών θερμοκρασίας – χρόνου ($90^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 20 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$). Επιπλέον, εφαρμόζονται υπέρηχοι (US, συχνότητας 37 kHz) ταυτόχρονα με τη θερμική κατεργασία του γάλακτος για διαφορετικές εντάσεις ($70^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 20 \text{ min}$). Η υδρόλυση της λακτόζης επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη προσθήκη του ενζύμου λακτάση ($0,08\% \text{ W/v}$) κατά τον εμβολιασμό του γάλακτος με την οξυγαλακτική καλλιέργεια και ελέγχεται η επίδραση της λακτάσης στα δείγματα κατά τη ζύμωση για διαφορετικές συγκεντρώσεις ($0,06\%$, $0,08\%$, $0,12\%$). Μία άλλη παράμετρος που ελέγχεται είναι η ζύμωση του γάλακτος από προβιοτική καλλιέργεια ($0,1\% \text{ W/v}$, BB-12) σε συνδυασμό με τη συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης. Μελετάται ακόμη η προσθήκη υδροκολλοειδών ($0,03\% \text{ W/v}$, κ-καραγενάνη, πηκτίνη) όπως και η επίδραση της κατάψυξης (-14°C για 5 d) σε δείγματα γιαουρτιού και το κατά πόσο τα χαρακτηριστικά τους βελτιώνονται με την προσθήκη τρεχαλόζης ($0,4\% \text{ W/v}$) ή/και με την κατεργασία του γάλακτος με υπέρηχους. Σε κάθε περίπτωση μετράται η εξέλιξη του pH και του ιξώδους κατά τη ζύμωση από όπου εξάγονται τα αντίστοιχα μοντέλα Gompertz και προσδιορίζονται η λανθάνουσα φάση (λ) και ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής (μ) κάθε ιδιότητας. Η ζύμωση ολοκληρώνεται όταν το δείγμα αποκτήσει την τιμή pH 4,45 και αποθηκεύεται υπό ψύξη (4°C) για 24 h . Έπειτα προσδιορίζεται το τελικό ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού, η ικανότητά του να συγκρατεί το νερό, η ογκομετρική του ροή από δεδομένη οπή, οι αντικειμενικές παράμετροι της υφής, ενώ γίνεται και οργανοληπτική αξιολόγησή του.

Η ένταση της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος επηρεάζει τη μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη ζύμωση όπως και τις τελικές ιδιότητες του ρευστού γιαουρτιού. Η μείωση της έντασής της (μειωμένη θερμοκρασία, μικρότερος χρόνος) τείνει να μειώνει τη λανθάνουσα φάση και τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση της ζύμωσης. Για την πιο έντονη θερμική κατεργασία ($90^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$) ο χρόνος ζύμωσης βρίσκεται 185 min , ενώ για την πιο ήπια ($65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$) 260 min , οι υπόλοιπες κατεργασίες δίνουν ενδιάμεσους χρόνους από αυτούς. Επιπλέον, βρίσκεται πως η επίδραση του χρόνου στο χρόνο της ζύμωσης είναι πιο σημαντική από αυτήν της θερμοκρασίας, όσον αφορά τη θερμική κατεργασία του γάλακτος εφόσον γίνεται λόγος για διεργασία που διαρκεί περισσότερο από 5 min . Μετά τη διατήρηση σε ψύξη η τιμή του ιξώδους κάθε πηγματος σχεδόν διπλασιάζεται. Η μεγαλύτερη τιμή τελικού ιξώδους 12162 cP εμφανίζεται για την πιο έντονη θερμική κατεργασία ($90^{\circ}\text{C} - 50 \text{ min}$), ενώ το λιγότερο ιξώδες γιαούρτι προκύπτει για την πιο ήπια θερμική κατεργασία ($65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$) με τιμή 5009 cP . Αντίστοιχα, η μικρότερη τιμή ογκομετρικής ροής από οπή προκύπτει $0,15 \text{ mL/s}$ για την πιο έντονη συνθήκη κατεργασίας και η μεγαλύτερη τιμή $0,31 \text{ mL/s}$ για την πιο ήπια κατεργασία. Οι βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας του γάλακτος για την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού προκύπτουν να είναι θέρμανση στους 70°C για 5 min και στους 65°C για 20 min , καθώς δίνουν ιξώδη $6255,5746 \text{ cP}$ αντίστοιχα, ικανοποιητικούς χρόνους ζύμωσης (198 και 210 min αντίστοιχα) και τα βέλτιστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή υπερήχων αυξάνει τον χρόνο ζύμωσης στις διάφορες συνθήκες κατεργασίας κατά μέσο όρο 35 min και το τελικό ιξώδες κατά 1535 cP , ενώ μειώνει την ογκομετρική ροή του προϊόντος κατά $0,04 \text{ mL/s}$. Οι υπέρηχοι έχουν στατιστικά την ίδια επίδραση στο τελικό προϊόν ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται, δηλαδή πριν ή μετά τη ζύμωση. Παρόλα αυτά δεν προτείνονται για την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού στην ένταση που μελετήθηκαν καθώς μεταβάλλουν αρκετά τη ρεολογία του προϊόντος.

Η προσθήκη λακτάσης δεν μεταβάλλει τη λανθάνουσα φάση και τον μέγιστο ρυθμό μείωσης του pH. Η ζύμωση, όμως, με τη βοήθεια του ενζύμου ολοκληρώνεται πιο γρήγορα. Για συγκέντρωση λακτάσης 0,08%, που χρησιμοποιείται στις άλλες σειρές πειραμάτων, επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου ζύμωσης από 233 *min*, που απαιτούνται για τη ζύμωση χωρίς την προσθήκη ενζύμου, σε 213 *min*. Μέσω της φασματοφωτομετρικής μεθόδου του Montgomery μετράται η συγκέντρωση του γάλακτος σε λακτόζη κατά μέσο όρο σε $4,37 \frac{g}{100 mL}$. Με την ίδια μέθοδο το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στα ζυμωμένα προϊόντα βρίσκεται 12% για τη ζύμωση χωρίς λακτάση και 71%, 83% και 97% για τις συγκεντρώσεις ενζύμου 0,06 %, 0,08 % και 0,12 %, αντίστοιχα. Έτσι, η υδρόλυση της λακτόζης ταυτόχρονα με τη ζύμωση μπορεί να εφαρμοστεί για την παραγωγή προϊόντων κατάλληλων για άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη. Παράλληλα, το τελικό ιξώδες, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος, η ογκομετρική ροή και τα χαρακτηριστικά αντικειμενικής υφής του πήγματος, δεν επηρεάζονται από την προσθήκη της λακτάσης. Από τη μελέτη προσθήκης υδροκολλοειδών προκύπτει πως αυξάνεται η λανθάνουσα φάση του pH από 118 *min* που είναι για το τυφλό δείγμα σε 136 *min* στην περίπτωση της κ-καραγενάνης και 141 *min* στην περίπτωση της πηκτίνης και η λανθάνουσα φάση του ιξώδους αυξάνεται από 64 *min* για τα αντίστοιχα υδροκολλοειδή σε 131 *min* και 105 *min*. Επιτυγχάνεται η αύξηση του ιξώδους του προϊόντος σε 6092 *cP* από την κ-καραγενάνη και 5453 *cP* από την πηκτίνη σε σύγκριση με την τιμή 4960 *cP* του τυφλού δείγματος. Η σκληρότητα και η προσκολλησιμότητα (κατ'απόλυτη τιμή) του ρευστού γιαουρτιού μειώνονται από 0,323 *N* και $-0,235 N \cdot s$ σε 0,206 *N* και $-0,134 N \cdot s$ για την προσθήκη κ-καραγενάνης και 0,312 *N* και $-0,219 N \cdot s$ για την προσθήκη πηκτίνης. Συνεπώς, η προσθήκη κ-καραγενάνης προτείνεται για την παραγωγή ρευστού γιαουρτιού καθώς προκύπτει ένα ομοιογενές προϊόν βελτιωμένης ρεολογίας, ενώ η πηκτίνη υποβαθμίζει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

Η ζύμωση του γάλακτος με χρήση προβιοτικής καλλιέργειας μαζί με τη συμβατική καλλιέργεια επιταχύνει την επώαση η οποία ολοκληρώνεται σε 169 *min* έναντι των 217 *min* που απαιτεί το τυφλό δείγμα. Συγκεκριμένα, μειώνει τη λανθάνουσα φάση του pH από 119 *min* σε 55 *min*, και αυξάνει το ρυθμό μείωσης του pH από $-0,0170 \text{ min}^{-1}$ σε $-0,0313 \text{ min}^{-1}$. Η λανθάνουσα φάση του ιξώδους μειώνεται από 72 *min* σε 25 *min* λόγω της δράσης των προβιοτικών βακτηρίων και ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής μειώνεται από 30 min^{-1} σε 23 min^{-1} . Το τελικό ιξώδες μειώνεται από 5686 *cP* σε 4648 *cP* και η ικανότητα συγκράτησης ύδατος από 66% σε 51%. Το τελικό πήγμα που προκύπτει με ζύμωση από την προβιοτική και τη συμβατική καλλιέργεια είναι υδαρές, λεπτόρρευστο και απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία, για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του, όπως είναι η προσθήκη υδροκολλοειδών. Τέλος, η κατάψυξη υποβαθμίζει τα τελικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Η προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτίνης δεν μεταβάλλει τους συντελεστές λ , μ του μοντέλου Gompertz του pH και του ιξώδους, ούτε το χρόνο ζύμωσης. Το ιξώδες του συμβατικού δείγματος που καταψύχθηκε και μετά αποψύχθηκε μειώθηκε σε 3140 *cP* σε σύγκριση με την τιμή 5061 *cP* που αποκτά το συμβατικό δείγμα του γιαουρτιού που απλώς ψύχεται. Αντίστοιχα, η τιμή ιξώδους ανέρχεται σε 4019 *cP* όταν προστίθεται τρεχαλόζη-πηκτίνη στο δείγμα πριν την κατάψυξη και σε 4905 *cP* όταν στο γάλα έχουν εφαρμοστεί US επιπλέον της θερμικής κατεργασίας και κρουπροστασία. Η ογκομετρική ροή των γιαουρτιών από σταθερή οπή αυξάνεται σημαντικά λόγω της κατάψυξης και μειώνεται λόγω της προσθήκης κρουπροστατευτικού υλικού. Η υφή αλλοιώνεται από την κατάψυξη και το κατεψυγμένο προϊόν που διατηρεί τα επιθυμητά χαρακτηριστικά υφής σε σύγκριση με τα υπόλοιπα είναι εκείνο στο οποίο έχουν εφαρμοστεί US και κρουπροστασία.

“Production of drinking yogurt using novel technologies and enriched components”

Abstract

The aim of this diploma thesis is the production of drinking yogurt from whole fresh milk and the investigation of the effect that various parameters have on it, such as the heat treatment of the milk, the subjection to ultrasounds, the use of a probiotic culture, the lactose hydrolysis and the use of hydrocolloids and cryoprotectants (in case of freezing the product). The effect of the milk's heat treatment is studied by varying its intensity by modifying the temperature and time in which it is carried out ($90^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 20 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$). Furthermore, the milk is subjected to ultrasounds (US, frequency of 37 kHz) with simultaneous heat treatment of different intensities ($70^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$, $70^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$, $65^{\circ}\text{C} - 20 \text{ min}$). The hydrolyzation of lactose is achieved with the addition of the enzyme lactase ($0,08\% \text{ w/v}$) during the inoculation of the milk with the starter culture. Different concentrations ($0,06\%$, $0,08\%$, $0,12\%$) are used to see the differences throughout the fermentation process and the finished products. Another parameter that is studied is the fermentation of the milk by a probiotic culture ($0,1\% \text{ w/v}$, BB-12) combined with the conventional starter culture. Also, the addition of hydrocolloids is studied ($0,03\% \text{ w/v}$, κ -carrageenan, citrus pectin) and the effect of freezing (-14°C για 5 d) the yogurt samples and whether their characteristics are improved by trehalose addition ($0,4\% \text{ w/v}$) and/or sonication of milk. During the fermentation of each experiment the evolution of the pH and the viscosity is monitored and described by the Gompertz models, defining the lag phase (λ) and the maximum rate of decrease in pH or the rate of increase in viscosity (μ). When the yogurt sample reaches a pH value of 4,45 the fermentation is completed and the sample is stored at a temperature of 4°C for 24 h . After that, the final characteristics of the yogurt drink are defined which include its viscosity, the water holding capacity (WHC), the volumetric flow through a fixed hole and its texture. Finally, the quality of the sample is evaluated given its sensory characteristics.

The intensity of the milk's heat treatment affects the evolution of the pH and viscosity during the fermentation process, as well as the final properties of the yogurt drinks. The decrease in intensity (lower temperature, shorter time) tends to decrease the duration of the lag phase and the fermentation time. The fermentation time is found 185 min for the most intense heat treatment ($90^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$) that was carried out and 260 min for the mildest ($65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$), the remaining treatments need intermediate times from these. In addition, it is found that the effect of the time, that heat is applied at the milk, on the fermentation time is more significant than that of the temperature, as long as the process lasts longer than 5 min . After refrigeration the viscosity value of each sample is almost doubled. The highest viscosity value, 12162 cP , is that of the sample with the most intense treatment ($90^{\circ}\text{C} - 5 \text{ min}$), whilst the lowest, 5009 cP , belongs to the milk treated with the lowest heat intensity ($65^{\circ}\text{C} - 10 \text{ min}$). The lowest value of the volumetric flow through a fixed hole ($0,15 \text{ mL/s}$) is obtained by the highest heat treatment intensity and the highest flow ($0,31 \text{ mL/s}$) by the mildest treatment. The optimal milk processing conditions for the production of yogurt drinks are defined as heating at 70°C for 5 min and at 65°C for 20 min , because the viscosities of the final products are respectively $6255,5746 \text{ cP}$, the fermentation is completed in an adequate time (198 and 210 min , respectively) and they have the optimal sensory characteristics. The sonication of the milk increases the fermentation time, at the various intensities tried, on average for 35 min and the final viscosity for 1535 cP , on the other hand the volumetric flow is decreased for $0,04 \text{ mL/s}$. Ultrasounds have statistically the same effect at the finished product if the milk is subjected to them before fermentation or the yogurt is

subjected to them after fermentation. Nevertheless, US are not recommended for the preparation of drinking yogurt, at the intensity studied, as they alter a lot the rheology of the product making it more viscous.

Addition of lactase does not change the lag phase and the maximum rate of the pH decrease. Fermentation, however, is completed more quickly with the contribution of the enzyme. Using the lactase at a concentration of 0,08% at the different experiments the fermentation time is decreased, from 233 *min* that the blank sample needs to 213 *min*. The lactose concentration of the milk was defined as $4,37 \frac{g}{100 mL}$ using Montgomery's spectrophotometric method. With the same method, the percentage of lactose hydrolysis in fermented products is found 12% for fermentation without lactase and 71%, 83% and 97% for use of enzyme at a concentration of 0,06 %, 0,08 % and 0,12 %, respectively. Therefore, the simultaneous lactose hydrolysis with the fermentation can be applied for the production of dairy products suitable for people that suffer from lactose intolerance. Lactase, in the concentrations used, does not affect the viscosity, the water holding capacity, the volumetric flow and the texture of the yogurt drinks. Studying the addition of hydrocolloids before the fermentation of the milk it appears that the duration of the pH lag phase increases from 118 *min* (blank sample) to 136 *min* for the κ -carrageenan and 141 *min* for pectin, while the lag phase of the viscosity increases from 64 *min* (blank sample) to 131 *min* and 105 *min*, respectively. Whilst the blank sample has a viscosity of 4960 *cP* with the addition of κ -carrageenan is achieved an increase of that value to 6092 *cP* and 5453 *cP* with the addition of pectin. Hardness and absolute adhesiveness decrease from the values of the blank sample 0,323 *N* and $-0,235 N \cdot s$ to 0,206 *N* and $-0,134 N \cdot s$ with the addition of κ -carrageenan, and to 0,312 *N* and $-0,219 N \cdot s$ with the addition of pectin. Therefore, the addition of κ -carrageenan is recommended for the production of drinking yogurt as it results in a homogeneous product with improved rheology, while pectin degrades the sensory characteristics of yogurt.

Milk fermentation using probiotic culture along with the conventional one accelerates the incubation process which is completed in 169 *min* instead of 217 *min* that are required by the blank sample. In particular, the duration of the pH lag phase is decreased from 119 *min* to 55 *min*, and the decreasing rate is altered from $-0,0170 \text{ min}^{-1}$ to $-0,0313 \text{ min}^{-1}$. The viscosity lag phase is decreased from 72 *min* to 25 *min* due to the action of probiotic bacteria and the maximum growth rate decreases from 30 min^{-1} to 23 min^{-1} . The viscosity decreases from 5686 *cP* to 4648 *cP* and the WHC from 66% to 51%. The final coagulum that occurs from fermentation by the probiotic and conventional culture is thin, aqueous and requires further processing to improve its characteristics, such as addition of hydrocolloids. Finally, the freezing process degrades the characteristics of the final product. Addition of trehalose in the milk doesn't affect neither the λ , μ parameters of the Gompertz models for the pH or the viscosity, nor the fermentation time. The viscosity of the conventional sample that was frozen and then thawed decreased to 3140 *cP* compared to the value 5061 *cP* obtained by the conventional sample of yogurt that is simply refrigerated. The viscosity of the thawed sample when trehalose and pectin are added is 4019 *cP* and if the milk before its production is additionally sonicated the value reaches 4905 *cP*. The volumetric flow of yogurt through a fixed hole increases significantly due to freezing and decreases due to the addition of cryoprotectants. The texture is altered due to freezing and the frozen product that retains the desired texture characteristics compared to the rest, is the one which is made from milk subjected to US treatment and cryoprotection has been applied.

1 Θεωρητικό μέρος

1.1 Γάλα

Το γάλα αποτελεί ένα εξαιρετικά θρεπτικό και ολοκληρωμένο τρόφιμο καθώς παρέχει όλα τα απαραίτητα συστατικά που χρειάζεται ένα νεογέννητο θηλαστικό κατά τον πρώτο καιρό της ζωής του, μία περίοδο στην οποία αναπτύσσεται με γρήγορο ρυθμό.¹ Η παραγωγή γάλακτος, ως γνώρισμα, χαρακτηρίζει τα θηλαστικά και συνιστά το μέσο με το οποίο τα νεογνά λαμβάνουν τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται καθώς και ανοσολογική προστασία.² Οι διατροφικές ανάγκες κάθε γαλακτοφόρου ζώου διαφέρουν από είδος σε είδος και αυτό αντικατοπτρίζεται και στη σύσταση του γάλακτος που παράγουν.¹

Το γάλα θεωρείται ευπαθές τρόφιμο καθώς πρόκειται για μήτρα με αφθονία θρεπτικών συστατικών. Αξιοποιείται ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό πολλών μικροοργανισμών που το υποβαθμίζουν. Η διατροφική αξία του γάλακτος σε συνδυασμό με την ευαλλοίωτη φύση του έχει οδηγήσει στην ανεύρεση τρόπων για την επιμήκυνση του χρόνου ζωής του. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται θερμικές κατεργασίες, όπως η παστερίωση και η αποστείρωση, αλλά και μη θερμικές όπως η χρήση υπερυψηλής πίεσης και παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.³ Ένας άλλος τρόπος διατήρησης του γάλακτος είναι η ζύμωσή του προς άλλα προϊόντα, όπως το γιαούρτι.⁴

1.1.1 Σύσταση γάλακτος

Όπως προαναφέρθηκε, η περιεκτικότητα σε συστατικά είναι διαφορετική ανάμεσα στα γάλατα. Πολλοί είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτήν τη διαφοροποίηση, όπως το είδος του γαλακτοφόρου ζώου καθώς και τα φυσιολογικά του χαρακτηριστικά, δηλαδή η ηλικία, η υγεία και η διατροφή του. Πέρα από το είδος του ζώου, τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας άμελης, ο χρόνος που έχει περάσει από τη γέννα και το περιβάλλον ανάπτυξης του ζώου καθορίζουν τη σύσταση του προϊόντος που παραλαμβάνεται.²

Το γάλα αποτελείται κυρίως από νερό και περιέχει πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπαρά, μέταλλα και βιταμίνες.⁵ Μπορεί να θεωρηθεί ως γαλάκτωμα των λιποσφαιρίων του γάλακτος, ένα κολλοειδές εναιώρημα μικκυλίων καζεΐνης ή ως ένα διάλυμα λακτόζης, πρωτεϊνών και άλλων συστατικών.² Στον πίνακα 1.1.1.1 φαίνεται η σύσταση σε κύρια συστατικά που έχουν κάποια γάλατα τα οποία αξιοποιούνται από τον άνθρωπο.

Πίνακας 1.1.1.1. Σύσταση γάλακτος διαφόρων θηλαστικών.⁶

Προέλευση γάλακτος	Ξηρή ύλη (%)	Λιπαρά (%)	Πρωτεΐνη (%)	Λακτόζη (%)	Τέφρα (%)
Άνθρωπος	12,4	3,8	1,0	7,0	0,2
Αγελάδα	13,0	4,0	3,4	4,8	0,7
Κατσίκα	13,2	4,5	2,9	4,1	0,8
Πρόβατο	19,3	7,3	5,5	4,8	1,0
Γάιδαρος	8,5	0,6	1,4	6,1	0,4
Άλογο	11,2	1,9	2,5	6,2	0,5
Βουβάλι	17,2	7,4	3,6	5,5	0,8
Καμήλα	13,6	4,5	3,6	5,0	0,7

Εκτός από τα βασικά συστατικά που περιέχονται στο γάλα, υπάρχουν και κάποια σε μικρότερες ποσότητες που επηρεάζουν όμως σημαντικά τη θρεπτική του αξία, όπως και τα τεχνολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Τέτοια συστατικά είναι λόγω χάρη οι βιταμίνες και οι ουσίες που του προσδίδουν γεύση.⁷

1.1.1.1 Νερό

Το κύριο συστατικό (κατά βάρος) του γάλακτος αποτελεί το νερό. Για παράδειγμα, στο αγελαδινό γάλα συναντάται σε ποσοστά 85,4 με 87,7% ανάλογα με το είδος. Όλα τα στερεά του γάλακτος είναι σε διαλυμένη μορφή ή σε αιώρηση στο νερό, ενώ ένα μικρό μέρος του νερού είναι δεσμευμένο από τις πρωτεΐνες ή δημιουργεί ένυδρα άλατα και λακτόζη.⁸ Είναι πολύ σημαντικό συστατικό καθώς επηρεάζει τις φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές ιδιότητες του γάλακτος, καθώς και τις αλλοιώσεις που συμβαίνουν σε αυτό.⁷

1.1.1.2 Πρωτεΐνες

Υπάρχουν εκατοντάδες πρωτεΐνες στο γάλα, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο ευρείες ομάδες, τις καζεΐνες και τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Η καζεΐνη αποτελεί το κύριο κλάσμα των πρωτεϊνών του γάλακτος και βρίσκεται σε ποσοστό 80% σε αυτό, ενώ το υπόλοιπο 20% αποτελούν οι πρωτεΐνες του ορού. Στο γάλα συναντώνται επίσης πρωτεΐνες που προέρχονται από τη μεμβράνη των λιποσωμάτων του, ως αποτέλεσμα μηχανικής καταπόνησης όπως είναι η ομογενοποίηση. Επιπλέον, στο γάλα περιέχονται ένζυμα και βιολογικά ενεργές πρωτεΐνες.⁸ Ο σκοπός της πρωτεΐνης στο γάλα είναι να παρέχει στα νεογέννητα θηλαστικά τα απαραίτητα αμινοξέα και τις βιολογικά ενεργές πρωτεΐνες για την ανάπτυξη των ιστών τους - όπως είναι οι μύες-, τη δέσμευση βιταμινών και μετάλλων καθώς και διάφορες ορμόνες. Στο γάλα των βοοειδών η πρωτεΐνη αποτελεί περίπου το 3,4%, ωστόσο μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες του νεογνού, ιδιαίτερα τις πρώτες ημέρες της γέννησής του. Σε άλλα είδη το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 1 έως 20% και αντικατοπτρίζει το ρυθμό με τον οποίο αυτό αναπτύσσεται.⁷

Η καζεΐνη είναι το σύνολο των πρωτεϊνών που παραμένουν αδιάλυτες και καθιζάνουν σε ποσοστό 20% όταν το pH του γάλακτος μειώνεται σε 4,6. Εμφανίζεται σε μορφή μικκυλίων καθώς αλληλεπιδρά με το φωσφορικό ασβέστιο και δημιουργεί τα μεγάλα αυτά κολλοειδή σύμπλοκα. Το μέγεθός τους ανέρχεται σε 50 με 500 nm ενώ αποκτούν αδρή εξωτερική επιφάνεια. Μία ιδιότητα του γάλακτος που επηρεάζεται από τα κολλοειδή είναι το χρώμα. Το λευκό χρώμα του γάλακτος οφείλεται στη σκέδαση του φωτός από τα μικκύλια πρωτεϊνών που σχηματίζονται. Η σύστασή τους χαρακτηρίζεται από 63% υγρασία, ενώ όσον αφορά τα στερεά 92- 94% αυτών είναι πρωτεΐνη και 6-8% το φωσφορικό ασβέστιο. Τα κλάσματα της καζεΐνης, όπως αυτά κατηγοριοποιούνται, συναντώνται στα μικκύλια σε αναλογία 3: 1: 3: 1 και χαρακτηρίζονται ως αs1-, αs2-, β- και κ-καζεΐνη. Τα κλάσματα της καζεΐνης, εκτός από την κ-καζεΐνη, επηρεάζονται από το ασβέστιο και παύουν να είναι υδατοδιαλυτά. Η σταθερότητα των μικκυλίων επιτυγχάνεται με τη διατήρηση των κλασμάτων αs1-, αs2-, β- στο εσωτερικό τους και τη διατήρηση του κ-κλάσματος στην επιφάνειά τους.⁸

Όσον αφορά το διαλυτό κλάσμα των πρωτεϊνών όταν το γάλα αποκτήσει pH 4,6, αυτό χαρακτηρίζεται ως πρωτεΐνες ορού. Το κλάσμα αυτό αποτελείται από β-λακτοσφαιρίνη, α-λακταλβουμίνη, αλβουμίνες ορού, ανοσοσφαιρίνες (κυρίως IgG1, IgG2, IgM), λακτοφερίνη, πρωτεόζη-πεπτόνη και διάφορα ένζυμα. Οι πρωτεΐνες ορού είναι οργανωμένες σε πιο σφαιρικές δομές από την καζεΐνη και περιέχουν δισουλφιδικούς δεσμούς. Συνεπώς, είναι διαλυτές και δεν καθιζάνουν υπό όξινες συνθήκες. Όπως και άλλες σφαιρικές πρωτεΐνες επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, που τις καθιστά πολύ ασταθείς. Για παράδειγμα, εάν εκτεθούν σε θερμοκρασία 90°C προκαλείται μετουσίωσή τους την οποία ακολουθεί σχηματισμός πηκτικής. Υπό έντονη θερμική κατεργασία, η β-λακτοσφαιρίνη δημιουργεί σύμπλεγμα με την κ-καζεΐνη. Τέλος, σχετικά με τη

βιολογική αξία των πρωτεϊνών ορού αυτή είναι υψηλότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες πρωτεΐνες του γάλακτος.⁸

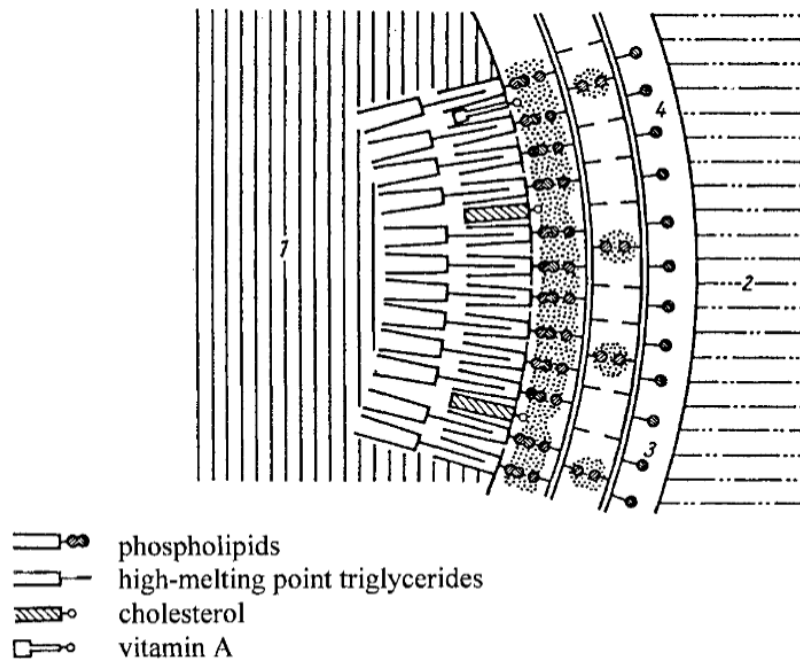
Οι πρωτεΐνες του γάλακτος επηρεάζουν πολύ έντονα τις ιδιότητές του. Η βιομηχανία δείχνει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις μεταβολές τους καθώς έχει άμεσο αντίκτυπο στα προϊόντα που παράγονται από το γάλα. Για παράδειγμα, οι θερμικές κατεργασίες που υπόκειται το γάλα είναι εφικτές καθώς η καζεΐνη έχει υψηλή αντοχή στη θέρμανση.⁷ Η σταθερότητα της καζεΐνης μπορεί να διαταραχθεί υπό έντονη θερμική κατεργασία και να διασπαστούν οι πεπτιδικοί και φωσφορικοί δεσμοί, οδηγώντας στην πήξη του γάλακτος. Τέτοιες μεταβολές είναι σημαντικές για την παραγωγή ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων όπως είναι το γιαούρτι.

1.1.1.3 Λιπαρά

Τα λιπαρά του γάλακτος, παρόλο που έχουν αρκετά ουδέτερη γεύση, προσδίδουν μία πιο πλούσια και λεία υφή στα γαλακτοκομικά προϊόντα.⁸ Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά είναι 3,2 έως 6,0% και είναι από τα συστατικά τα οποία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη διακύμανση σε αυτό.⁶ Ο ρόλος τους στο γάλα είναι η παροχή και αποθήκευση ενέργειας σε συμπυκνωμένη μορφή. Μέσω της διατροφής προμηθεύουν τον άνθρωπο με απαραίτητα λιπαρά οξέα τα οποία δεν μπορεί να συνθέσει το σώμα του, όπως και το λινελαϊκό και το αραχιδονικό οξέα. Επιπλέον, δρουν ως πηγή των λιποδιαλυτών βιταμινών A, D, E και K.⁸

Η μορφή των λιπαρών στο γάλα είναι σφαιρική. Αποτελούνται από έναν λιπαρό πυρήνα που περιβάλλεται από μεμβράνη, ενώ η συνολική διάμετρος τους είναι 2 έως 5 μm .⁶ Το 95% του λίπους του αγελαδινού γάλακτος αποτελείται από τριγλυκερίδια. Το εναπομείναν ποσοστό συμπεριλαμβάνει διγλυκερίδια, μονογλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα, φωσφολιπίδια και χοληστερόλη. Από τα συνολικά λιπαρά οξέα τα κορεσμένα καταλαμβάνουν το 62%, τα μονοακόρεστα το 29% ενώ τα πολυακόρεστα μόλις το 4%. Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό του λίπους του γάλακτος είναι η περιεκτικότητά του σε λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας (C4—C8) σε ποσοστό 7–8%.⁸

Όσον αφορά τη μεμβράνη του λιποσφαιρίου, αυτή αποτελεί ένα πολύπλοκο πολυστρωματικό χημικό σύμπλεγμα. Το στρώμα το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στον πυρήνα του αποτελείται από τριγλυκερίδια με υψηλό σημείο τήξης, που εξέχουν από το στρώμα φωσφολιπιδίων. Οι πρωτεΐνες της μεμβράνης έχουν παρόμοια δομή με τη σφαιρίνη, ενώ περιέχουν μία ειδική μορφή, την ευγλοβουλίνη. Οι πρωτεΐνες αυτές επηρεάζουν σημαντικά τη διασπορά των λιπιδίων στο γάλα. Ακόμη, σε αυτές περιέχεται το φωσφορικό στρώμα της μεμβράνης. Ένζυμα, βαρέα μέταλλα και άλατα περιέχονται στην υδατική φάση του σφαιριδίου και στην επιφάνειά του υπάρχει ηλεκτρικό φορτίο. Η φόρτιση του λιποσφαιρίου επηρεάζεται από την τιμή του pH και προκαλεί την κίνηση του λιπιδίου όταν αυτό βρεθεί σε ηλεκτρικό πεδίο. Ειδικότερα, το λιποσφαίριο φορτίζεται θετικά όταν βρεθεί σε χαμηλές τιμές pH, και αντίστοιχα φορτίζεται αρνητικά σε υψηλές τιμές pH.⁶

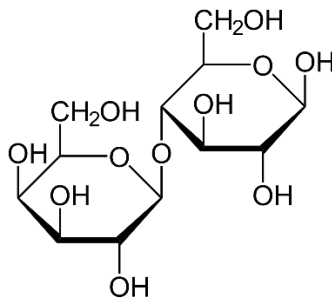


Σχήμα 1.1.1.1. Δομή λιποσφαιρίου, όπου (1) λίπος, (2) πλάσμα, (3) πρωτεΐνη, (4) δεσμευμένο νερό.⁶

Γενικότερα, η γνώση της σύστασης και των ιδιοτήτων των λιποσφαιρίων παίζει καθοριστικό ρόλο στη μετέπειτα συνοχή των γαλακτοκομικών προϊόντων. Λόγου χάρη, η θερμοκρασία τήξης των λιπαρών του γάλακτος έχει ένα ευρύ φάσμα το οποίο οφείλεται στη διαφορετική σύνθεσή τους. Όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 40°C όλο το λίπος συναντάται σε υγρή μορφή, ενώ κάτω από αυτήν τη θερμοκρασία αποτελεί μείγμα στερεού-υγρού.⁶ Ο διαχωρισμός των λιπαρών από το γάλα επιτυγχάνεται με τη διεργασία της αποκορύφωσης, η οποία καθίσταται εφικτή καθώς τα λιποσφαίρια είναι λιγότερο πυκνά από την περιβάλλουσα υδατική φάση. Η αποκορύφωση του γάλακτος και στη συνέχεια η τυποποίησή του επιτρέπει τη διάκριση του γάλακτος σε πλήρες, αποβουτυρωμένο ή χαμηλών λιπαρών. Για την παραγωγή του γιαουρτιού συνήθως χρησιμοποιείται γάλα περιεκτικότητας 3,5 – 3,6% σε λιπαρά το οποίο χαρακτηρίζεται ως πλήρες.⁸

1.1.1.4 Σάκχαρα

Το φρέσκο γάλα περιέχει μικρές ποσότητες γλυκόζης, γαλακτόζης και ολιγοσακχαριτών της τάξης του 1 mg/mL.⁸ Υπάρχουν επιπλέον εξοζαμίνες και Ν-ακετυλο-νευραμινικό οξύ, συστατικά τα οποία είναι δεσμευμένα από τις πρωτεΐνες των μεμβρανών.⁹ Ο βασικός υδατάνθρακας που συναντάται στο γάλα είναι η λακτόζη, ενώ δεν υπάρχουν άλλοι πολυσακχαρίτες. Η λακτόζη υπάρχει μόνο στο γάλα και τα προϊόντα που προκύπτουν από αυτό. Στο αγελαδινό γάλα, συγκεκριμένα, βρίσκεται σε περιεκτικότητα 4,5 – 5%.^{9,10} Αποτελεί έναν δισακχαρίτη με δομή που φαίνεται στο σχήμα 1.1.1.2, συναντάται σε α- και β- δομή, ενώ σε υδατικά διαλύματα οι δύο μορφές βρίσκονται σε ισορροπία. Αποτελείται από δύο κυκλικούς μονοσακχαρίτες την D-γλυκόζη και την D-γαλακτόζη που ενώνονται μέσω γέφυρας οξυγόνου.⁶



Σχήμα 1.1.1.2 Μοριακή δομή λακτόζης.

Η λακτόζη παράγεται στα συμπλέγματα Golgi των κυττάρων που παράγουν γάλα. Η πρωτεΐνη α-λακταλβουμίνη τροποποιεί τη λειτουργία του ενζύμου γαλακτοσυλτρανσφεράσης ώστε το δεύτερο να καταλύει την αντίδραση μεταξύ γλυκόζης και ουριδίνης-διφωσφορικής-γαλακτόζης προς παραγωγή λακτόζης.⁹

Η λακτόζη συναντάται στις κρυσταλλικές μορφές α-ένυδρη ή άνυδρη-β ή ως άμορφο υαλώδες μείγμα α-, β-λακτόζης. Η β- μορφή είναι περισσότερο διαλυτή από την α-. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική καθώς επηρεάζει την υφή των προϊόντων σε περίπτωση συμπύκνωσης του γάλακτος ή κατάψυξής του. Συγκεκριμένα, μείγμα ισορροπίας α- και β-λακτόζης, παρουσιάζει διαλυτότητα περίπου 119 g/L νερού στους 0°C. Η σχετικά κακή διαλυτότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες συμβάλλει στην αμμώδη υφή του παγωτού, των επεξεργασμένων τυροκομικών προϊόντων και των προϊόντων συμπυκνωμένου γάλακτος.⁸ Σε σύγκριση με άλλους δισακχαρίτες πέρα από λιγότερο διαλυτή είναι και λιγότερο γλυκιά, για παράδειγμα η γλυκαντική της ικανότητα ανέρχεται σε 30% αυτής της σακχαρόζης.⁶

Η λακτόζη στα ζυμωμένα προϊόντα, όπως το γιαούρτι, έχει και λειτουργικό ρόλο. Συγκεκριμένα, αποτελεί υπόστρωμα για την ανάπτυξη της εκάστοτε καλλιέργειας. Μετά τη ζύμωση, περίπου το 30% του σακχάρου αυτού μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ, καθώς αξιοποιείται από τα βακτήρια ως πηγή άνθρακα. Παράλληλα, η παραγωγή του οξέος μειώνει το pH σε επίπεδα στα οποία δεν αναπτύσσεται η πλειονότητα των αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η διάρκεια ζωής του τροφίμου.⁸

1.1.1.5 Βιταμίνες

Οι βιταμίνες αποτελούν ένα ακόμα απαραίτητο συστατικό για τον ανθρώπινο οργανισμό το οποίο το λαμβάνει αποκλειστικά από τη διατροφή του, καθώς δεν μπορεί να το συνθέσει. Οι βιταμίνες αποτελούν οργανικές ενώσεις οι οποίες δεν έχουν κάποια συνοχή ως προς τη χημική τους σύσταση. Παρόλα αυτά, κατηγοριοποιούνται σε υδατοδιαλυτές και λιποδιαλυτές. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την ομάδα βιταμινών Β, την κοβαλαμίνη (B12) και το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C). Στη δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνονται οι βιταμίνες που συναντώνται στα λιποσφαίρια δηλαδή οι Α, D, Ε και Κ.⁷

Καθώς το γάλα υπόκειται σε μία σειρά από διεργασίες πριν την κατανάλωση ή τη μετατροπή του σε άλλα προϊόντα, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το τελικό ποσοστό διατήρησης των βιταμινών σε αυτό. Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες συγκεντρώνονται στα λιπαρά, συνεπώς η αποβουτύρωση του γάλακτος οδηγεί στην υποβάθμισή του ως προς την περιεκτικότητα σε βιταμίνες. Επομένως, είναι απαραίτητο να αποκτήσει το γάλα με χαμηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά όμοια επίπεδα βιταμίνης με το πλήρες, λόγω χάρη της Α, και για αυτό έχουν οριστεί κανονισμοί που προβλέπουν την ενίσχυσή του. Όσον αφορά το υδατικό μέρος του γάλακτος, οι βιταμίνες Β συντηρούνται ακόμα και μετά τις συνήθεις θερμικές κατεργασίες. Σε αντίθεση με τη βιταμίνη C που απενεργοποιείται από τη θέρμανση, καταλήγοντας να έχει αμελητέα περιεκτικότητα στο γάλα.⁸

1.2 Δυσανεξία στη λακτόζη – Ενζυμική υδρόλυση λακτόζης

1.2.1 Δυσανεξία

Η λακτόζη είναι το σάκχαρο το οποίο συναντάται μόνο στο γάλα και συνεπώς στα παράγωγα αυτού. Η πέψη συμβαίνει με την υδρόλυσή της προς τους επιμέρους μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται. Αυτή η διαδικασία καθίσταται εφικτή χάρη στη δράση του ενζύμου λακτάση που συναντάται στον εκάστοτε οργανισμό. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις η ενεργότητα αυτού του ενζύμου ελαττώνεται προκαλώντας διάφορες γαστρεντερικές διαταραχές.¹⁰ Η κατάσταση αυτή ορίζεται ως δυσανεξία στη λακτόζη. Είναι άξιο αναφοράς πως η αδυναμία πέψης της λακτόζης δεν δημιουργεί απαραίτητα τα συμπτώματα της δυσανεξίας.¹¹ Σχεδόν το 75% του παγκόσμιου πληθυσμού πάσχει από δυσανεξία στη λακτόζη. Μελετώντας, πιο συγκεκριμένες ομάδες του πληθυσμού παρατηρείται πως η δυσανεξία στη λακτόζη δεν παρουσιάζει ομοιογένεια ως προς τις διάφορες περιοχές. Για παράδειγμα, στη Βόρεια Ευρώπη η δυσανεξία αυτή εμφανίζεται μόλις στο 10% του ενήλικου πληθυσμού, εν αντιθέσει με τη νοτιοανατολική Ασία όπου το ποσοστό δυσαπορρόφησης της λακτόζης αγγίζει το 90%. Η διάκριση αυτή φαίνεται πως εξαρτάται από το κατά πόσο τα άτομα προέρχονται από γενεές που καταναλώνουν γαλακτοκομικά. Δηλαδή η διατήρηση της λακτάσης (lactose persistence) ως γενετικό χαρακτηριστικό προκύπτει ως προσαρμογή στην ανάπτυξη της γαλακτοκομίας.^{9,11,12}

Όλα τα νεογνά θηλαστικών παράγουν μεγάλες ποσότητες λακτάσης, ώστε να έχουν τη δυνατότητα να υδρολύουν τη λακτόζη. Εξαιρέση αποτελούν τα θηλαστικά εκείνα τα οποία έχουν εκ γενετής ελάττωμα. Στις συνηθείς περιπτώσεις μετά τον απογαλακτισμό η ικανότητα πέψης της λακτόζης στον άνθρωπο μειώνεται. Ειδικότερα, σε ποσοστό περίπου 60% των ατόμων άνω των 4 ετών η ικανότητα μεταβολισμού της λακτόζης βρίσκεται κάτω του 10%.^{9,11}

Οι γαστρεντερικές διαταραχές που αποτελούν απόρροια της δυσανεξίας στη λακτόζη εμφανίζονται καθώς ο οργανισμός αποτυγχάνει να διασπάσει τον δισακχαρίτη. Η λακτόζη που δεν απορροφάται από τον άνθρωπο ζυμώνεται από τη μικροχλωρίδα του παχέος εντέρου του, σχηματίζοντας αέρια όπως μεθάνιο και υδρογόνο που προκαλούν πληθώρα συμπτωμάτων. Τέτοια συμπτώματα είναι: κοιλιακή δυσφορία, κράμπες ή διάταση, φούσκωμα, διάρροια και σε μερικές περιπτώσεις ναυτία και έμετος.^{11,13}

Καθώς η δυσανεξία στη λακτόζη είναι μία ευρεία έννοια, δεν μπορεί να καθοριστεί ένα μόνο κατώτατο όριο ανοχής στη λακτόζη για τα άτομα. Για παράδειγμα όσοι έχουν πρωτοπαθή ανεπάρκεια λακτάσης με κατανάλωση ενός ποτηριού με γάλα (240 mL) ή ισοδύναμης ποσότητας λακτόζης (12 g) εμφανίζουν ελάχιστα έως καθόλου συμπτώματα δυσανεξίας. Οι περισσότεροι εξ αυτών μπορούν να καταναλώσουν έως και 12 g χωρίς διαταραχές, ιδιαίτερα εάν αυτό συνδυάζεται με άλλα τρόφιμα. Αντίστοιχα, άτομα με μη διατήρηση της λακτάσης μπορούν να καταναλώσουν έως και 6 g λακτόζης σε νερό υπό συνθήκες νηστείας. Για δόση λακτόζης ίσης με 50 g ένα πολύ υψηλότερο ποσοστό εκείνων με δυσανεξία εμφανίζουν συμπτώματα. Τέλος, σε μελέτη που έγινε σε ομάδα Αμερικανών ιθαγενών το 88% των συμμετεχόντων εμφάνισε συμπτώματα μετά από λήψη 50 g λακτόζης, ενώ μόλις το 20% εμφάνισε συμπτώματα λόγω λήψης λακτόζης έως 18 g.¹¹

Όσον αφορά το γιαούρτι, η κατανάλωσή του βελτιώνει την υδρόλυση της λακτόζης σε σχέση με το γάλα. Αυτό πιθανώς συμβαίνει χάρις στη δραστητικότητα λακτάσης που έχει η καλλιέργεια εκκίνησης. Παρόλα αυτά, άτομα με υψηλή δυσανεξία στη λακτόζη δε μπορούν να το καταναλώσουν.¹⁰

1.2.2 Λακτάση

Η διάσπαση της λακτόζης στους μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται γίνεται από το ένζυμο λακτάση. Συναντάται κυρίως στο δεύτερο τμήμα του λεπτού εντέρου και αποτελεί μία ειδική β-γαλακτοζιδάση που επιδρά μόνο στη λακτόζη.¹⁴ Η β-γαλακτοζιδάση αποτελεί μία υδρολάση και μπορεί να βρεθεί σε πληθώρα έμβιων όντων. Ωστόσο, βιομηχανικό ενδιαφέρον, έχει η παραγωγή της από μικροοργανισμούς, καθώς υδρολύει τη λακτόζη σε υψηλότερους ρυθμούς από ότι για παράδειγμα εκείνη που παράγεται από κάποιο ζώο. Οι βέλτιστες συνθήκες δράσης του ενζύμου εξαρτώνται από την προέλευσή του, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.2.2.1 όπου παρουσιάζονται κάποια είδη μικροοργανισμών και οι αντίστοιχες συνθήκες δράσης. Έτσι, για την υδρόλυση της λακτόζης στο γάλα επιλέγονται ένζυμα που έχουν βέλτιστο εύρος δράσης pH 6,5 – 7 και προέρχονται από ζυμομύκητες. Αντίστοιχα, για εφαρμογή σε προϊόντα ζύμωσης όπως το γιαούρτι επιλέγονται ένζυμα ευρωτομυκήτων που έχουν βέλτιστο pH δράσης στο εύρος 3 – 5.

Πίνακας 1.2.2.1. Βέλτιστες συνθήκες δράσης λακτάσης προερχόμενης από διάφορους μικροοργανισμούς.¹⁵

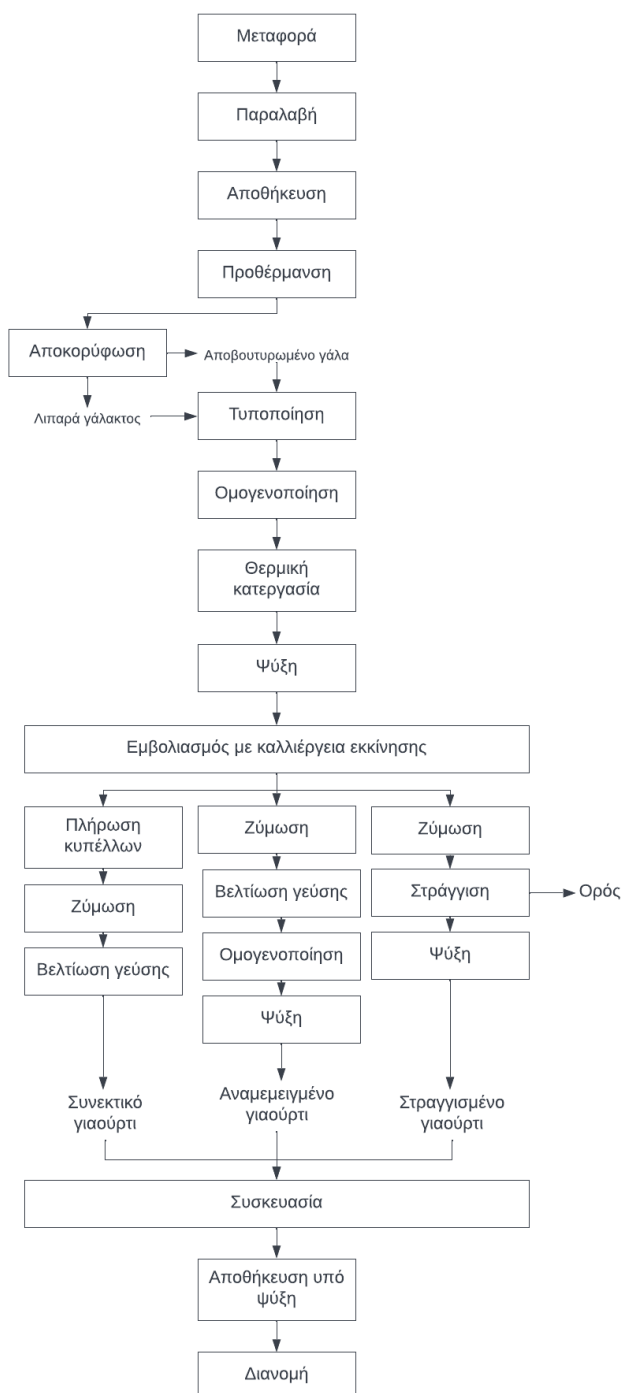
Μικροοργανισμός		Παραγωγή ενζύμου	Βέλτιστο pH	Βέλτιστη θερμοκρασία (°C)
Ευρωτομύκητες	<i>Aspergillus niger</i>	Εξωκυττάρια	3,0-4,0	55-60
	<i>Aspergillus oryza</i>		5,0	50-55
Ζυμομύκητες	<i>Kluyveromyces lactis</i>	Ενδοκυττάρια	6,5-7,0	30-35
	<i>Kluyveromyces fragilis</i>		6,6	30-35
Βακτήρια	<i>Escherichia coli</i>	Ενδοκυττάρια	7,2	40
	<i>Lactobacillus thermophilus</i>		6,2	55
	<i>Leuconostoc citrovorum</i>		6,5	66
	<i>Bacillus circulans</i>		6,0	65

Το ένζυμο αυτό βρίσκει πληθώρα εφαρμογών στη βιομηχανία τροφίμων. Καθώς η δυσανεξία στη λακτόζη απασχολεί μεγάλο μέρος του παγκόσμιου πληθυσμού, η υδρόλυσή της με χρήση της λακτάσης είναι ένας τρόπος αντιμετώπισης και παραγωγής προϊόντων μειωμένης περιεκτικότητας σε αυτή. Υπερτερεί ως μέθοδος από τη χημική υδρόλυση, καθώς δεν υποβαθμίζει τα συστατικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, διατηρώντας την αρχική θρεπτική αξία του. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των μη ζυμωμένων γαλακτοκομικών. Για παράδειγμα, τα παγωτά τα οποία έχουν παρασκευαστεί με ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης, αποκτούν πιο κρεμώδη υφή καθώς αποφεύγεται η περίσσεια κρυστάλλωσή της. Επιπλέον, με χρήση της λακτάσης παράγονται γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες που προστίθενται σε άλλα τρόφιμα. Οι γαλακτο-ολιγοσακχαρίτες δρουν ως υπόστρωμα και βελτιώνουν την εντερική βακτηριακή μικροχλωρίδα. Η ζύμωσή τους μειώνει το pH του εντέρου, δημιουργώντας ένα αφιλόξενο περιβάλλον για παθογόνους μικροοργανισμούς ενώ προκαλούν την αύξηση Bifido-βακτηρίων.¹⁵

Η παραγωγή γιαουρτιού με χρήση της β-γαλακτοζιδάσης επιφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Αρχικά, μειώνει την περιεκτικότητα σε λακτόζη καθιστώντας το κατάλληλο προς κατανάλωση και από άτομα τα οποία έχουν δυσανεξία σε αυτήν. Η ζύμωση των μονοσακχαριτών που προκύπτουν από την υδρόλυση της λακτόζης είναι πιο εύκολη για την καλλιέργεια εκκίνησης από ότι η ζύμωση της λακτόζης. Επιτυγχάνεται, έτσι, το επιθυμητό χαμηλό pH σε συντομότερο χρόνο από ότι κατά τη συμβατική ζύμωση. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, όπως προαναφέρθηκε, βελτιώνεται η υφή καθιστώντας το γιαούρτι πιο κρεμώδες. Από τη διάσπαση της λακτόζης αυξάνεται και η ένταση της γλυκιάς γεύσης σχεδόν κατά 50% χάρις στους μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται και δεν υπάρχει απαίτηση για επιπλέον γλυκαντικά.¹⁵

1.3 Συμβατική παραγωγική διαδικασία του γιαουρτιού

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές διεργασίες για τη συμβατική παραγωγή του γιαουρτιού. Η διαδικασία τροποποιείται ανάλογα με το είδος του γιαουρτιού και τις προδιαγραφές του επιθυμητού τελικού προϊόντος. Στο παρακάτω σχήμα συνοψίζεται το διάγραμμα ροής για την παραγωγή των τριών πιο συνηθών ειδών γιαουρτιού του συνεκτικού, του αναμεμιγμένου και του στραγγιστού.



Σχήμα 1.2.2.1. Παραγωγική διαδικασία συνεκτικού, αναμεμιγμένου και στραγγιστού γιαουρτιού.¹⁶

1.3.1 Νωπό γάλα

Ως νωπό γάλα ορίζεται το γάλα το οποίο προέρχεται άμεσα από μία ή περισσότερες αγελάδες, δεν έχει θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 40°C και δεν έχει κατεργαστεί με οποιονδήποτε τρόπο. Όμοια ο

ορίζεται το νωπό γάλα που προέρχεται από κασίκες, πρόβατα ή βουβάλια. Αφού το γάλα παραληφθεί από τα γαλακτοφόρα ζώα υπόκειται σε μία σειρά κατεργασιών ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί εξασφαλίζοντας σε κάθε περίπτωση ότι πληροί τις σχετικές νομικές προϋποθέσεις.⁶

1.3.2 Μεταφορά - παραλαβή

Το γάλα καθώς περιέχει πληθώρα θρεπτικών συστατικών προσβάλλεται εύκολα από μικροοργανισμούς. Για να διατηρηθεί η ποιότητα και η ασφάλεια του γάλακτος, απαιτείται η άμεγλή του να λαμβάνει χώρα υπό όσο το δυνατόν πιο υγιεινές συνθήκες. Επιπλέον, είναι απαραίτητη η άμεση ψύξη του γάλακτος σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 4°C και διατήρησή της καθ' όλη τη μεταφορά του γάλακτος στη βιομηχανική εγκατάσταση μέχρι την επεξεργασία του. Η μεταφορά του γάλακτος γίνεται σε δοχεία χωρητικότητας 30 ή 50 L ή με βυτιοφόρα. Οι δύο μέθοδοι, έχουν τις ίδιες απαιτήσεις αλλά επιτυγχάνονται με διαφορετικό μέσο. Ειδικότερα, το γάλα κατά τη μεταφορά πρέπει να διατηρείται σε χαμηλή θερμοκρασία και να αποφεύγεται ο αερισμός του. Παράλληλα, είναι σημαντικό οι χειρισμοί που γίνονται να μην υποβαθμίζουν την ποιότητα του υλικού, συνεπώς τα δοχεία πληρώνονται έτσι ώστε να μην υπάρχει ανάδευση και παφλασμός. Αντίστοιχα, τα βυτιοφόρα έχουν διαχωρισμένους χώρους εσωτερικά για τον ίδιο σκοπό. Τα δοχεία πρέπει να προστατεύονται από τον ήλιο συνεπώς τα οχήματα που τα μεταφέρουν να διαθέτουν κάποιο κάλυμμα κατάλληλου υλικού όπως είναι το πολυστυρένιο.

Κατά την παραλαβή, το γάλα ζυγίζεται και υπόκειται σε ορισμένους ελέγχους ποιότητας με σκοπό να χαρακτηριστεί ως κατάλληλο ή μη, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της βιομηχανίας. Για παράδειγμα, εάν εντοπιστεί ποσότητα αντιβιοτικού, ακόμα και σε ίχνη, μπορεί να καταστήσει το γάλα ακατάλληλο για τη μετέπειτα ζύμωσή του από τα οξυγαλακτικά βακτήρια και την παραγωγή γιαουρτιού. Κάποιοι έλεγχοι που γίνονται στο γάλα κατά την παραλαβή είναι οι παρακάτω:¹⁷

- Οπτικός έλεγχος.
- Προσδιορισμός σωματικών κυττάρων.
- Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη.
- Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε λιπαρά.
- Έλεγχος σημείου πήξης.

1.3.3 Αποθήκευση

Η αποθήκευση του νωπού γάλακτος είναι απαραίτητη, ώστε να εξομαλυνθεί η επεξεργασία του. Εφόσον, στη βιομηχανία, η παραλαβή του γάλακτος συμβαίνει σε διαφορετικές χρονικές περιόδους κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε σχέση με την επεξεργασία του, απαιτείται αυτό το ενδιάμεσο στάδιο. Η αποθήκευση λαμβάνει χώρα σε μεγάλες κατακόρυφες δεξαμενές (σιλό). Τα σιλό τοποθετούνται εξωτερικά των κτηρίων ώστε να διευκολύνουν την παραλαβή. Όσον αφορά την κατασκευή τους, αποτελούνται συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα, έχουν διπλά τοιχώματα με μόνωση, ώστε να διατηρείται το γάλα σε χαμηλές θερμοκρασίες περίπου 5°C.^{5,6,17} Σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητη η ανάδευση του γάλακτος ούτως ώστε να αποφευχθεί ο φυσικός διαχωρισμός των λιπαρών λόγω της βαρύτητας και η συσσωμάτωσή τους. Συνεπώς, η ανάδευση μπορεί να επηρεάσει άμεσα την ποιότητα του γάλακτος. Ξεκινά μόνο εφόσον η πτερωτή του αναδευτήρα είναι καλυμμένη πλήρως από γάλα, έτσι αποφεύγεται ο αερισμός του γάλακτος. Η πολύ έντονη ανάδευση μπορεί να επιφέρει εκτός του αερισμού και τη διάσπαση των λιποσφαιρίων, εκθέτοντάς τα στο ένζυμο λιπάση του γάλακτος που τα υδρολύει.^{6,17}

1.3.4 Προεπεξεργασία - καθαρισμός

Το γάλα καθώς εξέρχεται από τον μαστό του γαλακτοφόρου ζώου μολύνεται από κυτταρικό υλικό, όπως είναι τα επιθηλιακά κύτταρα. Εν συνεχεία, είναι πιθανό το γάλα να προσβληθεί και από άλλα ξένα σώματα όπως τρίχες, φύλλα και χώμα τα οποία μειώνουν την ποιότητα του προϊόντος.⁵ Με τη βελτίωση των συνθηκών υγιεινής κατά την άμελη, τη μεταφορά και τα ενδιάμεσα στάδια, παραλαμβάνεται από τη βιομηχανία μία πιο καθαρή πρώτη ύλη, ωστόσο είναι απαραίτητος ο καθαρισμός. Ακολουθούνται πολλές μέθοδοι για την επίτευξη αυτού το σκοπού, με την πιο διαδεδομένη να αποτελεί η χρήση υφασμάτων φίλτρων.⁶ Τα φίλτρα έχουν πόρους διαμέτρου 25 – 100 μm και στηρίζονται σε μεταλλικό σκελετό. Σαφώς όσο μικρότερη είναι η διάμετρος των πόρων των φίλτρων τόσο καλύτερος καθαρισμός επιτυγχάνεται από αυτά και απαιτείται ταυτόχρονα μικρότερος χρόνος για τη διεργασία.⁶ Ένας άλλος τρόπος αφαίρεσης από το γάλα των ανεπιθύμητων σωμάτων είναι η φυγοκέντρωση. Η φυγόκεντρος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί, με διαφορετικές προδιαγραφές, για τον διαχωρισμό των λιπαρών (κρέμα), των ανεπιθύμητων βακτηρίων ή των ξένων σωμάτων. Οι διαδικασίες αυτές πολλές φορές μπορούν να συνδυαστούν και σε ένα μηχάνημα με τρεις ροές εξόδου, δηλαδή της κρέμας, του αποβουτυρωμένου γάλακτος και του ανεπιθύμητου υλικού.⁶ Στη γραμμή παραγωγής του γιαουρτιού το στάδιο του βακτηριοκαθαρισμού είναι περιττό, καθώς η μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος είναι επαρκής ώστε να εξαλείψει τους ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς. Συνεπώς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο φίλτρα για τον καθαρισμό.⁵

1.3.5 Αποκορύφωση

Η αποκορύφωση είναι η διεργασία κατά την οποία, μέσω φυγοκέντρωσης, υφίσταται διαχωρισμός του γάλακτος στο κλάσμα των λιπαρών και του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Ο διαχωρισμός της κρέμας από το υπόλοιπο γάλα μπορεί να γίνει με σκοπό την παραγωγή αποβουτυρωμένου γάλακτος, την τυποποίηση της περιεκτικότητάς του σε λιπαρά είτε την παραγωγή προϊόντων αυξημένων σε λιπαρά.

Όπως έχει προαναφερθεί, το γάλα αποτελεί γαλάκτωμα με τα λιποσφαίρια να βρίσκονται σε διασπορά στην υπόλοιπη υδατική μήτρα. Ο διαχωρισμός τους καθίσταται εφικτός χάρη στη διαφορετική τους πυκνότητα. Συγκεκριμένα, η πυκνότητα των λιποσφαιρίων είναι $0,93 \text{ g/cm}^3$ ενώ του αποβουτυρωμένου γάλακτος $1,035 \text{ g/cm}^3$. Ο διαχωρισμός της κρέμας συμβαίνει σε αργό ρυθμό από τη βαρύτητα, αλλά επιτυγχάνεται μηχανικά ως ένα στάδιο της κατεργασίας του γάλακτος, ώστε να ακολουθήσει η τυποποίηση των λιπαρών.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την αποκορύφωση είναι η θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται το ιξώδες το οποίο γίνεται ελάχιστο στο εύρος 75 – 85°C. Πάνω από αυτό το όριο το ιξώδες του γάλακτος αυξάνεται και πάλι καθώς λαμβάνει χώρα η μετουσίωση των πρωτεϊνών του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης της διεργασίας καθώς και την αύξηση του ποσοστού ιλύος. Η αποκορύφωση στη θερμοκρασία αποθήκευσης του γάλακτος, δηλαδή περί τους 5°C είναι η πιο συμφέρουσα επιλογή όσον αφορά την αξιοποίηση της ενέργειας. Ωστόσο, δεν επιλέγεται διότι για την επίτευξη της ίδιας απόδοσης διαχωρισμού απαιτείται η μείωση της ροής εισόδου κατά το ήμισυ. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις μεταβολές η βέλτιστη θερμοκρασία αποκορύφωσης που συναντάται στη βιομηχανία βρίσκεται στο εύρος 50 – 60°C.⁶

1.3.6 Τυποποίηση λιπαρών

Η τυποποίηση των λιπαρών είναι μία διαδικασία που αποσκοπεί στην τροποποίηση της περιεκτικότητας λιπαρών, ώστε να ικανοποιεί τα προκαθορισμένα όρια. Μετά την αποκορύφωση όπου η κρέμα έχει διαχωριστεί από το αποβουτυρωμένο γάλα, μπορεί να γίνει επανανάμειξή τους σε κάποιο σιλό ώστε το γάλα να αποκτήσει το ποσοστό - στόχο λίπους. Ένας άλλος τρόπος επίτευξης του επιθυμητού λίπους στο γάλα είναι η ανάμειξη δύο συνεχών ροών γάλακτος. Το ένα ρεύμα αποτελείται από αποβουτυρωμένο γάλα ενώ

το άλλο έχει την πλήρη ποσότητα λιπαρών. Οι ροές ρυθμίζονται ανάλογα με την αρχική περιεκτικότητα του γάλακτος σε λίπος.^{5,6}

1.3.7 Τυποποίηση στερεού υπολείμματος άνευ λίπους (Σ.Υ.Α.Λ.)

Ως Σ.Υ.Α.Λ. αναφέρεται το στερεό υπόλειμμα άνευ λίπους του γάλακτος που περιλαμβάνει κυρίως λακτόζη, πρωτεΐνες και μεταλλικά στοιχεία. Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε Σ.Υ.Α.Λ. επηρεάζει άμεσα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του παραγόμενου γιαουρτιού, ενώ ελέγχεται άμεσα από την ισχύουσα νομοθεσία. Γενικότερα, η αύξηση της ποσότητας αυτών των συστατικών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πιο συμπαγών, ιξωδών πηγμάτων. Η νομοθεσία αποσκοπεί στην προστασία του καταναλωτή, ώστε το Σ.Υ.Α.Λ. να είναι κοντά στις συνήθεις τιμές του γάλακτος. Κατά την ελληνική νομοθεσία επιτρέπεται η προσθήκη στερεών συστατικών από γάλα ίδιου ζώου, έτσι ώστε στο γιαούρτι να μην ξεπερνά το Σ.Υ.Α.Λ. του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε κατά 4 μονάδες.^{5,18} Επιπλέον, η προσθήκη στερεών άνευ λίπους σε μεγάλη συγκέντρωση επηρεάζει την υγρασία που είναι διαθέσιμη για κάποια στελέχη της καλλιέργειας εκκίνησης καθυστερώντας την ζύμωση.⁵

Συνοπτικά αναφέρονται οι τρόποι τυποποίησης του Σ.Υ.Α.Λ. :

- Προσθήκη σκόνης γάλακτος.
- Προσθήκη σκόνης βουτυρογάλακτος.
- Προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος ή πρωτεϊνικών συμπυκνωμάτων ορού γάλακτος.
- Προσθήκη καζεΐνης σε σκόνη.
- Συμπύκνωση μέσω εξάτμισης υπό κενό.
- Συμπύκνωση μέσω διήθησης με μεμβράνη.

1.3.8 Ομογενοποίηση

Η ομογενοποίηση είναι μία διεργασία κατά την οποία μειώνεται μηχανικά το μέγεθος των λιποσφαιρίων, ώστε να αποφευχθεί ο φυσικός διαχωρισμός τους από το γάλα. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η μείωση είναι με εφαρμογή πίεσης.¹⁹

Η φυσική τάση του γάλακτος, ως γαλάκτωμα, είναι η συσσωμάτωση των λιποσφαιρίων και η αύξηση του μεγέθους των μεγαλύτερων εξ αυτών εις βάρος των μικρότερων. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή μοιράζονται κάποια μεμβράνη είτε λόγω της αρχής Laplace, κατά την οποία η πίεση είναι μεγαλύτερη στο εσωτερικό των μικρών λιποσφαιριδίων έναντι των μεγαλύτερων. Αυτή η αυθόρμητη συσσωμάτωση σε συνδυασμό με την κίνηση Brown οδηγούν στη συγκέντρωση της κρέμας στην επιφάνεια του γαλακτώματος, και άρα στον διαχωρισμό της από το υπόλοιπο γάλα. Για να αποτραπεί η συσσωμάτωση του λίπους στο γάλα απαιτείται η μηχανική διατάραξη της μεμβράνης τους και η διατήρησή τους σε διασπορά έως ότου δημιουργηθεί καινούργια. Η διαταραχή αυτή μπορεί να συμβεί με επιβολή υψηλής πίεσης ή δονήσεων υψηλής συχνότητας ή αύξησης της ταχύτητας ροής του γάλακτος. Ο συμβατικός τρόπος ομογενοποίησης, που χρησιμοποιείται κατά βάση στη βιομηχανία είναι η εφαρμογή υψηλής πίεσης.⁴

Το μέγεθος των λιποσφαιρίων εξαρτάται από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση του γάλακτος, όπως είναι το είδος και η ηλικία του γαλακτοφόρου ζώου (υποκεφάλαιο 1.1.1). Η διάμετρός τους κυμαίνεται από 1 έως 10 μm με μέση τιμή τα 3,5 μm . Με την ομογενοποίηση επιτυγχάνεται η μείωση του μεγέθους αυτού σε τιμές 0,1 – 1 μm .^{4,5}

Τα κύρια συστατικά του γάλακτος (πρωτεΐνες, λιπίδια και λακτόζη) δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους πριν υποστεί κάποια επεξεργασία το γάλα. Χημικές και φυσικές μεταβολές και αλληλεπιδράσεις παρατηρούνται στα λιποσφαιρία μετά από έκθεσή τους σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

Οι διεργασίες που προκαλούνται από τη θερμότητα και την υψηλή πίεση προκαλούν χημικές και φυσικές αλλαγές στα σφαιρίδια του λίπους του γάλακτος. Κατά την ομογενοποίηση μειώνεται το μέγεθος των λιποσφαιριδίων. Παράλληλα, κάποια μικκύλια καζεΐνης διασπώνται και σταθεροποιούν τα νέα, μικρότερα λιποσφαιρία.⁵ Απαιτούνται περίπου 0,2 g πρωτεΐνης ανά 1 g λίπους, ώστε να καλυφθεί η νέα επιφάνεια.¹⁹ Όσον αφορά τις πρωτεΐνες του ορού, αυτές μπορεί να αλληλεπιδράσουν με τα λιπίδια εφόσον δεν εφαρμόζεται θέρμανση. Τα νέα σωματίδια λίπους έχουν διαφορετική δομή και αντίστοιχα ιδιότητες, αντιδρούν διαφορετικά κατά την πήξη του γάλακτος από τη θερμότητα ή τα ένζυμα.⁵ Για παράδειγμα, η παραγωγή γιαουρτιού από ομογενοποιημένο γάλα οδηγεί σε πιο σταθερό πήγμα. Συγκεκριμένα, η αύξηση της επιφάνειας διευκολύνει τη σύνδεση μεταξύ λίπους και πρωτεϊνών, ενώ το μικρότερο μέγεθος των λιποσφαιριδίων καθιστά πιο εύκολη την ενσωμάτωσή του στο πρωτεϊνικό δίκτυο.⁴

Ο συμβατικός τρόπος που εφαρμόζεται η ομογενοποίηση είναι η δημιουργία διατμητικής τάσης που διασπά τα μεγάλα συσσωματώματα του λίπους. Αυτό συμβαίνει ωθώντας τα μέσω σπών μικρής διαμέτρου (100 μm) υπό αυξημένη πίεση.²⁰ Το σύνθητες εύρος πίεσης που χρησιμοποιείται είναι 10 – 20 MPa.⁴ Η θερμοκρασία της διεργασίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 50°C, καθώς χαμηλότερη δεν θα προκαλούσε μεταβολές λόγω της σταθερότητας της λιπιδικής μεμβράνης.¹⁹ Το γάλα το οποίο προορίζεται για παραγωγή γιαουρτιού ομογενοποιείται σε θερμοκρασίες περί τους 70°C.⁵ Είναι σημαντικό, ωστόσο, να τονιστεί ότι το νωπό γάλα και τα λιπαρά του θα πρέπει να υποστούν όσο το δυνατόν πιο ήπια μηχανική καταπόνηση, ώστε να διατηρηθεί η ποιότητά τους.⁶

1.3.9 Θερμική κατεργασία του γάλακτος

Το νωπό γάλα, για να είναι ασφαλές για κατανάλωση, πρέπει να υποστεί κάποια θερμική κατεργασία. Σκοπός αυτής της κατεργασίας είναι η απενεργοποίηση των παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών που συναντώνται σε αυτό. Παράλληλα, λόγω της θερμότητας παρατηρείται μεταβολή κάποιων συστατικών του γάλακτος και απενεργοποίηση ορισμένων ενζύμων. Οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για τη θερμική κατεργασία του γάλακτος είναι να εξαλείψει τους παθογόνους μικροοργανισμούς και να απενεργοποιήσει το 99% γενικότερα των μικροοργανισμών, με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρηθεί η πλειονότητα των θρεπτικών συστατικών και να παραμείνει η οργανοληπτική ποιότητα του προϊόντος. Όλα αυτά είναι απαραίτητο να συμβαίνουν με κερδοφόρες, για τη βιομηχανία, γραμμές παραγωγής, δηλαδή με χαμηλό κόστος.⁶

Άλλες διεργασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών είναι οι ακόλουθες:

- Ακτινοβολήση με ακτίνες X, UV ή γ .
- Θέρμανση με ωμική αντίσταση.
- Εφαρμογή υψηλής πίεσης, 200 – 600 MPa σε θερμοκρασίες 40 – 60°C.
- Εφαρμογή υπερήχων.
- Εφαρμογή μικροκυμάτων.

Ωστόσο δεν εφαρμόζονται ευρέως λόγω του υψηλού κόστους, της μικρής απόδοσης στην απενεργοποίηση παθογόνων μικροοργανισμών ή και τυχόν νομικών περιορισμών.⁶

Η επίδραση της θερμικής κατεργασίας στο γάλα το οποίο προορίζεται για παρασκευή γιαουρτιού συνοψίζεται στα παρακάτω σημεία:

- Απενεργοποίηση παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών.
- Δημιουργία διεγερτικών ή ανασταλτικών παραγόντων για την καλλιέργεια εκκίνησης του γιαουρτιού.
- Μεταβολές φυσικοχημικών ιδιοτήτων του γάλακτος που επηρεάζουν τη δημιουργία του γιαουρτιού.⁵

Με την αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας επιτυγχάνεται ασφάλεια για το προϊόν και αύξηση του χρόνου ζωής του. Παρόλα αυτά, η υψηλή θερμοκρασία συνεπάγεται αλλοιώσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος αλλά και μετουσίωση των πρωτεϊνών του.¹⁷ Η ένταση που επιλέγεται σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από το προϊόν για το οποίο προορίζεται το γάλα. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι πιο συνήθεις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος.

Πίνακας 1.3.9.1. Συνθήκες θερμοκρασίας-χρόνου για ορισμένες θερμικές κατεργασίες γάλακτος και αντίστοιχες μεταβολές που προκαλούν σε αυτό. (Προσαρμοσμογή^{5,17})

Διεργασία	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος	Μεταβολές
Θέρμισμα	63 – 65	15 s	Σταθεροποίηση νωπού γάλακτος μέσω απενεργοποίησης ψυχρότροπων μικροοργανισμών.
Μη συνεχής παστερίωση	65	30 min	Καταστροφή σχεδόν όλων των παθογόνων μικροοργανισμών του γάλακτος, αλλά όχι όλων των βλαστικών κυττάρων των μικροοργανισμών.
Παστερίωση	72	15 s	Απενεργοποίηση μερικών ενζύμων. Οι πρωτεΐνες του ορού και η γεύση δεν μεταβάλλονται.
Υψηλή παστερίωση	85	4 – 20 s	Καταστροφή των βλαστικών κυττάρων αλλά όχι των σπορίων. Απενεργοποίηση των περισσότερων ενζύμων εκτός από κάποιες πρωτεΐνες και λιπάσες. Μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού.
	85	30 min*	
	90 – 95	5 min*	
Αποστείρωση στη συσκευασία	110 – 120	40 – 20 min	Καταστροφή σχεδόν όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων τους.
Αποστείρωση υψηλής θερμοκρασίας (UHT)	135 – 150	20 – 2 s	Μερικές UHT κατεργασίες δεν επαρκούν για απενεργοποίηση όλων των ενζύμων. Συμβαίνουν χημικές μεταβολές στο γάλα, επηρεάζονται επίσης τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

*Συνήθεις θερμικές κατεργασίες γάλακτος για την παραγωγή γιαουρτιού.

Η θέρμανση του γάλακτος μπορεί να γίνει σε συνεχή ή μη διεργασία. Η συνήθης πρακτική είναι η θέρμανσή του μέσω εναλλάκτη θερμότητας και η διατήρησή του (κράτημα) σε εξωτερικό μονωμένο σωλήνα για το απαραίτητο χρονικό διάστημα. Είναι σημαντικό να τονιστεί πως για την παραγωγή του γιαουρτιού απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι παστερίωσης, ώστε να μετουσιωθούν οι πρωτεΐνες του ορού και να βελτιωθούν οι ιδιότητες του πηγματος που θα δημιουργηθεί.⁸ Οι συνήθεις θερμικές κατεργασίες που εφαρμόζονται στο γάλα από το οποίο παράγεται γιαούρτι είναι σημειωμένες με * στον πίνακα 1.3.9.1.

Όλα τα συστατικά του γάλακτος επηρεάζονται από τη θερμότητα. Ανάλογα με την ένταση της θέρμανσης, μεταβάλλουν το τελικό πήγμα του γιαουρτιού σε μεγάλο ή μικρότερο βαθμό. Οι πρωτεΐνες ορού μετουσιώνονται και συσσωματώνονται, παράγονται ενεργές μερκαπτο-ομάδες (-SH) ενώ οι ανοσοσφαιρίνες απενεργοποιούνται. Οι μεταβολές αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την καταστροφή της λακτεΐνης (αναστολέα της βακτηριακής ανάπτυξης) και τη μείωση του οξειδοαναγωγικού δυναμικού (Eh). Το πήγμα που προκύπτει λόγω της μεταβολής των πρωτεϊνών του ορού είναι λιγότερο κρεμώδες, πιο σταθερό και έχει γεύση «μαγειρεμένου». Η καζεΐνη υδρολύεται μερικώς, απελευθερώνοντας γλυκοπεπτίδια και παράλληλα

παρατηρείται δημιουργία και καταστροφή συσσωματωμάτων. Στο γιαούρτι παρατηρείται αύξηση των ελεύθερων αμινοξέων και των πεπτιδίων, μειώνεται η συναίρεση και δημιουργείται το πρωτεϊνικό δίκτυο. Επιπροσθέτως η λακτόζη αποσυντίθεται προς οργανικά οξέα που επηρεάζουν άμεσα την ανάπτυξη των βακτηριακών καλλιέργειών αλλά και τη γεύση του γιαουρτιού. Τέλος, η θερμότητα καταστρέφει κάποιες βιταμίνες και ένζυμα. Τα κύρια συστατικά είναι χρήσιμα για τον ανθρώπινο οργανισμό συνεπώς η έλλειψή τους μειώνει τη θρεπτική αξία του προϊόντος. Αντίθετα, η απενεργοποίηση των ενζύμων είναι θετική για το γιαούρτι καθώς μειώνεται η τάση προς υδρολυτικό ταγγισμό και η δημιουργία πικρής γεύσης.⁵

1.3.10 Εμβολιασμός

Για την παραγωγή του γιαουρτιού το γάλα πρέπει να αποκτήσει θερμοκρασία κατάλληλη, ώστε να εμβολιαστεί με την καλλιέργεια εκκίνησης. Η καλλιέργεια που χρησιμοποιείται ώστε το προϊόν να χαρακτηρίζεται «γιαούρτι» είναι συμβιωτική με τα βακτήρια *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*.¹⁸ Η μέθοδος που προτιμάται από τη βιομηχανία είναι η σύντομη επώαση, η οποία έχει βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας 40 – 45°C.⁵ Ανάλογα με το είδος γιαουρτιού που είναι επιθυμητό, η καλλιέργεια εκκίνησης προστίθεται σε δεξαμενές που περιέχουν το γάλα (που έχει ψυχθεί στη θερμοκρασία επώασης) ή σε κύπελα τα οποία περιέχουν το γάλα όπου και αφήνονται προς επώαση. Σε κάθε περίπτωση, οι φυσικοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν και είναι υπεύθυνες για το σχηματισμό του πήγματος του γιαουρτιού καθώς και τις χαρακτηριστικές οργανοληπτικές του ιδιότητες, όπως η οσμή και η γεύση, είναι οι ίδιες.

1.3.10.1 Καλλιέργεια εκκίνησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω η καλλιέργεια εκκίνησης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γιαουρτιού αποτελείται από τα είδη βακτηρίων *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Η ανάπτυξη των δύο βακτηρίων ευνοείται στο γάλα όταν συνυπάρχουν και το ένα επιταχύνει την ανάπτυξη του άλλου. Συγκεκριμένα, ο στρεπτόκοκκος δεν είναι ισχυρά πρωτεολυτικός και το γάλα δεν περιέχει τα απαραίτητα πεπτίδια και αμινοξέα σε ικανή συγκέντρωση για την ανάπτυξή του. Η ανάπτυξη του στρεπτόκοκκου ενισχύεται από τη δράση του λακτοβάκιλλου ο οποίος είναι πρωτεολυτικός και δημιουργεί τα πεπτίδια και τα αμινοξέα που απαιτούνται. Αντίστοιχα, ο στρεπτόκοκκος ενισχύει την ανάπτυξη του λακτοβάκιλλου, διότι σχηματίζει φορμικό οξύ από το πυροσταφυλικό οξύ, υπό αναερόβιες συνθήκες παράγοντας ταχέα και CO_2 . Καθώς οι δύο καλλιέργειες ευνοούν η μία την ανάπτυξη της άλλης η παραγωγή γαλακτικού οξέος είναι μεγαλύτερη από ότι θα παρήγαγε κάθε μία ξεχωριστά. Στη συνέχεια της ζύμωσης ο στρεπτόκοκκος δεν μπορεί να αναπτυχθεί από μία τιμή οξύτητας και μετά. Παρόλα αυτά η άλλη καλλιέργεια είναι περισσότερο ανθεκτική στις χαμηλές τιμές pH όπου και συνεχίζει την ανάπτυξή της. Η αναλογία στην οποία χρησιμοποιούνται τα δύο είδη εξαρτάται από τις ιδιότητες των εκάστοτε στελεχών. Η συνήθης αναλογία κατά μάζα των δύο βακτηριακών καλλιεργειών είναι 1:1 για την παραγωγή του γιαουρτιού.⁹

1.3.10.2 Μεταβολίτες

Κατά τη ζύμωση του γάλακτος από την καλλιέργεια εκκίνησης προκύπτουν κάποια προϊόντα που επηρεάζουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες του γιαουρτιού. Οι κύριοι μεταβολίτες που παράγονται είναι οι ακόλουθοι:

Γαλακτικό Οξύ: Κατά τη διάσπαση της λακτόζης δημιουργούνται μόρια γλυκόζης και γαλακτόζης. Η γαλακτόζη δεν αποσυντίθεται από την καλλιέργεια εκκίνησης. Αντίθετα, τα βακτήρια αξιοποιούν τη γλυκόζη από την οποία παράγουν γαλακτικό οξύ. Κάθε είδος βακτηρίου παράγει άλλο ισομερές του γαλακτικού οξέος, σχεδόν σε ίδιες ποσότητες. Ειδικότερα, ο *S. thermophilus* παράγει L(+) και ο *L. bulgaricus* D(-) γαλακτικό οξύ. Η περιεκτικότητα του γαλακτικού οξέος στο γιαούρτι είναι περίπου 0,8% W/W .

Ακεταλδεΐδη: Η ακεταλδεΐδη συνδράμει στο χαρακτηριστικό άρωμα του γιαουρτιού. Σχηματίζεται κυρίως από τον *L. Bulgaricus* που αξιοποιεί τη θρεονίνη που παράγει μέσω πρωτεόλυσης, ενώ παράλληλα αξιοποιεί και τη θρεονίνη που υπάρχει στο γάλα. Η περιεκτικότητα της ακεταλδεΐδης στο γιαούρτι είναι περίπου $10^{mg/kg}$.

Διακετύλιο: Ο *S. Thermophilus* και ο *L. Bulgaricus* σχηματίζουν διακετύλιο, με τον δεύτερο να το παράγει σε μικρότερη ποσότητα. Τα βακτήρια αυτά δεν αποσυνθέτουν το κιτρικό οξύ. Έτσι, το πυροσταφιλικό οξύ που σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της ζύμωσης της γλυκόζης αποτελεί το μόνο συστατικό στο γιαούρτι που είναι πρόδρομο του διακετυλίου. Η περιεκτικότητα του διακετυλίου στο γιαούρτι είναι σε εύρος $0,8 - 1,5^{mg/kg}$.

Πολυσακχαρίτες: Η καλλιέργεια εκκίνησης παράγει ένα στρώμα (γλυκοκάλυκας) το οποίο αποτελείται κυρίως από αλυσίδες πολυσακχαριτών και ειδικότερα γαλακτόζης. Εφόσον εκκριθούν εν μέρει στο υγρό ονομάζονται εξωπολυσακχαρίτες. Οι πολυσακχαρίτες επηρεάζουν σημαντικά τη συνοχή του γιαουρτιού. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το είδος του παραγόμενου πολυσακχαρίτη έχει περισσότερη επιρροή στη σύσταση του γιαουρτιού από ότι η ποσότητα του. Αυτό προκύπτει μέσω μελέτης διαφορετικών στελεχών των βακτηρίων τα οποία παράγουν διαφορετικές ποσότητες των πολυσακχαριτών.⁹

1.3.10.3 Σχηματισμός πήγματος

Ο σχηματισμός του πήγματος του γιαουρτιού οφείλεται σε διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές που συμβαίνουν κατά τη ζύμωση του γάλακτος. Η μείωση του pH στο γάλα, διαταράσσει τη δομή των μικκυλίων της καζεΐνης λόγω της διαλυτοποίησης του φωσφορικού ασβεστίου. Σε τιμή pH 4,6 όπου αποτελεί το ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης μειώνεται το καθαρό αρνητικό φορτίο της, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η ηλεκτροστατική απώθηση μεταξύ φορτισμένων ομάδων. Όταν το φωσφορικό ασβέστιο διαλυτοποιείται, εκτίθενται υπολείμματα φωσφοσερίνης που απωθούνται από την καζεΐνη όπως και άλλες φορτισμένες ομάδες. Οι ηλεκτροστατικές έλξεις όπως και η έλξη μεταξύ πρωτεϊνών ευνοούνται. Παρακάτω περιγράφονται οι μηχανισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά τη μείωση του pH.

Κατά την παραγωγή γαλακτικού οξέος από την καλλιέργεια, μειώνεται το pH του γάλακτος από τη φυσική του τιμή. Έως την τιμή pH 6,0 παρατηρείται μείωση του καθαρού αρνητικού φορτίου της καζεΐνης και της ηλεκτροστατικής άπωσης, ωστόσο σε pH μεγαλύτερο του 6,0 το φωσφορικό ασβέστιο δεν διαλυτοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Συνεπώς, τα μικκύλια της καζεΐνης δεν επηρεάζονται σημαντικά.

Με περαιτέρω μείωση του pH από 6,0 σε 5,0, μειώνεται περαιτέρω το αρνητικό φορτίο των μικκυλίων της καζεΐνης και πέραν από την ηλεκτροστατική άπωση διαταράσσεται η στερεοχημική ισορροπία του μορίου. Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι και εκείνοι που διατηρούν τη σταθερότητα της καζεΐνης στο αρχικό γάλα. Το φωσφορικό ασβέστιο σε pH 5,0 διαλυτοποιείται πλήρως αποσταθεροποιώντας την εσωτερική δομή των μικκυλίων. Ο μέγιστος διαχωρισμός παρατηρείται ανάμεσα στις τιμές pH 5,6 – 5,1, που μπορεί να αποδοθεί στην εξασθένιση μεταξύ της ισχύος των δεσμών μεταξύ καζεϊνών. Το είδος και η ποσότητα της καζεΐνης που διαχωρίζεται από τα μικκύλια επηρεάζονται και από τη θερμοκρασία. Οι περισσότερες καζεΐνες διαχωρίζονται από τα μικκύλια κατά την ψύξη από τους 30°C έως τους 4°C. Στις χαμηλές θερμοκρασίες οι υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις μεταξύ καζεϊνών είναι πολύ ασθενείς.

Τέλος, πλησιάζοντας το ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης η μείωση των ηλεκτροστατικών απώσεων γίνεται πιο έντονη, ενώ η έλξη μεταξύ καζεϊνών αυξάνεται χάρις σε υδροφοβικές αλληλεπιδράσεις. Η οξίνιση του

γάλακτος οδηγεί στη δημιουργία ενός τρισδιάστατου πρωτεϊνικού δικτύου που αποτελείται από συστάδες και αλυσίδες καζεϊνών.²¹

1.3.10.4 Μοντέλο Gompertz

Η εξέλιξη της ζύμωσης του γάλακτος από γιαούρτι, μπορεί να περιγραφεί από τη μεταβολή του pH με το χρόνο. Η μεταβολή αυτή είναι σιγμοειδής και ακολουθεί το τροποποιημένο μοντέλο Gompertz για τη βακτηριακή ανάπτυξη. Τα τρία τμήματα της καμπύλης φαίνονται στο σχήμα 1.3.10.1. Το πρώτο τμήμα αντιστοιχεί στη δράση του *S. Thermophilus*, το δεύτερο τμήμα που έχει τη μεγαλύτερη κλίση περιγράφει τη δράση και των δύο βακτηρίων και το τρίτο τμήμα τη δράση του *L. bulgaricus*.²²

Το μοντέλο φαίνεται στην παρακάτω σχέση.

$$pH = pH_o + (pH_\infty - pH_o) \cdot \exp \left\{ - \exp \left(\frac{\mu \cdot e}{pH_\infty - pH_o} \cdot (\lambda - t) + 1 \right) \right\}$$

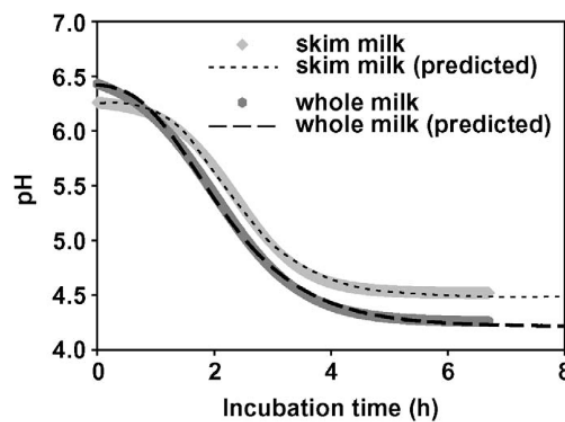
Οι τέσσερις παράμετροι του μοντέλου είναι οι εξής:

pH_o : το αρχικό pH

pH_∞ : το τελικό pH

λ : διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH [min]

μ : μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH [min^{-1}]



Σχήμα 1.3.10.1. Πειραματική και προβλεπόμενη (μέσω του μοντέλου Gompertz) μεταβολή του pH συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση πλήρους (whole) και αποβουτυρωμένου (skim) γάλακτος.²²

Αντίστοιχα, η μεταβολή του ιξώδους (μ_α) με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης μπορεί να περιγραφεί από το ίδιο μοντέλο με κάποιες μετατροπές, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση.²³

$$\mu_\alpha = \mu_{\alpha_o} + (\mu_{\alpha_o} - \mu_{\alpha_\infty}) \cdot \exp \left\{ - \exp \left(\frac{\mu \cdot e}{\mu_{\alpha_o} - \mu_{\alpha_\infty}} \cdot (\lambda - t) + 1 \right) \right\}$$

Όπου:

μ_{α_o} : το αρχικό φαινόμενο ιξώδες [cP]

μ_{α_∞} : το τελικό φαινόμενο ιξώδες [cP]

λ: διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους [*min*]

μ: μέγιστος ρυθμός αύξησης του ιξώδους [*min*⁻¹]

1.3.11 Ψύξη

Ο πιο συνήθης τρόπος διακοπής της ζύμωσης και ελέγχου της δραστηριότητας των ενζύμων είναι η ψύξη. Αφού επιτευχθεί η επιθυμητή οξύτητα στο προϊόν ξεκινά η ψύξη του. Ο στόχος είναι το προϊόν να αποκτήσει θερμοκρασία μικρότερη από 10°C όσο πιο σύντομα αυτό είναι εφικτό, καθώς σε εκείνη την τιμή μειώνεται σημαντικά η δράση των βακτηρίων. Η ψύξη μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα ή δύο στάδια.

Η ψύξη σε ένα στάδιο δεν συναντάται πολύ συχνά στη βιομηχανία. Κατά τη διαδικασία αυτή το γιαούρτι ψύχεται απευθείας από τη θερμοκρασία επώασης σε θερμοκρασία μικρότερη των 10°C. Επιλέγεται αυτή η προσέγγιση καθώς το πήγμα είναι πιο σταθερό σε χαμηλότερη θερμοκρασία (λ.χ. 5°C) και έτσι θα προκληθεί λιγότερη υποβάθμιση σε αυτό κατά τα επόμενα στάδια της επεξεργασίας όπως είναι η ανάδευση για την ενσωμάτωση φρούτων. Παρόλα αυτά, σε μία πιο υψηλή θερμοκρασία το πήγμα ρέει πιο εύκολα, συνεπώς είναι πιο εύκολο να μεταφερθεί μέσω του εξοπλισμού, ώστε να κατεργαστεί περαιτέρω χωρίς να υπάρξει μεγάλη υποβάθμιση της δομής του.

Κατά την ψύξη σε δύο στάδια, μειώνεται η θερμοκρασία του γιαουρτιού από τη θερμοκρασία επώασης έως τους 20°C περίπου και ακολουθεί η προσθήκη φρούτων ή άλλων υλικών όπου είναι απαραίτητο. Κατά το δεύτερο στάδιο, το γιαούρτι ψύχεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη των 10°C και μετά αφήνεται στη συσκευασία υπό ψύξη. Ο ρυθμός ψύξης του προϊόντος επηρεάζει την ποιότητα του πηγματος. Όσον αφορά το αναμειγμένο γιαούρτι, προτείνεται η ψύξη του έως τους 24°C και στη συνέχεια ψύξη του έως τη θερμοκρασία συντήρησης μέσα στη συσκευασία. Το δεύτερο στάδιο δε, όσο πιο αργά διενεργηθεί, σε ένα διάστημα 12 h, έχει το βέλτιστο αποτέλεσμα στην ποιότητα του πηγματος.

Γενικότερα, στη βιομηχανική παραγωγή του γιαουρτιού ξεκινά η ψύξη του σε σχετικά υψηλή τιμή pH και η τελική τιμή που θα αποκτήσει το προϊόν εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο ψύχεται. Επιλέγεται συνήθως, αφού συσκευαστεί το γιαούρτι, να υποστεί θερμικό σοκ σε σήραγγα ψύξης προτού αποθηκευτεί στη θερμοκρασία συντήρησης (2 – 4°C).⁵

1.3.12 Προσθήκη φρούτων – βελτιωτικών οσμής - χρωστικών

Στο απλό γιαούρτι, πολλές φορές, προστίθενται διάφορα συστατικά, ώστε να δημιουργηθεί ένα πιο ελκυστικό προϊόν για τους καταναλωτές. Τέτοια συστατικά είναι τα φρούτα, φυσικά ή συνθετικά αρώματα και χρωστικές. Οι ουσίες και οι ποσότητες στις οποίες επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν ορίζονται από τη νομοθεσία κάθε χώρας και διαφέρουν σε κάθε μία.

Για τη βελτίωση της γεύσης του γιαουρτιού είναι δυνατό να αναμειχθεί με φρέσκα φρούτα, ωστόσο δεν συνηθίζεται από τη βιομηχανία καθώς υπάρχουν εποχιακοί περιορισμοί. Μία καταλληλότερη λύση είναι η χρήση επεξεργασμένων φρούτων, τα οποία μπορούν να τυποποιηθούν, ώστε να πληρούν τις προδιαγραφές του προϊόντος. Οι τύποι επεξεργασμένων φρούτων που χρησιμοποιούνται είναι μαρμελάδες, κονσερβοποιημένα ή κατεψυγμένα φρούτα και διάφορα προϊόντα τους όπως είναι ο πουρές ή το σιρόπι. Οι περισσότερες από αυτές τις μορφές φρούτων μπορεί να περιέχουν ζάχαρη ή και άλλα γλυκαντικά, σταθεροποιητές, αρωματικές ουσίες, χρωστικές και ρυθμιστές pH.

Τα φρούτα υπόκεινται σε θερμική κατεργασία είτε σε συνεχή διεργασία στους 100°C ή σε μη συνεχή διεργασία στους 85°C για 10 *min*. Η διεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση κάποιων χαρακτηριστικών των φρούτων όπως είναι της γεύσης τους. Συνεπώς, προστίθενται αρωματικές ή χρωστικές

ουσίες για να ενισχύσουν τη γεύση και την εμφάνιση του προϊόντος. Γενικότερα, τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των οργανοληπτικών ιδιοτήτων των γιαουρτιών μπορούν να συμπεριληφθούν και στην παραγωγή αναμειγμένου ή συνεκτικού γιαουρτιού, παγωμένου γιαουρτιού ή και ρευστού γιαουρτιού.⁵

1.3.13 Συσκευασία

Το γιαούρτι για να διανεμηθεί από την παραγωγή στην αγορά είναι απαραίτητο να συσκευαστεί κατάλληλα. Το υλικό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί με αυτόν τον σκοπό πρέπει να προστατεύει τα χαρακτηριστικά του γιαουρτιού και να το διατηρεί ασφαλές από επιμολύνσεις έως το τέλος της διάρκειας ζωής του. Απαραίτητα χαρακτηριστικά του υλικού συσκευασίας που επιλέγεται είναι:

- Η αντοχή σε μηχανική καταπόνηση και περιβαλλοντικούς παράγοντες.
- Η προστασία από μετανάστευση υλικών και οσμών, το φως, κλπ.
- Αδρανές υλικό, να μην αντιδρά με το προϊόν.
- Η απουσία τοξικών ουσιών.

Τα πιο συνήθη υλικά που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία για τη συσκευασία του γιαουρτιού είναι το πολυπροπυλένιο, το πολυστυρένιο και το πολυαιθυλένιο. Ένας σημαντικός περιοριστικός παράγοντας της επιλογής υλικού συσκευασίας είναι τα επίπεδα μετανάστευσης μονομερών από τα κύπελλα. Η μετανάστευση αυτή πέραν από τη φύση του υλικού, επηρεάζεται από την οξύτητα και την περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε λιπαρά, τη θερμοκρασία πλήρωσης του περιέκτη, καθώς και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Στο βιομηχανικό γιαούρτι συνήθως συναντώνται στυρένιο και αιθυλοβενζόλιο σε περιεκτικότητα $0,08 - 200 \mu\text{g}/\text{kg}$. Το στυρένιο μπορεί να αλλοιώσει τη γεύση του τελικού προϊόντος, καθώς το κατώφλι του έχει προσδιοριστεί ίσο με $0,2 \mu\text{g}/\text{g}$. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η τάση χρησιμοποίησης περισσότερων υλικών βιοσυσκευασίας όπως το πολυγαλακτικό οξύ (PLA), διότι είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον. Όσον αφορά άλλα υλικά συσκευασίας, πιο σπάνια συναντώνται κύπελλα από πηλό. Τέλος, το μέγεθος των κυπέλλων διαφέρει ανάλογα με το προϊόν, το σύννηθες είναι εκείνο της τάξης των 250 g .^{5,24}

1.4 Τροποποίηση συμβατικής παραγωγής γιαουρτιού

Στον συμβατικό τρόπο παραγωγής του γιαουρτιού πολλές φορές προστίθενται επιπλέον στάδια ή τροποποιούνται άλλα. Στόχος των μεταβολών είναι η βελτίωση των χαρακτηριστικών του προϊόντος όπως είναι η υφή, το άρωμα ή η ρευστότητά του. Παρακάτω αναλύονται περαιτέρω κάποιες τροποποιήσεις της παραγωγής των συμβατικών γιαουρτιών που είτε έχουν επιστημονικό ενδιαφέρον ως καινοτόμες μέθοδοι ή και μελετήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία αυτής της εργασίας.

1.4.1 Προσθήκη σταθεροποιητών – Υδροκολλοειδή

Κατά την παρασκευή διαφόρων γαλακτοκομικών προϊόντων γίνεται προσθήκη σταθεροποιητών ή και γαλακτωματοποιητών για τεχνολογικούς σκοπούς. Ανάλογα με τη χώρα παραγωγής και διανομής του προϊόντος μπορεί να υπάρχουν και νομικοί περιορισμοί για τη χρήση τους. Η εφαρμογή τους στην παραγωγή του γιαουρτιού γίνεται κυρίως για τη σταθεροποίησή του. Το γιαούρτι υπόκειται σε μηχανική καταπόνηση κατά την ανάδευση, τη μεταφορά μέσω αντλιών ή και την ενσωμάτωση άλλων συστατικών στο πήγμα και μέχρι την τελική συσκευασία του. Αυτοί και άλλοι χειρισμοί μπορεί να μεταβάλλουν το προϊόν, καθιστώντας το λιγότερο πηχτό ή ευνοώντας τη συναίρεση στο πήγμα, αλλοιώσεις που μπορούν να αποτραπούν εν μέρει με τη χρήση σταθεροποιητών.

Μία ομάδα σταθεροποιητών είναι τα υδροκολλοειδή, που αποτελούν πολυσακχαρίτες με τεχνολογική αξία στην παραγωγή τροφίμων. Προστιθέμενα σε μικρές περιεκτικότητες επιτυγχάνουν τη μεταβολή των ρεολογικών χαρακτηριστικών σε υγρά και ημιστερεά προϊόντα, λειτουργώντας ως γαλακτωματοποιητές ή σταθεροποιητές αυτών.²⁵ Η χρήση των υδροκολλοειδών στο γιαούρτι έχει επίδραση στην υφή, τη γεύση και τη ρεολογία του γιαουρτιού. Βελτιώνουν την ικανότητα συγκράτησης ύδατος αλλά και το ίδιο το πήγμα ως προς την συνοχή, την εμφάνιση αλλά και την υφή στο στόμα. Η κύρια λειτουργία τους έγκειται στη δημιουργία δεσμών μεταξύ αυτών και των πρωτεϊνών του γάλακτος, σταθεροποιώντας το δίκτυο που σχηματίζεται κατά τη ζύμωση.^{5,26}

Τα υδροκολλοειδή αναμειγνύονται με το γάλα πριν από τη ζύμωσή του, είτε ως καθαρά συστατικά είτε ως μείγματα συστατικών. Η επιλογή σταθεροποιητή έγκειται σε πληθώρα παραγόντων όπως είναι η διαλυτότητα, η τοξικότητα και η βέλτιστη συγκέντρωσή τους. Η συνήθης πρακτική χρησιμοποιεί μείγμα υδροκολλοειδών, ώστε να αλληλοαναιρούνται οι περιοριστικοί παράγοντες κάθε συστατικού.⁵ Κάποια από τα υδροκολλοειδή που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του γιαουρτιού είναι τα ακόλουθα.

1.4.1.1 Πηκτίνη

Η πηκτίνη αποτελεί ένα υδροκολλοειδές που έχει σημαντική τεχνολογική σημασία για τη βιομηχανία τροφίμων. Συγκεκριμένα, είναι μία ομάδα ετεροεπολυσακχαριτών που αποτελούνται κυρίως από τμήματα μεθοξυλιωμένου γαλακτουρονικού οξέος. Μόρια L-ραμνόζης παρεμβάλλονται σε 1,4-D-γαλακτουρονικό οξύ, ενώ δημιουργούνται πλευρικές αλυσίδες ουδέτερων σακχάρων. Συναντάται ως δομική μονάδα σε πολλά κύτταρα φρούτων και λαχανικών.²⁷

Η παραγωγή της πηκτίνης γίνεται μέσω αξιοποίησης βιομηχανικών παραπροϊόντων. Υπολείμματα μήλου ή φλοιοί εσπεριδοειδών υπόκεινται σε ειδική κατεργασία, η οποία περιλαμβάνει εκχύλιση με οξύ και στη συνέχεια καθίζηση με αλκοόλες ή άλατα αργιλίου, προς παραλαβή πηκτίνης κατάλληλης για εφαρμογές σε τρόφιμα και φάρμακα.²⁸ Βρίσκει εφαρμογή στην παραγωγή χυμών, ποτών ή μαρμελάδων με φρούτα, σε γλυκά καθώς και γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση.²⁷

Ανάλογα με την προέλευση της, η πηκτίνη, έχει διαφορετικές εφαρμογές. Η κατηγοριοποίηση της πηκτίνης όσον αφορά τη χρήση της σε γαλακτοκομικά προϊόντα, γίνεται σύμφωνα με την περιεκτικότητά της σε μεθοξυλομάδες. Πόσιμα γιαούρτια και μείγματα γάλακτος με χυμούς φρούτων σταθεροποιούνται από πηκτίνη με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθοξυλομάδες καθώς αυτή αποτρέπει τη συσσωμάτωση της καζεΐνης σε χαμηλές τιμές pH. Αντίθετα, η προσθήκη πηκτίνης με χαμηλή περιεκτικότητα σε μεθοξυλομάδες πριν τη ζύμωση οδηγεί σε πιο συνεκτικά και ιξώδη πηγμάτα. Χρησιμοποιείται σε γιαούρτια και ειδικότερα σε αυτά που ενσωματώνουν φρούτα, όπου αυτή η προσθήκη είναι επιτρεπτή από τη νομοθεσία.²⁸

1.4.1.2 Καραγενάνη

Με τον όρο καραγενάνη εννοείται μία ομάδα ανιονικών πολυσακχαριτών που παράγονται από κόκκινα φύκια. Η αξία της είναι κυρίως τεχνολογική καθώς χρησιμοποιούμενη σε συστήματα τροφίμων αυξάνει το ιξώδες τους, δημιουργεί πηγμάτα και γαλακτώματα χωρίς να είναι θρεπτική.²⁹ Αποτελείται από μία επαναλαμβανόμενη αλληλουχία των δισακχαριτών, D-γαλακτόζης και 3,6-ανυδρο-D-γαλακτόζης, ενωμένων με α-1,3 και β-1,4-γλυκοζιδικών δεσμών.^{29,30} Ευρέως χρησιμοποιούμενοι είναι τρεις τύποι η ι-, λ- και κ-καραγενάνη.³⁰ Οι κατηγορίες αυτές, έχουν προκύψει ανάλογα με τη διαλυτότητά τους στο χλωριούχο κάλιο. Δεν αντιπροσωπεύουν ακριβείς χημικές δομές αλλά γενικότερες διαφορές στη σύσταση που επηρεάζουν τις ιδιότητές τους. Για παράδειγμα, η κ-καραγενάνη χαρακτηρίζεται από περιεκτικότητα σε 3,6-ανυδρο-D-γαλακτόζη 28 – 35% και 25 – 30% σε θειικό εστέρα. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη ρεολογία των διαλυμάτων της καραγενάνης είναι η συγκέντρωση, η θερμοκρασία καθώς και η παρουσία άλλων ουσιών.

Ενώ η αύξηση της περιεκτικότητάς της σε ένα διάλυμα θα ευνοήσει την αύξηση του ιξώδους του, η αύξηση της θερμοκρασίας θα φέρει το αντίθετο αποτέλεσμα.²⁹ Η παρουσία του ασβεστίου επηρεάζει το πήγμα που δημιουργείται με διαφορετικό τρόπο για κάθε είδος καραγενάνης. Η ι-καραγενάνη θα σχηματίσει μαλακό πήγμα, σε αντίθεση με τη λ-καραγενάνη που δεν θα σχηματίσει καθόλου. Η κ-καραγενάνη δημιουργεί σφιχτό πήγμα και βιβλιογραφικά αναφέρεται η ενσωμάτωσή της στην παραγωγή γιαουρτιού σε συγκέντρωση 0,01 – 0,03%.³¹

1.4.2 Προϊόντα υδρολυμένης λακτόζης

Μεγάλα ποσοστά του πληθυσμού εμφανίζουν δυσανεξία στη λακτόζη, τον κύριο υδατάνθρακα του γάλακτος. Η ζύμωση του γάλακτος μειώνει σε κάποιο ποσοστό τη λακτόζη καθώς υδρολύεται από τη λακτάση που υπάρχει στην καλλιέργεια εκκίνησης. Πάραυτα, η διεργασία αυτή δεν είναι πάντα επαρκής, ώστε να μην εμφανίζουν συμπτώματα δυσανεξίας όλοι οι καταναλωτές. Ένας τρόπος τα γαλακτοκομικά προϊόντα να είναι κατάλληλα για αυτούς τους ανθρώπους είναι η παραγωγή προϊόντων υδρολυμένης λακτόζης. Η υδρόλυση της λακτόζης σε επαρκές ποσοστό μπορεί να επιτευχθεί με χημικές ή ενζυμικές διεργασίες.

Η υδρόλυση της λακτόζης με χρήση οξέων δεν χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, διότι αλλοιώνει τα προϊόντα. Η διατροφική αξία του γάλακτος χημικά υδρολυμένης λακτόζης υποβαθμίζεται. Παράλληλα, δημιουργούνται ανεπιθύμητα παραπροϊόντα που δημιουργούν δυσάρεστες οσμές, δυσάρεστη γεύση και ανεπιθύμητο χρώμα.³²

Η ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης είναι η μέθοδος που εφαρμόζεται για την παρασκευή προϊόντων μειωμένης περιεκτικότητας σε λακτόζη. Το ένζυμο το οποίο χρησιμοποιείται για την υδρόλυση της λακτόζης στο γάλα, όπως αναφέρεται στο υποκεφάλαιο 1.2.2, είναι η λακτάση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

1. Υδρόλυση σε χαμηλή θερμοκρασία (< 10°C) για μεγάλο χρόνο.
2. Υδρόλυση σε υψηλή θερμοκρασία (30 – 35°C) για 0,5 h.
3. Ταυτόχρονη υδρόλυση με τη ζύμωση από την οξυγαλακτική καλλιέργεια.

Στις πρώτες δύο περιπτώσεις, είναι επιθυμητή η σταθεροποίηση του pH κοντά στο 6,6 και η συνεχής ανάδευση του μείγματος γάλακτος - ενζύμου. Η απενεργοποίηση του ενζύμου επέρχεται με τη μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος. Στην τρίτη περίπτωση η απενεργοποίηση του ενζύμου επέρχεται με τη σταδιακή οξίνιση του γάλακτος και σταματά κάτω από την τιμή pH 5,0.⁵

Οι συνθήκες στις οποίες συμβαίνει βιομηχανικά η υδρόλυση της λακτόζης εξαρτώνται από την προέλευσή της όπως φαίνεται και στον πίνακα 1.2.2.1. Η συνήθης διαδικασία που εφαρμόζεται είναι η ζύμωση σε δύο στάδια, δηλαδή υδρόλυση της λακτόζης του γάλακτος και στη συνέχεια ο εμβολιασμός του με την καλλιέργεια εκκίνησης. Μία εναλλακτική διεργασία για τη μείωση του χρόνου επαφής ενζύμου-υποστρώματος είναι η αύξηση της συγκέντρωσης της λακτόζης μέσω μεμβρανών. Με αυτόν τον τρόπο η διεργασία γίνεται πιο ευέλικτη παρόλο που απαιτούνται περισσότερα στάδια.



Σχήμα 1.4.2.1. Διεργασία παραγωγής ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων σε δύο στάδια.³³

Επιπλέον, η επιτάχυνση της ζύμωσης μπορεί να επιτευχθεί με προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος στο προς ζύμωση μείγμα. Η αύξηση της περιεκτικότητας της πρωτεΐνης μειώνει την ενεργότητα του νερού, το οποίο συνεπάγεται αύξηση της διαθεσιμότητας της λακτόζης. Η βέλτιστη παραγωγή, ωστόσο, έγκειται στον συνδυασμό βιοκατάλυσης και ζύμωσης σε ένα στάδιο για να επιταχυνθεί η παραγωγή και να απαλειφθούν τα μειονεκτήματα των δύο αυτών σταδίων. Επιδιώκεται ο συνδυασμός λακτάσης από διαφορετικούς οργανισμούς και άρα με διαφορετικά εύρη pH δράσης. Με αυτήν την πρακτική γίνεται εφικτή η υδρόλυση το δισακχαρίτη αυτού παράλληλα με την οξίνιση του γάλακτος και συνεπώς τη δημιουργία του πήγματος του γιαουρτιού. Για παράδειγμα, η παρασκευή εμπορικού ενζύμου που προέρχεται από *Kluyveromyces lactis* και *Aspergillus niger* μπορεί να επιτύχει υδρόλυση της λακτόζης σε pH περίπου 7,0 έως 4,0 καλύπτοντας όλο το εύρος της ζύμωσης του γάλακτος προς γιαούρτι.^{13,33}

Ένα τεχνικό πρόβλημα που προκύπτει από τη χρήση του ενζύμου που προέρχεται από μικροοργανισμούς είναι η χαμηλή σταθερότητά του. Απαιτείται η ανανέωση της ποσότητας του ενζύμου σε κάθε παρτίδα γάλακτος που επεξεργάζεται. Η αποφυγή αυτής της διαδικασίας μπορεί να επιτευχθεί με την ανάπτυξη συνεχών μεθόδων λειτουργίας. Συγκεκριμένα, προτείνεται η ακινητοποίηση του ενζύμου με συνδυασμό σταθεροποιητικών παραγόντων όπως είναι τα οργανικά άλατα και η χρήση θερμοφίλης λακτάσης. Η θερμοφιλή λακτάση επιτρέπει την επεξεργασία σε υψηλότερες θερμοκρασίες ή και ασηπτικές συνθήκες χωρίς να απενεργοποιείται. Η συσχέτιση των δύο αυτών παραγόντων επιτρέπει την ανάπτυξη συνεχών διεργασιών αλλά και τον συνδυασμό της υδρόλυσης της λακτάσης με τη θερμική κατεργασία του γάλακτος.³²

1.4.3 Λειτουργικά προϊόντα – Προβιοτικά βακτήρια

Ως λειτουργικά τρόφιμα ορίζονται τα τρόφιμα τα οποία, πέρα από τη βασική διατροφική τους αξία, παρέχουν αποδεδειγμένα οφέλη στην ομαλή λειτουργία του ανθρώπινου οργανισμού ή μειώνουν τον κίνδυνο χρόνιων νόσων. Μία υποκατηγορία των λειτουργικών τροφίμων αποτελούν τα προβιοτικά προϊόντα. Τα προβιοτικά βακτήρια είναι ζωντανοί μικροοργανισμοί οι οποίοι όταν χορηγούνται σε επαρκείς ποσότητες ωφελούν τον ξενιστή. Η συστηματική κατανάλωση προβιοτικών φέρνει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Κάποια οφέλη είναι, η μείωση της χοληστερόλης, η διέγερση του ανοσοποιητικού, αντικαρκινογόνα αποτελέσματα και η διατήρηση της εντερικής υγείας και γενικότερα της ευημερίας.⁸

Είναι απαραίτητη η τακτική κατανάλωση προβιοτικών προϊόντων, ώστε να επιτυγχάνονται οι ευεργετικές τους ιδιότητες. Νομικά δεν έχει οριστεί κάποια «δόση» των βακτηρίων αυτών η οποία να θεωρείται ικανή να έχει το θετικό τους αποτέλεσμα. Η Διεθνής Ομοσπονδία Γαλακτοκομικών Προϊόντων (FDI) προτείνει ως προβιοτικά προϊόντα να θεωρούνται αυτά που περιέχουν έως την αναγραφόμενη ημερομηνία λήξης βακτήρια βιώσιμα, ενεργά και άφθονα σε συγκέντρωση, το λιγότερο, 10^7 CFU/g. Η καθημερινή ποσότητα

προβιοτικών η οποία πρέπει να λαμβάνεται για να επιτυγχάνονται τα οφέλη για την υγεία του καταναλωτή είναι περίπου 10^9 CFU.³⁴

Οι βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορούν να καταναλωθούν τα προβιοτικά είναι:

- Προστιθέμενα σε τρόφιμα ως συμπυκνωμένες καλλιέργειες σε μεσαία επίπεδα, με μικρή ή χωρίς καθόλου δυνατότητα ανάπτυξης.
- Ενσωματωμένα σε γαλακτοκομικά προϊόντα στα οποία μπορούν να αναπτυχθούν σε υψηλά επίπεδα υποβοηθώντας τη ζύμωση του γάλακτος.
- Ως συμπληρώματα διατροφής ενσωματώνονται σε μορφή συμπυκνωμένων και αφυδατωμένων κυττάρων σε σκόνες, κάψουλες ή ταμπλέτες, διαφόρων δόσεων.⁵

Τα βακτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται ως προβιοτικά ανήκουν κυρίως στα γένη *Lactobacillus* και *Bifidobacterium*. Αυτά τα δύο γένη απαντώνται φυσικά στο ανθρώπινο έντερο και έχουν ρυθμιστικό ρόλο όσον αφορά την εντερική μικροχλωρίδα.⁸ Για την παρασκευή γαλακτοκομικών προϊόντων χρησιμοποιούνται κυρίως οι εξής καλλιέργειες: *Lb. acidophilus*, *Lb. casei*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. plantarum*, *B. bifidum*, *B. longum*.

Τα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα τα οποία περιλαμβάνουν προβιοτικά μπορούν να παραχθούν μέσω της ζύμωσης του γάλακτος από την προβιοτική καλλιέργεια εξ ολοκλήρου ή σε συνδυασμό με τη συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης του εκάστοτε προϊόντος. Υπάρχει επιπλέον η τάση για μη ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα από τα προβιοτικά τα οποία όμως τα ενσωματώνουν, τότε τα προβιοτικά προετοιμάζονται χωριστά. Για παράδειγμα, προβιοτικά ρευστά γιαούρτια μπορούν να δημιουργηθούν εφόσον κατά την ανάδευση του πήγματος με το σιρόπι το μείγμα ενισχύεται με σταθερή βιομάζα προβιοτικών βακτηρίων.

Η βασική δυσκολία στην παραγωγή προβιοτικών προϊόντων έγκειται στην επιβίωση και την περιεκτικότητα των βακτηρίων στο προϊόν. Ο ισχυρισμός των προβιοτικών έχει πολύ χαμηλό ποσοστό επιτυχίας. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι στις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το οξύγνο, η οξύτητα και η συγκέντρωση αλάτων, καθώς επηρεάζουν τη βιωσιμότητά τους. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί πως λόγω του χαμηλού pH που αποκτά το γιαούρτι η επιβίωση των Bifido-βακτηρίων σε αυτό είναι αρκετά χαμηλή. Η βιωσιμότητα των προβιοτικών μπορεί να βελτιωθεί με κατάλληλη επιλογή στελεχών τα οποία είναι ανθεκτικά στα οξέα, χρήση δοχείων αδιαπέραστων από το οξύγνο, προσθήκη θρεπτικών συστατικών όπως πεπτίδια και αμινοξέα ή και με εγκλεισμό τους σε κατάλληλους φορείς.³⁴

Ο εγκλεισμός ή μικροενθυλάκωση είναι η διαδικασία κατά την οποία εσωκλείεται μία ουσία σε ένα κατάλληλο υλικό με σκοπό την παραγωγή σφαιριδίων μικρών διαστάσεων, της τάξης των *nm* ή μερικών *μm* που περικλείονται από λεπτή ημιπερατή μεμβράνη. Στην περίπτωση των προβιοτικών ο εγκλεισμός γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτυγχάνεται η απελευθέρωση των κυττάρων στο έντερο και με χρήση υλικών κατάλληλων για τρόφιμα.^{35,36} Η μικροενθυλάκωση βοηθά στην απομόνωση των κυττάρων από το περιβάλλον τους και άρα στην προστασία τους από αυτό. Παράλληλα, τα υλικά που χρησιμοποιούνται βοηθούν στη βελτίωση και σταθεροποίηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος στο οποίο προστίθενται τα προβιοτικά. Η ενθυλάκωση προβιοτικών κυττάρων γίνεται συνήθως σε πολυσακχαρίτες όπως αλγινικό οξύ, χιτοζάνη, άμυλο, κ-καραγενάνη, κυτταρίνη, ζελατίνη, πρωτεΐνες γάλακτος ή λίπη. Μέσω αυτής της τεχνικής μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και αύξηση της βιωσιμότητας για 2 λογαριθμικούς κύκλους όταν ενσωματώνονται σε ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα υπό ψύξη.³⁵

Αναφέρονται παρακάτω κάποιες τεχνικές κατάλληλες για τον εγκλεισμό των προβιοτικών σε μήτρα.³⁶

- Γαλακτωματοποίηση
- Εξώθηση
- Συσσωμάτωση
- Ξήρανση με ψεκασμό
- Ξήρανση με κατάψυξη
- Επικάλυψη με ψεκασμό

1.4.4 Καινοτόμες μέθοδοι παρασκευής γιαουρτιού

Τα τελευταία χρόνια η βιομηχανία τροφίμων προσανατολίζεται προς τη δημιουργία προϊόντων με χαμηλό βαθμό επεξεργασίας και υψηλή ποιότητα, με ταυτόχρονη απαίτηση για ασφαλή προϊόντα με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Κάποιες καινοτόμες μέθοδοι με αυτές τις απαιτήσεις που προτείνονται στην παρασκευή γιαουρτιού είναι η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης, παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ή υπερήχων.

1.4.4.1 Εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης

Η υπερυψηλή πίεση (Ultra High Pressure, UHP) αφορά εύρη πίεσης 100 με 1000 MPa. Η εφαρμογή υπερυψηλής πίεσης χρησιμοποιείται ως μη θερμική μέθοδος για την παστερίωση του γάλακτος. Το αποτέλεσμα στην απενεργοποίηση των μικροοργανισμών της εφαρμογής πίεσης 400 – 600 MPa για 10 min (25°C) αντιστοιχεί σε αυτό της παστερίωσης σε χαμηλή θερμοκρασία. Μετά από κατεργασία με UHP παρατηρούνται επίσης μεταβολές στις πρωτεΐνες του γάλακτος. Τα μικκύλια της καζεΐνης διασπώνται σε μικρότερα και αυξάνεται η συγκέντρωσή της στον ορό του γάλακτος. Αντίστοιχα, σε ορισμένες πρωτεΐνες του ορού και κυρίως στη β-λακτοσφαιρίνη προκαλείται μετουσίωση με πίεση μεγαλύτερη από 500 MPa.

Η παρασκευή γιαουρτιού με χρήση γάλακτος που έχει επεξεργαστεί με UHP έχει θετική επίδραση στα χαρακτηριστικά του. Το πήγμα που προκύπτει είναι περισσότερο σταθερό και συνεκτικό, ενώ βελτιώνεται και η ικανότητα συγκράτησης ύδατος. Μεταβάλλεται και η υφή του γιαουρτιού, δίνοντας ένα καλύτερο προϊόν από ότι παρέχει η συμβατική θερμική παστερίωση.⁴

1.4.4.2 Εφαρμογή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων

Η χρήση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Fields, PEF) αποτελεί μία τεχνολογία που αξιοποιείται στην επεξεργασία τροφίμων. Συγκεκριμένα, ένα ηλεκτρικά αγώγιμο τρόφιμο τοποθετείται ανάμεσα σε ηλεκτρόδια όπου του επιβάλλεται υψηλή τάση για σύντομα επαναλαμβανόμενα χρονικά διαστήματα.³⁷ Η επεξεργασία αυτή εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της ηλεκτροδιάτρησης. Η ηλεκτροδιάτρηση συμβαίνει όταν εφαρμόζεται εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο σε κύτταρα, και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αποσταθεροποίηση της κυτταρικής μεμβράνης και η δημιουργία πόρων σε αυτήν με αποτέλεσμα να ευνοείται η μεταφορά μάζας διαμέσου της.³⁸ Σε περίπτωση που η ένταση του εφαρμοζόμενου πεδίου είναι αρκετά υψηλή η ηλεκτροδιάτρηση της μεμβράνης είναι αναντίστροφη, έτσι το κύτταρο δεν μπορεί να ανακτήσει τις ζωτικές του λειτουργίες και θανατώνεται.³⁷ Για τον λόγο αυτό η εφαρμογή PEF χρησιμοποιείται ως μη θερμική μέθοδος για την απενεργοποίηση αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Σε άλλες εφαρμογές διευκολύνεται η παραλαβή ενδοκυτταρικών ουσιών καθώς έχουν δημιουργηθεί τέτοιοι πόροι.

Η εφαρμογή PEF στο γάλα μειώνει την περιεκτικότητα σε ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς διατηρώντας τα θρεπτικά συστατικά του, διότι δεν περιλαμβάνει έντονη θέρμανση. Σε γάλα κατεργασμένο με PEF έντασης πεδίου 18,3 – 27,1 kV/cm για χρόνο έως 400 μs έγινε σύγκριση της διατήρησης των υδατοδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών σε σχέση με θερμικά παστεριωμένο γάλα. Η μόνη διαφορά που προέκυψε είναι πως η κατεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία διατήρησε περισσότερη βιταμίνη C σε σχέση με θερμική παστερίωση είτε στην περίπτωση της υψηλής θερμοκρασίας με μικρό χρόνο (HTST) είτε της χαμηλής

θερμοκρασίας μεγάλου χρόνου (LTLT). Τα αποτελέσματα των PEF όμως πλησίαζαν αρκετά την πρώτη θερμική κατεργασία. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο συμβατικό γάλα και το επεξεργασμένο με PEF. Συνεπώς, είναι μία καινοτόμα μέθοδος που μπορεί να διατηρήσει την ποιότητα του αρχικού προϊόντος επιτυγχάνοντας την ασφάλειά του.³⁹ Όμοια αποτελέσματα προκύπτουν και για το γιαούρτι το οποίο έχει προκύψει από ζύμωση γάλακτος επεξεργασμένου με PEF, το οποίο δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές στην υφή με το συμβατικό γιαούρτι.⁴

1.4.4.3 Εφαρμογή υπερήχων

Οι υπέρηχοι (Ultrasounds, US), ορίζονται ως ένα ακουστικό κύμα με συχνότητα υψηλότερη από αυτήν που είναι ικανός να ακούσει ο άνθρωπος, συνήθως μεγαλύτερη από 20 kHz. Η χρήση υπερήχων στην επεξεργασία του γάλακτος θεωρείται μία καινοτόμα μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί στην παραγωγή του γιαουρτιού. Το φαινόμενο πάνω στο οποίο βασίζεται αυτή η διεργασία είναι η σπηλαιώση. Συγκεκριμένα, με την εφαρμογή υπερήχων υψηλής έντασης, μεγαλύτερης των 10 W, σε ένα διάλυμα δημιουργείται βαθμίδωση της θερμοκρασίας, της πίεσης και της διατμητικής τάσης που εφαρμόζονται σε αυτό. Έτσι, οι US χρησιμοποιούνται για την ομογενοποίηση του γάλακτος, μειώνοντας το μέγεθος των λιποσφαιρίων του.⁴

Η μεμβράνη των λιπαρών δρα ως γαλακτωματοποιητής, ωστόσο λόγω της επιφανειακής τάσης σταδιακά αυτά συσσωματώνονται δημιουργώντας μεγάλα σώματα. Με την εφαρμογή υπερήχων μπορεί να επιτευχθεί η μείωση του μεγέθους των λιποσφαιρίων σε εύρος διαμέτρου 0,1 – 0,6 μm, χωρίς να δρουν άμεσα σε αυτά, αλλά μέσω του φαινομένου της σπηλαιώσης που δημιουργείται. Πέρα από το μέγεθος, έχει βρεθεί πως επηρεάζει τη σύσταση και τη δομή της μεμβράνης των λιπαρών, υπερτερώντας σε σχέση με το ομογενοποιητικό αποτέλεσμα των συμβατικών μεθόδων.²⁰ Με την εφαρμογή υπερήχων υψηλού μήκους κύματος επιτυγχάνεται μείωση και του μικροβιακού φορτίου στο γάλα, ωστόσο ευνοείται η έκκριση πτητικών και η αλλοίωση της γεύσης του.⁴

Η κατεργασία με υπερήχους έχει επίδραση και στις πρωτεΐνες του γάλακτος. Ειδικότερα, μεταβάλλει τη δευτεροταγή δομή των πρωτεϊνών επηρεάζοντας τη συσσωμάτωσή τους και τη μετουσίωσή τους.²⁰ Η μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος μετά από την εφαρμογή US σε αυτό, βελτιώνει τα χαρακτηριστικά του πήγματος του γιαουρτιού που παράγεται, καθώς έχει παρατηρηθεί και για αποβουτυρωμένο γάλα επεξεργασμένο με υπέρηχους πριν τη ζύμωση. Κατά τη μείωση του pH του γάλακτος, οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες τείνουν να συσσωματώνονται, διότι μειώνεται το απωστικό φορτίο, ενώ επιπλέον ενώνονται με μικκύλια καζεΐνης. Η ένωση αυτή ενισχύει τους δεσμούς που εμφανίζονται στο πλέγμα του γιαουρτιού, οδηγώντας στο βελτιωμένο πήγμα που παρατηρείται και πειραματικά.⁴

Το γάλα που έχει επεξεργαστεί με υπέρηχους, μετά από ζύμωση, δίνει προϊόντα με διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με το συμβατικά επεξεργασμένο. Λόγου χάρη, γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από τέτοιο γάλα εμφανίζει βελτιωμένα χαρακτηριστικά υφής. Έντονη κατεργασία με χρήση υπερήχων, δηλαδή αυξημένος χρόνος εφαρμογής και υψηλές συχνότητες, συντελούν στην αύξηση του ιξώδους του τελικού πήγματος. Επιπλέον, σε σύγκριση με το γιαούρτι που παράγεται από συμβατικά επεξεργασμένο γάλα, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος είναι αυξημένη, ενώ μειώνεται η συναίρεση, οδηγώντας σε ένα αρτιότερο τελικό προϊόν.⁴

1.4.5 Διατήρηση γιαουρτιού υπό κατάψυξη

Μία σημαντική μέθοδος συντήρησης τροφίμων είναι η κατάψυξη. Έτοιμα, ημιέτοιμα τρόφιμα ή συστατικά τους αποθηκεύονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα διατηρώντας πληθώρα θρεπτικών συστατικών.⁴⁰ Σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνεται κυρίως η επιβράδυνση ενζυμικών δράσεων, χημικών αντιδράσεων και

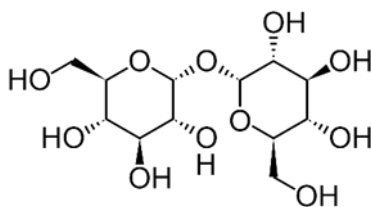
μείωση της δράσης των μικροοργανισμών. Η ψύξη επιτυγχάνεται με την εφαρμογή μίας σειράς διεργασιών. Στην περίπτωση της κατάψυξης γίνεται κρυστάλλωση του ελεύθερου νερού που υπάρχει στα τρόφιμα με μείωση της θερμοκρασίας τους κοντά στους -18°C . Το ποσοστό του νερού που θα παγώσει εξαρτάται από τη θερμοκρασία καθώς και την περιεχόμενη υγρασία του τροφίμου, συνεπώς το σημείο κατάψυξης θα διαφέρει ανάλογα με το τρόφιμο και τη σύστασή του.⁴¹

Η κατάψυξη μπορεί να προκαλέσει φθορές ή και την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών, όπως είναι η οξυγαλακτική καλλιέργεια στο γιαούρτι. Επιπλέον, κατά την αποθήκευση υπό κατάψυξη ή μετά την απόψυξη υφίστανται μεταβολές στη δομή και τη ρεολογία του γιαουρτιού, που έχουν επίδραση στην υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος. Οι κρύσταλλοι πάγου που σχηματίζονται στις χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να τραυματίσουν τη μεμβράνη των λιποσφαιρίων και έτσι να αυξηθεί ο ρυθμός της λιπόλυσης και της οξείδωσής τους κατά την αποθήκευση. Οι αντιδράσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δυσάρεστης γεύσης, την υποβάθμιση της συνεκτικότητας του πήγματος και της ικανότητας συγκράτησης ύδατος. Επιπλέον, η οξείδωση των λιπιδίων προκαλεί μείωση της περιεκτικότητας σε λιποδιαλυτές βιταμίνες υποβιβάζοντας και τη θρεπτική αξία του τροφίμου.⁴²

1.4.5.1 Κρυσπροστασία - Τρεχαλόζη

Κάποια κύτταρα είναι ευαίσθητα στην τάση που δημιουργείται κατά τη διαδικασία της ψύξης-απόψυξης. Η δημιουργία κρυστάλλων εσωτερικά των κυττάρων και η εφίδρωση που συμβαίνει κατά την κατάψυξή τους οδηγούν σε βλάβες στη μεμβράνη και τα οργανίδια τους. Η αντιμετώπιση αυτής της αλλοίωσης γίνεται με την προσθήκη ειδικών ουσιών στο σύστημα του τροφίμου, όπως είναι τα κρυσπροστατευτικά υλικά. Ο τρόπος δράσης των κρυσπροστατευτικών έγκειται στην προώθηση του νερού έξω από τα κύτταρα, ώστε να αποτρέπεται ο σχηματισμός κρυστάλλων στο εσωτερικό τους.⁴⁰ Η τρεχαλόζη προτείνεται για τέτοια χρήση καθώς αυξάνει την επιβίωση των μικροοργανισμών κατά την κατάψυξή τους. Επιπλέον, μπορεί να δράσει και ως πηγή άνθρακα για τα βακτήρια κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, λόγω χάρη σε περίπτωση ενσωμάτωσής της στο γιαούρτι.

Από χημικής άποψης η τρεχαλόζη είναι ένας δισακχαρίτης της γλυκόζης που δρα προστατευτικά στα λιπίδια και τις πρωτεΐνες των κυτταρικών μεμβρανών. Συναντάται ως μία σταθερή, άχρωμη σκόνη και δεν προσδίδει οσμές ή χρώμα στο τρόφιμο. Συγκρινόμενη με τη σακχαρόζη έχει περίπου τη μισή ένταση όσον αφορά τη γλυκύτητά της.⁴³



Σχήμα 1.4.5.1. Μοριακή δομή τρεχαλόζης.

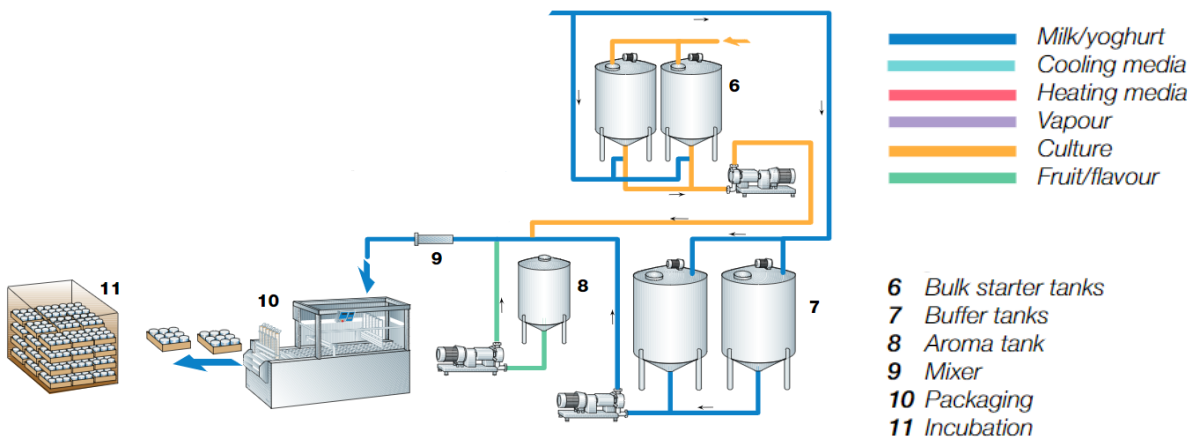
1.5 Ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα

1.5.1 Είδη γιαουρτιού

Ένα ζυμωμένο γαλακτοκομικό προϊόν για να θεωρείται γιαούρτι, πέραν άλλων απαιτήσεων, πρέπει να έχει ζυμωθεί από την οξυγαλακτική καλλιέργεια *Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* και να περιέχει τουλάχιστον $10^7 \frac{CFU}{g \text{ προϊόντος}}$. Υπάρχουν πολλά είδη γιαουρτιών, η διαφορά μεταξύ των οποίων έγκειται στον τρόπο παρασκευής τους και συνεπώς στα τελικά χαρακτηριστικά του πηγματούς τους. Τα πρώτα στάδια παραγωγής του γιαουρτιού ανεξαρτήτως είδους είναι σχεδόν ίδια όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.3.1. Τα πιο δημοφιλή είδη γιαουρτιού είναι το συνεκτικό (set) και το αναμειγμένο (stirred). Κάθε είδος ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε λιπαρά μπορεί να χαρακτηριστεί ως «χωρίς λιπαρά», «με χαμηλά λιπαρά» ή «πλήρες σε λιπαρά».^{1,8,18}

1.5.1.1 Συνεκτικό γιαούρτι

Το γάλα ακολουθεί τον συμβατικό τρόπο επεξεργασίας του. Συνοπτικά, μετά από την παραλαβή του, υπόκειται σε αποκορύφωση για τον διαχωρισμό των λιπαρών με σκοπό τη μετέπειτα τυποποίηση των λιπαρών. Ακολουθεί η τυποποίηση του στερεού υπολείμματος άνευ λίπους και η ομογενοποίησή του. Έπειτα, εφαρμόζεται θερμική κατεργασία στο γάλα κατάλληλης έντασης για την παραγωγή γιαουρτιού (λ.χ. στους 90°C για 5 min). Μετά τη θερμική του κατεργασία το γάλα ψύχεται στη θερμοκρασία επώασης, περί τους 45°C. Για την παραγωγή του συνεκτικού γιαουρτιού, το γάλα άμεσα μετά την ψύξη του στην κατάλληλη θερμοκρασία εμβολιάζεται με την καλλιέργεια εκκίνησης και διαμοιράζεται στα κύπελλα με τα οποία θα διατεθεί στην αγορά. Διατηρείται στη θερμοκρασία επώασης (45°C) έως το πέρας της ζύμωσης κατά το οποίο απαιτείται ψύξη του προϊόντος για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο οξύτητας. Η ψύξη σε αυτό το είδος γιαουρτιού επιτυγχάνεται είτε με εμφύσηση ψυχρού αέρα στο δωμάτιο επώασης είτε με μεταφορά τους σε κάποιον ειδικό χώρο θερμοκρασίας 2 – 4°C.¹

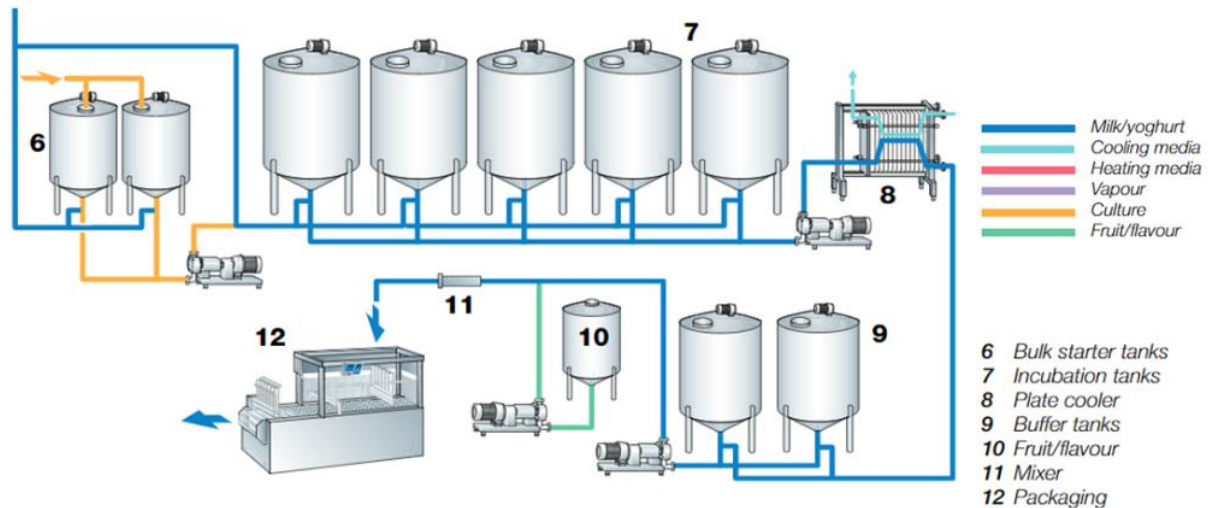


Σχήμα 1.5.1.1.1 Γραμμή παραγωγής συνεκτικού γιαουρτιού μετά την τυποποίηση του γάλακτος.¹⁷

1.5.1.2 Αναμειγμένο γιαούρτι

Για την παραγωγή αναμειγμένου γιαουρτιού μετά τη θερμική κατεργασία το γάλα εμβολιάζεται και ζυμώνεται σε δεξαμενές. Οι δεξαμενές είναι μονωμένες, έτσι ώστε να διατηρούν την κατάλληλη θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της ζύμωσης του γάλακτος προς γιαούρτι. Αφού επιτευχθεί η επιθυμητή οξύτητα, το προϊόν ψύχεται σε πρώτη φάση σε θερμοκρασία περί τους 15°C. Η ψύξη αυτή γίνεται είτε στη

δεξαμενή όπου έλαβε χώρα η ζύμωση είτε με ανάδευση και άντλησή του προς κάποιοι εναλλάκτη θερμότητας. Στη συνέχεια το γιαούρτι αναδεύεται και μπορεί να αναμειχθεί με επιπλέον φρούτα ή βελτιωτικά συστατικά. Αυτό το στάδιο μπορεί να διεκπεραιωθεί σε κάποια δεξαμενή ή σε αγωγούς ανάμειξης από όπου συσκευάζονται απευθείας κατά την έξοδο του γιαουρτιού από αυτά.¹



Σχήμα 1.5.1.2. Γραμμή παραγωγής αναμειγμένου γιαουρτιού μετά την τυποποίηση του γάλακτος.¹⁷

1.5.1.3 Στραγγιστό γιαούρτι

Ένα άλλο είδος γιαουρτιού που γίνεται περισσότερο δημοφιλές τα τελευταία χρόνια είναι το στραγγιστό γιαούρτι το οποίο κυκλοφορεί στη διεθνή αγορά και ως Greek-style yogurt.^{1,8} Το στραγγιστό γιαούρτι χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε στερεά λόγω του διαχωρισμού του ορού που υπόκειται.^{1,26} Συγκεκριμένα, ενώ ένα σύνθετο γιαούρτι έχει περιεκτικότητα περίπου 140 g/L σε Σ.Υ.Α.Λ. στο στραγγιστό αυτή η συγκέντρωση γίνεται $210 - 230 \text{ g/L}$.

Η συσσώρευση στερεών επιτυγχάνεται μέσω αφαίρεσης ή στράγγισης του ορού του γάλακτος. Η παραδοσιακή διαδικασία περιλάμβανε την αποθήκευση αναμειγμένου γιαουρτιού, στο οποίο δεν είχαν προστεθεί επιπλέον γλυκαντικά ή φρούτα, σε υφασμάτινους σάκους που κρέμονταν και αφήνονταν έως ότου αποστραγγιστεί ο ορός του γιαουρτιού σε επιθυμητό βαθμό. Σε βιομηχανική κλίμακα εφαρμόζονται σήμερα πιο γρήγορες και υγιεινές διαδικασίες για την αποστράγγιση του ορού, ενώ έχουν και λιγότερες απώλειες προϊόντος.¹ Οι διεργασίες διαχωρισμού που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή στραγγιστού γιαουρτιού είναι:

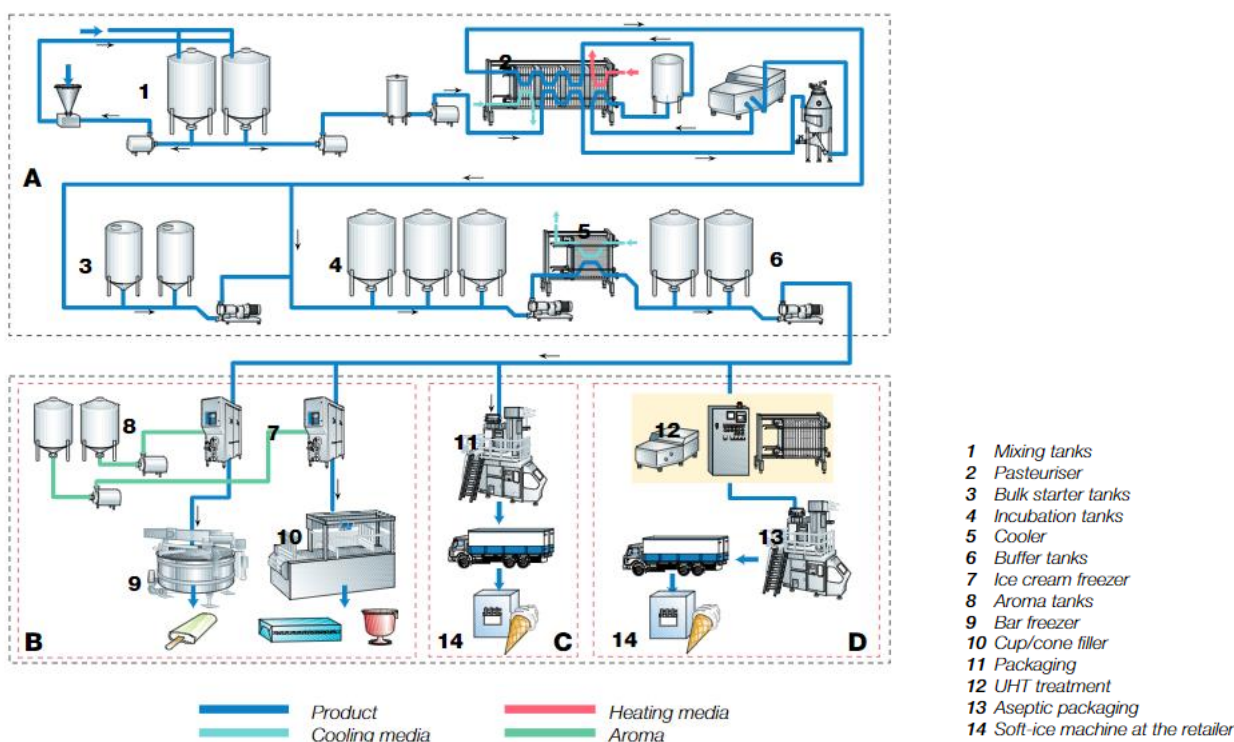
- Σύστημα Berge ή υφασμάτινοι σάκοι.
- Διαχωρισμός με φυγοκέντρωση.
- Υπερδιήθηση.

Τελικά, επιτυγχάνεται ένα πιο σφιχτό, πυκνό προϊόν με κρεμώδη υφή και λιγότερο έντονη γεύση λόγω της αφαίρεσης του ορού.⁵

1.5.1.4 Παγωμένο γιαούρτι

Το παγωμένο γιαούρτι (frozen) αποτελεί ένα γαλακτοκομικό προϊόν που προσομοιάζει με το παγωτό. Οι κύριες διαφορές των δύο έγκεινται στην ύπαρξη βιώσιμης καλλιέργειας στο παγωμένο γιαούρτι καθώς και στη χαμηλότερη περιεκτικότητά του σε λιπαρά συγκριτικά με το παγωτό.⁴⁴ Ένας τρόπος παραγωγής του

παγωμένου γιαουρτιού είναι με ανάμειξη κρύου αναμειγμένου γιαουρτιού με σταθεροποιητές, ζάχαρη, σιρόπι ή και φρούτα και στη συνέχεια κατάψυξη του μείγματος σε καταψύκτες παγωτού.⁵ Ο χρόνος ζύμωσης του μείγματος γιαουρτιού είναι μεγαλύτερος από ό,τι για το συμβατικό γιαούρτι, διότι το μείγμα γιαουρτιού περιέχει πολύ περισσότερους υδατάνθρακες. Για περιεκτικότητα σε σακχαρόζη 10 – 12% απαιτείται χρόνος επώασης 7 – 8 h για να επιτευχθεί pH 4,5. Το μείγμα ψύχεται και μπορεί να αναμειχθεί με επιπλέον γλυκαντικά. Στη συνέχεια το μείγμα είτε καταψύχεται περαιτέρω για να δημιουργηθεί το σκληρό παγωμένο γιαούρτι είτε συσκευάζεται ως μαλακό παγωμένο γιαούρτι.¹⁷



Σχήμα 1.5.1.3. Εναλλακτικές διεργασίες στη γραμμή παραγωγής του παγωμένου γιαουρτιού, όπου A) η παραγωγή του γιαουρτιού, B) σκληρό παγωμένο γιαούρτι, C) μαλακό παγωμένο γιαούρτι, D) μαλακό παγωμένο γιαούρτι μεγάλης διάρκειας ζωής.¹⁷

1.5.2 Άλλα πόσιμα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα

Τα όξινα γαλακτοκομικά ποτά (acid dairy drinks) είναι μία γενικότερη κατηγορία προϊόντων που υπάρχουν σε πληθώρα παραλλαγών στη διεθνή αγορά. Τα ποτά αυτά αποτελούν ένα οξινομένο πρωτεϊνικό σύστημα με παρόμοια σταθερότητα και ιξώδες με το γάλα. Η σύνθεσή τους έγκειται σε μία βάση που έχει υποστεί ζύμωση (όξινη) ή μία ουδέτερη βάση (γάλα) και ένα όξινο μέσο όπως είναι τα φρούτα. Κάποια τέτοια προϊόντα αποτελούν το πόσιμο γιαούρτι, το βουτυρόγαλα και το κεφίρ.⁴⁵

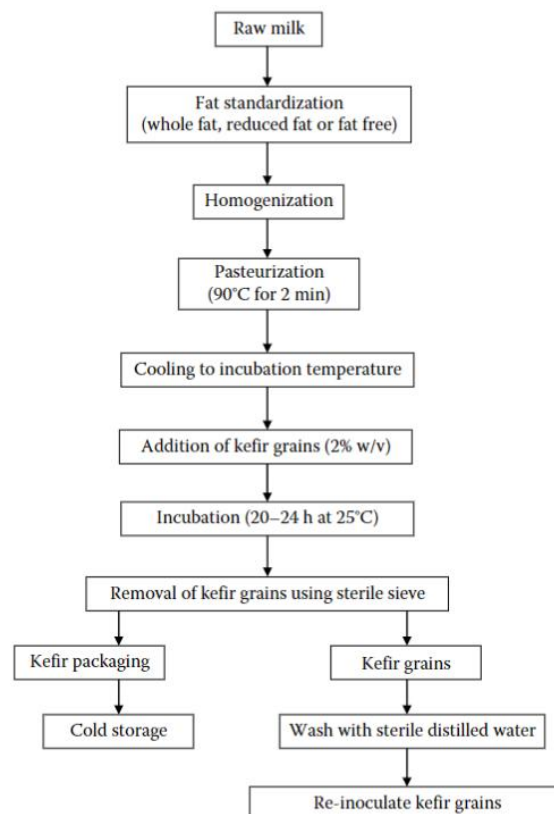
1.5.2.1 Κεφίρ

Το κεφίρ (kefir) είναι ένα ζυμωμένο γαλακτοκομικό προϊόν που περιέχει 1% αιθανόλη. Παράγεται από ζυμομύκητες και συνήθως τον *Kluyveromyces marxianus*. Η αιθανόλη και το διοξείδιο του άνθρακα που προκύπτουν από τη ζύμωση της λακτόζης επηρεάζουν τη γεύση και την υφή του προϊόντος. Χρησιμοποιείται κυρίως γάλα αγελάδας ή και μείξη αυτού με γάλα κατσίκας και προβάτου.

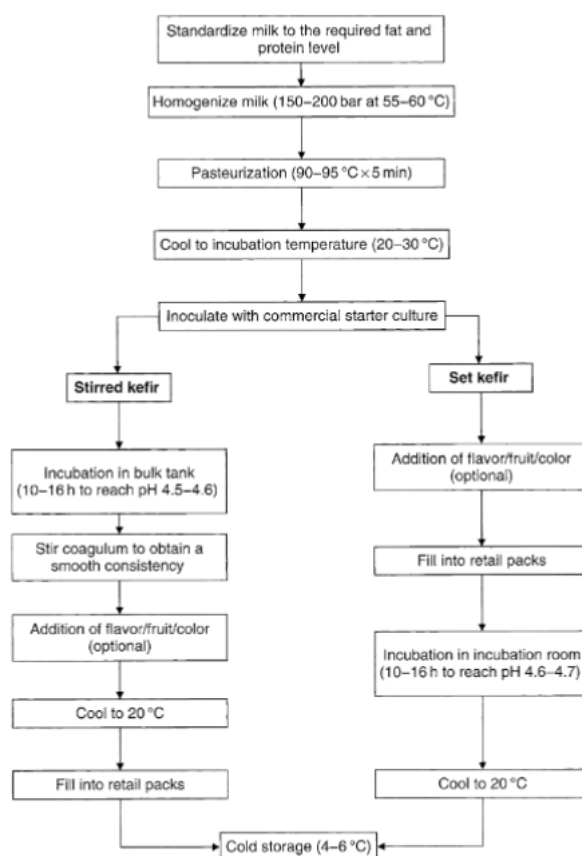


Σχήμα 1.5.2.1. Κόκκοι κεφίρ.⁴⁶

Οι δύο μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κεφίρ είναι είτε ο απευθείας εμβολιασμός του γάλακτος με την κατάλληλη συμβιωτική καλλιέργεια είτε με χρήση των κόκκων κεφίρ. Οι κόκκοι κεφίρ αποτελούν μία μείξη καλλιεργειών λακτοβάκιλλων (80 – 90%), ζυμομυκήτων (10 – 15%), βακτηρίων οξικού οξέος (*Acetobacter* spp.) και πιθανώς μυκήτων (*Geotricum candidum*), που συνδέονται μεταξύ τους με εξωπολυσακχαρίτες. Για την παραγωγή του κεφίρ το γάλα υπόκειται σε θερμική κατεργασία στους 90°C για 2 min, μετά ψύχεται περίπου στους 20°C όπου αναμειγνύεται με τους κόκκους κεφίρ. Το μείγμα αφήνεται να ζυμωθεί για περίπου 20 h έως ότου αποκτήσει οξύτητα 0,8% σε γαλακτικό οξύ και σε δεύτερο στάδιο αφήνεται για ανάπτυξη των μυκήτων στους 10°C για 8 h. Οι κόκκοι κεφίρ ανακτώνται και επαναχρησιμοποιούνται σε επόμενη ζύμωση. Αντίστοιχα, υπάρχουν λυοφιλοποιημένες καλλιέργειες εκκίνησης για την παραγωγή κεφίρ όπως φαίνεται από τη διαδικασία παραγωγής στο σχήμα 1.5.2.3.⁷



Σχήμα 1.5.2.2. Διάγραμμα ροής για την παραγωγή κεφίρ με χρήση κόκκων κεφίρ.²⁴



Σχήμα 1.5.2.3. Διάγραμμα ροής για την παραγωγή κεφίρ με χρήση εμπορικής καλλιέργειας.⁷

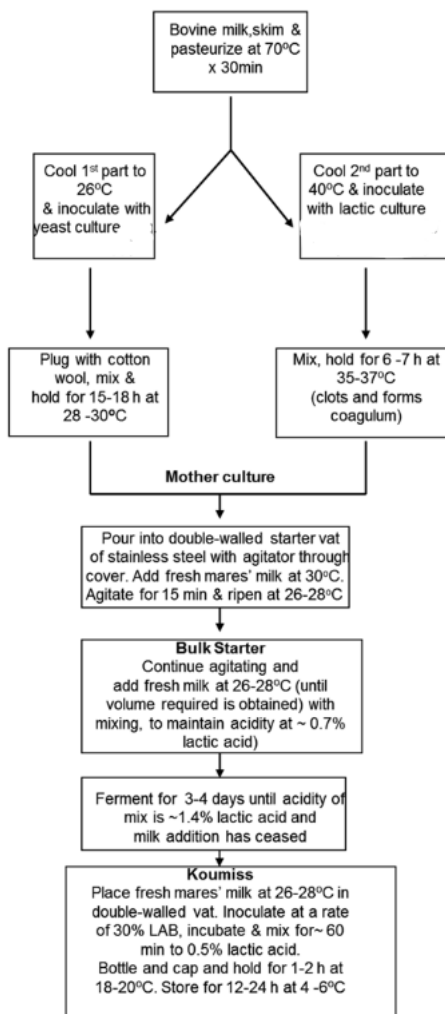
1.5.2.2 Κουμής

Ένα άλλο ζυμωμένο γαλακτοκομικό ποτό είναι το κουμής ή κιμής (koumiss/kimiz). Παραδοσιακά παράγεται από γάλα φοράδας ωστόσο, επειδή η διάθεσή του είναι περιορισμένη, σε βιομηχανική κλίμακα χρησιμοποιείται συνήθως αγελαδινό γάλα. Το γάλα της φοράδας σε σχέση με της αγελάδας περιέχει περισσότερη λακτόζη αλλά λιγότερο λίπος και πρωτεΐνες, συνεπώς πριν τη ζύμωση γίνεται τυποποίηση του δεύτερου για να πλησιάσει τις ιδιότητες του πρώτου.²⁴ Παραδοσιακά η ζύμωση του κουμής χρειάζεται 3 – 8 h και η καλλιέργεια που χρησιμοποιείται αποτελείται από *Lb. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lb. casei*, *L. lactis* subsp. *lactis*, *Kluveromyces fragilis* και *Saccharomyces unisporus*. Για την παραγωγή του κουμής σε μεγάλη κλίμακα απαιτούνται 3 στάδια: η προετοιμασία της μητρικής καλλιέργειας, προετοιμασία της καλλιέργειας εκκίνησης και η παραγωγή του κουμής. Ο εμβολιασμός με την καλλιέργεια ανέρχεται σε επίπεδο 30%, αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο ποσοστό που χρησιμοποιείται για την παρασκευή ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων. Είναι απαραίτητη η ανάδευση του μείγματος καθώς ο αερισμός προάγει την ανάπτυξη του ζυμομύκητα.

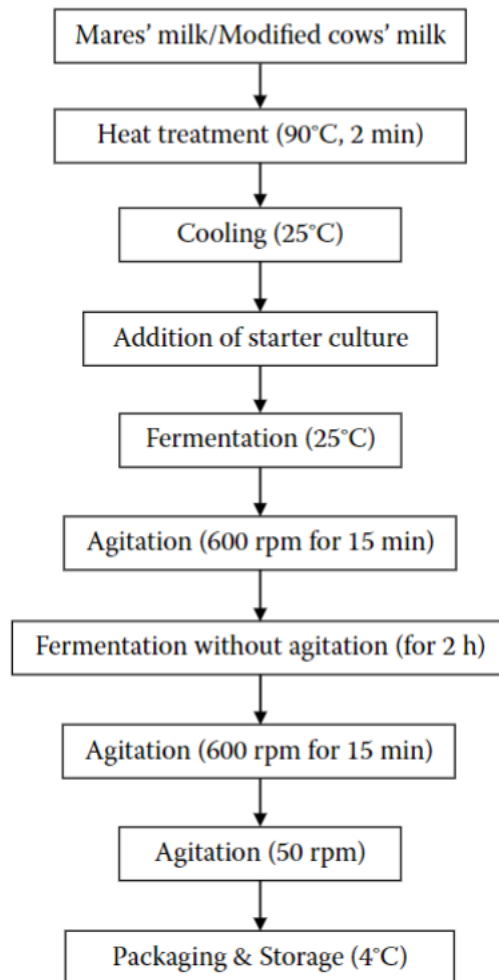
Η σύσταση του κουμής είναι προσεγγιστικά η ακόλουθη: νερό 90%, πρωτεΐνη 2 – 2,5%, λακτόζη 5%, λιπαρά 1,2% και τέφρα 0,6%. Όσον αφορά τους μικροοργανισμούς στο κουμής περιέχονται περίπου $4,97 \cdot 10^7$ *CFU*/*mL* βακτήρια και $1,43 \cdot 10^7$ *CFU*/*mL* ζυμομύκητες. Τέλος, ανάλογα με την οξύτητα και την περιεκτικότητά του σε αιθανόλη το κουμής κατηγοριοποιείται ως ήπιας, μέτριας ή έντονης γεύσης όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.⁷

Πίνακας 1.5.2.1. Κατηγορίες έντασης της γεύσης του κουμίσ συναρτήσει της οξύτητας και της περιεκτικότητας σε αιθανόλη.⁷

Κατηγορία γεύσης	Οξύτητα (%)	Αιθανόλη (%)
Ήπια	0,6 – 0,8	0,7 – 1,0
Μέτρια	0,8 – 1,0	1,1 – 1,8
Έντονη	1,0 – 1,2	1,8 – 2,5



Σχήμα 1.5.2.4. Διάγραμμα ροής για την προετοιμασία της καλλιέργειας εκκίνησης του κουμίσ και της παραγωγής του.⁷



Σχήμα 1.5.2.5. Διάγραμμα ροής για τη βιομηχανική παραγωγή κουμίσ.²⁴

1.6 Θρεπτική αξία του γιαουρτιού

Το γάλα και τα προϊόντα τα οποία παράγονται από αυτό είναι πολύ σημαντικά για τον άνθρωπο. Η ανάγκη για επιμήκυνση της διάρκειας ζωής του γάλακτος εισήγαγε την παραγωγή των ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιτευχθεί η παραγωγή πληθώρας γαλακτοκομικών προϊόντων σε διάφορες μορφές και γεύσεις με ενισχυμένη θρεπτική αξία, όπως και προϊόντα για ειδικές ομάδες του πληθυσμού. Η βιομηχανία έχει τη δυνατότητα να μεταβάλει τη σύσταση του γάλακτος, με σκοπό την προσφορά «διατροφικά βέλτιστων» προϊόντων, με διατήρηση της ασφάλειάς τους. Μία τέτοια «βελτιστοποιημένη» διατροφή στοχεύει στην εξασφάλιση της υγείας και ευεξίας του ατόμου διατηρώντας στο ελάχιστο τον κίνδυνο ασθένειας.

Τα θρεπτικά συστατικά του γιαουρτιού επηρεάζονται κυρίως από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση του νωπού γάλακτος από το οποίο προέρχεται. Άλλοι παράγοντες αφορούν τη διαδικασία της ζύμωσης όπως και κάποια πιθανή ενίσχυση του πηγματος με άλλα συστατικά.²⁴ Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ενδεικτική σύσταση για το γάλα και κάποια είδη γιαουρτιού.

Πίνακας 1.6.1. Ενδεικτική σύσταση του γάλακτος και διαφόρων ειδών γιαουρτιού.⁵

Συστατικό (1/100 g)	Γάλα		Γιαούρτι		
	Πλήρες	Αποβουτυρωμένο	Πλήρες σε λιπαρά	Χαμηλών λιπαρών	Χαμηλών λιπαρών/ με φρούτα
Νερό (g)	87,8	91,1	81,9	84,9	77,0
Ενέργεια (kcal)	66	33	79	56	90
Πρωτεΐνες (g)	3,2	3,3	5,7	5,1	4,1
Λιπαρά (g)	3,9	0,1	3,0	0,8	0,7
Υδατάνθρακες (g)	4,8	5,0	7,8	7,5	17,9
Ασβέστιο (mg)	115	120	200	190	150
Φωσφόρος (mg)	92	95	170	160	120
Νάτριο (mg)	55	55	80	83	64
Κάλιο (mg)	140	150	280	250	210
Ψευδάργυρος (mg)	0,4	0,4	0,7	0,6	0,5

Το γάλα και γενικότερα τα γαλακτοκομικά προϊόντα δρουν προστατευτικά έναντι ορισμένων ασθενειών και άλλων προβλημάτων υγείας. Το γιαούρτι όντας ένα πολύπλοκο τρόφιμο είναι ευεργετικό σε πολλές εκφάνσεις της υγείας του ανθρώπου. Βασική είναι η συνεισφορά του στην υγεία των οστών και την αποτροπή της οστεοπόρωσης. Κάποια συστατικά του γάλακτος πιθανώς προστατεύουν από την εμφάνιση κάποιων τύπων καρκίνου όπως είναι αυτός του παχέος εντέρου. Άλλες έρευνες έχουν δείξει συσχέτιση της μείωσης της χοληστερόλης με την κατανάλωση γάλακτος που έχει ζυμωθεί από λακτοβάκιλλους. Ένας πιθανός μηχανισμός με τον οποίο τα βακτήρια αυτά μειώνουν τη χοληστερόλη στο έντερο είναι μέσω παραγωγής γλουταρικού υδροξυμεθυλεστερά (hydroxymethyl glutarate) που δρα ως αναστολέας της HMG-CoA αναγωγής που χρειάζεται για τη σύνθεση της χοληστερόλης. Με μείωση της χοληστερόλης ορού μειώνεται και ο κίνδυνος για εμφάνιση της στεφανιαίας νόσου.

Ένα άλλο όφελος των γαλακτοκομικών προϊόντων είναι η συμβολή στην υπέρταση. Συγκεκριμένα, το ασβέστιο και κάποια βιοενεργά πεπτιδία που υπάρχουν στο γάλα έχουν αντιυπερτασικές ιδιότητες. Μία διατροφή που συνδυάζει γιαούρτι χαμηλό σε λιπαρά με φρούτα και λαχανικά μπορεί να μειώσει τη συστολική και τη διαστολική αρτηριακή πίεση. Ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό είναι μέσω αναστολής της δράσης του ενζύμου μετατροπέα της αγγειοτενίνης (ACE) από τα πεπτιδία που υπάρχουν στις πρωτεΐνες του γάλακτος. Η ύπαρξη ασβεστίου στο γιαούρτι επιδρά και στον έλεγχο του σωματικού βάρους. Το ασβέστιο συνεισφέρει με δύο τρόπους σε αυτό. Αρχικά, αναστέλλει την απορρόφηση λίπους από τον γαστρεντερικό σωλήνα και αυξάνει την απώλεια λιπαρών οξέων. Ο άλλος μηχανισμός αφορά στη μείωση της ασβεστιτροφικής ορμόνης 1,25 διυδροξυ-βιταμίνης D με αύξηση της συγκέντρωσης του ασβεστίου. Ως συνέπεια έχει τη μείωση του ασβεστίου στα λιποκύτταρα, τη μείωση της λιπογένεσης, τη διευκόλυνση της λιπόλυσης και τελικά την απώλεια σωματικού λίπους.²⁴

1.6.1 Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες μπορούν να χωριστούν σε διαθέσιμους και μη, ανάλογα με την ικανότητα του ανθρώπινου σώματος να τους αφομοιώσει και συνεπώς να αντλήσει από αυτούς ενέργεια κατά τον μεταβολισμό. Στο

γιαούρτι ο κύριος υδατάνθρακας που είναι παρών είναι η λακτόζη, συναντάται ακόμα και μετά τη ζύμωση σε συγκέντρωση $5 \frac{g}{100 g}$. Επιπλέον, περιέχονται μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες σε ίχνη. Αντίθετα, το γιαούρτι με φρούτα μπορεί να περιέχει ακόμα και $20 \frac{g}{100 g}$ σακχαρόζης και άλλων υδατανθράκων.

Σε κάποια προϊόντα γιαουρτιού προστίθενται σταθεροποιητές για να αποτρέψουν τον διαχωρισμό του ορού. Όπως προαναφέρθηκε τέτοια συστατικά είναι τα υδροκολλοειδή που αποτελούν πολυσακχαρίτες μακράς αλυσίδας. Παρόλα αυτά τα υδροκολλοειδή δεν επηρεάζονται από τα πεπτικά ένζυμα για αυτό και αναφέρονται ως μη διαθέσιμοι υδατάνθρακες. Κάποιοι τρόποι με τους οποίους συνεισφέρουν στην υγεία του ανθρώπου είναι:

- Παροχή παραγόντων οι οποίοι βοηθούν στην καλή λειτουργία του εντέρου και αποτρέπουν τυχόν δυσλειτουργίες.
- Απορρόφηση ορισμένων δυνητικά τοξικών ουσιών που σχηματίζονται στο παχύ έντερο ως αποτέλεσμα της βακτηριακής δράσης.
- Μείωση της χοληστερόλης στο αίμα.
- Επιβράδυνση του χρόνου απορρόφησης της λακτόζης σε συνδυασμό με τις πρωτεΐνες, έτσι ώστε η λακτάση να λειτουργεί φυσιολογικά και να διασφαλίζει πως τα άτομα που πάσχουν από δυσανεξία στη λακτόζη δεν νιώθουν δυσφορία.

Η προσθήκη των υδροκολλοειδών παρότι γίνεται σε χαμηλά επίπεδα, περίπου $0,5 \frac{g}{100 g}$ τείνει να αποφεύγεται, διότι κάποια αλλοιώνουν τις οργανοληπτικές ιδιότητες του γιαουρτιού ή έχει αυξηθεί η τιμή τους.⁵

1.6.2 Πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες του γάλακτος έχουν εξαιρετική βιολογική ποιότητα. Για παράδειγμα, στις πρωτεΐνες ορού και στην καζεΐνη περιέχονται τα απαραίτητα αμινοξέα. Το γιαούρτι ως προϊόν πολλές φορές ενισχύεται με επιπλέον πρωτεΐνη, υπερσιχύνοντας έναντι του γάλακτος ως πηγή πρωτεΐνης. Κάποια τέτοια προϊόντα μπορεί να προσφέρουν την ελάχιστη ημερήσια λαμβανόμενη ποσότητα πρωτεϊνών (15 g) με κατανάλωση μόλις 200 mL γιαουρτιού.

Οι πρωτεΐνες στο γιαούρτι πρέπει να μπορούν να μεταβολιστούν πλήρως. Η μορφή των καζεϊνών στο γιαούρτι σε σύγκριση με το γάλα μπορεί είναι παρόμοια με εκείνη του ζεστού γάλακτος. Ειδικότερα, οι πρωτεΐνες του κρούου γάλακτος στο στομάχι δημιουργούν «σκληρά» συσσωματώματα αντίθετα με το θερμό γάλα που συσσωματώνεται πιο ήπια. Η πιο χαλαρή μορφή τους στο προϊόν διευκολύνει την πρόσβασή τους από τα πρωτεολυτικά ένζυμα κατά τη διάρκεια της πέψης. Σε κάποιο βαθμό η καλλιέργεια εκκίνησης τις διασπά, με αποτέλεσμα να ευνοεί τον μεταβολισμό τους από το ανθρώπινο σώμα.

1.6.3 Λιπαρά

Ένα άλλο σημαντικό συστατικό που συναντάται στο γιαούρτι είναι τα λιπαρά, εκτός από την περίπτωση παραγωγής του από αποβουτυρωμένο γάλα. Τα λιπαρά αποτελούν απαραίτητο συστατικό της ανθρώπινης διατροφής και συναντώνται σε δύο κύριες μορφές.

- i. Το αποθηκευτικό λίπος το οποίο αποτελεί πηγή ενέργειας και προστασία για τα ζωτικά όργανα και αποτελείται από κορεσμένα λιπαρά οξέα.
- ii. Το δομικό λίπος το οποίο σχηματίζει μαζί με πρωτεΐνες απαραίτητες μεμβράνες σε περιοχές όπως ο εγκέφαλος.

Επιπλέον, το λίπος του γάλακτος περιέχει τις λιποδιαλυτές βιταμίνες A, D, E, K και πολλά συστατικά που προάγουν την υγεία.⁵

1.6.4 Μέταλλα και βιταμίνες

Το γιαούρτι, καθώς παράγεται από το γάλα, περιέχει βιταμίνες και μέταλλα που είναι απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. Σε αυτό συναντώνται σε διάφορες ποσότητες υδατοδιαλυτών και λιποδιαλυτών βιταμινών (που έχουν αναφερθεί στο υποκεφάλαιο 1.1.1.5) και μετάλλων όπως φωσφόρου, μαγνησίου, σιδήρου, ψευδαργύρου, ιωδίου και νατρίου. Παρόλα αυτά το συστατικό εκείνο για το οποίο είναι περισσότερο γνωστό το γάλα είναι το ασβέστιο. Το ασβέστιο συνεισφέρει στο δυναμικό που σχηματίζεται στις μεμβράνες των κυττάρων και συμμετέχει σε βασικές λειτουργίες τους. Μεταξύ άλλων οι λειτουργίες στις οποίες συμπεριλαμβάνεται αφορούν τη σύνθεση του DNA, την ενδοκυτταρική επικοινωνία, την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών και τον μεταβολισμό των οστών.²⁴

1.7 Πόσιμο γιαούρτι

Το πόσιμο ή ρευστό γιαούρτι, είναι ένα είδος γιαουρτιού το οποίο έχει τόσο χαμηλό ιξώδες, ώστε να μπορεί να πίνεται. Διατίθεται σε φυσική γεύση ή ενισχύεται με γλυκαντικά και φρούτα. Τα smoothies αποτελούν και αυτά ένα είδος πόσιμου γιαουρτιού χωρίς να μπορούν να χαρακτηριστούν ως «γιαούρτι» εφόσον δεν έχουν τα χαρακτηριστικά που προβλέπονται από τη νομοθεσία. Επιπλέον, τα προϊόντα αυτά ενισχύονται με βιταμίνες και μέταλλα ή και σχεδιάζονται ως προς τις απαιτήσεις πλήρους γεύματος.⁸ Γενικότερα, τα πόσιμα γιαούρτια είναι βάση για την προσθήκη λειτουργικών συστατικών όπως των ωμέγα-3 λιπαρών, φυτοστερολών και προβιοτικών βακτηρίων.⁴⁵

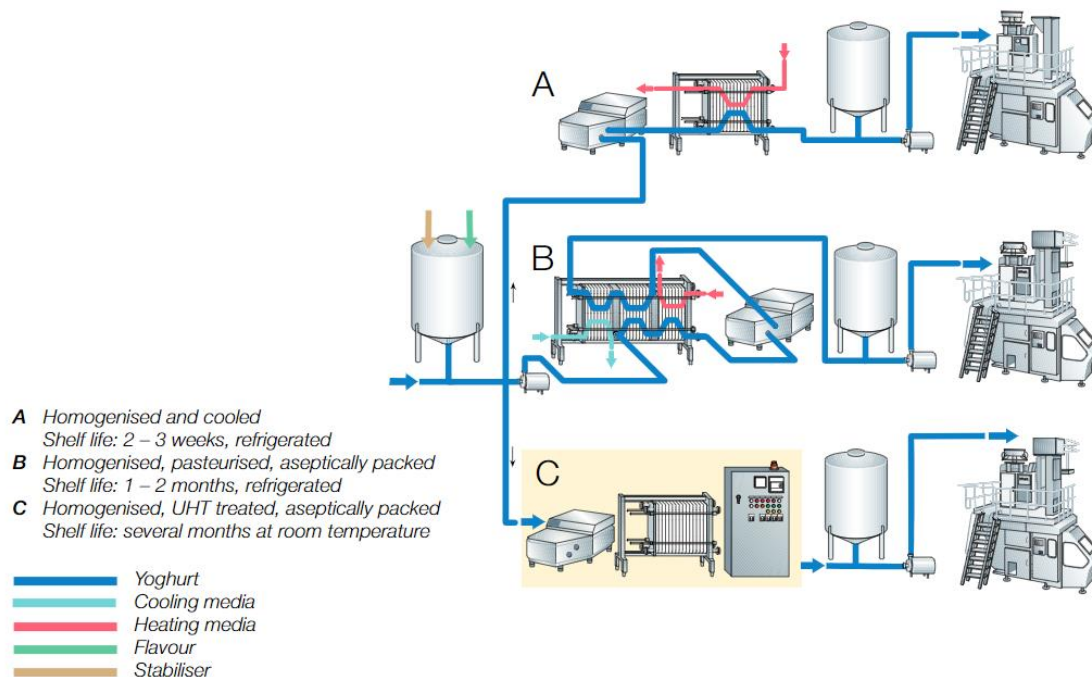
Σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Η.Π.Α. (FDA) ένα προϊόν για να χαρακτηριστεί πόσιμο γιαούρτι θα πρέπει το γιαούρτι, πριν την ανάμειξη με τα φρούτα ή τα υπόλοιπα βελτιωτικά συστατικά, να περιέχει > 8,25% Σ.Υ.Α.Λ., και λιπαρά ανάλογα με την κατηγορία που έχει η βιομηχανία ως στόχο. Ειδικότερα, για να χαρακτηριστεί το προϊόν χωρίς λιπαρά πρέπει να περιέχει λιγότερο από 0,5%, για χαμηλό σε λιπαρά περί τα 2,00% και για πλήρες γιαούρτι 3,25% λιπαρά. Μετά την ανάμειξη με τα υπόλοιπα συστατικά δεν είναι απαραίτητο να ισχύουν αυτοί οι περιορισμοί. Υπάρχουν παρόμοια προϊόντα που έχουν ως βάση το γιαούρτι και δεν τηρούν αυτούς τους περιορισμούς. Σε αυτήν την περίπτωση κυκλοφορούν στην αγορά χωρίς να μπορούν να χαρακτηριστούν ως «πόσιμο γιαούρτι».

Η συνήθης σύνθεση του πόσιμου γιαουρτιού έχει χαμηλή περιεκτικότητα (< 2,0%) σε λιπαρά, 8,0 – 9,5% Σ.Υ.Α.Λ. και 8 – 12% ζάχαρη. Για την επίτευξη ενός προϊόντος με χαμηλές θερμίδες επιλέγονται άλλα γλυκαντικά έναντι της ζάχαρης. Επιπλέον, περιέχουν χυμούς ή πουρέ φρούτων που συνήθως ανέρχονται σε 8 – 15%. Σε άλλες περιοχές υπάρχουν εμπορικά πόσιμα γιαούρτια με περιεκτικότητα έως και 30 – 49% σε φρούτα. Το pH των ποτών αυτών είναι συνήθως στο εύρος 4,0 – 4,5.

Κατά την αποθήκευσή τους τα ρευστά γιαούρτια έχουν τη φυσική τάση να διαχωρίζονται σε δύο φάσεις. Για να αποφευχθεί αυτή η αλλοίωση στο προϊόν χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές. Οι σταθεροποιητές πέραν από την αποτροπή του διαχωρισμού του ορού, αποτρέπουν τη συσσωμάτωση των πρωτεϊνών του γάλακτος και ρυθμίζουν το ιξώδες του προϊόντος στην επιθυμητή τιμή. Συνήθως χρησιμοποιείται ένα μείγμα υδροκολλοειδών σε περιεκτικότητα 0,01 – 0,5%. Η πηκτική υψηλής περιεκτικότητας σε μεθοξυλομάδες προτιμάται από τη βιομηχανία καθώς φέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα.⁸ Άλλοι σταθεροποιητές που χρησιμοποιούνται είναι η καρβοξυ-μεθυλοκυτταρίνη και το κόμμι γκουάρ.

Μετά την ανάμειξη όλων των συστατικών μπορεί το μείγμα να ομογενοποιηθεί εκ νέου σε πίεση 15 – 20 MPa για να επιτευχθεί η διασπορά της πηκτικής. Επιπλέον, υπάρχει η απαίτηση μεγάλης διάρκειας ζωής

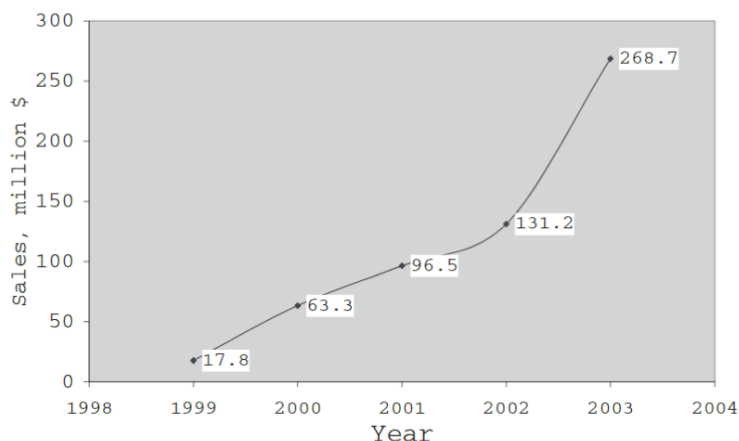
αυτών των προϊόντων. Έτσι, το τελευταίο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει παστερίωση (75°C για 20 s) του ρευστού γιαουρτιού και συσκευασία του υπό ασηπτικές συνθήκες. Εναλλακτικά, για την παραγωγή προϊόντων με ακόμη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής το ρευστό γιαούρτι υπόκειται σε UHT κατεργασία (110°C – 5 s).¹⁷



Σχήμα 1.7.1. Εναλλακτικές διεργασίες στη γραμμή παραγωγής του ρευστού γιαουρτιού.¹⁷

1.7.1 Εμπορική σημασία

Το 2007 στις Η.Π.Α. το πόσιμο γιαούρτι ήταν το ταχύτερα αναπτυσσόμενο προϊόν σε πωλήσεις ανάμεσα στην αγορά των τροφίμων και ποτών.⁴⁵ Στις πωλήσεις του γιαουρτιού το 74% αποτελούσε το αναμειγμένο γιαούρτι ενώ το πόσιμο μόλις το 12%. Ωστόσο η αύξησή του σε σύγκριση με την προηγούμενη χρονιά ανερχόταν σε 1% και 97,1%, αντίστοιχα. Φαίνεται πως υπάρχει μία προτίμηση περισσότερο για τις διαφορετικές γεύσεις και όχι τόσο της φυσικής. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η χρονική μεταβολή των πωλήσεων του πόσιμου γιαουρτιού στις Η.Π.Α από όπου μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα για την ταχύτατη ανάπτυξη αυτής της αγοράς.⁸



Σχήμα 1.7.1.1. Πωλήσεις ρευστού γιαουρτιού συναρτήσει του έτους στις Η.Π.Α.⁸

Στο σήμερα, η τάση της αγοράς τροφίμων χαρακτηρίζεται από πιο υγιεινά σνακ ή και προβιοτικά τρόφιμα, διότι οι καταναλωτές είναι περισσότερο ευαισθητοποιημένοι για την υγεία τους.⁴⁷ Κάτι που ενισχύθηκε τα τελευταία χρόνια και με την πανδημία, όπου οι καταναλωτές αποζητούν την ενίσχυση της υγείας τους και του ανοσοποιητικού τους συστήματος. Συνεπώς, η αγορά του γιαουρτιού ενισχύεται διότι αποτελεί μια τέτοια λύση. Το πόσιμο γιαούρτι πέρα από την απαίτηση για ένα υγιεινό τρόφιμο ικανοποιεί επιπλέον τις απαιτήσεις των καταναλωτών για εύκολα, «εν κινήσει» γεύματα. Μπορεί να αντικαταστήσει το πρωινό γεύμα ή και να αποτελέσει ενδιάμεσο των βασικών γευμάτων κατάλληλο για πολυάσχολους ανθρώπους για αυτό και προτιμάται.⁴⁸ Πρόσφατα, προϊόντα ρευστού γιαουρτιού έχουν κυκλοφορήσει στην αγορά και είναι εμπλουτισμένα με ω-3 λιπαρά, κολλαγόνο, αλόη, φυτοστερόλες και ισοφλαβόνες. Ενώ, στην Ευρώπη για το διάστημα 2020-2025 ο σύνθετος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης (CAGR) του πόσιμου γιαουρτιού αναμένεται να είναι 3,5%.⁴⁷

Πρόσφατα δεδομένα δείχνουν την περίοδο 2017-2021 η ευρύτερη κατηγορία των γιαουρτιών να μην έχει μεταβληθεί σημαντικά ως προς τις πωλήσεις της, δηλαδή λιγότερο από 1%. Αυτό οφείλεται σε μία άλλη τάση της εποχής, όπου παρατηρείται αύξηση των προϊόντων που προσομοιάζουν το γιαούρτι αλλά προέρχονται από φυτικά υλικά. Οι πωλήσεις αυτών των προϊόντων σχεδόν διπλασιάστηκαν το 2021 σε σχέση με το 2017.⁴⁹

2 Πειραματικό Μέρος

2.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ρευστού γιαουρτιού και η μελέτη της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στη ζύμωσή του καθώς και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του. Συγκεκριμένα, μελετώνται διαφορετικές θερμικές κατεργασίες του γάλακτος πριν τον εμβολιασμό του με την καλλιέργεια εκκίνησης, συνδυάζοντας διαφορετικές θερμοκρασίες και χρόνους. Τα πειράματα αυτής της σειράς αποσκοπούν στην εύρεση των ορίων της έντασης της θερμικής κατεργασίας (θερμοκρασία – χρόνος) που μπορεί να εφαρμοστεί στο πλήρες γάλα ώστε να προκύψει ρευστό τελικό προϊόν.

Επιπροσθέτως, παρασκευάζεται ρευστό γιαούρτι με εφαρμογή υπερήχων ταυτόχρονα με τη θερμική κατεργασία στο γάλα είτε πριν τη ζύμωση ή στο ρευστό γιαούρτι αμέσως μετά την ολοκλήρωση της ζύμωσης. Η εφαρμογή των υπερήχων αποσκοπεί στη βελτίωση του πήγματος που παράγεται και στην αύξηση της διάρκειας ζωής του προϊόντος. Η επίτευξη μίας μεγαλύτερης ικανότητας συγκράτησης ύδατος από το πήγμα επιβραδύνει τη συναίρεση διατηρώντας για περισσότερο χρόνο αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

Σε κάθε περίπτωση, για την παρασκευή του ρευστού γιαουρτιού κατά τον εμβολιασμό του γάλακτος με την καλλιέργεια εκκίνησης, προστίθεται το ένζυμο λακτάση (β-γαλακτοζιδάση) σε περιεκτικότητα 0,08% W/v , ακολουθώντας εμπορικές προδιαγραφές. Σε μία από τις σειρές πειραμάτων προστίθεται λακτάση σε διαφορετικές περιεκτικότητες με στόχο την επιτάχυνση της εξέλιξης της ζύμωσης. Αξιολογείται παράλληλα η μείωση της λακτόζης στο τελικό προϊόν, καθώς υδρολύεται από το ένζυμο, προς δημιουργία ενός γιαουρτιού κατάλληλο για άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη.

Επιπλέον εξετάζεται η τροποποίηση της συμβατικής σύνθεσης ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών πριν την έναρξη της ζύμωσης του θερμικά κατεργασμένου γάλακτος. Τα κόμματα που χρησιμοποιούνται είναι κ-καραγενάνη και πηκτίνη στην ίδια περιεκτικότητα. Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο τη βελτίωση του πήγματος που δημιουργείται, ενισχύοντας τις ρεολογικές του ιδιότητες και μειώνοντας τη συναίρεσή του. Έτσι, δυνητικά προκύπτει ένα πιο σταθερό και ομοιογενές προϊόν, με αυξημένη διάρκεια ζωής και βελτιωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Για δεδομένη θερμική κατεργασία του γάλακτος γίνεται προσθήκη προβιοτικής καλλιέργειας, επιπλέον της συμβατικής. Η ενίσχυση του είδους των βακτηρίων που ζυμώνουν το γάλα αποσκοπεί στην επιτάχυνση της διαδικασίας καθώς και την πιθανή δημιουργία ενός λειτουργικού (προβιοτικού) προϊόντος.

Τέλος, μελετάται η διατήρηση των επιθυμητών αντικειμενικών χαρακτηριστικών του ρευστού γιαουρτιού ύστερα από κατάψυξή του για επέκταση της διάρκειας ζωής του. Η ανάλυση αυτή αποσκοπεί στην πρόβλεψη της αλλοίωσης του προϊόντος σε περίπτωση διατήρησης και διακίνησής του υπό κατάψυξη. Εφαρμόζονται κατεργασίες επιπλέον της συμβατικής ή/και καινοτόμα συστατικά για να προκύψει ρευστό γιαούρτι με χαρακτηριστικά που να προσεγγίζουν τα επιθυμητά (παρόμοια με εκείνα των γιαουρτιών που δεν έχουν καταψυχθεί), όσο είναι εφικτό. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται το κρουοπροστατευτικό τρεχαλόζη, ή εφαρμογή υπερήχων επιπλέον της θερμικής κατεργασίας ή συνδυασμός αυτών, ώστε κατά την απόψυξη το τελικό πήγμα να έχει επιθυμητό ιξώδες και καλή σταθερότητα.

Κατά τη ζύμωση του ρευστού γιαουρτιού σε κάθε περίπτωση παρακολουθείται η μεταβολή του pH και του ιξώδους. Το τελικό προϊόν, ύστερα από διατήρηση σε ψύξη, αξιολογείται ως προς το ιξώδες, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος καθώς και τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του.

2.2 Υλικά και συσκευές

2.2.1 Πρώτες ύλες

- Πλήρες αγελαδινό γάλα “Καθημερινά Φρέσκο”, ΔΕΛΤΑ Α.Ε. (3,5% W/v λιπαρά, παστεριωμένο, ομογενοποιημένο)
- Καλλιέργεια εκκίνησης *Lactobacillus Bulgaricus* και *Streptococcus Thermophilus* (YO-MIX T12 LYO 250 DCU, Danisco, ΦΑΓΕ Α.Ε.)
- Εμπορικό ένζυμο λακτάση (ΜΑΝΔΡΕΚΑΣ Α.Ε)
- Προβιοτική καλλιέργεια που περιλαμβάνει το στέλεχος *Bifidobacterium animalis subsp. Lactis* (BB-12, Chr. Hansen)
- Πηκτίνη (Alfa Aesar)
- κ-Καραγενάνη
- Τρεχαλόζη
- Φαινόλη
- Θεϊκό οξύ

2.2.2 Όργανα και συσκευές

- Υδατόλουτρο (GFL 1083, Labortechnik GmbH, Germany)
- Λουτρό Υπερήχων (Elmasonic S30/S30H, ELMA)
- Επωαστήρας (SANYO Incubator MIR-153m, Japan)
- Φασματοφωτόμετρο
- Αναλυτής υφής (Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems, UK)
- Αναλυτικός ζυγός (Precisa 620C, Switzerland)
- Αναλυτικός ζυγός (Precisa XT220A, Switzerland)
- Πεχάμετρο EC-26 pH (PHOENIX Instrument, Germany)
- Πεχάμετρο 340i (Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany)
- Πεχάμετρο 3310 (Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany)
- Περιστροφικό ιξωδόμετρο Brookfield (DV-II+Pro, USA)
- Θερμόμετρο

2.3 Παραγωγή ρευστού γιαουρτιού

2.3.1 1^η Σειρά πειραμάτων: Θερμικές κατεργασίες γάλακτος για παραγωγή ρευστού γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης

Για την παραγωγή του συμβατικού ρευστού γιαουρτιού ακολουθείται η εξής διαδικασία. Φρέσκο πλήρες γάλα θερμαίνεται εντός μεταλλικού σκεύους σε υδατόλουτρο ρυθμισμένο σε κατάλληλη θερμοκρασία ανάλογα με την κατεργασία που μελετάται. Η θερμοκρασία του γάλακτος ελέγχεται με ηλεκτρονικό θερμόμετρο μέχρι να φτάσει την επιθυμητή τιμή και ύστερα διατηρείται για τον απαιτούμενο χρόνο. Το γάλα αφήνεται προς ψύξη σε υδατόλουτρο με κρύο νερό έως ότου αποκτήσει τη θερμοκρασία των 45°C. Γίνεται εμβολιασμός με καλλιέργεια εκκίνησης σε περιεκτικότητα 1,2 g ανά 1 L γάλακτος. Παράλληλα γίνεται προσθήκη εμπορικού ενζύμου λακτάσης σε περιεκτικότητα 0,08 % W/v . Ύστερα από έντονη ανάδευση, γεμίζονται κύπελλα με ποσότητα περίπου 100 mL εμβολιασμένου γάλακτος το καθένα και εισάγονται σε θάλαμο επώασης. Τα δείγματα διατηρούνται στον θάλαμο σε θερμοκρασία 45°C μέχρι το pH τους να φτάσει την τιμή 4,45. Στο τέλος της ζύμωσης το γιαούρτι ψύχεται σε οικιακό ψυγείο σε θερμοκρασία 4°C και διατηρείται για περαιτέρω μελέτη.

2.3.2 2^η Σειρά πειραμάτων: Εφαρμογή υπερήχων

Για τη μελέτη της επίδρασης των υπερήχων τροποποιείται η συμβατική διαδικασία που περιγράφηκε για την παρασκευή του ρευστού γιαουρτιού. Συγκεκριμένα, το γάλα τοποθετείται στο υδατόλουτρο και μόλις φτάσει την επιθυμητή θερμοκρασία μεταφέρεται σε λουτρό υπερήχων με την ίδια θερμοκρασία και συχνότητα 37 kHz. Στο λουτρό υπερήχων επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη θερμική κατεργασία του γάλακτος και η εφαρμογή υπερήχων σε αυτό, για τον ίδιο χρόνο. Έτσι, μελετώνται οι συνθήκες θέρμανσης στους 70°C με διάρκεια 10 και 5 min και 65°C για 20 min. Ακολουθεί ο εμβολιασμός με την καλλιέργεια εκκίνησης και η ζύμωση όπως περιγράφηκε παραπάνω. Επιπλέον, ζυμώνονται συμβατικά δείγματα γιαουρτιού τα οποία τοποθετούνται στο λουτρό υπερήχων στο πέρας της ζύμωσης και αφήνονται για 5, 10 ή 20 min αντίστοιχα με τη θερμική κατεργασία που έχουν υποστεί.

Πίνακας 2.3.2.1. Παράμετροι πειραμάτων για ρευστό γιαούρτι με εφαρμογή υπερήχων.

Πείραμα	Θερμική Κατεργασία	Υπέρηχοι
1	70°C για 10 min	Πριν τη ζύμωση
2	70°C για 10 min	Μετά τη ζύμωση
3	70°C για 5 min	Πριν τη ζύμωση
4	70°C για 5 min	Μετά τη ζύμωση
5	65°C για 20 min	Πριν τη ζύμωση
6	65°C για 20 min	Μετά τη ζύμωση

2.3.3 3^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Ενζύμου Λακτάσης

Σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση του ενζύμου λακτάση στην παραγωγή του ρευστού γιαουρτιού. Ακολουθείται η συμβατική διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω με την τροποποίηση της συγκέντρωσης της λακτάσης σε κάθε πείραμα. Οι συγκεντρώσεις που χρησιμοποιούνται είναι 0, 0,06, 0,08 και 0,12 % W/v και η θερμική κατεργασία που εφαρμόζεται στο γάλα είναι 65°C για 20 min.

Πίνακας 2.3.3.1. Παράμετροι πειραμάτων για ρευστό γιαούρτι με διαφορετικές συγκεντρώσεις λακτάσης.

Πείραμα	Θερμική Κατεργασία	Συγκέντρωση Λακτάσης (% W/v)
1	65°C για 20 min	0
2	65°C για 20 min	0,06
3	65°C για 20 min	0,08
4	65°C για 20 min	0,12

2.3.4 4^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Υδροκολλοειδών

Για τη μελέτη της επίδρασης των υδροκολλοειδών τροποποιείται η συμβατική διαδικασία που περιγράφηκε για την παρασκευή του ρευστού γιαουρτιού. Συγκεκριμένα, το γάλα παστεριώνεται στους 65°C για 20 min και στη συνέχεια αφήνεται σε υδατόλουτρο με κρύο νερό για να ψυχθεί έως τους 45°C. Το γάλα εμβολιάζεται με τη συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης, επιπλέον προστίθεται 0,03% W/v υδροκολλοειδούς σε κάθε περίπτωση υπό έντονη ανάδευση. Τα δύο υδροκολλοειδή που μελετώνται είναι η πηκτίνη (citrus) και η κ-καραγενάνη.

Πείραμα	Θερμική Κατεργασία	Υδροκολλοειδές	Συγκέντρωση Υδροκολλοειδούς (% W/v)
1	65°C για 20 min	Πηκτίνη citrus	0,03
2	65°C για 20 min	κ-Καραγενάνη	0,03

2.3.5 5^η Σειρά πειραμάτων: Προσθήκη Προβιοτικών Βακτηρίων

Σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων προστίθεται προβιοτική καλλιέργεια επιπλέον της συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης. Ακολουθείται η συμβατική μέθοδος που περιγράφεται παραπάνω, ωστόσο κατά τον εμβολιασμό με την καλλιέργεια εκκίνησης προστίθεται επιπλέον 1 g της προβιοτικής καλλιέργειας για κάθε 1 L γάλακτος.

2.3.6 6^η Σειρά πειραμάτων: Κατάψυξη – Προσθήκη κρυσταλλοστατευτικής ουσίας

Σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων μελετάται η κατάψυξη του ρευστού γιαουρτιού μετά την παραγωγή του. Ο σχεδιασμός των πειραμάτων φαίνεται στον πίνακα 2.3.6.1. Ειδικότερα, το γάλα παστεριώνεται στους 65°C για 20 min ενώ για τα πειράματα 3, 4 ταυτόχρονα με την θέρμανση εφαρμόζονται υπέρηχοι για 20 min. Επιπλέον, στα πειράματα 1, 3, 5 μετά τον εμβολιασμό με την καλλιέργεια εκκίνησης προστίθενται 0,4 % W/v τρεχαλόζης και 0,03% W/v πηκτίνης υπό έντονη ανάδευση. Όταν τα δείγματα φτάσουν την τιμή pH 4,4 τοποθετούνται σε καταψύκτη θερμοκρασίας -14°C όπου αφήνονται για 5 d. Πριν την μέτρηση των τελικών ιδιοτήτων, το προϊόν αφήνεται σε ψύξη (4°C) για 1 d.

Πίνακας 2.3.6.1. Παράμετροι πειραμάτων για ρευστό γιαούρτι που καταψύχεται.

Πείραμα	Θερμική Κατεργασία	Υπέρηχοι	Προσθήκη Τρεχαλόζης- Πηκτίνης
1	65°C για 20 min	-	Ναι
2	65°C για 20 min	-	-
3	65°C για 20 min	Πριν τη ζύμωση	Ναι
4	65°C για 20 min	Πριν τη ζύμωση	-
5	65°C για 20 min	Μετά τη ζύμωση	Ναι
6	65°C για 20 min	Μετά τη ζύμωση	-

2.4 Μετρήσεις

2.4.1 Προσδιορισμός pH

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης σε ένα τυχαίο κύπελλο εμβαπτίζεται το ηλεκτρόδιο και χρησιμοποιείται για την συνεχή καταγραφή του pH. Με χρήση ηλεκτρονικών πεχαμέτρων λαμβάνονται αυτόματα μετρήσεις του pH ανά 5 min.

2.4.2 Προσδιορισμός ιξώδους

Μετράται η μεταβολή του ιξώδους με χρήση περιστροφικού ιξωδόμετρου (Brookfield/DV-II+ Pro, USA) και χρήση των στελεχών S95, S96 με ταχύτητα περιστροφής 60 rpm. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης λαμβάνονται διαδοχικά ανά 20 – 35 min ένα κύπελλο με γιαούρτι για την μέτρηση του ιξώδους του σε θερμοκρασία 45°C, το οποίο δεν επανατοποθετείται στον θάλαμο επώασης. Το τελικό ζυμωμένο προϊόν διατηρείται για 24 h σε θερμοκρασία 4°C και τότε μετράται το τελικό ιξώδες του.

2.4.3 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

Για τα τελικά δείγματα ρευστού γιαουρτιού, αφού αυτά διατηρηθούν σε θερμοκρασία 4°C για 24 h, προσδιορίζονται τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά υφής τους. Χρησιμοποιείται ο αναλυτής υφής Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems με το στέλεχος Cylinder Probe TA3/1000 κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου 25 mm και ύψους 35 mm. Το όργανο μιμείται τη μάσηση ασκώντας μηχανική καταπόνηση στο τρόφιμο εφαρμόζοντας δύο διαδοχικές συμπίεσεις με το κυλινδρικό στέλεχος. Το αποτέλεσμα που λαμβάνεται αποτελεί ένα γράφημα δύναμης χρόνου και εξάγονται συμπεράσματα για τα εξής χαρακτηριστικά υφής.

- **Σκληρότητα:** ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται ώστε να συμπιεστεί ένα τρόφιμο ανάμεσα στους γομφίους. Από τα δεδομένα του αναλυτή υψής η σκληρότητα είναι το ύψος της μέγιστης κορυφής δηλαδή η μέγιστη δύναμη της πρώτης κορυφής.
- **Προσκολλησιμότητα:** αντιπροσωπεύει το έργο που απαιτείται ώστε να αποκολληθεί ένα τρόφιμο από μία επιφάνεια και η τιμή της ορίζεται ως το εμβαδόν της αρνητικής κορυφής.
- **Συνεκτικότητα:** είναι η ισχύς των εσωτερικών δεσμών του τροφίμου με τιμή που ορίζεται ως το πηλίκο του εμβαδού της δεύτερης κορυφής συμπίεσης προς αυτό της πρώτης.
- **Ελαστικότητα:** δείχνει τον βαθμό στον οποίο το τρόφιμο ανακτά το αρχικό του μέγεθος μετά το πέρας της συμπίεσης και υπολογίζεται ως η διαφορά του τέλους της πρώτης διεύθυνσης από τον χρόνο έναρξης της δεύτερης διεύθυνσης.
- **Κομμώδεις:** χαρακτηρίζεται η ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση ενός τροφίμου ώσπου να είναι έτοιμο για κατάποση και υπολογίζεται ως το γινόμενο σκληρότητας και συνεκτικότητας

2.4.4 Προσδιορισμός ικανότητας συγκράτησης ύδατος

Για τον προσδιορισμό της ικανότητας συγκράτησης ύδατος, φυγοκεντρώνονται σωληνάκια με δείγμα γιαουρτιού με συνολική μάζα 35 g για 5 min με συχνότητα περιστροφής 5000 g. Ζυγίζεται ο ορός και προκύπτει η ποσοστιαία ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) ως:

$$WHC \% = \frac{\text{μάζα γιαουρτιού} - \text{μάζα ορού}}{\text{μάζα γιαουρτιού}} \cdot 100$$

2.4.5 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

Χρησιμοποιείται κωνικό γυάλινο σκεύος με οπή διαμέτρου 7 mm και χωρητικότητας 15 mL. Το τελικό ψυγμένο ρευστό γιαούρτι τοποθετείται στο σκεύος έως ότου πληρωθεί και χρονομετρείται η διάρκεια που απαιτείται για να αδειάσει.

2.4.6 Προσδιορισμός λακτόζης

Για τον προσδιορισμό της λακτόζης στα διάφορα δείγματα χρησιμοποιήθηκε φασματοφωτομετρική μέθοδος κατά Montgomery (1961).⁵⁰ Δημιουργούνται διαλύματα καθαρής λακτόζης με γνωστές συγκεντρώσεις για την εξαγωγή γραμμής βαθμονόμησης. Σε δοκιμαστικούς σωλήνες εισάγονται 2 mL του εκάστοτε διαλύματος λακτόζης, 0,1 mL υδατικού διαλύματος 80% w/v φαινόλης και άμεσα (σε εύρος 5 s) προστίθενται 5 mL πυκνού θειικού οξέος. Το διάλυμα αφήνεται για 30 min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ύστερα μετράται η απορρόφησή του σε φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 489 nm. Για τον προσδιορισμό της λακτόζης στο γάλα και τα διάφορα δείγματα ρευστού γιαουρτιού γίνεται κατάλληλη αραιώση με απιονισμένο νερό, ώστε η τελική τους συγκέντρωση να είναι στο εύρος της γραμμής βαθμονόμησης. Λαμβάνονται 2 mL κάθε διαλύματος και ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τον προσδιορισμό της απορρόφησης καθενός εξ αυτών.

2.5 Λογισμικό επεξεργασίας αποτελεσμάτων

Η βασική επεξεργασία των πειραματικών μετρήσεων έγινε με χρήση των υπολογιστικών φύλλων MS Excel.

2.5.1 Εξαγωγή μοντέλων Gompertz

Οι πειραματικές μετρήσεις για την μεταβολή του pH και του ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης προσαρμόζονται στα αντίστοιχα μοντέλα Gompertz. Η παραπάνω ανάλυση γίνεται με χρήση του λογισμικού SigmaPlot 10.0.

2.5.2 Στατιστική επεξεργασία

Γίνεται στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων κάθε σειράς πειραμάτων με τη χρήση του λογισμικού Statistica 7 της StatSoftInc. Προσδιορίζονται οι στατιστικά σημαντικές διαφορές που προκύπτουν για τα δείγματα μέσω ανάλυσης διακύμανσης ANOVA με επίπεδο σημαντικότητας 5%.

3 Αποτελέσματα – Επεξεργασία

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των σειρών πειραμάτων παρασκευής ρευστού γιαουρτιού καθώς και η αντίστοιχη επεξεργασία τους, όπως αυτά αναφέρονται στο πειραματικό μέρος. Τα πειράματα που εκτελέστηκαν μπορούν να ομαδοποιηθούν σε 6 σειρές ανάλογα με τον παράγοντα ο οποίος μελετάται κάθε φορά κατά την παραγωγή του ρευστού γιαουρτιού από πλήρες γάλα. Η πρώτη σειρά αποτελείται από ρευστό γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί με μεταβολή του χρόνου και της θερμοκρασίας της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος που χρησιμοποιείται. Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση των υπερήχων στη ζύμωση του γάλακτος αλλά και στο τελικό προϊόν (ρευστό γιαούρτι). Οι υπέρηχοι εφαρμόζονται πριν ή μετά τη ζύμωση για ίδια χρονική διάρκεια με τη θερμική κατεργασία που συγκρίνονται. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για ρευστό γιαούρτι που έχει παραχθεί από γάλα υδρολυμένης λακτόζης με διαφορετικές συγκεντρώσεις του ενζύμου λακτάση, που μελετάται η επίδρασή του στη ζύμωση του γιαουρτιού καθώς και στη συγκέντρωση υπολειπόμενης λακτόζης που συναντάται στο προϊόν στο τέλος αυτής. Η τέταρτη σειρά πειραμάτων αποτελείται από γιαούρτια στα οποία έχουν προστεθεί υδροκολλοειδή για τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων τους. Στην πέμπτη σειρά η ζύμωση διεξάγεται με προσθήκη προβιοτικής καλλιέργειας επιπλέον της συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης. Τέλος, στην έκτη σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση της κατάψυξης στο τελικό προϊόν του γιαουρτιού και το κατά πόσο τα χαρακτηριστικά του βελτιώνονται με την προσθήκη τρεχαλόζης ή/και με την κατεργασία του γάλακτος με υπέρηχους.

Σε κάθε περίπτωση μελετάται ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η ζύμωση, ενώ εξάγονται τα μοντέλα Gompertz για τη μεταβολή του pH και του ιξώδους με το χρόνο. Από την προσαρμογή στα μοντέλα συγκρίνονται η λανθάνουσα φάση και ο ρυθμός μείωσης του pH ή αύξησης του ιξώδους με τα άλλα πειράματα της σειράς αλλά και με το αντίστοιχο τυφλό, όπου υπάρχει. Προσδιορίζεται, επιπλέον, το ιξώδες του τελικού ψυγμένου προϊόντος και η ικανότητα συγκράτησης ύδατος στο πήγμα μετά από μία ημέρα αποθήκευσης σε ψύξη (4°C). Γίνεται, επιπλέον, μελέτη της υφής του τελικού ρευστού γιαουρτιού με προσδιορισμό των αντικειμενικών παραμέτρων υφής και σύγκρισή τους σε κάθε σειρά πειραμάτων. Κάθε σύγκριση ακολουθείται από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) ώστε να ελεγχθεί εάν οι διαφορές που παρατηρούνται είναι στατιστικά σημαντικές. Σημειώνεται πως οι αναλυτικοί πίνακες με τα αποτελέσματα της ανάλυσης ANOVA βρίσκονται στο παράρτημα.

3.1 Θερμικές κατεργασίες γάλακτος

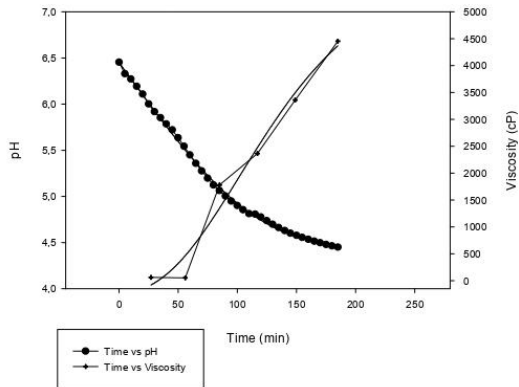
Η πρώτη σειρά πειραμάτων απαρτίζεται από την παραγωγή συμβατικού ρευστού γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης. Μελετάται η επίδραση των διαφορετικών συνθηκών θερμοκρασίας – χρόνου κατά τη θερμική κατεργασία του γάλακτος, πριν αυτό εμβολιαστεί με την οξυγαλακτική καλλιέργεια. Καταγράφεται η χρονική εξέλιξη του pH και του ιξώδους έως ότου να ολοκληρωθεί η ζύμωση, δηλαδή όταν το γιαούρτι αποκτήσει τιμή pH ίση με 4,45. Για να ολοκληρωθεί η παρασκευή του προϊόντος αφήνεται για 24 h σε ψύξη (4°C). Τα τελικά πήγματα αξιολογούνται ως προς το ιξώδες, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος καθώς και τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής τους.

3.1.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

Στα διαφορετικά πειράματα που έγιναν καταγράφηκε η χρονική μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του γιαουρτιού. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες που προέκυψαν για κάθε θερμική κατεργασία που εφαρμόστηκε στο γάλα πριν από τη ζύμωση.

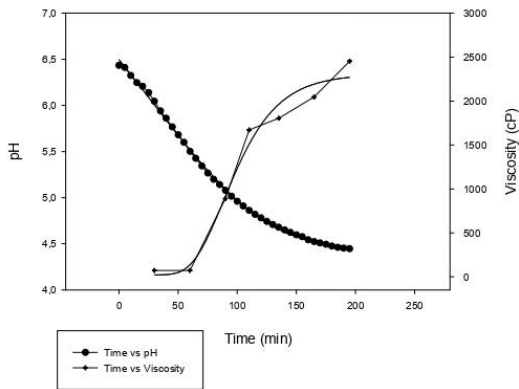
α.

0,08% Lactase - 90°C 5 min



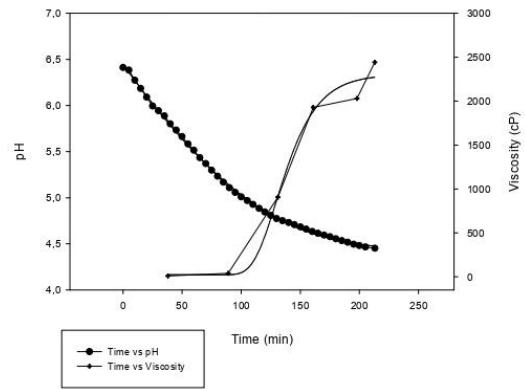
β.

0,08% Lactase - 70°C 10 min



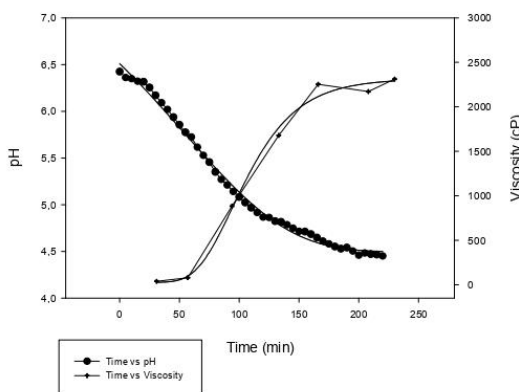
γ.

0,08% Lactase - 70°C 5 min



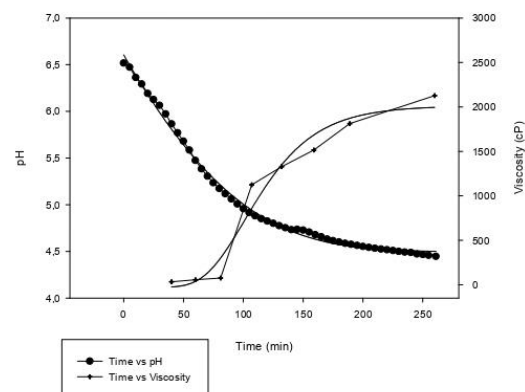
δ.

0,08% Lactase - 65°C 20 min



ε.

0,08% Lactase - 65°C 10 min

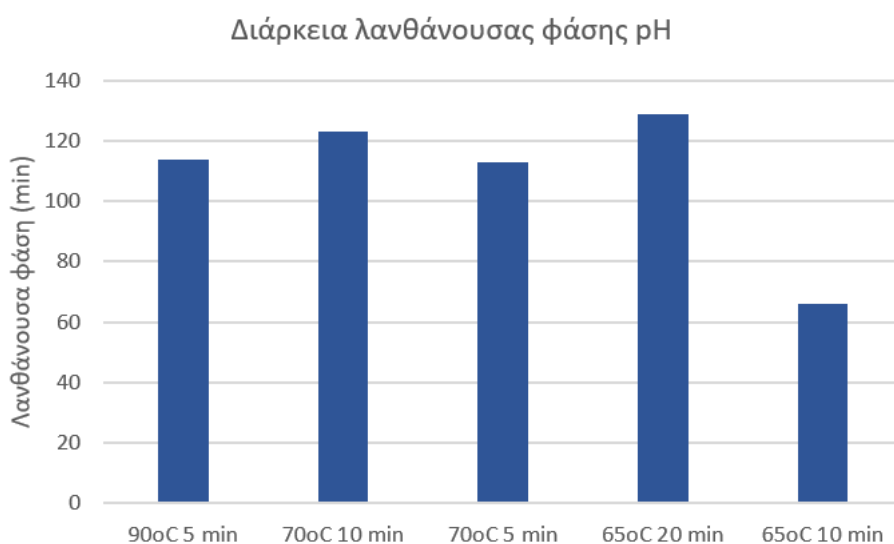


Σχήμα 3.1.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με θερμική κατεργασία γάλακτος (α) 90°C - 5 min, (β) 70°C - 10 min, (γ) 70°C - 5 min, (δ) 65°C - 20 min, (ε) 65°C - 10 min, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

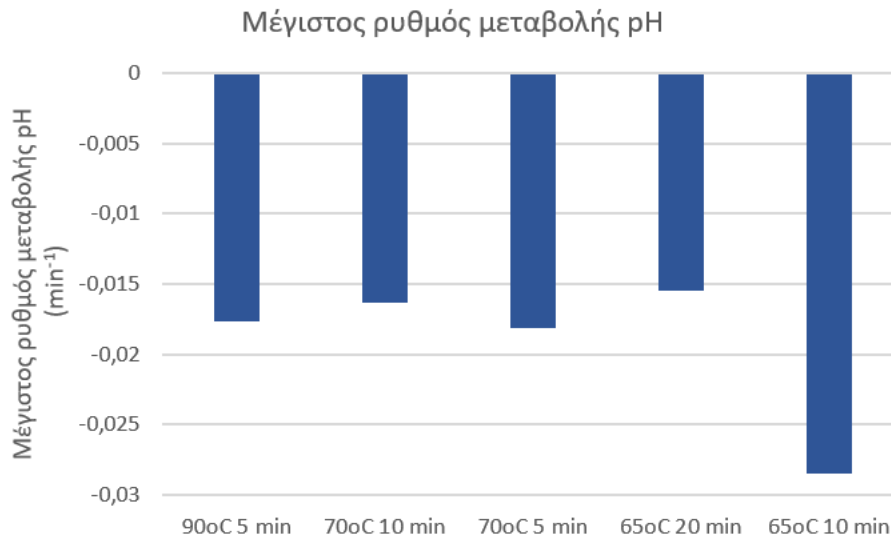
Παρατηρείται πως η εξέλιξη του pH και του ιζώδους είναι διαφορετική σε κάθε περίπτωση, για τις διαφορετικές θερμικές κατεργασίες του γάλακτος, ακολουθώντας ωστόσο την αναμενόμενη σιγμοειδή μορφή. Το τελικό pH είναι ίδιο σε κάθε δείγμα καθώς είναι το κριτήριο το οποίο καθορίζει την ολοκλήρωση της ζύμωσης. Η μεταβολή του ιζώδους διαφέρει ανάλογα με την κατεργασία του γάλακτος καθώς και η τιμή στην οποία καταλήγει. Οι μεγαλύτερες τιμές ιζώδους παρατηρούνται κοντά στην τιμή pH 4,6 όπου αποτελεί το ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης και άρα η καταβύθιση των πρωτεϊνών είναι πιο σημαντική. Η συμπεριφορά του pH και του ιζώδους κατά τη ζύμωση μπορούν να περιγραφούν από τα αντίστοιχα μοντέλα Gompertz. Σε κάθε περίπτωση από το μοντέλο αυτό προκύπτουν δύο σημαντικές παράμετροι για το χαρακτηρισμό της ζύμωσης, η λανθάνουσα φάση (λ) και ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής (μ) όπως έχουν περιγραφεί και στα προηγούμενα κεφάλαια.

3.1.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Στο προηγούμενο σχήμα οι πειραματικές τιμές έχουν προσαρμοστεί στο μοντέλο Gompertz για τον προσδιορισμό των λ, μ . Σε κάθε περίπτωση η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα του pH κρίνεται ικανοποιητική καθώς ισχύει ότι $R^2 > 0,990$. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα 3.1.2.1 και 3.1.2.2.



Σχήμα 3.1.2.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.



Σχήμα 3.1.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.

Η λανθάνουσα φάση του pH κυμαίνεται από 66 έως 128 *min*. Η μικρότερη τιμή που παρατηρείται, αντιστοιχεί στην πιο ήπια θερμική κατεργασία του γάλακτος. Για τις υπόλοιπες θερμικές κατεργασίες η τιμή της λανθάνουσας φάσης του pH πλησιάζει στα 120 *min*. Από την ανάλυση διακύμανσης προκύπτει ότι η θερμική κατεργασία επηρεάζει σημαντικά τη λανθάνουσα φάση του pH ($p < 0,05$). Συγκεκριμένα, η λανθάνουσα φάση του pH τείνει να μειώνεται με τη μείωση της έντασης της θερμικής κατεργασίας.

Όσον αφορά το μέγιστο ρυθμό μείωσης του pH, η τιμή του πλησιάζει σε $0,015 \text{ min}^{-1}$ για τις περισσότερες θερμικές κατεργασίες, ενώ παρατηρείται αύξησή του σε $0,028 \text{ min}^{-1}$ στην περίπτωση της θέρμανσης του γάλακτος στους 65°C για 10 *min*. Από την ανάλυση διακύμανσης προκύπτει πως η θερμική κατεργασία του γάλακτος επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό μεταβολής του pH, δηλαδή τον μειώνει με τη μείωση της έντασής της ($p < 0,05$).

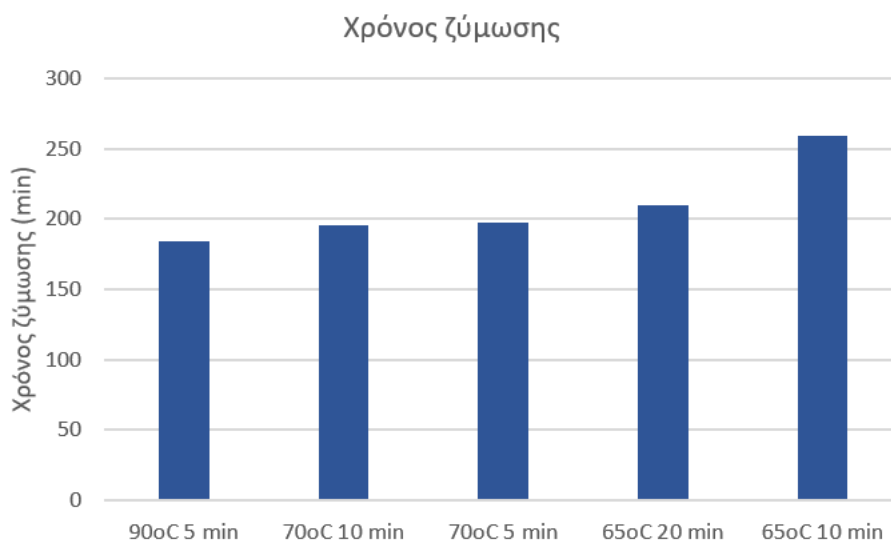
Μελετώντας την επίδραση του χρόνου και της θερμοκρασίας ξεχωριστά, στην επεξεργασία του γάλακτος, με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) παρατηρούνται τα ακόλουθα. Υπό σταθερή θερμοκρασία (65°C), η μεταβολή του χρόνου κατά 10 *min* επηρεάζει σημαντικά τις παραμέτρους λ, μ του pH ($p < 0,05$). Ενώ, υπό σταθερή θερμοκρασία (70°C), η μεταβολή του χρόνου κατά 5 *min* δεν επηρεάζει σημαντικά τις ίδιες παραμέτρους.

Αντίστοιχα, η επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας κατά 20°C στις παραμέτρους λ, μ του pH, υπό σταθερό χρόνο θερμικής κατεργασίας (5 *min*), δεν είναι στατιστικά σημαντική. Για μικρότερη μεταβολή θερμοκρασίας, δηλαδή 5°C, υπό σταθερό χρόνο θερμικής κατεργασίας (5 *min*) η λανθάνουσα φάση και ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του pH μεταβάλλονται σημαντικά ($p < 0,05$).

Συνεπώς, φαίνεται πως με αύξηση του χρόνου θερμικής κατεργασίας του γάλακτος αυξάνονται και οι στατιστικά σημαντικές μεταβολές που προκύπτουν στη λανθάνουσα φάση και τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH κατά τη ζύμωση. Όσο πιο έντονη είναι η θερμική κατεργασία του γάλακτος επιταχύνεται η ζύμωσή του.

3.1.3 Χρόνος ζύμωσης

Συγκρίνονται οι χρόνοι που απαιτούνται για να ολοκληρωθεί η ζύμωση στο εκάστοτε πείραμα, οι τιμές που προέκυψαν για τις διάφορες θερμικές κατεργασίες που μελετήθηκαν φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.1.3.1. Χρόνος ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.

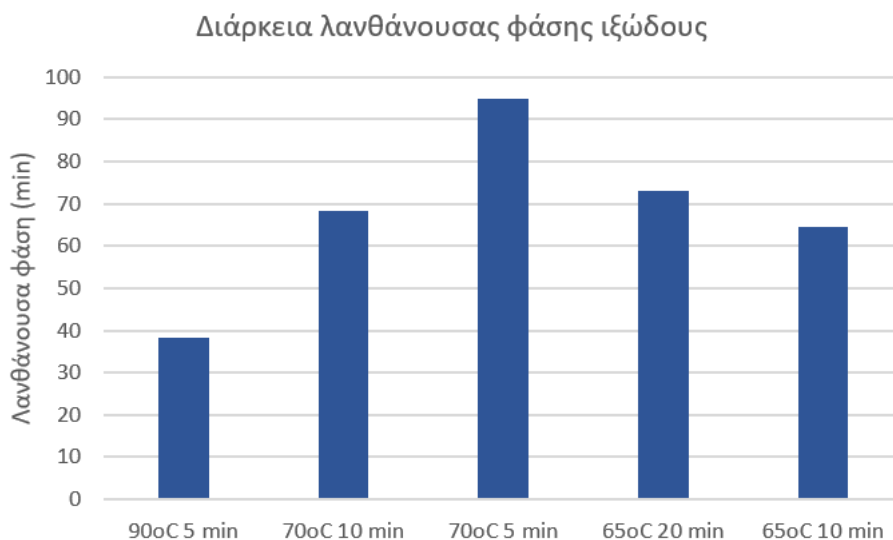
Φαίνεται πως η πιο έντονη θερμική κατεργασία (90°C – 5 min) του γάλακτος οδήγησε πιο γρήγορα στην ολοκλήρωση της ζύμωσης δηλαδή σε 185 min. Αντίστοιχα, η πιο ήπια θερμική κατεργασία (65°C – 10 min) απαιτήσε μεγαλύτερο χρόνο για την ολοκλήρωση της ζύμωσης, ίσο με 260 min. Οι ενδιάμεσες κατεργασίες έδωσαν σχετικά κοντινές τιμές, ωστόσο η ανάλυση διακύμανσης ANOVA έδειξε πως οι συνθήκες της θέρμανσης έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στον χρόνο ζύμωσης ($p < 0,05$). Ο χρόνος ζύμωσης μειώνεται όσο πιο έντονη είναι η ένταση της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος. Μια εξήγηση για αυτή τη συμπεριφορά είναι η μετουσίωση μεγάλου μέρους των πρωτεϊνών ορού του γάλακτος λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στην οποία εκτίθεται το γάλα. Έτσι, αυτές συσσωματώνονται και καταβυθίζονται πιο σύντομα οδηγώντας πιο γρήγορα σε πήγμα.⁸

Ελέγχεται η επίδραση του χρόνου υπό σταθερή θερμοκρασία όσον αφορά τη θερμική κατεργασία του γάλακτος. Συγκεκριμένα, στους 65°C για μεταβολή 10 min ανάμεσα στις κατεργασίες του γάλακτος (διατήρηση του γάλακτος για 20 και 10 min) παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για το χρόνο ζύμωσης, σύμφωνα με ανάλυση διακύμανσης ANOVA ($p < 0,05$). Σε θερμοκρασία 70°C, για διαφορά 5 min (διατήρηση του γάλακτος για 10 και 5 min) στη θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο ζύμωσης.

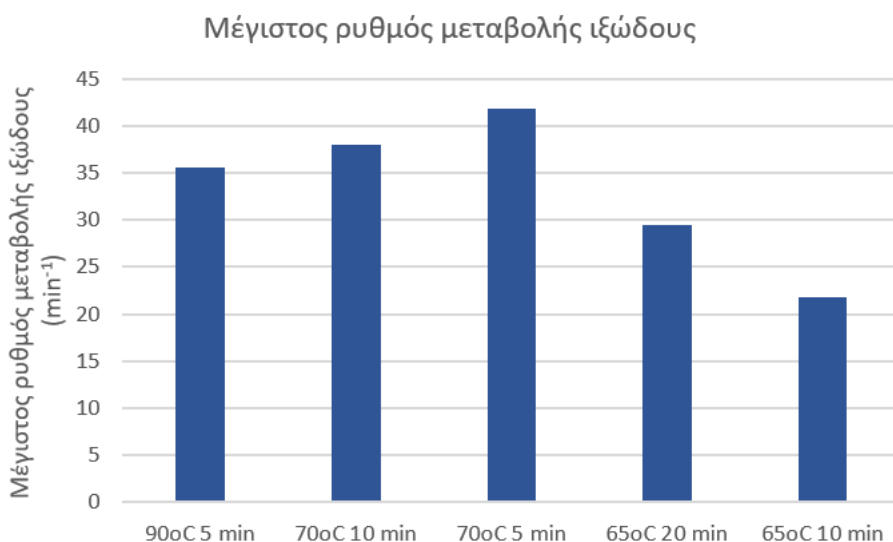
Αντίστοιχα, μελετάται η επίδραση της μεταβολής της θερμοκρασίας για σταθερό χρόνο θερμικής κατεργασίας του γάλακτος. Για διατήρηση του γάλακτος για 5 min σε θερμοκρασίες με διαφορά 20°C (δηλαδή 90°C – 5 min και 70°C – 5 min) δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας στο χρόνο ζύμωσης του γιαουρτιού. Αντίθετα, για σταθερό χρόνο θερμικής κατεργασίας 10 min και διαφορά στις θερμοκρασίες 5°C (δηλαδή 70°C – 10 min και 65°C – 10 min) η αύξηση της θερμοκρασίας βρέθηκε να μειώνει σημαντικά τον χρόνο ζύμωσης ($p < 0,05$). Συνεπώς, η επίδραση του χρόνου είναι πιο σημαντική από αυτή της θερμοκρασίας, κατά τη θερμική κατεργασία του γάλακτος εφόσον γίνεται λόγος για διεργασία που διαρκεί περισσότερο από 5 min.

3.1.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους

Αντίστοιχα με το pH υπολογίστηκαν οι παράγοντες λ, μ του μοντέλου Gompertz για τη μεταβολή του ιξώδους και οι τιμές που προέκυψαν φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα. Συνολικά, η προσαρμογή του μοντέλου στα πειραματικά σημεία είναι καλή καθώς η παράμετρος R^2 κυμαίνεται από 0,964 έως 0,995.



Σχήμα 3.1.4.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.



Σχήμα 3.1.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.

Η μικρότερη τιμή για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους παρατηρείται για την εντονότερη θερμική κατεργασία του γάλακτος, ενώ οι πιο ήπιες κατεργασίες έχουν σχετικά κοντινές τιμές. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μετουσίωση των πρωτεϊνών που συμβαίνει στις υψηλότερες θερμοκρασίες και άρα στην ευκολότερη αλλά και ταχύτερη δημιουργία πηγματος. Η στατιστική ανάλυση ANOVA έδειξε πως η θερμική κατεργασία επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ($p < 0,05$). Η λ του ιξώδους τείνει να μειώνεται με αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας.

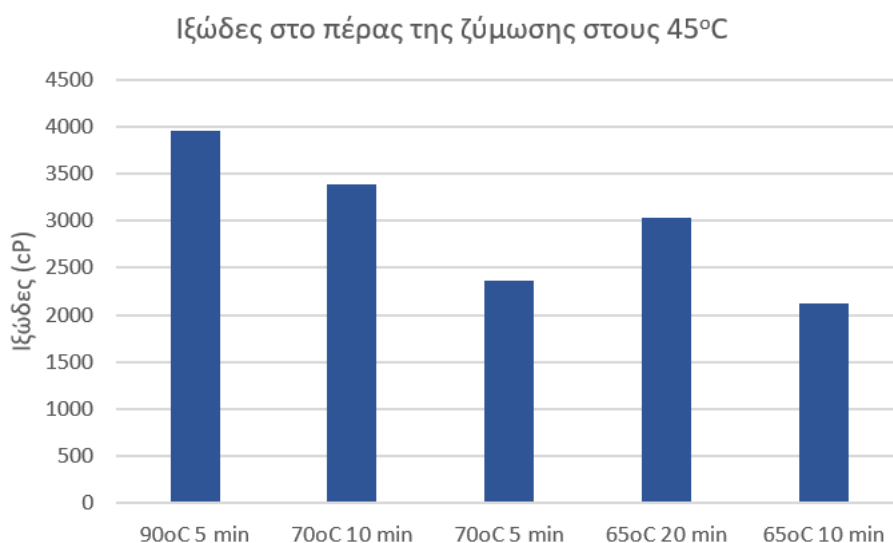
Οι μεγαλύτερες τιμές μέγιστου ρυθμού αύξησης του ιζώδους παρατηρούνται για τις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Ενώ, στους 65°C φαίνεται πως το ιζώδες μεταβάλλεται πιο αργά. Γενικότερα, ο παράγοντας μ βρίσκεται στο εύρος από 22 έως 54 min^{-1} για τις συνθήκες που μελετώνται και αυξάνεται σημαντικά από την αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, όπως προκύπτει από ανάλυση διακύμανσης ($p < 0,05$).

Μελετάται η επίδραση του χρόνου θερμικής κατεργασίας του γάλακτος (για σταθερή θερμοκρασία) στις παραμέτρους λ, μ που προκύπτουν για το ιζώδες. Για σταθερή θερμοκρασία 65°C και χρόνους διατήρησης του γάλακτος 20, 10 min δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική επίδραση του χρόνου στη λανθάνουσα φάση και το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους. Όμοια, για σταθερή θερμοκρασία 70°C και χρόνους 10, 5 min δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα λ, μ του ιζώδους λόγω της μεταβολής του χρόνου.

Επιπλέον, ελέγχεται η επίδραση της θερμοκρασίας στην οποία γίνεται η κατεργασία του γάλακτος στις παραμέτρους λ, μ του ιζώδους. Μελετήθηκαν οι διαφορές που προκύπτουν για σταθερό χρόνο κατεργασίας 5 min σε θερμοκρασίες 90 και 70°C και για σταθερό χρόνο 10 min σε θερμοκρασίες 70 και 65°C από όπου προέκυψε πως σε κάθε περίπτωση η μεταβολή της θερμοκρασίας δεν επιδρά σημαντικά στην λανθάνουσα φάση και το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

3.1.5 Ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

Η ζύμωση του γιαουρτιού ολοκληρώνεται όταν αυτό φτάσει την τιμή pH 4,45. Σε αυτό το σημείο και όσο το δείγμα είναι ακόμα στη θερμοκρασία της επώασης (45°C) μετράται το ιζώδες και τα αποτελέσματα για κάθε πείραμα φαίνονται στο σχήμα 3.1.5.1.



Σχήμα 3.1.5.1. Ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού (σε θερμοκρασία 45°C), που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.

Όπως είναι αναμενόμενο οι μεγαλύτερες τιμές ιζώδους παρατηρούνται για τα δείγματα που υπόκεινται σε πιο έντονη θερμική κατεργασία, λόγω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών ορού. Ωστόσο από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει ότι η θερμική κατεργασία δεν επηρεάζει σημαντικά το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης.

Εν συνεχεία, μελετάται χωριστά η επίδραση του χρόνου -για σταθερή θερμοκρασία- στο ιζώδες των δειγμάτων στο πέρας της ζύμωσης. Συγκεκριμένα, στους 65°C για διαφορά 10 min ανάμεσα στις

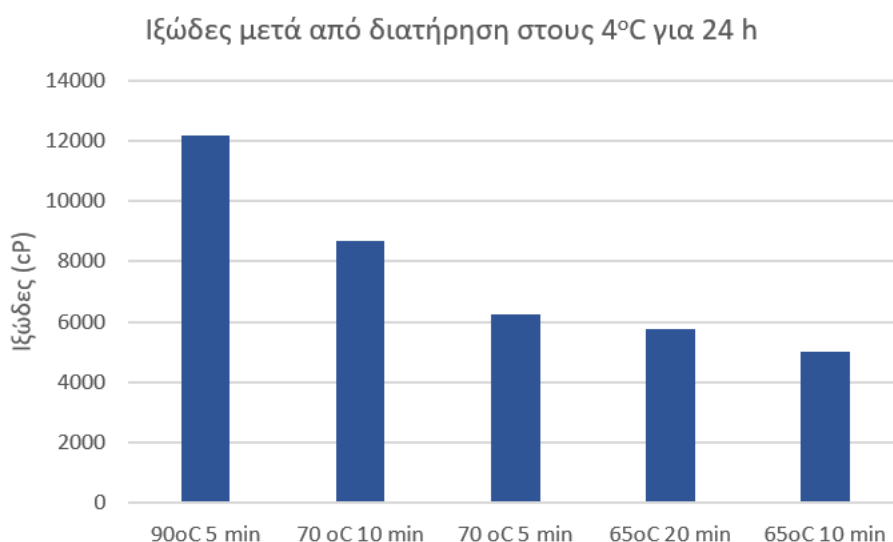
κατεργασίες του γάλακτος παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές για το ιξώδες, όπως προκύπτει από ανάλυση διακύμανσης ANOVA ($p < 0,05$). Το ιξώδες αυξάνεται με αύξηση του χρόνου θερμικής κατεργασίας. Σε θερμοκρασία 70°C, για διαφορά 5 min στη θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο ζύμωσης.

Η επίδραση της θερμοκρασίας, με σταθερό χρόνο, στις δύο περιπτώσεις θερμικής κατεργασίας του γάλακτος που μελετώνται (90°C και 70°C για 5 min & 70°C και 65°C για 10 min), δεν επηρεάζει σημαντικά το ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού στο πέρας της ζύμωσης.

Έτσι η μεγαλύτερη επίδραση στο ιξώδες του γιαουρτιού φαίνεται να προκύπτει από μεταβολή του χρόνου της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος κατά τουλάχιστον 10 min.

3.1.6 Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h

Στο σχήμα 3.1.6.1 παρουσιάζονται οι πειραματικές μετρήσεις για το τελικό ιξώδες κάθε γιαουρτιού, αφού τα προϊόντα γιαουρτιού διατηρηθούν σε ψύξη για μία ημέρα.



Σχήμα 3.1.6.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

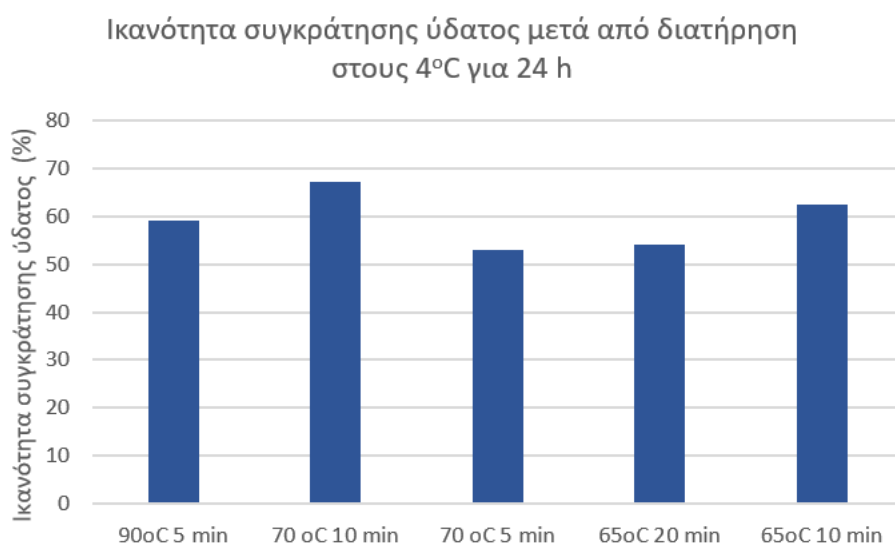
Παρατηρείται πως μετά τη διατήρηση σε ψύξη η τιμή του ιξώδους κάθε πήγματος σχεδόν διπλασιάζεται. Η μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται για την πιο έντονη θερμική κατεργασία (90°C – 10 min), δηλαδή 12162 cP ενώ το λιγότερο ιξώδες γιαούρτι προέκυψε για την πιο ήπια θερμική κατεργασία (65°C – 10 min) με τιμή 5009 cP. Η θερμική κατεργασία του γάλακτος στους 90°C για 5 min οδηγεί σε ένα προϊόν το οποίο χάνει τον πόσιμο χαρακτήρα του και συνεπώς κρίνεται ακατάλληλη για τον σκοπό των παρόντων πειραμάτων. Οι διαφορές που βρέθηκαν ανάμεσα στα δείγματα είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$) όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης.

Η μεταβολή του χρόνου, για σταθερή θερμοκρασία θερμικής κατεργασίας του γάλακτος επηρεάζει το ιξώδες του τελικού προϊόντος με τον ίδιο τρόπο που επηρεάζει το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης. Δηλαδή η μεταβολή κατά 10 min επιδρά σημαντικά στο τελικό ιξώδες ($p < 0,05$) σε αντίθεση με τη μεταβολή της θερμικής κατεργασίας για 5 min.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας, για σταθερό χρόνο θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, δεν προέκυψε να επηρεάζει σημαντικά το τελικό ιξώδες του προϊόντος για χρόνο 10 min ανάμεσα στις θερμοκρασίες 70°C και 65°C. Για μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά (20°C) ο χρόνος 5 min ήταν αρκετός ώστε να παρατηρηθούν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο τελικό ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού και συγκεκριμένα αύξησή του με αύξηση της θερμοκρασίας ($p < 0,05$).

3.1.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Τα πήγματα που δημιουργήθηκαν, από τις διαφορετικές θερμικές κατεργασίες γάλακτος που εφαρμόστηκαν, συγκρίθηκαν ως προς την ικανότητά τους να συγκρατούν το νερό (WHC). Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης.



Σχήμα 3.1.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

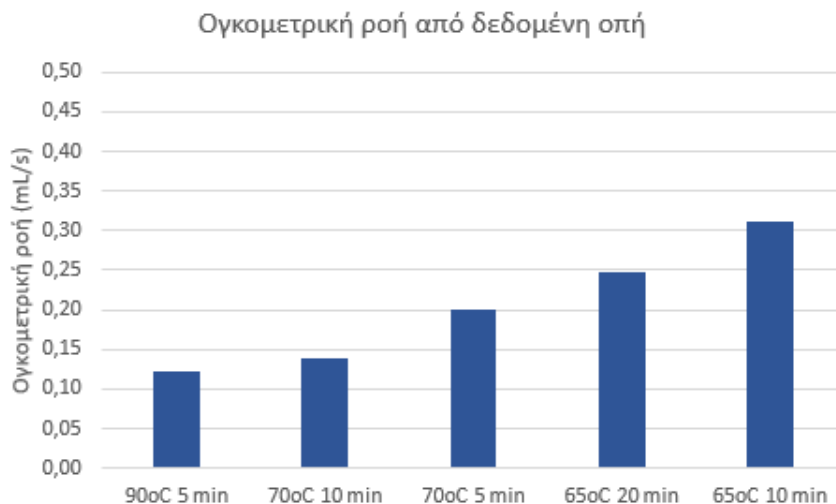
Η WHC κυμαίνεται μεταξύ 52 και 73%. Φαίνεται πως οι πιο έντονες θερμικές κατεργασίες δηλαδή 90°C – 5 min και 70°C – 10 min, οι οποίες οδήγησαν και σε πιο ιξώδη πήγματα, έδωσαν αντίστοιχα πιο συνεκτικά πήγματα τα οποία συγκρατούν το νερό πιο αποτελεσματικά. Ωστόσο και η πιο ήπια θερμική κατεργασία 65°C – 10 min έχει υψηλή WHC ίση με 63%. Στη συγκεκριμένη κατεργασία, το πήγμα που δημιουργήθηκε πιθανώς είναι πιο συνεκτικό καθώς απαιτήσε περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωση της ζύμωσης και άρα η καταβύθιση των πρωτεϊνών και η δημιουργία του πλέγματός τους έγινε με πιο ομοιόμορφο τρόπο. Η ανάλυση διακύμανσης ANOVA έδειξε πως η θερμική κατεργασία δεν επηρέασε σημαντικά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος, έτσι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικές.

Η μεταβολή του χρόνου, για σταθερή θερμοκρασία θερμικής κατεργασίας τους γάλακτος, δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην ικανότητα συγκράτησης νερού των γιαουρτιών για τις συνθήκες που μελετήθηκαν, δηλαδή 20 και 10 min στους 65°C & 10 και 5 min στους 70°C. Ομοίως η μεταβολή της θερμοκρασίας, για σταθερό χρόνο της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, δεν επηρέασε σημαντικά την WHC στις συνθήκες που μελετήθηκαν (90°C και 70°C για 5 min & 70°C και 65°C για 10 min).

3.1.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την ογκομετρική ροή των ρευστών γιαουρτιών της σειράς από δεδομένη οπή. Οι πιο μικρές τιμές, κοντά στα 0,15 mL/s, ογκομετρικής ροής, παρατηρούνται για τα γιαούρτια τα οποία προέρχονται από γάλα υψηλής θερμικής κατεργασίας, καθώς τα πήγματα που

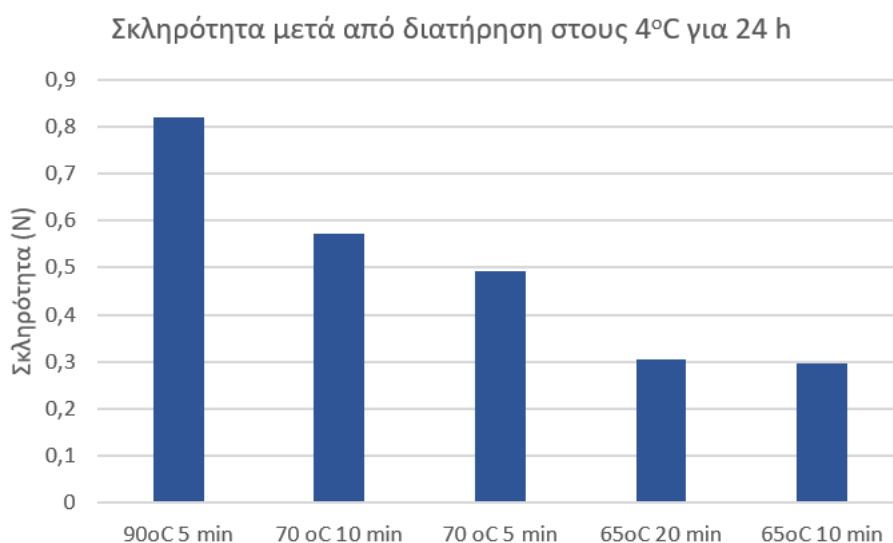
δημιουργούνται έχουν υψηλό ιξώδες. Κατά την ίδια αρχή, για την πιο ήπια θερμική κατεργασία (65°C – 10 min) προκύπτει η πιο μεγάλη τιμή ογκομετρικής ροής από την ίδια οπή, ίση με 0,31 mL/s, καθώς το πήγμα που παράγεται είναι το ασθενέστερο της σειράς. Οι διαφορές που προκύπτουν είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$), όπως επαληθεύεται από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).



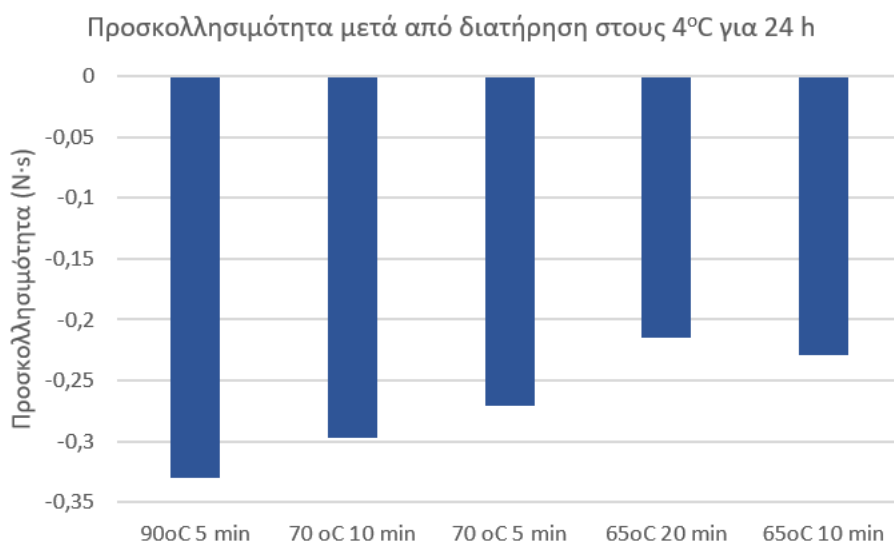
Σχήμα 3.1.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες.

3.1.9 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

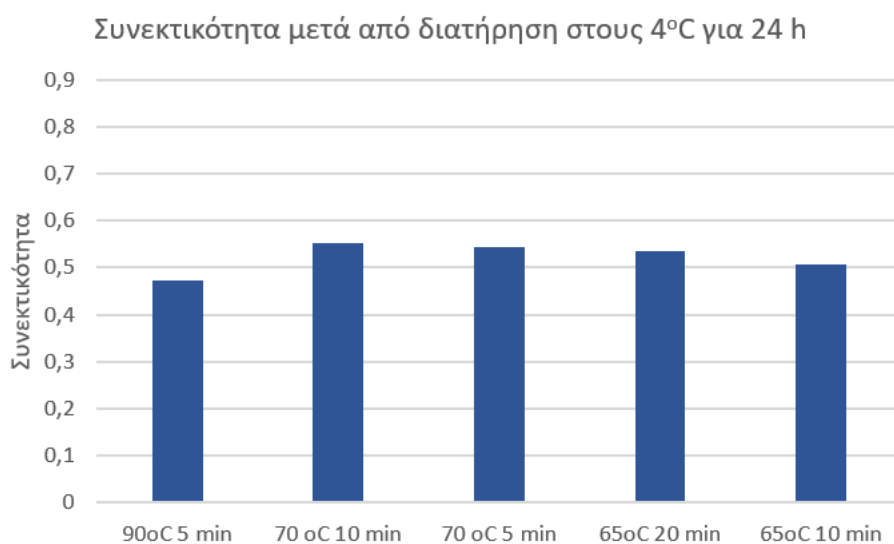
Η τελευταία ανάλυση στην οποία υπόκεινται τα διαφορετικά δείγματα γιαουρτιού που ψύχθηκαν στους 4°C αφορά την υφή τους. Κάνοντας χρήση του αναλυτή υφής δημιουργήθηκαν οι καμπύλες δύναμης – χρόνου για κάθε γιαούρτι. Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας προκύπτουν οι αντικειμενικές παράμετροι της υφής δηλαδή η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα, η συνεκτικότητα, το κομμιώδες και η ελαστικότητα όπως αυτές περιεγράφηκαν στο πειραματικό μέρος. Τα αποτελέσματα παρατίθενται προς σύγκριση στα παρακάτω σχήματα.



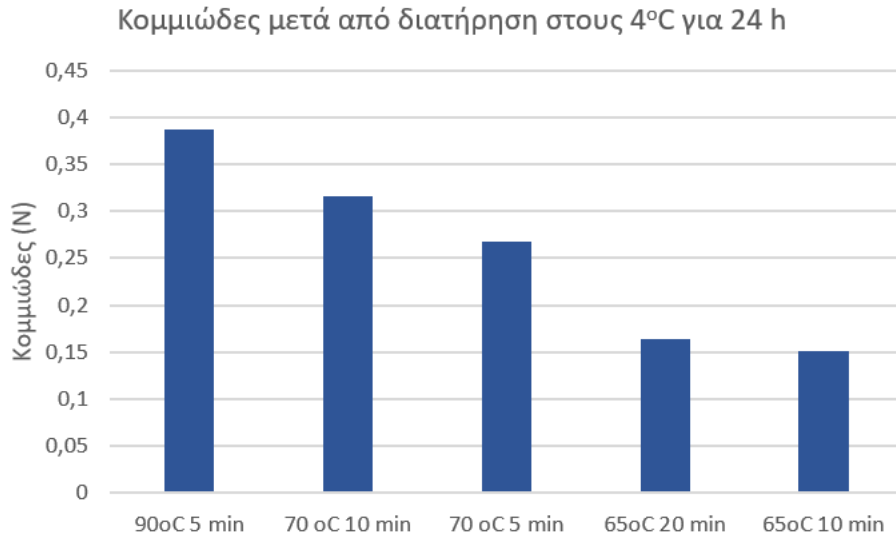
Σχήμα 3.1.9.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.



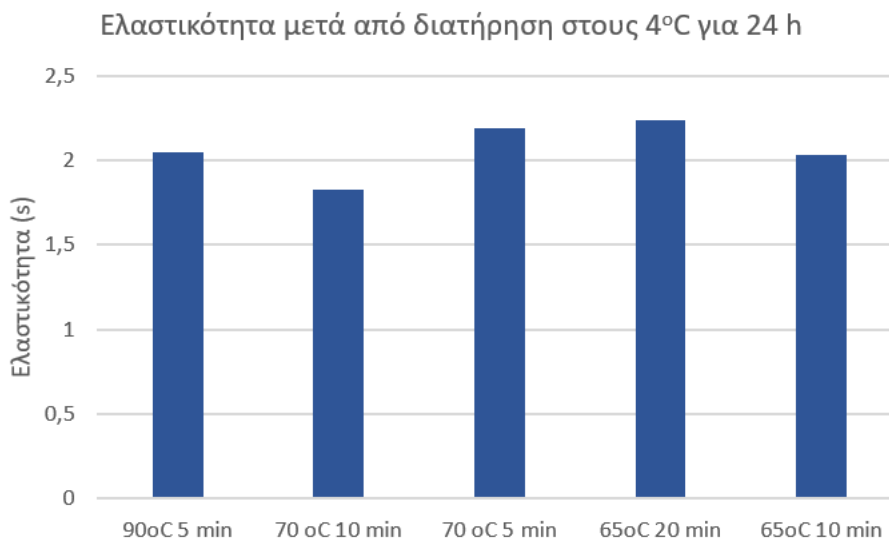
Σχήμα 3.1.9.2. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.



Σχήμα 3.1.9.3. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.



Σχήμα 3.1.9.4. Κομμιώδες ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.



Σχήμα 3.1.9.5. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού, που έχει παραχθεί από πλήρες γάλα με διάφορες θερμικές κατεργασίες, μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Η σκληρότητα αντιπροσωπεύει τη δύναμη που χρειάζεται για να συμπιεστεί το δείγμα από τους γομφίους, στην περίπτωση της αντικειμενικής ανάλυσης υφής αποτελεί τη μέγιστη δύναμη που απαιτείται κατά τον πρώτο κύκλο συμπίεσης του δείγματος από το στέλεχος. Στην περίπτωση της έντονης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος η δύναμη αυτή μετρήθηκε ίση με 0,82 N και ήταν η μεγαλύτερη τιμή σκληρότητας ανάμεσα στα δείγματα καθώς το δείγμα αυτό είχε και το μεγαλύτερο ιξώδες. Όσον αφορά τα άλλα δείγματα η σκληρότητά τους κυμαίνεται από 0,30 έως 0,57 N. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε πως η θερμική κατεργασία επηρεάζει σημαντικά τη σκληρότητα δίνοντας στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις τιμές που υπολογίστηκαν ($p < 0,05$). Η σκληρότητα αυξάνεται με αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Όσον αφορά την προσκολλησιμότητα, οι τιμές της φαίνεται πως δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα από σε κάθε δείγμα προερχόμενο από γάλα διαφορετικής θερμικής κατεργασίας. Αυτό το συμπέρασμα επαληθεύεται από την ανάλυση διακύμανσης η οποία δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές για αυτόν τον παράγοντα. Όμοια συμπεριφορά έχει και η συνεκτικότητα των δειγμάτων. Συγκεκριμένα, βρέθηκε πως η θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν επηρεάζει σημαντικά τη συνεκτικότητα των δειγμάτων γιαουρτιού, επαληθεύοντας τη συμπεριφορά του πήγματος ως προς την ικανότητα συγκράτησης ύδατος.

Το κομμώδες, καθώς αποτελεί την ενέργεια που απαιτείται για τη διάσπαση του τροφίμου, ώστε να καταποθεί, είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη σκληρότητά του. Συνεπώς, όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.1.9.4, αυτό ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά με τη σκληρότητα και οι διαφορές που προκύπτουν ανάμεσα στα δείγματα επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμική κατεργασία του γάλακτος ($p < 0,05$).

Η τελευταία παράμετρος υφής που εξετάζεται είναι η ελαστικότητα. Από το σχήμα 3.1.9.5 φαίνεται πως η τιμή της ελαστικότητας κυμαίνεται κοντά στα 2 s για κάθε δείγμα χωρίς τα δείγματα να έχουν γενικώς μεγάλες διαφορές. Η παρατήρηση αυτή επαληθεύεται από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA από όπου προέκυψε ότι η θερμική κατεργασία του γάλακτος δεν επηρεάζει σημαντικά την ελαστικότητα των δειγμάτων γιαουρτιού.

Συγκρίνοντας τους δύο παράγοντες της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος (θερμοκρασία – χρόνος) χωριστά όσον αφορά την επίδρασή τους στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του τελικού προϊόντος ρευστού γιαουρτιού, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα. Για σταθερή θερμοκρασία, η μεταβολή του χρόνου θερμικής κατεργασίας για τις κατεργασίες που μελετώνται (20 και 10 min στους 65°C & 10 και 5 min στους 70°C) δεν επηρέασε σημαντικά την υφή του τελικού προϊόντος.

Όσον αφορά τη μεταβολή της θερμοκρασίας, υπό σταθερό χρόνο, στις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος που μελετώνται προκύπτουν οι ακόλουθες διαφορές. Από τη μεγαλύτερη μεταβολή της θερμοκρασίας (90°C και 70°C για χρόνο 5 min) επηρεάζεται σημαντικά μόνο η σκληρότητα των δειγμάτων ρευστού γιαουρτιού που προέκυψαν ($p < 0,05$) από τις αντικειμενικές παραμέτρους υφής. Από τη μεταβολή θερμοκρασίας κατά 5°C (κατεργασίες γάλακτος 70°C και 65°C για 10 min) προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$) για τη σκληρότητα και το κομμώδες του ρευστού γιαουρτιού.

3.1.10 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Το ρευστό γιαούρτι που προκύπτει με τις διάφορες θερμικές κατεργασίες του γάλακτος έχει παρόμοια οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Σε κάθε περίπτωση το προϊόν αποκτά μία λευκή στιλπνή επιφάνεια. Οι διαφορές έγκεινται στο γιαούρτι που προκύπτει από την πιο έντονη θερμική κατεργασία, 90°C – 5 min, το οποίο είναι αρκετά συνεκτικό και περισσότερο συμπαγές από τα υπόλοιπα. Επιπλέον, παρουσιάζει πιο κοκκώδη υφή και χάνει τη ρευστότητά του. Το γιαούρτι το οποίο προέρχεται από γάλα ήπιας θερμικής κατεργασίας 65°C – 10 min εμφανίζει έντονο διαχωρισμό του ορού και πιο ασθενές πήγμα. Όσον αφορά τα γιαούρτια τα οποία προέρχονται από μέτρια θερμική κατεργασία, 70°C – 5 min και 65°C – 20 min, αυτά εμφάνισαν τα βέλτιστα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, με το πρώτο να εμφανίζει πιο συνεκτικό πήγμα και το δεύτερο καλύτερη ρεολογία, αλλά περισσότερο διαχωρισμό ορού (συναίρεση) σε σχέση με το πρώτο. Ωστόσο, συνολικά ο πιο έντονος διαχωρισμός ορού παρατηρήθηκε για το γιαούρτι που προέρχεται από την πιο ήπια θερμική κατεργασία γάλακτος (65°C – 10 min).

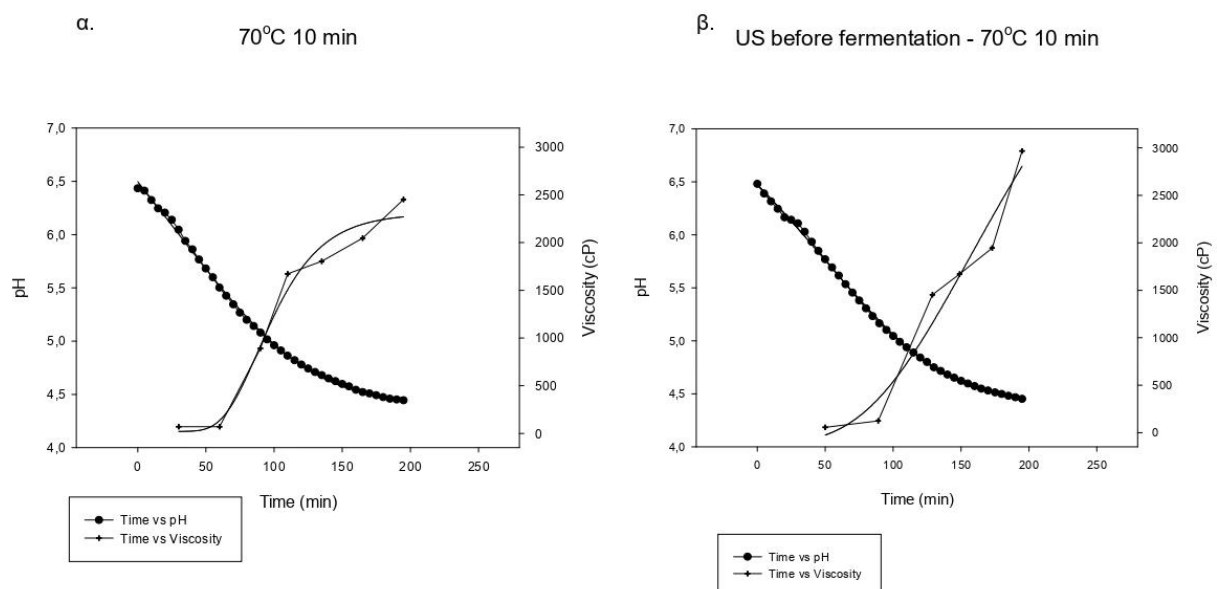
3.2 Εφαρμογή Υπερήχων

Στη δεύτερη σειρά πειραμάτων εφαρμόζονται υπέρηχοι (US) πριν ή μετά από τη ζύμωση. Συγκεκριμένα, μελετάται η συμβατική κατεργασία του γάλακτος για παραγωγή ρευστού γιαουρτιού σε σύγκριση με την

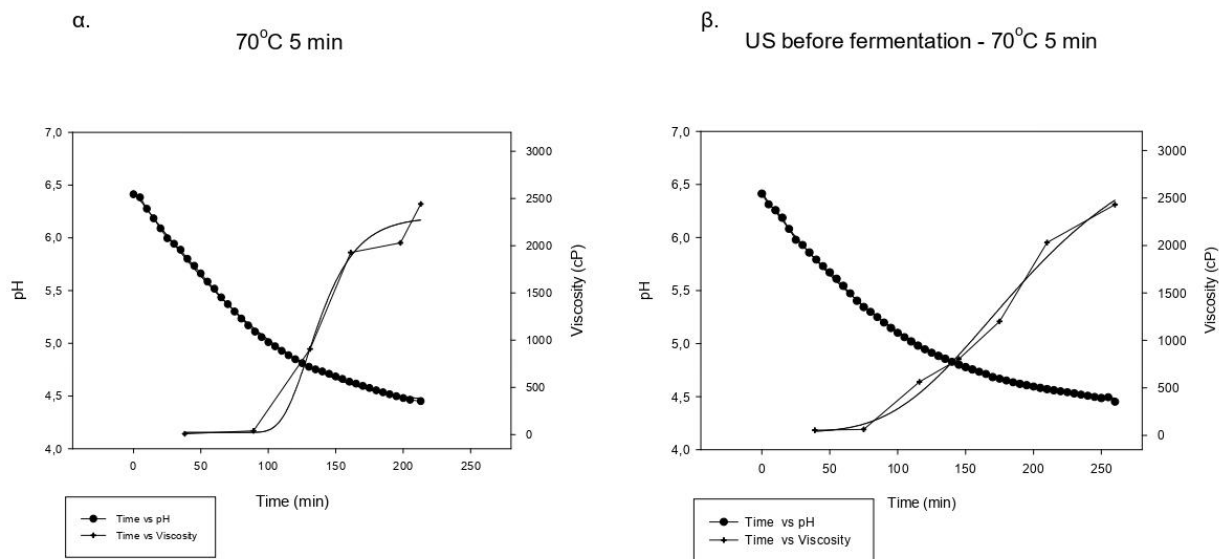
εφαρμογή US στο γάλα πριν από τη ζύμωσή του. Στο πέρας της ζύμωσης εφαρμόζονται υπέρηχοι σε κάποια δείγματα συμβατικού γιαουρτιού σε αντιστοιχία με τις τρεις θερμικές κατεργασίες γάλακτος (π.χ. 70°C για 10 min και US για 10 min). Όλα τα ρευστά γιαούρτια διατηρούνται σε θερμοκρασία 4°C για 24 h και γίνεται η σύγκρισή τους ως προς τα τελικά χαρακτηριστικά ιξώδους, αντικειμενικής υφής και την ικανότητα συγκράτησης νερού στο πήγμα. Γίνεται συμβατική θερμική κατεργασία του γάλακτος σε τρεις συνθήκες θερμοκρασίας χρόνου για την παραγωγή των συμβατικών γιαουρτιών τα οποία θεωρούνται τυφλά. Για κάθε συνδυασμό θερμοκρασίας— χρόνου δημιουργείται και ένα δείγμα στο οποίο παράλληλα με τη θέρμανση του γάλακτος εφαρμόζονται υπέρηχοι σε αυτό. Έτσι, για παράδειγμα, το γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από γάλα που έχει θερμανθεί στους 70°C για 10 min με ταυτόχρονη εφαρμογή υπερήχων για 10 min έχει ως τυφλό πείραμα το γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από γάλα που έχει θερμανθεί στους 70°C για 10 min χωρίς κάποια περαιτέρω κατεργασία.

3.2.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

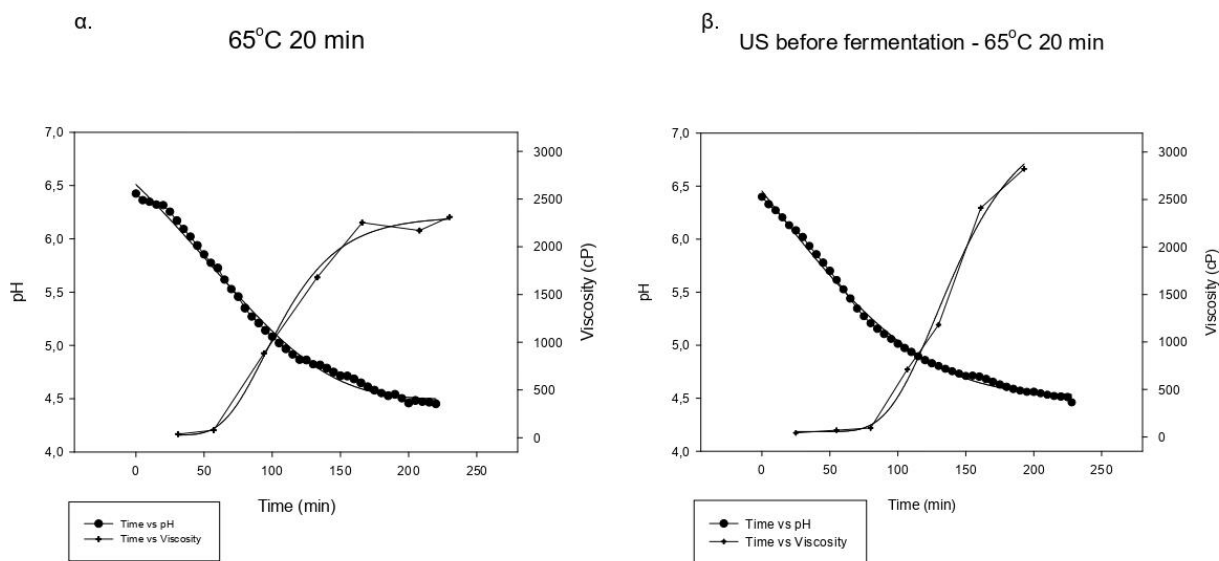
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι πειραματικές μετρήσεις για το pH και το ιξώδες συναρτήσει του χρόνου, στα ρευστά γιαούρτια που προέρχονται από πλήρες γάλα με διαφορετικές θερμικές κατεργασίες και επιπλέον εφαρμογή US.



Σχήμα 3.2.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με (α) συμβατική θερμική κατεργασία, (β) εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση επιπλέον της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, στους 70°C για 10 min, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.



Σχήμα 3.2.1.2. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με (α) συμβατική θερμική κατεργασία, (β) εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση επιπλέον της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, στους 70°C για 5 min, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

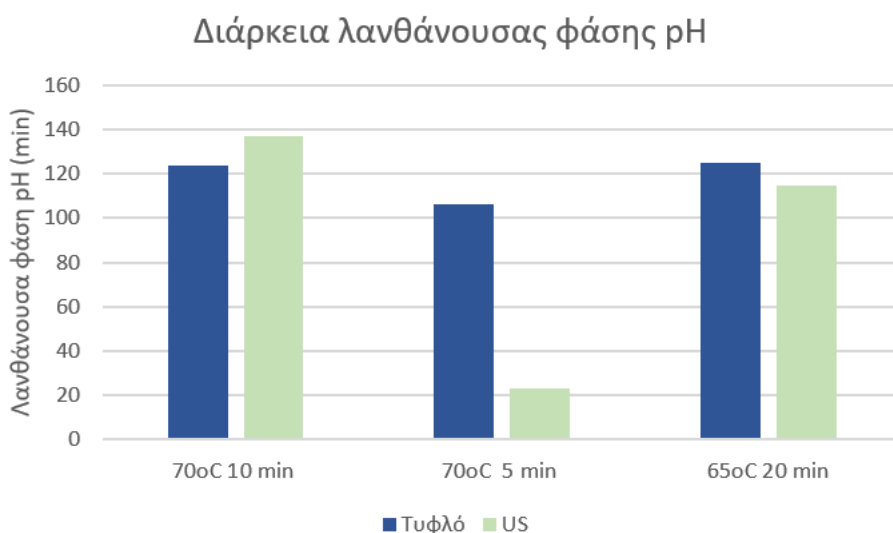


Σχήμα 3.2.1.3. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με (α) συμβατική θερμική κατεργασία, (β) εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση επιπλέον της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, στους 65°C για 20 min, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

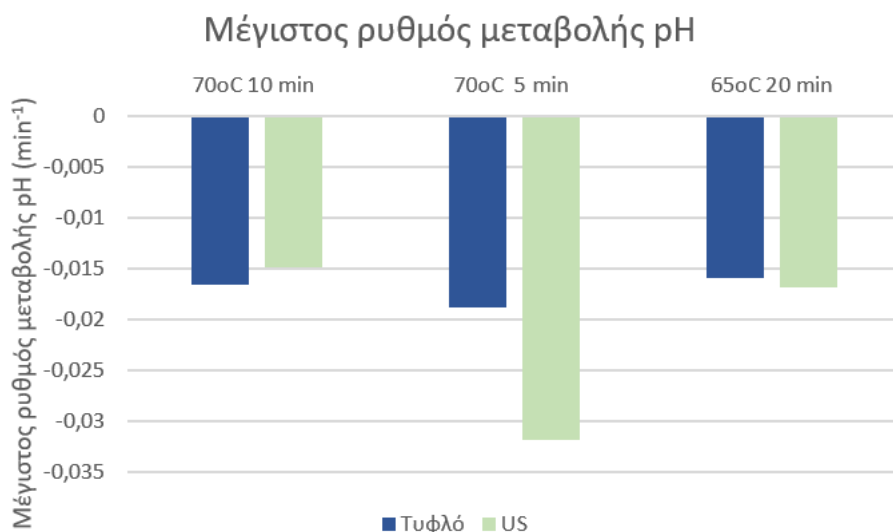
Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η μεταβολή της βασικότερης παραμέτρου για τη ζύμωση του γιαουρτιού, του pH, καθώς και του ιξώδους στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων. Όπως παρατηρείται οι δύο παράμετροι δεν μεταβάλλονται με τον ίδιο τρόπο, με την εφαρμογή υπερήχων επιβραδύνεται η μείωση του pH ενώ φαίνεται παράλληλα πως μειώνεται ο ρυθμός αύξησης του ιξώδους. Επιπλέον, το ιξώδες απαιτεί περισσότερο χρόνο ώστε να παρατηρηθούν σημαντικές μεταβολές (λανθάνουσα φάση) στην περίπτωση εφαρμογής υπερήχων σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Οι πειραματικές μετρήσεις έχουν προσαρμοστεί στα αντίστοιχα μοντέλα Gompertz και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στις επόμενες υποενότητες.

3.2.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Τα πειραματικά δεδομένα προσαρμόζονται στο μοντέλο Gompertz από όπου προκύπτουν οι δύο βασικές σταθερές για το pH, η λανθάνουσα φάση και ο ρυθμός μεταβολής του. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα συμβατικά γιαούρτια και τα αντίστοιχα στα οποία εφαρμόστηκαν υπέρηχοι πριν τη ζύμωση φαίνονται στα σχήματα 3.2.2.1 και 3.2.2.2. Σημειώνεται πως η προσαρμογή των πειραματικών σημείων σε κάθε περίπτωση είναι ικανοποιητική στο μοντέλο ($R^2 > 0,99$).



Σχήμα 3.2.2.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με τη λανθάνουσα φάση pH συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.



Σχήμα 3.2.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το μέγιστο ρυθμό μεταβολής pH συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

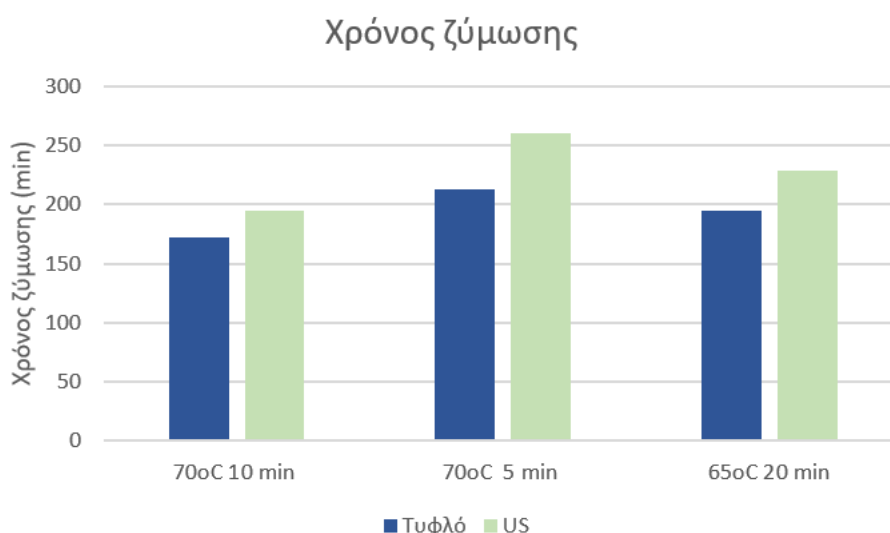
Από τα παραπάνω σχήματα παρατηρείται ότι τα πειράματα με συμβατική κατεργασία του γάλακτος έχουν λανθάνουσα φάση pH με διάρκεια πλησίον στα 100 min. Όπου εφαρμόστηκαν υπέρηχοι φαίνεται η λανθάνουσα φάση του pH να εμφανίζει μεγαλύτερες διαφορές. Η μεγαλύτερη διάρκεια λ, ίση με 137 min,

εντοπίζεται για εφαρμογή υπερήχων με την πιο έντονη θερμική κατεργασία στους 70°C για 10 min ενώ η κατεργασία στην ίδια θερμοκρασία και η εφαρμογή υπερήχων για 5 min, οδήγησε σε λανθάνουσα φάση ίση με 23 min δηλαδή τη μικρότερη που παρατηρήθηκε. Όλες οι διαφορές που παρατηρούνται προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ότι δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του pH είναι ίσος με $0,032 \text{ min}^{-1}$ και παρατηρείται για το γιαούρτι που έχει αντίστοιχα τη μικρότερη λανθάνουσα φάση, όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Για τα άλλα πειράματα ο ρυθμός μ βρέθηκε να είναι περίπου $0,015 \text{ min}^{-1}$ σχεδόν μισός από τον μέγιστο αυτής της σειράς πειραμάτων. Οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA. Συνεπώς φαίνεται πως ο ρυθμός μείωσης του pH δεν επηρεάζεται σημαντικά από την εφαρμογή υπερήχων, παρατήρηση που επαληθεύεται και από προηγούμενα πειράματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία.²⁰ Πιθανόν η ένταση της κατεργασίας αυτής δεν ήταν τόσο ικανή, ώστε οι μεταβολές των πρωτεϊνών να είναι τέτοιες με αποτέλεσμα να μεταβληθεί σημαντικά ο τρόπος μείωσης του pH.

3.2.3 Χρόνος ζύμωσης

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι χρόνοι ζύμωσης που έχουν προκύψει για τα ρευστά γιαούρτια που παρήχθησαν με την εκάστοτε θερμική επεξεργασία και τα αντίστοιχα τυφλά δείγματα.



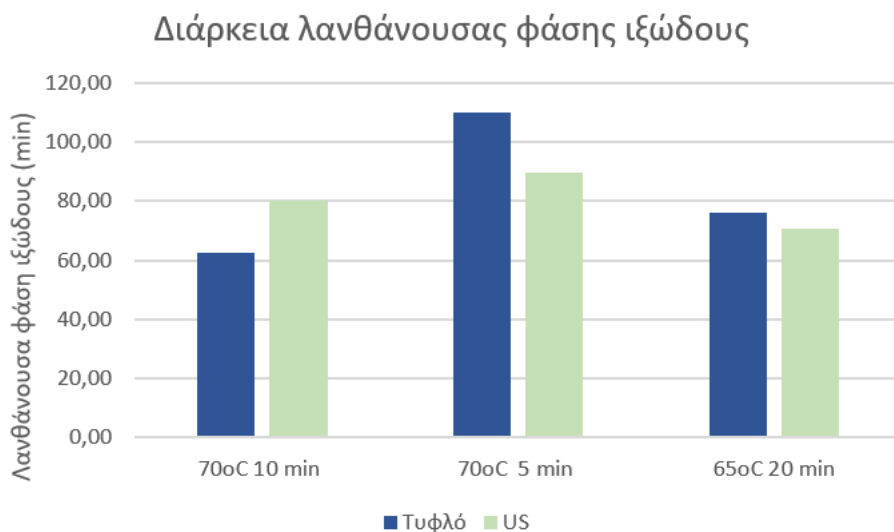
Σχήμα 3.2.3.1. Χρόνος ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το χρόνο ζύμωσης συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Μετά από σύγκριση του χρόνου ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού που παράγεται με συμβατική θερμική κατεργασία και με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι αυτός μεταβάλλεται. Η προσθήκη της κατεργασίας με US πριν από τη ζύμωση αυξάνει το χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρωθεί, δηλαδή να φτάσει το pH την τιμή 4,45. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε πως οι διαφορές στους χρόνους ζύμωσης είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$), έτσι μπορούν να ληφθούν υπόψιν. Η καθυστέρηση της ζύμωσης στα δείγματα που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μπορεί να αποδοθεί στη μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος.

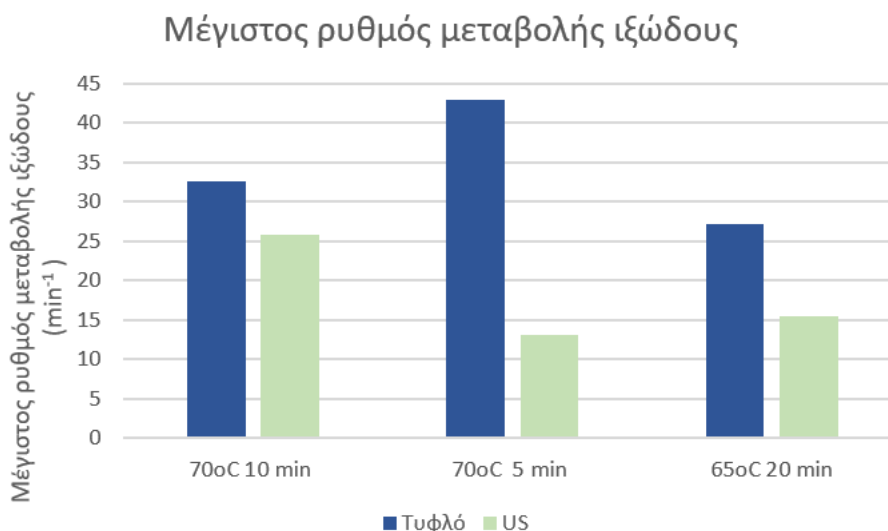
3.2.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους

Παράλληλα με την καταγραφή του pH προσδιορίστηκε και η μεταβολή του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του γιαουρτιού. Τα πειραματικά αποτελέσματα προσαρμόστηκαν στο μοντέλο Gompertz από όπου προέκυψαν οι βασικοί παράγοντες λ , μ δηλαδή η λανθάνουσα φάση και ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του

ιξώδους, αντίστοιχα. Η προσαρμογή στο μοντέλο κρίθηκε καλή καθώς σε όλες τις περιπτώσεις ισχύει $R^2 > 0,97$.



Σχήμα 3.2.4.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με τη λανθάνουσα φάση ιξώδους συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.



Σχήμα 3.2.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το μέγιστο ρυθμό μεταβολής ιξώδους συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Στο σχήμα 3.2.4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του ιξώδους για τα διάφορα πειράματα. Για λόγους σύγκρισης παρατίθεται για κάθε πείραμα με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, η αντίστοιχη συμβατική κατεργασία. Η μεγαλύτερη τιμή λ αντιστοιχεί στη συμβατική κατεργασία στους 70°C για 5 min και είναι ίση με 110 min. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις που εξετάστηκαν σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων η λανθάνουσα φάση κυμαίνεται μεταξύ 62 και 80 min. Η εφαρμογή US δεν φαίνεται να έχει κάποια σαφώς θετική ή αρνητική επίδραση στη λανθάνουσα φάση του ιξώδους, κάτι που επαληθεύεται και από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, η ανάλυση διακύμανσης

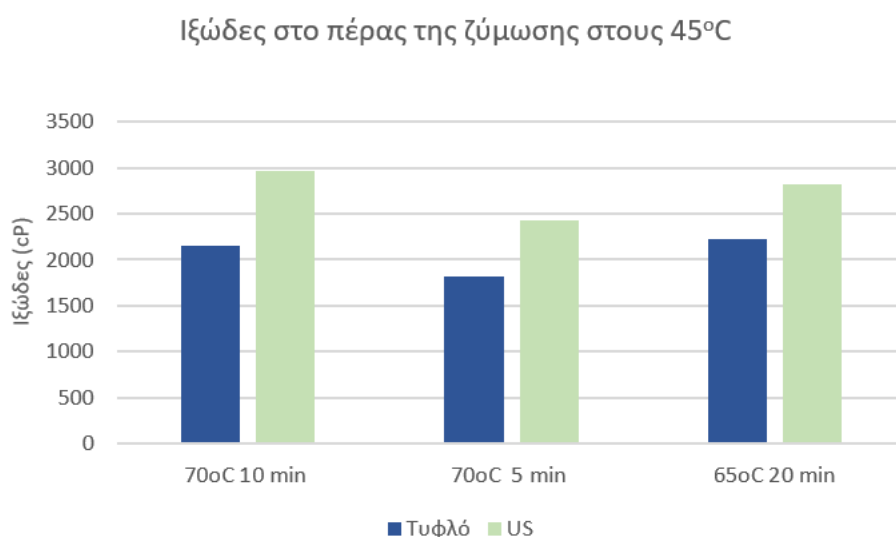
έδειξε πως οι διαφορές που παρατηρούνται για τη λανθάνουσα φάση του ιζώδους, σε κάθε πείραμα, δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Όσον αφορά τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους, φαίνεται πως η εφαρμογή υπερήχων επιδρά αρνητικά σε αυτόν μειώνοντάς τον σε σχέση με την εκάστοτε συμβατική κατεργασία. Τα πλήρη αποτελέσματα απεικονίζονται στο σχήμα 3.2.4.2 για τα πειράματα αυτής της σειράς. Η μεγαλύτερη τιμή μ αντιστοιχεί στη συμβατική κατεργασία στους 70°C για 5 min και είναι ίση με 42 min^{-1} ενώ η μικρότερη τιμή παρατηρείται για την ίδια θερμική κατεργασία με εφαρμογή υπερήχων και είναι ίση με 13 min^{-1} . Βρέθηκε πως οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA.

Έτσι, συνολικά οι πρώτες δύο φάσεις της καμπύλης εξέλιξης του ιζώδους φαίνεται πως δεν επηρεάζονται σημαντικά από την εφαρμογή υπερήχων όπως και αυτή του pH.

3.2.5 Ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

Οι πειραματικές μετρήσεις για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης όσο το δείγμα βρίσκεται σε θερμοκρασία 45°C απεικονίζονται στο σχήμα 3.2.5.1.

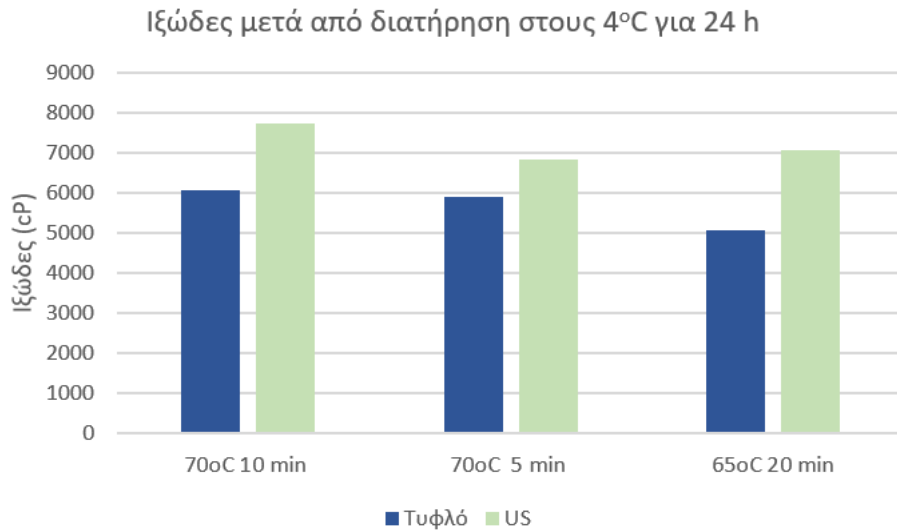


Σχήμα 3.2.5.1. Ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού, με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση, σε θερμοκρασία 45°C σε σύγκριση με το ιζώδες συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Η έκθεση του γάλακτος σε υπέρηχους πριν τη ζύμωση του φαίνεται να έχει θετική επίδραση στο ιζώδες του δείγματος στο τέλος της. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη τιμή ιζώδους αντιστοιχεί στην εντονότερη θερμική κατεργασία του γάλακτος με χρήση US και είναι ίση με 2968 cP, ενώ το ιζώδες του αντίστοιχου συμβατικού γιαουρτιού είναι 2153 cP. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) βρίσκεται πως οι διαφορές που προκύπτουν από την εφαρμογή υπερήχων στο τελικό ιζώδες (στους 45°C) είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$). Συνεπώς, η εφαρμογή US αυξάνει την τιμή του ιζώδους.

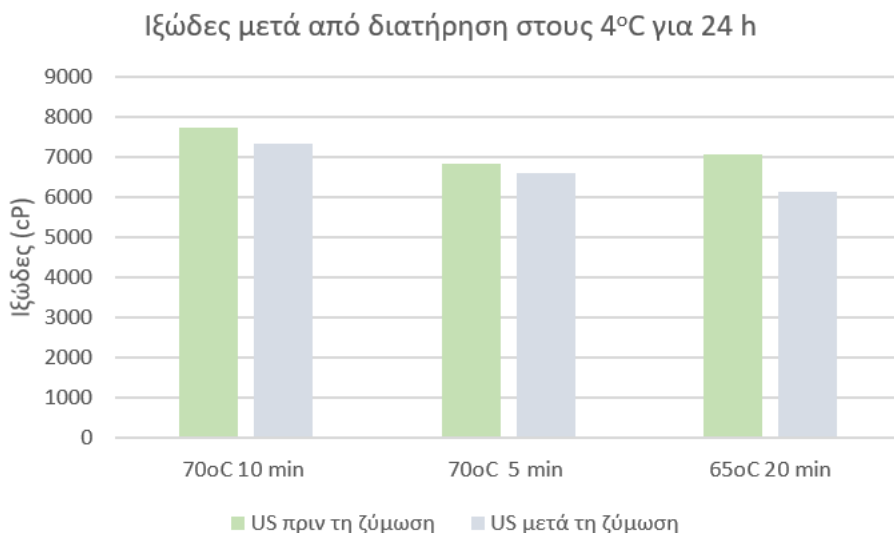
3.2.6 Ιζώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h

Σε αυτό το υποκεφάλαιο μελετάται το ιζώδες που απέκτησαν τα δείγματα μετά από ψύξη. Τα πειραματικά αποτελέσματα απεικονίζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 3.2.6.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το ιξώδες συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Παρατηρώντας το παραπάνω σχήμα φαίνεται πως, σε σύγκριση με το συμβατικό γιαούρτι (το οποίο έχει υποστεί μόνο θερμική κατεργασία), η επιπλέον εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση αυξάνει το ιξώδες του τελικού ψυγμένου προϊόντος. Η διαφορά αυτή στα ιξώδη μπορεί να φανεί για παράδειγμα στο γιαούρτι που υπέστη θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min. Συγκεκριμένα, το συμβατικό γιαούρτι απέκτησε ιξώδες 5061 cP, στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση έχει ιξώδες 7060 cP. Από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA προέκυψε πως η εφαρμογή US επιδρά σημαντικά στο τελικό ιξώδες των προϊόντων αυξάνοντάς το ($p < 0,05$).



Σχήμα 3.2.6.2. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το ιξώδες γιαουρτιού που εφαρμόστηκαν υπέρηχοι μετά τη ζύμωση.

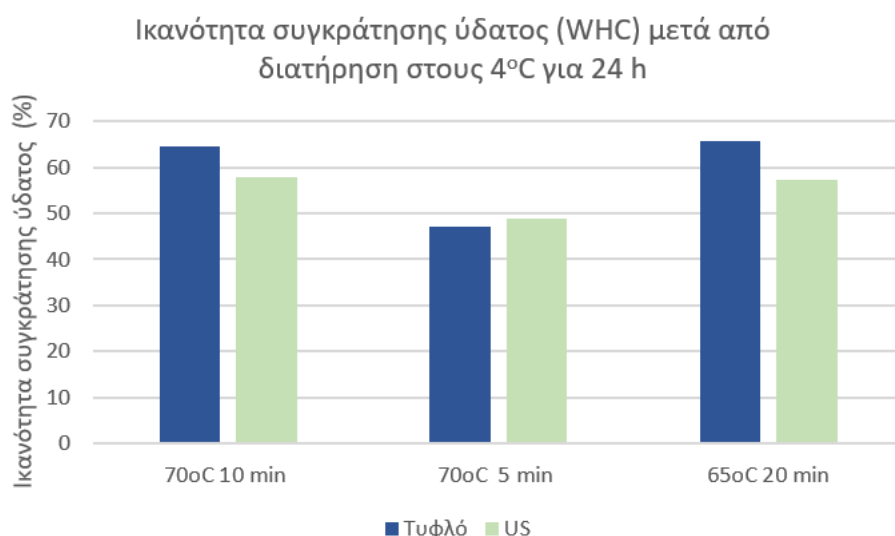
Γίνεται σύγκριση της επίδρασης των υπερήχων ανάλογα με το στάδιο της παρασκευής του ρευστού γιαουρτιού στο οποίο εφαρμόζονται, δηλαδή πριν ή μετά από τη ζύμωση. Παρατηρείται πως το τελικό γιαούρτι έχει μεγαλύτερη τιμή ιξώδους εάν προέρχεται από γάλα στο οποίο εφαρμόστηκαν US παράλληλα με τη θερμική κατεργασία από ότι εάν εφαρμοστούν US στο τέλος της ζύμωσής του. Όπως αναφέρθηκε

παραπάνω για θερμική κατεργασία του γάλακτος στους 65°C για 20 min με εφαρμογή US το ιξώδες προκύπτει 7060 cP, ενώ η αντίστοιχη τιμή στην περίπτωση που οι US εφαρμόζονται μετά τη ζύμωση είναι 6122 cP. Ωστόσο, από ανάλυση διακύμανσης προκύπτει πως το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται οι υπερήχοι δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στο τελικό ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού.

Όπως έχει βρεθεί και από τη βιβλιογραφία⁴ με εφαρμογή υπερήχων παρατηρείται αύξηση του τελικού ιξώδους του γιαουρτιού σε σχέση με το συμβατικό δείγμα. Η μεταβολή αυτή μπορεί να αποδοθεί στην μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού λόγω της έκθεσης σε US και στη σύνδεσή τους με την καζεΐνη. Όπως φαίνεται στο δείγμα που οι υπερήχοι εφαρμόστηκαν για περισσότερο χρόνο (20 min) πριν τη ζύμωση παρατηρήθηκε και μεγαλύτερη αριθμητική μεταβολή (1999 cP) του ιξώδους σε σχέση με το συμβατικό γιαούρτι.

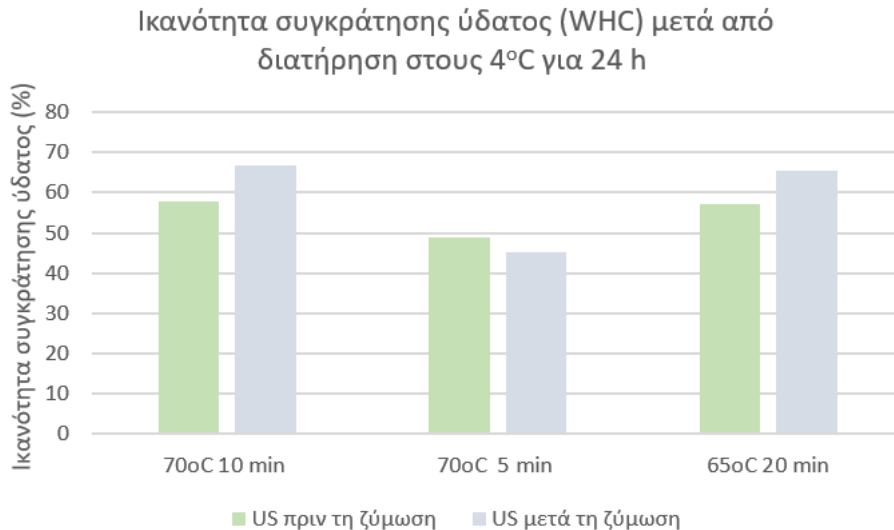
3.2.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Μελετήθηκε, επιπλέον, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) των ρευστών γιαουρτιών αφού διατηρήθηκαν σε ψύξη (4°C) για μία ημέρα και τα αποτελέσματα παρατίθενται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχήμα 3.2.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Φαίνεται πως για κάθε θερμική κατεργασία η WHC λαμβάνει μία τιμή που δεν μεταβάλλεται με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο με την εφαρμογή υπερήχων. Το ρευστό γιαούρτι που παρήχθη με θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min έχει WHC 66%, ενώ η εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση μείωσε αυτό το χαρακτηριστικό σε 57%. Για τη θερμική κατεργασία 70°C για 5 min οι αντίστοιχες τιμές είναι 47% και 49%, φαίνεται πως παραμένει σχετικά σταθερή, με την εφαρμογή US πριν τη ζύμωση να αυξάνει ελάχιστα την ικανότητα αυτή του πηγματος. Το ότι η επίδραση των υπερήχων δεν είναι καθορισμένη προέκυψε και από την ανάλυση διακύμανσης από την οποία συμπεραίνεται ότι οι διαφορές που εντοπίστηκαν δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

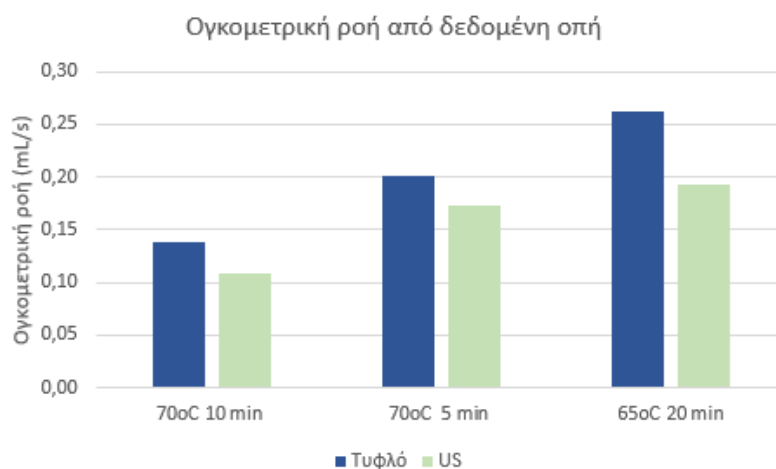


Σχήμα 3.2.7.2. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή γιαουρτιού που εφαρμόστηκαν υπέρηχοι μετά τη ζύμωση.

Συγκρίνεται η επίδραση του σταδίου στο οποίο εφαρμόζονται οι υπέρηχοι κατά την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού στην WHC. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.2.7.2 οι US πριν ή μετά τη ζύμωση δεν έχουν συγκεκριμένη επίδραση στην ικανότητα συγκράτησης νερού των πηγμάτων παρατήρηση που επαληθεύεται στατιστικά από ανάλυση διακύμανσης.

3.2.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

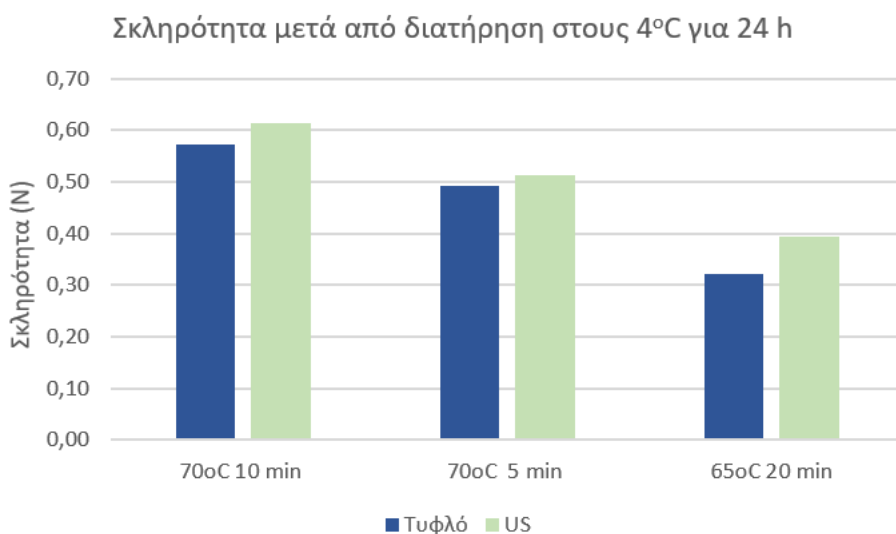
Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τιμές ογκομετρικής ροής που υπολογίστηκαν για τα διάφορα πειράματα αυτής της σειράς. Σε κάθε θερμική κατεργασία το τυφλό δείγμα φαίνεται πως ρέει με περισσότερη ευκολία διαμέσου της οπής καθώς από την επεξεργασία με US προκύπτει κάθε φορά πιο ιξώδες πήγμα. Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς η ογκομετρική ροή των δειγμάτων μειώνεται λόγω της εφαρμογής υπερήχων στο γάλα πριν από τη ζύμωσή του ($p < 0,05$).



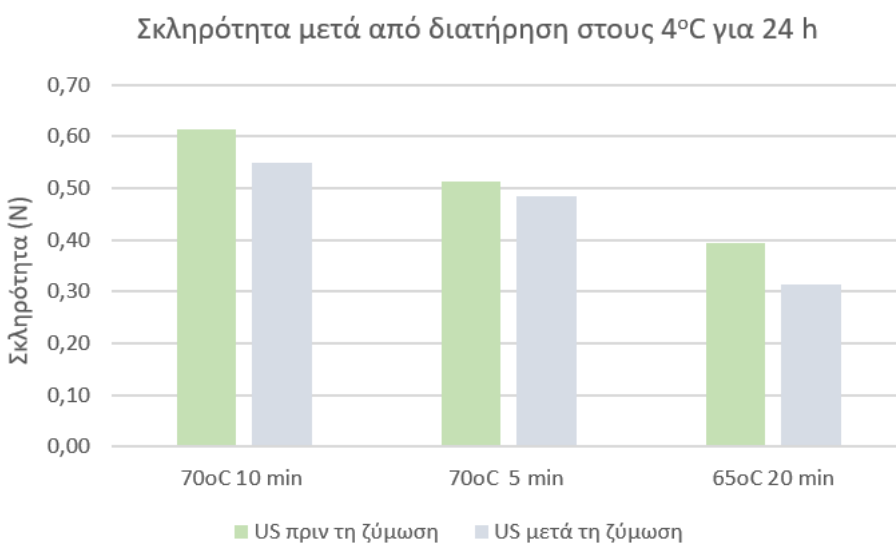
Σχήμα 3.2.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με το μέγιστο ρυθμό μεταβολής ιξώδους συμβατικού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

3.2.9 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

Στο τέλος αυτής της σειράς πειραμάτων τα ρευστά γιαούρτια αξιολογούνται και ως προς τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά υφής τους. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης φαίνονται παρακάτω στα σχήματα.



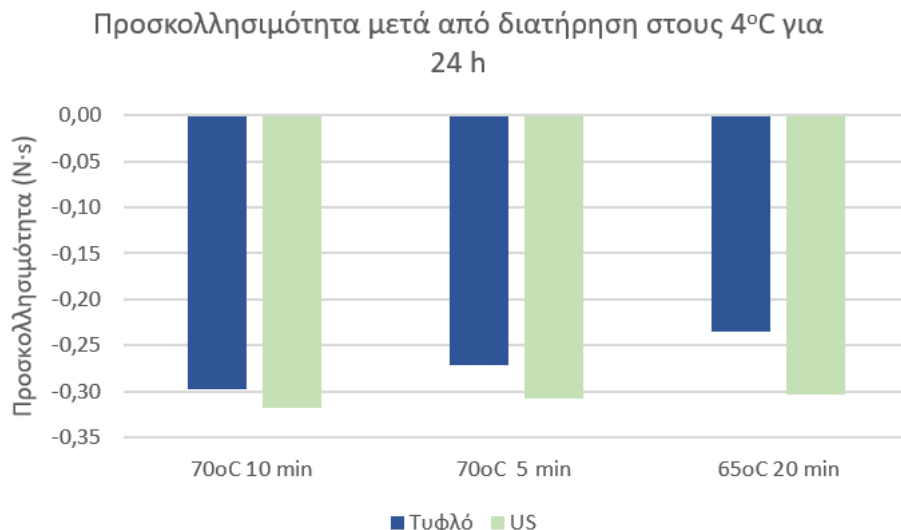
Σχήμα 3.2.9.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.



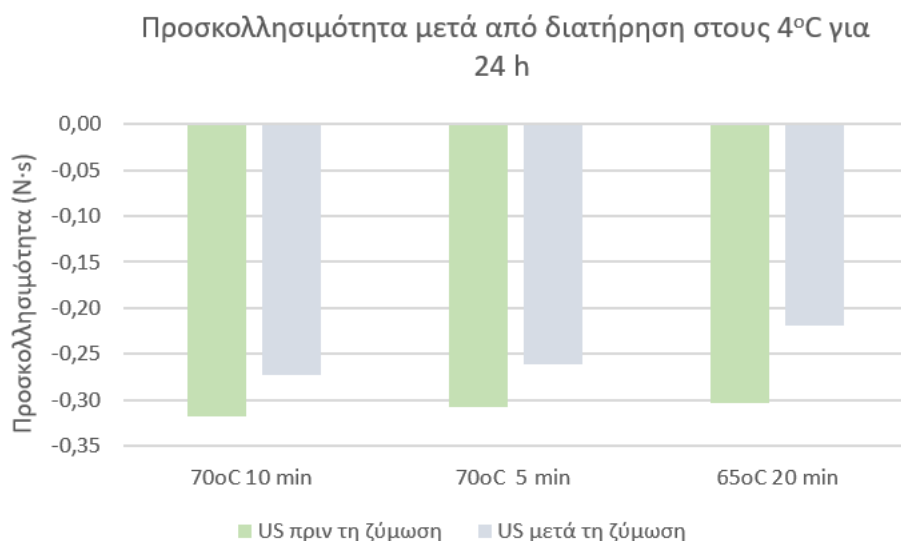
Σχήμα 3.2.9.2. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μετά τη ζύμωση με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Όσον αφορά τη σκληρότητα, φαίνεται πως παρουσιάζει σε κάθε θερμική κατεργασία τη μεγαλύτερη τιμή το δείγμα το οποίο έχει κατεργαστεί με US πριν τη ζύμωση. Λόγου χάρη, στην περίπτωση που το γάλα υπέστη ήπια κατεργασία, δηλαδή θερμάνθηκε στους 65°C για 20 min, το τελικό ψυγμένο γιαούρτι απέκτησε σκληρότητα 0,323 N ενώ η εφαρμογή US στο γάλα πριν τη ζύμωση αύξησε αυτό το χαρακτηριστικό σε 0,394 N. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε πως η εφαρμογή υπερήχων δεν επιδρά σημαντικά στη σκληρότητα, έτσι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Οι US μετά τη ζύμωση φαίνεται πως μειώνουν τη σκληρότητα σε σχέση με την εφαρμογή τους στο γάλα πριν τη ζύμωση, ωστόσο από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε ότι αυτές οι διαφορές δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Συνεπώς, το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται οι US δεν επιδρά σημαντικά στη σκληρότητα του γιαουρτιού.



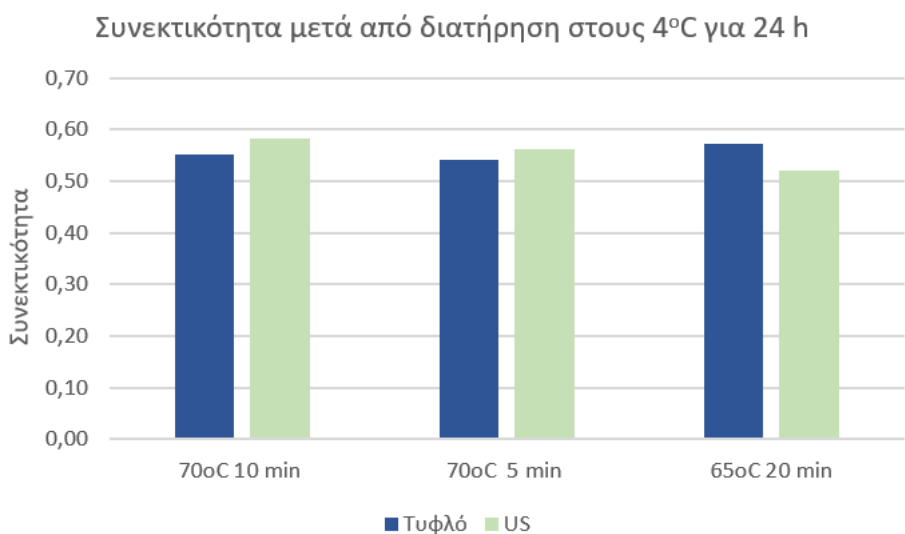
Σχήμα 3.2.9.3. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.



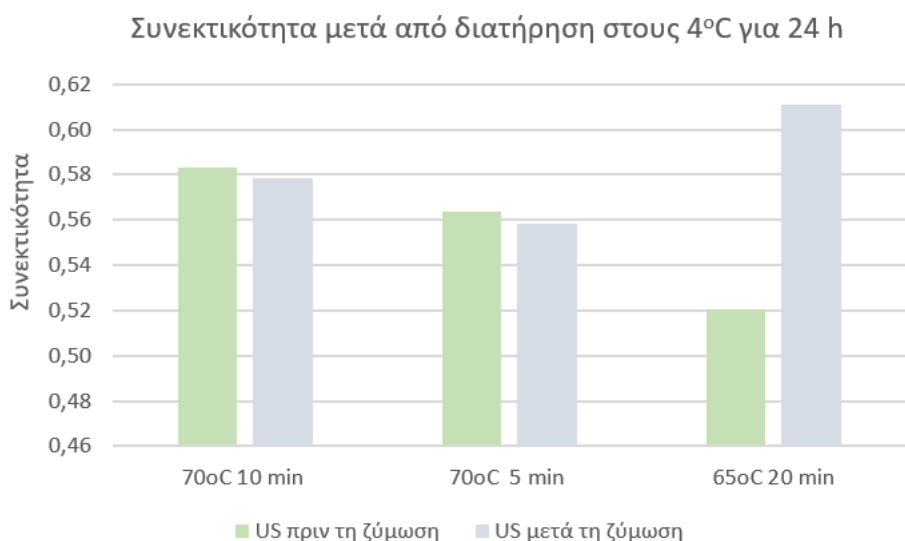
Σχήμα 3.2.9.4. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μετά τη ζύμωση με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Η προσκολλησιμότητα σύμφωνα με τα παραπάνω σχήματα ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά με τη σκληρότητα. Συνεπώς, κατ' απόλυτη τιμή αυτή η παράμετρος της αντικειμενικής υφής για μία δεδομένη θερμική κατεργασία είναι μεγαλύτερη όταν εφαρμόζονται US πριν τη ζύμωση σε σχέση με τη συμβατική παραγωγή γιαουρτιού. Για τα δείγματα που παράγονται με εφαρμογή US μετά τη ζύμωση μετρήθηκε προσκολλησιμότητα μικρότερη κατ' απόλυτη τιμή από αυτή του δείγματος ρευστού γιαουρτιού που έχει

παραχθεί από εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση. Η στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) δείχνει πως οι διαφορές που παρατηρούνται για την εφαρμογή υπερήχων ή μη δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

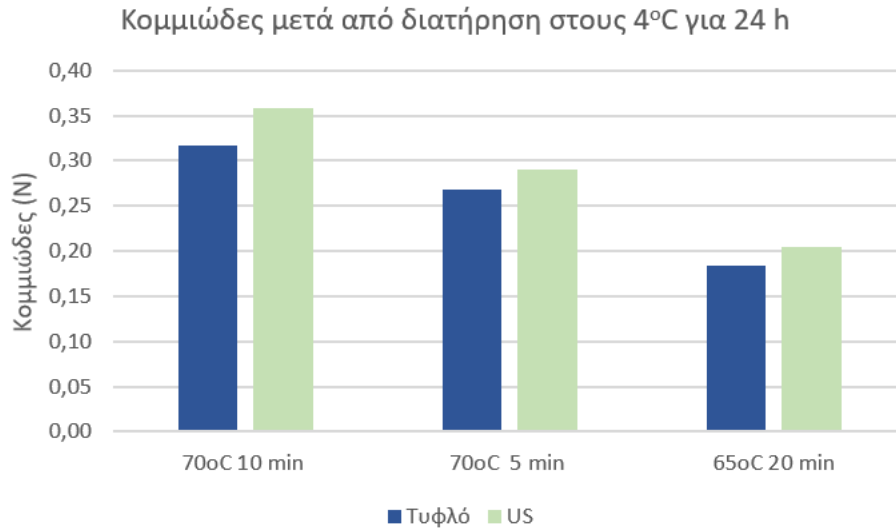


Σχήμα 3.2.9.5. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

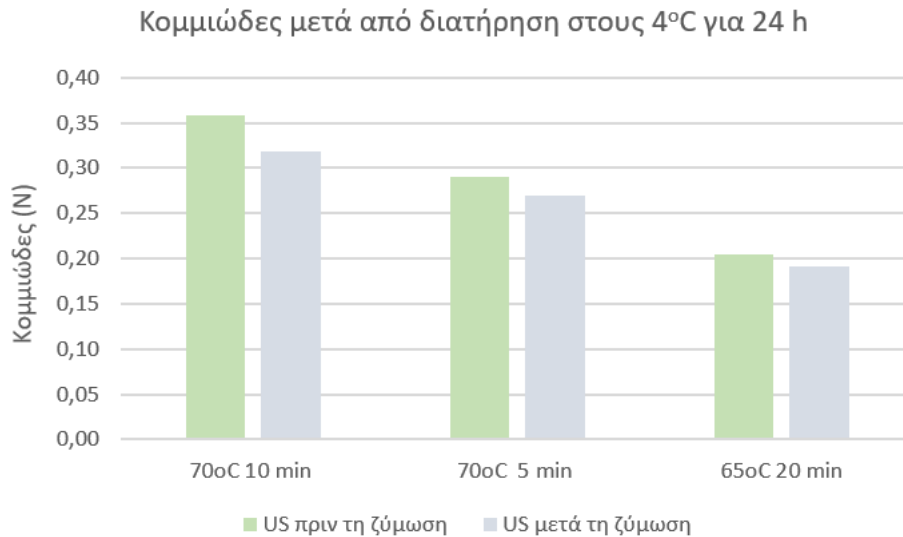


Σχήμα 3.2.9.6. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μετά τη ζύμωση με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Η επίδραση των υπερήχων δεν είναι καθορισμένη καθώς σε σχέση με το συμβατικό, στις υψηλότερες θερμικές κατεργασίες οι US αυξάνουν τη συνεκτικότητα, ενώ στο γιαούρτι που έχει παραχθεί από γάλα θερμικά κατεργασμένο στους 65°C οι US πριν τη ζύμωση την μειώνουν. Η ανάλυση διακύμανσης ANOVA επιβεβαίωσε πως οι διαφορές που παρατηρούνται δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Ομοίως, το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται οι υπέρηχοι δεν επιδρά σημαντικά στη συνεκτικότητα του γιαουρτιού.

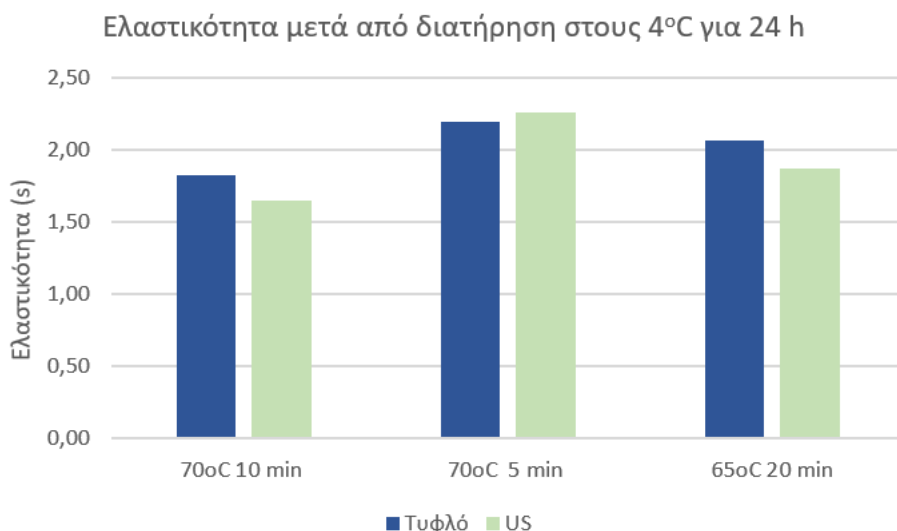


Σχήμα 3.2.9.7. Κομμιώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτό συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

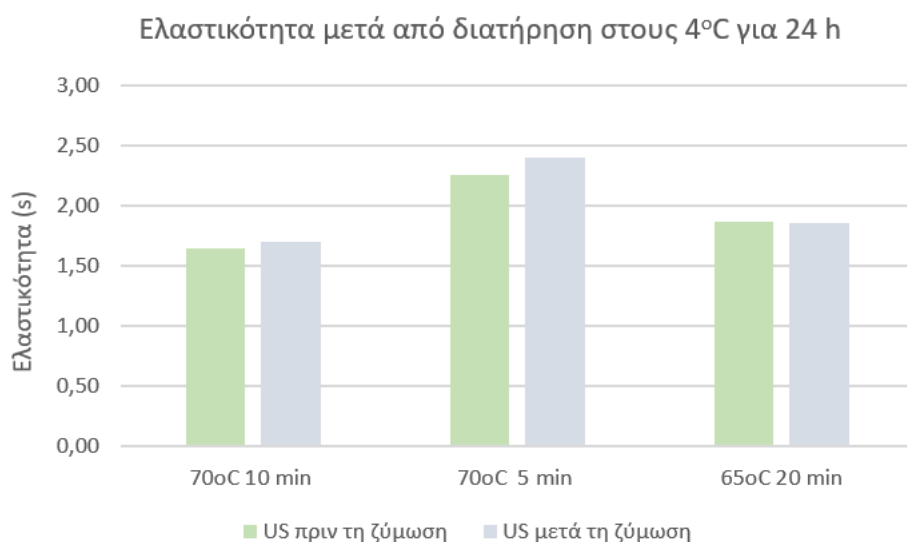


Σχήμα 3.2.9.8. Κομμιώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μετά τη ζύμωση με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Επιπλέον, οι US φαίνεται πως επιδρούν στο κομμιώδες με τον ίδιο τρόπο που επιδρούν στη σκληρότητα. Το κομμιώδες του γιαουρτιού που έχει παραχθεί με εφαρμογή US μετά τη ζύμωση είναι λίγο υψηλότερο από ότι αυτό συμβατικού γιαουρτιού, ενώ εκείνο που έχει παραχθεί από εφαρμογή US πριν τη ζύμωση έχει την υψηλότερη τιμή από τις άλλες περιπτώσεις. Η παρατηρούμενη διαφορά στο κομμιώδες λόγω εφαρμογής υπερήχων δεν είναι στατιστικά σημαντική, όπως αυτή προέκυψε από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Ομοίως, το στάδιο στο οποίο εφαρμόζονται οι υπέρηχοι δεν επιδρά σημαντικά στο κομμιώδες του γιαουρτιού.



Σχήμα 3.2.9.9. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.



Σχήμα 3.2.9.10. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με εφαρμογή υπερήχων στο γάλα πριν τη ζύμωση σε σύγκριση με αυτή συμβατικού γιαουρτιού που έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι μετά τη ζύμωση με διάφορες θερμικές κατεργασίες γάλακτος.

Η τελευταία παράμετρος αντικειμενικής υφής που προσδιορίστηκε είναι η ελαστικότητα. Για καθορισμένη θερμική κατεργασία η εφαρμογή υπερήχων πριν ή μετά τη ζύμωση δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση σε αυτό το χαρακτηριστικό. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και μέσω ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) από την οποία προκύπτει ότι οι υπέρηχοι δεν προκάλεσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ελαστικότητα των διαφόρων δειγμάτων ρευστού γιαουρτιού, αλλά ούτε και το στάδιο στο οποίο εφαρμόστηκαν.

3.2.10 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Το τυφλό δείγμα σε κάθε περίπτωση εμφανίζει πιο τραχεία επιφάνεια και για αυτό η υφή στο κουτάλι είναι πιο υποβαθμισμένη σε σχέση με το δείγμα στο οποίο έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι. Η εφαρμογή US πριν τη ζύμωση του γάλακτος οδηγεί σε ένα πιο λείο και ομοιογενές πήγμα με βελτιωμένη ρεολογία. Στα δείγματα

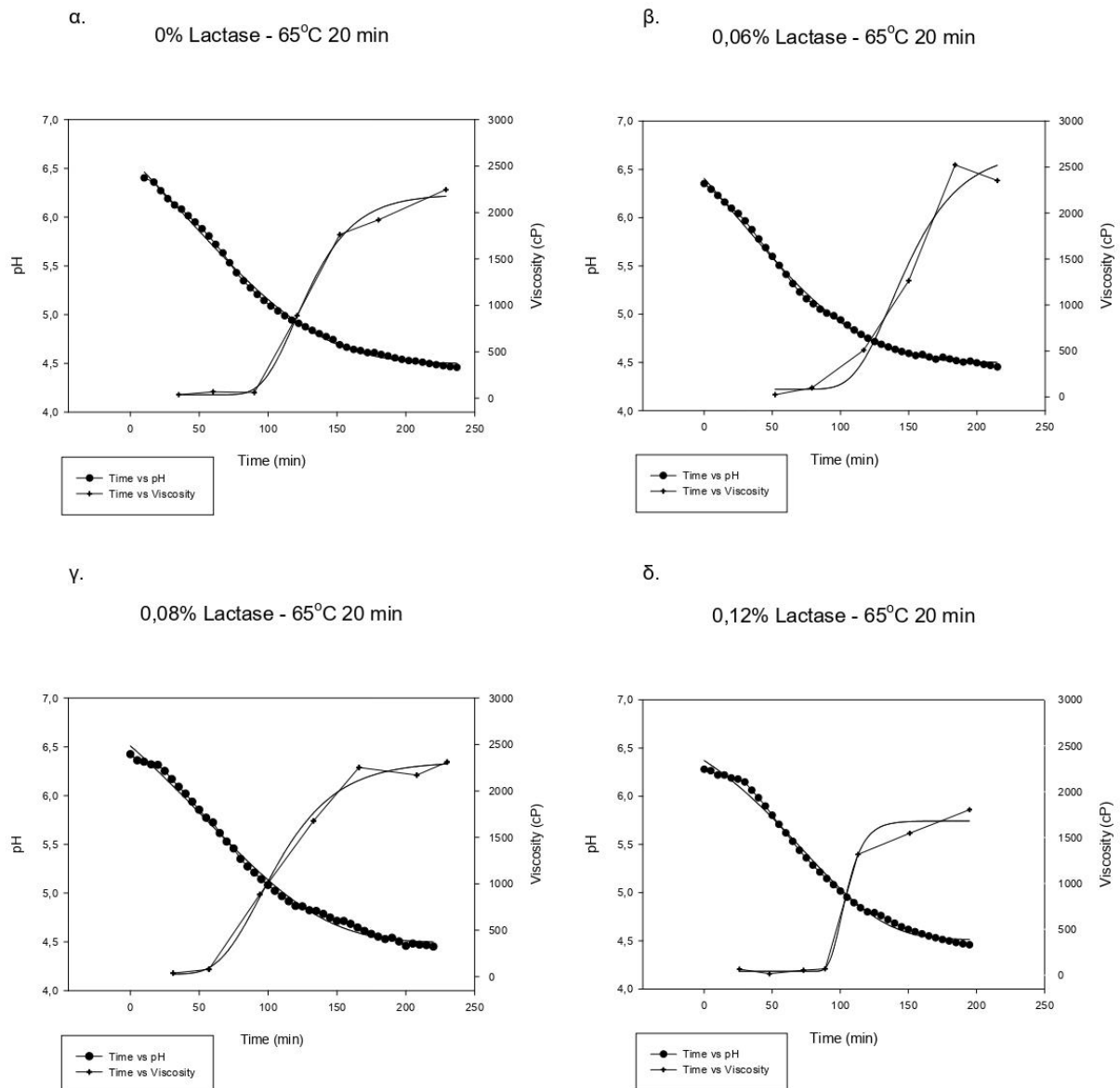
γιαουρτιού που οι υπέρηχοι εφαρμόστηκαν μετά τη ζύμωση εμφανίζονται συσσωματώματα τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του γάλακτος που έχει υποστεί συμβατική θερμική κατεργασία.

3.3 Προσθήκη Ενζύμου Λακτάσης – Μεταβολή Λακτόζης

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση του ενζύμου λακτάση για υδρόλυση της λακτόζης του γάλακτος στη ζύμωση προς ρευστό γιαούρτι καθώς και στα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος ρευστού γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης που προκύπτει. Προσδιορίζεται η επίδραση της λακτάσης στο χρόνο και τις παραμέτρους των μοντέλων Gompertz (λανθάνουσα φάση, μέγιστος ρυθμός μεταβολής) μετρώντας τη χρονική μεταβολή του pH και του ιξώδους. Το τυφλό δείγμα αποτελεί ρευστό γιαούρτι στο οποίο δεν έχει προστεθεί το ένζυμο. Στα υπόλοιπα πειράματα της σειράς η λακτάση προστίθεται σε συγκέντρωση 0,06, 0,08 και 0,12% W/v. Εφόσον ολοκληρωθεί η ζύμωση του γάλακτος προς γιαούρτι, αφήνεται για 24 h σε θερμοκρασία 4°C. Προσδιορίζεται το ιξώδες του τελικού προϊόντος που προκύπτει, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος του πηγματος καθώς και τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του. Επιπλέον, για κάθε γιαούρτι προσδιορίζεται φασματοφωτομετρικά η υπολειπόμενη λακτόζη του τελικού προϊόντος.

3.3.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

Τα αποτελέσματα της μεταβολής του pH και του ιξώδους συναρτήσει του χρόνου παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3.1.1 για τις διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης που χρησιμοποιήθηκαν. Τα πειραματικά σημεία έχουν την αναμενόμενη σιγμοειδή μορφή, ενώ στην περίπτωση της ζύμωσης γιαουρτιού χωρίς χρήση λακτάσης είναι εμφανής ο μικρότερος ρυθμός μείωσης του pH σε σχέση με τις άλλες περιπτώσεις.

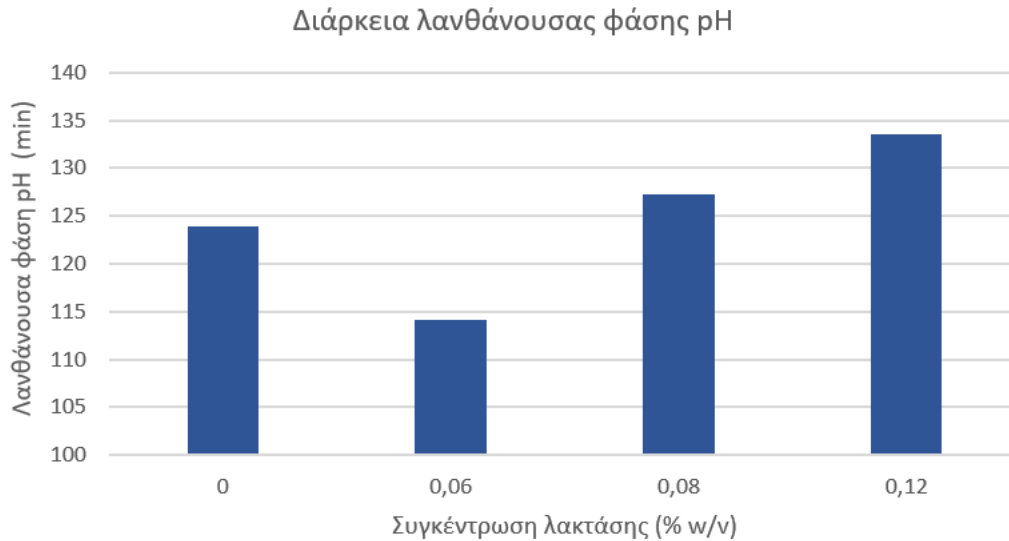


Σχήμα 3.3.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με συγκέντρωση λακτάσης (α) 0, (β) 0,06% w/v, (γ) 0,08% w/v, (δ) 0,12% w/v, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

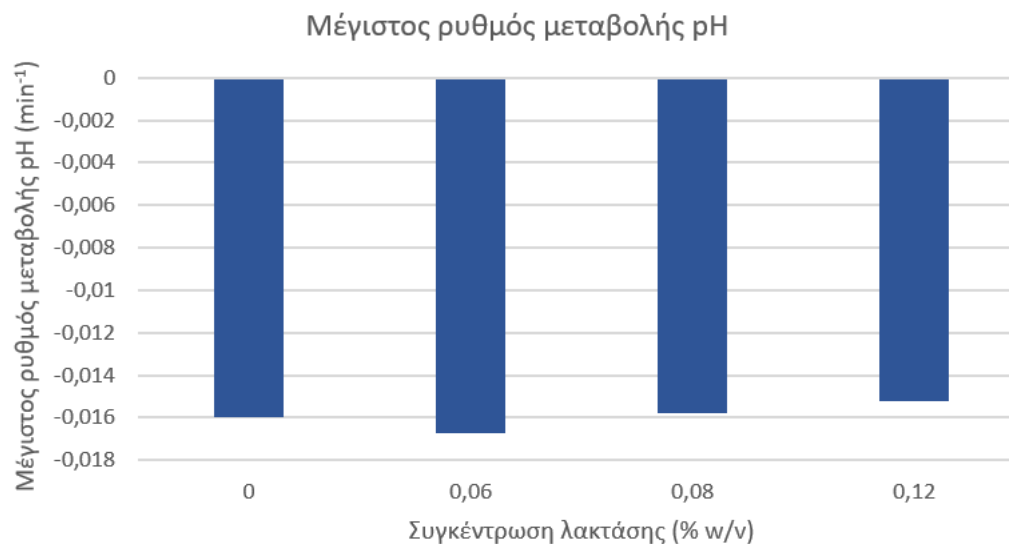
3.3.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την προσαρμογή του μοντέλου Gompertz στα δεδομένα του pH. Όσον αφορά τη λανθάνουσα φάση του pH αυτή έχει την τάση να αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης της λακτάσης. Παρόλα αυτά η ανάλυση διακύμανσης ANOVA έδειξε πως η λακτάση δεν επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

Ο μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH δεν φαίνεται να μεταβάλλεται σημαντικά συναρτήσει της συγκέντρωσης της λακτάσης που προστίθεται σε κάθε πείραμα, παρατήρηση που επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης.



Σχήμα 3.3.2.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH ρευστού γιαουρτιού με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

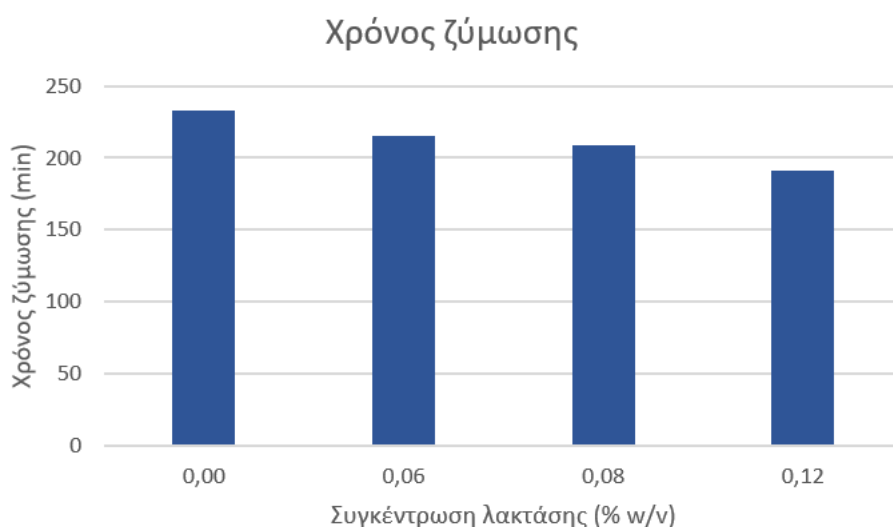


Σχήμα 3.3.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH ρευστού γιαουρτιού με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.3 Χρόνος ζύμωσης

Μελετάται η μεταβολή του χρόνου που απαιτήθηκε για τη ζύμωση του ρευστού γιαουρτιού και συγκεκριμένα έως ότου αυτό φτάσει την τιμή pH 4,45. Στο σχήμα 3.3.3.1 παρουσιάζονται οι διάφοροι χρόνοι που προέκυψαν συναρτήσει της συγκέντρωσης της λακτάσης που προστέθηκε σε κάθε πείραμα. Παρατηρείται ότι η αύξηση της ποσότητας του ενζύμου που προστίθεται στο γάλα κατά την έναρξη της ζύμωσης μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση αυτής. Συγκεκριμένα, το τυφλό δείγμα, όπου έχει μηδενική συγκέντρωση λακτάσης απαιτεί 233 min για την ολοκλήρωση της ζύμωσης σε σύγκριση με τα 191 min που χρειάζονται για τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ενζύμου, δηλαδή 0,12% W/v. Για τις ενδιάμεσες συγκεντρώσεις 0,06 και 0,08 % W/v προέκυψαν αντίστοιχα οι ενδιάμεσοι χρόνοι 215 και 208 min. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε πως η λακτάση έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στο χρόνο ζύμωσης ($p < 0,05$). Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγει και ο Schmidt (2005) σχετικά με τον απαιτούμενο χρόνο

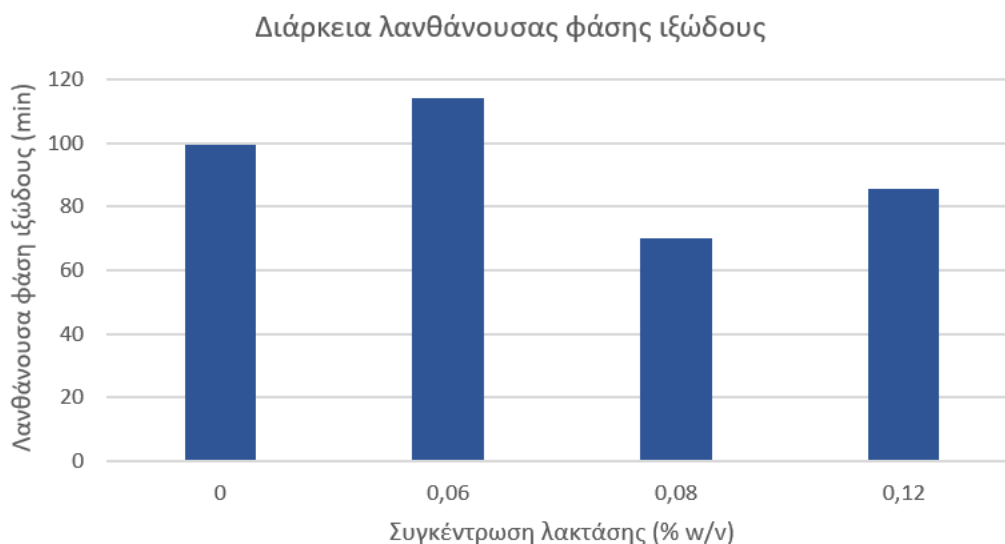
ζύμωσης όσον αφορά γιαούρτια που έχουν παραχθεί με υδρόλυση της λακτόζης του γάλακτος από τη λακτάση ταυτόχρονα με την ζύμωση από την καλλιέργεια εκκίνησης, επιβεβαιώνοντας τα παρόντα αποτελέσματα.¹²



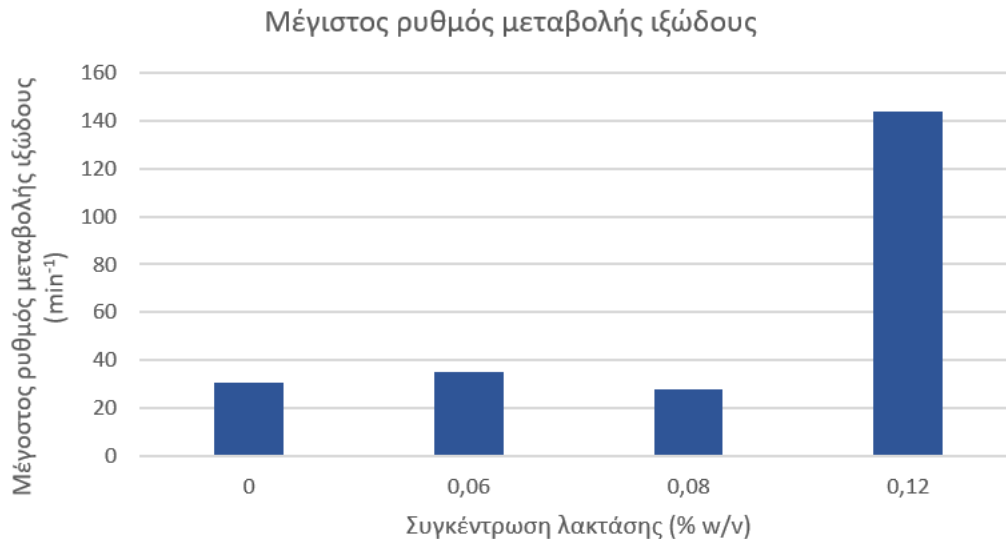
Σχήμα 3.3.3.1. Χρόνος ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους

Παρουσιάζονται παρακάτω οι παράγοντες λ , μ που προέκυψαν από την προσαρμογή του μοντέλου Gompertz στα δεδομένα μεταβολής του ιξώδους κατά τη ζύμωση.



Σχήμα 3.3.4.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους ρευστού γιαουρτιού με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



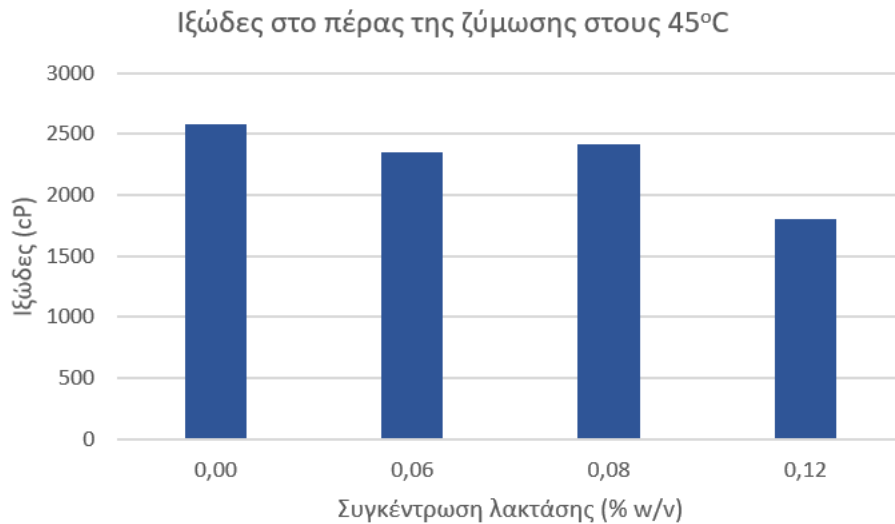
Σχήμα 3.3.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιζώδους ρευστού γιαουρτιού με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

Η διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιζώδους για τις συγκεντρώσεις λακτάσης που μελετώνται αποκτά τιμές 70 έως 114 *min*. Η αντίστοιχη παράμετρος για το τυφλό δείγμα προσδιορίστηκε ίση με 100 *min*. Συνεπώς, δεν παρατηρείται κάποια τάση μεταβολής της λανθάνουσας φάσης του ιζώδους συναρτήσει της μεταβολής της συγκέντρωσης της λακτάσης που χρησιμοποιείται. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται και από ανάλυση διακύμανσης κατά την οποία δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές λόγω μεταβολής της λακτάσης στα δείγματα.

Ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του ιζώδους για το τυφλό πείραμα και για συγκεντρώσεις λακτάσης 0,06% και 0,08% αποκτά τιμή κοντινή με 30 *min*⁻¹. Στην περίπτωση όπου η συγκέντρωση της λακτάσης στο γιαούρτι είναι 0,12% παρατηρείται μεγάλη αύξηση της τιμής αυτής, δηλαδή ο ρυθμός γίνεται 143 *min*⁻¹. Στο πείραμα αυτό, ωστόσο, παρατηρείται και η πιο ταχεία ζύμωση του γάλακτος. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει στατιστικά σημαντική επίδραση της συγκέντρωσης της λακτάσης στο μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους, συγκεκριμένα αυτός αυξάνεται με αύξηση της συγκέντρωσης ($p < 0,05$).

3.3.5 Ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

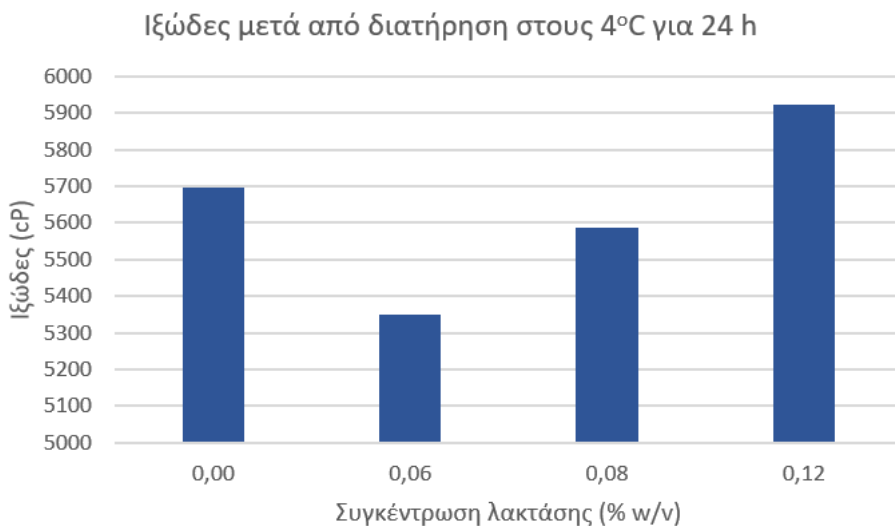
Μόλις ολοκληρωθεί η ζύμωση και διατηρώντας τα δείγματα στη θερμοκρασία επώασης (45°C) μετρούνται τα ιζώδη τους. Όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, σε κάθε πείραμα το ιζώδες του θερμού προϊόντος προέκυψε ανάμεσα στις τιμές 1804 και 2577 *cP*. Η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται για το τυφλό δείγμα συνεπώς ίσως η προσθήκη του ενζύμου να μειώνει κατά λίγο το ιζώδες των δειγμάτων. Ωστόσο από τη στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως η προσθήκη λακτάσης δεν επηρεάζει σημαντικά το ιζώδες του προϊόντος στο πέρας της ζύμωσης.



Σχήμα 3.3.5.1. Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης στους 45°C για ρευστό γιαούρτι με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.6 Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι πειραματικές μετρήσεις του ιξώδους στα τελικά, ψυγμένα προϊόντα. Η χαμηλότερη τιμή που μετρήθηκε ήταν 5350 cP για συγκέντρωση λακτάσης 0,06%, ενώ η υψηλότερη 5924 cP που αντιστοιχεί στο τυφλό δείγμα. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης η χρησιμοποιούμενη συγκέντρωση της λακτάσης δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στο τελικό ιξώδες.

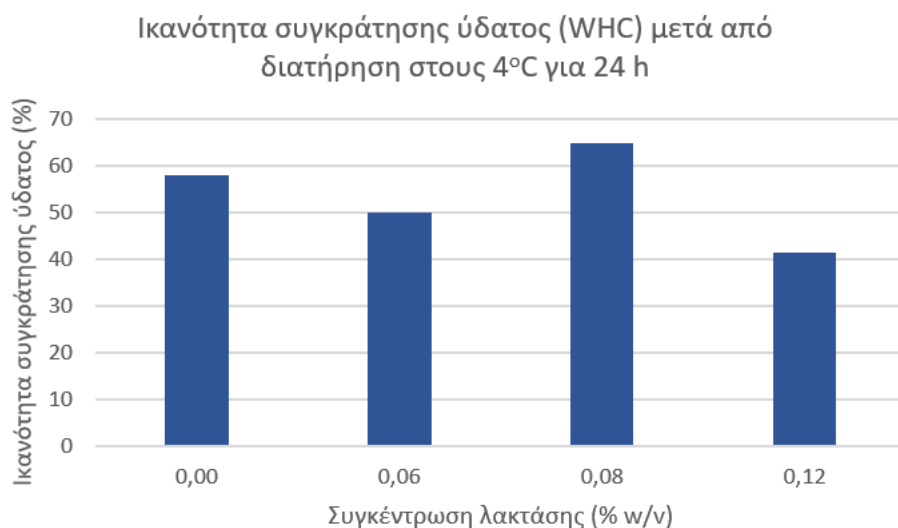


Σχήμα 3.3.6.1. Ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h για ρευστό γιαούρτι με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Όσον αφορά την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των πηγμάτων που μελετώνται, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια μεταβολή της συναρτήσεως της χρησιμοποιούμενης συγκέντρωσης της λακτάσης. Η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) έδειξε πως η συγκέντρωση της λακτάσης δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στην WHC των γιαουρτιών. Παρόμοια, ερευνητές κατέληξαν πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά

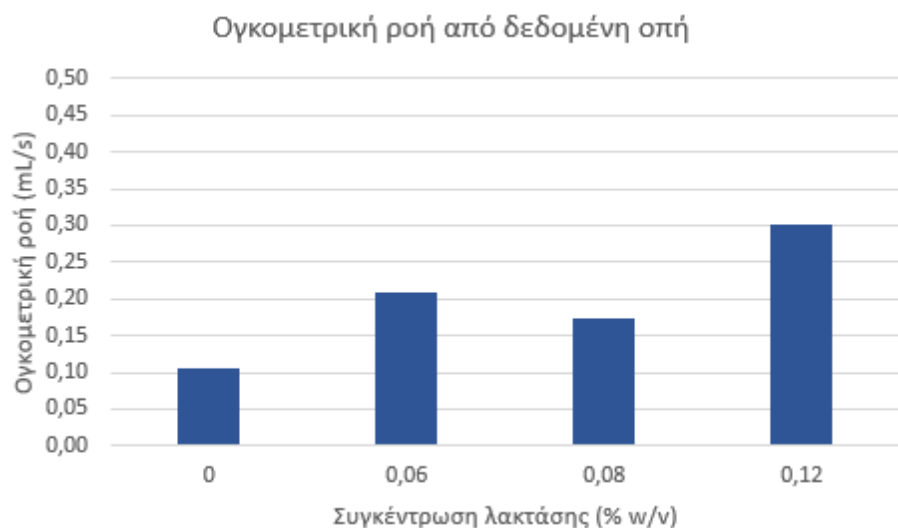
στη συναίρεση ρευστών γιαουρτιών τα οποία είχαν παραχθεί με λακτάση σε σύγκριση με τα συμβατικά δείγματα γιαουρτιού.¹⁰



Σχήμα 3.3.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h για ρευστό γιαούρτι με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

Η ογκομετρική ροή του ρευστού προϊόντος από δεδομένη οπή υπό την επίδραση της βαρύτητας παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα. Όσον αφορά το τυφλό δείγμα, αυτό αποκτά τη μικρότερη τιμή ίση με 0,10 mL/s. Τα υπόλοιπα δείγματα στα οποία έχει προστεθεί λακτάση σε διάφορες συγκεντρώσεις ρέουν σχετικά ταχύτερα. Οι διαφορές που παρατηρούνται δεν είναι στατιστικά σημαντικές όπως αυτό προέκυψε από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

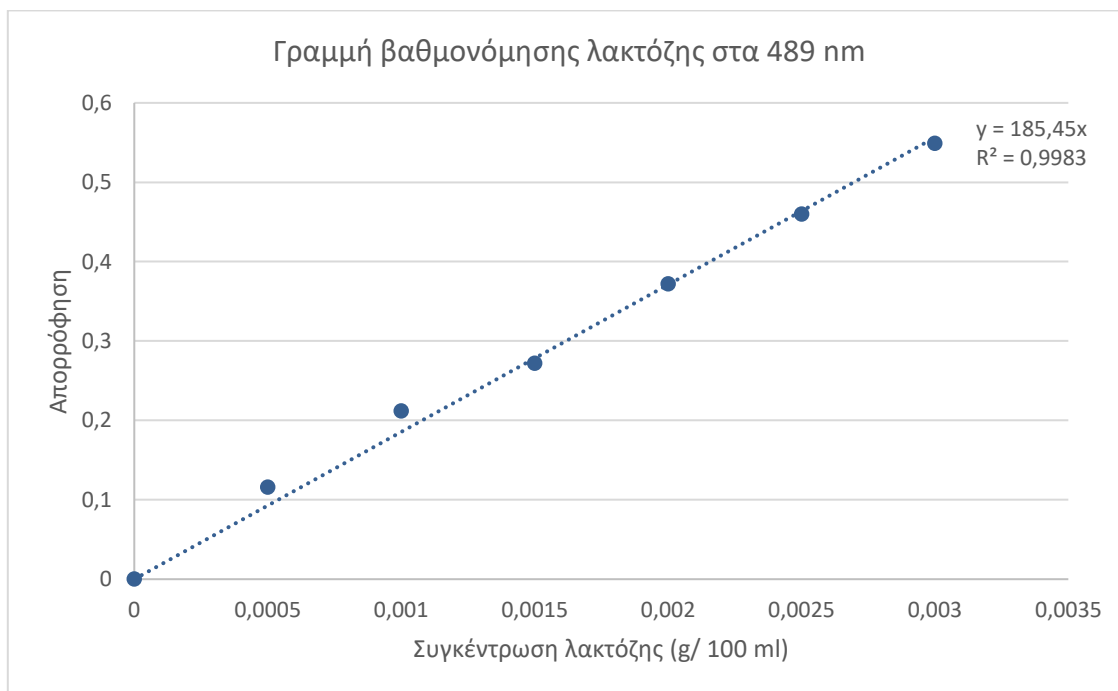


Σχήμα 3.3.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού που έχει παραχθεί με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

3.3.9 Μεταβολή λακτόζης

3.3.9.1 Γραμμή βαθμονόμησης λακτόζης

Για τον προσδιορισμό της λακτόζης χρησιμοποιείται φασματοφωτομετρική μέθοδος. Απαραίτητη είναι η χάραξη γραμμής βαθμονόμησης. Συνεπώς, προετοιμάστηκαν οι κατάλληλες αραιώσεις για μέτρηση της απορρόφησης τους στα 489 nm και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.3.9.1. Ως σημείο μηδενικής απορρόφησης θεωρήθηκε η απορρόφηση του απιονισμένου νερού, δηλαδή της μηδενικής συγκέντρωσης.

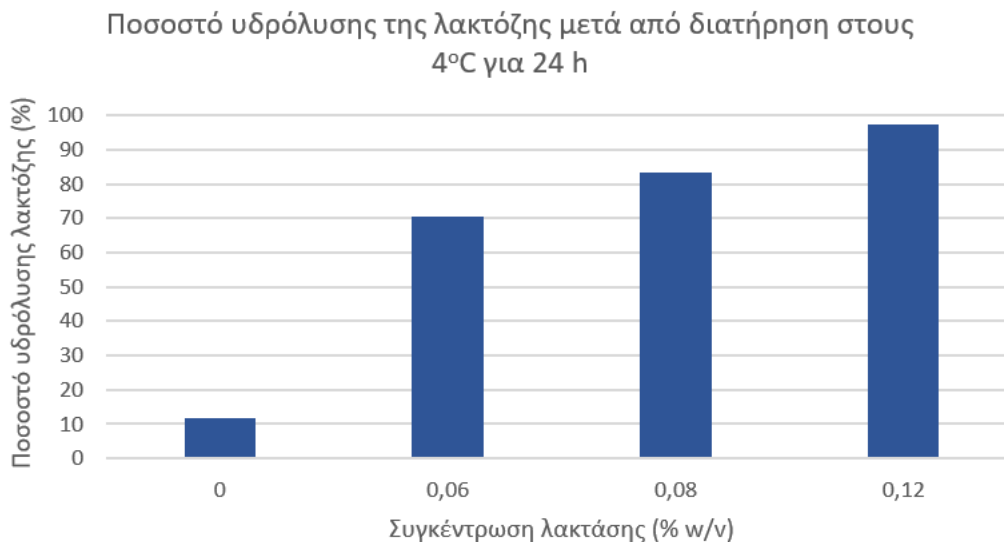


Σχήμα 3.3.9.1. Γραμμή βαθμονόμησης της απορρόφησης της λακτόζης στα 489 nm.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω δεδομένα γίνεται γραμμική παλινδρόμηση των δεδομένων από όπου προκύπτει η σχέση $A = 185,45 \cdot C$ που συσχετίζει τη συγκέντρωση (C), με την απορρόφηση (A) στις δεδομένες συνθήκες. Η προσαρμογή θεωρείται ικανοποιητική καθώς $R^2 = 0,9983$ και έτσι χρησιμοποιείται στις περαιτέρω αναλύσεις.

3.3.9.2 Ποσοστό υδρόλυσης λακτόζης των ρευστών γιαουρτιών

Μελετάται το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στα δείγματα ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη του εμπορικού ενζύμου λακτάση σε διάφορες συγκεντρώσεις κατά την έναρξη της ζύμωσής του. Από τα διάφορα πειράματα που έγιναν προέκυψε πως η συγκέντρωση λακτόζης στο γάλα είναι κατά μέσο όρο $4,37 \frac{g}{100 mL}$ τιμή που είναι μέσα στα όρια που αναφέρονται βιβλιογραφικά για το αγελαδινό γάλα. Η τιμή αυτή απέχει κατά 5% από την αναγραφόμενη $\left(4,6 \frac{g}{100 mL}\right)$ που υπάρχει στη συσκευασία του γάλακτος που χρησιμοποιείται.



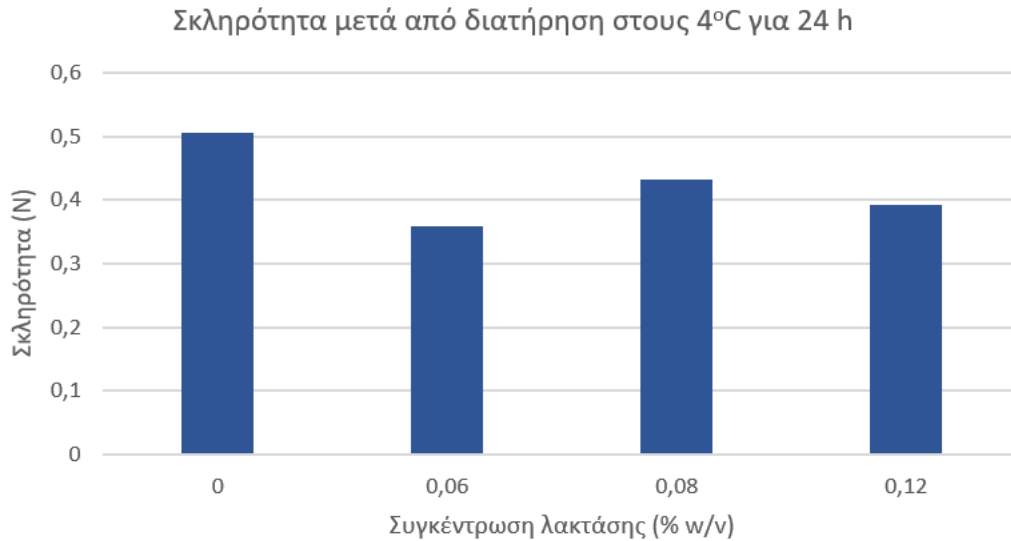
Σχήμα 3.3.9.2. Ποσοστό υδρόλυσης λακτόζης ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

Κατά τη ζύμωση του γάλακτος υπάρχει ένα ποσοστό λακτόζης που υδρολύεται από την οξυγαλακτική καλλιέργεια. Το ποσοστό αυτό μπορεί να προσδιοριστεί μέσω των τυφλών δειγμάτων και προκύπτει να είναι 12% στην παρούσα σειρά πειραμάτων. Η τιμή αυτή επαληθεύεται από τη βιβλιογραφία καθώς άλλοι ερευνητές έχουν βρει εύρη υδρόλυσης 13 – 19% σε μεγαλύτερους χρόνους ζύμωσης.³³

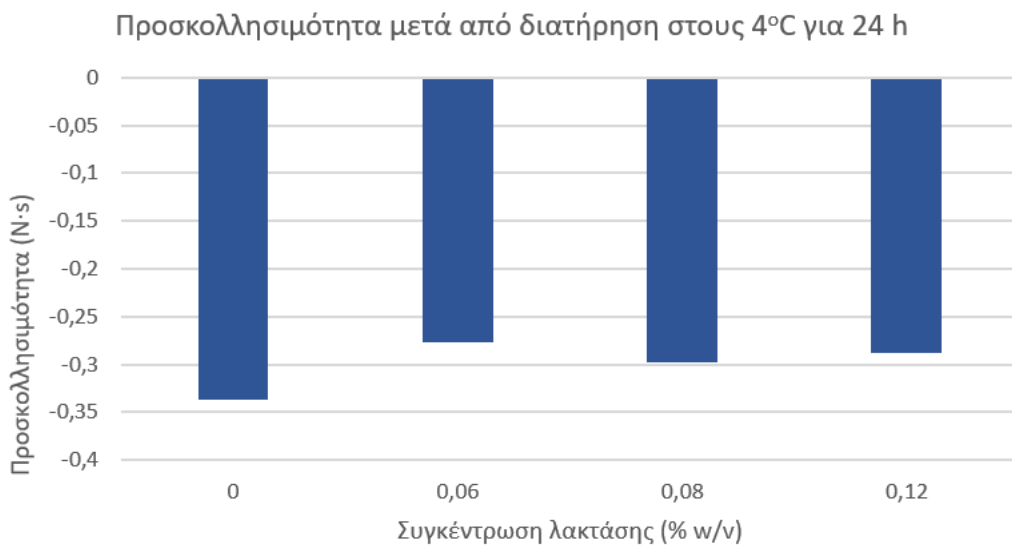
Στην περίπτωση της χρήσης ενζύμου, η υπολειπόμενη λακτόζη μειώνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του ενζύμου. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης, το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης κατά την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού επηρεάζεται σημαντικά από τη συγκέντρωση της λακτάσης που προστίθεται ($p < 0,05$). Για αρχική συγκέντρωση λακτάσης 0,06 % W/v το ποσοστό υδρόλυσης στο τελικό γιαούρτι προσδιορίστηκε 71%. Με αρχική συγκέντρωση λακτάσης 0,08 % W/v επιτυγχάνεται 83% υδρόλυση της λακτόζης, ενώ για συγκέντρωση λακτάσης 0,12 % W/v το αντίστοιχο ποσοστό είναι 97%. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και στη βιβλιογραφία. Η Longo (2006) για συγκέντρωση λακτάσης 0,08 % W/v μετά από κατεργασία 4 h βρήκε ποσοστό υδρόλυσης λακτάσης 88%.⁵¹ Οι Martins και Monteiro (2012) προσέθεσαν παράλληλα με την έναρξη της ζύμωσης ποσότητα λακτάσης 0,075 και 0,10 % W/v επιτυγχάνοντας ποσοστά υδρόλυσης της λακτόζης 98,7 – 99,7 %.¹³ Επιπλέον, η Venica (2013) βρήκε ποσοστά υδρόλυσης 74 – 93 % για συγκεντρώσεις λακτάσης 0,015 – 0,04 % W/v .¹⁰ Σαφώς, η σύγκριση της ενεργότητας των ενζύμων δεν μπορεί να γίνει κατά βάρος, ενώ επιπλέον επηρεάζεται και από τον μικροοργανισμό από τον οποίο έχει παραχθεί. Επιπλέον, στη βιβλιογραφία που αναφέρεται χρησιμοποιείται άλλη μέθοδος για τον προσδιορισμό της λακτόζης σε κάθε δείγμα (HPLC).

3.3.10 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

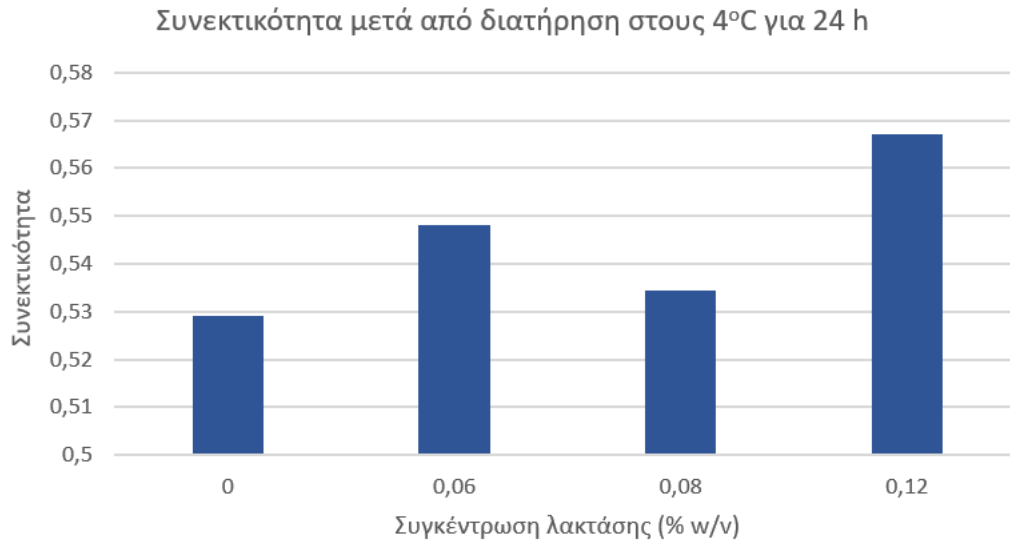
Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αντικειμενικών χαρακτηριστικών υφής για τα ρευστά γιαούρτια που παράγονται με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



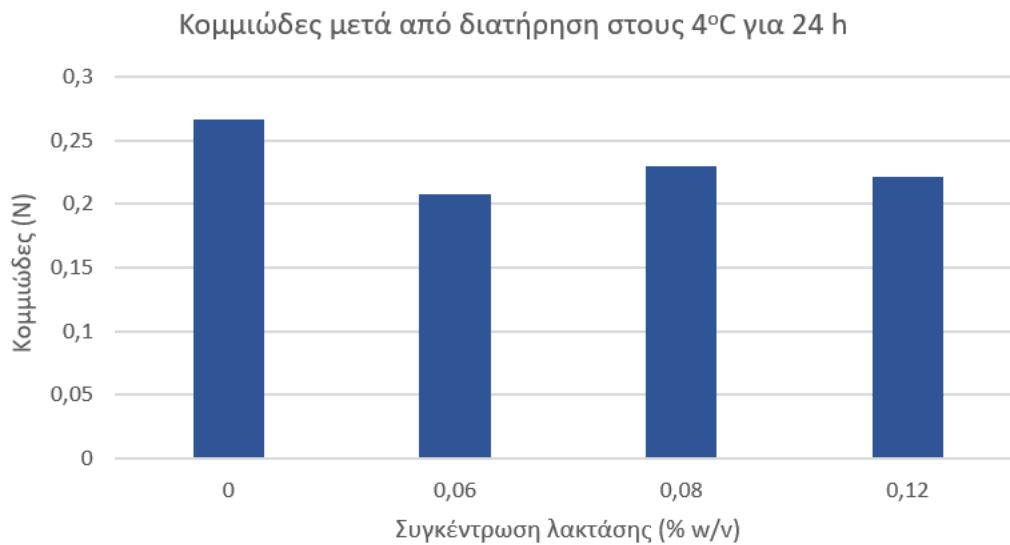
Σχήμα 3.3.10.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



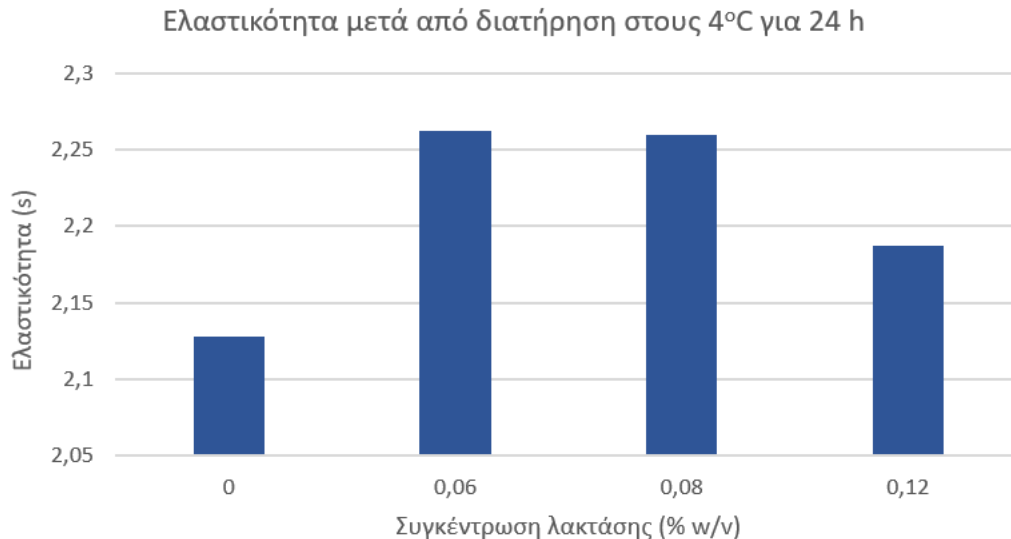
Σχήμα 3.3.10.2. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



Σχήμα 3.3.10.3. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



Σχήμα 3.3.10.4. Κομμώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.



Σχήμα 3.3.10.5. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με υδρόλυση λακτόζης με διάφορες συγκεντρώσεις λακτάσης.

Τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά υψής όπως προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση δεν εμφανίζουν κάποια τάση μεταβολής συναρτήσει της χρησιμοποιούμενης συγκέντρωσης της λακτάσης για την υδρόλυση της λακτόζης. Συγκρίνοντας συνολικά τα γιαούρτια με λακτάση σε σχέση με το τυφλό φαίνεται πως έχουν μικρότερη σκληρότητα και προσκολλησιμότητα κατ' απόλυτη τιμή. Ενώ η ελαστικότητα είναι μικρότερη στο γιαούρτι με μηδενική συγκέντρωση του ενζύμου. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως η προσθήκη λακτάσης δεν έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υψής του τελικού προϊόντος.

3.3.11 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

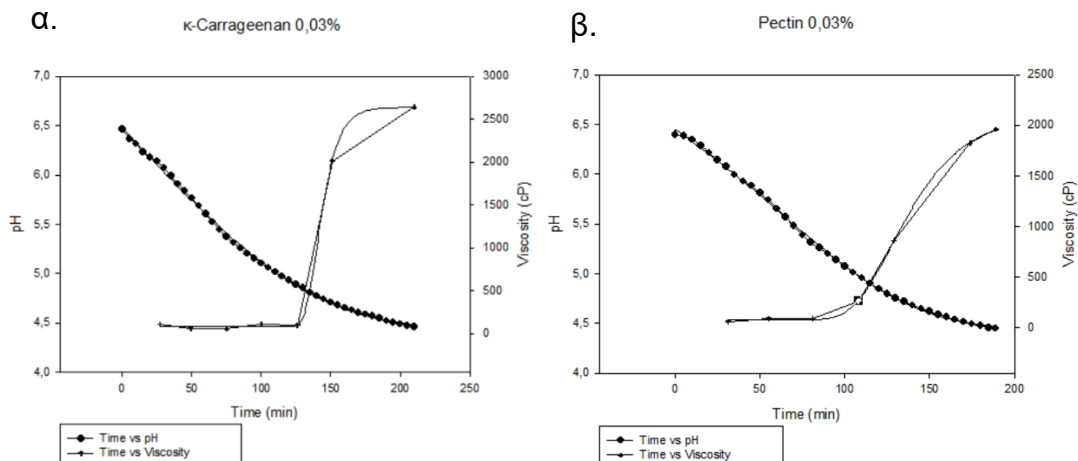
Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά το τυφλό δείγμα γιαουρτιού προκύπτει σχετικά ομοιογενές με εμφανή συσσωματώματα των στερεών του γιαουρτιού και διαχωρισμό του ορού. Τα γιαούρτια τα οποία περιέχουν το ένζυμο λακτάση αποκτούν γυαλιστερή, λευκή επιφάνεια και πιο κρεμώδη υφή, σε σχέση με το τυφλό. Παρατηρείται μικρότερος διαχωρισμός ορού καθώς και λιγότερα συσσωματώματα. Μεταξύ των διαφορετικών συγκεντρώσεων λακτάσης δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες διαφορές.

3.4 Προσθήκη Υδροκολλοειδών

Σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση δύο υδροκολλοειδών, της πηκτίνης και της κ-καραγενάνης στη ζύμωση και τα χαρακτηριστικά του ρευστού γιαουρτιού συγκριτικά με το τυφλό δείγμα στο οποίο δεν προστίθενται υδροκολλοειδή. Τα κόμμεα προστίθενται σε συγκέντρωση 0,03% w/v , το καθένα και το γάλα σε κάθε πείραμα υπόκειται σε θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min.

3.4.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

Η χρονική μεταβολή του pH και του ιξώδους που μετράται πειραματικά κατά τη διάρκεια της ζύμωσης παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Η χρονική μεταβολή των χαρακτηριστικών του γιαουρτιού (pH, ιξώδες) περιγράφεται από τα μοντέλα Gompertz, τα οποία προκύπτει ότι προσαρμόζονται ικανοποιητικά στις πειραματικές μετρήσεις καθώς ισχύει $R^2 > 0,99$.

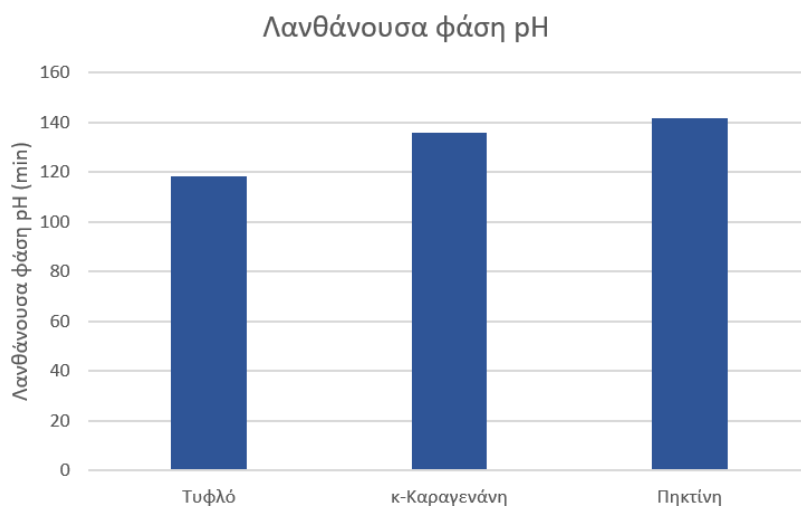


Σχήμα 3.4.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους ρευστού γιαουρτιού συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση με προσθήκη (α) 0,03% w/v κ-καραγενάνης, (β) 0,03% w/v πηκτίνης, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

Για τα δύο υδροκολλοειδή, το pH ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά με την κ-καραγενάνη να εμφανίζει λίγο μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης. Όσον αφορά το ιξώδες η προσθήκη πηκτίνης στο γάλα φαίνεται πως μειώνει τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του κατά τη ζύμωσή του σε σχέση με τη λανθάνουσα φάση που προκύπτει με προσθήκη κ-καραγενάνης. Επιπλέον, ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του ιξώδους προκύπτει μεγαλύτερος για το πείραμα στο οποίο προστέθηκε κ-καραγενάνη.

3.4.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH όπως προέκυψε από προσαρμογή του μοντέλου Gompertz φαίνεται στο σχήμα 3.4.2.1 για κάθε πείραμα αυτής της σειράς.



Σχήμα 3.4.2.1. Λανθάνουσα φάση pH ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Από το παραπάνω σχήμα, μπορεί να συμπεραθεί ότι η προσθήκη υδροκολλοειδών αυξάνει τη λανθάνουσα φάση του pH κατά περίπου 20 min στην περίπτωση της κ-καραγενάνης και 40 min στην περίπτωση της πηκτίνης. Αυτή η παρατήρηση επαληθεύεται και με στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) από την οποία προέκυψε ότι οι διαφορές που εντοπίστηκαν είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$).

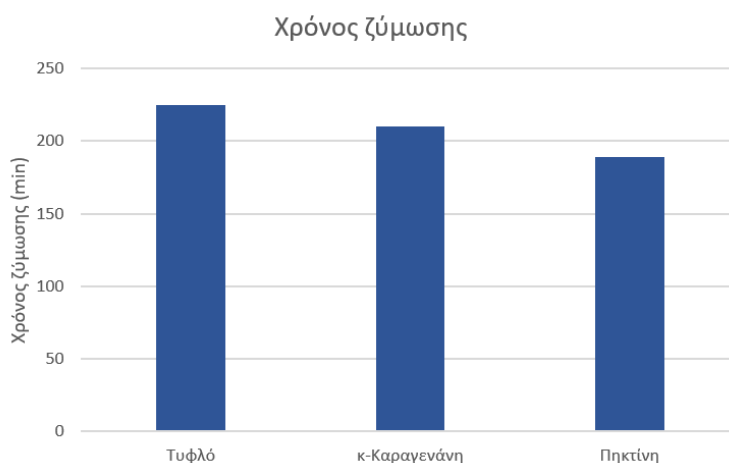


Σχήμα 3.4.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Μία άλλη σημαντική παράμετρος του μοντέλου Gompertz αποτελεί ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του pH (μ). Σύμφωνα με το διάγραμμα, με την προσθήκη των κόμμεων μειώθηκε ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του pH σε σχέση με το τυφλό πείραμα, ωστόσο μέσω της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική.

3.4.3 Χρόνος ζύμωσης

Η επίδραση της προσθήκης υδροκολλοειδών στο χρόνο ζύμωσης του ρευστού γιαουρτιού φαίνεται στο σχήμα 3.4.3.1.

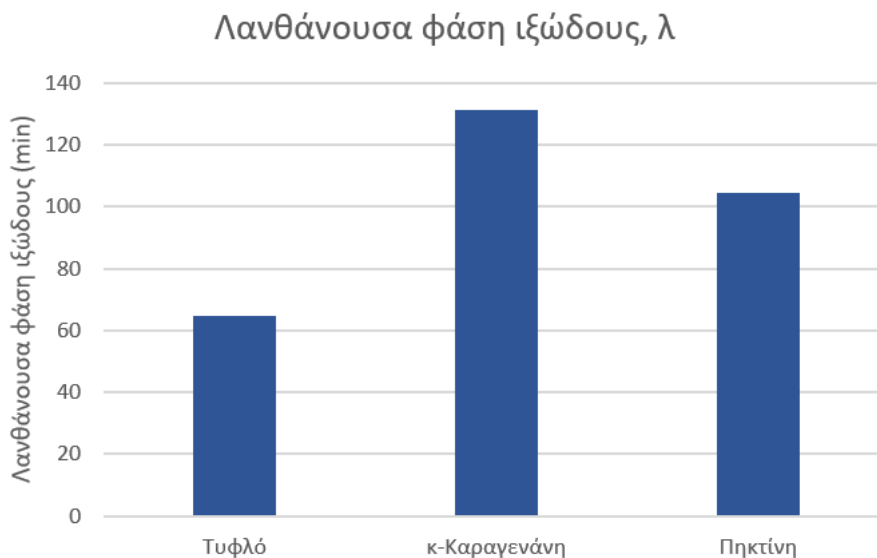


Σχήμα 3.4.3.1. Χρόνος ζύμωσης ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Προκύπτει πως η προσθήκη υδροκολλοειδών επιδρά στο χρόνο ζύμωσης και συγκεκριμένα φαίνεται να τον μειώνει. Μετά από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως αυτή η διαφορά στο χρόνο επώασης δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά. Συνεπώς ο χρόνος ζύμωσης δεν επηρεάζεται από τα υδροκολλοειδή που μελετήθηκαν.

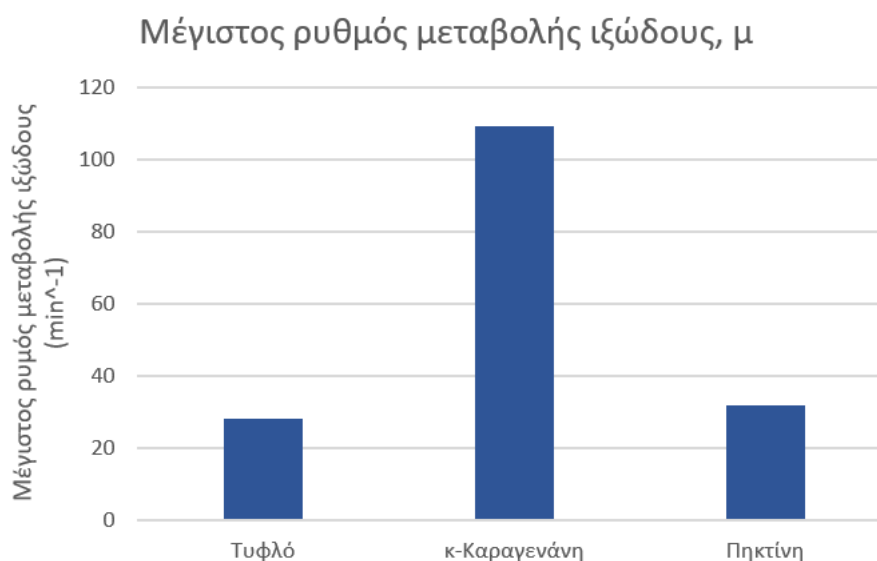
3.4.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιώδους

Αντίστοιχα, η μεταβολή του ιώδους με τον χρόνο για το ρευστό γιαούρτι κατά τη ζύμωση, μπορεί να περιγραφεί από το μοντέλο Gompertz. Οι βασικές παράμετροι λ , μ υπολογίστηκαν μέσω των πειραματικών μετρήσεων για κάθε πείραμα και τα αποτελέσματα φαίνονται στα σχήματα 3.4.4.1 και 3.4.4.2.



Σχήμα 3.4.4.1. Λανθάνουσα φάση ιώδους ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών.

Το ιώδες φαίνεται να ακολουθεί την ίδια συμπεριφορά με το pH καθώς και για αυτό φαίνεται πως αυξάνεται η λανθάνουσα φάση με την προσθήκη υδροκολλοειδών, όπως προκύπτει από το μοντέλο. Μετά από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως η διαφορά στη διάρκεια είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$). Η μικρότερη τιμή λανθάνουσας φάσης ιώδους παρατηρείται για το τυφλό δείγμα (64 min), ενώ με προσθήκη υδροκολλοειδών αυξάνεται. Συγκεκριμένα, αυξάνεται σε 105 min με την προσθήκη πηκτίνης, ενώ στην περίπτωση της προσθήκης κ-καραγενάνης αυξάνεται περαιτέρω η τιμή σε 131 min.

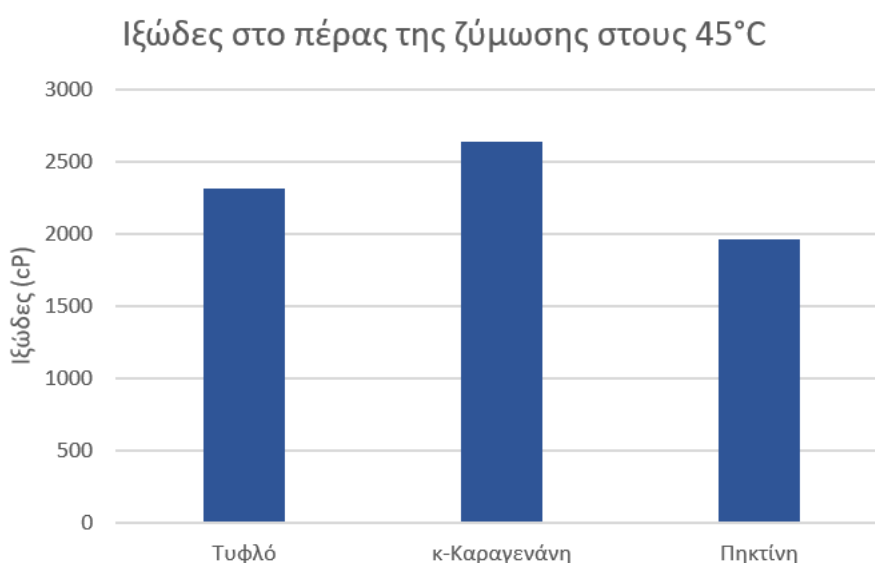


Σχήμα 3.4.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιώδους ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών.

Όσον αφορά το μέγιστο ρυθμό μεταβολής (μ) του ιξώδους στην περίπτωση της κ-καραγενάνης φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με το τυφλό δείγμα. Για την πηκτίνη φαίνεται πως ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του ιξώδους προσεγγίζει αυτόν του τυφλού δείγματος. Μέσω της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως η προσθήκη υδροκολλοειδών έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στο μ ($p < 0,05$). Συνεπώς, ο ρυθμός μεταβολής του ιξώδους αυξάνεται με προσθήκη υδροκολλοειδών. Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται στην περίπτωση προσθήκης κ-καραγενάνης στο ρευστό γιαούρτι, όπου ο ρυθμός μεταβολής του ιξώδους είναι 109 min^{-1} έναντι των 28 min^{-1} που αποτελεί τον ρυθμό μεταβολής του ιξώδους του τυφλού δείγματος. Η προσθήκη της πηκτίνης στο ρευστό γιαούρτι προκαλεί την αύξηση του ρυθμού μεταβολής του ιξώδους, σε σχέση με το τυφλό δείγμα, που αποκτά τιμή 32 min^{-1} .

3.4.5 Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

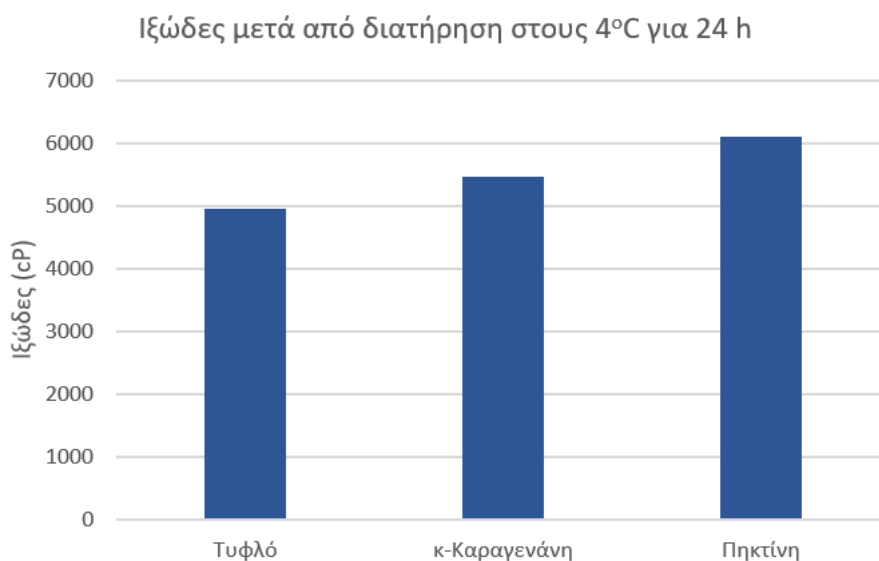
Κατά την ολοκλήρωση της ζύμωσης, δηλαδή όταν το ρευστό γιαούρτι αποκτήσει την τιμή pH 4,45, μετράται το τελικό ιξώδες του προϊόντος στη θερμοκρασία όπου γίνεται η επώαση (45°C). Οι διαφορές που παρατηρούνται είναι στατιστικά σημαντικές όπως προέκυψε από ανάλυση διακύμανσης ($p < 0,05$), συνεπώς η προσθήκη υδροκολλοειδών επιδρά σημαντικά στο ιξώδες του προϊόντος στο πέρας της ζύμωσης. Κάθε υδροκολλοειδές επηρεάζει διαφορετικά το ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού. Πιο συγκεκριμένα, η προσθήκη πηκτίνης μειώνει το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (1961 cP) σε σχέση με το τυφλό δείγμα (2312 cP). Αντίθετα, η προσθήκη κ-καραγενάνης αυξάνει το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (2640 cP) σε σχέση με το τυφλό.



Σχήμα 3.4.5.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού στο πέρας της ζύμωσης στους 45°C με προσθήκη υδροκολλοειδών.

3.4.6 Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h

Παρακάτω φαίνονται οι τιμές ιξώδους που απέκτησαν τα τελικά προϊόντα για το συμβατικό γιαούρτι καθώς και για εκείνα στα οποία έχουν προστεθεί υδροκολλοειδή.



Σχήμα 3.4.6.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Η προσθήκη κόμμεων φαίνεται πως αυξάνει το τελικό ιξώδες του προϊόντος με την πηκτίνη να δίνει τη μεγαλύτερη τιμή ίση με 6092 *cP* και την κ-καραγενάνη την αμέσως μικρότερη 5453 *cP*, έναντι της τιμής 4960 *cP* του τυφλού δείγματος. Σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης ANOVA, η αύξηση που προκύπτει στα ιξώδη των ρευστών γιαουρτιών με την προσθήκη υδροκολλοειδών είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$). Η ενίσχυση του πήγματος συμβαίνει καθώς τα ανιονικά υδροκολλοειδή που χρησιμοποιήθηκαν, αλληλοεπιδρούν με τα θετικά φορτία που υπάρχουν στην επιφάνεια των μικκυλίων της καζεΐνης.⁵² Μετά την ψύξη παρατηρείται ότι αλλάζει η συμπεριφορά του ιξώδους για την προσθήκη των υδροκολλοειδών και η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται στο δείγμα όπου προστέθηκε πηκτίνη, ενώ στο πέρας της ζύμωσης μεγαλύτερη τιμή ιξώδους είχε το δείγμα όπου προστέθηκε κ-καραγενάνη.

3.4.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Για το τελικό προϊόν γιαουρτιού, αφού ψυχθεί σε θερμοκρασία 4°C για 1 ημέρα, μετράται η ικανότητα συγκράτησης ύδατος και τα πειραματικά αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 3.4.7.1.

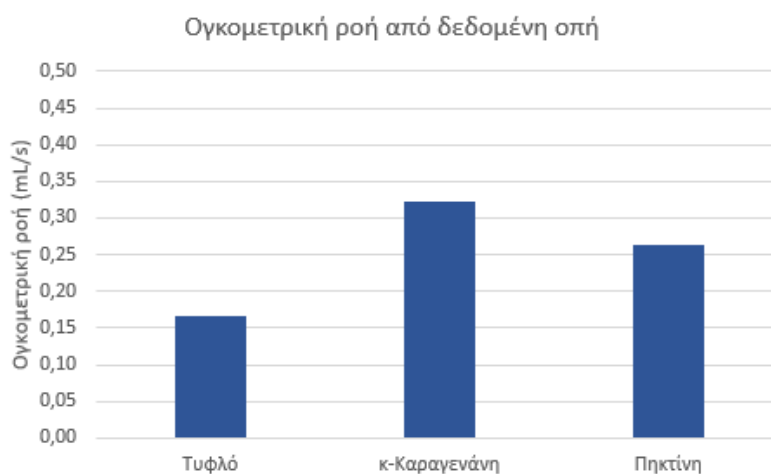


Σχήμα 3.4.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Συγκριτικά με το δείγμα ρευστού γιαουρτιού στο οποίο δεν έγινε προσθήκη υδροκολλοειδούς, τα δείγματα με κ-καραγενάνη ή πηκτίνη αύξησαν την ικανότητα συγκράτησης ύδατος κατά περίπου 10%. Μετά από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως η αύξηση αυτή δεν έχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δείγματα.

3.4.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

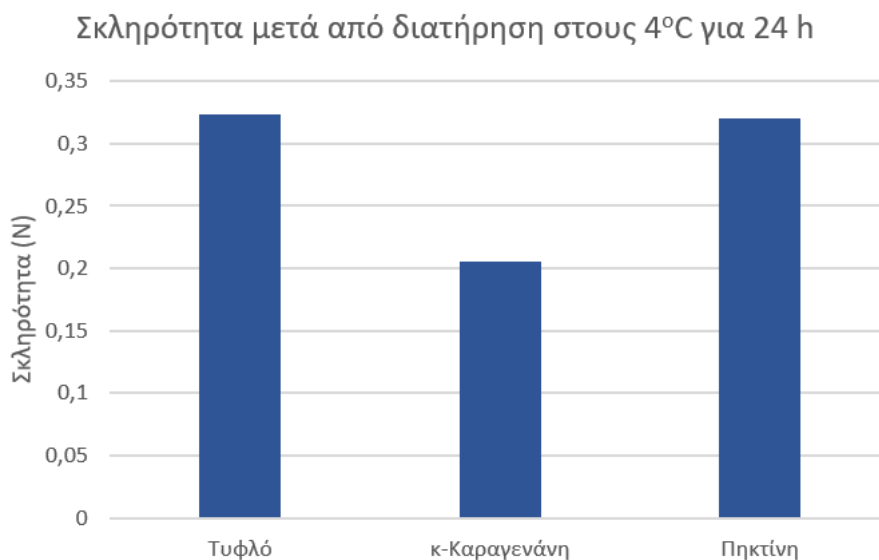
Η προσθήκη υδροκολλοειδών στα δείγματα γιαουρτιού φαίνεται πως επιτάχυνε τη ροή τους διαμέσου της οπής. Συγκεκριμένα, για το τυφλό δείγμα προέκυψε τιμή 0,17 mL/s, η προσθήκη πηκτίνης αύξησε την τιμή ογκομετρικής ροής σε 0,26 mL/s ενώ η κ-καραγενάνη σε 0,32 mL/s. Η επιτάχυνση αυτή οφείλεται στη βελτίωση της ομοιογένειας του πηγματος και στη μείωση της κοκκώδους υφής αυτού με την προσθήκη των υδροκολλοειδών. Αυτό συμβαίνει καθώς η οπή είναι μικρού μεγέθους, της τάξης των συσσωματωμάτων που παρατηρούνται στο γιαούρτι, και επηρεάζεται από τέτοια φαινόμενα. Η προσθήκη υδροκολλοειδών επηρεάζει σημαντικά την ογκομετρική ροή του γιαουρτιού όπως προκύπτει από ανάλυση διακύμανσης ($p < 0,05$). Η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται με προσθήκη υδροκολλοειδών και συγκεκριμένα της κ-καραγενάνης.



Σχήμα 3.4.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

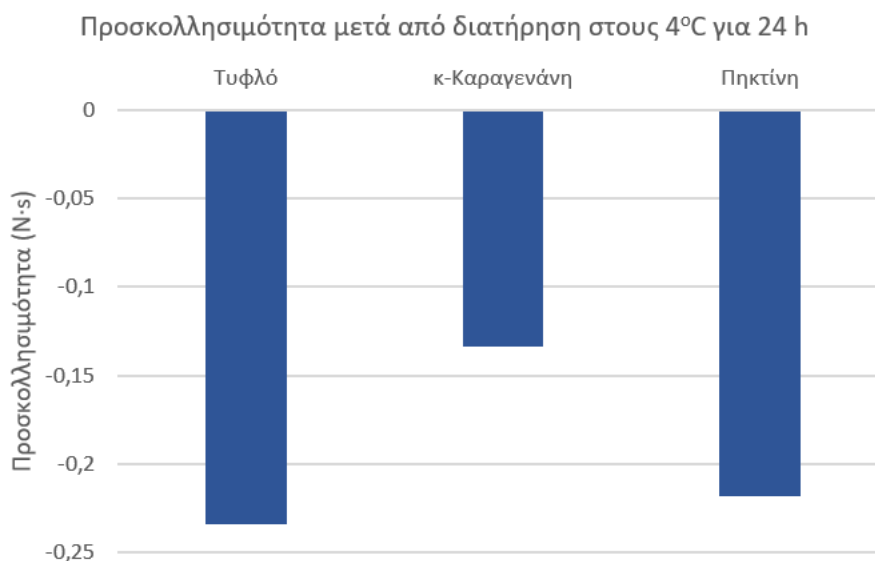
3.4.9 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

Τα ρευστά γιαούρτια που παρήχθησαν με προσθήκη υδροκολλοειδών συγκρίνονται και ως προς την μετρούμενη αντικειμενική υφή. Συγκεκριμένα, για τα δείγματα γιαουρτιού προσδιορίζονται οι παράμετροι σκληρότητας, προσκολλησιμότητας, συνεκτικότητας, κομμιώδους και ελαστικότητας. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το γιαούρτι χωρίς προσθήκη υδροκολλοειδούς και για αυτά με προσθήκη κ-καραγενάνης και πηκτίνης φαίνονται συγκριτικά στα σχήματα 3.4.9.1 έως 3.4.9.5.



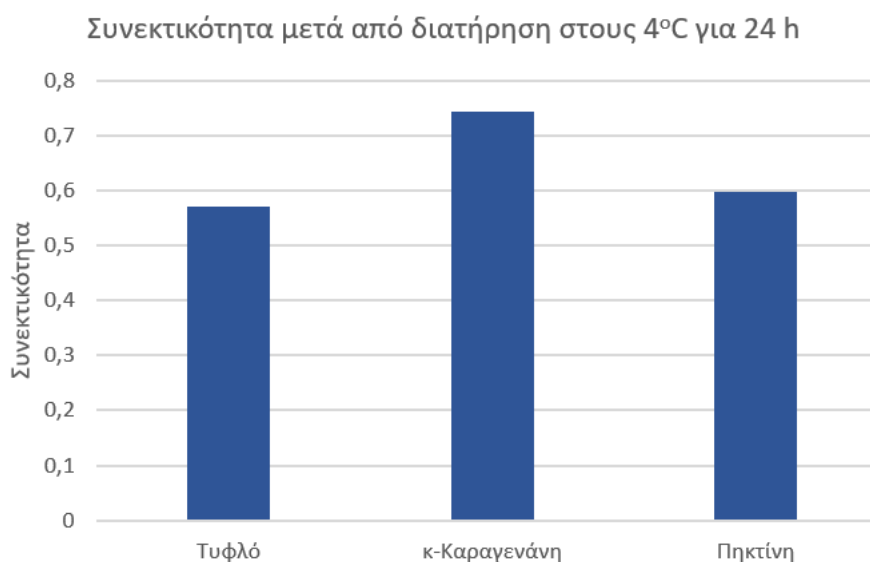
Σχήμα 3.4.9.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Η σκληρότητα του γιαουρτιού φαίνεται να μην επηρεάζεται από την προσθήκη πηκτίνης, ενώ μειώνεται ελαφρά με την κ-καραγενάνη. Από τη στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε ότι η προσθήκη κόμμεων εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές στη σκληρότητα των δειγμάτων ρευστών γιαουρτιών ($p < 0,05$). Η μεγαλύτερη τιμή παρατηρείται στο τυφλό δείγμα, συνεπώς τα κόμμεα την μειώνουν με την κ-καραγενάνη να εμφανίζει μικρότερη σκληρότητα.



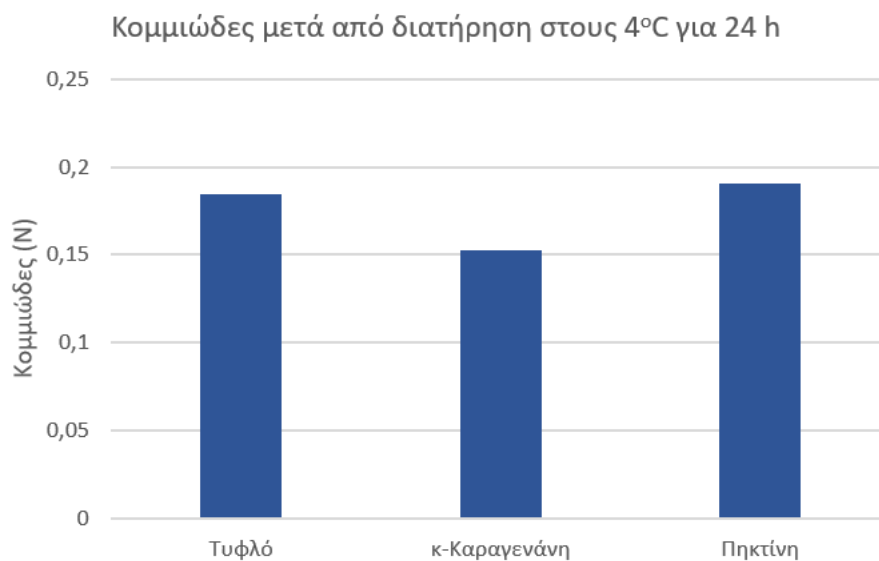
Σχήμα 3.4.9.2. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Στο σχήμα 3.4.9.2 φαίνονται οι πειραματικές μετρήσεις προσκολλησιμότητας για τα διαφορετικά δείγματα αυτής της σειράς πειραμάτων. Όπως με τη σκληρότητα, η καραγενάνη φαίνεται να έχει μικρότερη τιμή για αυτήν την παράμετρο της υφής και μέσω ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως αυτή η διαφορά είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$). Η μεγαλύτερη τιμή, κατά απόλυτη τιμή, παρατηρείται στο τυφλό δείγμα, συνεπώς τα κόμμεα την μειώνουν με την κ-καραγενάνη να εμφανίζει μικρότερη προσκολλησιμότητα.

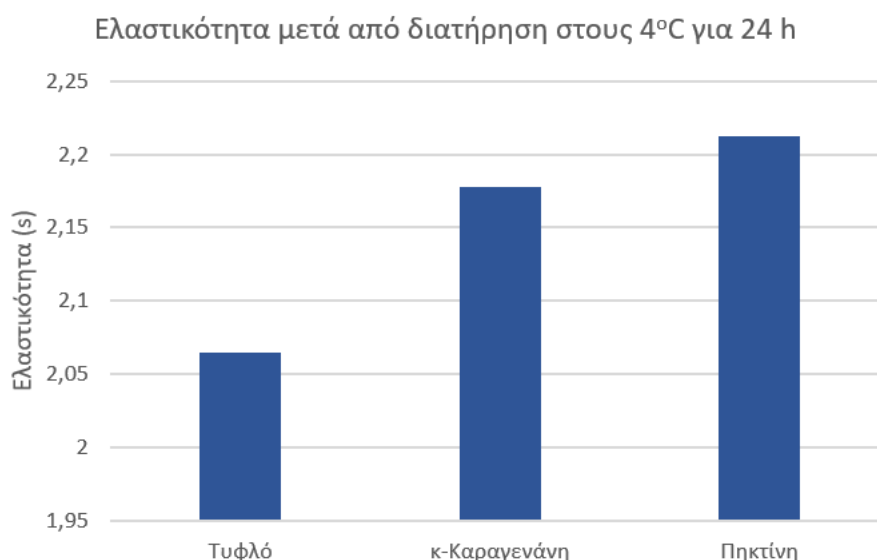


Σχήμα 3.4.9.3. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Σύμφωνα με το σχήμα 3.4.9.3 η συνεκτικότητα του γιαουρτιού αυξάνεται με την προσθήκη υδροκολλοειδών. Αυτή η διαφορά ωστόσο δεν επαληθεύεται στατιστικά, καθώς από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως είναι στατιστικά μη σημαντική.



Σχήμα 3.4.9.4. Κομμιώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).



Σχήμα 3.4.9.5. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με προσθήκη υδροκολλοειδών (κ-καραγενάνης και πηκτίνης).

Το τελευταίο χαρακτηριστικό υφής που προσδιορίζεται είναι η ελαστικότητα, η οποία φαίνεται να αυξάνεται κατά περίπου 0,1 s με την προσθήκη κόμμεων. Η διαφορά αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική όπως προέκυψε και από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

3.4.10 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

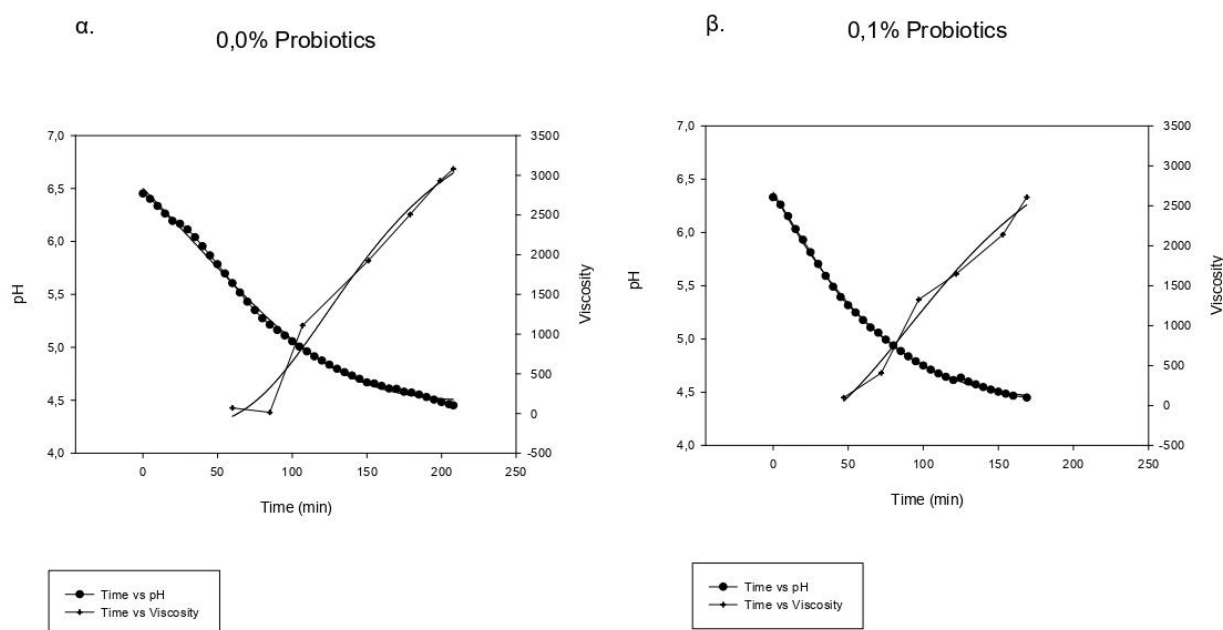
Το ρευστό γιαούρτι στο οποίο προστίθεται κ-καραγενάνη έχει πολύ λευκή γυαλιστερή εμφάνιση. Το πήγμα προκύπτει περισσότερο συνεκτικό και ομοιογενές από τα άλλα δύο πειράματα της σειράς καθώς και λεπτόρρευστο. Δεν παρατηρείται σχηματισμός κόκκων ούτε συναίρεση του ορού. Όσον αφορά το γιαούρτι στο οποίο περιέχεται πηκτίνη, αυτό προέκυψε λιγότερο συνεκτικό από αυτό με την κ-καραγενάνη. Επιπλέον, υπάρχει πιο έντονος διαχωρισμός ορού ο οποίος έχει ελαιώδη υφή. Το γιαούρτι, από την προσθήκη πηκτίνης, αποκτά ελαφρώς καφετί χρώμα και χαμηλής έντασης οσμή εσπεριδοειδών.

3.5 Προσθήκη Προβιοτικών Βακτηρίων

Σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση της προσθήκης προβιοτικής καλλιέργειας, επιπλέον της συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης, για τη ζύμωση του ρευστού γιαουρτιού. Τα προβιοτικά βακτήρια (BB-12) προστέθηκαν σε περιεκτικότητα 0,1% w/v και το γάλα υπόκειται σε θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min. Το τυφλό πείραμα υπόκειται στην ίδια θερμική κατεργασία, ωστόσο περιέχει μόνο τη συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης.

3.5.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

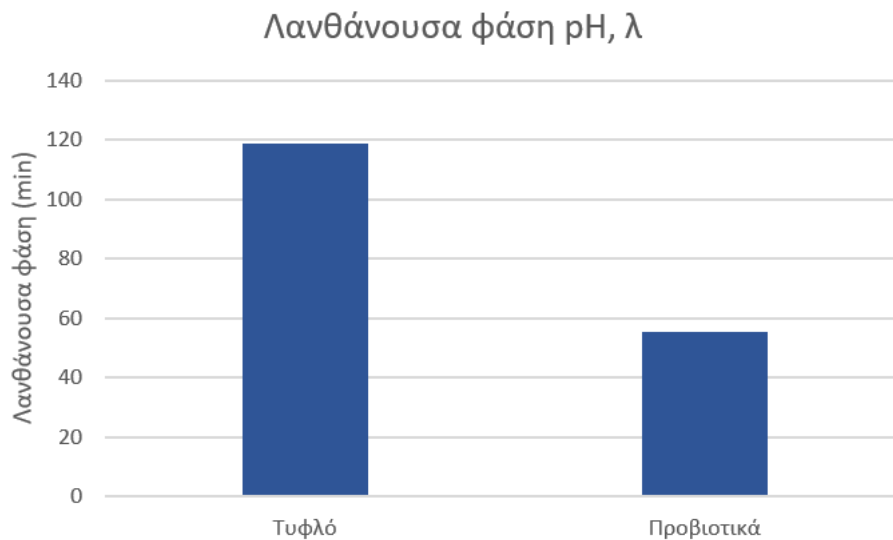
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η χρονική μεταβολή του pH και του ιξώδους που μετρήθηκε πειραματικά κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του γιαουρτιού με χρήση μόνο συμβατικής καλλιέργειας και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια. Η προσθήκη του τρίτου είδους βακτηρίων επιτάχυνε αρκετά τη ζύμωση καθώς και την αύξηση του ιξώδους. Ενώ οι πρώτες δύο φάσεις του pH φαίνονται παρόμοιες, η τρίτη στο τυφλό δείγμα είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με το προβιοτικό γιαούρτι.



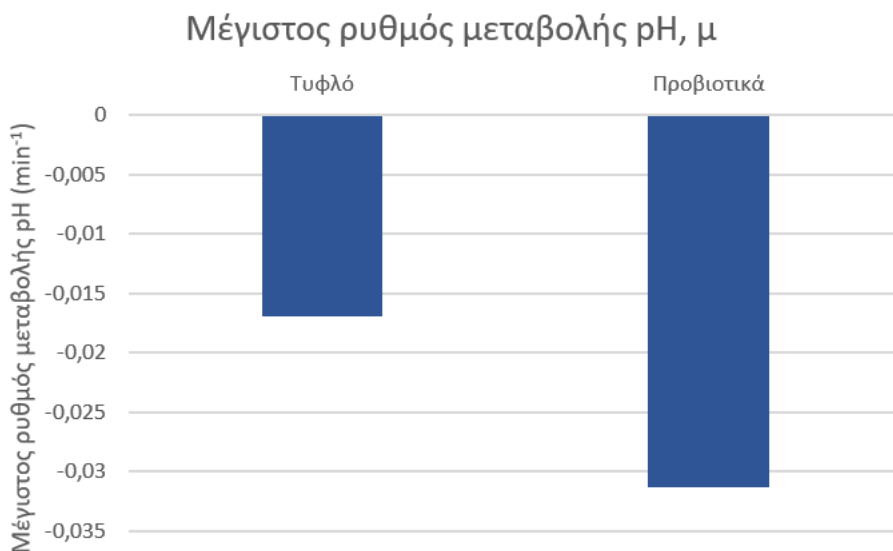
Σχήμα 3.5.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους ρευστού γιαουρτιού συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση με (α) συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης, (β) προσθήκη επιπλέον 0,1% w/v προβιοτικής καλλιέργειας, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

3.5.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Η προσαρμογή των πειραματικών μετρήσεων στο μοντέλο Gompertz φαίνεται στο σχήμα 3.5.1.1 και κρίνεται ικανοποιητική καθώς σε κάθε περίπτωση ισχύει ότι $R^2 > 0,98$. Οι παράμετροι λ , μ όπως προέκυψαν για το τυφλό και το προβιοτικό γιαούρτι φαίνονται στα σχήματα 3.5.2.1, 3.5.2.2.



Σχήμα 3.5.2.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH για ρευστό γιαούρτι με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.



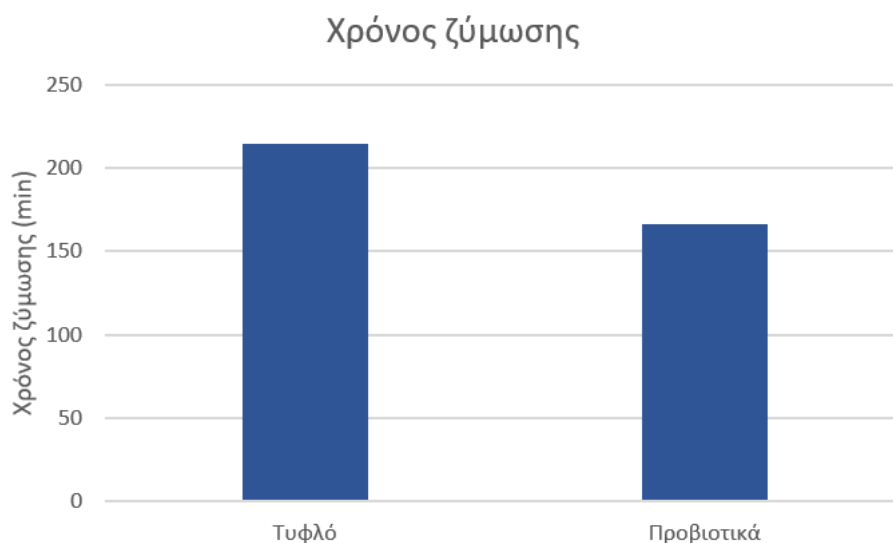
Σχήμα 3.5.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH για ρευστό γιαούρτι με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Όπως φαίνεται από την προσαρμογή των πειραματικών αποτελεσμάτων η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης στη συμβατική ζύμωση διαρκεί 119 *min* ενώ με την προσθήκη της προβιοτικής καλλιέργειας η τιμή αυτή μειώνεται σε 55 *min*. Συμπεραίνεται ότι η παράμετρος λ σχεδόν υποδιπλασιάζεται με χρήση της συμβιωτικής καλλιέργειας που συμπεριλαμβάνει και τα τρία είδη βακτηρίων. Αυτή η παρατήρηση επαληθεύεται με στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) από την οποία προκύπτει ότι οι διαφορές που εξάγονται από αυτήν την ανάλυση είναι στατιστικά σημαντικές ($p < 0,05$).

Στο σχήμα 3.5.2.2 παρουσιάζεται ο μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH για τις διαφορετικές βακτηριακές καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται. Στην περίπτωση της προσθήκης προβιοτικών ο μέγιστος ρυθμός σχεδόν διπλασιάζεται. Από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$).

3.5.3 Χρόνος ζύμωσης

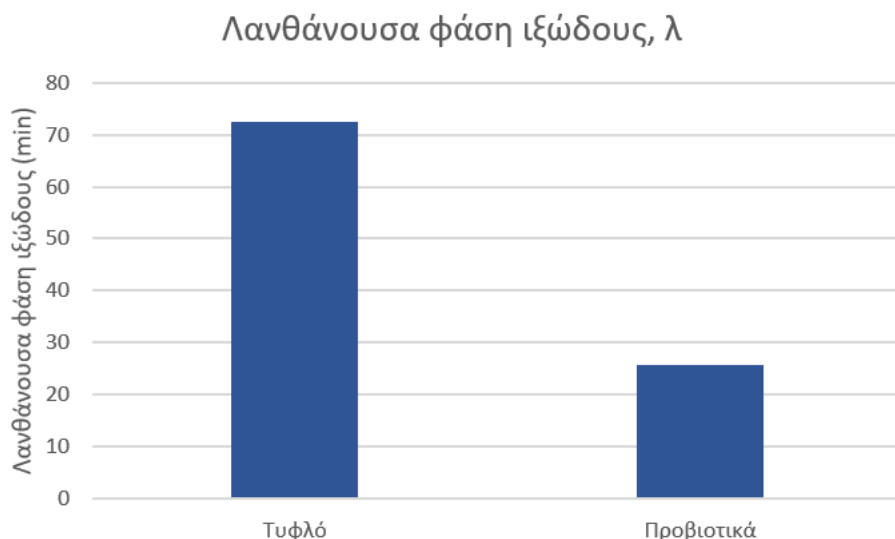
Για τις δύο περιπτώσεις γιαουρτιού προσδιορίστηκε ο χρόνος που απαιτήθηκε, ώστε να ολοκληρωθεί η ζύμωση. Για την περίπτωση της συμβατικής καλλιέργειας απαιτήθηκαν 217 *min* ενώ όταν προστέθηκε και η προβιοτική ο χρόνος μειώθηκε σημαντικά, σε 169 *min*. Ο χρόνος ζύμωσης παρουσιάζεται και στο σχήμα 3.5.3.1. Μετά από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως αυτή η διαφορά στο χρόνο είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$), συνεπώς όντως επιτυγχάνεται ταχύτερη ζύμωση με την προσθήκη των προβιοτικών βακτηρίων, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τη βιβλιογραφία.⁵³ Η επιτάχυνση αυτή μπορεί να αποδοθεί στον επιπλέον μεταβολισμό των προβιοτικών βακτηρίων και έτσι στην ταχύτερη μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τον χρόνο ζύμωσης και τις παραμέτρους λ , μ η προσθήκη καλλιέργειας προβιοτικών βακτηρίων επιταχύνει τη ζύμωση σε κάθε στάδιο, οδηγώντας πιο γρήγορα στην επιθυμητή τιμή του pH και άρα στην ολοκλήρωση της ζύμωσης.



Σχήμα 3.5.3.1. Απαιτούμενος χρόνος ζύμωσης για ρευστό γιαούρτι με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

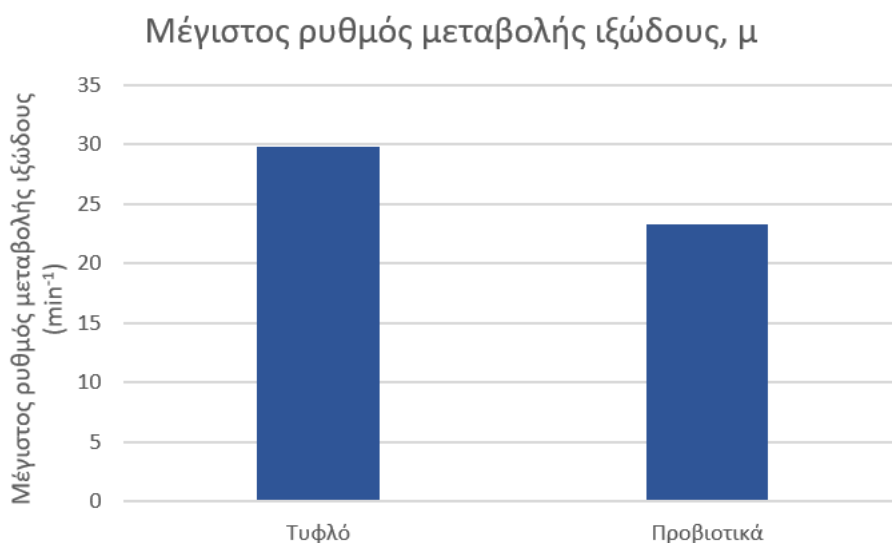
3.5.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους

Ομοίως με τη μεταβολή του pH, κατά τη διάρκεια της ζύμωσης έγινε καταγραφή της μεταβολής του ιξώδους με το χρόνο για κάθε είδος ρευστού γιαουρτιού. Τα αποτελέσματα για τις παραμέτρους λ , μ του ιξώδους παρουσιάζονται στα σχήματα 3.5.4.1, 3.5.4.2.



Σχήμα 3.5.4.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους για ρευστό γιαούρτι με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Η λανθάνουσα φάση του ιξώδους κατά τη ζύμωση του συμβατικού γιαουρτιού έχει διάρκεια ίση με 72 *min*, ενώ στην περίπτωση της προσθήκης επιπλέον προβιοτικής καλλιέργειας η παράμετρος αυτή μειώνεται σε 25 *min*. Η διαφορά που παρατηρείται είναι στατιστικά σημαντική όπως προκύπτει από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

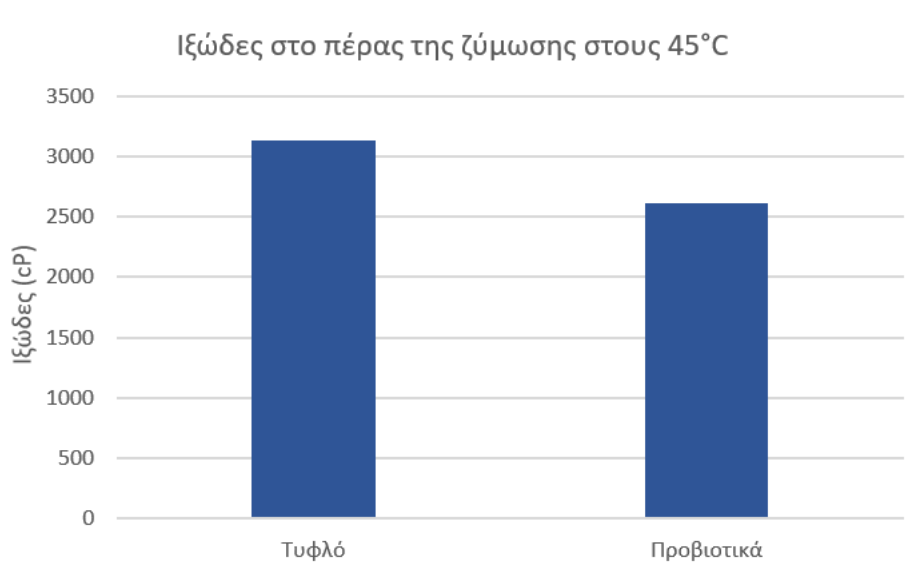


Σχήμα 3.5.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους για ρευστό γιαούρτι με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Στο σχήμα 3.5.4.2 παρουσιάζονται οι τιμές του μέγιστου ρυθμού μεταβολής του ιξώδους για τα διαφορετικά πειράματα αυτής της σειράς. Η τιμή του μ στην περίπτωση ζύμωσης του γιαουρτιού με χρήση αποκλειστικά της συμβατικής καλλιέργειας είναι 30 min^{-1} ενώ με την προσθήκη των προβιοτικών αυτή η τιμή μειώνεται κατά περίπου 6 min^{-1} . Μετά από τη στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως η διαφορά που παρατηρήθηκε δεν είναι στατιστικά σημαντική, συνεπώς ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του ιξώδους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την προσθήκη προβιοτικών.

3.5.5 Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

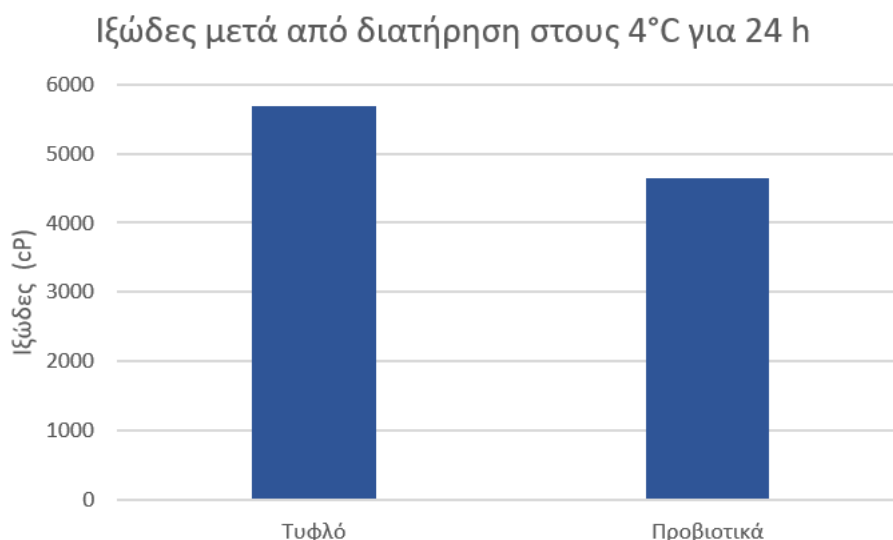
Κατά την ολοκλήρωση της ζύμωσης, μετράται το τελικό ιξώδες που απέκτησε το δείγμα γιαουρτιού όσο βρίσκεται στη θερμοκρασία επώασης, δηλαδή τους 45°C. Όπως φαίνεται από το σχήμα 3.5.5.1 επιτυγχάνεται, με την προσθήκη προβιοτικής μαζί με τη συμβατική καλλιέργεια, μείωση του ιξώδους στο τελικό θερμό ακόμα γιαούρτι. Για τις ποσότητες βακτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν η μείωση αυτή ανέρχεται σε περίπου 500 cP, ωστόσο μέσω της στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει ότι αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική.



Σχήμα 3.5.5.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού στο πέρας της ζύμωσης στους 45°C με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

3.5.6 Ιξώδες μετά από διατήρηση σε ψύξη για 24 h

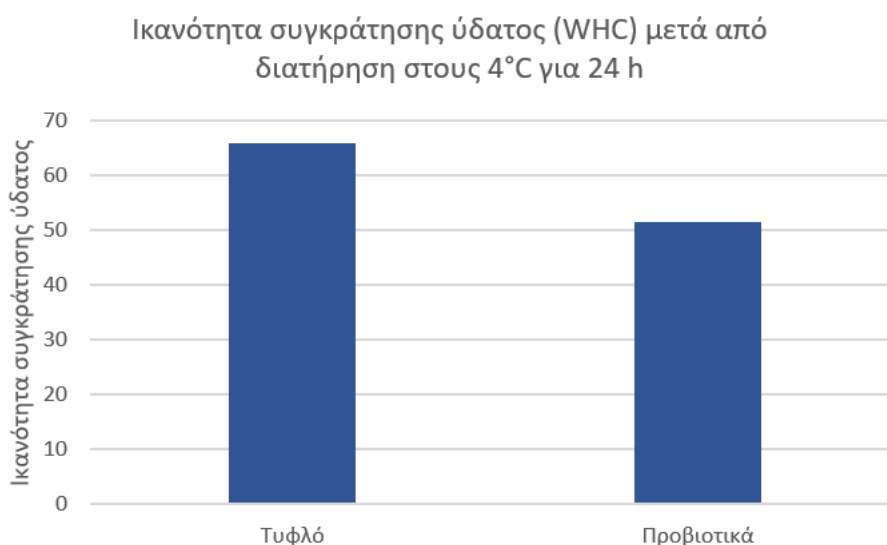
Μετά από μία ημέρα σε ψύξη (4°C) μετράται το τελικό ιξώδες που αποκτά το προϊόν και οι πειραματικές τιμές που προέκυψαν παρουσιάζονται στο σχήμα 3.5.6.1. Φαίνεται πως η διαφορά στο ιξώδες του τελικού προϊόντος ανέρχεται σε περίπου 1000 cP και συγκεκριμένα η προσθήκη των προβιοτικών μειώνει το ιξώδες του. Μετά από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) βρέθηκε πως η μείωση του χαρακτηριστικού αυτού λόγω της προσθήκης των προβιοτικών είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$).



Σχήμα 3.5.6.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

3.5.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

Τα δείγματα που προέκυψαν σε αυτήν τη σειρά πειραμάτων αξιολογήθηκαν ως προς την ικανότητα συγκράτησης ύδατος και τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 3.5.7.1.

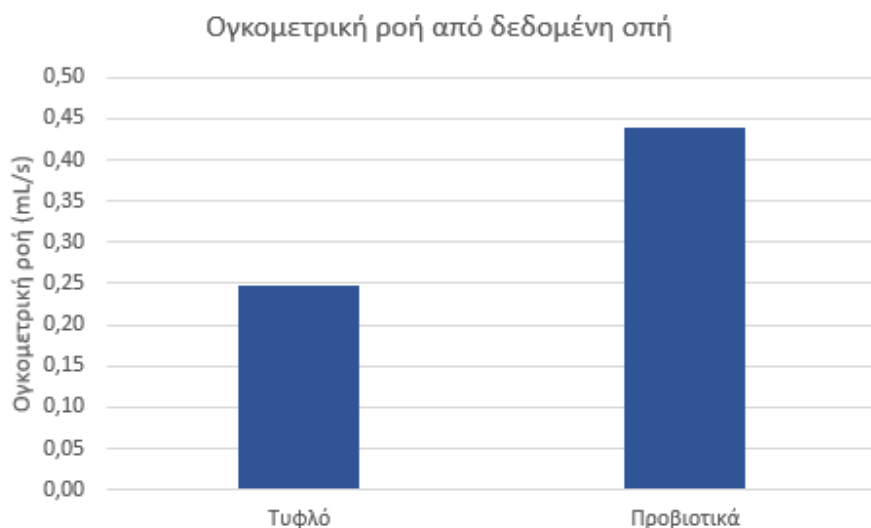


Σχήμα 3.5.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Στην περίπτωση του συμβατικού ρευστού γιαουρτιού η ικανότητα συγκράτησης ύδατος ανέρχεται σε 66% ενώ για το προβιοτικό γιαούρτι η τιμή αυτή μειώνεται σε 51%. Φαίνεται πως η επιτάχυνση της μείωσης του pH οδήγησε πιο γρήγορα σε σχηματισμό πήγματος και συνεπώς σε ασθενέστερους δεσμούς μεταξύ των πρωτεϊνών.⁵³ Ως αποτέλεσμα το τελικό πήγμα έχει μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού στην περίπτωση χρήσης προβιοτικής καλλιέργειας μαζί με τη συμβατική. Η μείωση του WHC λόγω της προσθήκης των προβιοτικών μετά από στατιστική ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε να είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$), συνεπώς τα χαρακτηριστικά του τελικού πήγματος επηρεάζονται πολύ από την προσθήκη της προβιοτικής καλλιέργειας.

3.5.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

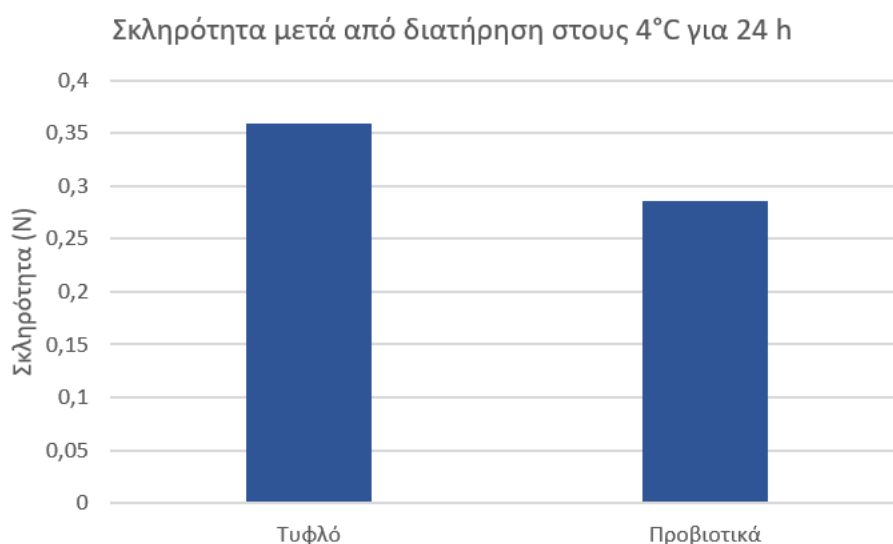
Η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων επιταχύνει σημαντικά τη διέλευση του γιαουρτιού από την οπή ($p < 0,05$). Συγκεκριμένα, το τυφλό δείγμα ρέει με ταχύτητα $0,25 \text{ mL/s}$ σχεδόν μισή του προβιοτικού δείγματος που αποκτά ταχύτητα $0,44 \text{ mL/s}$.



Σχήμα 3.5.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

3.5.9 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

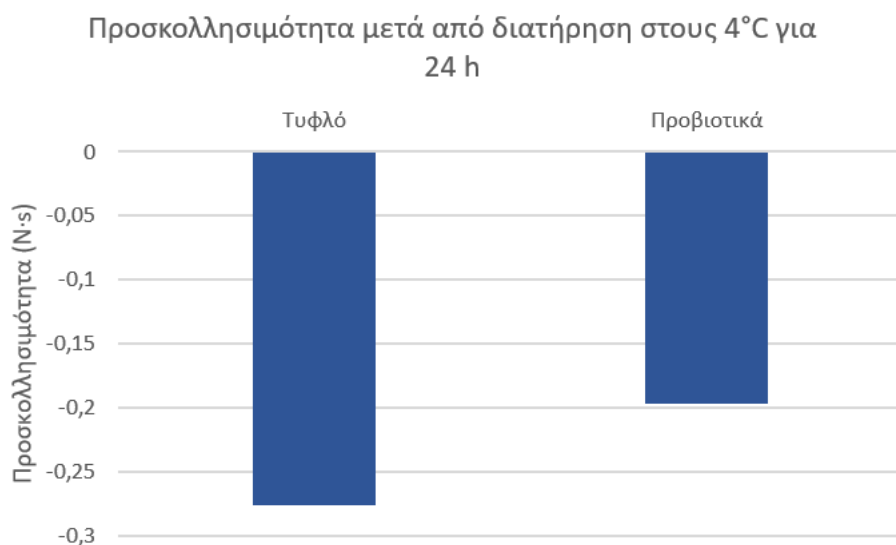
Τα δείγματα ρευστού γιαουρτιού αξιολογούνται, εν συνεχεία, με βάση τα χαρακτηριστικά της αντικειμενικής τους υφής, οι τιμές τους παρουσιάζονται στα σχήματα 3.5.9.1 - 3.5.9.5.



Σχήμα 3.5.9.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

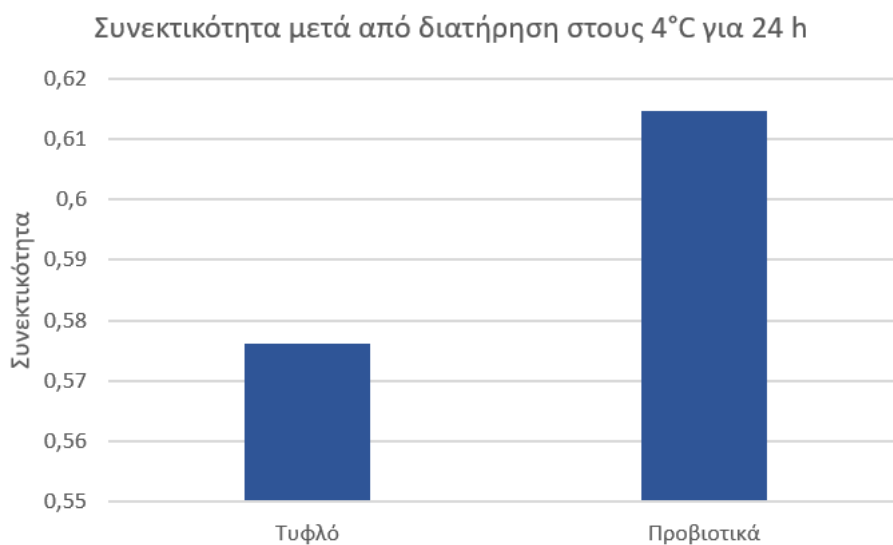
Μια πρώτη σημαντική ένδειξη για την υφή του προϊόντος αποτελεί η τιμή της σκληρότητας. Όπως φαίνεται από το σχήμα 3.5.9.1 με την προσθήκη προβιοτικών το προϊόν απαιτεί μικρότερη δύναμη για να συμπιεστεί, ωστόσο σύμφωνα με την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού φαίνεται πως μειώνεται από την προσθήκη προβιοτικών σε σχέση με

το τυφλό δείγμα, από την ανάλυση διακύμανσης προκύπτει πως αυτή έχει στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβολή της προσκολλησιμότητας ($p < 0,05$).

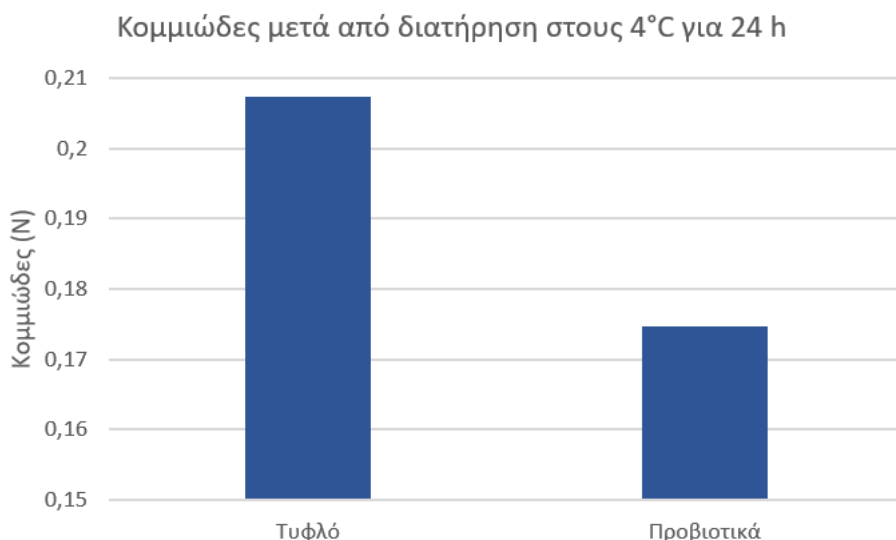


Σχήμα 3.5.9.2. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Η συνεκτικότητα και το κομμιώδες του ρευστού γιαουρτιού δεν φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την προσθήκη της προβιοτικής καλλιέργειας παρατήρηση που επιβεβαιώνεται από την ανάλυση διακύμανσης η οποία δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα δείγματα.

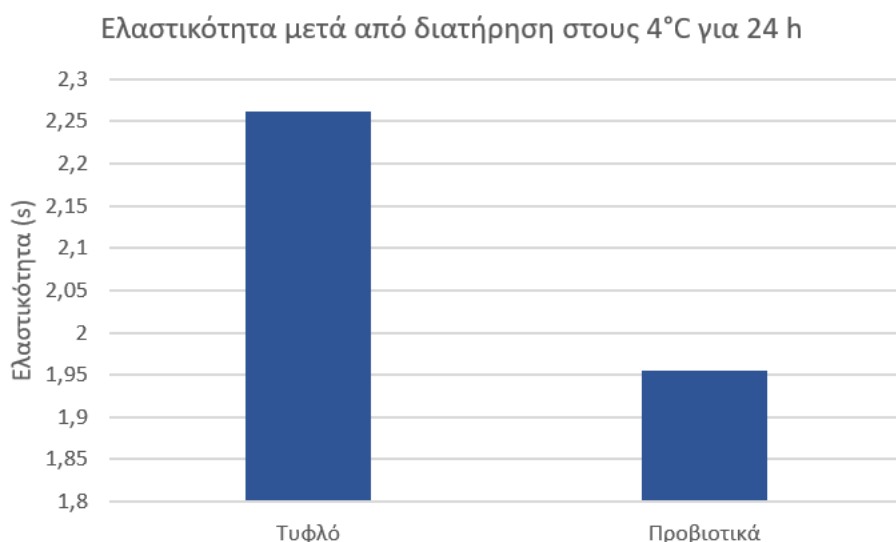


Σχήμα 3.5.9.3. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.



Σχήμα 3.5.9.4. Κομμώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Η τελευταία αντικειμενική παράμετρος υφής που προσδιορίζεται είναι η ελαστικότητα και αντιπροσωπεύει το βαθμό στον οποίο το γιαούρτι επανέρχεται στο αρχικό του μέγεθος μετά τη συμπίεση. Στην περίπτωση του προβιοτικού γιαουρτιού φαίνεται πως μειώνεται η ελαστικότητα σε σχέση με το συμβατικό γιαούρτι. Η μικρότερη τιμή κομμώδους που προκύπτει στην περίπτωση προσθήκης προβιοτικών είναι στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) μετά από ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).



Σχήμα 3.5.9.5. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h με χρήση συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης και συνδυασμό της με προβιοτική καλλιέργεια.

Συνοψίζοντας, η υφή του γιαουρτιού με προσθήκη των προβιοτικών μεταβάλλεται σε σχέση με το συμβατικό. Όπου παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές μεταβολές οι παράμετροι της υφής εμφανίζονται μειωμένες. Έτσι, η προβιοτική καλλιέργεια δημιουργεί ένα πήγμα με υποβαθμισμένες παραμέτρους υφής.

3.5.10 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Το τελικό προϊόν γιαουρτιού το οποίο ζυμώθηκε με χρήση προβιοτικής επιπλέον της συμβατικής καλλιέργειας εκκίνησης έχει διαφορετικά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά από το τυφλό δείγμα.

Συγκεκριμένα, το τελικό πήγμα είναι πιο ασθενές από το τυφλό και είναι περισσότερο εμφανής η συναίρεση στο κύπελλο που περιέχεται. Γενικότερα, το πήγμα είναι υδαρές και ανομοιογενές αλλά λεπτόρρευστο, σε σύγκριση με το τυφλό. Όσον αφορά την οσμή αυτή του προβιοτικού γιαουρτιού είναι ελαφρώς πιο όξινη από το τυφλό δείγμα, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ύπαρξη της πρόσθετης καλλιέργειας που μεταβάλλει τα γνωστά χαρακτηριστικά του γιαουρτιού.

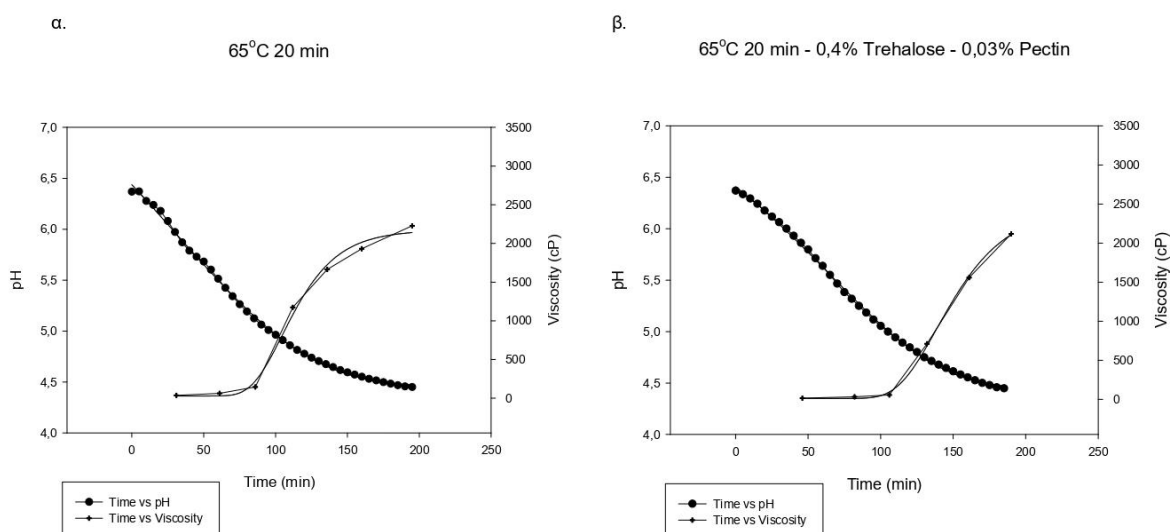
3.6 Κατάψυξη – Προσθήκη κρουπροστατευτικής ουσίας

Στην παρούσα σειρά πειραμάτων μελετάται η επίδραση της κατάψυξης και απόψυξης στο ρευστό γιαούρτι με σκοπό την επέκταση της διάρκειας ζωής του. Συγκεκριμένα, παρήχθησαν προϊόντα γιαουρτιού με συμβατική παραγωγή, εφαρμογή υπερήχων πριν και μετά τη ζύμωση καθώς και με προσθήκη του κρουπροστατευτικού τρεχαλόζη και του κόμμεος πηκτίνη. Τα γιαούρτια αυτά συγκρίνονται με τα τυφλά, τα οποία έχουν υποστεί τις αντίστοιχες κατεργασίες, όμως δεν έχει προστεθεί το κρουπροστατευτικό και το κόμμι. Μετά την παραγωγή τα προϊόντα τοποθετούνται για 5 ημέρες σε κατάψυξη (-14°C) και ύστερα αποψύχονται στο ψυγείο στους 4°C όπου είναι και η τελική θερμοκρασία αποθήκευσής τους.

Μελετάται η επίδραση της τρεχαλόζης στη ζύμωση του γιαουρτιού, δηλαδή η μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη διάρκειά της. Στη συνέχεια όλα τα τελικά προϊόντα, συμβατικά και ενισχυμένα, συγκρίνονται ως προς το τελικό τους ιξώδες, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος του πήγματος και τα χαρακτηριστικά αντικειμενικής υφής.

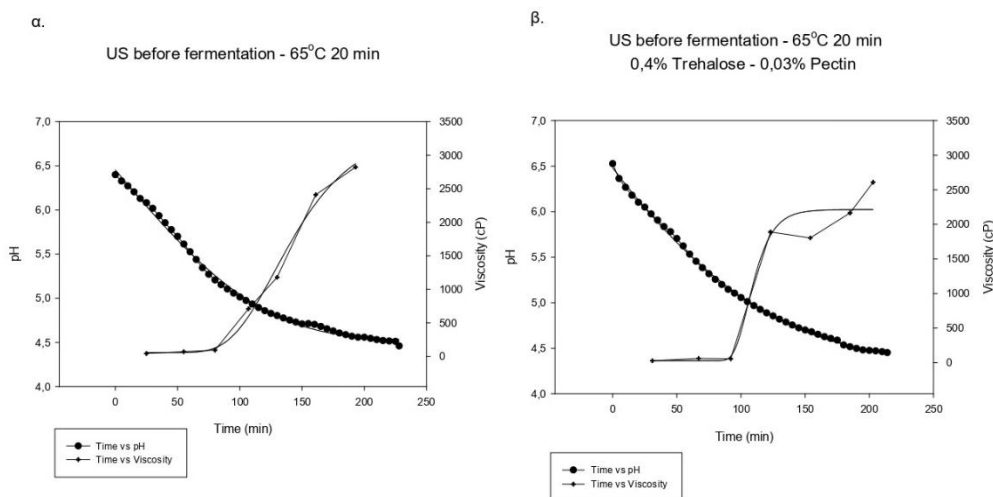
3.6.1 Μεταβολή pH και ιξώδους με το χρόνο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης

Στο σχήμα 3.6.1.1 φαίνεται η χρονική μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη ζύμωση, για το γιαούρτι που παρήχθη με συμβατική θερμική κατεργασία και την προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτίνης. Στο Σχήμα 3.6.1.2 φαίνεται η χρονική μεταβολή των δύο παραμέτρων (pH, ιξώδες) που καταγράφηκαν κατά τη ζύμωση γιαουρτιού στο οποίο είχαν εφαρμοστεί υπέρηχοι και έγινε ενίσχυση με τρεχαλόζη και πηκτίνη. Επιπλέον, στα δύο σχήματα φαίνεται η προσαρμογή των δεδομένων στο μοντέλο Gompertz για το οποίο προέκυψε ότι περιγράφει ικανοποιητικά τα πειραματικά δεδομένα καθώς προέκυψαν οι συντελεστές $R^2 > 0,99$ για το pH και $R^2 > 0,95$ για το ιξώδες.



Σχήμα 3.6.1.1. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με (α) συμβατική θερμική κατεργασία, (β) προσθήκη 0,4% w/v τρεχαλόζης και 0,03% w/v πηκτίνης, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

Για γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από γάλα συμβατικής θερμικής κατεργασίας η χρονική μεταβολή του pH είναι παρόμοια στο τυφλό δείγμα και στο ενισχυμένο. Η προσθήκη της τρεχαλόζης δεν φαίνεται να επηρεάζει κάπως την εξέλιξη του pH κατά τη ζύμωση. Στην περίπτωση του ιξώδους, η προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης αυξάνει τη λανθάνουσα φάση του, ωστόσο καταλήγουν σε κοντινές τελικές τιμές ιξώδους.

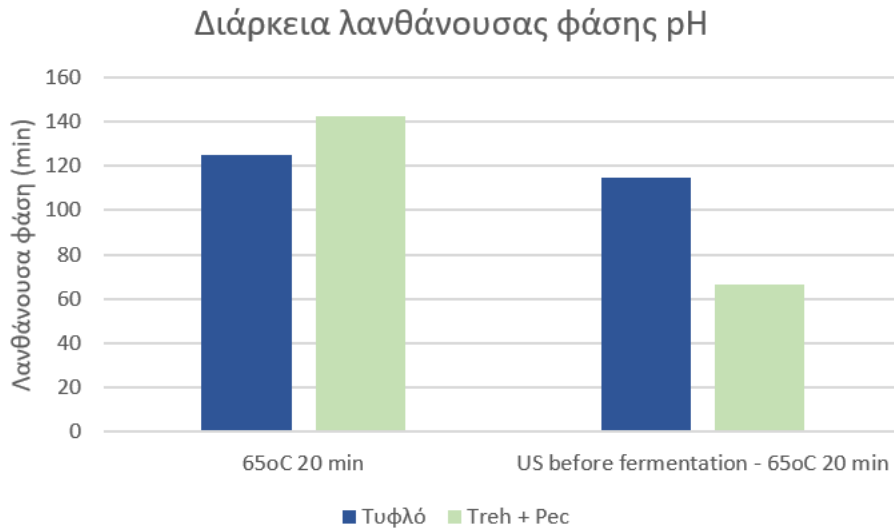


Σχήμα 3.6.1.2. Μεταβολή pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου κατά τη ζύμωση ρευστού γιαουρτιού με (α) εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (β) επιπλέον προσθήκη 0,4% w/v τρεχαλόζης και 0,03% w/v πηκτίνης, όπου τα σημεία αντιστοιχούν στις πειραματικές μετρήσεις και οι ενιαίες γραμμές στην προσαρμογή τους στο μοντέλο Gompertz.

Για γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από γάλα θερμικής κατεργασίας και επιπλέον εφαρμογή υπερήχων η χρονική μεταβολή του pH φαίνεται πως δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την προσθήκη τρεχαλόζης. Όσον αφορά το ιξώδες, η προσθήκη του κρουοπροστετευτικού αυξάνει τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης, αλλά και τον μέγιστο ρυθμό αύξησής του κατά τη δεύτερη φάση της καμπύλης, ενώ οι τελικές τιμές ιξώδους είναι παρόμοιες στο τυφλό και το ενισχυμένο δείγμα.

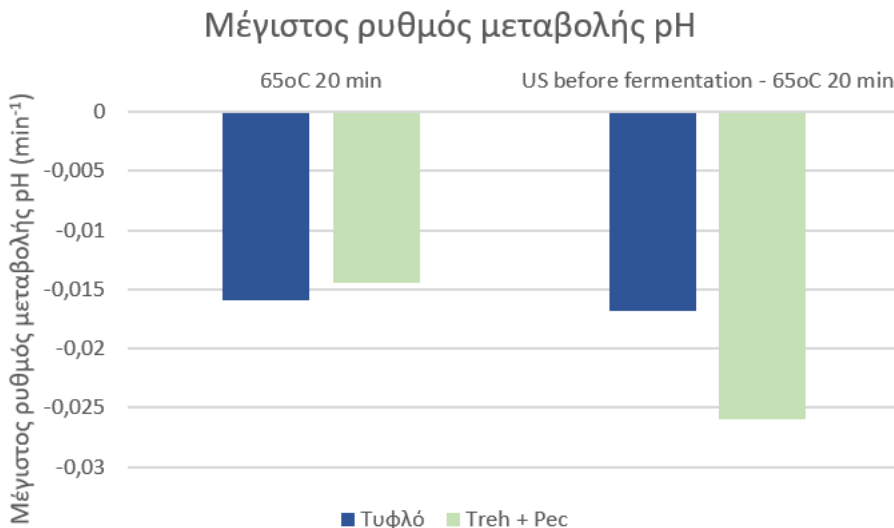
3.6.2 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH

Στο σχήμα 3.6.2.1 φαίνονται οι τιμές που προέκυψαν για τη λανθάνουσα φάση σε αυτή τη σειρά πειραμάτων σε σύγκριση με τα αντίστοιχα τυφλά. Για το γιαούρτι το οποίο προέρχεται από θερμικά κατεργασμένο γάλα το λ του ενισχυμένου γιαουρτιού προέκυψε 142 min, ενώ του συμβατικού 125 min. Στην περίπτωση όπου εφαρμόστηκαν και υπέρηχοι στο γάλα πριν τη ζύμωση, η λανθάνουσα φάση του pH προέκυψε να είναι 66 min για το ενισχυμένο και 114 min για το τυφλό δείγμα. Συνεπώς η προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτίνης δεν φαίνεται να έχει την τάση να επηρεάζει τη λανθάνουσα φάση pH με κάποιο συγκεκριμένο τρόπο. Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA από όπου προέκυψε πως οι διαφορές που υπολογίστηκαν δεν είναι στατιστικά σημαντικές για την προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης.



Σχήμα 3.6.2.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης pH ρευστού γιαουρτιού με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.

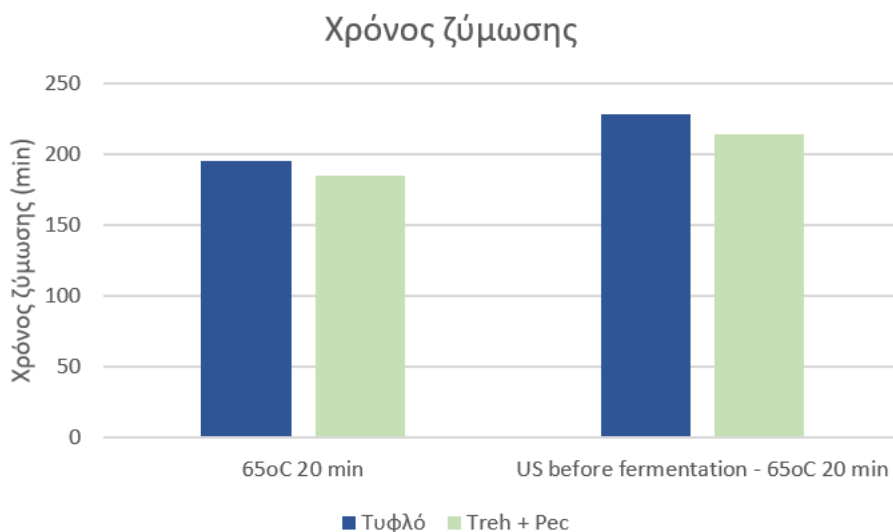
Όσον αφορά τον μέγιστο ρυθμό μείωσης του pH τα αποτελέσματα αυτής της σειράς πειραμάτων φαίνονται στο σχήμα 3.6.2.2. Ομοίως με τη λανθάνουσα φάση, δεν φαίνεται να επιδρά η ενίσχυση του γιαουρτιού στο ρυθμό μεταβολής του pH. Από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA προκύπτει ότι ο μ δεν επηρεάζεται σημαντικά από την προσθήκη τρεχαλόζης στο γιαούρτι καθώς όπως βρέθηκε στην 4^η σειρά πειραμάτων (Υποενότητα 3.4.2) η πηκτίνη δεν επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό μεταβολής του pH.



Σχήμα 3.6.2.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής pH ρευστού γιαουρτιού με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.

3.6.3 Χρόνος ζύμωσης

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο χρόνος που απαιτήθηκε από το ρευστό γιαούρτι για να ζυμωθεί.

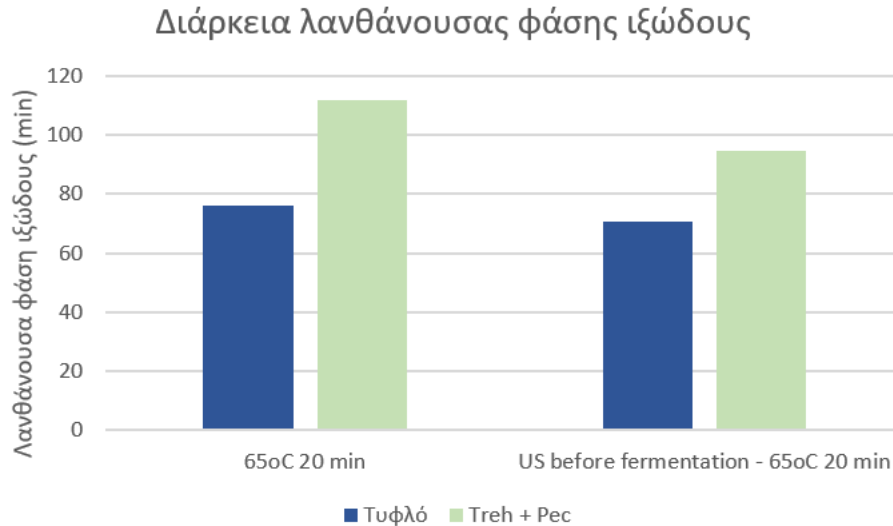


Σχήμα 3.6.3.1. Απαιτούμενος χρόνος ζύμωσης για ρευστό γιαούρτι με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.

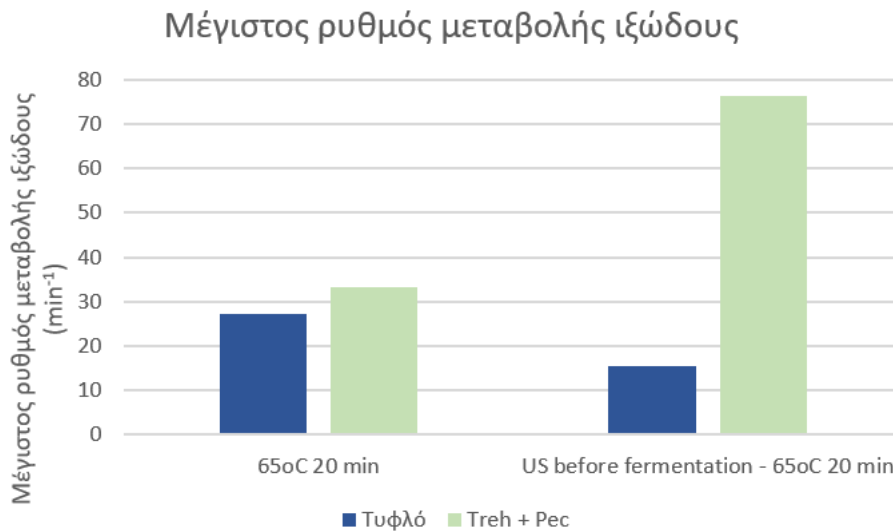
Από τις τιμές που προέκυψαν πειραματικά παρατηρείται πως η προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτίνης μειώνει τον συνολικό χρόνο ζύμωσης, στην περίπτωση της συμβατικής κατεργασίας για 10 min ενώ για την εφαρμογή US αυτή η διαφορά φτάνει τα 14 min. Οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές όπως προέκυψε από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).

3.6.4 Ρυθμός μεταβολής και διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους

Όσον αφορά τις παραμέτρους που προέκυψαν από την προσαρμογή του μοντέλου Gompertz στα δεδομένα του ιξώδους φαίνεται, από τα παρακάτω διαγράμματα, ότι αυξάνονται με την κρυοπροστασία. Συγκεκριμένα, η λανθάνουσα φάση του ιξώδους αυξήθηκε κατά 36 min κατά τη ζύμωση συμβατικά επεξεργασμένου γιαουρτιού με την προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης, σε σύγκριση με το τυφλό δείγμα. Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εφαρμόστηκαν US στο γάλα πριν τη ζύμωσή του (ταυτόχρονα με τη θερμική κατεργασία) καθώς και κρυοπροστασία, η λανθάνουσα φάση του ιξώδους αυξήθηκε κατά 24 min σε σχέση με το αντίστοιχο τυφλό. Όμοια, ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής τους ιξώδους αυξάνεται κατά 6 min^{-1} με την προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης για συμβατική θερμική κατεργασία του γάλακτος και 61 min^{-1} εάν έχουν εφαρμοστεί επιπλέον US πριν τη ζύμωση. Βρίσκεται από την ανάλυση διακύμανσης πως οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές, συνεπώς η προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης στις περιεκτικότητες που χρησιμοποιήθηκαν δεν επηρέασαν τις παραμέτρους λ , μ της εξέλιξης του ιξώδους.



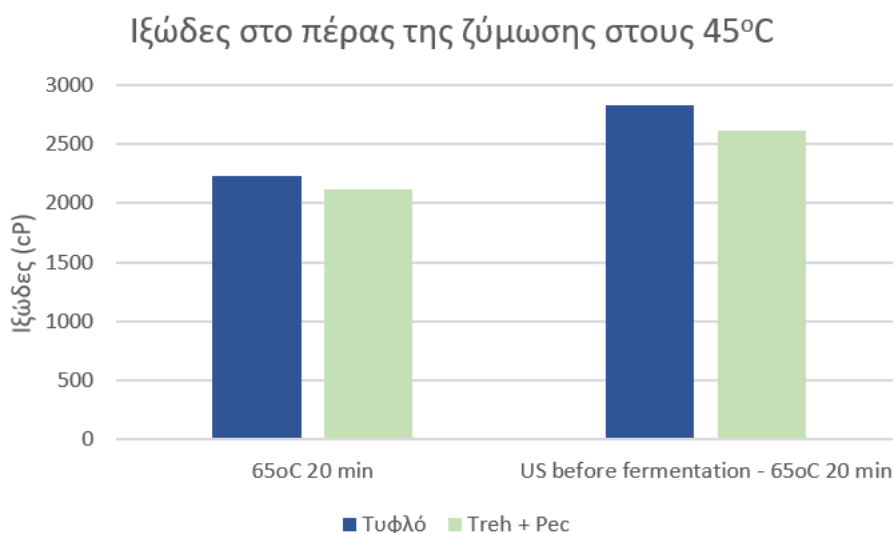
Σχήμα 3.6.4.1. Διάρκεια λανθάνουσας φάσης ιξώδους ρευστού γιαουρτιού με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.



Σχήμα 3.6.4.2. Μέγιστος ρυθμός μεταβολής ιξώδους ρευστού γιαουρτιού με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.

3.6.5 Ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης σε θερμοκρασία 45°C

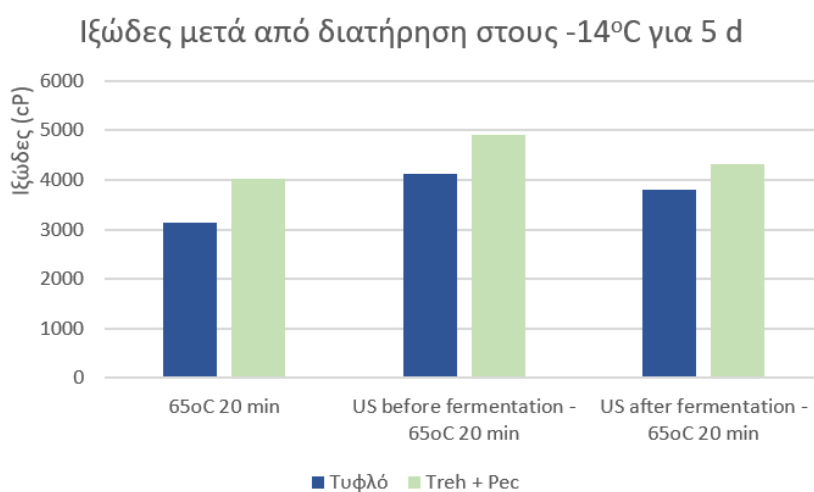
Από το σχήμα 3.6.5.1 φαίνεται πως το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης επηρεάζεται αρνητικά από την προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτίνης, ωστόσο αυτή η διαφορά δεν είναι στατιστικά σημαντική όπως έδειξε η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA).



Σχήμα 3.6.5.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού στο πέρας της ζύμωσης στους 45°C με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία, (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση.

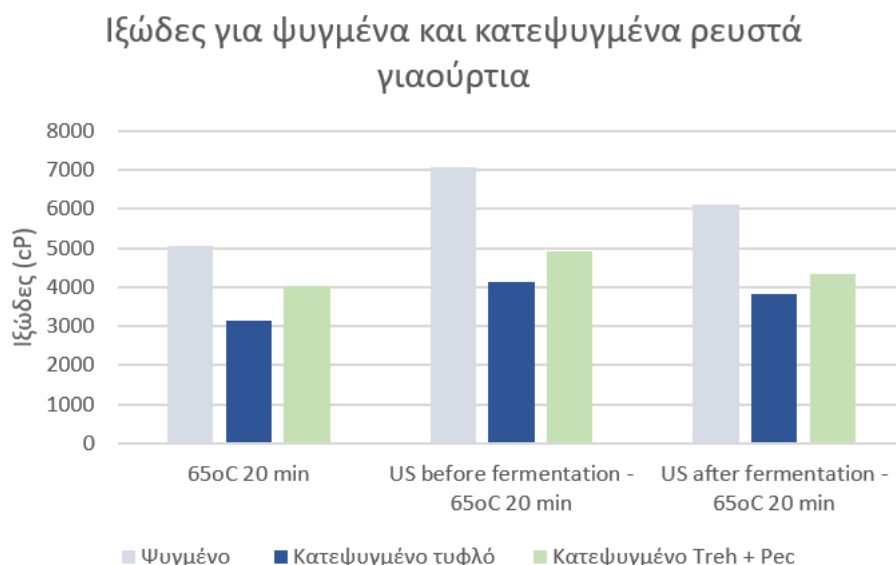
3.6.6 Ιξώδες μετά από διατήρηση σε κατάψυξη για 5 d

Τα ρευστά γιαούρτια από τα έξι πειράματα καταψύχθηκαν για 5 ημέρες και ύστερα αποψύχθηκαν. Διατηρήθηκαν σε θερμοκρασία των 4°C όπου και μετρήθηκε το ιξώδες του τελικού, πλέον, προϊόντος. Τα πειραματικά αποτελέσματα για το τελικό ιξώδες κάθε γιαουρτιού παρουσιάζονται στο σχήμα 3.6.6.1. Φαίνεται πως η κρυσπρωστασία έχει την τάση σε κάθε περίπτωση να δίνει μεγαλύτερες τιμές τελικού ιξώδους σε σχέση με τα γιαούρτια στα οποία δεν έγινε ενίσχυσή τους με τρεχαλόζη και πηκτίνη. Η μικρότερη τιμή του ιξώδους, 3140 cP, παρατηρείται για το γιαούρτι το οποίο υπέστη συμβατική θερμική κατεργασία και στο οποίο δεν προστέθηκε επιπλέον ουσία. Ενώ η υψηλότερη τιμή ιξώδους, 4905 cP, παρατηρήθηκε για την περίπτωση εφαρμογής υπερήχων και κρυσπρωστασίας. Μετά από ανάλυση διακύμανσης ANOVA προέκυψε πως και οι υπερήχοι και η κρυσπρωστασία έχουν σημαντική επίδραση στην τιμή του τελικού ιξώδους στην περίπτωση των κατεψυγμένων γιαουρτιών ($p < 0,05$). Η κρυσπρωστασία αυξάνει το ιξώδες σε σχέση με τα τυφλά όπως και η εφαρμογή US πριν ή μετά τη ζύμωση.



Σχήμα 3.6.6.1. Ιξώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.

Στο σχήμα 3.6.6.2 γίνεται σύγκριση του τελικού ιξώδους των κατεψυγμένων δειγμάτων με εκείνα τα οποία απλώς έχουν ψυχθεί στους 4°C ώστε να ελεγχθεί η επίδραση της κατάψυξης στα τελικά χαρακτηριστικά των προϊόντων.



Σχήμα 3.6.6.2. Τελικό ιξώδες ρευστών γιαουρτιών (α) μετά από ψύξη στους 4°C για 1 d, (β) μετά από κατάψυξη στους -14°C για 5 d, (γ) με προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) μετά από κατάψυξη στους -14°C για 5 d, για συμβατική κατεργασία, εφαρμογή υπερήχων πριν ή μετά τη ζύμωση.

Συγκρίνοντας το γιαούρτι το οποίο απλώς ψύχθηκε με εκείνο που καταψύχθηκε σε κάθε κατεργασία παρατηρείται μία μείωση του ιξώδους στη δεύτερη περίπτωση. Για την απλή θερμική κατεργασία το ιξώδες του ψυγμένου ανέρχεται σε 5061 cP, εάν καταψυχθεί το χαρακτηριστικό αυτό μειώνεται σε 3140 cP συνεπώς παρατηρείται μία μείωση 40%. Ωστόσο για το γιαούρτι με προσθήκη κρουπροστατευτικού και πηκτίνης για την ίδια θερμική κατεργασία, και μετά από κατάψυξη 5 ημερών το τελικό ιξώδες μετρήθηκε 4019 cP δηλαδή η προηγούμενη διαφορά μειώθηκε σε 21% από το προϊόν αναφοράς.

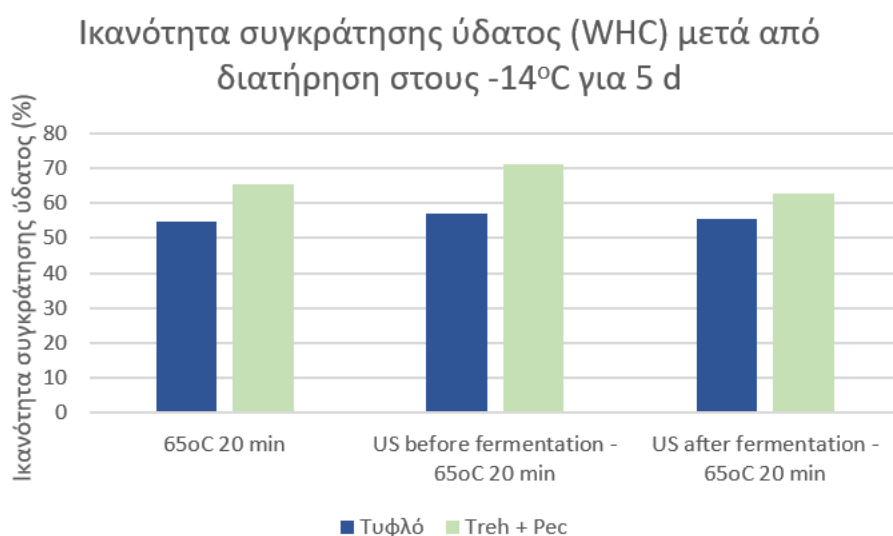
Για το γιαούρτι στο οποίο έχουν εφαρμοστεί US πριν από τη ζύμωση στην περίπτωση της ψύξης του για 1 d το τελικό ιξώδες μετρήθηκε 7060 cP, μετά από κατάψυξή του για 5 d αυτή η τιμή γίνεται 4127 cP ενώ εάν πριν την κατάψυξη προστεθεί το κρουπροστατευτικό το τελικό ιξώδες είναι 4905 cP. Συνεπώς η μείωση του ιξώδους ανέρχεται σε 42% και 31% αντίστοιχα μετά από κατάψυξη. Συγκρίνοντας τα κατεψυγμένα προϊόντα, στα οποία έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι πριν τη ζύμωση, με το συμβατικά κατεργασμένο γιαούρτι, στο οποίο δεν έχουν εφαρμοστεί υπέρηχοι, κατάψυξη ή κρουπροστασία, η μείωση του ιξώδους ανέρχεται σε 18% για το κατεψυγμένο γιαούρτι στο οποίο δεν έχει εφαρμοστεί κρουπροστασία και μόλις 3% για εκείνο στο οποίο έχει προστεθεί τρεχαλόζη και πηκτίνη.

Για το γιαούρτι στο οποίο εφαρμόστηκαν US μετά τη ζύμωση αφού ψύχθηκε στους 4°C το ιξώδες μετρήθηκε ίσο με 6122 cP. Για την ίδια κατεργασία, αλλά κατάψυξή του στους -14°C, το τελικό ιξώδες μετρήθηκε 3812 cP δηλαδή υπέστη μείωση κατά 38% από το αρχικό. Εάν πριν την κατάψυξη στο γιαούρτι προστεθεί τρεχαλόζη το τελικό ιξώδες προκύπτει 4327 cP, μειώνοντας τη διαφορά από το αρχικό γιαούρτι σε 29%. Τα δύο γιαούρτια που καταψύχθηκαν συγκρίνονται με το συμβατικό γιαούρτι που προετοιμάστηκε με απλή θερμική κατεργασία, χωρίς προσθήκη κρουπροστασίας και στη συνέχεια ψύχθηκε στους 4°C. Η μείωση του ιξώδους ανέρχεται σε 25% και 15% αντίστοιχα για το κατεψυγμένο προϊόν χωρίς κρουπροστασία και το κατεψυγμένο με κρουπροστασία.

Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προέκυψε πως η κατάψυξη έχει σημαντική επίδραση στο ιξώδες του ρευστού γιαουρτιού ($p < 0,05$). Η μικρότερη διαφορά στο τελικό ιξώδες από το συμβατικό, ψυγμένο γιαούρτι ως προς αυτά που καταψύχθηκαν εντοπίζεται στην περίπτωση όπου εφαρμόστηκαν υπερήχοι πριν τη ζύμωση και κρουπροστασία.

3.6.7 Ικανότητα συγκράτησης ύδατος

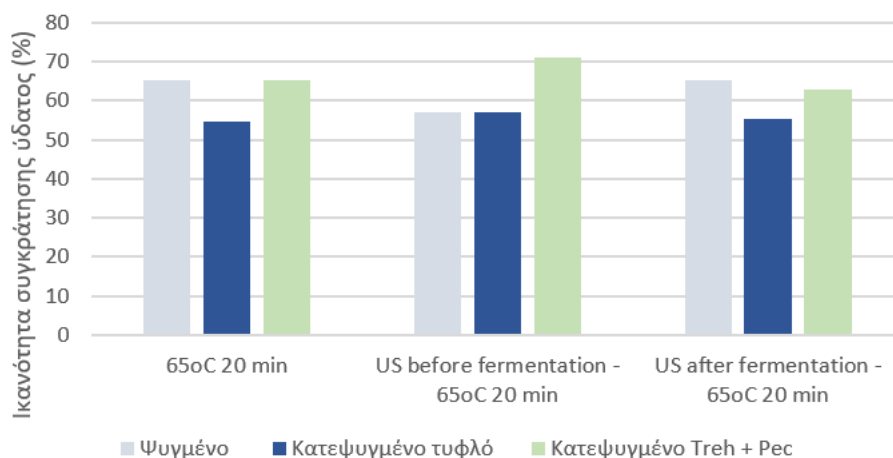
Τα ρευστά γιαούρτια από τα έξι πειράματα καταψύχθηκαν για 5 ημέρες και ύστερα αποψύχθηκαν και μετρήθηκε η ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) του εκάστοτε πηγματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.6.7.1. Όπως φαίνεται σε κάθε περίπτωση το τυφλό δείγμα έχει μικρότερο WHC από το αντίστοιχο ενισχυμένο γιαούρτι. Τη μικρότερη ικανότητα συγκράτησης του νερού έχει το συμβατικό πήγμα και η τιμή της είναι ίση με 54%, ενώ με την προσθήκη του κρουπροστατευτικού και του υδροκολλοειδούς επιτυγχάνεται αύξηση κατά 10%. Με την εφαρμογή υπερήχων στο συμβατικό γιαούρτι αμέσως μετά τη ζύμωση η WHC έχει περίπου την ίδια συμπεριφορά. Στα πειράματα όπου οι US εφαρμόστηκαν πριν από τη ζύμωση του γιαουρτιού, η WHC μετρήθηκε ίση με 57% για το τυφλό δείγμα. Στην περίπτωση όπου στο γιαούρτι εφαρμόστηκαν US πριν τη ζύμωση και προστέθηκαν επιπλέον τρεχαλόζη και πηκτίνη παρατηρήθηκε η υψηλότερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος ίση με 71%. Από τη στατιστική ανάλυση διακύμανσης ANOVA προκύπτει πως η προσθήκη τρεχαλόζης- πηκτίνης επιδρούν σημαντικά στη WHC του πηγματος ($p < 0,05$). Η τρεχαλόζη ως κρουπροστατευτική ουσία έχει την ικανότητα να δεσμεύει το νερό αποτρέποντας το σχηματισμό κρυστάλλων.⁴³ Συνεπώς, κατά την κατάψυξη αυξάνει τη δέσμευση του νερού, αλλά και αποτρέπει την άναρχη δημιουργία κρυστάλλων που μπορεί να πλήξει την ακεραιότητα του πηγματος.



Σχήμα 3.6.7.1. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.

Στο σχήμα 3.6.7.2 γίνεται σύγκριση της ικανότητας συγκράτησης ύδατος (WHC) των κατεψυγμένων δειγμάτων με εκείνα τα οποία απλώς έχουν ψυχθεί στους 4°C ώστε να ελεγχθεί η επίδραση της κατάψυξης στα τελικά χαρακτηριστικά των προϊόντων.

Ικανότητα συγκράτησης ύδατος (WHC) για ψυγμένα και κατεψυγμένα ρευστά γιαούρτια

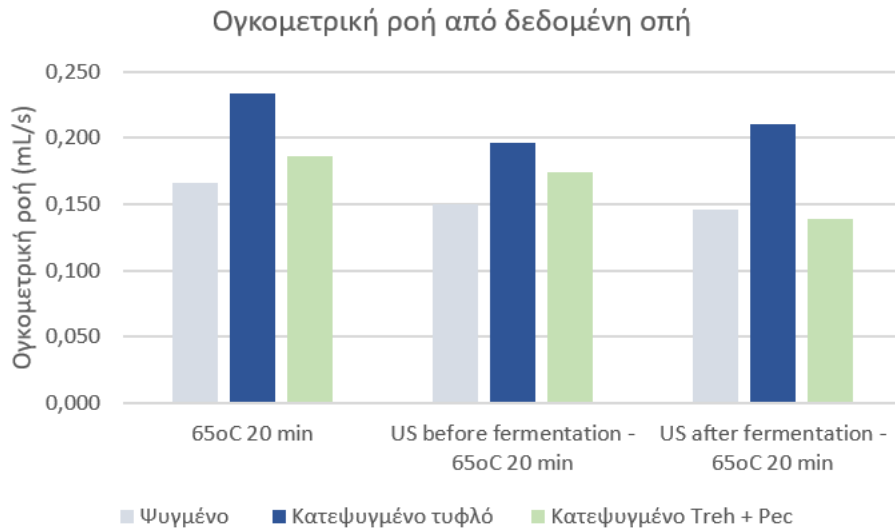


Σχήμα 3.6.7.2. Ικανότητα συγκράτησης ύδατος ρευστού γιαουρτιού (α) μετά από ψύξη στους 4°C για 1 d, (β) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, (γ) με προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, για συμβατική κατεργασία, εφαρμογή υπερήχων πριν ή μετά τη ζύμωση.

Συγκρίνοντας τη WHC των ψυγμένων και κατεψυγμένων γιαουρτιών, φαίνεται πως η μεγαλύτερη τιμή εντοπίζεται στο γιαούρτι το οποίο καταψύχθηκε ενώ παρήχθη από γάλα στο οποίο εφαρμόστηκαν US μαζί με τη θερμική κατεργασία και επιπλέον προστέθηκε τρεχαλόζη και πηκτίνη. Η τιμή ανέρχεται σε 71%. Η μικρότερη τιμή WHC βρέθηκε 54% και αντιστοιχεί στο γιαούρτι που παρασκευάστηκε από γάλα συμβατικής θερμικής κατεργασίας και ύστερα καταψύχθηκε. Από την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) προκύπτει πως η κατάψυξη των δειγμάτων δεν επηρέασε την WHC, ωστόσο οι διαφορές που παρατηρούνται οφείλονται στην προσθήκη τρεχαλόζης ($p < 0,05$).

3.6.8 Προσδιορισμός ογκομετρικής ροής από δεδομένη οπή

Παρατίθενται στο σχήμα που ακολουθεί τα αποτελέσματα για την ογκομετρική ροή του ρευστού γιαουρτιού μετά την κατάψυξη σε σύγκριση με δείγματα τα οποία έχουν συντηρηθεί μόνο υπό ψύξη. Όπως είναι αναμενόμενο μετά την κατάψυξη τα πήγματα δεν είναι εξ ίσου ισχυρά με τα αντίστοιχα ψυγμένα καθώς έχουν αλλοιωθεί από την πολύ χαμηλή θερμοκρασία και τη δημιουργία κρυστάλλων. Από την ανάλυση διακύμανσης προκύπτει πως η ογκομετρική ροή των γιαουρτιών αυξάνεται σημαντικά λόγω της κατάψυξης ($p < 0,05$) και μειώνεται λόγω της προσθήκη κρυσπροστασίας ($p < 0,05$).

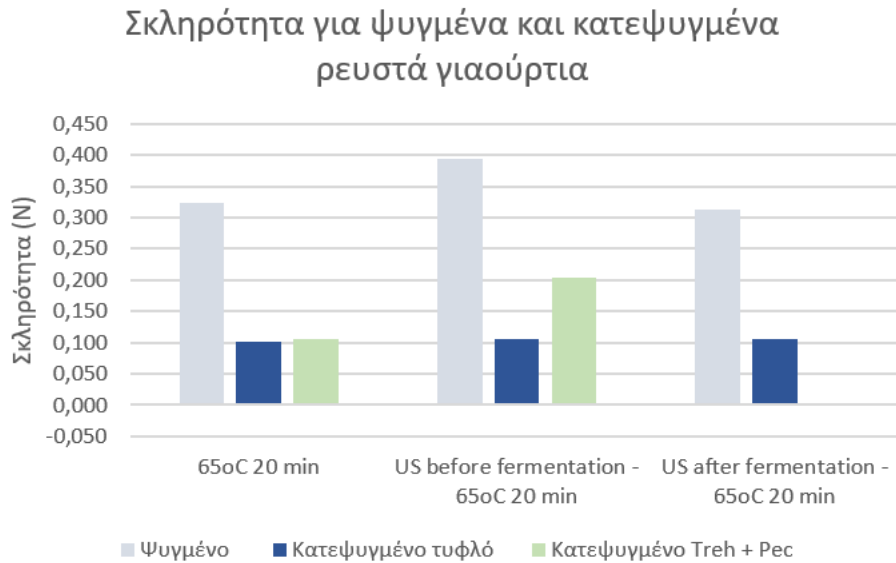


Σχήμα 3.6.8.1. Ογκομετρική ροή ρευστού γιαουρτιού (α) μετά από ψύξη στους 4°C για 1 d, (β) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, (γ) με προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, για συμβατική κατεργασία, εφαρμογή υπερήχων πριν ή μετά τη ζύμωση.

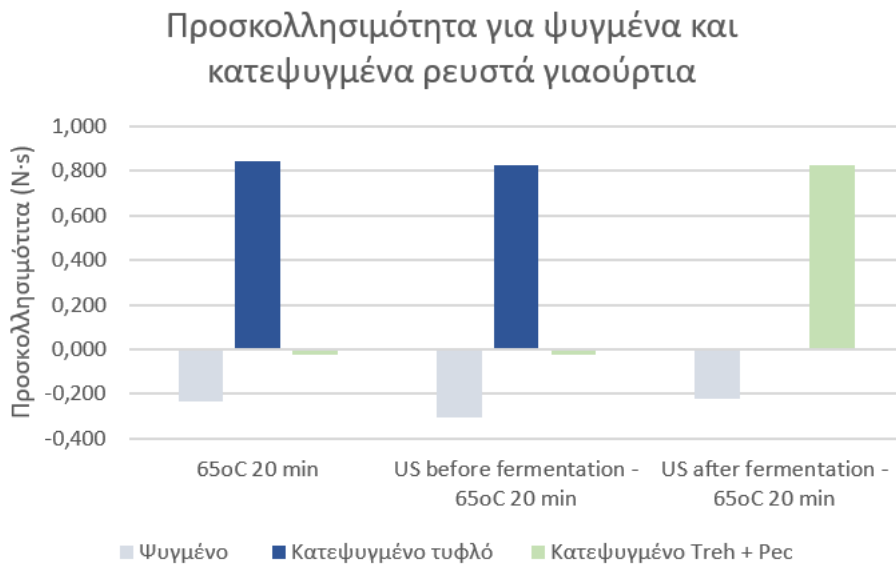
3.6.9 Ανάλυση αντικειμενικής υφής

Τα δείγματα τα οποία καταψύχθηκαν και στη συνέχεια αποψύχθηκαν συγκρίνονται ως προς τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής τους. Εν συνεχεία, μελετάται η επίδραση της κατάψυξης στην υφή τους σε σχέση με τα συμβατικά προϊόντα ρευστού γιαουρτιού τα οποία έχουν αποθηκευτεί σε απλή ψύξη.

Στα σχήματα 3.6.9.1 - 3.6.9.5 συγκρίνονται τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά υφής των γιαουρτιών που καταψύχθηκαν σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια τα οποία συντηρήθηκαν σε ψύξη. Όπως παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις η ανάλυση έδωσε μηδενικά αποτελέσματα ή αποτελέσματα τα οποία δεν ακολουθούν την αναμενόμενη συμπεριφορά. Για παράδειγμα, από το σχήμα 3.6.9.2 φαίνεται πως η προσκολλησιμότητα του γιαουρτιού στο οποίο εφαρμόστηκαν υπέρηχοι, προστέθηκε τρεχαλόζη και πηκτίνη και στη συνέχεια καταψύχθηκε έχει μηδενική τιμή, ενώ αντίστοιχα άλλα δείγματα έχουν θετική τιμή προσκολλησιμότητας αντί για αρνητική. Στις περιπτώσεις αυτές, οι οποίες αντιστοιχούν στα κατεψυγμένα δείγματα, η υφή επηρεάστηκε σε τέτοιο βαθμό από την κατάψυξη, ώστε οι μετρήσεις να είναι κάτω από τα όρια ευαισθησίας του οργάνου. Συνολικά, το μόνο δείγμα το οποίο σχετικά διατήρησε την υφή του ανάμεσα στα κατεψυγμένα δείγματα ήταν εκείνο στο οποίο εφαρμόστηκαν υπέρηχοι στο γάλα πριν τη ζύμωση καθώς και κρουπροστασία. Από την ανάλυση διακύμανσης προέκυψε πως η κατάψυξη επιδρά σημαντικά στη σκληρότητα των δειγμάτων. Όσον αφορά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά υφής, η ανάλυση διακύμανσης ANOVA δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων για τους τρεις παράγοντες που εξετάστηκαν, δηλαδή κατάψυξη, εφαρμογή υπερήχων και κρουπροστασία.

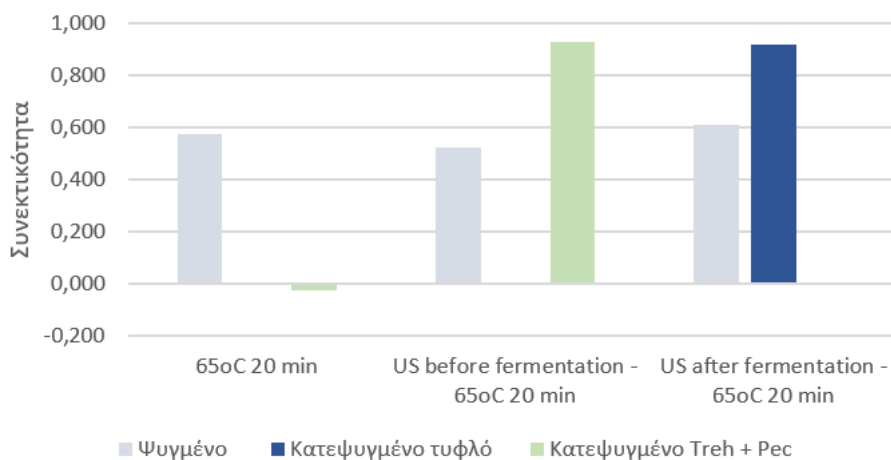


Σχήμα 3.6.9.1. Σκληρότητα ρευστού γιαουρτιού (α) μετά από ψύξη στους 4°C για 1 d, (β) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, (γ) με προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) μετά από κατάψυξη στους -14 °C για 5 d, για συμβατική κατεργασία, εφαρμογή υπερήχων πριν ή μετά τη ζύμωση.



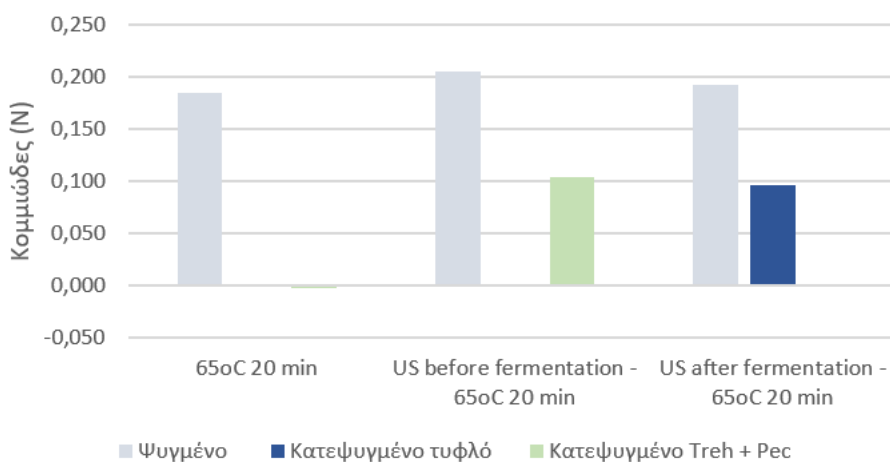
Σχήμα 3.6.9.2. Προσκολλησιμότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.

Συνεκτικότητα για ψυγμένα και κατεψυγμένα ρευστά γιαούρτια

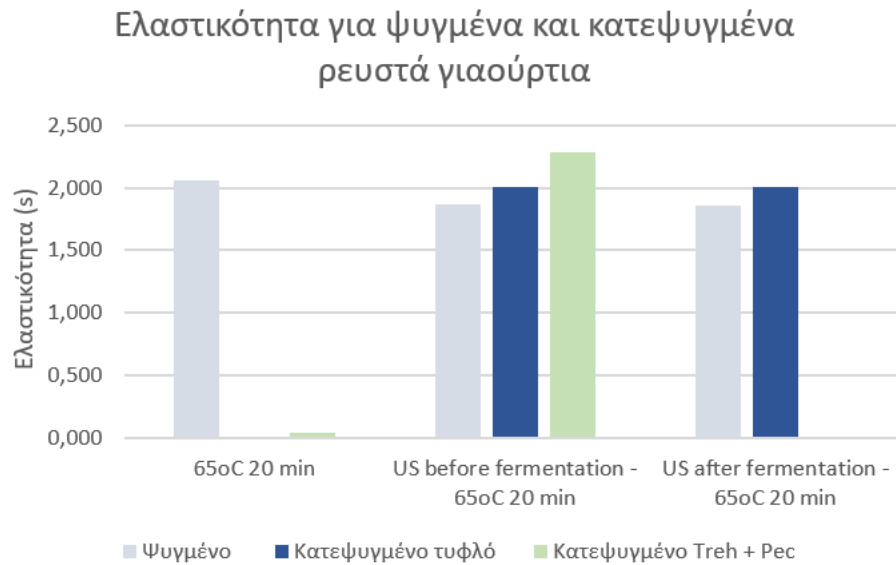


Σχήμα 3.6.9.3. Συνεκτικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.

Κομμιώδες για ψυγμένα και κατεψυγμένα ρευστά γιαούρτια



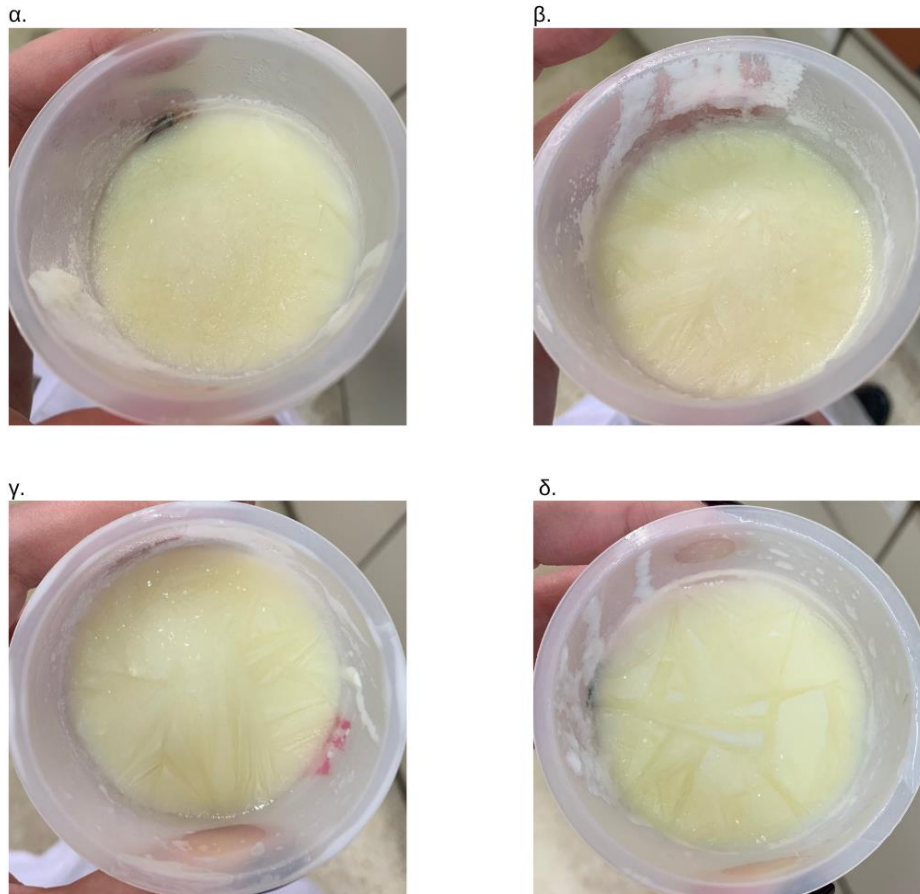
Σχήμα 3.6.9.4. Κομμιώδες ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.



Σχήμα 3.6.9.5. Ελαστικότητα ρευστού γιαουρτιού μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d με ή χωρίς προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v) (α) με συμβατική θερμική κατεργασία (β) με εφαρμογή υπερήχων πριν τη ζύμωση, (γ) με εφαρμογή υπερήχων μετά τη ζύμωση.

3.6.10 Σχολιασμός οργανοληπτικών χαρακτηριστικών

Αφού διατηρήθηκαν για 5 ημέρες υπό κατάψυξη τα δείγματα ρευστού γιαουρτιού, τοποθετήθηκαν στη ψύξη, ώστε να μελετηθούν οι τυχόν αλλοιώσεις που υπέστησαν. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι επιφάνειες των δειγμάτων μετά την κατάψυξη για εφαρμογή ή μη υπερήχων και προσθήκη ή μη τρεχαλόζης και πηκτίνης.



Σχήμα 3.6.10.1. Επιφάνεια δειγμάτων ρευστού γιαουρτιού μετά από 5 d υπό κατάψυξη (-14°C) που έχουν προκύψει από γάλα (α) με θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min, (β) με εφαρμογή υπερήχων ταυτόχρονα με θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min, (γ) με θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min και προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v), (δ) με εφαρμογή υπερήχων ταυτόχρονα με θερμική κατεργασία στους 65°C για 20 min και προσθήκη τρεχαλόζης (0,4% w/v) και πηκτίνης (0,03% w/v).

Η επιφάνεια του κατεψυγμένου συμβατικού γιαουρτιού είναι ομοιόμορφη σε αντίθεση με αυτά στα οποία έχουν προστεθεί τρεχαλόζη και πηκτίνη ή έχουν εφαρμοστεί US όπου παρατηρούνται ρωγμές και ινώδεις σχηματισμοί. Στην περίπτωση προσθήκης κρυσπροστασίας και εφαρμογής US στο γάλα πριν τη ζύμωση σχηματίζονται στην επιφάνεια του κατεψυγμένου γιαουρτιού πιο έντονες ρωγμές. Η διαφορετική υφή της επιφάνειας των δειγμάτων είναι μία πρώτη ένδειξη του διαφορετικού τρόπου σχηματισμού κρυστάλλων ανάμεσα στα δείγματα και την επίδραση της τρεχαλόζης και των US σε αυτούς.

Αφού αποψυχθούν, όλα τα δείγματα συγκρίνονται ως προς τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά. Το γιαούρτι το οποίο έχει παραχθεί από συμβατική θερμική κατεργασία χωρίς προσθήκη επιπλέον συστατικών εμφανίζει έντονη συναίρεση του ορού και υποβαθμισμένη υφή. Η εφαρμογή υπερήχων φαίνεται πως δημιουργεί πιο ισχυρό πήγμα καθώς σε σχέση με το συμβατικό γιαούρτι αυτό συγκρατεί τον ορό σε μεγαλύτερο βαθμό. Ωστόσο η εφαρμογή US πριν ή μετά τη ζύμωση του γάλακτος ενισχύει την κοκκώδη υφή. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά που παρατηρήθηκαν σε κλίμακα 1-10 όπου 10 η μεγαλύτερη ένταση του χαρακτηριστικού. Για τη συνολική εντύπωση αξιολογείται η γενικότερη σύσταση του γιαουρτιού σύμφωνα με την κρίση (αρέσκεια) του δοκιμαστή. Η κρυσπροστασία φαίνεται πως βελτιώνει τη συνολική εντύπωση, ωστόσο ενισχύει την κοκκώδη υφή του πηγματος πλήττοντας την ομοιογένειά του.

Πίνακας 3.6.10.1. Βαθμολόγηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών ρευστού γιαουρτιού συναρτήσει των συνθηκών παραγωγής τους μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

*Βαθμολογία έντασης χαρακτηριστικών με κλίμακα 1-10 (10: μέγιστο)

**Συνολική εκτίμηση: αρέσκεια με κλίμακα 1-10 (10: άριστο)

Θερμική κατεργασία γάλακτος	Εφαρμογή υπερήχων	Προσθήκη τρεχαλόζης-πηκτίνης	*Συναίρεση	*Κοκκώδης υφή	**Συνολική εντύπωση
65°C για 20 min	—	—	6	3	7
65°C για 20 min	—	Ναι	5	4	9
65°C για 20 min	Πριν τη ζύμωση	—	5	5	7
65°C για 20 min	Πριν τη ζύμωση	Ναι	2	7	9
65°C για 20 min	Μετά τη ζύμωση	—	3	4	7
65°C για 20 min	Μετά τη ζύμωση	Ναι	2	5	8

4 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παραγωγή ρευστού γιαουρτιού. Μεταβάλλονται ορισμένοι παράγοντες της παραγωγικής διαδικασίας και μελετάται ο τρόπος με τον οποίο αυτοί επηρεάζουν τη διαδικασία της ζύμωσης του γάλακτος, αλλά και τις ιδιότητες του τελικού ψυγμένου προϊόντος. Μέσω των πειραμάτων και της επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγονται από αυτά, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

4.1 Συμπεράσματα

Αρχικά, μελετάται ο συμβατικός τρόπος παραγωγής του ρευστού γιαουρτιού με μεταβολή των συνθηκών της θερμικής κατεργασίας (διαφορετικοί συνδυασμοί θερμοκρασίας – χρόνου) του γάλακτος πριν από τη ζύμωσή του. Η θερμική κατεργασία που εφαρμόζεται στο γάλα επηρεάζει τη μεταβολή του pH και του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Πιο έντονες θερμικές κατεργασίες οδηγούν πιο σύντομα στην ολοκλήρωση της ζύμωσης και σε πιο μεγάλες τελικές τιμές ιξώδους στο τελικό προϊόν. Τα ρευστά γιαούρτια που έχουν παραχθεί από γάλα ήπιας θερμικής κατεργασίας εμφανίζουν μεγαλύτερη ογκομετρική ροή διαμέσου της ίδιας οπής. Διαφορές παρατηρούνται και στα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής. Η σκληρότητα και το κομμώδες του προϊόντος αυξάνονται με την αύξηση της έντασης της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος. Όσον αφορά τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρείται η δημιουργία περισσότερο συμπαγούς πήγματος με κοκκώδη υφή. Αντίθετα, οι πιο ήπιες θερμοκρασίες βελτιώνουν τη ρεολογία, αυξάνοντας ωστόσο τον διαχωρισμό του ορού. Οι βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας του γάλακτος για την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού προκύπτουν να είναι θέρμανση στους 70°C για 5 *min* και στους 65°C για 20 *min*.

Η ταυτόχρονη εφαρμογή υπερήχων (US) με τη θερμική κατεργασία του γάλακτος πριν από τη ζύμωση, δεν επηρεάζει την εξέλιξη της ζύμωσης δηλαδή τα χαρακτηριστικά της καμπύλης μεταβολής του pH (λανθάνουσα φάση, ρυθμός μείωσης), ωστόσο αυξάνει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της ζύμωσης. Ομοίως, δε μεταβάλλεται η ανάπτυξη του πήγματος δηλαδή τα χαρακτηριστικά της καμπύλης μεταβολής του ιξώδους, ενώ το ιξώδες του προϊόντος στο πέρας της ζύμωσης καθώς και το ιξώδες μετά από διατήρηση του προϊόντος υπό ψύξη αυξάνεται με την εφαρμογή US, σε σχέση με το αντίστοιχο τυφλό δείγμα. Το πήγμα με εφαρμογή US όντας πιο πηχτό από το τυφλό, ρέει πιο αργά από μία σταθερή οπή (άνοιγμα). Όσον αφορά τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του προϊόντος, αυτά δεν επηρεάζονται από την επιπλέον εφαρμογή US κατά την παραγωγή του ρευστού γιαουρτιού. Οι μεταβολές που παρατηρούνται στο προϊόν λόγω των US δεν εξαρτώνται από το στάδιο κατά το οποίο θα εφαρμοστούν, δηλαδή πριν ή μετά από τη ζύμωση. Οργανοληπτικά οι υπέρηχοι βελτίωσαν το πήγμα ως προς την ομοιογένεια και την εμφάνιση, ωστόσο με πιο έντονη θερμική κατεργασία το τελικό ιξώδες αυξάνεται σημαντικά, μειώνοντας τον πόσιμο χαρακτήρα του προϊόντος. Συνεπώς οι υπέρηχοι δεν προτείνονται για την παρασκευή ρευστού γιαουρτιού στην ένταση που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία.

Η ζύμωση του γάλακτος ταυτόχρονα με την υδρόλυση της λακτόζης από το ένζυμο λακτάση μειώνει σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της ζύμωσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η αρχική συγκέντρωση ενζύμου που χρησιμοποιείται τόσο πιο σύντομα φτάνει το γιαούρτι στο επιθυμητό pH (4,45). Αυξάνοντας την ποσότητα της προστιθέμενης λακτάσης, αυξάνεται ο ρυθμός αύξησης του ιξώδους κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Τα χαρακτηριστικά του πήγματος μετά την ψύξη και ειδικότερα το τελικό ιξώδες, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος, η ογκομετρική ροή και η αντικειμενική υφή του, δεν επηρεάζονται από την προσθήκη της λακτάσης. Λόγω της λακτάσης, επιτυγχάνεται η παραγωγή ρευστού γιαουρτιού υδρολυμένης λακτόζης που μπορεί να καταναλωθεί και από άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη. Τέλος, από την κατεργασία

με το ένζυμο προκύπτουν γιαούρτια με βελτιωμένες οργανοληπτικές ιδιότητες. Σε σχέση με το τυφλό δείγμα αυτά αποκτούν γυαλιστερή, λευκή επιφάνεια και πιο κρεμώδη υφή με λιγότερα συσσωματώματα.

Η προσθήκη υδροκολλοειδών κατά την παραγωγή του ρευστού γιαουρτιού οδηγεί σε αύξηση της λανθάνουσας φάσης του pH και του ιξώδους κατά τη ζύμωση. Επιπλέον, αυξάνεται και ο ρυθμός αύξησης του ιξώδους, με τη μεγαλύτερη επίδραση να παρατηρείται για την προσθήκη κ-καραγενάνης. Η κ-καραγενάνη αυξάνει το ιξώδες του πήγματος σε σχέση με το τυφλό δείγμα στο πέρας της ζύμωσης, όπως και μετά από διατήρησή του υπό ψύξη. Η δράση της πηκτικής φαίνεται πως είναι τέτοια που στο πέρας της ζύμωσης οδηγεί σε προϊόν με μικρότερο ιξώδες από το τυφλό δείγμα, ωστόσο μετά από την ψύξη του το ιξώδες αποκτά μεγαλύτερη τιμή από τα υπόλοιπα δείγματα (τυφλό και δείγμα με προσθήκη κ-καραγενάνης). Τα υδροκολλοειδή αυξάνουν επιπλέον την ογκομετρική ροή του προϊόντος. Η σκληρότητα και η προσκολλησιμότητα (κατ' απόλυτη τιμή) του ρευστού γιαουρτιού μειώνονται. Τελικά, η προσθήκη κ-καραγενάνης προτείνεται για την παραγωγή ρευστού γιαουρτιού καθώς προκύπτει ένα ομοιογενές προϊόν βελτιωμένης ρεολογίας. Ενώ, η πηκτική βελτιώνει μεν τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά υφής του πήγματος, προσδίδει δε ένα πιο σκούρο χρώμα σε αυτό και οσμή εσπεριδοειδών. Συνεπώς η πηκτική μπορεί να προτιμηθεί σε εφαρμογές όπου το ρευστό γιαούρτι έχει κάποια επιπρόσθετη γεύση, λόγου χάρη ροδάκινο.

Από τη μελέτη της ζύμωσης του γάλακτος από προβιοτική καλλιέργεια (BB-12) επιπλέον της καλλιέργειας εκκίνησης προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Κατά τη ζύμωση η επιπρόσθετη καλλιέργεια μειώνει τη λανθάνουσα φάση του pH, αυξάνει το ρυθμό μείωσής του, και έτσι η ζύμωση ολοκληρώνεται σε μικρότερο χρόνο. Το πήγμα που προκύπτει είναι λιγότερο ισχυρό από το αντίστοιχο τυφλό με την προσθήκη προβιοτικών. Συγκεκριμένα, μειώνεται το ιξώδες, η ικανότητα συγκράτησης ύδατος όπως και οι αντικειμενικές παράμετροι της υφής του, εκτός της συνεκτικότητας η οποία αυξάνεται. Η ζύμωση από τη συμβατική καλλιέργεια εκκίνησης σε συνδυασμό με την προβιοτική καλλιέργεια οδηγούν στη γρήγορη ζύμωση ενός υδαρούς ανομοιογενούς πήγματος.

Η τελευταία σειρά πειραμάτων αφορά την κατάψυξη δειγμάτων ρευστού γιαουρτιού και την παραγωγή κάποιων με εφαρμογή υπερήχων ή και με προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτικής. Μετά την κατάψυξη και απόψυξη των δειγμάτων επιτυγχάνεται η διατήρηση υψηλής τιμής ιξώδους με την ενσωμάτωση κρουοπροστατευτικού υλικού (τρεχαλόζης) όπως και με την εφαρμογή US στο γάλα πριν από τη ζύμωσή του ή στο ρευστό γιαούρτι στο πέρας της ζύμωσης. Η μεγαλύτερη τιμή ιξώδους προκύπτει με συνδυασμό των δύο διεργασιών. Σε σχέση με δείγματα γιαουρτιού τα οποία έχουν συντηρηθεί μόνο υπό ψύξη, αυτά που καταψύχθηκαν και μετά αποψύχθηκαν εμφάνισαν μικρότερο ιξώδες. Η ικανότητα συγκράτησης ύδατος αυξάνεται με την προσθήκη τρεχαλόζης και πηκτικής στο γιαούρτι, ενώ η κατάψυξη δεν επηρεάζει αυτήν την ιδιότητα. Η ογκομετρική ροή των γιαουρτιών αυξάνεται σημαντικά λόγω της κατάψυξης και μειώνεται λόγω της προσθήκης του κρουοπροστατευτικού υλικού. Η υφή του τελικού προϊόντος υποβαθμίζεται πολύ από την κατάψυξη. Το δείγμα ρευστού γιαουρτιού το οποίο προέρχεται από γάλα στο οποίο εφαρμόστηκαν US και κρουοπροστασία, ήταν το βέλτιστο δείγμα όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του μετά την κατάψυξη. Συνεπώς, με την ενσωμάτωση δύο επιπλέον σταδίων (US και κρουοπροστασίας) μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική διατήρηση των ιδιοτήτων του προϊόντος συγκριτικά με το συμβατικό ρευστό γιαούρτι (όπου συμβατικό εννοείται αυτό που έχει παραχθεί από συνήθη θερμική κατεργασία του γάλακτος, χωρίς επιπλέον προσθήκη υλικών) που διατηρείται μόνο υπό ψύξη.

4.2 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Τα πειράματα αυτής της μελέτης είχαν ως σκοπό τη διερεύνηση διαφόρων παραγόντων και το πώς αυτοί επηρεάζουν την παραγωγική διαδικασία και τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος που αποτελεί το ρευστό γιαούρτι. Λαμβάνοντας ως αφορμή τις διαδικασίες και τις συνθήκες που μελετήθηκαν προτείνονται παρακάτω κάποιες ιδέες για περαιτέρω διερεύνηση.

Αρχικά, μπορεί η εφαρμογή υπερήχων να δοκιμαστεί για μικρότερες συχνότητες ή μικρότερη διάρκεια έκθεσης του γάλακτος ή του ημιέτοιμου ή έτοιμου γιαουρτιού, ώστε να βελτιωθεί το πήγμα χωρίς όμως αυτό να χάσει τη ρευστότητά του. Εναλλακτικά, μπορεί να διερευνηθεί ο συνδυασμός υπερήχων με κάποια πιο ήπια θερμική κατεργασία, ώστε να επιτυγχάνονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για το πήγμα χωρίς να διακυβεύεται η ασφάλεια του προϊόντος. Όσον αφορά την υδρόλυση της λακτόζης για την περίπτωση παραγωγής προϊόντων μειωμένης λακτόζης, αυτή μπορεί να επιτευχθεί και με διαδικασίες που περιλαμβάνουν ακινητοποίηση του ενζύμου με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της παραγωγής όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία.

Η ενσωμάτωση προβιοτικών βακτηρίων αποτελεί μία πρόταση που ενισχύει τα θρεπτικά οφέλη του γιαουρτιού και ακολουθεί την τάση της εποχής για θρεπτικά γεύματα που μπορούν να καταναλωθούν «εν κινήσει». Συνεπώς, έχει νόημα να εξεταστεί η δημιουργία προϊόντων ρευστού γιαουρτιού με προβιοτικά βακτήρια και πρεβιοτικά, όπως η ινουλίνη, για την ενίσχυση της δράσης τους. Επιπλέον, τα προβιοτικά βακτήρια μπορούν να ενσωματωθούν μετά τη ζύμωση σε ελεύθερη ή εγκλεισμένη μορφή, ώστε να ευνοηθεί η διατήρηση του πληθυσμού τους σε επαρκή επίπεδα. Καθώς το δείγμα γιαουρτιού το οποίο ζυμώθηκε από τη συμβατική και την προβιοτική καλλιέργεια εμφανίζει ασθενές πήγμα, πιθανόν η προσθήκη κάποιου υδροκολλοειδούς, όπως η ξανθάνη, ή ενός μείγματος υδροκολλοειδών να βελτιώσει τα τελικά χαρακτηριστικά του.

Η κατάψυξη του ρευστού γιαουρτιού προκύπτει πως υποβαθμίζει τις ιδιότητες του πηγματος. Αυτή η κατάσταση θα μπορούσε να αποφευχθεί με την προσθήκη των υλικών που δοκιμάστηκαν σε άλλες αναλογίες ή την αντικατάσταση της τρεχαλόζης με άλλο κρουπροστατευτικό ή την προσθήκη κάποιου άλλου υδροκολλοειδούς ή μείγματος αυτών.

5 Βιβλιογραφία

- (1) Fuquay, J. W.; Fox, P. F.; McSweeney, P. L. H. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd ed.; 2011.
- (2) Hui, Y. K. *Dairy Science and Technology Handbook*; 1993; Vol. 31. <https://doi.org/10.5860/choice.31-0267>.
- (3) Meghwal, M.; Goyal, M. R.; Chavan, R. S. *Dairy Engineering: Advanced Technologies and Their Applications*; Apple Academic Press Inc., 2017.
- (4) Sfakianakis, P.; Tzia, C. Conventional and Innovative Processing of Milk for Yogurt Manufacture; Development of Texture and Flavor: A Review. *Foods* **2014**, *3* (1), 176–193. <https://doi.org/10.3390/foods3010176>.
- (5) Tamime, A.; Robinson, R. K. *Yoghurt Science and Technology*, 2nd ed.; Woodhead Publishing Limited, 2000.
- (6) Speer, E. *Milk and Dairy Product Technology*; Fennema, O. R., Karel, M., Tannenbaum, S. R., Walstra, P., Whitaker, J. R., Eds.; Taylor & Francis Group, LLC: Hamburg, 1995.
- (7) Fox, P. F.; Uniacke-Lowe, T.; Mcsweeney, P. L. H.; O'mahony, J. A. *Dairy Chemistry and Biochemistry*, 2nd ed.; Springer, 2015.
- (8) Chandan, R. C. *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks*; Blackwell Publishing Ltd, 2006.
- (9) Walstra, P.; Wouters, J. T. M.; Geurts, T. J. *Dairy Science and Technology*, 2nd ed.; Taylor & Francis Group, LLC, 2006.
- (10) Venica, C. I.; Bergamini, C.; Zalazar, C. A.; Perotti, M. C. Effect of Lactose Hydrolysis during Manufacture and Storage of Drinkable Yogurt. *J. Food Nutr. Disord.* **2013**, *02* (04). <https://doi.org/10.4172/2324-9323.1000125>.
- (11) Miller, G. D.; Jarvis, J. K.; McBean, L. D. *Handbook of Dairy Foods and Nutrition, Second Edition*; CRC Press, 2000.
- (12) Schmidt, C.; Mende, S.; Jaros, D.; Rohm, H. Fermented Milk Products: Effects of Lactose Hydrolysis and Fermentation Conditions on the Rheological Properties. *Dairy Sci. Technol.* **2016**, *96* (2), 199–211. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0259-9>.
- (13) Martins, A. R.; Lemos Monteiro, R.; Fernandes De Medeiros Burkert, J.; André, C.; Burkert, V. Simultaneous Enzymatic Hydrolysis and Lactic Fermentation to Obtain a Yogurt with Low Lactose Content. *Ciência e Agrotecnologia* **2012**, *36* (5), 551–559.
- (14) Kretchmer, N. Lactose and Lactase. *Sci. Am.* **1972**, *227* (4), 70–79. <https://doi.org/10.2307/24922892>.
- (15) Mlichova, Z.; Rosenberg, M. Current Trends of β -Galactosidase Application in Food Technology. *J. Food Nutr. Res.* **2006**, *45* (2), 47–54.
- (16) *Microbiology in Dairy Processing: Challenges and Opportunities*; Poltonieri, P., Ed.; John Wiley and Sons Ltd, 2018.
- (17) Bylund, G. *Dairy Processing Handbook*; Teknotext AB, Ed.; Tetra Pak Processing Systems AB, 1995; Vol. 58. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican11051904-24111asupp>.
- (18) Απόφ. ΑΧΣ 106/2016, ΦΕΚ 2457/Β/09.08.2016 “Αντικατάσταση του άρθρου 82 «Γιαούρτι» του Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ) (ΦΕΚ 788/Β'/31.12.1987), όπως ισχύει”.

- (19) Massoud, R.; Belgheisi, S.; Massoud, A. Effect of High Pressure Homogenization on Improving the Quality of Milk and Sensory Properties of Yogurt: A Review. *Int. J. Chem. Eng. Appl.* **2016**, *7* (1), 66–70. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2016.V7.544>.
- (20) Sfakianakis, P.; Tzia, C. Yogurt from Ultrasound Treated Milk: Monitoring of Fermentation Process and Evaluation of Product Quality Characteristics. *Food Process Eng. a Chang. World* **2010**, 1649–1654.
- (21) Michel, P. Formation and Physical Properties of Asteroids. *Elements* **2014**, *10* (1), 19–24. <https://doi.org/10.2113/gselements.10.1.19>.
- (22) Soukoulis, C.; Panagiotidis, P.; Koureli, R.; Tzia, C. Industrial Yogurt Manufacture: Monitoring of Fermentation Process and Improvement of Final Product Quality. *J. Dairy Sci.* **2007**, *90* (6), 2641–2654. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-802>.
- (23) De Brabandere, A. G.; De Baerdemaeker, J. G. Effects of Process Conditions on the PH Development During Yogurt Fermentation. *J. Food Eng.* **1999**, 221–227.
- (24) Yildiz, F. *Development and Manufacture of Yogurt and Other Functional Dairy Products*; CRC Press/Taylor & Francis, 2010.
- (25) Lindsay, R. C. *Fennema's Food Chemistry*, 5th ed.; Damodaran, S., Parkin, K. L., Eds.; CRC Press, 2017. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>.
- (26) Gyawali, R.; Ibrahim, S. A. Addition of Pectin and Whey Protein Concentrate Minimises the Generation of Acid Whey in Greek-Style Yogurt. *J. Dairy Res.* **2018**, *85* (2), 238–242. <https://doi.org/10.1017/S0022029918000109>.
- (27) Arioui, F.; Ait Saada, D.; Cheriguene, A. Physicochemical and Sensory Quality of Yogurt Incorporated with Pectin from Peel of Citrus Sinensis. *Food Sci. Nutr.* **2017**, *5* (2), 358–364. <https://doi.org/10.1002/fsn3.400>.
- (28) May, C. D. Industrial Pectins: Sources, Production and Applications. *Carbohydr. Polym.* **1990**, *12*, 79–99.
- (29) Necas, J.; Bartosikova, L. Carrageenan: A Review. *Vet. Med. (Praha)*. **2013**, *58* (4), 187–205.
- (30) Norziah, M. H.; Foo, S. L.; Karim, A. A. Rheological Studies on Mixtures of Agar (*Gracilaria Changii*) and κ -Carrageenan. *Food Hydrocoll.* **2006**, *20*, 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.03.020>.
- (31) Emine, M.; Ihsan, B. Effect of Different Stabilizers on Quality Characteristics of the Set-Type Yogurt. *African J. Biotechnol.* **2017**, *16* (46), 2142–2151. <https://doi.org/10.5897/ajb2017.16197>.
- (32) Ladero, M.; Perez, M. T.; Santos, A.; Garcia-Ochoa, F. Hydrolysis of Lactose by Free and Immobilized β -Galactosidase from *Thermus* Sp. Strain T2. *Biotechnol. Bioeng.* **2003**, *81* (2), 241–252. <https://doi.org/10.1002/bit.10466>.
- (33) Martins, A. R.; Manera, A. P.; Monteiro, R. L.; Burket, J. F. de M.; Burket, C. A. V. Lactose Conversion and the Synthesis of Galactooligosaccharides in a Simultaneous Lagged Bioprocess Using β -Galactosidases and Probiotic Microorganisms. *Brazilian J. Food Technol.* **2011**, *14* (02), 130–136. <https://doi.org/10.4260/bjft2011140200017>.
- (34) Nout, M. J. R.; Sarkar, P. K.; Owens, J. D.; Schwan, R. F.; Fleet, G. H.; Chen, J.; Zhu, Y.; Chandrasekaran, M. *Fermented Milk and Dairy Products*; Puniya, A. K., Ed.; CRC Press, 2016.
- (35) Tripathi, M. K.; Giri, S. K. Probiotic Functional Foods: Survival of Probiotics during Processing and Storage. *J. Funct. Foods* **2014**, *9* (1), 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>.

- (36) Frakolaki, G.; Giannou, V.; Kekos, D.; Tzia, C. A Review of the Microencapsulation Techniques for the Incorporation of Probiotic Bacteria in Functional Foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61* (9), 1515–1536. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761773>.
- (37) Suchanek, M.; Olejniczak, Z. Low Field MRI Study of the Potato Cell Membrane Electroporation by Pulsed Electric Field. *J. Food Eng.* **2018**, *231*, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.002>.
- (38) Skorupska, S.; Grabowska-Jadach, I.; Dybko, A.; Brzozka, Z. Studies on Electroporation and Electrochemotherapy of Adherent Cells Monolayer Using Electrode Modules of Specific Geometry. *Sensors Actuators B Chem.* **2021**, 130889. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130889>.
- (39) Bendicho, S.; Barbosa - Cánovas, G. V.; Martín, O. Milk Processing by High Intensity Pulsed Electric Fields. *Trends Food Sci. Technol.* **2002**, *13*, 195–204.
- (40) Momose, Y.; Matsumoto, R.; Maruyama, A.; Yamaoka, M. Comparative Analysis of Transcriptional Responses to the Cryoprotectants, Dimethyl Sulfoxide and Trehalose, Which Confer Tolerance to Freeze-Thaw Stress in *Saccharomyces Cerevisiae*. *Cryobiology* **2010**, *60* (3), 245–261. <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2010.01.001>.
- (41) Maroulis, Z.; Saravacos, G. *Food Process Design*; Marcel Dekker, 2003.
- (42) Alinovi, M.; Mucchetti, G.; Wiking, L.; Corredig, M. Freezing as a Solution to Preserve the Quality of Dairy Products: The Case of Milk, Curds and Cheese. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61* (20), 3340–3360. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1798348>.
- (43) Stefanello, R. F.; Machado, A. A. R.; Pasqualin Cavalheiro, C.; Bartholomei Santos, M. L.; Nabeshima, E. H.; Copetti, M. V.; Fries, L. L. M. Trehalose as a Cryoprotectant in Freeze-Dried Wheat Sourdough Production. *LWT - Food Sci. Technol.* **2018**, *89*, 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.011>.
- (44) Skryplonek, K.; Henriques, M.; Gomes, D.; Viegas, J.; Fonseca, C.; Pereira, C.; Dmytrów, I.; Mituniewicz-Matek, A. Characteristics of Lactose-Free Frozen Yogurt with κ -Carrageenan and Corn Starch as Stabilizers. *J. Dairy Sci.* **2019**, *102* (9), 7838–7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>.
- (45) Ralet, M. C.; Nasserri, A. T.; Thibault, J. F. Citrus Pectin: Structure and Application in Acid Dairy Drinks. *Tree For. Sci. Biotechnol.* **2008**.
- (46) Kefir grains <https://www.ubuy.com.gr/en/product/2CTSE8VM-organic-milk-kefir-grains> (accessed Aug 28, 2022).
- (47) *Europe Drinkable Yogurt Market- Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2022-2027)*. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-drinkable-yogurt-market>
- (48) *Europe Yogurts Market By Category (Dairy-Based, and Non Dairy-Based), by Type (Plain, and Flavored); by Distribution Channel (Hypermarkets/Supermarkets, Convenience Stores, Online Retail and Others), and By Country (UK, France, Spain, Germany, Italy, Russ; 2022)*. <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-yogurts-market>
- (49) Adams, C.; Grimmelt, A.; Meilhac, L.; Pandya, C. How to stay cool as competition heats up in ice cream and yogurt <https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/how-to-stay-cool-as-competition-heats-up-in-ice-cream-and-yogurt> (accessed Aug 31, 2022).
- (50) Montgomery, R. Further Studies of the Phenol-Sulfuric Acid Reagent for Carbohydrates. *Biochim. Biophys. Acta* **1961**, *48*, 591–593.
- (51) Longo, G. Influência Da Adição de Lactase Na Produção de Iogurtes, Universidade Norte do Paraná,

Londrina, 2006.

- (52) Hematyar, N.; Samarin, A. M.; Poorazarang, H.; Elhamirad, A. H. Effect of Gums on Yogurt Characteristics. *World Appl. Sci. J.* **2012**, *20* (5), 661–665. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.05.2353>.
- (53) Papaioannou, G. M.; Kosma, I. S.; Dimitreli, G.; Badeka, A. V.; Kontominas, M. G. Effect of Starter Culture, Probiotics, and Flavor Additives on Physico-Chemical, Rheological, and Sensory Properties of Cow and Goat Dessert Yogurts. *Eur. Food Res. Technol.* **2022**, *248* (4), 1191–1202. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03955-z>.

6 Παράρτημα

Π.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις διάφορες θερμικές κατεργασίες του γάλακτος

Πίνακας Π 1.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	118554,3	1	118554,3	4365,406	0,000000
Thermal process	4942,9	4	1235,7	45,502	0,000401
Error	135,8	5	27,2		

Πίνακας Π 1.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,003689	1	0,003689	6051,215	0,000000
Thermal process	0,000224	4	0,000056	91,827	0,000072
Error	0,000003	5	0,000001		

Πίνακας Π 1.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	438483,6	1	438483,6	2803,604	0,000000
Thermal process	6930,4	4	1732,6	11,078	0,010628
Error	782,0	5	156,4		

Πίνακας Π 1.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	46052,18	1	46052,18	356,7200	0,000008
Thermal process	3268,17	4	817,04	6,3288	0,034112
Error	645,49	5	129,10		

Πίνακας Π 1.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11089,76	1	11089,76	545,8820	0,000003
Thermal process	496,35	4	124,09	6,1080	0,036581
Error	101,58	5	20,32		

Πίνακας Π 1.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	88428917	1	88428917	193,6083	0,000034
Thermal process	4454950	4	1113737	2,4384	0,177364
Error	2283707	5	456741		

Πίνακας Π 1.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	573079280	1	573079280	405,8434	0,000006
Thermal process	67868484	4	16967121	12,0158	0,008897
Error	7060350	5	1412070		

Πίνακας Π 1.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	34951,94	1	34951,94	1268,143	0,000000
Thermal process	273,90	4	68,48	2,484	0,172628
Error	137,81	5	27,56		

Πίνακας Π 1.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη οπή.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	69274,24	1	69274,24	2719,674	0,000000
Thermal Process	8065,52	4	2016,38	79,162	0,000104
Error	127,36	5	25,47		

Π.1.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος 90°C – 5 min και 70 °C – 5 min

Πίνακας Π 1.1.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	51336,43	1	51336,43	1010,332	0,000988
Temperature	0,82	1	0,82	0,016	0,910394
Error	101,62	2	50,81		

Πίνακας Π 1.1.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,001276	1	0,001276	2166,813	0,000461
Temperature	0,000000	1	0,000000	0,365	0,606951
Error	0,000001	2	0,000001		

Πίνακας Π 1.1.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	145924,0	1	145924,0	560,1689	0,001780
Temperature	169,0	1	169,0	0,6488	0,505098
Error	521,0	2	260,5		

Πίνακας Π 1.1.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	17720,77	1	17720,77	72,85663	0,013449
Temperature	3185,16	1	3185,16	13,09536	0,068598
Error	486,46	2	243,23		

Πίνακας Π 1.1.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5989,384	1	5989,384	1420,210	0,000703
Temperature	38,773	1	38,773	9,194	0,093727
Error	8,435	2	4,217		

Πίνακας Π 1.1.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	39992976	1	39992976	157,4942	0,006290
Temperature	2534464	1	2534464	9,9808	0,087275
Error	507866	2	253933		

Πίνακας Π 1.1.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	339185889	1	339185889	409,3529	0,002434
Temperature	34904464	1	34904464	42,1251	0,022926
Error	1657181	2	828591		

Πίνακας Π 1.1.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	12562,14	1	12562,14	766,5696	0,001302
Temperature	35,04	1	35,04	2,1379	0,281204
Error	32,77	2	16,39		

Πίνακας Π 1.1.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,726502	1	1,726502	28285,21	0,000035
Temperature	0,106953	1	0,106953	1752,20	0,000570
Error	0,000122	2	0,000061		

Πίνακας Π 1.1.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,361434	1	0,361434	9,406615	0,091890
Temperature	0,003458	1	0,003458	0,090002	0,792483
Error	0,076847	2	0,038423		

Πίνακας Π 1.1.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,028147	1	1,028147	805,1928	0,001240
Temperature	0,005101	1	0,005101	3,9952	0,183667
Error	0,002554	2	0,001277		

Πίνακας Π 1.1.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,428344	1	0,428344	532,9387	0,001871
Temperature	0,014093	1	0,014093	17,5341	0,052575
Error	0,001607	2	0,000804		

Πίνακας Π 1.1.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	17,95641	1	17,95641	1171,324	0,000853
Temperature	0,02031	1	0,02031	1,325	0,368791
Error	0,03066	2	0,01533		

Π.1.2 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος 70°C – 10 min και 65°C – 10 min

Πίνακας Π 1.2.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	35760,63	1	35760,63	8090,966	0,000124
Temperature	3255,00	1	3255,00	736,455	0,001355
Error	8,84	2	4,42		

Πίνακας Π 1.2.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,002007	1	0,002007	2536,793	0,000394
Temperature	0,000148	1	0,000148	187,287	0,005297
Error	0,000002	2	0,000001		

Πίνακας Π 1.2.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	207025,0	1	207025,0	6787,705	0,000147
Temperature	4096,0	1	4096,0	134,295	0,007364
Error	61,0	2	30,5		

Πίνακας Π 1.2.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	17704,64	1	17704,64	400,1902	0,002489
Temperature	13,61	1	13,61	0,3076	0,634904
Error	88,48	2	44,24		

Πίνακας Π 1.2.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3564,320	1	3564,320	121,0512	0,008160
Temperature	263,331	1	263,331	8,9432	0,095988
Error	58,889	2	29,445		

Πίνακας Π 1.2.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	30398682	1	30398682	34,84907	0,027516
Temperature	1583822	1	1583822	1,81570	0,310182
Error	1744591	2	872295		

Πίνακας Π 1.2.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	187347656	1	187347656	69,34748	0,014116
Temperature	13465230	1	13465230	4,98421	0,155228
Error	5403156	2	2701578		

Πίνακας Π 1.2.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16773,11	1	16773,11	362,6999	0,002746
Temperature	21,65	1	21,65	0,4681	0,564499
Error	92,49	2	46,25		

Πίνακας Π 1.2.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,753971	1	0,753971	790,1728	0,001263
Temperature	0,076002	1	0,076002	79,6515	0,012323
Error	0,001908	2	0,000954		

Πίνακας Π 1.2.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,277044	1	0,277044	408,7589	0,002437
Temperature	0,004577	1	0,004577	6,7523	0,121655
Error	0,001356	2	0,000678		

Πίνακας Π 1.2.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,124291	1	1,124291	413,9419	0,002407
Temperature	0,002081	1	0,002081	0,7664	0,473667
Error	0,005432	2	0,002716		

Πίνακας Π 1.2.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμιώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,219119	1	0,219119	218,6391	0,004543
Temperature	0,027155	1	0,027155	27,0951	0,034982
Error	0,002004	2	0,001002		

Πίνακας Π 1.2.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	14,85107	1	14,85107	810,2564	0,001232
Temperature	0,04176	1	0,04176	2,2781	0,270271
Error	0,03666	2	0,01833		

Π.1.3 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος 65°C – 20 min και 65°C – 10 min

Πίνακας Π 1.3.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	37931,07	1	37931,07	2286,874	0,000437
Time	3932,14	1	3932,14	237,070	0,004192
Error	33,17	2	16,59		

Πίνακας Π 1.3.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,001935	1	0,001935	2213,907	0,000451
Time	0,000169	1	0,000169	192,939	0,005143
Error	0,000002	2	0,000001		

Πίνακας Π 1.3.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	220430,3	1	220430,3	1692,363	0,000590
Time	2450,3	1	2450,3	18,812	0,049263
Error	260,5	2	130,2		

Πίνακας Π 1.3.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18993,13	1	18993,13	425,9660	0,002339
Time	71,33	1	71,33	1,5997	0,333365
Error	89,18	2	44,59		

Πίνακας Π 1.3.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2616,386	1	2616,386	146,7814	0,006744
Time	58,924	1	58,924	3,3057	0,210669
Error	35,650	2	17,825		

Πίνακας Π 1.3.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	26610122	1	26610122	1526,576	0,000654
Time	816312	1	816312	46,830	0,020693
Error	34862	2	17431		

Πίνακας Π 1.3.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	115680780	1	115680780	16380,16	0,000061
Time	543906	1	543906	77,02	0,012737
Error	14124	2	7062		

Πίνακας Π 1.3.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	13557,82	1	13557,82	761,2951	0,001311
Time	70,90	1	70,90	3,9813	0,184143
Error	35,62	2	17,81		

Πίνακας Π 1.3.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,362404	1	0,362404	364,1671	0,002735
Time	0,000088	1	0,000088	0,0882	0,794456
Error	0,001990	2	0,000995		

Πίνακας Π 1.3.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,197580	1	0,197580	299,7069	0,003320
Time	0,000202	1	0,000202	0,3059	0,635793
Error	0,001318	2	0,000659		

Πίνακας Π 1.3.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,084540	1	1,084540	210,8620	0,004709
Time	0,000713	1	0,000713	0,1387	0,745336
Error	0,010287	2	0,005143		

Πίνακας Π 1.3.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,099747	1	0,099747	69,88556	0,014009
Time	0,000157	1	0,000157	0,10969	0,771984
Error	0,002855	2	0,001427		

Πίνακας Π 1.3.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	18,17317	1	18,17317	1360,089	0,000734
Time	0,04200	1	0,04200	3,144	0,218226
Error	0,02672	2	0,01336		

Π.1.4 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τις θερμικές κατεργασίες του γάλακτος 70°C – 10 min και 70°C – 5 min

Πίνακας Π 1.4.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	55654,92	1	55654,92	1169,984	0,000854
Time	104,95	1	104,95	2,206	0,275765
Error	95,14	2	47,57		

Πίνακας Π 1.4.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,001184	1	0,001184	2155,973	0,000464
Time	0,000003	1	0,000003	5,772	0,138220
Error	0,000001	2	0,000001		

Πίνακας Π 1.4.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	154449,0	1	154449,0	642,1996	0,001554
Time	4,0	1	4,0	0,0166	0,909185
Error	481,0	2	240,5		

Πίνακας Π 1.4.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	26618,62	1	26618,62	98,23969	0,010026
Time	697,19	1	697,19	2,57309	0,249894
Error	541,91	2	270,96		

Πίνακας Π 1.4.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6363,834	1	6363,834	213,5661	0,004650
Time	14,778	1	14,778	0,4959	0,554241
Error	59,596	2	29,798		

Πίνακας Π 1.4.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	33085504	1	33085504	37,75083	0,025481
Time	1040400	1	1040400	1,18710	0,389696
Error	1752836	2	876418		

Πίνακας Π 1.4.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	222994489	1	222994489	79,16948	0,012397
Time	5875776	1	5875776	2,08607	0,285485
Error	5633345	2	2816673		

Πίνακας Π 1.4.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	14439,10	1	14439,10	288,2349	0,003451
Time	196,03	1	196,03	3,9131	0,186509
Error	100,19	2	50,09		

Πίνακας Π 1.4.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,135214	1	1,135214	3250,390	0,000308
Time	0,006168	1	0,006168	17,660	0,052228
Error	0,000699	2	0,000349		

Πίνακας Π 1.4.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,322844	1	0,322844	11868,56	0,000084
Time	0,000666	1	0,000666	24,48	0,038502
Error	0,000054	2	0,000027		

Πίνακας Π 1.4.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,200503	1	1,200503	6433,217	0,000155
Time	0,000106	1	0,000106	0,566	0,530438
Error	0,000373	2	0,000187		

Πίνακας Π 1.4.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,341438	1	0,341438	1175,551	0,000850
Time	0,002358	1	0,002358	8,119	0,104260
Error	0,000581	2	0,000290		

Πίνακας Π 1.4.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16,11769	1	16,11769	1239,735	0,000806
Time	0,13346	1	0,13346	10,265	0,085158
Error	0,02600	2	0,01300		

Π.2 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την εφαρμογή υπερήχων

Π.2.1 Εφαρμογή υπερήχων πριν από τη ζύμωση σε σύγκριση με τα τυφλά δείγματα

Πίνακας Π 2.1.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	64742,82	1	64742,82	46,78530	0,020712
Thermal Process	4663,17	2	2331,59	1,68488	0,372456
US	899,01	1	899,01	0,64966	0,504839
Error	2767,66	2	1383,83		

Πίνακας Π 2.1.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,002188	1	0,002188	73,18807	0,013390
Thermal Process	0,000118	2	0,000059	1,96745	0,336989
US	0,000027	1	0,000027	0,91012	0,440765
Error	0,000060	2	0,000030		

Πίνακας Π 2.1.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	265861,5	1	265861,5	3658,644	0,000273
Thermal Process	2812,0	2	1406,0	19,349	0,049143
US	1768,2	1	1768,2	24,333	0,038726
Error	145,3	2	72,7		

Πίνακας Π 2.1.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	39871,71	1	39871,71	211,6734	0,004691
Thermal Process	1005,22	2	502,61	2,6683	0,272607
US	12,34	1	12,34	0,0655	0,821911
Error	376,73	2	188,36		

Πίνακας Π 2.1.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4110,214	1	4110,214	56,60177	0,017212
Thermal Process	71,958	2	35,979	0,49547	0,668688
US	387,951	1	387,951	5,34248	0,146998
Error	145,233	2	72,616		

Πίνακας Π 2.1.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	34684913	1	34684913	4556,510	0,000219
Thermal Process	231170	2	115585	15,184	0,061788
US	678721	1	678721	89,163	0,011030
Error	15224	2	7612		

Πίνακας Π 2.1.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	249086380	1	249086380	1673,782	0,000597
Thermal Process	714926	2	357463	2,402	0,293941
US	3534337	1	3534337	23,750	0,039620
Error	297633	2	148817		

Πίνακας Π 2.1.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19434,67	1	19434,67	1294,055	0,000772
Thermal Process	233,16	2	116,58	7,763	0,114122
US	30,61	1	30,61	2,038	0,289556
Error	30,04	2	15,02		

Πίνακας Π 2.1.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη οπή.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	99060,66	1	99060,66	1228,179	0,000000
Thermal Process	6987,41	2	3493,70	43,316	0,000051
US	1400,37	1	1400,37	17,362	0,003136
Error	645,25	8	80,66		

Πίνακας Π 2.1.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,410771	1	1,410771	4369,901	0,000229
Thermal Process	0,055816	2	0,027908	86,446	0,011436
US	0,002925	1	0,002925	9,060	0,094920
Error	0,000646	2	0,000323		

Πίνακας Π 2.1.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,498817	1	0,498817	1670,145	0,000598
Thermal Process	0,001445	2	0,000723	2,420	0,292428
US	0,002563	1	0,002563	8,580	0,099461
Error	0,000597	2	0,000299		

Πίνακας Π 2.1.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,852870	1	1,852870	1863,357	0,000536
Thermal Process	0,000522	2	0,000261	0,262	0,792160
US	0,000000	1	0,000000	0,000	0,999310
Error	0,001989	2	0,000994		

Πίνακας Π 2.1.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,437887	1	0,437887	6373,850	0,000157
Thermal Process	0,020440	2	0,010220	148,762	0,006677
US	0,001163	1	0,001163	16,929	0,054303
Error	0,000137	2	0,000069		

Πίνακας Π 2.1.14. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	23,40329	1	23,40329	2195,659	0,000455
Thermal Process	0,23808	2	0,11904	11,168	0,082183
US	0,01596	1	0,01596	1,498	0,345639
Error	0,02132	2	0,01066		

Π.2.2 Εφαρμογή υπερήχων πριν από τη ζύμωση σε σύγκριση με την εφαρμογή μετά τη ζύμωση

Πίνακας Π 2.2.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	289425931	1	289425931	4355,402	0,000230
Thermal Process	1019860	2	509930	7,674	0,115292
US	422411	1	422411	6,357	0,127837
Error	132904	2	66452		

Πίνακας Π 2.2.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19441,07	1	19441,07	764,8373	0,001305
Thermal Process	289,28	2	144,64	5,6903	0,149470
US	30,87	1	30,87	1,2143	0,385366
Error	50,84	2	25,42		

Πίνακας Π 2.2.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,371300	1	1,371300	4328,855	0,000231
Thermal Process	0,053034	2	0,026517	83,708	0,011805
US	0,005015	1	0,005015	15,831	0,057750
Error	0,000634	2	0,000317		

Πίνακας Π 2.2.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,470812	1	0,470812	1891,256	0,000528
Thermal Process	0,001187	2	0,000593	2,384	0,295510
US	0,005003	1	0,005003	20,099	0,046324
Error	0,000498	2	0,000249		

Πίνακας Π 2.2.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,944011	1	1,944011	1282,844	0,000779
Thermal Process	0,000441	2	0,000220	0,145	0,873038
US	0,001092	1	0,001092	0,721	0,485343
Error	0,003031	2	0,001515		

Πίνακας Π 2.2.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμιώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,444037	1	0,444037	4776,820	0,000209
Thermal Process	0,019680	2	0,009840	105,856	0,009358
US	0,000869	1	0,000869	9,345	0,092416
Error	0,000186	2	0,000093		

Πίνακας Π 2.2.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	22,91104	1	22,91104	7943,803	0,000126
Thermal Process	0,45192	2	0,22596	78,347	0,012603
US	0,00565	1	0,00565	1,961	0,296410
Error	0,00577	2	0,00288		

Π.3 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσθήκη του ενζύμου λακτάση

Πίνακας Π 3.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	162378,0	1	162378,0	2653,930	0,000000
Lactase concentration	411,1	3	137,0	2,239	0,161005
Error	489,5	8	61,2		

Πίνακας Π 3.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,002650	1	0,002650	4867,716	0,000000
Lactase concentration	0,000002	3	0,000001	1,490	0,289191
Error	0,000004	8	0,000001		

Πίνακας Π 3.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	488217,9	1	488217,9	3601,775	0,000000
Lactase concentration	1913,9	3	638,0	4,707	0,023835
Error	1491,0	11	135,5		

Πίνακας Π 3.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	68256,85	1	68256,85	584,9991	0,000017
Lactase concentration	2131,95	3	710,65	6,0907	0,056726
Error	466,71	4	116,68		

Πίνακας Π 3.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιζώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	35340,40	1	35340,40	1880,108	0,000000
Lactase concentration	22041,85	3	7347,28	390,875	0,000000
Error	169,17	9	18,80		

Πίνακας Π 3.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	38146425	1	38146425	175,8202	0,000000
Lactase concentration	1450700	3	483567	2,2288	0,154180
Error	1952665	9	216963		

Πίνακας Π 3.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	235557508	1	235557508	1980,238	0,000000
Lactase concentration	226344	3	75448	0,634	0,613505
Error	951633	8	118954		

Πίνακας Π 3.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	31139,49	1	31139,49	309,7382	0,000000
Lactase concentration	955,30	3	318,43	3,1674	0,067777
Error	1105,88	11	100,53		

Πίνακας Π 3.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη οπή.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	68687,75	1	68687,75	80,65941	0,000851
Lactase Concentration	9134,68	3	3044,89	3,57559	0,125084
Error	3406,31	4	851,58		

Πίνακας Π 3.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	34570,04	1	34570,04	2862,881	0,000001
Lactase concentration	8477,73	3	2825,91	234,025	0,000060
Error	48,30	4	12,08		

Πίνακας Π 3.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,554802	1	1,554802	918,2983	0,000001
Lactase concentration	0,023758	3	0,007919	4,6773	0,064918
Error	0,008466	5	0,001693		

Πίνακας Π 3.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,785018	1	0,785018	323,6744	0,000010
Lactase concentration	0,004099	3	0,001366	0,5634	0,662301
Error	0,012127	5	0,002425		

Πίνακας Π 3.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2,633647	1	2,633647	1004,442	0,000001
Lactase concentration	0,001509	3	0,000503	0,192	0,897640
Error	0,013110	5	0,002622		

Πίνακας Π 3.14. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,466481	1	0,466481	1074,273	0,000000
Lactase concentration	0,003863	3	0,001288	2,966	0,136181
Error	0,002171	5	0,000434		

Πίνακας Π 3.15. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	42,60077	1	42,60077	4734,734	0,000000
Lactase concentration	0,02741	3	0,00914	1,016	0,459278
Error	0,04499	5	0,00900		

Π.4 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσθήκη υδροκολλοειδών

Πίνακας Π 4.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	104401,5	1	104401,5	17676,79	0,000001
Gum	576,9	2	288,5	48,84	0,005143
Error	17,7	3	5,9		

Πίνακας Π 4.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,010214	1	0,010214	2,608092	0,204731
Gum	0,008362	2	0,004181	1,067582	0,446530
Error	0,011749	3	0,003916		

Πίνακας Π 4.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	259584,0	1	259584,0	2290,447	0,000020
Gum	1308,0	2	654,0	5,771	0,093709
Error	340,0	3	113,3		

Πίνακας Π 4.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	60187,59	1	60187,59	3456,525	0,000011
Gum	4538,33	2	2269,17	130,316	0,001214
Error	52,24	3	17,41		

Πίνακας Π 4.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	19013,95	1	19013,95	5783,814	0,000005
Gum	8342,78	2	4171,39	1268,886	0,000041
Error	9,86	3	3,29		

Πίνακας Π 4.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	31850496	1	31850496	16852,11	0,000001
Gum	462592	2	231296	122,38	0,001332
Error	5670	3	1890		

Πίνακας Π 4.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	181610017	1	181610017	38916,43	0,000000
Gum	1288529	2	644265	138,06	0,001114
Error	14000	3	4667		

Πίνακας Π 4.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	24968,39	1	24968,39	3728,995	0,000010
Gum	195,55	2	97,77	14,602	0,028432
Error	20,09	3	6,70		

Πίνακας Π 4.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη οπή.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	25461,92	1	25461,92	376,7365	0,000299
Gum	2124,39	2	1062,20	15,7163	0,025717
Error	202,76	3	67,59		

Πίνακας Π 4.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,480534	1	0,480534	2245,486	0,000021
Gum	0,017796	2	0,008898	41,579	0,006497
Error	0,000642	3	0,000214		

Πίνακας Π 4.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,229713	1	0,229713	479,5672	0,000208
Gum	0,011664	2	0,005832	12,1757	0,036326
Error	0,001437	3	0,000479		

Πίνακας Π 4.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2,432067	1	2,432067	1164,040	0,000055
Gum	0,034545	2	0,017273	8,267	0,060185
Error	0,006268	3	0,002089		

Πίνακας Π 4.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,185153	1	0,185153	10099,24	0,000002
Gum	0,001716	2	0,000858	46,81	0,005471
Error	0,000055	3	0,000018		

Πίνακας Π 4.14. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	27,77802	1	27,77802	1713,811	0,000031
Gum	0,02376	2	0,01188	0,733	0,550594
Error	0,04862	3	0,01621		

Π.5 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων

Πίνακας Π 5.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	30325,71	1	30325,71	163,6716	0,006054
Probiotics	4022,05	1	4022,05	21,7075	0,043110
Error	370,57	2	185,28		

Πίνακας Π 5.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,002328	1	0,002328	587,9293	0,001697
Probiotics	0,000206	1	0,000206	51,9592	0,018708
Error	0,000008	2	0,000004		

Πίνακας Π 5.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	145542,3	1	145542,3	3216,403	0,000311
Probiotics	1892,3	1	1892,3	41,818	0,023088
Error	90,5	2	45,3		

Πίνακας Π 5.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	9621,560	1	9621,560	7533,979	0,000133
Probiotics	2188,027	1	2188,027	1713,293	0,000583
Error	2,554	2	1,277		

Πίνακας Π 5.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2817,148	1	2817,148	574,4870	0,001736
Probiotics	43,208	1	43,208	8,8111	0,097223
Error	9,808	2	4,904		

Πίνακας Π 5.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	32918906	1	32918906	1120,360	0,000891
Probiotics	269880	1	269880	9,185	0,093804
Error	58765	2	29382		

Πίνακας Π 5.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	106791556	1	106791556	7248,460	0,000138
Probiotics	1077444	1	1077444	73,131	0,013400
Error	29466	2	14733		

Πίνακας Π 5.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	13750,02	1	13750,02	9764,545	0,000102
Probiotics	209,19	1	209,19	148,558	0,006664
Error	2,82	2	1,41		

Πίνακας Π 5.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη οπή.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	9110,130	1	9110,130	293,4667	0,003390
Probiotics	705,274	1	705,274	22,7192	0,041308
Error	62,086	2	31,043		

Πίνακας Π 5.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,416025	1	0,416025	572,6428	0,001742
Probiotics	0,005476	1	0,005476	7,5375	0,111011
Error	0,001453	2	0,000726		

Πίνακας Π 5.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,224676	1	0,224676	1988,283	0,000503
Probiotics	0,006400	1	0,006400	56,637	0,017202
Error	0,000226	2	0,000113		

Πίνακας Π 5.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1,417968	1	1,417968	575,9626	0,001732
Probiotics	0,001487	1	0,001487	0,6042	0,518333
Error	0,004924	2	0,002462		

Πίνακας Π 5.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμιώδες μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,145870	1	0,145870	620,0119	0,001609
Probiotics	0,001067	1	0,001067	4,5332	0,167011
Error	0,000471	2	0,000235		

Πίνακας Π 5.14. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους 4°C για 24 h.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	17,78731	1	17,78731	31977,18	0,000031
Probiotics	0,09456	1	0,09456	169,99	0,005831
Error	0,00111	2	0,00056		

Π.6 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την κατάψυξη

Π.6.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τα κατεψυγμένα και μετά αποψυγμένα δείγματα

Πίνακας Π 6.1.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	50213,41	1	50213,41	47,67624	0,091563
US	1870,63	1	1870,63	1,77611	0,409809
Trehalose	239,25	1	239,25	0,22716	0,716853
Error	1053,22	1	1053,22		

Πίνακας Π 6.1.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του pH.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,001335	1	0,001335	47,77659	0,091468
US	0,000039	1	0,000039	1,40159	0,446522
Trehalose	0,000014	1	0,000014	0,51854	0,602695
Error	0,000028	1	0,000028		

Πίνακας Π 6.1.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον χρόνο ζύμωσης.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	168921,0	1	168921,0	42230,25	0,003098
US	961,0	1	961,0	240,25	0,041015
Trehalose	144,0	1	144,0	36,00	0,105137
Error	4,0	1	4,0		

Πίνακας Π 6.1.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη λανθάνουσα φάση του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	31222,61	1	31222,61	968,6915	0,020447
US	129,23	1	129,23	4,0095	0,294865
Trehalose	893,04	1	893,04	27,7069	0,119520
Error	32,23	1	32,23		

Πίνακας Π 6.1.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τον μέγιστο ρυθμό μεταβολής του ιξώδους.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5779,680	1	5779,680	7,718888	0,219950
US	243,591	1	243,591	0,325322	0,670010
Trehalose	1113,600	1	1113,600	1,487236	0,437239
Error	748,771	1	748,771		

Πίνακας Π 6.1.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες στο πέρας της ζύμωσης (στους 45°C).

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	23892544	1	23892544	8836,000	0,006772
US	295936	1	295936	109,444	0,060669
Trehalose	26244	1	26244	9,706	0,197733
Error	2704	1	2704		

Πίνακας Π 6.1.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιξώδες μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	98658150	1	98658150	5587,956	0,000179
US	877663	2	438832	24,855	0,038677
Trehalose	786264	1	786264	44,534	0,021726
Error	35311	2	17655		

Πίνακας Π 6.1.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	22350,95	1	22350,95	4040,463	0,000247
US	28,35	2	14,17	2,562	0,280724
Trehalose	169,67	1	169,67	30,672	0,031090
Error	11,06	2	5,53		

Πίνακας Π 6.1.9. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,064481	1	0,064481	12,25286	0,072812
US	0,010506	2	0,005253	0,99823	0,500444
Trehalose	0,000006	1	0,000006	0,00114	0,976131
Error	0,010525	2	0,005262		

Πίνακας Π 6.1.10. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,992267	1	0,992267	2,113020	0,283244
US	0,000160	2	0,000080	0,000171	0,999829
Trehalose	0,131424	1	0,131424	0,279866	0,649635
Error	0,939193	2	0,469597		

Πίνακας Π 6.1.11. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	15485,47	1	15485,47	2,308140	0,268042
US	0,30	2	0,15	0,000022	0,999978
Trehalose	1700,79	1	1700,79	0,253506	0,664599
Error	13418,14	2	6709,07		

Πίνακας Π 6.1.12. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	15321,33	1	15321,33	2,256171	0,271924
US	0,00	2	0,00	0,000000	1,000000
Trehalose	1699,98	1	1699,98	0,250334	0,666469
Error	13581,71	2	6790,85		

Πίνακας Π 6.1.13. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα μετά από διατήρηση στους -14°C για 5 d.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6,699267	1	6,699267	8,598587	0,099281
US	4,512258	2	2,256129	2,895768	0,256689
Trehalose	0,470400	1	0,470400	0,603764	0,518460
Error	1,558225	2	0,779112		

Π.6.2 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τα κατεψυγμένα και τα απλώς ψυγμένα δείγματα

Πίνακας Π 6.2.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το ιζώδες για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	165312006	1	165312006	1603,743	0,000002
Freeze	8553816	1	8553816	82,983	0,000805
US	2501181	2	1250590	12,132	0,020028
Treh	786264	1	786264	7,628	0,050753
Error	412315	4	103079		

Πίνακας Π 6.2.2. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ικανότητα συγκράτησης ύδατος για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	24999,80	1	24999,80	1174,062	0,000004
Freeze	74,15	1	74,15	3,482	0,135446
US	0,82	2	0,41	0,019	0,980933
Treh	169,67	1	169,67	7,968	0,047691
Error	85,17	4	21,29		

Πίνακας Π 6.2.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ογκομετρική ροή από δεδομένη σπή για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,154152	1	0,154152	903,8340	0,000007
Freeze	0,005267	1	0,005267	30,8827	0,005133
US	0,001454	2	0,000727	4,2628	0,101981
Treh	0,003276	1	0,003276	19,2107	0,011847
Error	0,000682	4	0,000171		

Πίνακας Π 6.2.4. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη σκληρότητα για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,298820	1	0,298820	107,5473	0,000488
Freeze	0,085682	1	0,085682	30,8373	0,005146
US	0,013758	2	0,006879	2,4758	0,199673
Treh	0,000006	1	0,000006	0,0022	0,965163
Error	0,011114	4	0,002778		

Πίνακας Π 6.2.5. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την προσκολλησιμότητα για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,000060	1	0,000060	0,000256	0,988007
Freeze	0,976874	1	0,976874	4,151885	0,111245
US	0,002179	2	0,001090	0,004631	0,995385
Treh	0,131424	1	0,131424	0,558575	0,496376
Error	0,941137	4	0,235284		

Πίνακας Π 6.2.6. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για τη συνεκτικότητα για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1788,87	1	1788,871	0,533265	0,505706
Freeze	6747,90	1	6747,898	2,011559	0,229092
US	0,20	2	0,099	0,000030	0,999970
Treh	1700,79	1	1700,787	0,507007	0,515765
Error	13418,25	4	3354,561		

Πίνακας Π 6.2.7. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για το κομμώδες για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1723,21	1	1723,208	0,507508	0,515569
Freeze	6767,99	1	6767,993	1,993267	0,230849
US	0,00	2	0,002	0,000000	1,000000
Treh	1699,98	1	1699,983	0,500668	0,518255
Error	13581,71	4	3395,427		

Πίνακας Π 6.2.8. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης διακύμανσης ANOVA για την ελαστικότητα για ψυγμένα και κατεψυγμένα δείγματα.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11,00260	1	11,00260	13,14136	0,022256
Freeze	0,53104	1	0,53104	0,63426	0,470389
US	2,74820	2	1,37410	1,64121	0,301696
Treh	0,47040	1	0,47040	0,56184	0,495197
Error	3,34900	4	0,83725		