



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ IV: ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ

ΠΡΟ – ΥΔΡΟΛΥΜΕΝΗΣ ΛΑΚΤΟΖΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΖΙΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019, ΑΘΗΝΑ

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Τζιά Κωνσταντίνα για την εμπιστοσύνη και καθοδήγησή της στο στήσιμο των πειραμάτων, καθώς και για την καθημερινή παρακολούθηση της εξέλιξης των πειραμάτων και την υπομονή της κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Οι ακαδημαϊκές γνώσεις και η μεγάλη εμπειρία της αποτέλεσαν καθοριστικούς παράγοντες για την ολοκλήρωση της εργασίας. Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την υποψήφια διδάκτορα Φρακολάκη Τζίνα για την καθημερινή της υποστήριξη κατά την εκτέλεση και επεξεργασία των πειραμάτων. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στη Γιάννου Βιργινία, για την ουσιώδη και αποτελεσματική βοήθεια σε κάθε προκύπτον θέμα που παρουσιαζόταν κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων. Επιπροσθέτως, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους υποψήφιους διδάκτορες Κατσούλη Μαρία και Κεκέ Τρύφωνα, των οποίων οι επιστημονικές γνώσεις και η πολύτιμη στήριξή τους, με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων για την προθυμία του και τη μεταλαμπάδευση πολύτιμων γνώσεων. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Κουρέλη Ρούλα από τη ΦΑΓΕ Α.Ε. για τη δωρεάν παροχή γάλακτος και τον κο Σαμακίδη Ιωάννη από τη Νονοzymes για την προσφορά του ενζύμου λακτάσης.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου, η οποία δεν έπαψε ποτέ να με στηρίζει σε όποια δυσκολία αντιμετώπισα στην ζωή μου. Χάρη στην αγάπη και την υποστήριξή τους, κατάφερα να σπουδάσω και να πραγματοποιήσω τα όνειρά μου. Πολύ σημαντική ήταν και η υποστήριξη και συμπαράσταση των φίλων μου κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου και ιδιαίτερα κατά την περίοδο της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Με εκτίμηση,

Δημήτρης Αναγνώστου

Περιεχόμενα

Περίληψη	1
Abstract	4
Εισαγωγή	6
1. Θεωρητικό Μέρος	8
1.1 Γάλα	8
1.2 Ζυμωμένα Γαλακτοκομικά Προϊόντα	13
1.3 Γιαούρτι.....	14
1.3.1 Ιστορικά Στοιχεία	15
1.3.2 Παραγωγική Διαδικασία	15
1.3.3 Σύσταση γιαουρτιού και ιδιότητες τελικού προϊόντος.....	21
1.3.4 Διατροφικές Ιδιότητες.....	22
1.4 Επίδραση διαφόρων παραγόντων στο τελικό πήγμα του γιαουρτιού.....	24
1.4.1 Ρόλος θερμικής κατεργασίας του γάλακτος	24
1.4.2 Ζύμωση: καλλιέργειες και δράση	25
1.4.3 Ενίσχυση Στερεών	28
1.4.4 Χρήση σταθεροποιητών	30
1.5 Λακτόζη	31
1.5.1 Γενικά στοιχεία για τη λακτόζη.....	31
1.5.2 Χημική σύσταση – Ιδιότητες λακτόζης.....	33
1.5.3 Διατροφή.....	34
1.5.4 Δυσανεξία στη λακτόζη	35
1.5.5 Συμπτώματα δυσανεξίας στη λακτόζη.....	37
1.5.6 Διάγνωση δυσανεξίας στη λακτόζη	38
1.5.7 Η περιεκτικότητα λακτόζης που προκαλεί προβλήματα στο έντερο	41
1.5.8 Τρόποι αντιμετώπισης	41
1.5.9 Ενζυμική υδρόλυση - Ένζυμα	42
1.5.10 Τεχνολογία προϊόντων μειωμένης ή ελεύθερα λακτόζης.....	43
1.5.11 Επίδραση της υδρόλυσης της λακτόζης στην ζύμωση του γιαουρτιού	45
1.5.12 Προϊόντα ελεύθερα ή μειωμένης λακτόζης	45
2. Πειραματικό Μέρος.....	47
2.1 Σκοπός.....	47
2.2 Υλικά και Μέθοδοι.....	48
2.2.1 Πρώτες ύλες.....	48

2.2.2 Όργανα και συσκευές	49
2. Πειραματική Διαδικασία.....	50
2.3.1 Παραγωγή συνεκτικού (σετ) γιαουρτιού χωρίς προσθήκη στερεών ενίσχυσης.....	50
2.3.2 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού χωρίς ενζυμική κατεργασία του γάλακτος (συμβατικό)	50
2.3.3 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με προσθήκη στερεών ενίσχυσης	50
2.3.4 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με προσθήκη στερεών ενίσχυσης χωρίς την ενζυμική κατεργασία του γάλακτος (συμβατικό με προσθήκη στερεών ενίσχυσης).....	51
2.3.5 Διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας.....	51
2.4 Αναλύσεις-Μετρήσεις.....	52
2.4.1 Προσδιορισμός pH	52
2.4.2. Προσδιορισμός Ιξώδους.....	52
2.4.3 Κατασκευή διαγραμμάτων Gompertz	52
2.4.4 Ανάλυση Υφής των τελικών δειγμάτων γιαουρτιού	52
2.4.5 Προσδιορισμός Λακτόζης.....	53
2.5 Σχεδιασμός Πειραμάτων.....	53
2.6 Στατιστική επεξεργασία	56
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση	57
3.1 Καμπύλη αναφοράς λακτόζης.....	57
3.2 Αποτελέσματα 1ης Σειράς Πειραμάτων	58
3.3 Αποτελέσματα 2ης Σειράς Πειραμάτων	62
3.4 Αποτελέσματα 3ης Σειράς Πειραμάτων	71
3.5 Αποτελέσματα 4ης Σειράς Πειραμάτων	80
3.6 Αποτελέσματα 5ης Σειράς Πειραμάτων	85
4. Συμπεράσματα και Προτάσεις	93
4.1 Συμπεράσματα	93
4.2 Προτάσεις.....	96
Βιβλιογραφία	97
Παράρτημα: Πίνακες στατιστικής επεξεργασίας.....	100
Π.1 Αποτελέσματα 2ης σειράς.....	100
Π2.Α Αποτελέσματα 3ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών .	106
Π2.Β Αποτελέσματα 3ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών	110
Π3.Α Αποτελέσματα 4ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών .	115
Π3.Β Αποτελέσματα 4ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών	119

Π4.Α Αποτελέσματα 5ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών . 123

Π4.Β Αποτελέσματα 5ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών 127

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη της υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα με σκοπό την ζύμωσή του σε γιαούρτι.

Η λακτόζη αποτελεί τον κυριότερο υδατάνθρακα του γάλακτος με περιεκτικότητα που ανέρχεται σε ποσοστό 4.5–5%. Στα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα η περιεκτικότητα της λακτόζης μειώνεται λόγω μερικής υδρόλυσης και μετατροπής της. Όμως, η λακτόζη προκαλεί διάφορα γαστρεντερικά προβλήματα στον άνθρωπο, κυρίως λόγω της έλλειψης ενός ενζύμου, της *β-γαλακτοζιδάσης*, η οποία την υδρολύει σε γλυκόζη και γαλακτόζη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η ζύμωση γάλακτος προϋδρολυμένης λακτόζης για παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού. Εξετάστηκαν γάλατα με διαφορετικά λιπαρά (πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο), στα οποία έγινε υδρόλυση της λακτόζης με διαφορετική διάρκεια ενζυμικής επίδρασης (15, 20, 30, 40, 60 και 120 min) και με χρήση διαφορετικής ποσότητας ενζύμου (κανονική σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και περίσσεια), και τα οποία στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε διαφορετικές θερμικές κατεργασίες του γάλακτος (84°C για 15 ή 20 min και 92°C για 15 min) και των οποίων τέλος ενισχύθηκαν στερεά με προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος. Ο προσδιορισμός της λακτόζης του γάλακτος πραγματοποιήθηκε φασματοφωτομετρικά σύμφωνα με τη μέθοδο του Montgomery (1968). Η εξέλιξη της ζύμωσης του γιαουρτιού παρακολουθείται μέσω της μεταβολής του pH και του ιξώδους του πηγματος συναρτήσει του χρόνου, συγκεκριμένα, μέσω της λανθάνουσας φάσης και του ρυθμού μείωσης του pH όπως και της λανθάνουσας φάσης και του ρυθμού αύξησης του ιξώδους (έπειτα από προσαρμογή στο μοντέλο Gompertz), καθώς και του ολικού χρόνου ζύμωσης (έως απόκτησης τελικής τιμής pH=4.6). Τέλος, προσδιορίζεται το ιξώδες στους 45°C και μελετώνται οι αντικειμενικές παράμετροι υφής στα τελικά προϊόντα των γιαουρτιών (σκληρότητα, προσκολλησιμότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα και κομμιώδες), έπειτα από αποθήκευσή τους στους 4°C. Έτσι, σχεδιάστηκαν πέντε σειρές πειραμάτων.

Στην 1^η σειρά, πραγματοποιήθηκε ένα προκαταρκτικό πείραμα, βοηθητικό για το σχεδιασμό των υπόλοιπων σειρών, σε πλήρες γάλα, με διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας της λακτόζης στο γάλα 15, 20, 30, 40 και 60 min και μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος στους 84°C για 15 min. Στην 2^η σειρά, πραγματοποιήθηκαν πειράματα σε δύο είδη γάλακτος, πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο, με διάρκεια ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα 30 και 60 min, με χρήση διαφορετικής ποσότητας ενζύμου (κανονική ή περίσσεια) και

ακολουθώς διαφορετική θερμική κατεργασία του γάλακτος (84°C για 20 min και 92°C για 15 min). Στην 3^η σειρά περιλαμβάνονται τα πειράματα, όπου εξετάζεται η υδρόλυση της λακτόζης σε γάλα με διαφορετική περιεκτικότητα σε λιπαρά (πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο) με διαφορετική διάρκεια ενζυμικής δράσης (30, 60 και 120 min), τα οποία στη συνέχεια υπόκεινται σε έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος (92°C για 15 min). Στην 4^η σειρά μελετήθηκε η επίδραση της διάρκειας ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης σε αποβουτυρωμένο γάλα (30,60 και 120 min), το οποίο στη συνέχεια υποβλήθηκε σε διαφορετική θερμική κατεργασία (84°C για 20 min και 92°C για 15 min). Τέλος, στην 5^η σειρά, μελετήθηκε η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος, σε διαφορετικά είδη γάλακτος (πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο) και μετά την ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης με διαφορετική διάρκεια (30 και 60 min) και με χρήση περίσσειας ενζύμου (4%), τα οποία στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε έντονη θερμική κατεργασία (92°C για 15 min). Για όλες τις παραπάνω σειρές πραγματοποιήθηκε παραγωγή συμβατικών γιαουρτιών.

Για την 1^η σειρά προέκυψε 73% υδρόλυση λακτόζης στο γάλα, για 60 min ενζυμική υδρόλυση. Στη 2^η σειρά, προέκυψε ότι η παραγωγή γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης από πλήρες γάλα σχηματίζει πιο σταθερό πήγμα σε σχέση με το αντίστοιχο από ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Από την 3^η σειρά προέκυψε το συμπέρασμα ότι η ενζυμική κατεργασία για 120 min επιτυγχάνει τα μεγαλύτερα ποσοστά υδρόλυσης (95%), ότι το αποβουτυρωμένο εμφανίζει επιμήκυνση του χρόνου ζύμωσης (290 min) και πάλι ότι το πλήρες γάλα εμφανίζει το πιο σταθερό πήγμα. Η 4^η σειρά επιβεβαιώνει ότι η μεγάλη διάρκεια ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα αυξάνει το ποσοστό της υδρόλυσης (95%) και αυξάνει το χρόνο της λανθάνουσας φάσης του pH (205 min). Τέλος, στην 5^η σειρά, βρέθηκε ότι η προσθήκη ορού γάλακτος δεν βελτίωσε τα χαρακτηριστικά της υφής του τελικού προϊόντος, αλλά αύξησε τη λανθάνουσα φάση του pH κατά 13 min, καθώς και τον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Συνοπτικά, τα δείγματα που υπέστησαν ενζυμική υδρόλυση για 120 min, έδωσαν τα υψηλότερα ποσοστά υδρόλυσης της λακτόζης. Η περιεκτικότητα των λιπαρών στο γάλα επηρέασε τόσο το χρόνο ζύμωσης, όσο και το τελικό πήγμα. Το πλήρες (3.7% λιπαρά) και το ημιαποβουτυρωμένο (1.5% λιπαρά) γάλα που υπέστησαν υδρόλυση της λακτόζης είχαν ταχύτερη ζύμωση, σε σχέση με το αντίστοιχο συμβατικό, ενώ το προϋδρολυμένο αποβουτυρωμένο (0% λιπαρά) γάλα εμφάνισε επιμήκυνση του χρόνου ζύμωσης σε σχέση με το αντίστοιχο συμβατικό. Σε όλες τις περιπτώσεις το γιαούρτι από πλήρες γάλα εμφάνισε

σταθερότερο πήγμα σε σχέση με το αντίστοιχο από ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο γάλα.

Abstract

The purpose of this thesis was to study the hydrolysis of lactose in milk and the subsequent fermentation to yogurt.

Lactose is the main carbohydrate of milk with a content of 4.5-5%. In fermented dairy products the content is reduced due to partial hydrolysis and conversion. Lactose causes various gastrointestinal problems in humans, mainly due to the lack of an enzyme, *β-galactosidase*, which hydrolyzes it to glucose and galactose.

In this thesis examined the fermentation of prehydrolyzed lactose milk for the production of set yogurt. Milk of different fat (full, semi-skimmed and skimmed) was hydrolyzed with a different duration of enzymatic treatment (15, 20, 30, 40, 60 and 120 min), using different amount of enzyme (normal and excess) and which were subsequently subjected to different heat treatment (84°C for 15 or 20 min and 92°C for 15 min) and finally solidified by adding whey powder. Milk lactose determination was performed spectrophotometrically according to the Montgomery method (1968). The evolution of yogurt fermentation is monitored by varying the pH and viscosity of the gel over time, in particular through the latent phase of pH and the pH decrease rate as well as the latent phase of viscosity and the viscosity increase rate (after adaptation to the Gompertz model), as well as the total fermentation time (until final pH = 4.6). Finally, the viscosity is determined at 45°C and the objective texture parameters in the finished yogurt products (hardness, adhesion, compaction, elasticity and gummyness) were studied after storage at 4°C. Thus, five sets of experiments were designed.

In the 1st set, a preliminary experiment, assistant for the design of the remaining rows, was carried out on whole milk, with a duration of enzymatic treatment of lactose in milk 15, 20, 30, 40 and 60 min, and subsequent heat treatment of the milk at 84°C for 15 min. In the 2nd set, experiments were carried out on two types of milk, whole and semi-skimmed, with a duration of enzymatic hydrolysis of lactose in milk 30 and 60 min, using a different amount of enzyme (normal or excess) and then different heat treatment of the milk (84°C for 20 min and 92°C for 15 min). The 3rd set includes the experiments, where hydrolysis of lactose in milk with different fat content (full, semi-skimmed and skimmed) and different duration of enzymatic activity (30, 60 and 120 min) was examined, which are then subjected to intense heat treatment of milk (92°C for 15 min). In the 4th set, the effect of the enzyme hydrolysis of lactose on skim milk (30, 60 and 120 min) was studied, which was then subjected to different heat treatment (84°C for 20 min and 92°C for 15 min). Finally, in the 5th set, the addition of

whey powder to different types of milk (complete and semi-skimmed) and enzymatic hydrolysis of lactose with a different duration (30 and 60 min), using an excess of enzyme (4%), were studied and then subjected to intense heat treatment (92°C for 15 min). For all the above sets, set yogurt was produced.

For the 1st set, 73% hydrolysis of lactose in milk resulted in enzyme hydrolysis for 60 min. In the 2nd set, it turned out that the production of reduced lactose yogurt from whole milk formed a more stable gel than that of semi-skimmed milk. From the 3rd set, it was concluded that the enzymatic treatment for 120 min achieves the highest hydrolysis percentages (95%), that the skimmed milk shows a longer fermentation time (290 min) and again that the whole milk has the most stable gel. The 4th set confirms that the long duration of enzymatic hydrolysis of lactose in milk increases the percentage of hydrolysis (95%) and increases the latent phase of the pH (205 min). Finally, in the 5th set, it was found that the addition of whey powder did not improve the texture characteristics of the final product, but increased the latent of the pH by 13 min as well as the total fermentation time.

Briefly, samples subjected to enzymatic hydrolysis for 120 min, gave the highest hydrolysis rates of lactose. The fat content of milk affected both the fermentation time and the final gel. The whole (3.7% fat) and semi-skimmed (1.5% fat) prehydrolyzed lactose milk had a faster fermentation than the conventional ones, while the prehydrolyzed lactose skimmed (0% fat) milk showed a longer fermentation time than the conventional one. In all cases yogurt from whole milk showed a more stable gel than that of semi-skimmed and skimmed milk.

Εισαγωγή

Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής διατροφής των ανθρώπων, καθώς είναι σημαντικές πηγές ασβεστίου και περιέχουν πολύτιμα θρεπτικά συστατικά. Αυτό φαίνεται και από την παραγωγή του γάλακτος, η οποία έφτασε τους 170 εκ. τόνους στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 28, κατά το έτος 2017 (Eurostat 2017). Το γάλα αποτελεί, επίσης, και την αποκλειστική τροφή του ανθρώπου κατά το πρώτο στάδιο της ζωής του. Το γάλα υπόκειται σε ζύμωση για την επέκταση του χρόνου ζωής του, καθώς και τη βελτίωση της γεύσης του. Το γιαούρτι και το τυρί αποτελούν παραδείγματα ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων.

Το γάλα αποτελείται από νερό στο οποίο βρίσκονται κυρίως διεσπαρμένα λιπίδια, πρωτεΐνες και υδατάνθρακες. Η λακτόζη είναι ο κυριότερος υδατάνθρακας του γάλακτος. Είναι ένας δισακχαρίτης με περιεκτικότητα στο γάλα που ανέρχεται σε ποσοστό 4.5-5%. Στα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, το ποσοστό αυτό της λακτόζης είναι μειωμένο. Στη λακτόζη οφείλονται τα διάφορα γαστρεντερικά προβλήματα που προκαλούνται στον άνθρωπο από την κατανάλωση του γάλακτος και των προϊόντων του. Τέτοιες παθήσεις είναι η δυσανεξία στη λακτόζη, η οποία προκαλείται σε μία μεγάλη μερίδα του πληθυσμού, που φτάνει μέχρι και το 70% παγκοσμίως, από την έλλειψη ενός ενζύμου, της β -γαλακτοζιδάσης.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του γιαουρτιού είναι το πλήρες, το ημιαποβουτυρωμένο ή το αποβουτυρωμένο γάλα προερχόμενο από οποιοδήποτε γαλακτοφόρο ζώο και η συμβιωτική καλλιέργεια, η οποία αποτελείται από γαλακτικά βακτήρια *Lactobacillus bulgaricus* sp. και *Streptococcus thermophilus* spp. Η δράση των βακτηρίων προκαλεί την ζύμωση του γάλακτος, που οδηγεί στο σχηματισμό του πήγματος του γιαουρτιού. Κατά την ζύμωση καταναλώνεται η λακτόζη και παράγονται γαλακτικό οξύ και γλυκόζη και προκαλείται μείωση του pH. Επιπλέον, η ενίσχυση των γιαουρτιών με πρωτεΐνες, ασβέστιο ή βιταμίνες, αυξάνει τη διατροφική τους αξία.

Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιούνται μελέτες για τη μείωση της περιεχόμενης λακτόζης στο γάλα και στα γαλακτοκομικά προϊόντα, ώστε να αποφευχθούν τα προβλήματα που προκαλεί σε ορισμένες ομάδες πληθυσμού. Η τεχνολογία της ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης περιλαμβάνει την προσθήκη κατάλληλου ενζύμου, *λακτάση*, στο γάλα στη βέλτιστη θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρόνο και τη μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος για την απενεργοποίηση του ενζύμου, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί η ζύμωση και ο

σχηματισμός πήγματος του γιαουρτιού. Με τη διαδικασία αυτή, έχουν προκύψει διάφορα προϊόντα μειωμένης λακτόζης ή ακόμη και ελεύθερα αυτής.

1. Θεωρητικό Μέρος

1.1 Γάλα

Το γάλα παράγεται και παραλαμβάνεται από τους παρακάτω οργανισμούς (FAO2016) :

- Βοοειδή, 83%
- Βουβάλια, 14%
- Αίγες, 2%
- Πρόβατα, 1%
- Καμήλες, 0.3%

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών, ως «Νωπό Γάλα» νοείται το γάλα που εκκρίνεται από τους μαστικούς αδένες μίας ή περισσοτέρων αγελάδων, προβατινών, αιγών ή βουβαλίδων, το οποίο δεν έχει θερμανθεί πέραν των 40°C, ούτε έχει υποβληθεί σε επεξεργασία με ισοδύναμο αποτέλεσμα. Με τον όρο «Γάλα», χωρίς να συνοδεύεται από κάποιο επίθετο, νοείται αποκλειστικά και μόνο το γάλα το οποίο:

α) Προέρχεται από αγελάδα

β) Είναι νωπό

γ) Είναι πλήρες

δ) Δεν έχει υποστεί αφυδάτωση ή συμπύκνωση

ε) Δεν περιέχει άλλες ύλες που έχουν προστεθεί εξωτερικά

Το γάλα κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη σύσταση των λιπαρών που περιέχει σε:

- Πλήρες, 3.7 %
- Ημιαποβουτυρωμένο, 1.5–1.7 %
- Αποβουτυρωμένο, < 0.5%

Από φυσικοχημικής άποψης, το γάλα είναι ένα σύνθετο ρευστό (Πίνακας 1), καθώς αποτελείται κυρίως από νερό στο οποίο βρίσκονται διεσπαρμένα λιπίδια, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και διάφορα ιχνοστοιχεία που θα αναλυθούν περαιτέρω στη συνέχεια. Οι συγκεντρώσεις τους ποικίλλουν ανάλογα με το είδος του ζώου από το οποίο προέρχεται το γάλα, την υγεία του (μαστίτιδα και άλλες ασθένειες), τις διατροφικές του συνήθειες, την ηλικία του, τα διαστήματα των αρμεγμάτων, καθώς και τη χρονική περίοδο της άμελης

(καλοκαίρι - χειμώνας). Ποσοτικά, το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του γάλακτος είναι ένα υδατικό διάλυμα λακτόζης, οργανικών και ανόργανων αλάτων, βιταμινών και άλλων μικρών μορίων. Επίσης, υπάρχουν διεσπαρμένες πρωτεΐνες, είτε σε μοριακό επίπεδο (πρωτεΐνες ορού γάλακτος), είτε ως μεγάλα κολλοειδή συσσωματώματα που κυμαίνονται σε διάμετρο από 50 έως 600 nm (καζεΐνες), και γαλακτωματοποιημένα λιπίδια με διάμετρο 1 έως 20 μm (Fox, Mcsweeney & Paul 1998).

Πίνακας 1: Συστατικά του γάλακτος (Fox et al. 1998).

Συστατικό	Μέση Περιεκτικότητα (% w/w)	Εύρος (% w/w)
Νερό	87.1	85.3 – 88.7
Στερεά	8.9	7.9 – 10.0
Λακτόζη	4.6	3.8 – 5.3
Λίπη	4.0	2.5 – 5.5
Πρωτεΐνες	3.3	2.3 – 4.4
Καζεΐνη	2.6	1.7 – 3.5
Μεταλλικά Στοιχεία	0.7	0.57 – 0.83
Οργανικά Οξέα	0.17	0.12 – 0.21

Το νερό αποτελεί το κύριο συστατικό του γάλακτος, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 79% έως 90%, ανάλογα με την ποσότητα των λιπαρών του, και περιέχει όλα τα συστατικά του γάλακτος, υδατοδιαλυτά και μη. Επιπλέον, μικρές ποσότητες νερού ενυδατώνουν ή δεσμεύονται χημικά με μόρια λακτόζης, αλάτων ή πρωτεϊνών.

Τα λιπιδικό κλάσμα του γάλακτος ορίζεται από τις ενώσεις, οι οποίες είναι διαλυτές σε πολικούς διαλύτες (αιθυλικός/πετρελαϊκός αιθέρας ή χλωροφόρμιο/μεθανόλη), και αποτελούνται κυρίως από τριγλυκερίδια (98%), με περίπου 1% φωσφολιπίδια, μικρές ποσότητες μονο- και διγλυκεριδίων, χοληστερόλης και εστέρων χοληστερόλης, και ίχνη λιποδιαλυτών βιταμινών και άλλων λιπιδίων. Τα λιπίδια εμφανίζονται ως σφαιρίδια διαμέτρου από 0.1 έως 20 μm, καθένα εκ των οποίων περιβάλλεται από μία μεμβράνη (MFGM), η οποία χρησιμεύει ως γαλακτωματοποιητής. Η συγκέντρωση των λιπιδίων ποικίλλει ανάλογα με το ζώο, το στάδιο της γαλουχίας, το επίπεδο διατροφής και το διάστημα μεταξύ των αρμεγμάτων (Fox & Kelly 2012).

Οι πρωτεΐνες γάλακτος είναι πολύτιμα συστατικά με υψηλή θρεπτική αξία και με μία σειρά από φυσικές λειτουργικές ιδιότητες που τα καθιστούν περιζήτητα συστατικά για τα τρόφιμα. Οι κύριες κατηγορίες πρωτεϊνών στο γάλα είναι οι καζεΐνες και οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος (Πίνακας 2). Η αναλογία καζεΐνης: πρωτεΐνης ορού γάλακτος είναι περίπου 4:1. Υπάρχουν όμως και μικρές ποσότητες διαφόρων ενζύμων και ίχνη μη πρωτεϊνούχων αζωτούχων υλικών. Στη γαλακτοκομική βιομηχανία, το γάλα συχνά διαχωρίζεται για να ληφθούν κλάσματα πρωτεϊνικών προϊόντων. Η ανάπτυξη των κλασμάτων πρωτεϊνών γάλακτος επέτρεψε στη γαλακτοκομική βιομηχανία να διαφοροποιήσει το φάσμα των πρωτεϊνούχων προϊόντων της. Μεταξύ ορισμένων από τα διάφορα πρωτεϊνούχα προϊόντα του γάλακτος είναι οι καζεΐνες και τα καζεϊνικά άλατα, τα προϊόντα πρωτεΐνης ορού γάλακτος, όπως συμπυκνώματα πρωτεΐνης ορού γάλακτος, τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης γάλακτος, που περιέχουν τόσο την καζεΐνη όσο και τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος στην αναλογία στην οποία εμφανίζονται στο φυσιολογικό γάλα.

Η καζεΐνη αποτελεί την κυρίαρχη πρωτεΐνη στο γάλα και μπορεί να κλασματοποιηθεί με ηλεκτροφόρηση στα τέσσερα κύρια συστατικά της: την α- (α_{s1} και α_{s2}), τη β-, τη γ- και την κ-καζεΐνη. Η καζεΐνη ορίζεται ως η πρωτεΐνη που καταβυθίζεται και είναι αδιάλυτη σε pH=4.6, μία ιδιότητα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γιαουρτιού και τυριού. Η πρωτεΐνη ορού γάλακτος, η οποία είναι πιο ετερογενής από την καζεΐνη, αποτελείται κυρίως από β-λακτοσφαιρίνη και α-λακταλβουμίνη. Άλλες πρωτεΐνες ορού γάλακτος που υπάρχουν σε μικρότερες ποσότητες είναι η αλβουμίνη ορού, οι ανοσοσφαιρίνες (π.χ. IgA, IgG, IgM), οι πεπτόνες πρωτεάσης, η ακτοφερρίνη και η τρανσφερίνη. Κάθε μία από αυτές τις πρωτεΐνες έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και βιολογικές λειτουργίες.

Οι α- και οι κ-καζεΐνες, οι οποίες αντιπροσωπεύουν περίπου το 85% της ολικής καζεΐνης, καθιζάνουν με ασβέστιο σε συγκεντρώσεις πάνω από 6 mM σε θερμοκρασίες άνω των 20°C. Επειδή το γάλα περιέχει περίπου 30 mmol/L Ca, θα ήταν αναμενόμενο ότι οι περισσότερες καζεΐνες να καθιζάνουν στο γάλα. Ωστόσο, η κ-καζεΐνη είναι διαλυτή σε υψηλές συγκεντρώσεις ασβεστίου και αντιδρά με αυτό, και σταθεροποιεί τις ευαίσθητες στο ασβέστιο καζεΐνες μέσω σχηματισμού των μικκυλίων καζεΐνης. Τα μικκύλια είναι σφαιρικά κolloειδή σωματίδια, με μέση διάμετρο <120 nm (εύρος 50-600 nm). Έχουν μέση μάζα σωματιδίων περίπου 10^8 Da, δηλαδή υπάρχουν περίπου 5000 μόρια καζεΐνης (20-25 kDa) σε ένα μέσο μικκύλιο (Smit 2003). Αρκετοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν μετουσίωση των σφαιρικών πρωτεϊνών (μικκύλια), όπως η υψηλή θερμοκρασία (>70°C), η χαμηλή

θερμοκρασία (-20°C), η υψηλή πίεση (>100 MPa), και το υψηλό pH (>8) (Walstra, Geurts, Walstra & Wouters 2005).

Πίνακας 2: Πρωτεΐνες γάλακτος (Walstra et al. 2005).

Πρωτεΐνη	mmol/m ³ Γάλακτος	g/kg Γάλακτος	g/100g Πρωτεΐνης	Μοριακή Μάζα
Καζεΐνη	1120	26	78.3	
α _{s1} -καζεΐνη	450	10.7	32	23600
α _{s2} -καζεΐνη	110	2.8	8.4	25200
β-καζεΐνη	360	8.6	26	23983
κ-καζεΐνη	160	3.1	9.3	19550
γ-καζεΐνη	40	0.8	2.4	20500
Πρωτεΐνες ορού γάλακτος	320	6.3	19	-
β-λακτοσφαιρίνη	180	3.2	9.8	18283
α-λακταλβουμίνη	90	1.2	3.7	14176
Αλβουμίνη ορού	6	0.4	1.2	66267
Πεπτόνες πρωτεάσης	40	0.8	2.4	4000-40000
Ανοσογλοβουλίνες	4	0.8	2.4	-
IgG1, IgG2	-	0.65	1.8	150000
IgA	-	0.14	0.4	385000
IgM	-	0.05	0.2	900000
Άλλες	-	0.9	2.7	-
Λακτοφερρίνη	1	0.1	-	86000
Τρανσφερρίνη	1	0.01	-	76000
Πρωτεΐνες μεμβράνης	-	0.7	2	-
Ένζυμα	-	-	-	-

Η λακτόζη ή O-4-D-γαλακτο-πυρανοζυλ-(1,4)-γλυκοπυρανόζη είναι ο κύριος υδατάνθρακας του γάλακτος. Αυτό το σάκχαρο βρέθηκε σχεδόν σε όλα τα θηλαστικά, και είναι μοναδικό στο γάλα. Η λακτόζη συντίθεται μόνο στα κυστίδια του συμπλέγματος Golgi των γαλακτοφόρων κυττάρων. Αυτό συμβαίνει λόγω της παρουσίας της α-λακταλβουμίνης, μίας πρωτεΐνης, μοναδικής στο γάλα. Το γάλα περιέχει ίχνη και άλλων υδατανθράκων, γλυκόζης και γαλακτόζης, που αποτελούν προϊόντα της υδρόλυσης της λακτόζης, αλλά όχι πολυσακχαριτών. Επιπλέον, στο γάλα εμφανίζονται γλυκιδικές ενώσεις, όπως οι εξωζαμίνες και το N-ακετυλο-νευραμινικό οξύ (NANA), αλλά οι περισσότερες από αυτές συνδέονται ομοιοπολικά με τις πρωτεΐνες, ιδιαίτερα στα μικκύλια (Walstraetal. 2005). Για τη λακτόζη ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

Μέταλλα, άλατα και βιταμίνες περιέχονται επίσης στο γάλα σε ίχνη. Τα σημαντικότερα μέταλλα που συναντώνται στο γάλα είναι το κάλιο (K), το ασβέστιο (Ca), το νάτριο (Na), το μαγνήσιο (Mg), και τέλος μερικοί φωσφορικοί εστέρες σε ποσοστό 0.7% και 0.8%. Το κάλιο και το νάτριο βρίσκονται υπό τη μορφή ελεύθερων ιόντων, και η συγκέντρωσή τους είναι αρνητικά συσχετίσιμη με τη συγκέντρωση της λακτόζης. Η συγκέντρωση του ασβεστίου, το οποίο αποτελεί και ένα σημαντικό ιχνοστοιχείο για τον άνθρωπο, είναι σχετικά μεγάλη.

Οι βιταμίνες που περιέχονται στο γάλα διακρίνονται σε λιπο- και υδατοδιαλυτές και οι συγκεντρώσεις τους εξαρτώνται από το στάδιο της άμελης, τις διατροφικές συνήθειες και την υγεία του ζώου. Οι πιο διαδεδομένες βιταμίνες στο γάλα είναι οι βιταμίνες A, B, C, D, E και K.

Τέλος, το γάλα περιέχει αρκετά ένζυμα, τα οποία μπορούν να βρεθούν σε διάφορα μέρη του. Τα περισσότερα ένζυμα εντοπίζονται σε μεμβράνες, ενώ μερικά είναι διασκορπισμένα στον ορό του γάλακτος και άλλα στα καζεϊνικά μικκύλια. Ο ρόλος τους διαφέρει ανάλογα με το μέρος που εντοπίζονται, αλλά και με τις συνθήκες στις οποίες θα βρεθούν. Κάποια από τα ένζυμα που απαντώνται στο γάλα είναι:

- Αντιβακτηριακά ένζυμα: λακτοϋπεροξειδάση (*lactoperoxidase*) και λυσοζύμη (*lysozyme*),
- Οξειδοορεδοκτάσες: οξειδάση της ξανθίνης (*xanthineoxidase*) και σουλφυδρυλική οξειδάση (*sulphydriloxidase*),
- Φωσφατάσες,
- Λιπάσες,

- Πρωτεΐνάσες.

1.2 Ζυμωμένα Γαλακτοκομικά Προϊόντα

Οι λόγοι που οδήγησαν στην ζύμωση του γάλακτος είναι αρκετοί, συμπεριλαμβανομένων επέκτασης του χρόνου ζωής του, αλλά και της βελτίωσης της γεύσης και της ευπεπτότητάς του, λόγω της παρουσίας μικροχλωρίδας, κυρίως βακτηρίων. Τα βακτήρια που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία είναι κυρίως λακτοβάκιλλοι, λακτόκοκκοι και στρεπτόκοκκοι, οι οποίοι προσδίδουν στα προϊόντα εξαιρετικά θρεπτικά και γευστικά χαρακτηριστικά.

Η ζύμωση του γάλακτος προσδίδει αρκετές λειτουργικές και άλλες ιδιότητες στα τελικά προϊόντα, όπως η αύξηση της διάρκειας ζωής, η βελτίωση της γεύσης και της υφής, ο αφρισμός και η γαλακτωματοποίηση, το χαμηλότερο θερμιδικό φορτίο και άλλα διατροφικά οφέλη. Ωστόσο, τα ζυμωμένα προϊόντα διαφέρουν από χώρα σε χώρα λόγω και της διαφορετικής παράδοσης και τεχνογνωσίας.

Διακρίνονται τέσσερις διαφορετικοί τύποι προϊόντων προερχόμενων από γάλα που έχει υποστεί ζύμωση:

1. Προϊόντα γαλακτικής ζύμωσης με στελέχη μεσόφιλων βακτηρίων γαλακτικού οξέος (κρέμα γάλακτος).
2. Προϊόντα γαλακτικής ζύμωσης με θερμόφιλα βακτήρια γαλακτικού οξέος (γιαούρτι).
3. Προϊόντα που λαμβάνονται με αλκοολική - γαλακτική ζύμωση, με ζύμες και βακτήρια γαλακτικού οξέος (κεφίρ).
4. Προϊόντα των τύπων 1 και 2 με ταυτόχρονη ανάπτυξη μούχλας.

Παρακάτω θα γίνει εκτενέστερη περιγραφή της παραγωγής του γιαουρτιού, στο οποίο εστιάζει και η παρούσα διπλωματική.

1.3 Γιαούρτι

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών ως «Γιαούρτι» ορίζεται το γαλακτοκομικό προϊόν που παράγεται από τη ζύμωση και πήξη του γάλακτος με τη χρήση υποχρεωτικά των καλλιεργειών *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, ώστε το τελικό προϊόν να περιέχει τουλάχιστον 10^7 cfu/g_{προϊόντος} μέχρι την ημερομηνία κατανάλωσής του.

Το γιαούρτι εμφανίζεται στην αγορά με τους παρακάτω τύπους:

- α) Συνεκτικό (τύπου σετ), όπου η ζύμωση και η ψύξη πραγματοποιείται μέσα στο δοχείο,
- β) Αναμεμιγμένου τύπου (stirred), όπου το γιαούρτι παρασκευάζεται σε ένα μεγάλο δοχείο και στη συνέχεια διανέμεται σε δοχεία,
- γ) Στραγγιστό γιαούρτι, το οποίο παρασκευάζεται όπως το αναμεμιγμένο, αλλά αφαιρείται μέρος του ορού γάλακτος μετά την ζύμωσή του,
- δ) Πόσιμο γιαούρτι, το οποίο παρασκευάζεται όπως το αναμεμιγμένο και προστίθεται σε αυτό γάλα και άλλες γεύσεις, μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή ρευστότητα,
- ε) Γιαούρτι με φρούτα, όπου προστίθενται φρούτα ή χυμός φρούτων, είτε στο πάνω ή κάτω μέρος του γιαουρτιού, είτε διεσπαρμένα σε όλη τη μάζα του,
- στ) Τυρί γιαουρτιού, το οποίο πρόκειται για ένα φρέσκο τυρί, όπου έχει αφαιρεθεί τη νύχτα, ώστε να αποστραγγιστεί ο ορός του γάλακτος. Η γεύση του είναι παρόμοια με αυτή μίας ξινής κρέμας με χαρακτηριστικά υφής όπως ενός μαλακού τυριού. Έχει διάρκεια ζωής 7-14 ημέρες, αφού έχει τυλιχτεί και τοποθετηθεί στο ψυγείο σε θερμοκρασία διατήρησης μικρότερη των 4°C.
- ζ) Παγωμένο γιαούρτι (Frozen Yogurt), όπου το γιαούρτι καταψύχεται μετά την επώαση,
- η) Γιαούρτι σε σκόνη, όπου το γιαούρτι ξηραίνεται με σκοπό την αύξηση της διάρκειας ζωής και την ευκολία μεταφοράς και αποθήκευσής του (Yildiz 2016).

1.3.1 Ιστορικά Στοιχεία

Το γιαούρτι αποτελεί μέρος της ανθρώπινης διατροφής εδώ και πολλές χιλιετίες και αναφέρεται ανά τον κόσμο με αρκετές διαφορετικές ονομασίες. Ο όρος «γιαούρτι» πιστεύεται ότι προέρχεται από την Τούρκικη λέξη «yoğurtmak», που σημαίνει «να πυκνωθεί» ή «να πήξει». Οι πρώτες αναφορές παραγωγής γιαουρτιού χρονολογούνται το 6000 π.Χ. σε ινδικά χειρόγραφα. Επίσης, το γιαούρτι έχει βρεθεί σε γραπτές αναφορές για τους πολιτισμούς των βαρβάρων κατά την ελληνική και ρωμαϊκή αυτοκρατορία το 100 π.Χ.. Τέλος, στη Βίβλο (Βιβλίο του Ιώβ), ο Αβραάμ αποδίδει τη μακροζωία και τη γονιμότητα στην κατανάλωση γιαουρτιού. Ωστόσο, οι πρώτες αναφορές για τα οφέλη υγείας του γιαουρτιού άργησαν να μελετηθούν, αφού έγιναν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, και συγκεκριμένα το 1905 από τον Βούλγαρο φοιτητή ιατρικής Stamen Grigorov, ο οποίος ανακάλυψε πρώτος το βακτηριακό στέλεχος *Bacillus bulgaricus* (σημερινή ονομασία: *Lactobacillus bulgaricus*), ένα γαλακτικό βακτήριο. Το γιαούρτι, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε ως φάρμακο και πουλιόταν σε φαρμακεία, ενώ τα πρώτα εργαστήρια παραγωγής και εργοστάσια άνοιξαν στη Γαλλία το 1932 και την Αμερική το 1941 (Fisberg & Machado 2015).

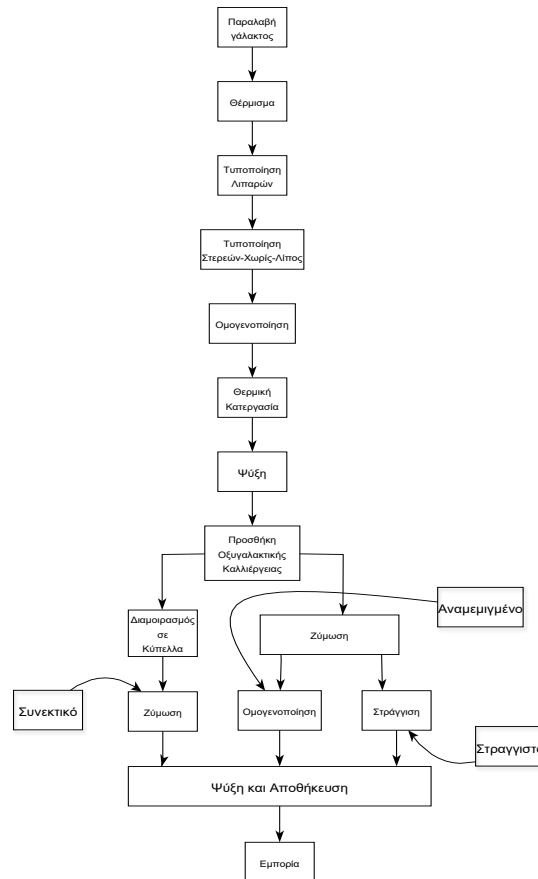
1.3.2 Παραγωγική Διαδικασία

Η παραγωγική διαδικασία διαφέρει για κάθε είδος γιαουρτιού. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια κοινά στάδια για όλα τα είδη. Αυτά είναι η παραλαβή και μεταφορά του από τη φάρμα στις εγκαταστάσεις διαλογής, η αποθήκευση και το θέρμισμα σε αυτές, και η μεταφορά και αποθήκευσή του στις γαλακτοκομικές βιομηχανίες. Στις γαλακτοκομικές βιομηχανίες πραγματοποιείται η τυποποίηση των συστατικών του γάλακτος, η ομογενοποίηση, η θερμική κατεργασία, η ψύξη και η ο εμβολιασμός με την οξυγαλακτική καλλιέργεια. Στη συνέχεια, ανάλογα με τη διαδικασία που θα ακολουθηθεί, παράγονται τα εξής προϊόντα: το συνεκτικό, το αναμεμιγμένο και το στραγγιστό γιαούρτι.

Για την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού, ακολουθεί διαμοίρασμα του γάλακτος σε κύπελλα και η ζύμωσή του. Τέλος, τα δείγματα ψύχονται και αποθηκεύονται σε ψυγείο (4°C). Στο αναμεμιγμένο γιαούρτι, πραγματοποιείται η ζύμωση σε δεξαμενή, η οποία διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία κατά την επώαση. Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή οξύτητα, το πήγμα διαταράσσεται με έναν αναδευτήρα και ψύχεται στους 20°C για την επίτευξη βέλτιστων συνθηκών ποιότητας. Έπειτα, το γιαούρτι αδειάζεται σε κύπελλα και τελικά αποθηκεύεται σε ψυγείο (4°C). Τέλος, το στραγγιστό γιαούρτι παράγεται όπως το αναμεμιγμένο μέχρι το στάδιο της ζύμωσης, και στη συνέχεια απομακρύνεται ο ορός του γάλακτος με στράγγιση,

διαμοιράζεται σε κύπελλα και αποθηκεύεται σε ψυγείο στους 4°C. Η παραγωγική διαδικασία συνοψίζεται στην Εικόνα 1 (Sfakianakis & Tzia 2017).

Εικόνα 1: Παραγωγική διαδικασία συνεκτικού, αναμεμιγμένου και στραγγιστού γιαουρτιού (Sfakaianakis 2017).



Στη συνέχεια, περιγράφεται κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας αναλυτικά, ξεκινώντας με την παραλαβή και τυποποίηση του γάλακτος. Αυτό το στάδιο είναι ένα από τα σημαντικότερα, καθώς το γάλα που συλλέγεται αποτελεί την πρώτη ύλη για την παραγωγή του γιαουρτιού. Για την ακρίβεια, το γάλα φιλτράρεται αμέσως μετά την άμελξή του, για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων προσμίξεων, όπως τα επιθηλιακά κύτταρα, τα λευκοκύτταρα, οι τρίχες, το χρώμα, καθώς τυχόν ακαθαρσίες από το περιβάλλον. Έπειτα, το γάλα συλλέγεται και μεταφέρεται χύμα σε δεξαμενές φορτηγών στις εγκαταστάσεις των βιομηχανιών, αφού πρώτα θερμιστεί στους 65-67°C, ψυχθεί στους 5°C και εμβολιαστεί με γαλακτικά βακτήρια για τον έλεγχο ανάπτυξης ψυχρότροφων βακτηρίων.

Η περιεκτικότητα σε λιπαρά στο γάλα κυμαίνεται από 0.1g/100g έως 10 g/100g, ενώ στο γιαούρτι κατά μέσο όρο 1.5g/100g ή 0.5g/100g. Η σταθεροποίηση-τυποποίησή τους επιτυγχάνεται με τους εξής τρόπους:

- Αφαίρεση μέρους των λιπαρών από το γάλα.
- Ανάμιξη πλήρους κρέμας γάλακτος με αποβουτυρωμένο γάλα.
- Προσθήκη κρέμας σε πλήρες ή αποβουτυρωμένο γάλα.
- Συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για την τυποποίηση των στερεών-χωρίς-λίπος, όπως το βράσιμο, η προσθήκη σκόνης γάλακτος, βουτυρογάλακτος, σκόνης ορού γάλακτος, συμπυκνωμένου ορού γάλακτος, σκόνης πρωτεΐνης ορού γάλακτος ή συμπυκνώματος πρωτεΐνης ορού γάλακτος, η προσθήκη καζεϊνικού άλατος, με εξάτμιση ή με τεχνικές μεμβρανών, υπερδιήθηση ή αντίστροφη ώσμωση(Yildiz 2016). Οι τυπικές τιμές για τα στερεά-χωρίς-λίπος (ΣΥΑΛ) στο γάλα είναι 8.5-9.0%. Η αύξησή τους παραπάνω από αυτό το επίπεδο βελτιώνει το πήγμα στο συνεκτικό γιαούρτι και το ιξώδες στο αναμεμιγμένο. Η μέγιστη τιμή που μπορούν να φτάσουν είναι 16% (Lankes,Ozer & Robinson 1998). Ως αποτέλεσμα της αύξησης του επιπέδου των στερεών-χωρίς-λίπος στο μίγμα, αυξάνεται η τιτλοδοτούμενη οξύτητα του γάλακτος, λόγω της ρυθμιστικής δράσης των επιπρόσθετων πρωτεϊνών, φωσφορικών, κιτρικών, και άλλων συστατικών του γάλακτος, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένο χρόνο ζύμωσης. Διαφορετικά επίπεδα στερεών-χωρίς-λίπος μπορούν να επηρεάσουν την κινητική ανάπτυξης της αρχικής καλλιέργειας βακτηρίων, όπου τα βέλτιστα επίπεδα για την ανάπτυξη του *Streptococcus thermophilus* είναι 14% και του *Lactobacillus bulgaricus* 12%.

Το γάλα είναι ένα τυπικό γαλάκτωμα ελαίου σε νερό. Το λίπος έχει την τάση να διαχωρίζεται, ειδικά κατά την παραμονή και επώαση του γάλακτος στις δεξαμενές ζύμωσης. Για να αποφευχθεί αυτό, το γάλα υποβάλλεται σε ανάμιξη ή ομογενοποίηση. Η διάμετρος των σφαιριδίων λίπους στο γάλα κυμαίνεται από 0.1 έως 20μm, με μέσο όρο γύρω στα 3.5μm. Η διακύμανση του μεγέθους των σφαιριδίων εξαρτάται άμεσα από τους ίδιους παράγοντες που επηρεάζουν τη χημική σύνθεση του γάλακτος (δηλαδή τη φυλή της αγελάδας, το στάδιο γαλουχίας, την ηλικία και την υγεία της αγελάδας, τον τύπο της τροφής κλπ.).

Σκοπός της ομογενοποίησης είναι να μειωθεί η μέση διάμετρος των σφαιριδίων λίπους σε μικρότερη των 2 μm , προκειμένου να αποφευχθεί η τάση των λιπαρών να ανέρχονται στην επιφάνεια και ο σχηματισμός συσσωματωμάτων. Η ομογενοποίηση πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασία άνω των 45°C, όπου οι λιπάσες του γάλακτος και οι μικροβιακές λιπάσες απενεργοποιούνται. Το βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος είναι 60-70°C (Spreer 2017). Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν εμφανίζονται αλλαγές στα σφαιρίδια του λίπους.

Η ομογενοποίηση υψηλής πίεσης αποτελεί μία αναδύομενη τεχνολογία, που χρησιμοποιεί υψηλότερες πιέσεις (>100 MPa), για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών ποιότητας των γαλακτοκομικών προϊόντων. Έτσι, λαμβάνουν χώρα αλλαγές εκτός του μεγέθους των λιπιδίων, αλλά και στο μικροβιακό φορτίο και στις πρωτεΐνες. Συγκεκριμένα, οι υψηλές πιέσεις θανατώνουν μικροοργανισμούς, όπως *Saccharomyces cerevisiae* και διάφορα στελέχη του είδους *Bacillus*. Έτσι, αποτελεί και μία πρώτη απενεργοποίηση μικροοργανισμών πριν τη θερμική κατεργασία. Όσον αφορά τις πρωτεΐνες, η καζεΐνη καλύπτει ολόκληρη τη διαθέσιμη επιφάνεια, που δημιουργείται από τη μείωση του μεγέθους των σφαιρικών λιπιδίων. Επίσης, μετουσιώνονται η α -λακταλβουμίνη και η β -λακτοσφαιρίνη και γίνεται παραγωγή σουλφυδρυλικών ενώσεων από μετουσιωμένες πρωτεΐνες ορού γάλακτος (Massoud, Belgheisi & Massoud 2016).

Το βασικότερο στάδιο παραγωγής γιαουρτιού είναι η θερμική κατεργασία/παστερίωση. Παστερίωση είναι η θερμική απενεργοποίηση μικροοργανισμών σε θερμοκρασίες μικρότερες από τους 100°C, η οποία βελτιώνει την υγιεινή ποιότητα των τροφίμων και επιτυγχάνει ένα ορισμένο επίπεδο συντήρησης. Επιτυγχάνεται με αύξηση της θερμοκρασίας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε στερεά, η θερμική επεξεργασία πραγματοποιείται σε υψηλότερες θερμοκρασίες από του γάλακτος. Επιλέγονται θερμοκρασίες στο εύρος 85-95°C και παραμονήγια 10-40 min (Walstra et al. 2005). Επίσης, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι εναλλακτικοί τρόποι παστερίωσης του γάλακτος, όπως η επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία, ακτίνες X ή ακτίνες γάμμα, η εφαρμογή υψηλής πίεσης χρησιμοποιώντας πιέσεις 2000-6000 bar και θερμοκρασίες 40-60°C, η εφαρμογή υπερήχων και η χρήση μικροκυμάτων (Spreer 2017).

Η θερμική επεξεργασία οδηγεί σε μία περισσότερο ή λιγότερο έντονη διαταραχή των αλάτων στο γάλα. Το διαλυτό ασβέστιο και ο φωσφόρος σχηματίζουν φωσφορικό ασβέστιο, το οποίο κατακρημνίζεται στα μικκύλια καζεΐνης. Αυτή η αντίδραση είναι αντιστρέψιμη μέχρι τη θερμοκρασία των 80°C. Η καζεΐνη παραμένει σχεδόν αμετάβλητη σε κανονικές

θερμοκρασίες παστερίωσης. Μία άλλη συνέπεια της θερμικής επεξεργασίας των πρωτεϊνών είναι η απελευθέρωση του σουλφυδρυλίου (ομάδες SH), αυξάνοντας έτσι τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του γάλακτος. Ταυτόχρονα, παρατηρείται μείωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος και ποσοτική αύξηση της καζεΐνης. Ειδικότερα, λαμβάνουν χώρα πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ της κ-καζεΐνης και της α-λακταλβουμίνης, με αποτέλεσμα την επιπρόσθετη προστασία των κolloειδών μορίων. Οι φυσικοχημικές αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά τη θερμική κατεργασία συνοψίζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Φυσικοχημικές αλλαγές της θερμικής κατεργασίας και συσχετίσή τους με την παραγωγή γιαουρτιού (Tamime & Robinson 1999).

Συστατικό Γάλακτος	Είδος Μεταβολής	Επίδραση στην ποιότητα του γιαουρτιού
Πρωτεΐνες ορού γάλακτος	Μετουσίωση Απενεργοποίηση ανοσοσφαιρινών Παραγωγή σουδφιδικών ομάδων (-SH)	Μείωση ικανότητας σχηματισμού κρέμας Σχηματισμός αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων
Καζεΐνη	Μερική υδρόλυση και παραγωγή γλυκοπεπτιδίων από την κ- καζεΐνη Αποφωσφορλίωση	Ελαχιστοποίηση συναίρεσης Αύξηση μεγέθους μικκυλίων Σταθεροποίηση πήγματος
Ένζυμα	Απενεργοποίηση	Ελαχιστοποίηση πικρής γεύσης
Λακτόζη	Αποσύνθεση και σχηματισμός οργανικών οξέων, φουρφουράλης και υδροξυφουρφουράλης Αντιδράσεις με αμινοξέα	Μείωση pH Παραγωγή μυρμηκικού οξέος, που επηρεάζει την ανάπτυξη της αρχικής καλλιέργειας Συμβολή στη γεύση
Λιπαρά	Σχηματισμός λακτονών, μεθυλοκετονών και άλλων πτητικών κετονών	Συμβολή στη γεύση
Βιταμίνες	Καταστροφή μερικών υδατοδιαλυτών βιταμινών	Μείωση της θρεπτικής αξίας του γιαουρτιού
Μέταλλα	Ανακατανομή Ca, P και Mg μεταξύ διαλυτής και κολλοειδούς μορφής	Μείωση pH Μείωση χρόνου πήξης
Μικροοργανισμοί	Καταστροφή	Εξασφάλιση ασφάλειας Ελαχιστοποίηση Ελαττωμάτων ποιότητας
Αέρια	Μείωση της περιεκτικότητας σε διαλυμένο O ₂ , N ₂ και CO ₂	Εξασφάλιση ασφάλειας Ελαχιστοποίηση Ελαττωμάτων ποιότητας

Μετά τη θερμική κατεργασία, όπου το γάλα είναι απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς, πραγματοποιείται η ζύμωση του γάλακτος σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, συνήθως στους 45°C, με τον εμβολιασμό της κατάλληλης καλλιέργειας μικροοργανισμών, *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*. Με την αύξηση της θερμοκρασίας και των χρόνων παραμονής τροποποιούνται οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, με αποτέλεσμα η διαλυτότητά τους να μειώνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να συσσωματώνονται με την καζεΐνη σε pH=4.6. Από την άλλη πλευρά, δημιουργείται ένα σταθερότερο πήγμα, λόγω της ταυτόχρονης αύξησης της ικανότητας δέσμευσης νερού των πρωτεϊνών και της μείωσης της συναίρεσης. Το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ευνοϊκό στην παραγωγή γιαουρτιού, σε αντίθεση με την παραγωγή τυριού, όπου εκεί εμποδίζεται η απελευθέρωση του ορού. Η ζύμωση του γιαουρτιού θα αναλυθεί παρακάτω εκτενέστερα.

Στη συνέχεια, μετά την ζύμωση, μπορεί να γίνει προσθήκη φρούτων ή/και γλυκαντικών στο γιαούρτι, εφόσον αυτό απαιτείται από τις προδιαγραφές του προϊόντος. Τέλος, το παραχθέν προϊόν ψύχεται, συσκευάζεται και αποθηκεύεται στους 4°C.

1.3.3 Σύσταση γιαουρτιού και ιδιότητες τελικού προϊόντος

Παρόλο που το γάλα προέρχεται από διάφορα είδη ζώων, για την παραγωγή του γιαουρτιού σε βιομηχανική κλίμακα, προτιμάται το αγελαδινό. Τα κύρια συστατικά του γιαουρτιού είναι τα λιπαρά, οι πρωτεΐνες, τα σάκχαρα και τα ανόργανα άλατα. Για την παραγωγή του μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι τρεις τύποι γάλακτος ως προς την περιεκτικότητα σε λιπαρά: πλήρες (3.7% λιπαρά), ημιαποβουτυρωμένο (1.5% λιπαρά) και πλήρως αποβουτυρωμένο (0% λιπαρά). Ο εμπλουτισμός του μπορεί να γίνει όχι μόνο με τα κύρια συστατικά του, αλλά και με πρόσθετα όπως: άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα (σκόνη ορού γάλακτος), γλυκαντικά (γλυκόζη/σακχαρόζη), σταθεροποιητές (ζελατίνη) ή γευστικά πρόσθετα (φρούτα).

Η φυσική δομή του γιαουρτιού είναι ένα δίκτυο από συσσωματωμένα σωματίδια καζεΐνης πάνω στο οποίο έχει εναποτεθεί μέρος των πρωτεϊνών του ορού λόγω της μετουσίωσής τους. Το δίκτυο αυτό περικλείει σφαιρίδια λίπους και ορού. Οι μεγαλύτεροι πόροι του δικτύου είναι της τάξης των 10 μm. Η ύπαρξη ενός συνεχούς δικτύου υποδηλώνει ότι το γιαούρτι είναι ένα πήγμα ή ιξωδοελαστικό υλικό που χαρακτηρίζεται από μία αρκετά μικρή τάση απόδοσης (περίπου 100 Pa). Εάν το πήγμα διαλύεται, όπως και στην παρασκευή αναμεμιγμένου γιαουρτιού, μπορεί να σχηματιστεί ένα αρκετά ιξώδες μη νευτωνικό υγρό. Συνεκτικό και αναμεμιγμένο γιαούρτι έχουν σαφώς διαφορετική υφή.

Η σκληρότητα του συνεκτικού γιαουρτιού εκτιμάται βυθίζοντας ένα δεδομένο βάρος στο προϊόν για ορισμένο χρόνο. Το αντίστροφο του βάθους διείσδυσης αποτελεί το μέτρο της σκληρότητας. Η τιμή του εξαρτάται από τη μέθοδο μέτρησης, το χρόνο που ορίζεται, τη διαδικασία παραγωγής και το προϊόν. Συγκεκριμένα, εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε καζεΐνη και λιπαρά που έχει το γάλα, την ομογενοποίηση, τη θερμική κατεργασία του γάλακτος, τις καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται, τη θερμοκρασία επώασης και την τελική οξύτητα του πηγματος.

Η συναίρεση οφείλεται κατά το πλείστον στην αναδιάταξη του δικτύου, με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των δεσμών μεταξύ των σωματιδίων. Το δίκτυο τείνει να συρρικνώνεται, εξαλείφοντας έτσι το ενδιάμεσο υγρό. Στο γιαούρτι η συναίρεση είναι ανεπιθύμητη. Η τάση να εμφανίζεται εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία επώασης. Κατά την επώαση στους 45°C, η συναίρεση μπορεί να αποτραπεί, μόνο εάν το γάλα έχει θερμανθεί έντονα, η περιεκτικότητά του σε καζεΐνη έχει αυξηθεί και η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι χαμηλή. Ωστόσο, αν η συσκευασία που περιέχει το προϊόν αναταραχθεί ελαφρώς τη στιγμή που ξεκινά ο σχηματισμός πηκτής και το πήγμα είναι ακόμα ασθενές, εμφανίζεται συναίρεση, η οποία δεν αφήνει στη συνέχεια να σχηματιστεί το πήγμα. Επίσης, αν η επιφάνεια του συνεκτικού γιαουρτιού βρέχεται, πιθανώς επειδή συμπυκνώνεται νερό στο εσωτερικό του καπακιού της συσκευασίας και πέσουν μερικές σταγόνες, μπορεί να προκληθεί διαχωρισμός ορού γάλακτος.

1.3.4 Διατροφικές Ιδιότητες

Το γιαούρτι έχει χρησιμοποιηθεί και πιστεύεται ότι είναι αποτελεσματικό στην πρόληψη και θεραπεία ασθενειών τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ζώα. Η πιο συνηθισμένη χρήση του είναι για την αντιμετώπιση γαστρεντερικών διαταραχών, όπως η διάρροια και η δυσκοιλιότητα.

Σημαντικό ρόλο σε αυτή τη δράση έχουν οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή του γιαουρτιού, οι οποίοι ωστόσο, πρέπει να μπορούν να επιβιώσουν κατά τη διέλευση από το γαστρεντερικό σύστημα μέχρι να βρεθούν στο ανθρώπινο έντερο και να αποδώσουν τη δράση τους. Βρέθηκε ότι ο *S. thermophilus* είναι πολύ ευαίσθητος και δεν επιβιώνει στο ανθρώπινο γαστρεντερικό σύστημα, ενώ ο *L. bulgaricus* μπορεί να επιβιώσει και να αναστείλει την εντερική σήψη στο γαστρεντερικό σωλήνα, γεγονός που τον καθιστά αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση γαστρεντερικών διαταραχών. Αναφορές για τα ευεργετικά αποτελέσματα της κατανάλωσης γιαουρτιού από παιδιά με παιδική διάρροια

έδειξαν την ύπαρξη φυσιολογικής, λειτουργικής χλωρίδας στο έντερο λόγω των εύπεπτων θρεπτικών συστατικών του γιαουρτιού.

Το γιαούρτι βοηθά επίσης και στην καταπολέμηση της στεφανιαίας νόσου. Αυτό οφείλεται στην παρουσία του υδροξυλ-μεθυλ-γλουταρικού οξέος στο γιαούρτι, που παρεμποδίζει τη μετατροπή του οξικού οξέος σε χοληστερόλη. Άλλος παράγοντας που επηρεάζει είναι ο μεγάλος αριθμός βακτηριακών κυττάρων του στελέχους *L. bulgaricus* που υπάρχουν στο ζυμωμένο γάλα, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει αποσυμπύκνωση των χολικών αλάτων στο λεπτό έντερο, με επακόλουθη αποβολή των χολικών οξέων από τα κόπρανα και μείωση της συγκέντρωσης στερόλης στον οργανισμό. Άλλοι πιθανοί υποχοληστερολαιμικοί παράγοντες είναι το ασβέστιο, το οροτικό οξύ και η λακτόζη.

Το γιαούρτι έχει αναφερθεί ότι είναι ωφέλιμο για άτομα με αλλεργίες σε πρωτεΐνες γάλακτος, δεδομένου ότι οι πρωτεΐνες του γιαουρτιού έχουν μειωμένη αλλεργιογένεση. Άλλες ενδιαφέρουσες θεραπευτικές χρήσεις του γιαουρτιού περιλαμβάνουν τη χρήση του στη θεραπεία μη ειδικής κολπικής έκκρισης και την ανασταλτική επίδρασή του στον πολλαπλασιασμό ορισμένων καρκινικών κυττάρων.

Το γιαούρτι είναι μία ιδιαίτερα πλούσια πηγή ασβεστίου. Οι πάσχοντες από δυσανεξία στη λακτόζη δεν μπορούν να καταναλώνουν γάλα και έτσι αναπτύσσουν συχνά οστεοπόρωση λόγω ανεπάρκειας ασβεστίου μέσω της διατροφής. Καθώς, το γιαούρτι περιέχει περιορισμένο ποσοστό λακτόζης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση της ανεπάρκειας ασβεστίου σε άτομα με δυσανεξία σε λακτόζη. Είναι επίσης μία χρήσιμη πηγή ασβεστίου για γυναίκες μέσης ηλικίας που υποφέρουν συχνά από οστική δυσμορφία κατά τη διάρκεια της εμμηνόπαυσης και μετά από αυτή (Deeth & Tamime 1981).

1.4 Επίδραση διαφόρων παραγόντων στο τελικό πήγμα του γιαουρτιού

1.4.1 Ρόλος θερμικής κατεργασίας του γάλακτος

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο κύριος ρόλος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος είναι η θανάτωση όλων των παθογόνων μικροοργανισμών. Κατά τη θερμική κατεργασία λαμβάνουν χώρα και άλλες διεργασίες. Με τις αυξανόμενες θερμοκρασίες και τους χρόνους παραμονής, τροποποιούνται οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, π.χ. η διαλυτότητα μειώνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε να συσσωματώνεται με την καζεΐνη σε $\text{pH}=4.6$. Μία άλλη συνέπεια της θερμικής επεξεργασίας των πρωτεϊνών είναι η απελευθέρωση του σουλφυδρυλίου (ομάδες SH), αυξάνοντας έτσι τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες του γάλακτος. Ταυτόχρονα παρατηρείται μείωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος και μία ποσοτική αύξηση της καζεΐνης. Ειδικότερα, παρατηρείται σχηματισμός δεσμού μεταξύ της κ-καζεΐνης και της 3-λακταλβουμίνης, με αποτέλεσμα μία επιπλέον προστασία στα κολλοειδή μόρια. Από την άλλη πλευρά, δημιουργείται ένα σταθερότερο πήγμα λόγω της ταυτόχρονης αύξησης της ικανότητας δέσμευσης νερού των πρωτεϊνών, με μειωμένη συναίρεση, η οποία είναι ευνοϊκή στην παρασκευή γιαουρτιού. Η καζεΐνη παραμένει σχεδόν αμετάβλητη σε κανονικές θερμοκρασίες παστερίωσης. Η θερμική επεξεργασία οδηγεί επίσης σε μία περισσότερο ή λιγότερο έντονη διαταραχή των αλάτων στο γάλα. Το διαλυτό ασβέστιο και ο φωσφόρος σχηματίζουν φωσφορικό ασβέστιο, το οποίο κατακρημνίζεται στα μικκύλια καζεΐνης. Αυτή η δραστηριότητα είναι αναστρέψιμη μέχρι τη θερμοκρασία των 80°C .

Κατά τη θερμική κατεργασία μπορούν να μεταβληθούν τόσο οι φυσικές όσο και οι χημικές ιδιότητες του γάλακτος. Συγκεκριμένα, κάποια αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, απομακρύνονται μερικώς, ενώ το οξυγόνο μειώνεται σημαντικά, λόγω της ανάπτυξης κάποιων βακτηρίων. Η μείωση των αερίων αποτελεί μία αναστρέψιμη κατάσταση. Επίσης, παρατηρείται αύξηση του κολλοειδούς φωσφόρου και μείωση της συγκέντρωσης των ιόντων ασβεστίου ($[\text{Ca}^{2+}]$), που αποτελεί αντιστρέψιμη διαδικασία, καθώς και υδρόλυση των φωσφορικών εστέρων που υπάρχουν στην καζεΐνη, και διαχωρισμός των φωσφολιπιδίων, με αποτέλεσμα την αύξηση του ανόργανου φωσφόρου. Γίνονται, ακόμη, αλλαγές στη μεμβράνη των λιποσφαιρίων, όπως η περιεκτικότητά τους σε χαλκό (Cu). Άλλες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι ο ισομερισμός της λακτόζης και η αποσύνθεσή της σε λακτουλόζη και οργανικά οξέα. Πραγματοποιούνται επίσης αντιδράσεις μεταξύ πρωτεϊνών και λακτόζης, κυρίως αντιδράσεις Maillard, με πιθανή μείωση της διαθέσιμης λυσίνης. Οι περισσότερες πρωτεΐνες ορού γάλακτος μετουσιώνονται και καθίστανται αδιάλυτες, ενώ ένα μέρος των πρωτεϊνών του ορού, ειδικά η β-λακτοσφαιρίνη, δεσμεύεται ομοιοπολικά με την κ-καζεΐνη

και άλλες πρωτεΐνες της μεμβράνης των λιποσφαιρίων. Άλλες αντιδράσεις πρωτεϊνών, όπως η συσσωμάτωση των καζεϊνικών μικκυλίων, οδηγούν σε πήξη του διαλύματος. Τέλος, παρατηρείται μείωση του pH του γάλακτος και αύξηση της οξύτητας, απενεργοποίηση των ενζύμων, υποβάθμιση κάποιων βιταμινών και δημιουργία ελεύθερων ομάδων σουλφυδρυλίων, με ταυτόχρονη μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Walstra 2005, O' Mahony & McSweeney 2016).

1.4.2 Ζύμωση: καλλιέργειες και δράση

Κατά την ζύμωση του γιαουρτιού απαιτείται η κατάλληλη μικροβιακή καλλιέργεια. Έτσι, για να αναπτυχθεί ικανοποιητική γεύση, θα πρέπει να προστίθενται περίπου ίσες ποσότητες από τα στελέχη *S. thermophilus* και *L. delbrueckii subsp. bulgaricus*. Η βασική χλωρίδα του γιαουρτιού παρουσιάζει υποχρεωτική συμβιωτική σχέση κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Τα ποσοστά παραγωγής οξέος και αρώματος με μικτή καλλιέργεια γιαουρτιού είναι σημαντικά υψηλότερα σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά κατά τη μεμονωμένη χρήση των δύο βακτηριακών στελεχών.

Ο *S. Thermophilus* ανήκει στο γένος των στρεπτόκοκκων. Το συγκεκριμένο γένος περιέχει πέντε βασικά είδη: *mutants*, *anginosus*, *sanguinus*, *mitis* και *salivarius*. Το στέλεχος *S. thermophilus* είναι θετικό κατά Gram, δεν παράγει καταλάση, είναι αναερόβιο και έχει μορφή κόκκου. Χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την παρασκευή ποικιλιών σκληρού τυριού, μοτσαρέλας και γιαουρτιού. Το βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος για την ανάπτυξή του είναι 35-42°C. Τα στελέχη του είναι πολύ ευαίσθητα στα αντιβιοτικά.

Τα στελέχη του γένους *Lactobacillus* χαρακτηρίζονται ως θετικά κατά Gram, με ραβδώσεις, αρνητικά καταλάσης και μικροαερόφιλα βακτήρια. Το στέλεχος *L. bulgaricus* είναι ένα από τα τρία υποείδη του είδους *L. delbrueckii subsp.* που ανήκει στο γένος *Lactobacillus*. Τα άλλα δύο υποείδη είναι τα *L. delbrueckii subsp. lactis (L. lactis)* και *L. delbrueckii subsp.*. Τα στελέχη *L. bulgaricus* και *L. lactis* υπάρχουν στο γάλα και στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Το γένος *Lactobacillus* χωρίζεται σε τρεις ομάδες: υποχρεωτικά ομοζυμωτικούς, προαιρετικά και υποχρεωτικά ετεροζυμωτικούς. Ο *L. bulgaricus* ανήκει στην υποχρεωτικά ομοζυμωτική ομάδα μαζί με τους *L. acidophilus*, *L. lactis* και *L. helveticus*. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης του *L. bulgaricus* είναι οι 45°C (Radke-Mitchell & Sandine 1986).

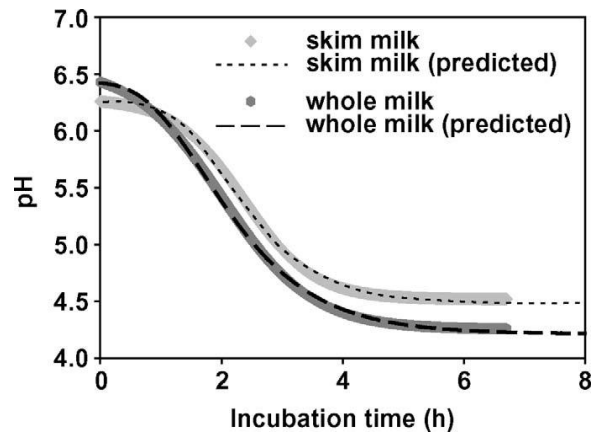
Η συνήθης αναλογία των δύο βακτηριακών στελεχών κατά τον εμβολισμό του γάλακτος που προορίζεται για ζύμωση είναι 1:1. Το εύρος της θερμοκρασίας για τη σωστή ζύμωση είναι πολύ μικρό, δηλαδή από 42°C έως 45°C. Αυτό το εύρος είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ των

θερμοκρασιών βέλτιστης ανάπτυξης των δύο μικροοργανισμών (*S. Thermophilus*: 37°C, *L. bulgaricus*: 45°C). Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ζύμωσης, τόσο υψηλότερος είναι και ο ρυθμός μεταβολισμού των μικροοργανισμών και κατ' επέκταση τόσο πιο γλυκό το τελικό γιαούρτι. Μετά τον εμβολιασμό του γάλακτος με καλλιέργειες εκκίνησης, ο *S. thermophilus* αναπτύσσεται ταχύτερα έως ότου να αντιπροσωπεύει το 90% των συνολικών βακτηριακών κυττάρων. Κατά τη διάρκεια των επόμενων ωρών, ο *S. thermophilus*, απελευθερώνοντας γαλακτικό οξύ, διοξείδιο του άνθρακα και μυρμηκικό οξύ, διεγείρει συνεργικά το *L. bulgaricus* να αναπτυχθεί γρηγορότερα. Οι στρεπτόκοκκοι μειώνουν το pH του μίγματος γιαουρτιού περίπου στο pH=5.0. Έτσι, καθώς συσσωρεύεται το γαλακτικό οξύ, το πλήθος των βακτηρίων του *L. bulgaricus* αυξάνεται, λόγω αυξημένης αντοχής στο όξινο περιβάλλον, ενώ η ανάπτυξη του *S. thermophilus* αναστέλλεται. Ο *L. bulgaricus* ευθύνεται για την περαιτέρω μείωση του pH στο 4.0. Από την άλλη πλευρά, η πρωτεολυτική δράση του οδηγεί στην παραγωγή διεγερτικών πεπτιδίων και αμινοξέων για χρήση από το *S. thermophilus*. Το ιζώδες του μίγματος γιαουρτιού αυξάνεται κατά την ζύμωση λόγω της πτώσης του pH. Μετά από περίπου 4 h, επιτυγχάνεται η ισορροπία μεταξύ των πληθυσμών των βακτηρίων. Στο τέλος της ζύμωσης, η οξύτητα φτάνει σε pH= 4.2-4.3, και ο αριθμός των κυττάρων είναι μεγαλύτερος από 2×10^7 κύτταρα/mL για κάθε στέλεχος εκκίνησης. Η διαδικασία ζύμωσης συνήθως ολοκληρώνεται εντός 3-4 h μέσω της συνεργιστικής δράσης των δύο στελεχών που μετατρέπουν τη λακτόζη σε γαλακτικό οξύ. Στην περίπτωση χρήσης μόνο ενός εκ των δύο στελεχών, η ίδια ποσότητα οξίνισης θα απαιτούσε 12-16 h, με την ίδια ποσότητα βακτηριακής καλλιέργειας. Όταν επιτευχθεί η επιθυμητή οξύτητα, το γιαούρτι ψύχεται γρήγορα για να σταματήσει η περαιτέρω ζύμωση και η μεταβολική δραστηριότητα. Το προϊόν πήξης ψύχεται σε θερμοκρασιακό εύρος 5-22°C, ανάλογα με το προϊόν. Στη συνέχεια, αποθηκεύεται σε θερμοκρασίες ψύξης (5°C), προκειμένου να επιβραδυνθεί η φυσική, χημική και μικροβιολογική αποικοδόμηση (Yildiz 2016).

Κατά την οξυγαλακτική ζύμωση του γιαουρτιού, τα προφίλ pH των γιαουρτιών που παρασκευάζονται από πλήρες ή αποβουτυρωμένο γάλα φαίνονται στην Εικόνα 2. Διακρίνονται 3 φάσεις που περιγράφουν ολόκληρη τη διαδικασία ζύμωσης:

1. Φάση υστέρησης (βραδεία πτώση pH), όπου αναπτύσσεται ο *S. thermophilus*
2. Λογαριθμική φάση (ταχεία μείωση pH), όπου δρουν συμβιωτικά τα στελέχη *S. Thermophilus* και *L. bulgaricus*
3. Φάση επιβράδυνσης του ρυθμού οξίνισης, όπου δρα μόνο το οξυάντοχο στέλεχος *L. bulgaricus*.

Το σχήμα της καμπύλης ζύμωσης εξαρτάται αυστηρά από πολλές παραμέτρους, όπως η προέλευση του γάλακτος, ο τύπος και η συγκέντρωση των συστατικών του, η καλλιέργεια εκκίνησης, η θερμοκρασία επώασης και η θερμική επεξεργασία του γάλακτος.



Εικόνα 2: Προφίλ pH κατά την οξυγαλακτική ζύμωση πλήρους και αποβουτυρωμένου γάλακτος

Η Εικόνα 2 δείχνει ότι σε ζύμωση πλήρους γάλακτος, η φάση υστέρησης ήταν βραχύτερη και η πτώση του pH ήταν πιο απότομη σε σύγκριση με το αποβουτυρωμένο γάλα. Οι De Brabandere και De Baerdemaeker (1999) ανέφεραν ότι παρά το σχήμα, τα προφίλ pH με χρόνο επώασης θα μπορούσαν να περιγραφούν από την τροποποιημένη εξίσωση Gompertz για βακτηριακή ανάπτυξη:

$$pH = pH_0 + (pH_0 - pH_\infty) * \exp \left\{ -\exp \left[\frac{\mu e}{(pH_\infty - pH_0)} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Όπου, pH_0 : η αρχική τιμή του pH

pH_∞ : η τιμή του pH στο τέλος της ζύμωσης

μ : ο μέγιστος ρυθμός μείωσης του pH

λ : ο χρόνος διάρκειας της 1^{ης} φάσης (λανθάνουσα φάση)

Κατ' ανάλογο τρόπο η μεταβολή του ιξώδους μπορεί να περιγραφεί από το τροποποιημένο μοντέλο του Gompertz (Soukoulis, Panagiotidis, Koureli & Tzia 2007):

$$\mu_{\alpha} = \mu_{\alpha_0} + (\mu_{\alpha_0} - \mu_{\alpha_{\infty}}) * \exp \left\{ -\exp \left[\frac{\mu e}{(\mu_{\alpha_0} - \mu_{\alpha_{\infty}})} (\lambda - t) + 1 \right] \right\}$$

Όπου,

μ_{α_0} : η αρχική τιμή φαινόμενου ιξώδους

$\mu_{\alpha_{\infty}}$: η τιμή του φαινόμενου ιξώδους στο τέλος της ζύμωσης

μ : ο μέγιστος ρυθμός αύξησης του φαινόμενου ιξώδους

λ : ο χρόνος διάρκειας της 1^{ης} φάσης (λανθάνουσα φάση)

Για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του πήγματος, το μίγμα μπορεί να ενισχυθεί με στερεά ή/και να πραγματοποιηθεί χρήση σταθεροποιητών.

1.4.3 Ενίσχυση Στερεών

Η κύρια πηγή ενίσχυσης στερεών είναι η σκόνη ορού γάλακτος. Ο ορός γάλακτος είναι ένα υποπροϊόν της τυροκομίας που παράγεται σε μεγάλες ποσότητες με αναλογία ορού γάλακτος/τυριού 9:1. Κατά την παρασκευή τυριού, οι πρωτεΐνες λίπους και καζεΐνης συσσωματώνονται σε τυρόπηγμα, ενώ οι διαλυτές πρωτεΐνες ορού γάλακτος (κυρίως γαλακταλβουμίνες και γαλακτοσφαιρίνες), η λακτόζη και τα ανόργανα συστατικά απομακρύνονται στον ορό γάλακτος. Ο ορός γάλακτος είναι διαφανής με πράσινο-κίτρινο χρώμα και έχει μία ελαφρώς όξινη γεύση. Γλυκός ή όξινος ορός γάλακτος μπορεί να ληφθεί ανάλογα με την πήξη (ενζυμική ή όξινη) κατά την επεξεργασία τυριού. Αυτό το παραπροϊόν είναι γενικά επεξεργασμένο με υπερδιήθηση και ξήρανση με ψεκασμό. Ο γλυκός ξηρός ορός συμβάλλει στη γλυκύτητα των γαλακτοκομικών προϊόντων και των ξηρών μιγμάτων, ενώ χρησιμοποιείται και σε προϊόντα κατάψυξης στηναρτοποιία. Από την άλλη πλευρά, στον όξινο ορό γάλακτος έχει μετατραπεί μέχρι και το 20% της λακτόζης του σε γαλακτικό οξύ, παρέχοντας γλυκιά γεύση σε μίγματα ξηρών συστατικών και ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα. Το συνιστώμενο επίπεδο προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι περίπου 1-2%, επειδή τα υψηλότερα επίπεδα μπορούν να προσδώσουν ανεπιθύμητη γεύση ορού γάλακτος. Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι σκόνης ορού γάλακτος (WP): τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης ορού γάλακτος (WPC), τα απομονωμένα

προϊόντα (WPI) ή η υδρολάση (WPH), που διατίθενται στην αγορά και τα χαρακτηριστικά καθενός σχετίζονται με την τεχνική επεξεργασίας που εφαρμόστηκε πριν από το στάδιο της ξήρανσης, όπως απομετάλλωση, απομάκρυνση λακτόζης, συμπύκνωμα πρωτεΐνης ορού γάλακτος ή απλή ξήρανση.

Στην παραγωγή τυριού, περίπου το 50% των στερεών γάλακτος απομακρύνεται στον ορό γάλακτος, όπου το μεγαλύτερο μέρος αποτελεί η λακτόζη, τα υδατοδιαλυτά μέταλλα και οι βιταμίνες, και το 20% οι πρωτεΐνες του γάλακτος. Η σύνθεσή του παρέχει ενδιαφέρουσες διατροφικές και λειτουργικές ιδιότητες.

Μία άλλη διεργασία από την οποία μπορεί να παραληφθεί ορός γάλακτος ως παραπροϊόν στη βιομηχανία τροφίμων είναι η παρασκευή βουτύρου, η οποία παρέχει μία ελαφρώς διαφορετική σύνθεση στο παραπροϊόν.

Το κύριο συστατικό των στερεών ορού γάλακτος είναι η λακτόζη, η οποία αντιπροσωπεύει το 70% των συνολικών στερεών. Σημαντικές ποσότητες μετάλλων, όπως το ασβέστιο και το κάλιο, είναι επίσης παρούσες. Οι λειτουργικές ιδιότητες των πρωτεϊνών ορού γάλακτος όπως η γαλακτωματοποίηση, η συγκράτηση ύδατος/λίπους, ο αφρισμός, η πάχυνση και η ζελατινοποίηση καθιστούν επίσης ενδιαφέρον το προϊόν για χρήση ως συστατικό τροφίμων.

Ήδη από τη δεκαετία του 1970, αρκετές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη χρήση του ορού γάλακτος κατά την παραγωγή γιαουρτιού. Αυτή η διαδικασία συνεπάγεται την αύξηση των συνολικών περιεχόμενων σε στερεά, ώστε να εξασφαλιστεί καλύτερη συνοχή και υφή στο προϊόν. Μία συνήθης πρακτική είναι η προσθήκη σκόνης γάλακτος. Η σκόνη πρωτεΐνης ορού γάλακτος χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση του μίγματος γιαουρτιού σε επίπεδα που κυμαίνονται μεταξύ 0.6-4%. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρήχθη περισσότερη ακεταλδεΰδη, αυξήθηκε το ιξώδες και μειώθηκε η συναίρεση, ενώ τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά βελτιώθηκαν.

1.4.4 Χρήση σταθεροποιητών

Οι σταθεροποιητές είναι απαραίτητες ουσίες στα είδη διατροφής, που εξομαλύνουν την υφή του τροφίμου λόγω ομοιογενούς διασποράς δύο ή περισσότερων μη αναμίξιμων υλικών. Μετά την προσθήκη τους, το τελικό προϊόν αποκτά σταθερά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά εντός καθορισμένου πλαισίου. Εκτός από τη βασική σταθεροποίηση και τη βελτίωση της υφής, βοηθούν στην ενίσχυση του χρώματος και της γεύσης του προϊόντος. Μερικά παραδείγματα σταθεροποιητών που χρησιμοποιούνται στο γιαούρτι είναι τα φυσικά και τροποποιημένα κόμμεα, το εκχύλισμα φυκιών (καραγεννάνη, αλγινικά) και η ζελατίνη. Η καραγεννάνη, η ζελατίνη, η πηκτίνη, το άμυλο, το κόμμι γκουάρ, το κόμμι ξανθάνης, το κόμμι χαρουπιού, τα αλγινικά άλατα, η προπυλενο-γλυκόλη, και η καρβοξυ-μεθυλοκυτταρίνη (CMC) χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές στην παραγωγή γιαουρτιού. Αυτά τα πρόσθετα έχουν την ιδιότητα να σχηματίζουν δίκτυα πηκτής και η προσθήκη τους επιτρέπει την παραγωγή γιαουρτιού με σταθερή υφή και υψηλή αντίσταση στη συναίρεση. Το ιξώδες του γιαουρτιού αυξάνεται με την προσθήκη σταθεροποιητή έως 2% w/v. Μεγαλύτερες ποσότητες σταθεροποιητών προκαλούν ταχεία αύξηση του ιξώδους. Οι σταθεροποιητές έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ένα δίκτυο δεσμών τόσο μεταξύ τους, όσο και με τα συστατικά του γάλακτος, εξαιτίας των ριζών υδρογόνου ή καρβοξυλίου που υπάρχουν στη δομή τους. Οι αρνητικές πλευρές συνδέονται στη διεπιφάνεια και το νερό δεσμεύεται στο μίγμα λόγω της παρουσίας σταθεροποιητών. Το επίπεδο της ενυδάτωσης βελτιώνεται με τη σύνδεση του νερού με τα συστατικά του γάλακτος (πρωτεΐνες), σχηματίζοντας ένα δίκτυο, το οποίο μειώνει την ελεύθερη κυκλοφορία του νερού (Tasneem, Siddique, Ahmad & Farooq 2014).

1.5 Λακτόζη

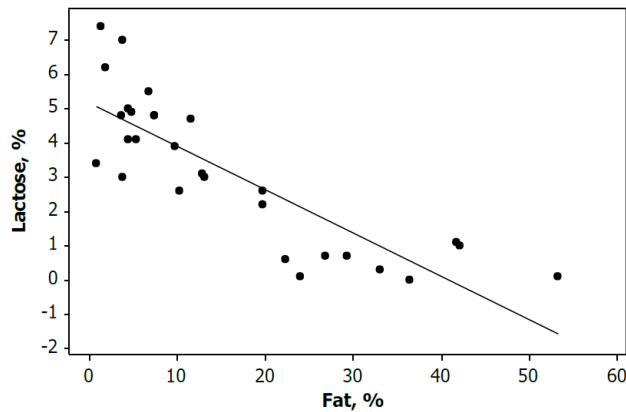
1.5.1 Γενικά στοιχεία για τη λακτόζη

Η λακτόζη είναι ο κύριος υδατάνθρακας στο γάλα των περισσότερων θηλαστικών, με εξαίρεση το θαλάσσιο λιοντάρι της Καλιφόρνιας και την κουκουλοφόρα φώκια. Το γάλα περιέχει μόνο ιχνοστοιχεία άλλων σακχάρων, όπως γλυκόζης (50 mg / L), φρουκτόζης και γλυκοζαμίνης, γαλακτοζαμίνης και N-ακετυλο-νευραμινικού οξέος ως συστατικά των γλυκοπρωτεϊνών και των γλυκολιπιδίων. Η λακτόζη εμφανίζεται μόνο στο γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα και σε μερικά φυτά.

Η συγκέντρωση της λακτόζης στο γάλα ποικίλλει ευρέως μεταξύ των ειδών (Πίνακας 4). Η περιεκτικότητα σε λακτόζη του αγελαδινού γάλακτος ποικίλλει ανάλογα με τη φυλή αγελάδων, το ζώο, τη λοίμωξη από μαστό (μαστίτιδα) και το στάδιο γαλουχίας. Η συγκέντρωση της λακτόζης μειώνεται σταδιακά και σημαντικά κατά τη διάρκεια της γαλουχίας. Αυτή η συμπεριφορά έρχεται σε αντίθεση με τις τάσεις για τα λιπίδια και τις πρωτεΐνες, οι οποίες, μετά τη μείωση κατά την πρώιμη γαλουχία, αυξάνονται έντονα κατά το δεύτερο μισό της γαλουχίας. Η συγκέντρωση της λακτόζης στο γάλα σχετίζεται αντιστρόφως ανάλογα με τις συγκεντρώσεις λιπιδίων και πρωτεϊνών (Εικόνα 3). Η κύρια λειτουργία της λακτόζης και των λιπιδίων είναι ως πηγές ενέργειας. Δεδομένου ότι τα λιπίδια είναι περίπου 2.2 φορές πιο πυκνά σε σχέση με τη λακτόζη, όταν απαιτείται γάλα υψηλής θερμιδικής αξίας, π.χ. από ζώα σε κρύο περιβάλλον (θαλάσσια θηλαστικά και πολικές αρκούδες), αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε λιπαρά του γάλακτος.

Πίνακας 4: Ποσοστό λακτόζης στο γάλα σε διάφορους οργανισμούς.

Είδος	Λακτόζη	Είδος	Λακτόζη	Είδος	Λακτόζη
Θαλάσσιος ελέφαντας Καλιφόρνιας	0.0	Ποντίκι	3.0	Γάτα	4.8
Κουκουλοφόρα φώκια	0.0	Γουρούνι Γουϊνέας	3.0	Γουρούνι	5.5
Μαύρη αρκούδα	0.4	Σκύλος	3.1	Άλογο	6.2
Δελφίνι	0.6	Ελάφι σίκα	3.4	Χιμπατζής	7.0
Εχίδνα	0.9	Γίδα	4.1	Μακάκος	7.0
Γαλάζια φάλαινα	1.3	Ελέφαντας (Ινδία)	4.7	Άνθρωπος	7.0
Κουνέλι	2.1	Αγελάδα	4.8	Γαϊδούρι	7.4
Κόκκινο ελάφι	2.6	Πρόβατο	4.8	Ζέβρα	7.4
Γκρι φώκια	2.6	Νεροβούβαλος	4.8	Πράσινη μαϊμού	10.2
Αρουραίος (Νορβηγία)	2.6				



Εικόνα 3: Συσχετισμός περιεκτικότητας λακτόζης και λιπαρών στο γάλα (Fox et al. 1998)

Η λακτόζη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα:

- Είναι ουσιαστικό συστατικό για την παραγωγή ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων
- Συμβάλλει στη θρεπτική αξία του γάλακτος και των προϊόντων του
- Επηρεάζει την υφή ορισμένων συμπυκνωμένων και κατεψυγμένων προϊόντων
- Συμμετέχει σε θερμικά προκαλούμενες αλλαγές στο χρώμα και τη γεύση
- Οι μεταβολές της κατάστασής της, από άμορφη σε κρυσταλλική, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή και τη σταθερότητα πολλών αφυδατωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων.

Οι χρήσεις της λακτόζης συνοψίζονται παρακάτω:

(α) ως συστατικό σε βρεφικές τροφές και διαιτητικά προϊόντα,

(β) στη διαμόρφωση και τυποποίηση φαρμάκων, δισκίων και χαπιών,

(γ) στην παραγωγή πενικιλίνης,

δ) στην παραγωγή χρώματος καραμέλας,

ε) ως υλικό σπόρων για την πρόκληση σχηματισμού λεπτών κρυστάλλων σε ορισμένα γαλακτοκομικά προϊόντα

στ) στην παραγωγή υδρολυμένων σιροπιών λακτόζης,

ζ) στην παρασκευή ορισμένων παραγώγων λακτόζης (Jenness & Patton 1959).

1.5.2 Χημική σύσταση – Ιδιότητες λακτόζης

Η λακτόζη είναι δισακχαρίτης που αποτελείται από D-γλυκόζη και D-γαλακτόζη. Η ομάδα αλδεϋδης της γαλακτόζης συνδέεται με την ομάδα C-4 της γλυκόζης με β -1,4-γλυκοζιτικό δεσμό. Και τα δύο τμήματα σακχάρου εμφανίζονται κυρίως στη μορφή δακτυλίου πυρανόζης. Οι χημικές αντιδράσεις της λακτόζης περιλαμβάνουν τη σύνδεση ημιακετάλης μεταξύ C1 και C5 του τμήματος γλυκόζης, το γλυκοζιτικό δεσμό, τις ομάδες υδροξυλίου και τους δεσμούς μεταξύ των ανθράκων.

Η λακτόζη ανήκει στα αναγωγικά σάκχαρα. Ο δεσμός O - C1 στο τμήμα της γλυκόζης μπορεί να διασπαστεί, οδηγώντας σε μορφή ανοιχτής αλυσίδας που έχει ομάδα αλδεϋδης. Η μετατροπή του α -ανωμερούς στο β -ανωμερές, και αντίστροφα, λαμβάνει χώρα μέσω της ανοικτής αλυσίδας. Πιθανώς, λιγότερο από το 0.1% της λακτόζης στο φρέσκο γάλα είναι στην ανοιχτή αλυσίδα. Σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και υψηλές τιμές pH, αποτελεί πολύ υψηλότερο ποσοστό, μεταξύ 1 και 10%. Επειδή η ομάδα αλδεϋδης είναι η πλέον πιο αντιδραστική στη λακτόζη, αυτό σημαίνει ότι η αντιδραστικότητα του σακχάρου ενισχύεται σημαντικά.

Τα κατάλληλα αντιδραστήρια ή ένζυμα μπορούν να προκαλέσουν ήπια οξείδωση της λακτόζης, όπου η ομάδα αλδεϋδης μετατρέπεται σε καρβοξυλική ομάδα. Μία πιο έντονη οξείδωση διαλύει το γλυκοζιτικό δεσμό και παράγει καρβοξυλομάδες στα υπόλοιπα σάκχαρα. Ήπια μείωση της λακτόζης μετατρέπει την ομάδα αλδεϋδης σε αλκοολική ομάδα. Η πιο έντονη αναγωγή διασπά το γλυκοζιτικό δεσμό και οδηγεί στο σχηματισμό ομάδων αλκοόλης στα υπόλοιπα σάκχαρα. Η υδρόλυση της λακτόζης με οξύ δεν συμβαίνει εύκολα. Αν συμβεί (υψηλή θερμοκρασία και χαμηλό pH), συμβαίνουν πολλές άλλες αντιδράσεις.

Πολλές αντιδράσεις της λακτόζης πραγματοποιούνται όταν θερμαίνεται το γάλα. Η λακτόζη μπορεί να ισομεριστεί σε λακτουλόζη. Αυτό σημαίνει ότι η μονάδα γλυκόζης μετατρέπεται σε ένα τμήμα φρουκτόζης. Το σάκχαρο αυτό δεν απαντάται φυσιολογικά και συντέθηκε για πρώτη φορά από τους Montgomery και Hudson το 1930. Μπορεί να παραχθεί υπό ήπιες αλκαλικές συνθήκες μέσω της αντίδρασης Lobry de Bruyn-Alberda van Ekenstein και σε χαμηλή απόδοση ως παραπροϊόν της δράσης β -γαλακτοζιδάσης. Παράγεται με θέρμανση γάλακτος σε συνθήκες αποστείρωσης και είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης της σοβαρότητας της θερμικής επεξεργασίας στην οποία έχει υποβληθεί το γάλα. Μπορεί επίσης να συμβεί ισομερισμός της χαρακτηριστικής ομάδας γλυκόζης σε μαννόζη, αποδίδοντας επιλακτόζη σε ίχνη. Σε αυτές τις αντιδράσεις ισομερισμού οι γαλακτικές συνιστώσες είναι

δραστικές ως καταλύτες. Δεν υδρολύεται από την εντερική *β-γαλακτοζιδάση* και ως εκ τούτου φθάνει στο παχύ έντερο όπου μπορεί να μεταβολιστεί από βακτήρια γαλακτικού οξέος, συμπεριλαμβανομένου του *Bifidobacterium spp.* Η λακτουλόζη αναφέρεται επίσης ότι καταστέλλει την ανάπτυξη ορισμένων καρκινικών κυττάρων (Fox et al. 1998, Tamura, Mizota, Shimamura & Tomita 1993).

Άλλες αντιδράσεις που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας είναι η καραμελοποίηση και οι αντιδράσεις Maillard. Οι τελευταίες εμφανίζονται παρουσία των αμινομάδων, ιδιαίτερα της ε-αμινομάδας των υπολειμμάτων λυσίνης.

Ως προς τη γλυκύτητα, ένα διάλυμα λακτόζης είναι περίπου 0.3 φορές πιο γλυκό από ένα διάλυμα σακχαρόζης της ίδιας συγκέντρωσης. Αν η λακτόζη υδρολυθεί σε γλυκόζη και γαλακτόζη, η γλυκύτητα ενισχύεται σημαντικά (Walstra 2005, Fox, Mcsweeney & Paul 1998).

1.5.3 Διατροφή

Η λακτόζη αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ενέργειας για τα νεογέννητα παιδιά και παρέχει σχεδόν κατά το ήμισυ της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας. Όμως, δεν ωφελεί σε τίποτα τους ενήλικες.

Η λακτόζη δεν μπορεί να απορροφηθεί στο αίμα. Πρέπει πρώτα να υδρολυθεί σε γλυκόζη και γαλακτόζη. Αυτό συμβαίνει αργά, πράγμα που εμποδίζει την ξαφνική μεγάλη αύξηση του επιπέδου γλυκόζης του αίματος μετά την κατάποση σημαντικής ποσότητας γάλακτος. Τα υψηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα θεωρούνται επιβλαβή. Επιπλέον, αν κάποιο σάκχαρο (γαλακτόζη και λακτόζη) φθάσει στο παχύ έντερο, χρησιμεύει ως πηγή άνθρακα για πολλά καλοήθη βακτήρια του παχέος εντέρου. Η λακτόζη υδρολύεται από το ένζυμο λακτάση, πιο συγκεκριμένα τη *β-γαλακτοζιδάση*, που εκκρίνεται στο λεπτό έντερο. Φυσικά, οι νεοσσοί που θηλάζουν χρειάζονται αυτό το ένζυμο, αλλά μετά τον απογαλακτισμό, η ποσότητα του παραγόμενου ενζύμου μειώνεται σε ασήμαντο επίπεδο. Αυτό δεν ισχύει για όλους τους ανθρώπους. Οι εκτιμήσεις ποικίλλουν, αλλά σε τουλάχιστον το 60% των ατόμων ηλικίας άνω των 4 ετών η δραστηριότητα των ενζύμων μειώνεται σημαντικά (σε 5 έως 10%) και έτσι μεταβολίζουν ελάχιστα τη λακτόζη. Αυτοί οι άνθρωποι καλούνται δυσαπορροφητές λακτόζης.

Το πόσιμο γάλα ενισχύει σημαντικά τη δραστηριότητα της χλωρίδας του παχέος εντέρου. Περίπου οι μισοί από τους δυσαπορροφητές αναπτύσσουν σημαντικά προβλήματα, που κυμαίνονται από το μετεωρισμό έως τη σοβαρή διάρροια. Αυτή η ασθένεια ονομάζεται δυσανεξία στη λακτόζη. Έτσι, οι άνθρωποι δεν μπορούν να πίνουν γάλα σε σημαντικές ποσότητες, π.χ. 100 mL την ημέρα. Σε πληθυσμούς στους οποίους το γάλα αποτελεί μέρος της διατροφής για πολυάριθμες γενιές (άνθρωποι που ζουν ή προέρχονται από το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης και τμήματα της Κεντρικής και Δυτικής Ασίας, της Ινδίας και της Ανατολικής Αφρικής), οι δυσαπορροφητές είναι σπάνιοι. Σε άλλους πληθυσμούς είναι πολύ συνηθισμένοι. Έχει παρατηρηθεί συχνά ότι τα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση, προκαλούν δυσανεξία στη λακτόζη, μολονότι εξακολουθούν να περιέχουν περίπου τα δύο τρίτα της αρχικής λακτόζης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης είναι η επεξεργασία του γάλακτος με λακτάση: η λακτόζη υδρολύεται σχεδόν πλήρως σε γλυκόζη και γαλακτόζη (επιπλέον, σχηματίζονται μερικοί ολιγοσακχαρίτες). Όπως αναφέρθηκε, αυξάνεται σημαντικά η γλυκιά γεύση του γάλακτος (Walstra 2005).

1.5.4 Δυσανεξία στη λακτόζη

Η λακτόζη που προσλαμβάνεται από τη διατροφή, υδρολύεται στο λεπτό έντερο με το ενδογενές ένζυμο *υδρολάση της λακτόζης - φλοριζίνης (λακτάση)*. Η υδρολάση λακτόζης-φλοριζίνης είναι μία *δισακχαριδάση* που παράγεται στο έντερο θηλαστικών ζώων και εντοπίζεται στη μεμβράνη μικροβίων των επιθηλιακών κυττάρων του λεπτού εντέρου. Η *υδρολάση λακτόζης-φλοριζίνης* αγκυρώνεται στη μεμβράνη από το άκρο του C-τερματικού, με το μεγαλύτερο μέρος του μορίου να στρέφεται προς τον αυλό του εντέρου. Είναι μία μεγάλη γλυκοπρωτεΐνη με δύο δραστικές θέσεις που μπορούν να καταλύσουν την υδρόλυση μίας ποικιλίας β-γλυκοζιτών (φλοριζίνη) και β-γαλακτοζιδών, συμπεριλαμβανομένης της λακτόζης. Η λακτάση κωδικοποιείται από ένα μόνο γονίδιο περίπου 50 kb που βρίσκεται στο χρωμόσωμα 2. Στον άνθρωπο, αυτό το ένζυμο συντίθεται ως πρόδρομό του, αποτελούμενο από 1927 αμινοξέα. Τα πρώτα 19 αμινοξέα αυτού του προδρόμου σχηματίζουν την αλληλουχία σήματος που διασπάται στο ενδοπλασματικό δίκτυο, με αποτέλεσμα να μείνουν 1908 αμινοξέα στο πρόδρομο αυτό ένζυμο. Στη συνέχεια, αυτό γλυκοζυλιώνεται στο σύμπλεγμα Golgi. Αυτή η γλυκοζυλίωση είναι κρίσιμη για τη σωστή αναδίπλωση, τη σωστή διακίνηση πρωτεϊνών και την επακόλουθη ενζυματική δραστηριότητα. Μία επακόλουθη διάσπαση οδηγεί στο σχηματισμό ενός 160 kDa β-υδρολάσης λακτόζης-φλοριζίνης και α-υδρολάσης λακτόζης-φλοριζίνης. Η β-υδρολάση λακτόζης-φλοριζίνης εκφράζεται στην κορυφαία μεμβράνη και διασπάται με θρυψίνη για να ληφθεί η εντερική της μορφή. Η α-

υδρολάση λακτόζης-φλοριζίνης φαίνεται να είναι ενζυματικά ανενεργή έναντι της λακτόζης. Η ώριμη πρωτεΐνη διαθέτει δύο δραστικές θέσεις: τη Glu 1273, στην περιοχή III, που είναι υπεύθυνη για την υδρόλυση γλυκοζιτών όπως η φλοριζίνη και τη Glu 1749, που καταλύει την υδρόλυση γαλακτοζιδών, όπως η λακτόζη. Σε περίπτωση ανεπάρκειας της λακτάσης, παρατηρείται δυσλειτουργία της σύνθεσης. Η ανεπάρκεια της λακτάσης μπορεί να είναι γενετική (πρωτογενής ανεπάρκεια λακτάσης) ή σχετιζόμενη με τη νόσο (δευτερογενής ανεπάρκεια λακτάσης).

Στην πρωτογενή ανεπάρκεια λακτάσης συναντώνται δύο μορφές. Η πιο σοβαρή, που ονομάζεται συγγενής ανεπάρκεια λακτάσης (CLD), είναι μία σπάνια και σοβαρή αυτοσωμική υπολειπόμενη διαταραχή που επηρεάζει τα νεογέννητα. Η πιο συνηθισμένη εξήγηση για το CLD είναι η εμφάνιση ενός πρόωρου κωδικώνου τερματισμού, που οφείλεται σε μετατοπίσεις πλαισίων, μεταλλάξεις ανυπαρξίας στην κωδικοποιητική περιοχή της υδρολάσης λακτόζης-φλοριζίνης ή επικάλυψη εξονίου. Η στρατηγική θεραπείας είναι η ταχεία απομάκρυνση της λακτόζης από τη διαίτα για τον περιορισμό της αφυδάτωσης και της απώλειας ηλεκτρολυτών.

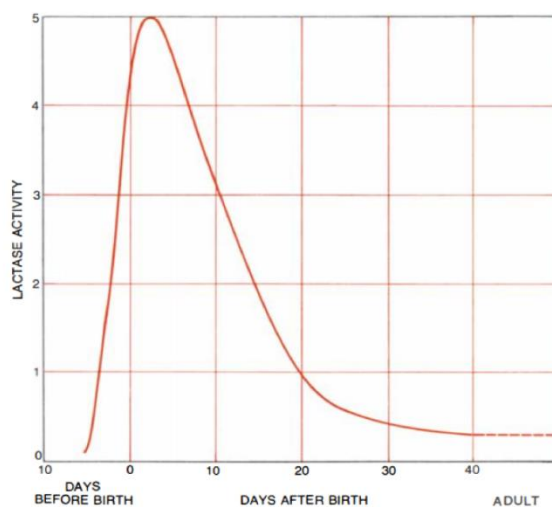
Η δευτερογενής ανεπάρκεια λακτάσης προκαλείται από ασθένειες ή θεραπείες που τραυματίζουν τον εντερικό βλεννογόνο (ασθένεια του Crohn, χρόνια φλεγμονή του εντέρου, χημειοθεραπεία του καρκίνου, κλπ.). Αυτή η μορφή είναι προσωρινή, καθώς η δραστηριότητα της λακτάσης επανεμφανίζεται μόλις θεραπευθεί το επιθήλιο.

Η μη ύπαρξη της λακτάσης (LNP) αποτελεί τη λιγότερο σοβαρή και πιο συνήθη μορφή. Οφείλεται σε μία ρύθμιση της δραστηριότητας της λακτάσης στα εντερικά κύτταρα μετά τον απογαλακτισμό.

Η δυσαπορρόφηση της λακτόζης (LM) υποδεικνύει ότι ένα μέρος της λακτόζης που λαμβάνεται δεν υδρολύεται στο λεπτό έντερο και φθάνει στο παχύ έντερο. Η ανεπάρκεια της λακτάσης είναι ουσιαστικά πάντα υπεύθυνη για τη δυσαπορρόφηση της λακτόζης.

Η δυσανεξία στη λακτόζη (LI) είναι η κλινική έκφραση και η συμπτωματική απόκριση στη δυσαπορρόφηση της λακτόζης, δηλαδή διάρροια, κοιλιακή δυσφορία, μετεωρισμός και φούσκωμα. Εάν εισάγονται μικρές ποσότητες λακτόζης, τα κλινικά συμπτώματα είναι περιορισμένα ή απουσιάζουν.

Η σύνθεση της *λακτάσης* είναι σημαντική κατά το πρώτο έτος της ζωής. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μία γενετική μείωση της παραγωγής της. Η εμφάνιση της δυσανεξίας στη λακτόζη αρχίζει συνήθως μεταξύ των 2 και 3 ετών, και ολοκληρώνεται μεταξύ των 5 και 10. Μόνο 5-10 % της αρχικής δραστηριότητας διατηρείται (Εικόνα 4). Ωστόσο, η εθνικότητα παίζει σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, σε λαούς με αρχαία παράδοση κατανάλωσης γάλακτος, παρουσιάζεται μικρό ποσοστό δυσανεξίας στη λακτόζη. Έτσι, σε άτομα της βόρειας Ευρώπης εμφανίζεται σε ποσοστό 15%, σε άτομα από την Αφρική, τη λατινική Αμερική, 70-80%, ενώ σε πολλούς ασιατικούς πληθυσμούς φτάνει το 100% (Corgneau, Scher, Ritie-Pertusa, Petit, Nikolova & Gaiani 2017).



Εικόνα 4: Η δραστηριότητα της *λακτάσης* σε σχέση με την ηλικία στον άνθρωπο (Kretchmer 1972)

1.5.5 Συμπτώματα δυσανεξίας στη λακτόζη

Η δυσαπορρόφηση της λακτόζης συμβαίνει όταν η λακτόζη δεν απορροφάται στο λεπτό έντερο. Περνά μέσω του γαστρεντερικού σωλήνα στο έντερο, όπου σε μερικά άτομα οδηγεί στη συνέχεια σε συμπτώματα δυσανεξίας στη λακτόζη. Τα τυπικά συμπτώματα της δυσανεξίας στη λακτόζη περιλαμβάνουν κοιλιακό άλγος, φούσκωμα, διάρροια και σε μερικές περιπτώσεις ναυτία και έμετο. Σε μερικές περιπτώσεις, μειώνεται η γαστρεντερική κινητικότητα και τα άτομα μπορεί να παρουσιάσουν δυσκοιλιότητα, πιθανώς ως συνέπεια της παραγωγής μεθανίου. Ο κοιλιακός πόνος και το φούσκωμα προκαλούνται τυπικά από την κολονική ζύμωση της μη-απορροφημένης λακτόζης από τη βακτηριακή μικροχλωρίδα που οδηγεί στην παραγωγή λιπαρών οξέων βραχείας αλυσίδας (SCFA), υδρογόνου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, αυξάνοντας έτσι το χρόνο διέλευσης του εντέρου και την ενδοκλωνική πίεση.

Η οξίνιση του περιεχομένου του παχέος εντέρου και το αυξημένο ωσμωτικό φορτίο που προκύπτει από τη μη απορροφημένη λακτόζη στον ιλέο και στο έντερο, οδηγούν σε μεγαλύτερη έκκριση ηλεκτρολυτών και υγρών και σε γρήγορο χρόνο διέλευσης που έχει ως αποτέλεσμα χαλαρά κόπρανα και διάρροια.

Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα, όταν τα άτομα περιγράφουν συστηματικά συμπτώματα. Ενώ αυτά μπορεί να είναι συμπτωματικά, θα μπορούσαν να είναι ένδειξη της αλλεργίας στην πρωτεΐνη αγελαδινού γάλακτος, η οποία επηρεάζει το 20% των ασθενών με συμπτώματα που υποδηλώνουν δυσανεξία στη λακτόζη. Η αλλεργία πρωτεΐνης γάλακτος αγελάδας είναι σπάνια στους ενήλικες.

Εκτός από την αιματηρή διάρροια, εμφανίζονται εξω-εντερικά συμπτώματα και μπορεί να περιλαμβάνουν πόνο στους μύες και στις αρθρώσεις, πονοκεφάλους, ζάλη, λήθαργο, δυσκολία στη βραχυχρόνια μνήμη, στοματικά έλκη, αλλεργίες (έκζεμα, κνησμό, ρινίτιδα, ιγμορίτιδα και άσθμα), καρδιακή αρρυθμία, αυξημένη συχνότητα ούρησης, ακμής και κατάθλιψης. Μερικοί ασθενείς δεν συσχετίζουν τα συμπτώματά τους με τη δυσανεξία στη λακτόζη.

1.5.6 Διάγνωση δυσανεξίας στη λακτόζη

Η διάγνωση της δυσανεξίας στη λακτόζη γίνεται εκτιμώντας τα συμπτώματα, το ιατρικό ιστορικό και τις διαγνωστικές εξετάσεις του ασθενούς. Υπάρχουν διάφορα διαγνωστικές εξετάσεις: η εξέταση της γλυκόζης στο αίμα, της γασιλόζης, η βιοψία του μικρού εντέρου, η εξέταση κοπράνων, η γενετική εξέταση και η εξέταση εκπνοής υδρογόνου.

Η εξέταση γλυκόζης στο αίμα αφορά τη μέτρηση των επιπέδων γλυκόζης μετά από χορήγηση 50 g λακτόζης. Σημαντική αύξηση της γλυκόζης αίματος μετά από 30 min, δείχνει υψηλή δραστηριότητα λακτάσης. Το πλεονέκτημα της δοκιμής αντοχής στη λακτόζη είναι ότι είναι φθηνό, εύκολο στην εκτέλεση και έχει ευαισθησία 75% -96% σε ασθενείς άνω των 18 ετών. Τα πιθανά μειονεκτήματα περιλαμβάνουν την επαγωγή δυσάρεστων συμπτωμάτων, βλάβη ιστού μετά από φλεβοπαρακέντηση και αναξιόπιστα αποτελέσματα, ειδικά σε ασθενείς με διαβήτη ή γαστροπάρεση. Τα αποτελέσματα είναι επίσης αναξιόπιστα, επειδή η επεξεργασία της λακτόζης εξαρτάται επίσης από το μεταβολισμό, την εντερική χλωρίδα και τη διατροφή, τα οποία ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των ασθενών (Lomer, Parkes & Sanderson 2008).

Η δοκιμασία γαζιλόζης για την υπολακτασία χρησιμοποιεί τη 4-γαλακτοζυλοξυλόζη, μία συνθετική ένωση ανάλογη με τη λακτόζη. Η ένωση υδρολύεται από το ένζυμο λακτάση, παράγοντας γαλακτόζη και d-ξυλόζη, όπου η τελευταία εκκρίνεται στα ούρα. Πριν από τη δοκιμή, ο ασθενής νηστεύει για περίπου 12 h, στη συνέχεια καταναλώνει 0.45 g γαζιλόζης σε 100 mL νερού. Τα ούρα συλλέγονται μετά από 5 h και ελέγχονται για d-ξυλόζη. Εάν ο ασθενής έχει υπολακτασία, η γαζιλόζη δεν θα μεταβολίζεται και θα υπάρχει μικρότερη ποσότητα d-ξυλόζης στα ούρα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της δοκιμής είναι ότι οι μεταβολίτες της γαζιλόζης δεν προκαλούν τα δυσάρεστα συμπτώματα που σχετίζονται με τη δυσανεξία στη λακτόζη, σε αντίθεση με την παραδοσιακή δοκιμή ανοχής στη λακτόζη. Άλλα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν ευαισθησία πάνω από 90%, ευκολία χορήγησης και αντικειμενικά και ποσοτικά δεδομένα. Το κύριο μειονέκτημα της δοκιμής είναι η παρουσία ψευδών θετικών λόγω της ανίχνευσης δευτερογενούς υπολακτασίας.

Ένα άλλο διαγνωστικό τεστ είναι η βιοψία μικρού εντέρου ή ταχεία δοκιμή λακτόζης. Διεξάγεται βιοψία του δωδεκαδάκτυλου και στη συνέχεια χορηγείται διάλυμα λακτόζης. Υπό κανονικές συνθήκες, η λακτόζη πρέπει να διασπαστεί σε λιγότερο από 20 min, όπως αποδεικνύεται από μία αλλαγή χρώματος στο διάλυμα. Εάν δεν υπάρχει επαρκής λακτάση στη βιοψία, το χρώμα δεν θα αλλάξει. Τα πλεονεκτήματα της βιοψίας του δωδεκαδάκτυλου περιλαμβάνουν υψηλότερη ευαισθησία από τη δοκιμή αναπνοής με υδρογόνο, γρηγορότερη και λιγότερο δαπανηρή και δίνει τη δυνατότητα αποκλεισμού άλλων ασθενειών του λεπτού εντέρου, όπως η κοιλιοκάκη. Παρόλο που είναι το χρυσό πρότυπο διάγνωσης, δεν χρησιμοποιείται ευρέως, επειδή είναι πολύ επεμβατικό και τα αποτελέσματα μπορεί να μην είναι αξιόπιστα λόγω της άνισης κατανομής της λακτάσης στο λεπτό έντερο.

Υπάρχουν πολλές εξετάσεις κοπράνων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση της δυσανεξίας στη λακτόζη, συμπεριλαμβανομένου του pH και των αναγωγικών σακχάρων. Σε βρέφη και μικρά παιδιά, οι παιδίατροι τις χρησιμοποίησαν για να ελέγξουν το pH των κοπράνων του ασθενούς και για να αξιολογήσουν την οξύτητα από την ζύμωση της λακτόζης. Η δοκιμή αυτή έχει σταματήσει σε μεγάλο βαθμό, επειδή δεν είναι συγκεκριμένη και τα κόπρανα των ενηλίκων είναι συνήθως γύρω από το ουδέτερο από τη στιγμή που φθάνουν στον πρωκτό, ακόμη και σε εκείνους με δυσανεξία. Μία άλλη δοκιμή κοπράνων που χρησιμοποιείται πιο συχνά είναι η δοκιμασία αντιδραστηρίων του Benedict και η χρωματογραφία χαρτιού. Η δοκιμή του Benedict μετρά την ποσότητα των αναγωγικών σακχάρων που υπάρχουν, και η χρωματογραφία χαρτιού προσδιορίζει τον τύπο του

αναγωγικού σακχάρου που υπάρχει σε ένα δείγμα διάρροιας. Ένα μειονέκτημα της δοκιμής κοπράνων είναι ότι τυπικά απαιτεί ο ασθενής να έχει διάρροια τη στιγμή της δοκιμής.

Η γενετική δοκιμασία για την υπολακτασία περιλαμβάνει την αλληλούχιση του γονιδιώματος και στη συνέχεια την ανάλυσή του για δύο πολυμορφισμούς ενός νουκλεοτιδίου που σχετίζεται με τη μη διαβίωση της λακτάσης. Σε ασθενείς με διατήρηση της λακτάσης, ο γονότυπος που βρέθηκε είναι 13910 C/T και 22018 G/A. Σε ασθενείς με υπολακτασία, οι μονοπυρηνικοί πολυμορφισμοί CC-13910 και GG-22018 βρίσκονται στο γονιδιώμα τους. Τα πλεονεκτήματα της γενετικής εξέτασης περιλαμβάνουν ευαισθησία 96.6% και ειδικότητα 80.4%. Τα μειονεκτήματα της δοκιμής περιλαμβάνουν δαπάνη, μη αξιόπιστα αποτελέσματα σε μη καυκάσιους πληθυσμούς και ανίχνευση μόνο δύο πολυμορφισμών που μπορεί να συνεισφέρουν στη μη διαβίωση της λακτάσης. Είναι μία μη λειτουργική αξιολόγηση, επομένως δεν αξιολογεί τα πραγματικά επίπεδα λακτάσης ή παράγοντες που μπορούν να τροποποιήσουν την έκφραση των ρυθμιστικών γονιδίων της λακτάσης (Watson, Collier & Preedy 2017).

Άλλος τρόπος διάγνωσης αποτελεί το τεστ αναπνοής. Το εκπνεόμενο H_2 χρησιμοποιείται ως μη επεμβατικός διαγνωστικός έλεγχος για τη δυσανεξία της λακτόζης. Θεωρείται ως η πιο αξιόπιστη, μη επεμβατική και οικονομική τεχνική. Κατά την εξέταση, συνιστάται η χορήγηση και απορρόφηση 25 g λακτόζης από το στόμα και η μέτρηση των επιπέδων υδρογόνου ανά 30 min κατά τη διάρκεια 4 h (3 h για παιδιατρική χρήση). Το βράδυ πριν την εξέταση συνιστάται, μία περιορισμένη δίαιτα, απαλλαγμένη από μη απορροφήσιμους υδατάνθρακες. Μία συγκέντρωση αναπνοής ανώτερη των 20 ppm H_2 πάνω από τη βασική γραμμή υποδεικνύει δυσανεξία στη λακτόζη. Η δοκιμή αναπνοής δείχνει μία καλή ευαισθησία και εξαιρετική εξειδίκευση. Ωστόσο, εμφανίζεται ένα ποσοστό της τάξης έως 20% ψευδών περιπτώσεων.(Corgneauetal 2017).

1.5.7 Η περιεκτικότητα λακτόζης που προκαλεί προβλήματα στο έντερο

Μελέτες, χρησιμοποιώντας το τεστ εκπνοής υδρογόνου, έδειξαν ότι δεν υπήρξε αύξηση στα επίπεδα του παραγόμενου υδρογόνου μετά την κατανάλωση 2 g λακτόζης σε σχέση με την κατανάλωση 0 g. Επίσης, η κατανάλωση 6 g δεν αύξησε τα συμπτώματα της δυσανεξίας στη λακτόζη. Έτσι, άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη μπορούν να καταναλώσουν τρόφιμα με μικρές δόσεις λακτόζης, όπως τυριά και μικρές ποσότητες γάλακτος (120 mL). Ωστόσο, τα συμπτώματα μετά από την κατανάλωση 12 g λακτόζης αυξήθηκαν (Hertzler, Huynh & Savaiano 1996).

1.5.8 Τρόποι αντιμετώπισης

Η κατάλληλη θεραπεία της δυσανεξίας στη λακτόζη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προέλευση της κατάστασης. Η δυσανεξία στη λακτόζη αντιμετωπίζεται είτε μέσω διαιτητικών περιορισμών είτε μέσω φαρμακευτικής θεραπείας ή με συνδυασμό και των δύο. Οι ασθενείς που διαγνώσκονται με δυσανεξία στη λακτόζη μπορούν να καταναλώσουν περίπου 12 g λακτόζης σε ένα γεύμα με λίγα ή καθόλου γαστρεντερικά συμπτώματα. Πολλοί ασθενείς είναι σε θέση να διαχειριστούν τα συμπτώματά τους, περιορίζοντας απλώς την πρόσληψη προϊόντων που περιέχουν λακτόζη. Η πλήρης εξάλειψη των προϊόντων που περιέχουν λακτόζη πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο σε ασθενείς με μέτρια έως σοβαρά γαστρεντερικά συμπτώματα, επειδή αυτή η δίαιτα μπορεί να οδηγήσει σε ανεπάρκεια ασβεστίου, φωσφόρου και βιταμινών.

Μία άλλη επιλογή για όσους έχουν διαγνωστεί με δυσανεξία στη λακτόζη είναι η χρήση φαρμακευτικής θεραπείας, είτε με συμπληρώματα ενζύμων λακτάσης, είτε με προβιοτικά. Τα συμπληρώματα λακτάσης λαμβάνονται με γεύματα που περιέχουν λακτόζη και βοηθούν στη διάσπαση της λακτόζης στο λεπτό έντερο. Τα προβιοτικά περιέχουν μικροοργανισμούς που είναι σε θέση να διασπάσουν τη λακτόζη και μπορούν είτε να χορηγηθούν ως συμπλήρωμα, είτε να προστεθούν σε προϊόντα που περιέχουν λακτόζη. Τα προβιοτικά συμπληρώματα χορηγούνται σε μία τυπική δόση, ανεξάρτητα από την ποσότητα της λακτόζης που καταναλώνεται και συνήθως λαμβάνονται μία ή δύο φορές την ημέρα.

Τέλος, μία άλλη στρατηγική είναι η κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων χαμηλής περιεκτικότητας σε λακτόζη. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν το τυρί και το γιαούρτι. Στο τυρί, το μεγαλύτερο μέρος της λακτόζης χάνεται στον ορό γάλακτος κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρασκευής, ενώ στο γιαούρτι, μεγάλο ποσοστό της λακτόζης μετατρέπεται σε γαλακτικό οξύ με βακτηριακή δράση.

1.5.9 Ενζυμική υδρόλυση - Ένζυμα

Η *β-γαλακτοζιδάση* ανήκει στην οικογένεια των υδρολασών που μετατρέπουν σάκχαρα. Είναι ευρέως διανεμημένα σε πολλά βιολογικά συστήματα, π.χ. μικροοργανισμών, φυτών και ζωικών ιστών. Σε σύγκριση με τις ζωικές και φυτικές πηγές του ενζύμου, οι μικροοργανισμοί παράγουν ένζυμο σε υψηλότερες αποδόσεις. Η *β-γαλακτοζιδάση* εμφανίζεται σε μία ποικιλία μικροοργανισμών, συμπεριλαμβανομένων ζυμομυκήτων, μυκήτων, βακτηρίων και μυκήτων ακτίνης.

Οι βιομηχανικές *λακτάσες* μπορούν να υποδιαιρεθούν σε δύο ομάδες: ουδέτερες και όξινες *λακτάσες*. Οι εφαρμογές και των δύο τύπων *λακτάσων* είναι εντελώς διαφορετικές και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το βέλτιστο pH και τη σταθερότητά τους. Οι ιδιότητες και οι διεργασίες παραγωγής και για τους δύο τύπους *λακτάσης* είναι επίσης διαφορετικές. Οι ουδέτερες *λακτάσες* χρησιμοποιούνται γενικά σε ουδέτερα τρόφιμα, όπως το γάλα, ενώ οι όξινες *λακτάσες* χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα διατροφής. Όλες οι ουδέτερες *λακτάσες* παράγονται από ένα από τα δύο στενά συνδεδεμένα είδη ζυμομύκητα *Kluyveromyces lactis* ή *Kluyveromyces marxianus* (προηγουμένως ονομαζόμενα *Kluyveromyces fragilis*). Οι όξινες *λακτάσες* παράγονται από τους νηματώδεις μύκητες *Aspergillus oryzae* και *Aspergillus niger*. Μία τρίτη, βακτηριακή, *β-γαλακτοζιδάση* προέρχεται από την ζύμωση του *Bacillus circulans*, η οποία χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για τη δραστηριότητα της *τρανσγλυκοζύλασης* και όχι ως υδρολάση όπως και άλλες εμπορικές *λακτάσες*.

Οι διαθέσιμες εμπορικές *λακτάσες* διαφέρουν ευρέως στις ιδιότητές τους, ιδιαίτερα σε σχέση με το βέλτιστο pH και τη θερμοκρασία τους. Οι ουδέτερες *λακτάσες* από τους ζυμομύκητες *Kluyveromyces* και του βακτηρίου *Bifidobacterium bifidus* έχουν ένα βέλτιστο ουδέτερο pH και επομένως είναι πολύ κατάλληλες για την υδρόλυση της λακτόζης στο γάλα (Passerat, Desmanson & de Conférences 1995). Ωστόσο, ανάλογα με τη θερμοκρασία ζύμωσης και τη δοσολογία ενζύμου, μπορεί να επιτευχθεί μία γρήγορη ή/και ακόμη πλήρης υδρόλυση με μία ουδέτερη *λακτάση* κατά τη διαδικασία παρασκευής γιαουρτιού. Οι ουδέτερες *λακτάσες* μετουσιώνονται γρήγορα πάνω από τους 40°C, αν και το γάλα μπορεί να έχει κάποια σταθεροποιητική επίδραση στο ένζυμο. Η απενεργοποίηση της ζυμομυκητικής *λακτάσης* σε θερμοκρασία παστερίωσης εμποδίζει την παρουσία ενεργού ενζύμου στο τελικό προϊόν.

Οι λακτάσες των μυκήτων ενεργοποιούνται με οξίνιση, αλλά δρουν ελάχιστα στο pH του γάλακτος. Η λακτάση του *A. Oryzae* έχει βέλτιστο pH=4.5 και του *A. Niger* είναι 3. Το βέλτιστο θερμοκρασιακό εύρος, τόσο για τη δραστηριότητα όσο και για τη σταθερότητα των ενζύμων, για την υδρόλυση της λακτόζης είναι στους 50-55°C. Η οξίνιση οδηγεί, ωστόσο, σε μία ταχεία απώλεια δραστηριότητας, η οποία περιορίζει τη χρήση του ενζύμου. Η κύρια εφαρμογή των όξινων λακτασών είναι ως συμπλήρωμα διατροφής, όπου η υδρόλυση της λακτόζης λαμβάνει χώρα στο στομάχι (Fuquay, McSweeney & Fox 2011).

Οι ιδιότητες της β-γαλακτοζιδάσης που έχουν απομονωθεί από διάφορους μικροοργανισμούς, συνοψίζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά μικροοργανισμών που παράγουν λακτάση (Rosenberg, 2006).

Μικροοργανισμός		Παραγωγή του ενζύμου	Βέλτιστο pH	Βέλτιστη θερμοκρασία
Μύκητες	<i>Aspergillus niger</i>	Εξωκυτταρικά	3.0 – 4.0	55 – 60
	<i>Aspergillus oryzae</i>		5.0	50 – 55
Ζυμομύκητες	<i>Kluyveromyces lactis</i>	Ενδοκυτταρικά	6.5 – 7.0	30 – 35
	<i>Kluyveromyces fragilis</i>		6.6	30 – 35
Βακτήρια	<i>Escherichia coli</i>	Ενδοκυτταρικά	7.2	40
	<i>Laactobacillus thermophilus</i>		6.2	55
	<i>Leuconostoc citrovorum</i>		6.5	66
	<i>Bacillus circulans</i>		6.0	65

1.5.10 Τεχνολογία προϊόντων μειωμένης ή ελεύθερα λακτόζης

Το γάλα μπορεί να τροποποιηθεί κατάλληλα για άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Υπερδιήθηση, η οποία επίσης απομακρύνει πολύτιμα μέταλλα και βιταμίνες και ως εκ τούτου το γάλα πρέπει να συμπληρωθεί με αυτά.
2. Ζύμωση σε γιαούρτι ή άλλο ζυμωμένο προϊόν στο οποίο περίπου το 25% της λακτόζης μεταβολίζεται από βακτήρια γαλακτικού οξέος.
3. Μετατροπή σε τυρί, το οποίο είναι ουσιαστικά απαλλαγμένο από λακτόζη.
4. Κατεργασία με εξωγενή β-γαλακτοζιδάση, είτε από τον καταναλωτή, είτε από το εργοστάσιο γαλακτοκομικών προϊόντων, χρησιμοποιώντας ελεύθερο ή ακινητοποιημένο ένζυμο.

Τα γάλατα υδρολυμένα με λακτόζη είναι τεχνολογικά επιτυχημένα και εμπορικά διαθέσιμα, αλλά δεν έχουν οδηγήσει σε μεγάλες αυξήσεις στην κατανάλωση γάλακτος σε χώρες, όπου η δυσανεξία στη λακτόζη είναι ευρέως διαδεδομένη. Προφανώς λόγω πολιτισμικών και οικονομικών παραγόντων. Ωστόσο, υπάρχουν εξειδικευμένες αγορές για τέτοια προϊόντα.

Η ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης και η επεξεργασία μεμβράνης είναι οι δύο εμπορικές χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις για την παρασκευή γαλακτοκομικών προϊόντων ελεύθερων ή μειωμένης λακτόζης. Η ενζυμική υδρόλυση του αγελαδινού γάλακτος άρχισε με την εμπορική διαθεσιμότητα μελετών που αποδεικνύουν πειστικά ότι η παραγωγή αναπνοής H₂ και τα συμπτώματα δυσφορίας είναι μειωμένα μετά την κατανάλωση γάλακτος χωρίς λακτόζη, συγκριτικά με το τυποποιημένο γάλα.

Η ενζυματική υδρόλυση του αγελαδινού γάλακτος άρχισε με την εμπορική διαθεσιμότητα *β-γαλακτοζιδάσης* από τις μικροβιακές πηγές στις αρχές της δεκαετίας του 1970. Σήμερα, η *β-γαλακτοζιδάση* είναι ένα από τα σημαντικότερα ένζυμα που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων. Τρεις τεχνικές χρησιμοποιούνται βιομηχανικά για την υδρόλυση της λακτόζης:

- Παρτίδα μίας χρήσης (διαλυτό ένζυμο),
- Ανάκτηση (επαναχρησιμοποιούμενο ένζυμο) και
- Ακινητοποιημένο σύστημα.

Η επιλογή της τεχνολογίας των διαδικασιών εξαρτάται από τη φύση του υποστρώματος, τα χαρακτηριστικά των ενζύμων και το κόστος παραγωγής / αποθήκευσης / εμπορίας του προϊόντος. Πράγματι, το κόστος της διαδικασίας λακτόζης-υδρόλυσης μειώνεται σημαντικά με τη χρήση ακινητοποιημένων ενζύμων. Μία ουδέτερη *β-γαλακτοζιδάση* προστίθεται συνήθως στο παστεριωμένο γάλα στους 6-8°C και αφήνεται να επωαστεί επί 20-30 h. Ο βαθμός υδρόλυσης μπορεί να ελεγχθεί, μεταβάλλοντας το χρόνο και τη θερμοκρασία επώασης, καθώς και τη δόση του ενζύμου, και εξαρτάται από το επιθυμητό προϊόν (προϊόντα χωρίς λακτόζη ή προϊόντα μειωμένης λακτόζης). Όταν επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός υδρόλυσης, το γάλα θερμαίνεται πάλι (υπερ-παστεριωμένο) για την απενεργοποίηση του ενζύμου.

1.5.11 Επίδραση της υδρόλυσης της λακτόζης στην ζύμωση του γιαουρτιού

Πολλές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί για την παραγωγή προϊόντων μειωμένης ή ελεύθερα λακτόζης. Οι Moreira, da Silva, Fagundes, Ferreira, Cândido, Passos & Krüger (2017), μελετώντας την υδρόλυση της λακτόζης σε αγελαδινό γάλα, με ενζυμική υδρόλυση στους 38°C για 2 h, και μετέπειτα θερμική κατεργασία στο γάλα στους 70°C για 30 min, παρατήρησαν τη μείωση της λακτόζης κατά 98% και την αύξηση του χρόνου ζύμωσης. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Kárnyáczki & Csanádi (2017), παρατηρώντας το pH του υδρολυμένου σε λακτόζη μίγματος να είναι υψηλότερο από αυτό του συμβατικού στον ίδιο χρόνο. Επίσης, παρατηρήθηκε επιμήκυνση του χρόνου ζύμωσης κατά 1 h, που οφείλεται στην καθυστερημένη έναρξη παραγωγής γαλακτικού οξέος κατά το 1^ο στάδιο της ζύμωσης (ανάπτυξη του *S. thermophilus*). Σύμφωνα με τους Ismail, Mogensen & Poulsen (1983), δοκιμάζοντας δύο διαφορετικά ένζυμα στους 25°C για 30 min, παρατηρήθηκε ότι το pH μειώνεται πιο γρήγορα σε σχέση με τη συμβατική ζύμωση, αλλά ο χρόνος της ζύμωσης δεν επηρεάζεται. Επίσης, το ιξώδες των τελικών προϊόντων εμφανίστηκε χαμηλότερο. Αντίθετα, οι Nagaraj, Sharanagouda, Manjunath & Manafi (2009), υδρολύοντας τη λακτόζη στο γάλα στους 40°C για 1 h, με διαφορετική ποσότητα ενζύμου για την επίτευξη διαφόρων επιπέδων υδρόλυσης (50, 70, και 90%), παρατήρησαν μειωμένο χρόνο ζύμωσης, που οφείλεται στη γρηγορότερη ζύμωση της γλυκόζης αντί της λακτόζης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του βαθμού της υδρόλυσης της λακτόζης, οδήγησε σε αύξηση του διαχωρισμού ορού γάλακτος που μπορεί να οφείλεται στην μεγαλύτερη διαλυτότητα των σακχάρων στο μίγμα, και στην αποσταθεροποιημένη πρωτεΐνη (καζεΐνη), που οδήγησε σε ασθενέστερο πήγμα.

1.5.12 Προϊόντα ελεύθερα ή μειωμένης λακτόζης

Ένας εξελιγμένος και αποτελεσματικός τρόπος μείωσης των συμπτωμάτων που προκαλούνται από τη λακτόζη, είναι η ενζυμική υδρόλυσή της στο γάλα. Σε γάλατα μακράς διάρκειας το ένζυμο προστίθεται στο γάλα μετά την αποστείρωση και το προϊόν απελευθερώνεται προς πώληση μετά από μία ορισμένη περίοδο, όταν το επίπεδο της λακτόζης έχει μειωθεί.

Σε γάλατα που έχουν υποστεί ζύμωση, το ένζυμο προστίθεται πριν από την ζύμωση ή ταυτόχρονα με την καλλιέργεια. Εάν προστεθεί με την καλλιέργεια, το ένζυμο πρέπει να είναι ενεργό σε όξινες συνθήκες. Η υδρόλυση της λακτόζης αλλάζει τη γεύση του γάλακτος, καθιστώντας την πιο γλυκιά, επειδή η γλυκόζη και η γαλακτόζη είναι πιο γλυκιά από τη λακτόζη. Αυτό είναι αποδεκτό γεγονός στα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν υποστεί

ζύμωση, ειδικά εάν είναι προστίθενται γλυκαντικά. Ωστόσο, αυτή η γλυκύτητα δεν είναι δημοφιλής στο γάλα για κατανάλωση και έτσι μειώνεται η κατανάλωση γάλακτος. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται, εφόσον γλυκύτητα αποκατασταθεί στο κανονικό της επίπεδο και προσδοθείγούση όπως του φυσιολογικού νωπού γάλακτος (Tamimeetal. 1999).

Η διαδικασία υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας μία από τις ακόλουθες μεθόδους:

- Διαδικασία Α: υδρόλυση χαμηλής θερμοκρασίας στους $<10^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια μίας νύχτας αποθήκευσης.
- Διαδικασία Β: υδρόλυση υψηλής θερμοκρασίας στους $30-35^{\circ}\text{C}$ για 1-2h.
- Διεργασία Γ: υδρόλυση υψηλής θερμοκρασίας στους 30°C όπου το ένζυμο προστίθεται στη βάση επεξεργασμένου γάλακτος μαζί με την καλλιέργεια εκκίνησης.

Στις διεργασίες Α και Β είναι απαραίτητο να αναδεύεται το γάλα και να ρυθμίζεται το pH σε τιμή περίπου 6.6. Η αδρανοποίηση της *β-γαλακτοζιδάσης* επιτυγχάνεται με τη θερμική επεξεργασία. Στη διαδικασία Γ, ο αργός ρυθμός ανάπτυξης οξέος από την καλλιέργεια εκκίνησης βαθμιαία μειώνει τη δραστηριότητα της *β-γαλακτοζιδάσης* και η συνολική ενεργοποίηση μπορεί να εμφανιστεί κάτω από $\text{pH}=5.0$ (Saarela 2007).

2. Πειραματικό Μέρος

2.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα και η ζύμωση του επεξεργασμένου (υδρολυμένου) γάλακτος προς γιαούρτι, ώστε να προκύψει ένα τελικό προϊόν μειωμένης ή/και ελεύθερο λακτόζης.

Η διαδικασία παραγωγής γιαουρτιού μειωμένης ή ελεύθερο λακτόζης, μπορεί πρακτικά να πραγματοποιηθεί στη βιομηχανία, προσθέτοντας ένα ακόμη στάδιο, το στάδιο της ενζυμικής κατεργασίας (υδρόλυσης) της λακτόζης του γάλακτος, προκειμένου να μειωθεί ή/και να εξαλειφθεί η λακτόζη στο γάλα. Επειδή το γάλα έχει ουδέτερο pH, επιλέχθηκε ουδέτερη λακτάση και συγκεκριμένα η λακτάση του βακτηρίου *Bifidobacterium bifidus*.

Αρχικά, διερευνήθηκε η δράση της λακτάσης σε ακατέργαστο πλήρες γάλα (3.5% λιπαρά) σε διαφορετικούς χρόνους ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, καθώς και η εξέλιξη της ζύμωσης γιαουρτιού και των αντικειμενικών χαρακτηριστικών της υφής του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια, μελετήθηκε η επίδραση της διάρκειας της ενζυμικής κατεργασίας του γάλακτος με διαφορετικά λιπαρά και της μετέπειτα θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, στην παραγωγή γιαουρτιού μειωμένης λακτόζης. Τέλος, για τη βελτίωση των αντικειμενικών χαρακτηριστικών της υφής, έγινε προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος.

Έτσι, στην παρούσα μελέτη, παρήχθησαν γιαούρτια μειωμένης ή ελεύθερα λακτόζης και αξιολογήθηκαν ως προς το pH, το ιξώδες, το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης και τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του.

2.2 Υλικά και Μέθοδοι

2.2.1 Πρώτες ύλες

- Πλήρες αγελαδινό γάλα ΦΑΓΕ Α.Ε. (περιεκτικότητα σε λιπαρά 3.5% κ.β.)
- Πλήρες αγελαδινό γάλα (περιεκτικότητα σε λιπαρά 3.7% κ.β.)
- Ημιαποβουτυρωμένο γάλα (περιεκτικότητα σε λιπαρά 1.5% κ.β.)
- Αποβουτυρωμένο γάλα (περιεκτικότητα σε λιπαρά 0% κ.β.)
- Οξυγαλακτική καλλιέργεια *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus* σε αναλογία 1:1 (ΦΑΓΕ Α.Ε.)
- Εδώδιμος ορός γάλακτος σε σκόνη (Κάλλας-Παπαδόπουλος ΑΕΕ, Πορτογαλία)
- Λακτάση (Saphera® FMP, Novozymes)
- Λακτόζη σε σκόνη
- Θεϊκό οξύ
- Φαινόλη 80% w/v.

2.2.2 Όργανα και συσκευές

- Υδατόλουτρο (GFL 1083, Labortechnik GmbH, Burgwedel, Germany)
- Υδατόλουτρο (Kottermann, Labortechnik, type 3047, West Germany)
- Επωαστήρας (SANYO Incubator MIR-153m, Japan)
- Αναλυτής υφής (Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems, UK)
μετοκυλινδρικό στέλεχος Cylinder Probe TA3/100
- Περιτροφικό ιξωδόμετρο (Brookfield/DV-II+Pro, USA)
- Αναλυτικός ζυγός Precisa Series 620C
- pH-μετρο 340i/SET 2A30-101T Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany
- pH-μετρο 3310/SET 2AA312-Clarkson Laboratory & Supply Inc., Germany
- Φωτόμετρο DMS 80 (Varian, Sydney, Australia)
- Αναδευτήρας
- Εργαστηρικά σκεύη κοινής χρήσης:
 - Ποτήρια ζέσεως
 - Ογκομετρικοί κύλινδροι
 - Μικροπιπέτα 200-1000μL
 - Μικροπιπέτα 20-200μL
 - Θερμόμετρο
 - Κατσαρόλες
 - Σιφόνιο των 5 mL
 - Πλαστικά κύπελλα

2. Πειραματική Διαδικασία

2.3.1 Παραγωγή συνεκτικού (σετ) γιαουρτιού χωρίς προσθήκη στερεών ενίσχυσης

Αρχικά, το γάλα (πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο ή αποβουτυρωμένο) όγκου 1000mL τοποθετείται σε υδατόλουτρο μέχρι να αποκτήσει τη θερμοκρασία των 40°C, όπου και προστίθεται η κατάλληλη ποσότητα ενζύμου (περίσσεια ή μη σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εταιρείας), και αναδεύεται για συγκεκριμένο χρόνο (15, 20, 30, 40, 60 και 120 min). Στη συνέχεια, το γάλα παστεριώνεται (84°C για 15 ή 20 min ή 92°C για 15 min) σε άλλο υδατόλουτρο για την απενεργοποίηση του ενζύμου, ψύχεται στους 45°C, και αφού ληφθεί δείγμα 2-4 mL για τον προσδιορισμό της λακτόζης, προστίθεται σε αυτό η καλλιέργεια εκκίνησης σε αναλογία 2.5g/1000mL. Ακολουθεί ήπια ανάδευση και έγχυση του μίγματος σε πλαστικά κύπελλα. Τα δείγματα εισάγονται εντός του επωαστήρα, ο οποίος ρυθμίζεται σε συνθήκες τέτοιες, ώστε το μίγμα να παραμένει συνεχώς σε σταθερή θερμοκρασία στους 45°C. Το ηλεκτρόδιο του ηλεκτρονικού pH-μετρου εμβαπτίζεται σε ένα δείγμα που υφίσταται ζύμωση και ρυθμίζεται, ώστε να καταγράφει την εξέλιξη του pH λαμβάνοντας μετρήσεις ανά 5 min, έως ότου να φτάσει την τιμή 4.6, όπου και θεωρείται ότι ολοκληρώνεται η ζύμωση. Αυτός ο χρόνος ορίζεται ως «ολικός χρόνος ζύμωσης». Επισημαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, λαμβάνονται ανά διαδοχικά τακτά χρονικά διαστήματα (30 min) και στο τέλος της ζύμωσης, δείγματα, για τον προσδιορισμό του ιξώδους, τα οποία δεν επιστρέφονται για συνέχιση της ζύμωσης (αλλά απορρίπτονται). Το τελικό δείγμα συνεκτικού γιαουρτιού αποθηκεύεται στο ψυγείο στους 4°C. Τέλος, την επόμενη ημέρα πραγματοποιείται ανάλυση της υφής του τελικού προϊόντος.

2.3.2 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού χωρίς ενζυμική κατεργασία του γάλακτος (συμβατικό)

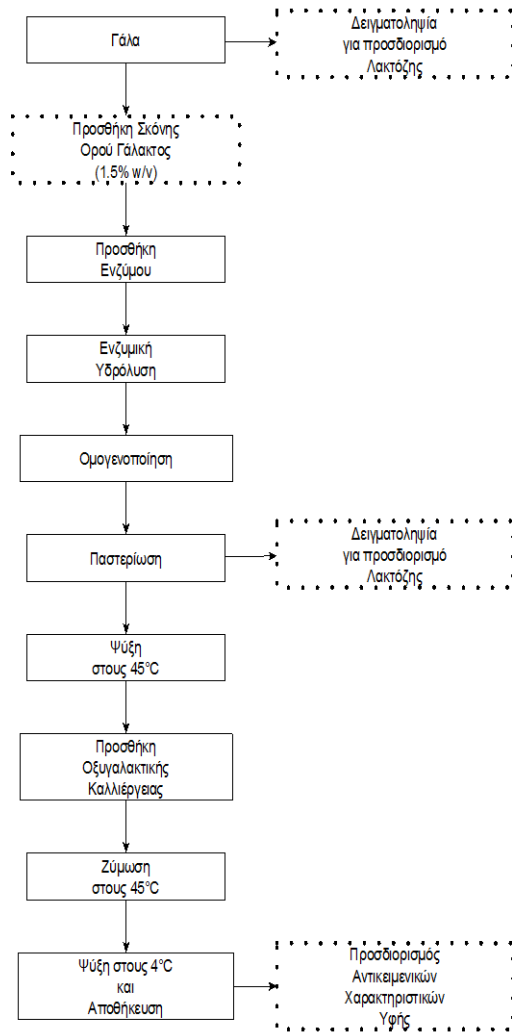
Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού χωρίς προσθήκη στερεών ενίσχυσης, χωρίς το στάδιο της ενζυμικής κατεργασίας.

2.3.3 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με προσθήκη στερεών ενίσχυσης

Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού χωρίς προσθήκη στερεών ενίσχυσης, μόνο που στην περίπτωση αυτή προστίθεται σκόνη ορού γάλακτος σε ποσοστό 1.5% κ.β. του γάλακτος μαζί με το ένζυμο υπό ήπια ανάδευση, σε δύο είδη γάλακτος, πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο, για διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας 30 και 60 min.

2.3.4 Παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με προσθήκη στερεών ενίσχυσης χωρίς την ενζυμική κατεργασία του γάλακτος (συμβατικό με προσθήκη στερεών ενίσχυσης)
 Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με την παραγωγή συνεκτικού γιαουρτιού με προσθήκη στερεών ενίσχυσης, χωρίς το στάδιο της ενζυμικής κατεργασίας του γάλακτος.

2.3.5 Διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας



Εικόνα 5: Παραγωγική διαδικασία γιαουρτιού που ακολουθείται στην παρούσα εργασία

2.4 Αναλύσεις-Μετρήσεις

2.4.1 Προσδιορισμός pH

Χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά pH-μετρα, τα οποία λαμβάνουν μετρήσεις ανά 5 min καθ'όλη τη διάρκεια της επώασης του γάλακτος.

2.4.2. Προσδιορισμός Ιξώδους

Το ιξώδες προσδιορίζεται (στους 45°C) κατά την εξέλιξη της πήξης του γάλακτος σε 6 διαδοχικές χρονικές στιγμές ανά 30 min, καθώς και στο τέλος της ζύμωσης(στους 45°C), με τη χρήση του περιστροφικού ιξωδόμετρου (Brookfield/DV-II+Pro, USA).

2.4.3 Κατασκευή διαγραμμάτων Gompertz

Η κατασκευή των διαγραμμάτων Gompertzπραγματοποιείται με τη βοήθεια του προγράμματος SigmaPlot 10.0, όπου κατασκευάζονται διαγράμματα pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης.

2.4.4 Ανάλυση Υφής των τελικών δειγμάτων γιαουρτιού

Οι αναλύσεις υφής των δειγμάτων γιαουρτιών, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μετά από την αποθήκευσή τους σε ψυγείο στους 4°C, έγιναν με τη χρήση της συσκευής Texture Analyzer TA-XT2i, Stable Microsystems και ειδικότερα με το κυλινδρικό στέλεχος Cylinder Probe TA3/100, διαμέτρου 25 mm και ύψους 35 mm. Η λειτουργία της συσκευής συνίσταται στην πίεση του τροφίμου δύο φορές διαδοχικά, σε απομίμηση της μηχανικής καταπόνησης που υφίσταται το τρόφιμο στο στόμα κατά τη μάσηση.

Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αντικειμενικής υφής είναι:

- Σκληρότητα: Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί το τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Στο διάγραμμα που προκύπτει, αποτελεί τη μέγιστη κορυφή κατά την πρώτη διείσδυση του στελέχους στο τρόφιμο.
- Συνεκτικότητα: Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Εκφράζεται ως ο λόγος του έργου της δεύτερης συμπίεσης προς το έργο της πρώτης συμπίεσης. Στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο λόγο των εμβαδών $\frac{E_3}{E_1}$.
- Προσκολλησιμότητα: Η ενέργεια που απαιτείται για να αποκολληθεί το τρόφιμο από μία επιφάνεια. Στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο δεύτερο εμβαδόν (E_2).
- Ελαστικότητα: Το ποσό για την επαναφορά ενός συμπιεσμένου τροφίμου στην αρχική του κατάσταση, όταν πάψει να υφίσταται φορτίο σε αυτό. Στο διάγραμμα, αποτελεί τη διαφορά των χρόνων μεταξύ της δεύτερης και πρώτης διείσδυσης.

- Κομμιώδες: Η ενέργεια που απαιτείται για να διασπαστεί/αποσυντεθεί ένα τρόφιμο, μέχρι να είναι έτοιμο για κατάποση. Υπολογίζεται ως το γινόμενο της σκληρότητας επί τη συνεκτικότητα.

2.4.5 Προσδιορισμός Λακτόζης

Για τον υπολογισμό της λακτόζης εφαρμόστηκε η μέθοδος του Montgomery (1961). Αρχικά, λαμβάνονται 2 mL δείγματος υπό κατάλληλη αραιώση. Για την αραιώση χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό. Προστίθεται 0.1 mL υδατικό διάλυμα φαινόλης 80% w/v, και άμεσα (5 s) 5 mL πυκνού θειϊκού οξέος. Στη συνέχεια, το διάλυμα αναδεύεται καλά, και αφήνεται για 30 min σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τέλος, το δείγμα φωτομετρείται στα 489 nm.

Η συγκεκριμένη μέτρηση πραγματοποιείται στο αρχικό γάλα και στο υδρολυμένο, δηλαδή μετά την παστερίωση, έτσι ώστε το ένζυμο να έχει απενεργοποιηθεί.

2.5 Σχεδιασμός Πειραμάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει 5 σειρές πειραμάτων. Η 1^η σειρά πειραμάτων αποτελείται από το προκαταρκτικό πείραμα σε ακατέργαστο πλήρες γάλα, που έγινε για τον καθορισμό του χρόνου ενζυμικής υδρόλυσης (15, 20, 30, 40 και 60 min) (Πίνακας 6). Στη 2^η σειρά μελετήθηκαν οι παράμετροι σε δύο είδη γάλακτος (πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο), με διαφορετικούς χρόνους ενζυμικής υδρόλυσης (30 και 60 min) και με την προσθήκη διαφορετικής ποσότητας ενζύμου (g) (κανονική σύμφωνα με τις προδιαγραφές της εταιρείας και περίσσεια), ενώακολούθως με δύο διαφορετικές θερμικές κατεργασίες του γάλακτος (ήπια και έντονη) (Πίνακες 7, 8). Στην 3^η σειρά πειραμάτων μελετήθηκαν οι παράμετροι σε τρία είδη γάλακτος (πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο) και με διαφορετικούς χρόνους ενζυμικής υδρόλυσης (30, 60 και 120 min). Στη συγκεκριμένη σειρά, η θερμική κατεργασία στην οποία υποβλήθηκε το γάλα ήταν έντονη (92°C για 15 min) (Πίνακες 9, 10). Τέλος, στην 5^η σειρά μελετήθηκαν οι παράμετροι σε αποβουτυρωμένο γάλα, με διαφορετικούς χρόνους ενζυμικής υδρόλυσης (30, 60 και 120 min), όπου το γάλα υποβλήθηκε στη συνέχεια σε δύο διαφορετικές θερμικές κατεργασίες (ήπια και έντονη). Η ποσότητα του ενζύμου στα συγκεκριμένα πειράματα ήταν κανονική (Πίνακες 11,12). Κατά την 4^η σειρά πειραμάτων, τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με περίσσεια ενζύμου στο γάλα το οποίο στη συνέχεια υποβλήθηκε σε έντονη θερμική κατεργασία (Πίνακες 13, 14). Στην 5^η σειρά μελετήθηκαν οι παράμετροι σε δύο είδη γάλακτος (πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο), με διαφορετικούς χρόνους ενζυμικής υδρόλυσης (30 και 60 min) και με προσθήκη ή μη σκόνης ορού γάλακτος.

Πίνακας 6: 1^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου ενζυμικής κατεργασίας σε ακατέργαστο πλήρες γάλα, το οποίο μετέπειτα υποβλήθηκε σε ήπια θερμική κατεργασία (84°C για 15 min).

Χρόνος Ενζυμικής Υδρόλυσης
0
15
20
30
40
60

Πίνακας 7: 2^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της επίδρασης των λιπαρών του γάλακτος, του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας, της ποσότητας του ενζύμου, και της ακόλουθης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Είδος Γάλακτος	Χρόνος Ενζυμικής Υδρόλυσης	Ποσότητα Ενζύμου	Θερμική Κατεργασία Γάλακτος
Πλήρες	30	Κανονική	Ήπια
	30	Περίσσεια	Ήπια
	60	Κανονική	Ήπια
	60	Περίσσεια	Ήπια
	30	Κανονική	Έντονη
	30	Περίσσεια	Έντονη
	60	Κανονική	Έντονη
	60	Περίσσεια	Έντονη
Ημιαποβουτυρωμένο	30	Κανονική	Ήπια
	30	Περίσσεια	Ήπια
	60	Κανονική	Ήπια
	60	Περίσσεια	Ήπια
	30	Κανονική	Έντονη
	30	Περίσσεια	Έντονη
	60	Κανονική	Έντονη
	60	Περίσσεια	Έντονη

Ήπια: 84°C για 15 min, Έντονη: 92°C για 20 min

Ποσότητα κανονική: Πλήρες, 0.1316 g, Ημιαποβουτυρωμένο, 0.1360 g, Περίσσεια ενζύμου: 4%

Πίνακας 8: Πειράματα συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιού 2^{ης} Σειράς.

Είδος Γάλακτος	Θερμική Κατεργασία
Πλήρες	Ήπια
	Έντονη
Ημιαποβουτυρωμένο	Ήπια
	Έντονη

Ήπια: 84°C για 15 min, Έντονη: 92°C για 20 min

Πίνακας 9: 3^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της επίδρασης των λιπαρών του γάλακτος και του χρόνου ενζυμικής κατεργασίας.

Είδος Γάλακτος	Χρόνος Ενζυμικής Υδρόλυσης
Πλήρες	30
	60
	120
Ημιαποβουτυρωμένο	30
	60
	120
Αποβουτυρωμένο	30
	60
	120

Πίνακας 10: Πειράματα συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιού 3^{ης} Σειράς.

Είδος Γάλακτος
Πλήρες
Ημιαποβουτυρωμένο
Αποβουτυρωμένο

Πίνακας 11: 4^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της επίδρασης του χρόνου ενζυμικής κατεργασίας σε αποβουτυρωμένο γάλα, το οποίο ακολούθως υποβλήθηκε σε διαφορετική θερμική κατεργασία.

Χρόνος Ενζυμικής Υδρόλυσης	Θερμική Κατεργασία
30	Ήπια
60	
120	
30	Έντονη
60	
120	

Ήπια: 84°C για 15 min, Έντονη: 92°C για 20 min

Πίνακας 12: Πειράματα συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιού 4^{ης} Σειράς.

Θερμική Κατεργασία
Ήπια
Έντονη

Ήπια: 84°C για 15 min, Έντονη: 92°C για 20 min

Σημειώνεται ότι τα δείγματα με τις ίδιες συνθήκες, χρησιμοποιούνται σε παραπάνω από μία σειρά πειραμάτων.

Πίνακας 13: 5^η Σειρά Πειραμάτων: Μελέτη της επίδρασης των λιπαρών του γάλακτος, του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας και της προσθήκης ή μη σκόνης ορού γάλακτος.

Είδος Γάλακτος	Χρόνος Ενζυμικής Υδρόλυσης	Προσθήκη Σκόνης Ορού Γάλακτος
Πλήρες	30	Ναι
	60	Ναι
	30	Όχι
	60	Όχι
Ημιαποβουτυρωμένο	30	Ναι
	60	Ναι
	30	Όχι
	60	Όχι

Πίνακας 14: Πειράματα συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιού 5^{ης} Σειράς.

Είδος Γάλακτος	Προσθήκη Σκόνης
Πλήρες	Όχι
	Ναι
Ημιαποβουτυρωμένο	Όχι
	Ναι

2.6 Στατιστική επεξεργασία

Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Statistica 7.0 της StatSoftInc. Στα αποτελέσματα όπου εμφανίζεται σημαντική διαφορά ($p < 0.05$), εφαρμόζεται το τεστ Duncan.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή των πειραμάτων, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, όπως προαναφέρθηκε στο πειραματικό μέρος. Αρχικά, παρουσιάζεται η καμπύλη αναφοράς της λακτόζης και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σειρές πειραμάτων όπως περιγράφηκαν στο πειραματικό μέρος (Σειρά 1, 2,3,4 και 5). Τα αποτελέσματα της υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα παρουσιάζονται σε διαγράμματα, ενώ η εξέλιξη της ζύμωσης του γάλακτος σε γιαούρτι (μ, λ του pH και του ιξώδους, και ο χρόνος ζύμωσης) όπως και τα χαρακτηριστικά της υφής του τελικού προϊόντος (ιξώδες στους 45°C μετά το πέρας της ζύμωσης, σκληρότητα, προσκολλησιμότητα, συνεκτικότητα, ελαστικότητα και κομμιώδες) παρουσιάζονται σε πίνακες.

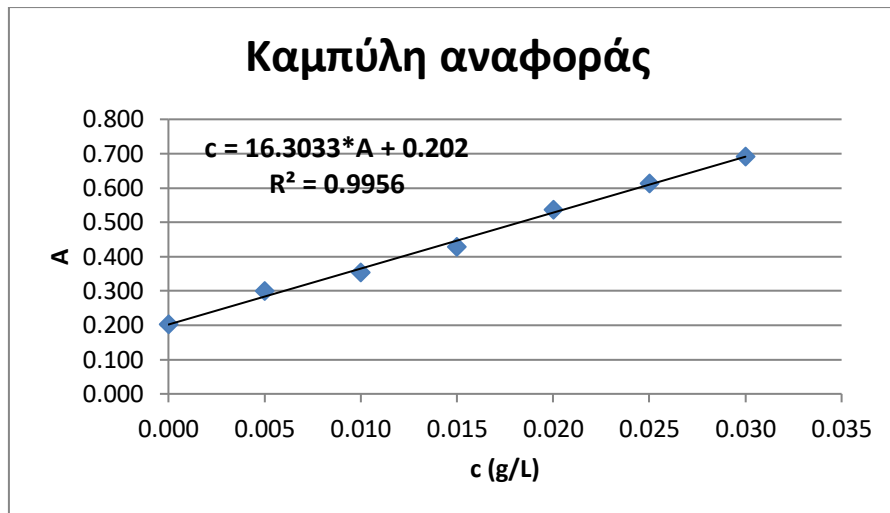
3.1 Καμπύλη αναφοράς λακτόζης

Έχοντας προετοιμάσει τις κατάλληλες αραιώσεις και με φασματοφωτομέτρηση στα 489 nm, για να προσδιοριστεί το ποσοστό της λακτόζης στο γάλα, προέκυψαν οι τιμές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 15. Για τη μηδενική συγκέντρωση λακτόζης, χρησιμοποιήθηκε απιονισμένο νερό.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα προσδιορισμού λακτόζης για την κατασκευή της καμπύλης αναφοράς.

c (g/L)	Απορρόφηση στα 489nm
0.000	0.202
0.005	0.301
0.010	0.3546
0.015	0.4285
0.020	0.5372
0.025	0.6135
0.030	0.6914

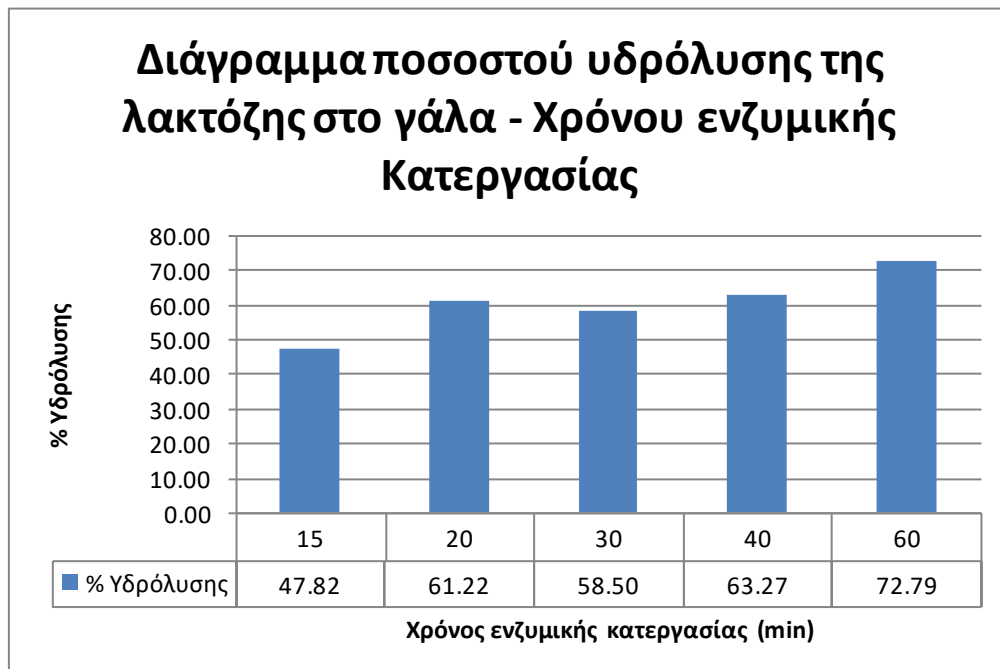
Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα κατασκευάστηκε η καμπύλη αναφοράς της λακτόζης (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1: Καμπύλη αναφοράς λακτόζης

3.2 Αποτελέσματα 1ης Σειράς Πειραμάτων

Η αρχική λακτόζη στο ακατέργαστο πλήρες γάλα υπολογίστηκε ίση με 4.5083%. Επομένως, από την ενεργότητα του ενζύμου ($2.88 \text{g}_{\text{ενζύμου}}/1000 \text{g}_{\text{λακτόζης}}$) η απαιτούμενη ποσότητα ενζύμου για την υδρόλυση της λακτόζης στο γάλα υπολογίστηκε ίση με 0.1298 g στα 1000 mL_{γάλακτος}. Η υδρόλυση της λακτόζης στα 5 δείγματα γάλακτος παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2: Αποτελέσματα του ποσοστού υδρόλυσης της λακτόζης σε σχέση με το χρόνο ενζυμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Από το διάγραμμα 2, παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου ενζυμικής κατεργασίας, αυξάνεται και το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, φτάνοντας τη μέγιστη υδρόλυση (73%) για διάρκεια ενζυμικής δράσης τα 60 min. Τα ίδια αποτελέσματα παρουσίασαν οι Moreira et al. (2017), επιτυγχάνοντας υδρόλυση στο γάλα 98% και έχοντας ως χρόνο ενζυμικής κατεργασίας τα 120 min.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα υπόλοιπα αποτελέσματα από την ζύμωση του γιαουρτιού με γάλα προϋδρολυμένης λακτόζης της 1^{ης} σειράς πειραμάτων στον Πίνακα 16.

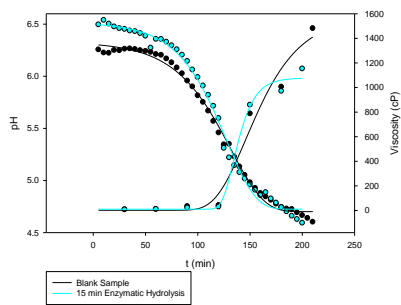
Πίνακας 16: Αποτελέσματα 1^{ης} σειράς πειραμάτων ζύμωσης γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης με πλήρες (ακατέργαστο) γάλα που έχει υποστεί ήπια θερμική κατεργασία (84°C για 15 min)–Επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας.

	Μελέτη	Χρόνος Ενζυμικής κατεργασίας (min)	0	15	20	30	40	60
Πλήρες ακατέργαστο γάλα		μ _{pH}	-0.019	-0.024	-0.022	-0.022	-0.022	-0.023
		λ _{pH} (min)	163.140	155.259	156.906	164.459	161.201	166.548
		μ _{ιξώδους}	19.855	35.084	33.542	31.904	27.852	16.393
		λ _{ιξώδους} (min)	116.914	123.035	96.224	122.072	120.667	123.694
		Χρόνος Ζύμωσης (min)	210	200	190	197	201	193
		Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	1481	1153	1042	1177	941	1192
		Σκληρότητα (N)	0.397	0.414	0.383	0.397	0.421	0.365
		Προσκολλησιμότητα (N·s)	18.023	10.313	12.705	17.088	12.769	14.980
		Συνεκτικότητα	0.504	0.526	0.559	0.515	0.538	0.505
		Ελαστικότητα (s)	2.560	2.948	2.987	3.062	3.175	3.048
		Κομμώδες (N)	0.200	0.218	0.213	0.204	0.227	0.185

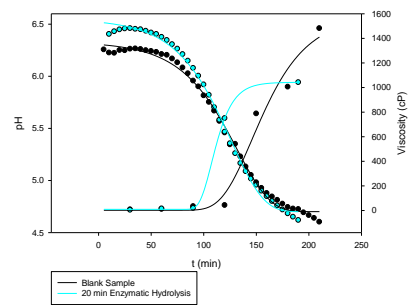
Σύμφωνα με τους Nagaraj et al. (2009) τα γιαούρτια, που παρασκευάστηκαν με γάλα μειωμένης αρχικής περιεκτικότητας σε λακτόζη, λόγω ενζυμικής κατεργασίας, παρουσιάζουν μικρότερο χρόνο ζύμωσης σε σχέση με τα συμβατικά γιαούρτια, γεγονός που οφείλεται στη γρηγορότερη ζύμωση της γλυκόζης. Τα πειραματικά αποτελέσματα συμβαδίζουν με τα στοιχεία της βιβλιογραφίας, καθώς σε όλα τα δείγματα ο χρόνος της ζύμωσής τους έχει μειωθεί τουλάχιστον κατά 10 min, ενώ και ο ρυθμός μείωσης του pH (μ_{pH}) εμφανίστηκε αυξημένος. Το τελικό ιξώδες στους 45°C εμφανίζεται μειωμένο σε σχέση με το αντίστοιχο του συμβατικού γιαουρτιού, με αποτέλεσμα το σχηματισμό ασθενέστερου πήγματος, στα γιαούρτια που έχουν παραχθεί από γάλα μειωμένης περιεκτικότητας σε λακτόζη. Όσον αφορά τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της υφής των γιαουρτιών παρατηρείται ότι εμφανίζουν μικρές διακυμάνσεις.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της 1^{ης} σειράς πειραμάτων (Διάγραμμα 3).

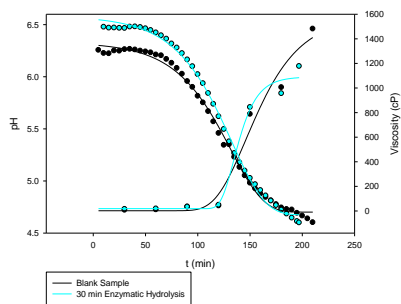
α



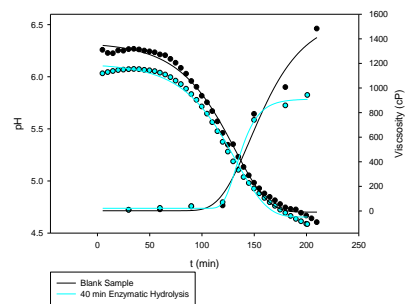
β



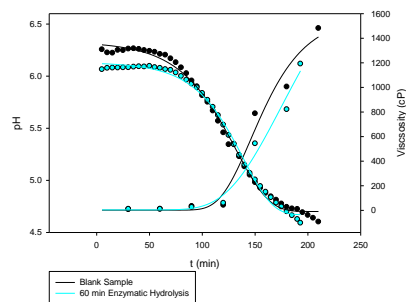
γ



δ



ε



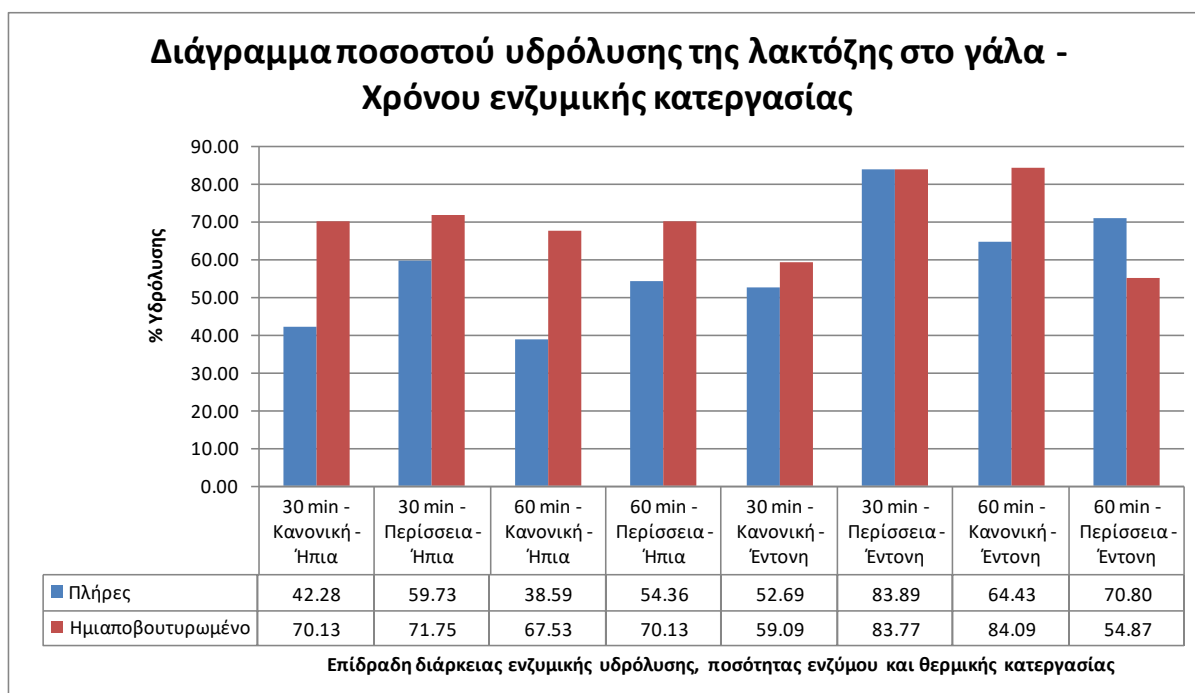
Διάγραμμα 3: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης για (α) 15 min, (β) 20 min, (γ) 30 min, (δ) 40 min και (ε) 60 min.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, σχεδιάστηκαν οι επόμενες σειρές πειραμάτων. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η χρήση τυποποιημένου γάλακτος, ώστε τα συστατικά του να εμφανίζουν ομοιογένεια. Στη συνέχεια, προτιμήθηκαν οι μεγάλοι χρόνοι ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, καθώς αποδίδουν μεγαλύτερο ποσοστό υδρόλυσης. Επιλέχθηκε να μελετηθεί επίσης η ποσότητα του ενζύμου που προστίθεται στο γάλα, καθώς και η επίδραση της θερμικής κατεργασίας. Τέλος, για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της υφής των τελικών προϊόντων, διερευνήθηκε η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος.

3.3 Αποτελέσματα 2ης Σειράς Πειραμάτων

Στην 2^η σειρά πειραμάτων εξετάζεται η υδρόλυση της λακτόζης σε γάλα διαφορετικής περιεκτικότητας σε λιπαρά (πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο) και μελετάται η επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας (30 και 60 min) και της ποσότητας του ενζύμου (g) (κανονική και περίσσεια), καθώς και η επίδραση της ακόλουθης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος (ήπια και έντονη) στην εξέλιξη της ζύμωσης του γιαουρτιού και στα χαρακτηριστικά υφής του τελικού προϊόντος. Τα αποτελέσματα της υδρόλυσης της λακτόζης του γάλακτος παρατίθενται στο Διάγραμμα 4. Τα υπόλοιπα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 17. Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της συμβατικής ζύμωσης για παραγωγή γιαουρτιών.

Το αρχικό ποσοστό λακτόζης στο πλήρες γάλα υπολογίστηκε ίσο με 4.5696%, και επομένως απαιτούνται 0.1316 g ενζύμου για την υδρόλυσή της. Στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα το αρχικό ποσοστό λακτόζης υπολογίστηκε ίσο με 4.723% και για την υδρόλυσή της απαιτούνται 0.1360 g ενζύμου. Στα πειράματα με περίσσεια ενζύμου, προστέθηκε 4% επιπλέον ένζυμο.



Διάγραμμα 4: Αποτελέσματα του ποσοστού υδρόλυσης λακτόζης σε πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα, σε σχέση με το χρόνο ενζυμικής κατεργασίας και την ποσότητα του ενζύμου όπως και τη μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος.

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι ως επί το πλείστον στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη υδρόλυση της λακτόζης σε σχέση με το πλήρες γάλα (με εξαίρεση το τελευταίο δείγμα ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος, το οποίο ενδεχομένως να οφείλεται και σε πειραματικό σφάλμα). Ωστόσο, δεν βρέθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ του πλήρους και του ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος στο ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης. Το υψηλότερο ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης επιτυγχάνεται για χρόνο ενζυμικής δράσης 30 min, με περίσσεια ενζύμου και με ακόλουθη έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος. Η περίσσεια του ενζύμου αν και δεν επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης, φαίνεται να αυξάνει σταδιακά το ποσοστό της από δείγμα σε δείγμα.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα μελέτης ζύμωσης γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης γάλακτος διαφορετικής περιεκτικότητας σε λιπαρά - Επίδραση του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας, της ποσότητας του ενζύμου και της ακόλουθης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος. Η περίσσεια του ενζύμου είναι 4%.

Γάλα	Χρόνος Ενζυμικής Κατεργασίας (min)	Ποσότητα Ενζύμου (g)	Θερμική Κατεργασία	Εξέλιξη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά υφής						
				μpH	λpH (min)	Μιξώδους	Λιξώδους (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμιώδες (N)	
Πλήρες	30	Κανονική	Ήλια	-0.021	185.993	89.357	159.066	207	3558	0.449	30.966	0.449	2.200	0.201	
		Περίσσεια		-0.020	186.017	64.073	154.017	225	2310	0.974	36.488	0.402	2.378	0.387	
	60	Κανονική		-0.021	174.426	92.789	156.163	207	2804	0.792	49.912	0.399	2.300	0.299	
		Περίσσεια		-0.020	175.509	83.942	145.041	210	2432	0.779	35.363	0.471	2.557	0.368	
	30	Κανονική		Έντονη	-0.019	190.468	84.007	157.098	239	3299	0.767	39.326	0.549	2.430	0.421
		Περίσσεια			-0.017	198.455	90.022	157.832	242	3408	0.916	47.345	0.442	2.508	0.405
	60	Κανονική			-0.018	211.080	46.343	175.601	245	3221	0.666	38.134	0.425	2.187	0.283
		Περίσσεια			-0.017	205.403	92.998	158.528	248	3554	0.843	45.156	0.444	2.597	0.374
Ημιαποβουτυρωμένο	30	Κανονική	Ήλια		-0.019	193.588	84.567	154.526	251	3464	0.609	28.510	0.504	2.222	0.307
		Περίσσεια			-0.018	186.124	58.650	154.649	230	2328	0.485	25.443	0.505	2.568	0.241
	60	Κανονική			-0.020	186.916	65.147	155.447	220	1788	0.375	20.886	0.503	2.317	0.188
		Περίσσεια			-0.019	180.006	61.428	157.801	215	2036	0.434	21.687	0.639	2.325	0.275
	30	Κανονική		Έντονη	-0.018	195.202	89.574	159.655	240	3715	0.381	24.208	0.567	2.493	0.216
		Περίσσεια			-0.015	213.570	30.055	157.045	242	2287	0.370	26.004	0.557	2.425	0.206
	60	Κανονική			-0.017	224.446	12318.639	266.762	235	3269	0.383	18.570	0.589	2.625	0.225
		Περίσσεια			-0.019	195.909	92.708	160.040	242	3502	0.524	29.626	0.480	2.268	0.251

*Ήλια: 84°C για 20 min, *Έντονη: 92°C για 15 min.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα πειραμάτων συμβατικής ζύμωσης γάλακτος για παραγωγή γιαουρτιού, από πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα, που έχει υποστεί ήπια και έντονη θερμική κατεργασία. (2^η σειρά πειραμάτων)

Γάλα	Θερμική κατεργασία	Εξέλιξη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά υφής					
		μ _{pH}	λ _{pH} (min)	μ _{ξώδους}	λ _{ξώδους} (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμιώδες (N)
Πλήρες	Ήπια	-0.017	201.452	51.478	138.427	230	3714	0.711	50.248	0.443	2.840	0.315
	Έντονη	-0.018	198.759	37.454	132.084	255	3673	0.941	59.029	0.414	2.407	0.389
Ημιαποβουτυρωμένο	Ήπια	-0.017	191.676	25.819	118.853	265	3161	0.599	28.608	0.492	2.420	0.292
	Έντονη	-0.017	190.712	88.855	137.328	247	3168	0.589	35.290	0.493	2.372	0.291

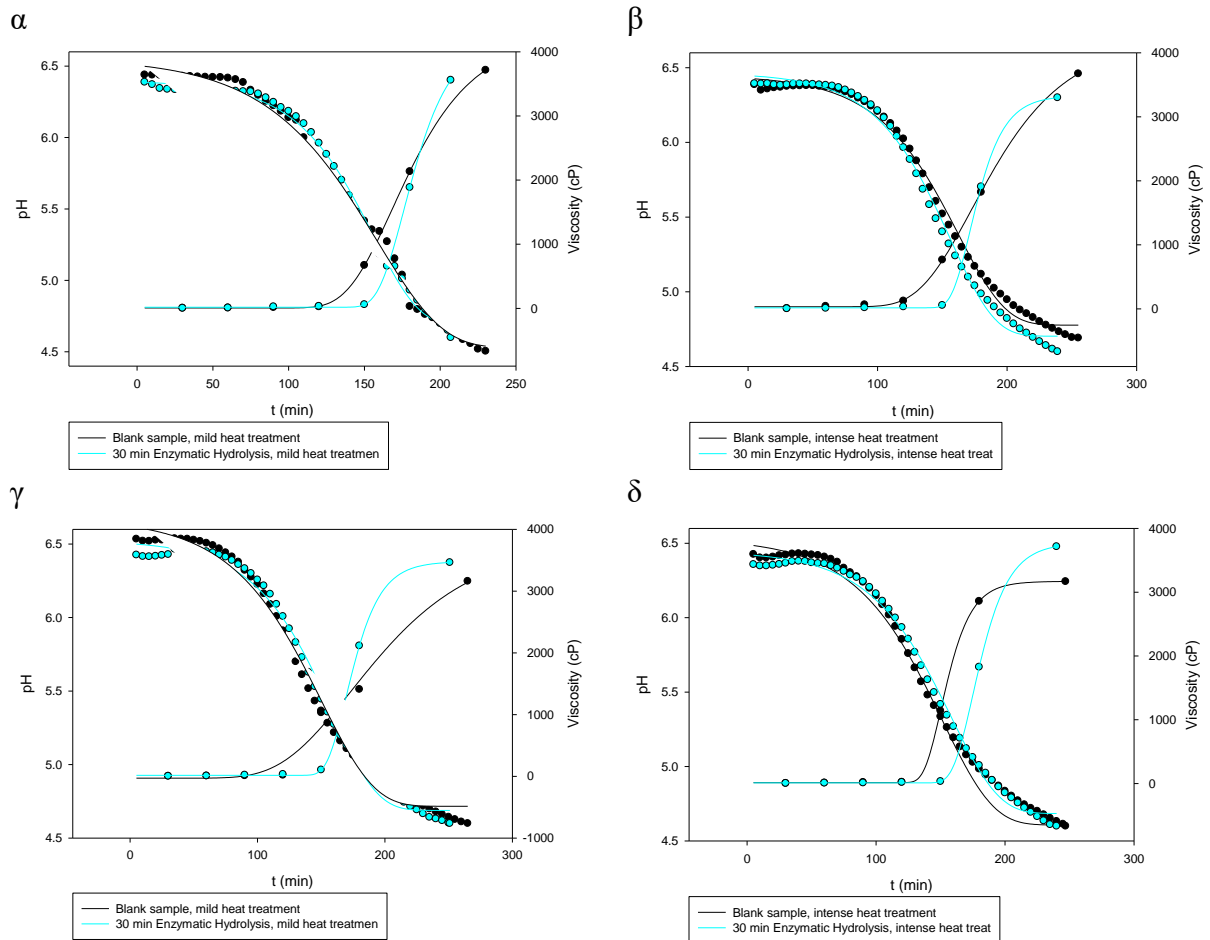
*Ήπια: 84°C για 20 min, *Έντονη: 92°C για 15 min.

Κατά την ζύμωση γιαουρτιών από γάλα προϋδρολυμένης λακτόζης ο ρυθμός μείωσης του pH (μ_{pH}) εμφανίζεται εν γένει αυξημένος. Όλα τα δείγματα επίσης εμφανίζουν μειωμένο χρόνο ζύμωσης, καθώς και μειωμένο τελικό ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C. Εξάιρεση ως προς το τελικό ιξώδες, αποτελούν τα δείγματα του ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος, που έχουν υποστεί στη συνέχεια έντονη θερμική κατεργασία. Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της υφής των γιαουρτιών προϋδρολυμένης λακτόζης (σκληρότητα, προσκολλησιμότητα, συνεκτικότητα και κομμιώδες), αυτά παρουσίασαν μικρές διακυμάνσεις σε σχέση με τα αντίστοιχα των γιαουρτιών από συμβατική ζύμωση. Μόνο η συνεκτικότητα εμφανίστηκε υψηλότερη σε σχέση με εκείνη των συμβατικών γιαουρτιών. Τα αποτελέσματα είναι σε συμφωνία με τα αντίστοιχα των Ismail et al. (1983) και Nagaraj et al. (2009).

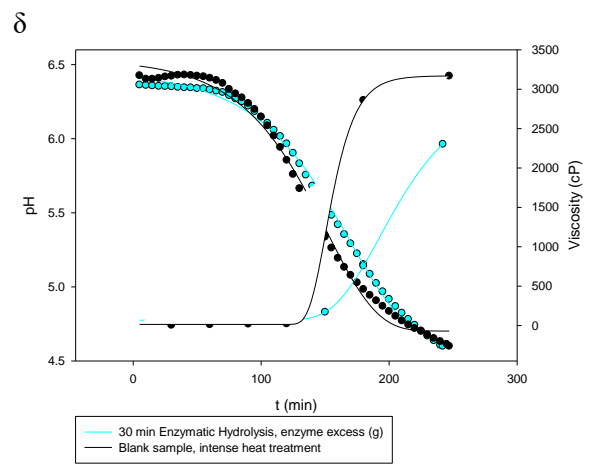
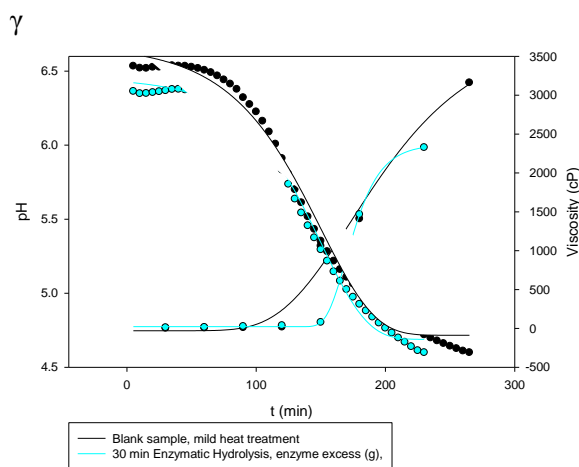
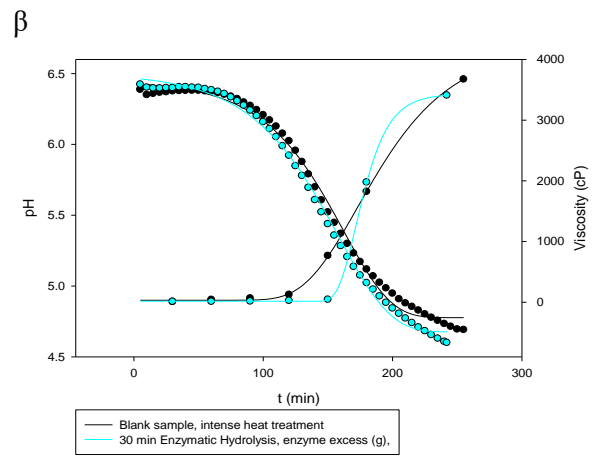
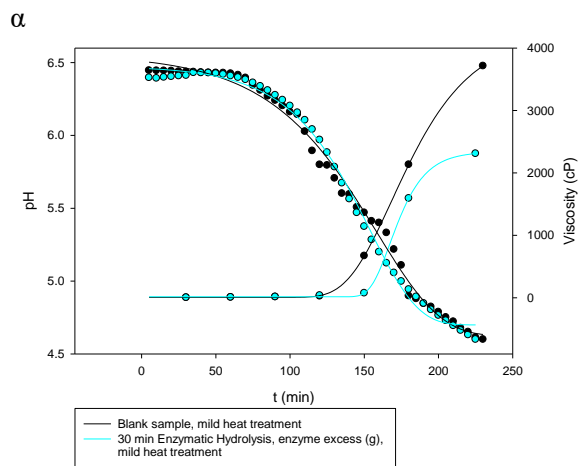
Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι ο ρυθμός μείωσης (μ_{pH}), η διάρκεια λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}), καθώς και ο ολικός χρόνος ζύμωσης επηρεάζονται σημαντικά από το είδος της θερμικής κατεργασίας που εφαρμόζεται στο γάλα μετά την υδρόλυση της λακτόζης. Πιο συγκεκριμένα, όπως παρατηρείται από τον Πίνακα 17, μεγαλύτερο ρυθμό μείωσης και μικρότερη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH εμφανίζουν τα δείγματα που έχουν υποστεί ήπια θερμική κατεργασία. Αντίθετα, το λ_{pH} και ο χρόνος ζύμωσης εμφανίζουν υψηλότερες τιμές κατά την έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος. Το τελικό ιξώδες στους 45°C επηρεάζεται σημαντικά από το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος, και ειδικά στην περίπτωση ήπιας θερμικής κατεργασίας εμφανίζεται χαμηλότερη τιμή ιξώδους. Τέλος, ο ολικός χρόνος ζύμωσης παρατείνεται κατά περίπου 20 min στην περίπτωση που εφαρμόζεται έντονη θερμική κατεργασία στο γάλα μετά την υδρόλυση της λακτόζης.

Επίσης, από τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα, η συνεκτικότητα και το κομμιώδες των γιαουρτιών επηρεάζονται σημαντικά ($p < 0.05$) από το είδος του γάλακτος. Συγκεκριμένα, τα δείγματα που έχουν παραχθεί από ημιαποβουτυρωμένο γάλα εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές σκληρότητας, προσκολλησιμότητας και κομμιώδους σε σχέση με τα αντίστοιχα δείγματα που έχουν παραχθεί από πλήρες γάλα. Η συνεκτικότητα από την άλλη εμφανίζει υψηλότερη τιμή για το ημιαποβουτυρωμένο γάλα σε σχέση με τα αντίστοιχα πλήρους γάλακτος. Το συγκεκριμένο γεγονός εξηγείται από τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά που έχει το ημιαποβουτυρωμένο γάλα σε σχέση με το πλήρες.

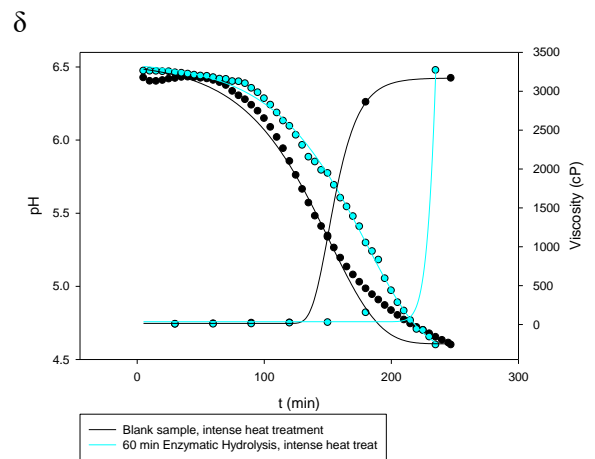
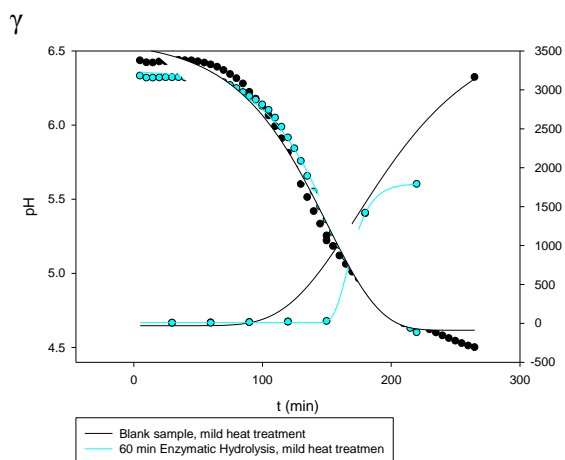
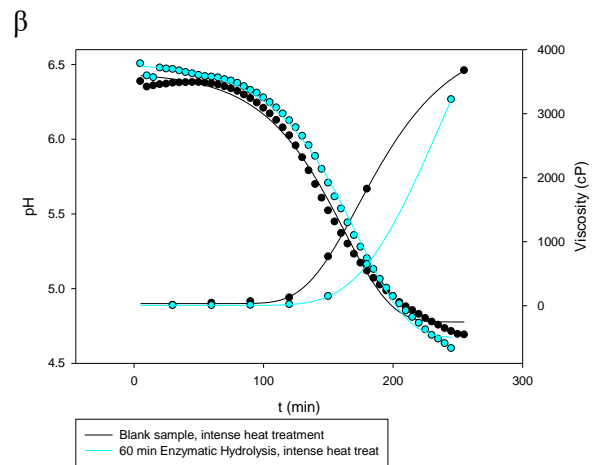
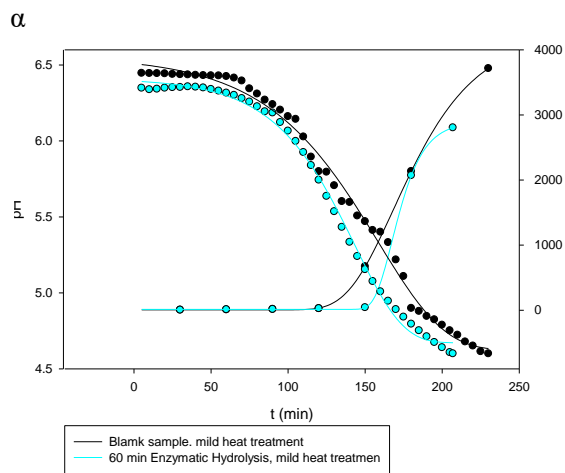
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της 2^{ης} σειράς, στα οποία έχει προσαρμοστεί το μοντέλο Gompertz.



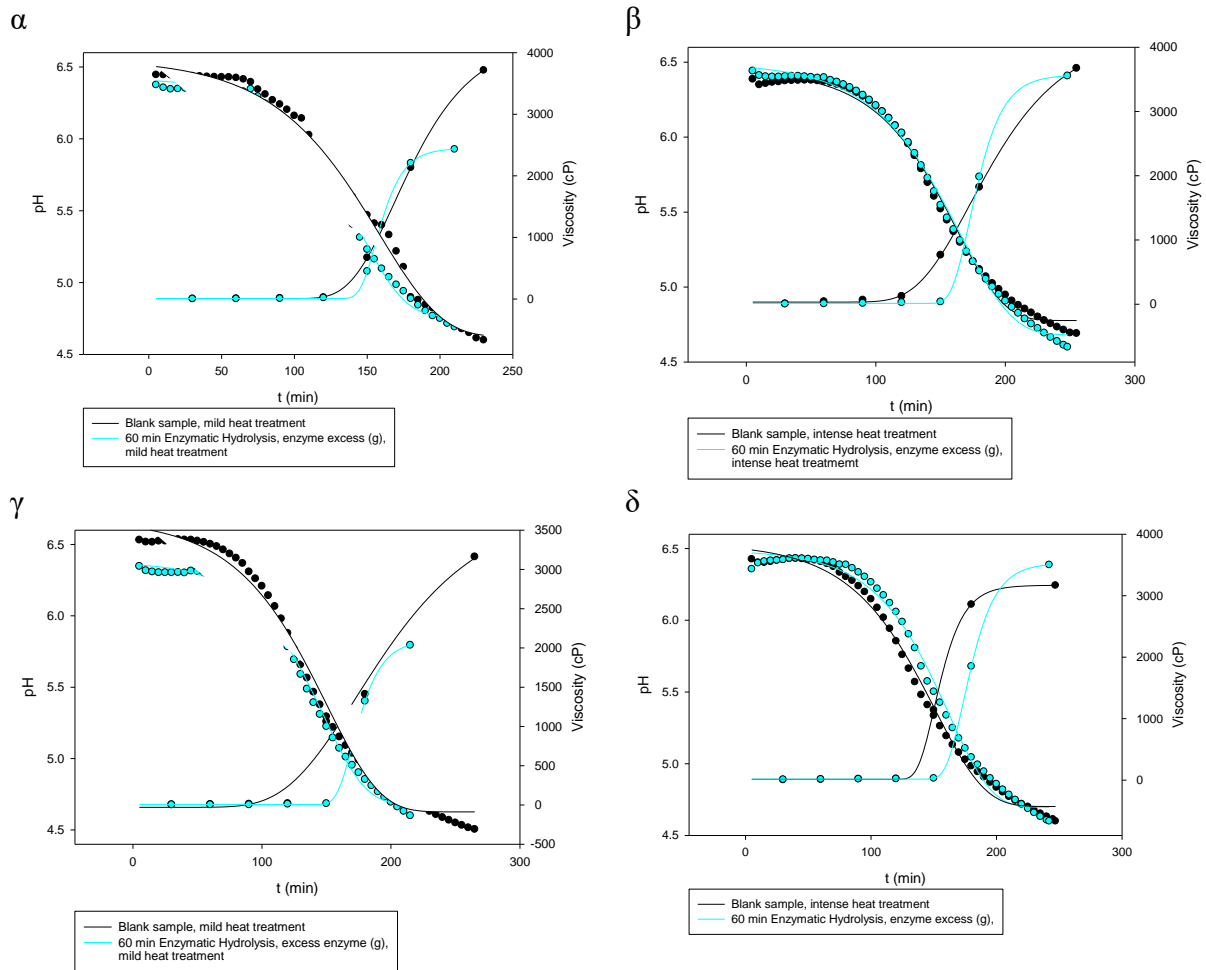
Διάγραμμα 5: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 30 min με κανονική ποσότητα ενζύμου (α) Πλήρες γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (β) Πλήρες γάλα, έντονη θερμική κατεργασία, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, έντονη θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 6: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 30 min με περίσσεια ενζύμου (α) Πλήρες γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (β) Πλήρες γάλα, έντονη θερμική κατεργασία, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, έντονη θερμική κατεργασία.



Διάγραμμα 7: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 60 min με κανονική ποσότητα ενζύμου (α) Πλήρες γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (β) Πλήρες γάλα, έντονη θερμική κατεργασία, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, έντονη θερμική κατεργασία.



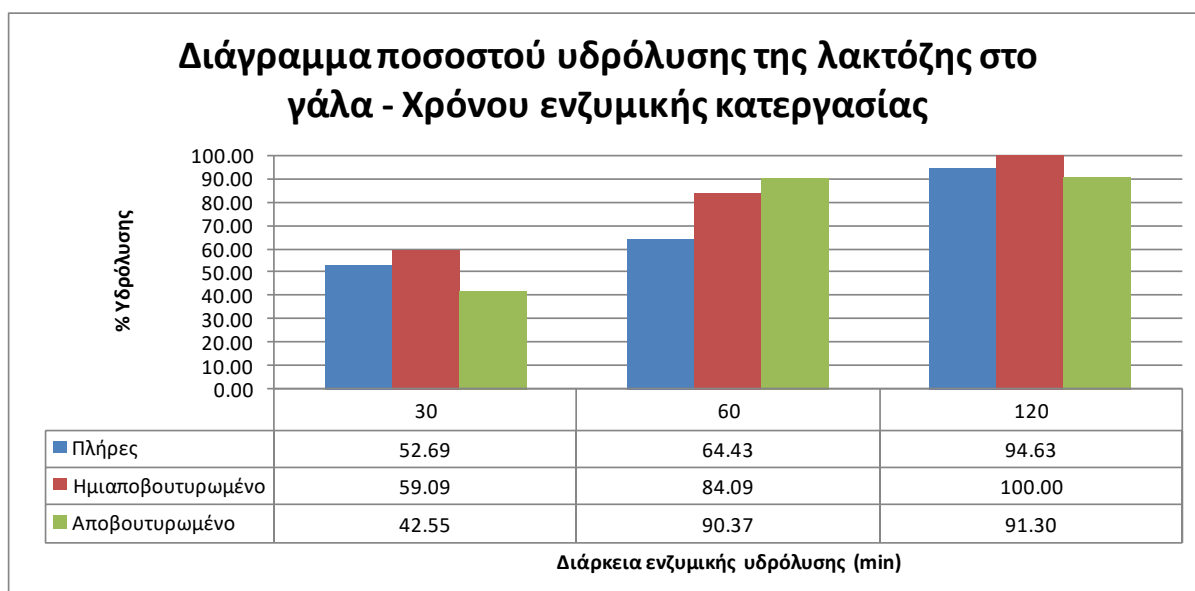
Διάγραμμα 8: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 60 min με περίσσεια ενζύμου (α) Πλήρες γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (β) Πλήρες γάλα, έντονη θερμική κατεργασία, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ήπια θερμική κατεργασία, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, έντονη θερμική κατεργασία.

3.4 Αποτελέσματα 3ης Σειράς Πειραμάτων

Στην 3^η σειρά πειραμάτων εξετάζεται η υδρόλυση της λακτόζης σε ένα ακόμη είδος γάλακτος (αποβουτυρωμένο) πέραν του πλήρους και του ημιαποβουτυρωμένου, καθώς και με μεγαλύτερο χρόνο ενζυμικής κατεργασίας (120 min) για και μελετάται η εξέλιξη της ζύμωσης του γιαουρτιού και τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων. Τα αποτελέσματα του ποσοστού υδρόλυσης της λακτόζης του γάλακτος παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 9. Τα αποτελέσματα της μελέτης της ζύμωσης των γιαουρτιών και των χαρακτηριστικών της υφής τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 19. Στον Πίνακα 20 δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιών. Υπενθυμίζεται ότι πειράματα υδρόλυσης της λακτόζης πραγματοποιήθηκαν με κανονική ποσότητα ενζύμου και τα γάλατα υποβλήθηκαν στη συνέχεια σε έντονη θερμική κατεργασία (92°C για 15 min).

Υποσημείωση: Τα δείγματα με ίδιες συνθήκες έχουν χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενη σειρά πειραμάτων.

Η αρχική λακτόζη στο πλήρες γάλα υπολογίστηκε ίση με 4.5696%, και επομένως απαιτούνται 0.1316 g ενζύμου για την υδρόλυσή της. Στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα η αρχική λακτόζη υπολογίστηκε ίση με 4.723% και για την υδρόλυσή της απαιτούνται 0.1360 g ενζύμου. Στο αποβουτυρωμένο γάλα η αρχική λακτόζη υπολογίστηκε ίση με 4.9377% και απαιτείται η προσθήκη 0.1422 g ενζύμου σε 1000 mL γάλακτος.



Διάγραμμα 9: Αποτελέσματα της υδρόλυσης της λακτόζης σε γάλατα διαφορετικής περιεκτικότητας σε λιπαρά σε σχέση με τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας.

Από το διάγραμμα 9 παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου της ενζυμικής δράσης, αυξάνεται και το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα. Επίσης, το είδος του γάλακτος φαίνεται να επηρεάζει το ποσοστό της υδρόλυσης, αφού για τον ίδιο χρόνο ενζυμικής δράσης επιτυγχάνεται υψηλότερο ποσοστό υδρόλυσης. Συγκεκριμένα, για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας 60 min, στο πλήρες γάλα έχει υδρολυθεί 64% η λακτόζη, στο ημιαποβουτυρωμένο 84% και στο αποβουτυρωμένο 90%. Ωστόσο, από τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι το ποσοστό υδρόλυσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από το είδος του γάλακτος, ενώ επηρεάζεται σημαντικά ($p < 0.05$) από το χρόνο της ενζυμικής κατεργασίας. Συγκεκριμένα, υψηλότερα ποσοστά υδρόλυσης εμφανίζονται για διάρκεια ενζυμικής δράσης 120 min. Αξίζει να αναφερθεί ότι το υψηλότερο ποσοστό υδρόλυσης επιτυγχάνεται στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα (100%) με διάρκεια ενζυμικής δράσης τα 120 min.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα 3^{ης} σειράς πειραμάτων. Αποτελέσματα μελέτης ζύμωσης γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης γάλακτος διαφορετικής περιεκτικότητας σε λιπαρά - Επίδρασης του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας και της ακόλουθης έντονης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος (92°C για 15 min).

Γάλα	Χρόνος ενζυμικής κατεργασίας (min)	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
		μ _{PH}	λ _{PH} (min)	Μιξώδους	λιξώδους (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα α	Ελαστικότητα (s)	Κομμιώδες (N)
Πλήρες	30	-0.019	190.468	84.007	157.098	239	3299	0.767	39.326	0.549	2.430	0.421
	60	-0.018	211.080	46.343	175.601	245	3221	0.666	38.134	0.425	2.187	0.283
	120	-0.017	203.382	1264.808	337.927	227	3299	0.179	0.042	0.822	1.973	0.147
Ημιαποβουτυρωμένο	30	-0.018	195.202	89.574	159.655	240	3715	0.381	24.208	0.567	2.493	0.216
	60	-0.017	224.446	12318.639	266.762	235	3269	0.383	18.570	0.589	2.625	0.225
	120	-0.017	211.477	46.061	171.133	236	3018	0.339	0.205	0.618	2.227	0.209
Αποβουτυρωμένο	30	-0.013	232.098	19.938	139.605	285	2729	0.170	0.096	0.449	1.580	0.076
	60	-0.011	266.062	17.542	132.925	310	2666	0.223	0.126	0.635	2.592	0.142
	120	-0.012	246.369	25.437	187.891	287	2531	0.148	0.082	0.740	1.865	0.109

Πίνακας 20: Αποτελέσματα πειραμάτων συμβατικής ζύμωσης γάλακτος για παραγωγή γιαουρτιού, από πλήρες, ημιαποβουτυρωμένο και αποβουτυρωμένο γάλα, που έχει υποστεί έντονη θερμική κατεργασία (92°C για 15 min). (3^η σειρά πειραμάτων).

Γάλα	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
	μ _{pH}	λ _{pH} (min)	μ _{ξώδους}	λ _{ξώδους} (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμώδες (N)
Πλήρες	-0.018	198.759	37.454	132.084	255	3673	0.941	59.029	0.414	2.407	0.389
Ημιαποβουτυρωμένο	-0.017	190.712	88.855	137.328	247	3168	0.589	35.290	0.493	2.372	0.291
Αποβουτυρωμένο	-0.014	234.817	50.839	161.913	278	3007	0.178	0.092	0.692	2.395	0.123

Τα αποτελέσματα για το πλήρες και το ημιαποβουτυρωμένο γάλα συμβαδίζουν με τα αντίστοιχα των Nagaraj et al. (2009) ως προς τον ολικό χρόνο ζύμωσης και τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων, αφού εμφανίζουν μειωμένο χρόνο ζύμωσης και ασθενέστερο πήγμα στα γιαούρτια. Για το αποβουτυρωμένο γάλα, τα αποτελέσματα ως προς το μεγαλύτερο ολικό χρόνο ζύμωσης ταιριάζουν με εκείνα των Ibarra et al. (2012), οι οποίοι εξήγησαν την επιμήκυνση του χρόνου ζύμωσης λόγω της μικρότερης αρχικής περιεκτικότητας της λακτόζης στο γάλα, όπως και με εκείνα των Kárnyáczki et al. (2017), οι οποίοι εξήγησαν ότι η καθυστέρηση της ζύμωσης οφείλεται στην καθυστερημένη έναρξη της παραγωγής γαλακτικού οξέος, λόγω του μειωμένου ρυθμού ανάπτυξης του *S. thermophilus*. Ωστόσο, από τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι ο χρόνος ζύμωσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας.

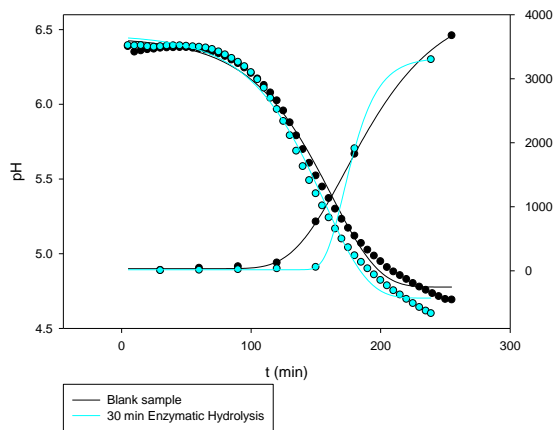
Από τη στατιστική επεξεργασία για την εξέλιξη της ζύμωσης προέκυψε ότι ο ρυθμός μείωσης του pH (μ_{pH}), η διάρκεια λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}) και ο ολικός χρόνος ζύμωσης, επηρεάζονται σημαντικά ($p < 0.05$) από το είδος του γάλακτος. Ειδικότερα, στο γιαούρτι από αποβουτυρωμένο γάλα προκύπτει ο μικρότερος ρυθμός μείωσης του pH (μ_{pH}) (-0.013) σε σχέση με τα γιαούρτια από πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα, -0.018 και -0.017 αντίστοιχα. Η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}) εμφανίζεται αυξημένη κατά 40 min στο γιαούρτι από αποβουτυρωμένο γάλα (245 min) σε σχέση με τα αντίστοιχα από πλήρες (201 min) και ημιαποβουτυρωμένο γάλα (205 min). Ο ολικός χρόνος ζύμωσης στο γιαούρτι από αποβουτυρωμένο γάλα εμφανίστηκε επιμηκυμένος κατά περίπου 50 min (290 min), ενώ στο γιαούρτι από πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα, 240 min και 242 min αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα, η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}) επηρεάζεται σημαντικά ($p < 0.05$) επίσης από τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας, με τη μεγαλύτερη τιμή αυτής να παρέχεται για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας τα 60 min, 234 min, έναντι 208 min για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας τα 30 min και 220 min για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας τα 120 min.

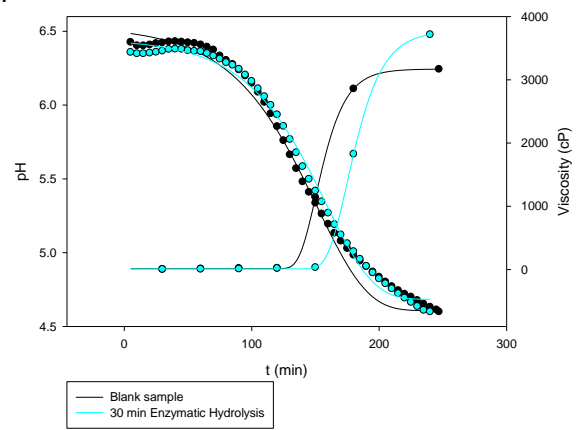
Τέλος, τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων, και συγκεκριμένα το ιξώδες στους 45°C, η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα και το κομμιώδες αυτών, επηρεάζονται από το είδος του γάλακτος. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές για το m_{RH} , το ιξώδες στους 45°C του τελικού προϊόντος, τη σκληρότητα, την προσκολλησιμότητα και το κομμιώδες προκύπτουν για το πλήρες γάλα, ενώ για το λ_{RH} και τον ολικό χρόνο ζύμωσης για το αποβουτυρωμένο γάλα. Τα παραπάνω αποτελέσματα οφείλονται στην μεγαλύτερη περιεκτικότητα λιπαρών που υπάρχουν στο πλήρες γάλα.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της 3^{ης} σειράς.

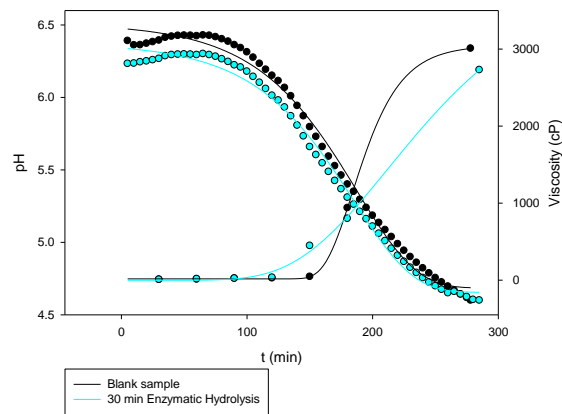
α



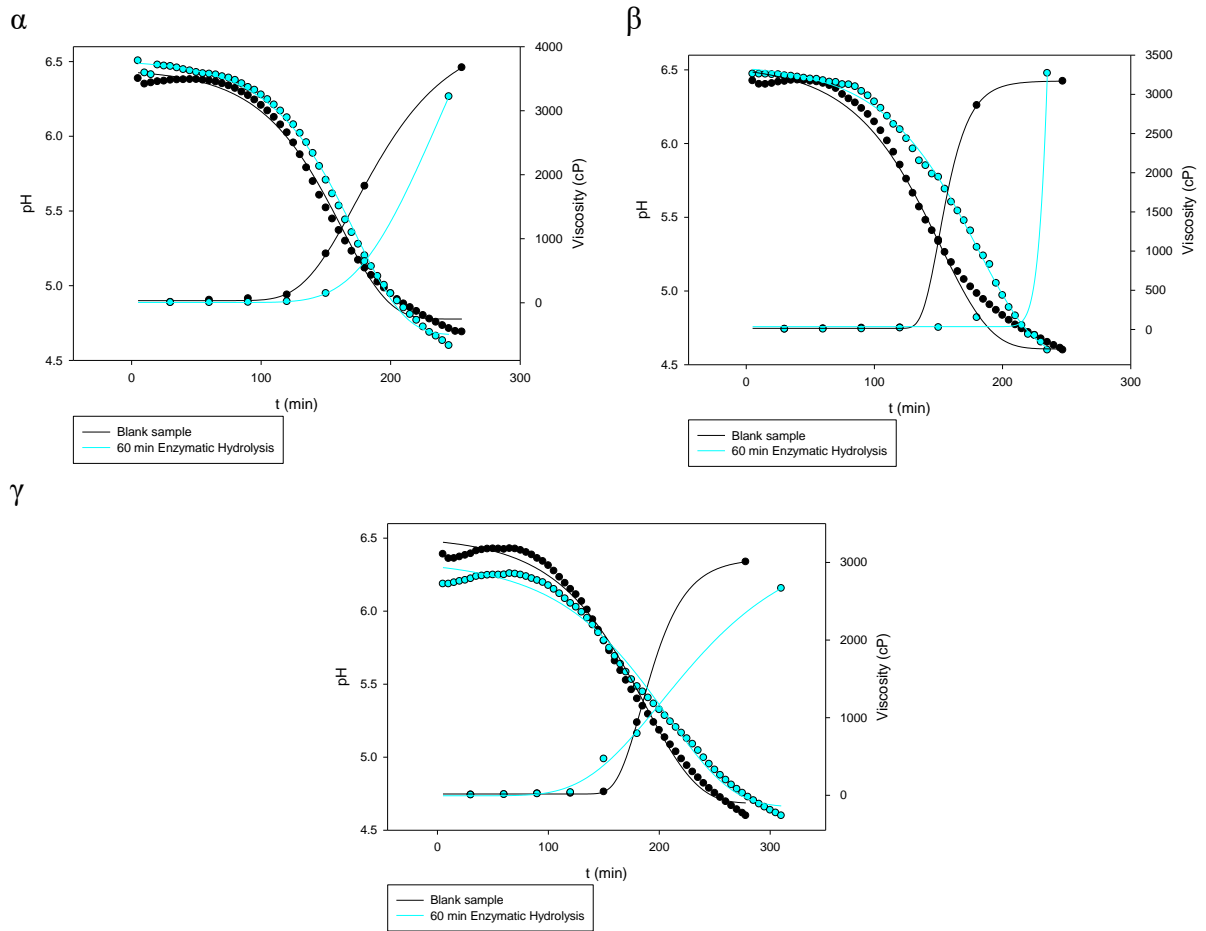
β



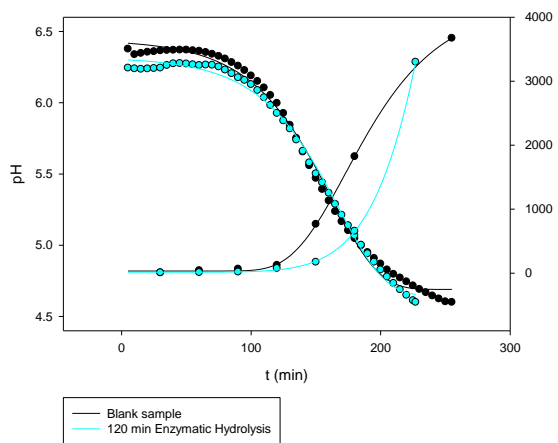
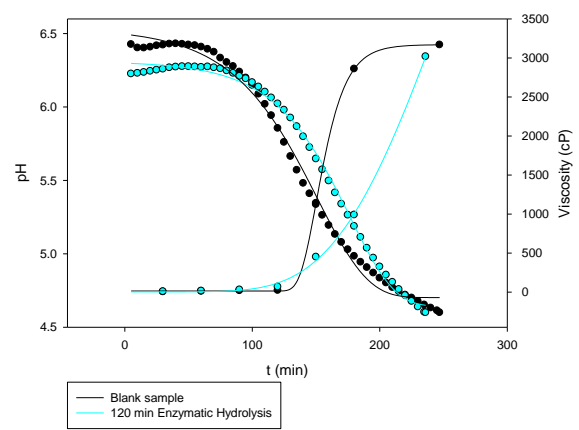
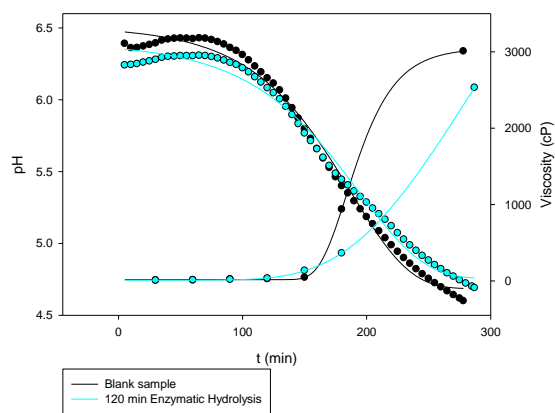
γ



Διάγραμμα 10: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 30 min από (α) Πλήρες γάλα, (β) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (γ) Αποβουτυρωμένο γάλα.



Διάγραμμα 11: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 60 min από (α) Πλήρες γάλα, (β) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (γ) Αποβουτυρωμένο γάλα.

α  β  γ 

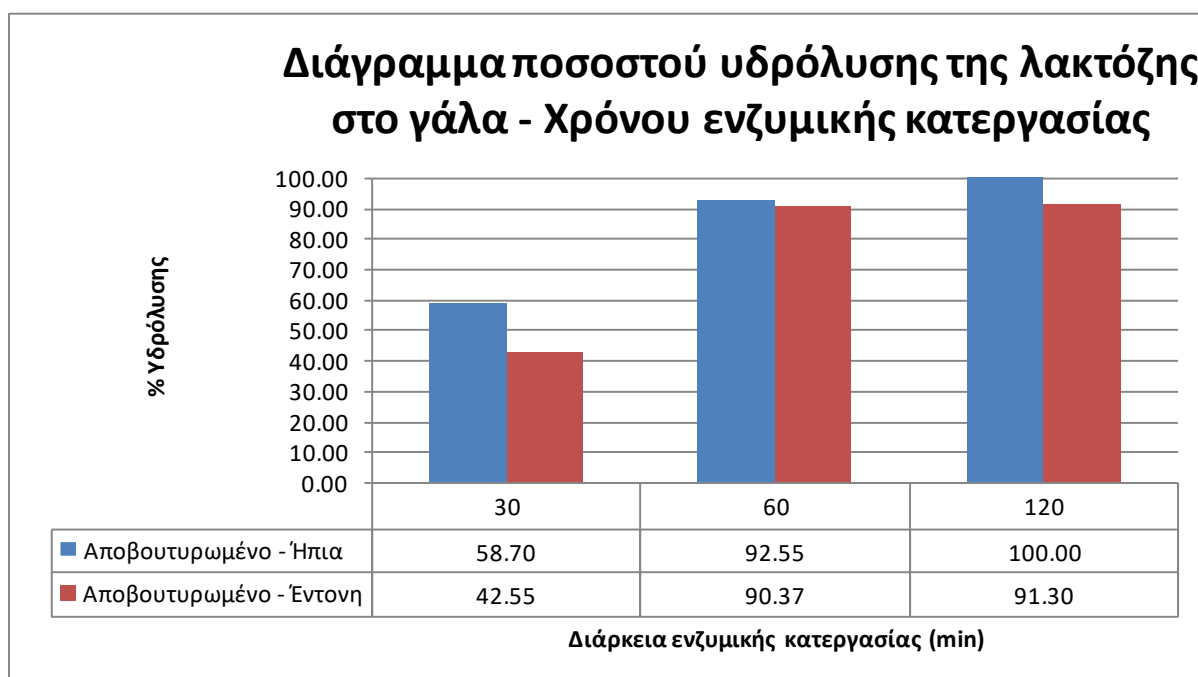
Διάγραμμα 12: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για 120 min από (α) Πλήρες γάλα, (β) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα, (γ) Αποβουτυρωμένο γάλα.

3.5 Αποτελέσματα 4ης Σειράς Πειραμάτων

Σε αυτή τη σειρά πειραμάτων εξετάζεται η υδρόλυση της λακτόζης σε δείγματα αποβουτυρωμένου γάλακτος και μελετάται η επίδραση του χρόνου ενζυμικής υδρόλυσης (30, 60 και 120 min) και η επίδραση της ακόλουθης θερμικής κατεργασίας (ήπια και έντονη) του γάλακτος ως προς το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης, την εξέλιξη της ζύμωσης του γιαουρτιού και τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων. Τα αποτελέσματα του ποσοστού υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 13. Τα αποτελέσματα της μελέτης της ζύμωσης και των χαρακτηριστικών της υφής των γιαουρτιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 21. Στον Πίνακα 22 δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιών.

Υποσημείωση: Τα δείγματα με ίδιες συνθήκες έχουν χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενη σειρά πειραμάτων.

Στο αποβουτυρωμένο γάλα η αρχική λακτόζη υπολογίστηκε ίση με 4.9377% και απαιτείται η προσθήκη 0.1422 g ενζύμου σε 1000 mL γάλακτος.



Διάγραμμα 13: Αποτελέσματα της υδρόλυσης της λακτόζης σε αποβουτυρωμένο γάλα σε σχέση με τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας και την ακόλουθη θερμική κατεργασία του γάλακτος. (Ήπια: 84°C για 20 min, Έντονη: 92°C για 15 min).

Από το διάγραμμα 13 παρατηρείται ότι με την αύξηση του χρόνου της ενζυμικής δράσης, αυξάνεται και το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στο αποβουτυρωμένο γάλα, όπως ήδη έχει παρατηρηθεί και για το πλήρες και το ημιαποβουτυρωμένο γάλα. Επίσης, το ποσοστό της υδρόλυσης της λακτόζης φαίνεται να επηρεάζεται από τη μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος, αφού επιτυγχάνεται υψηλότερο ποσοστό υδρόλυσης για την περίπτωση της ήπιας θερμικής κατεργασίας του γάλακτος. Από τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι το ποσοστό υδρόλυσης επηρεάζει σημαντικά ($p < 0.05$) από τη διάρκεια της ενζυμικής δράσης με υψηλότερη τιμή να προκύπτει για χρόνο ενζυμικής δράσης τα 120 min, ενώ δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος. Αξίζει να αναφερθεί ότι το υψηλότερο ποσοστό υδρόλυσης επιτυγχάνεται στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα (100%) με διάρκεια ενζυμικής δράσης τα 120 min και ήπια θερμική κατεργασία του γάλακτος.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα 4^{ης} σειράς πειραμάτων. Αποτελέσματα μελέτης ζύμωσης γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης αποβουτυρωμένου γάλακτος - Επίδραση του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας και της ακόλουθης θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Γάλα	Χρόνος ενζυμικής κατεργασίας (min)	Θερμική κατεργασία	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
			pH	λ _{pH} (min)	Μιξώδους	λιξώδους (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμώδες (N)
Ημιποβουτυρωμένο	30	Ήπια	-0.015	207.120	33.876	159.595	245	2467	0.194	0.132	0.635	2.747	0.123
	60		-0.013	231.153	24.651	159.566	277	2807	0.300	0.227	0.519	2.110	0.156
	120		-0.013	227.762	55.207	222.356	271	2951	0.242	0.185	0.579	2.480	0.140
	30	Έντονη	-0.013	232.098	19.938	139.605	285	2729	0.170	0.096	0.449	1.580	0.076
	60		-0.011	266.062	17.542	132.925	310	2666	0.223	0.126	0.635	2.592	0.142
	120		-0.012	246.369	25.437	187.891	287	2531	0.148	0.082	0.740	1.865	0.109

*Ήπια: 84°C για 20 min, *Έντονη: 92°C για 15 min.

Πίνακας 22: Αποτελέσματα πειραμάτων συμβατικής ζύμωσης γάλακτος για παραγωγή γιαουρτιού, από αποβουτυρωμένο γάλα, που έχει υποστεί διαφορετική θερμική κατεργασία. (4^η σειρά πειραμάτων).

Θερμική κατεργασία	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
	μ _{pH}	λ _{pH} (min)	Μιξώδους	Λιξώδους (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμώδες (N)
Ήπια	-0.017	194.780	185.654	256.347	226	2264	0.144	0.084	0.754	2.035	0.108
Έντονη	-0.014	234.817	50.839	161.913	278	3007	0.178	0.092	0.692	2.395	0.123

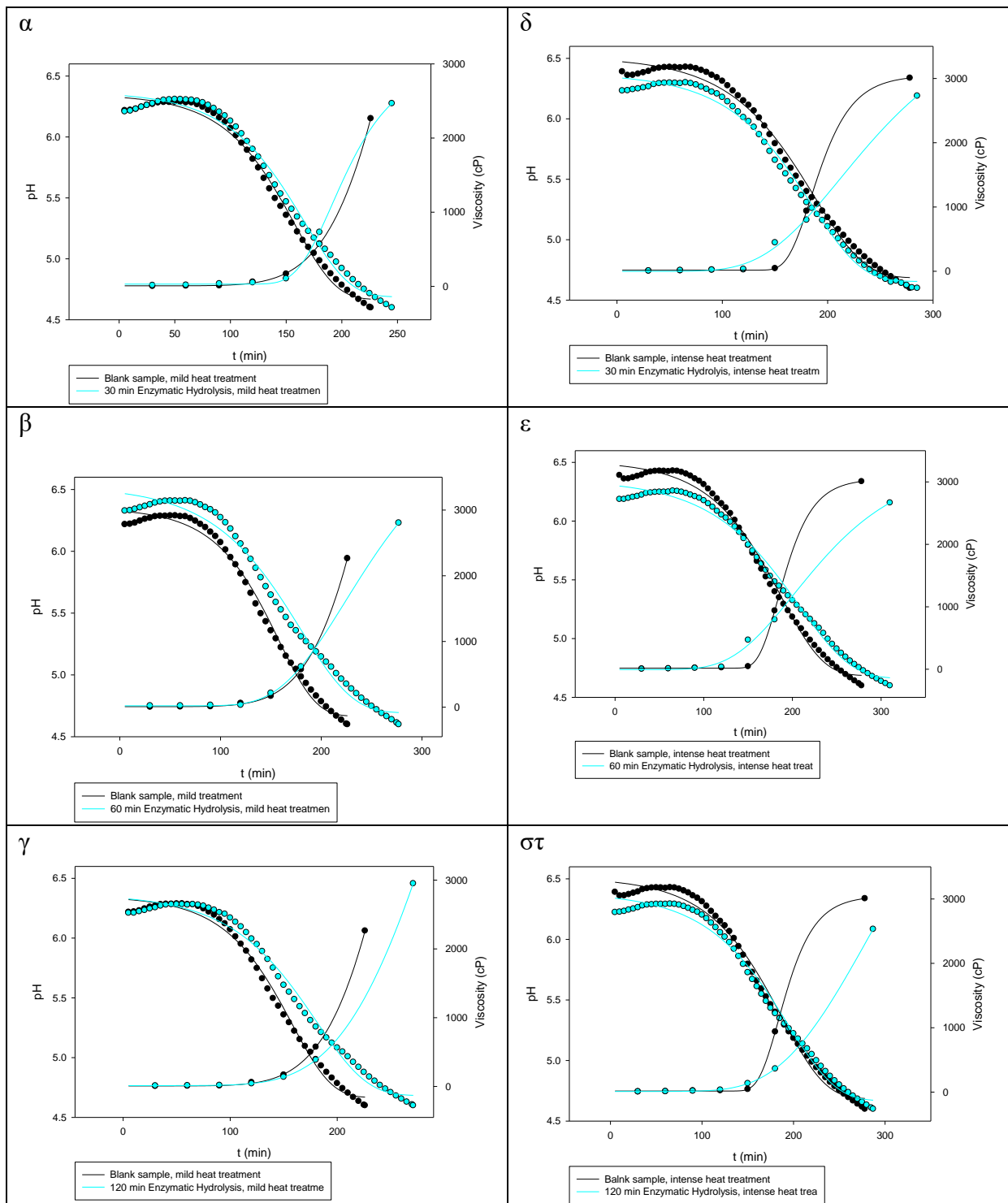
*Ήπια: 84°C για 20 min, *Έντονη: 92°C για 15 min.

Τα αποτελέσματα συμβαδίζουν με αυτά των Ibarra et al. (2012) και Kárnyáczki et al (2017), αφού ο ολικός χρόνος ζύμωσης από αποβουτυρωμένο γάλα επιμηκώνεται.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων εξάγονται τα συμπεράσματα ότι ο ρυθμός αύξησης του pH (μ_{pH}), η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}) και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του ιξώδους ($\lambda_{\text{ιξώδους}}$) επηρεάζονται από τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας, στην περίπτωση της ζύμωσης αποβουτυρωμένου γάλακτος. Συγκεκριμένα, οι υψηλότερες τιμές προκύπτουν για το μ_{pH} για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας 30 min (-0.014), για το λ_{pH} για χρόνο ενζυμικής κατεργασίας 60 min (249 min) και το $\lambda_{\text{ιξώδους}}$ για χρόνο ενζυμικής υδρόλυσης 120 min (205 min). Όσον αφορά τη σύγκριση των δειγμάτων που έχουν υποστεί υδρόλυση της λακτόζης του γάλακτος για παραγωγή γιαουρτιού σε σχέση με την παραγωγή συμβατικού γιαουρτιού, το μ_{pH} των συμβατικών εμφανίζεται υψηλότερο (-0.015) και το λ_{pH} χαμηλότερο (215 min).

Τέλος, το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος που ακολουθεί μετά την ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης, από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, φάνηκε ότι διαφοροποιεί (εμφανίζει σημαντική διαφορά ($p < 0.05$)) το ρυθμό αύξησης του pH (μ_{pH}), τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}), τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του ιξώδους ($\lambda_{\text{ιξώδους}}$) και τον ολικό χρόνο ζύμωσης. Συγκεκριμένα, για ήπια θερμική επεξεργασία του γάλακτος εμφανίζονται υψηλότερες τιμές στο μ_{pH} , -0.015 έναντι -0.013 κατά την έντονη θερμική επεξεργασία του γάλακτος, και του $\lambda_{\text{ιξώδους}}$, 180 min κατά την ήπια θερμική επεξεργασία του γάλακτος ενώ 153 min κατά την έντονη θερμική επεξεργασία του γάλακτος. Το λ_{pH} και ο χρόνος ζύμωσης εμφανίζουν υψηλότερες τιμές κατά την έντονη κατεργασία του γάλακτος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της 4^{ης} σειράς πειραμάτων



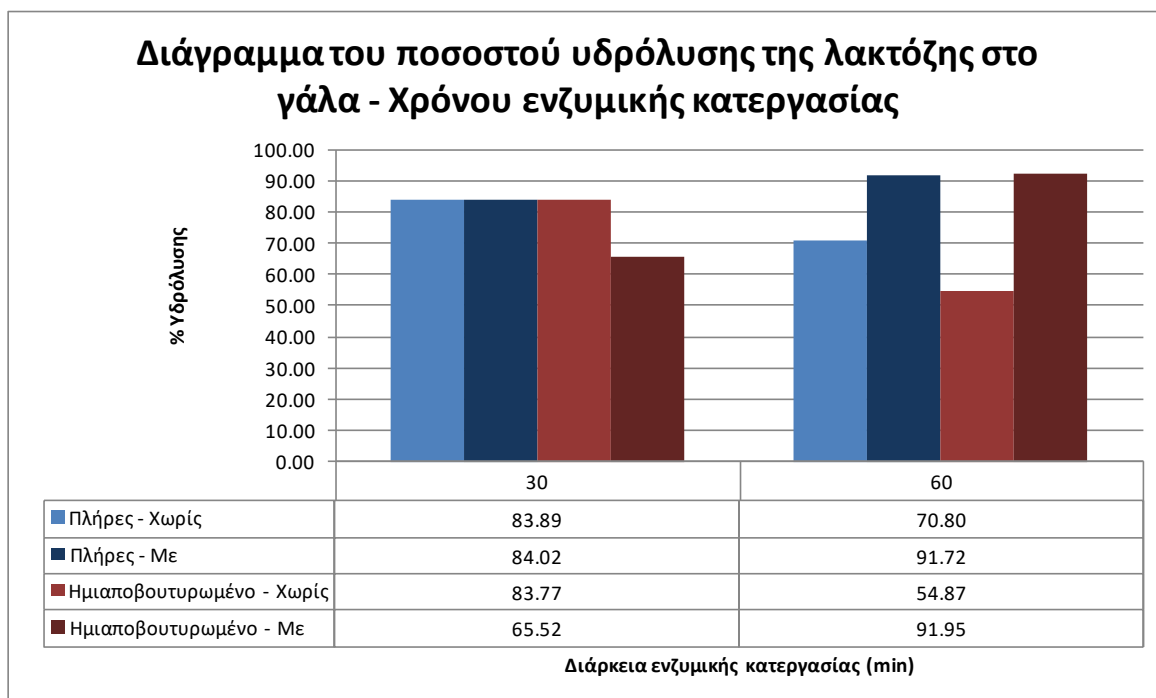
Διάγραμμα 14: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων αποβουτυρωμένου γάλακτος που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση για: (α) 30 min και ήπια θερμική κατεργασία, (β) 60 min και ήπια θερμική κατεργασία, (γ) 120 min και ήπια θερμική κατεργασία, (δ) 30 min και έντονη θερμική κατεργασία, (ε) 60 min και έντονη θερμική κατεργασία και (στ) 120 min και έντονη θερμική κατεργασία.

3.6 Αποτελέσματα 5ης Σειράς Πειραμάτων

Σε αυτή τη σειρά εξετάζεται η υδρόλυση λακτόζης σε δείγματα πλήρους και ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος ενισχυμένου με σκόνη ορού γάλακτος και μελετάται η επίδραση του χρόνου ενζυμικής κατεργασίας (30 και 60 min) ως προς το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης, την εξέλιξη της ζύμωσης του γιαουρτιού και τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων. Τα δείγματα περιείχαν 4% περίσσεια ενζύμου και τα γάλατα υπέστησαν ακολούθως έντονη θερμική κατεργασία. Τα αποτελέσματα του ποσοστού υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 15. Τα αποτελέσματα της μελέτης της ζύμωσης και των χαρακτηριστικών της υφής των γιαουρτιών παρουσιάζονται στον Πίνακα 23. Στον Πίνακα 24 δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της συμβατικής ζύμωσης γιαουρτιών.

Υποσημείωση: Τα δείγματα με ίδιες συνθήκες έχουν χρησιμοποιηθεί και σε προηγούμενη σειρά πειραμάτων.

Η αρχική λακτόζη στο πλήρες γάλα με την προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος υπολογίστηκε ίση με 5.1830%, και επομένως απαιτούνται 0.1493 g ενζύμου για την υδρόλυσή της. Στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα με την προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος, η αρχική λακτόζη υπολογίστηκε ίση με 5.3366% και για την υδρόλυσή της απαιτούνται 0.1537 g ενζύμου. Στα πειράματα με περίσσεια ενζύμου, προστέθηκε 4% παραπάνω ένζυμο.



Διάγραμμα 15: Αποτελέσματα της υδρόλυσης της λακτόζης σε πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα ενισχυμένου με σκόνη ορού γάλακτος σε σχέση με τη διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας (Σημείωση: Χωρίς: χωρίς προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος, Με: προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος).

Από το διάγραμμα 15 παρατηρείται ότι με την προσθήκη της σκόνης ορού γάλακτος, το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης δεν διαφοροποιείται για διάρκεια ενζυμικής δράσης τα 30 min. Όμως, για χρόνο ενζυμικής δράσης 60 min, στα δείγματα που έχει προστεθεί σκόνη ορού γάλακτος, το ποσοστό εμφανίζεται υψηλότερο σε σχέση με τα δείγματα, όπου δεν έχει γίνει προσθήκη.

Από τη στατιστική επεξεργασία προέκυψε ότι το είδος του γάλακτος και η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος δεν επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης, ενώ ο χρόνος της ενζυμικής κατεργασίας επηρεάζει σημαντικά το ποσοστό της ($p < 0.05$). Συγκεκριμένα, υψηλότερα ποσοστά υδρόλυσης εμφανίζονται για διάρκεια ενζυμικής δράσης 30 min. Το αποτέλεσμα στο δείγμα ημιαποβουτυρωμένου γάλακτος με διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας 60 min που εμφανίζει χαμηλό ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα, ενδεχομένως να οφείλεται και σε πειραματικό σφάλμα.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα 5^{ης} σειράς πειραμάτων. Αποτελέσματα μελέτης ζύμωσης γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης σε πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα ενισχυμένο με σκόνη ορού γάλακτος -Επίδραση του χρόνου της ενζυμικής κατεργασίας. Τα δείγματα περιείχαν 4% περίσσεια ενζύμου και υπέστηκαν έντονη θερμική κατεργασία (92°C για 15 min).

Γάλα	Χρόνος ενζυμικής κατεργασίας (min)	Προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
			μpH	λpH (min)	Μιξώδους	Λιξώδους (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμώδες (N)
Πλήρες	30	Όχι	-0.017	198.455	90.022	157.832	242	3408	0.916	47.345	0.442	2.508	0.405
	60	Όχι	-0.017	205.403	92.998	158.528	248	3554	0.843	45.156	0.444	2.597	0.374
	30	Ναι	-0.014	214.158	68.237	206.691	247	3217	0.526	0.262	0.407	2.202	0.214
	60	Ναι	-0.016	206.157	307.908	313.025	236	3119	0.497	0.364	0.403	2.130	0.200
Ημιαποβουτυρωμένο	30	Όχι	-0.015	213.570	30.055	157.045	242	2287	0.370	26.004	0.557	2.425	0.206
	60	Όχι	-0.019	195.909	92.708	160.040	242	3502	0.524	29.626	0.480	2.268	0.251
	30	Ναι	-0.014	216.375	57.950	160.272	244	3127	0.434	0.318	0.333	2.185	0.145
	60	Ναι	-0.018	202.254	54.314	161.359	231	3108	0.389	0.240	0.540	2.255	0.210

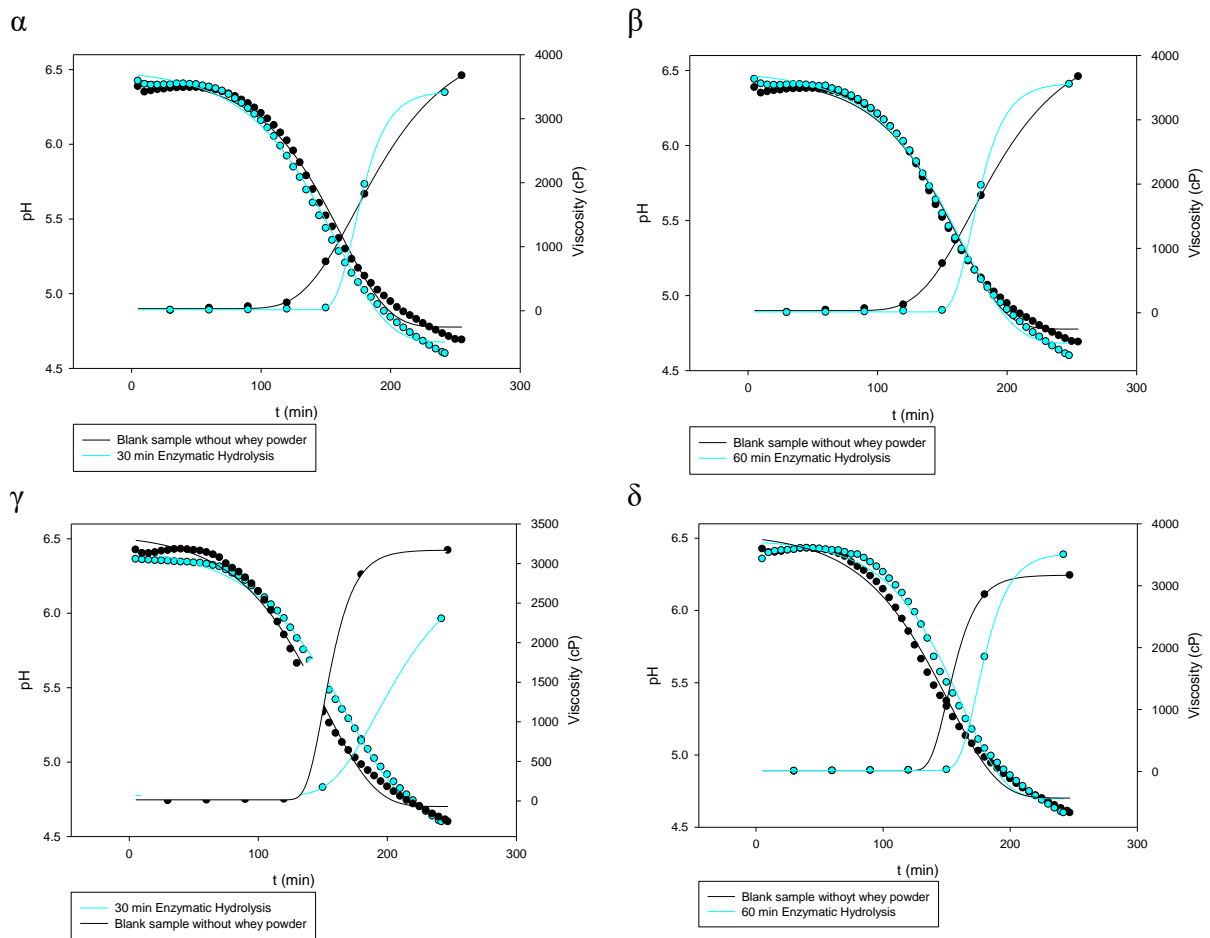
Πίνακας 24: Αποτελέσματα πειραμάτων συμβατικής ζύμωσης γάλακτος για παραγωγή γιαουρτιού, με προσθήκη ή μη σκόνης ορού γάλακτος σε πλήρες και ημιαποβουτυρωμένο γάλα, που έχουν υποστεί έντονη θερμική κατεργασία (92°C για 15 min).

Γάλα	Προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος	Μελέτη της ζύμωσης					Χαρακτηριστικά της υφής					
		μ _{PH}	λ _{PH} (min)	μ _{ξώδους}	λ _{ξώδους} (min)	Χρόνος Ζύμωσης (min)	Τελικό ιξώδες στους 45°C (cP)	Σκληρότητα (N)	Προσκολλησιμότητα (N·s)	Συνεκτικότητα	Ελαστικότητα (s)	Κομμώδες (N)
Πλήρες	Όχι	-0.018	198.759	37.454	132.084	255	3673	0.941	59.029	0.414	2.407	0.389
	Ναι	-0.016	220.142	39.967	168.031	250	3854	0.490	0.370	0.478	2.093	0.234
Ημιαποβουτυρωμένο	Όχι	-0.017	190.712	88.855	137.328	247	3168	0.589	35.290	0.493	2.372	0.291
	Ναι	-0.013	220.407	61.578	156.926	255	3322	0.395	15.962	0.580	2.260	0.229

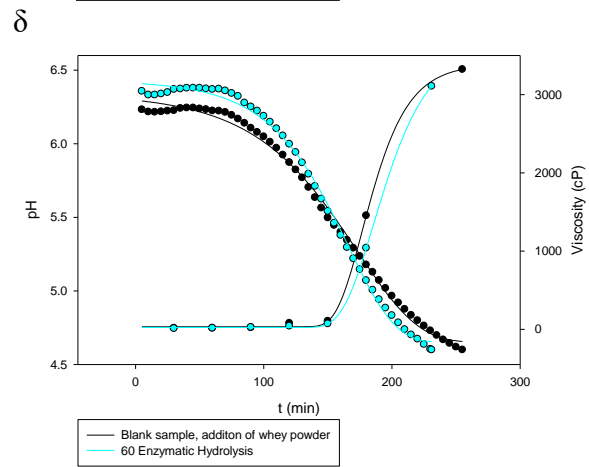
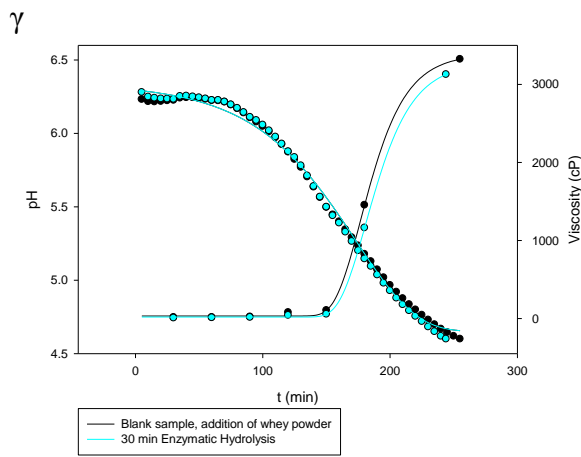
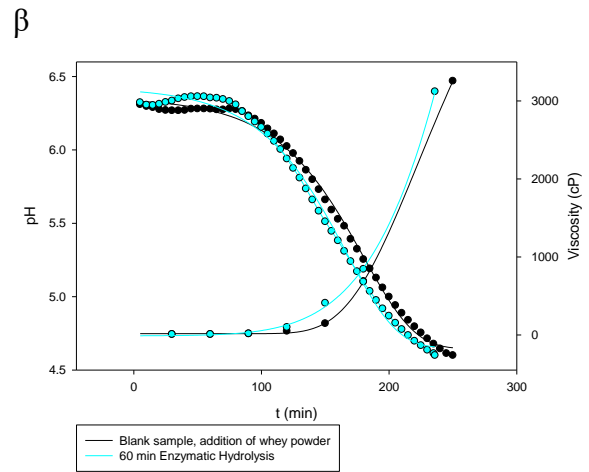
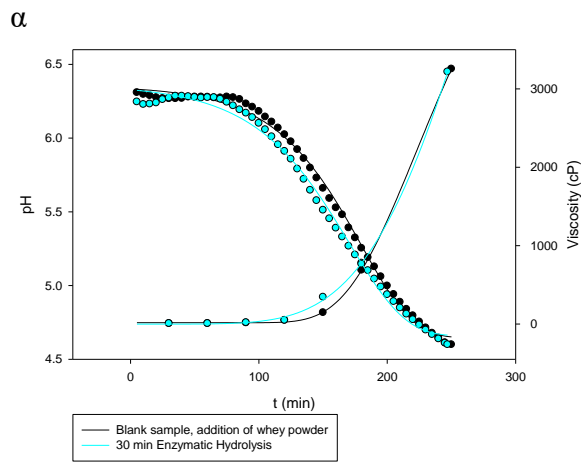
Τα αποτελέσματα συμβαδίζουν με αυτά των Nagaraj et al. (2009), καθώς ο χρόνος ζύμωσης εμφανίζεται μειωμένος στα δείγματα που έχει υδρολυθεί η λακτόζη στο γάλα, ενώ και τα χαρακτηριστικά της υφής των τελικών προϊόντων παρουσιάζουν ασθενές πήγμα. Τέλος, η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος δεν δείχνει να βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της υφής των τελικών προϊόντων.

Από τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι ο ρυθμός αύξησης του pH (μ_{pH}) και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}) επηρεάζονται σημαντικά ($p < 0.05$) από τη διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας. Συγκεκριμένα, το μ_{pH} εμφανίζει υψηλότερη τιμή στο γάλα που έχει υποστεί ενζυμική δράση 60 min, -0.018, σε σχέση με το αντίστοιχο γάλα που έχει υποστεί ενυμική κατεργασία διάρκειας 30 min. Επίσης, ο ρυθμός αύξησης του pH (μ_{pH}), και η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης μέσω της μελέτης των τιμών του pH (λ_{pH}), η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα, η ελαστικότητα και το κομμιώδες των τελικών προϊόντων, επηρεάζονται από την προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος. Ειδικότερα, η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος στα δείγματα μειώνει το μ_{pH} , αυξάνει το λ_{pH} , μειώνει τη σκληρότητα, την προσκολλησιμότητα, την ελαστικότητα και το κομμιώδες. Τέλος, η σκληρότητα και το κομμιώδες των γιαουρτιών επηρεάζονται σημαντικά ($p < 0.05$) από το είδος του γάλακτος. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται πλήρες γάλα για την παραγωγή γιαουρτιού προκύπτουν υψηλότερες τιμές σκληρότητας και κομμιώδους των τελικών προϊόντων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της 5^{ης} σειράς.



Διάγραμμα 16: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων ενισχυμένων με σκόνη ορού γάλακτος, (α) Πλήρες γάλα για 30 min, (β) Πλήρες γάλα για 60 min, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα για 30 min, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα για 60 min.



Διάγραμμα 17: Συγκριτική απεικόνιση εξέλιξης pH και ιξώδους συναρτήσει του χρόνου ζύμωσης συμβατικού γιαουρτιού και δειγμάτων ενισχυμένων με σκόνη ορού γάλακτος, (α) Πλήρες γάλα για 30 min , (β) Πλήρες γάλα για 60 min, (γ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα για 30 min, (δ) Ημιαποβουτυρωμένο γάλα για 60 min.

4. Συμπεράσματα και Προτάσεις

4.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκαν πειράματα με στόχο την παραγωγή γιαουρτιού προϋδρολυμένης λακτόζης. Η υδρόλυση της λακτόζης έγινε με τη χρήση του ενζύμου *λακτάση* (Saphera® FMP, Novozymes), το οποίο προστίθεται στο γάλα και αφήνεται να δράσει για συγκεκριμένο χρόνο στους 40°C. Αρχικά, από το προκαταρκτικό πείραμα (1^η Σειρά), εξάγονται τα συμπεράσματα για το σχεδιασμό των υπόλοιπων σειρών. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι απαιτείται μεγάλη διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας, ώστε να υδρολυθεί μεγαλύτερο ποσοστό λακτόζης στο γάλα. Επίσης, επιλέχθηκε να μελετηθεί το είδος του γάλακτος (περιεκτικότητα λιπαρών), η ποσότητα του ενζύμου που προστίθεται στο γάλα, καθώς και η διαφορετική μετέπειτα θερμική κατεργασία του γάλακτος. Τέλος, για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της υφής των γιαουρτιών επιλέγεται η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος.

Για τη 2^η σειρά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τελικά η ποσότητα του ενζύμου, όπως και η διάρκεια της ενζυμικής υδρόλυσης δεν επηρεάζουν την εξέλιξη της ζύμωσης και τα χαρακτηριστικά υφής των τελικών προϊόντων. Το είδος του γάλακτος, ωστόσο, επηρεάζει σημαντικά τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής του γιαουρτιού. Συγκεκριμένα, η σκληρότητα, η προσκολλησιμότητα και το κομμιώδες των γιαουρτιών εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές στην περίπτωση ζύμωσης με ημιαποβουτυρωμένο γάλα σε σχέση με πλήρες γάλα. Η συνεκτικότητα των γιαουρτιών από την άλλη είναι μεγαλύτερη κατά τη ζύμωση με ημιαποβουτυρωμένο γάλα, ενώ η ελαστικότητα δεν επηρεάζεται από το είδος του γάλακτος. Τέλος, η θερμική κατεργασία του γάλακτος μετά την υδρόλυση της λακτόζης επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό μείωσης του pH, τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH, το χρόνο ζύμωσης και το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C. Συγκεκριμένα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η ήπια θερμική κατεργασία, αυξάνει το ρυθμό μείωσης του pH, μειώνει τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH, μειώνει τον ολικό χρόνο ζύμωσης και οδηγεί σε μικρότερο ιξώδες στους 45°C του τελικού προϊόντος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δεν έχουν παρατηρηθεί παρόμοια αποτελέσματα από άλλους ερευνητές. Ενδεχομένως, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι δύο μελετηθείσες θερμικές κατεργασίες του γάλακτος να είναι ισοδύναμες, επηρεάζοντας με παρόμοιο τρόπο την ζύμωση του γάλακτος για την παραγωγή γιαουρτιού (84°C για 20 min / 92°C για 15 min).

Για την 3^η σειρά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι με αύξηση της διάρκειας της ενζυμικής κατεργασίας αυξάνεται το ποσοστό της υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα. Συγκεκριμένα, για διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας 30 min επιτυγχάνεται ποσοστό υδρόλυσης 51.44%, για 60 min 79.63% και για 120 min 95.31%. Επίσης, λόγω της μειωμένης λακτόζης που υπάρχει στο γάλα, αυξάνεται η λανθάνουσα φάση του pH. Έτσι, για διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας 30 min η διάρκεια της λανθάνουσας φάσης είναι 206 min, για 60 min 234 min και για 120 min 220 min. Επίσης, ανάλογα με το είδος του γάλακτος μειώνεται ο ρυθμός μείωσης του pH (πλήρες: -0.018, ημιαποβουτυρωμένο: -0.017, αποβουτυρωμένο: -0.012). Το πλήρες και το ημιαποβουτυρωμένο γάλα παρουσιάζουν παρόμοιο ολικό χρόνο ζύμωσης, 242 min και 240 min αντίστοιχα, ενώ το αποβουτυρωμένο γάλα αυξημένο, 290 min. Τέλος, κάποια από τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής των τελικών προϊόντων (ιξώδες στους 45°C, σκληρότητα, προσκολλησιμότητα και κομμιώδες) επηρεάζονται από το ζυμούμενο είδος του γάλακτος. Συγκεκριμένα, το πλήρες γάλα οδηγεί σε υψηλότερες τιμές ιξώδους στους 45°C, σκληρότητας, προσκολλησιμότητας και κομμιώδους στα τελικά προϊόντα.

Για την 4^η σειρά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η αύξηση της διάρκειας της ενζυμικής υδρόλυσης αυξάνει το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα. Συγκεκριμένα, για διάρκεια ενζυμικής υδρόλυσης 30 min επιτυγχάνεται ποσοστό υδρόλυσης 50.62%, για 60 min 91.50% και για 120 min 95.65%. Επίσης, ανάλογα με τη διάρκεια της ενζυμικής υδρόλυσης της λακτόζης μειώνεται ο ρυθμός μείωσης του pH και αυξάνεται η λανθάνουσα φάση του pH και του ιξώδους. Συγκεκριμένα, για διάρκεια ενζυμικής υδρόλυσης 30 min υπολογίστηκε η διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους στα 150 min, για 60 min στα 146 min και για 120 min στα 205 min. Η ήπια θερμική κατεργασία του γάλακτος αυξάνει το ρυθμό μείωσης του pH και τον ολικό χρόνο ζύμωσης, ενώ η έντονη θερμική κατεργασία του γάλακτος αυξάνει τη λανθάνουσα φάση του pH και του ιξώδους.

Τέλος, όσο αφορά τα αποτελέσματα της 5^{ης} σειράς, η διάρκεια της ενζυμικής υδρόλυσης επηρεάζει το ρυθμό μείωσης του pH και το χρόνο ζύμωσης. Συγκεκριμένα, για διάρκεια ενζυμικής υδρόλυσης 60 min ο ρυθμός μείωσης του pH εμφανίζεται μεγαλύτερος (-0.0176) σε σχέση με την ενζυμική υδρόλυση για 30 min (-0.0151). Το είδος του γάλακτος φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά μόνο τη σκληρότητα και το κομμιώδες των τελικών προϊόντων, παρατηρώντας σκληρότερο πήγμα για το δείγμα με πλήρες γάλα (0.70) σε σχέση με το ημιαποβουτυρωμένο (0.43). Τέλος, η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος επηρεάζει σημαντικά την προσκολλησιμότητα, την ελαστικότητα και το κομμιώδες των γιαουρτιών. Επίσης, η διάρκεια της ενζυμικής κατεργασίας φάνηκε να επηρεάζει τον ολικό χρόνο ζύμωσης των

γιαουρτιών. Συγκεκριμένα, τα δείγματα που έχουν υποστεί ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης στο γάλα, ζυμώνονται ταχύτερα από το συμβατικό (252 min). Στα δείγματα με χρόνο υδρόλυσης 30 min η ζύμωση ολοκληρώθηκε στα 244 min, ενώ για χρόνο υδρόλυσης 60 min στα 239 min αντίστοιχα. Όσον αφορά τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά των γιαουρτιών, το ημιαποβουτυρωμένο γάλα εμφανίζει ασθενέστερο πήγμα (0.45) σε σχέση με αυτό του πλήρους γάλακτος (0.70). Τέλος, ενώ η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος μειώνει το ρυθμό μείωσης του pH (-0.0152 έναντι -0.0171) και αυξάνει τη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH ($\lambda_{\text{pH με προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος}}=213 \text{ min}$ έναντι $\lambda_{\text{pH χωρίς προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος}}=200 \text{ min}$), δεν επηρεάζει σημαντικά τα αντικειμενικά χαρακτηριστικά της υφής των γιαουρτιών (σκληρότητα, προσκολλησιμότητα, ελαστικότητα και κομμιώδες).

Καταλήγοντας, μπορεί να εξαχθεί το συνολικό συμπέρασμα ότι η αύξηση της διάρκειας της ενζυμικής κατεργασίας επιτυγχάνει μεγαλύτερο ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης. Παράλληλα, τόσο στο πλήρες όσο και στο ημιαποβουτυρωμένο γάλα η διάρκεια της ζύμωσης είναι γρηγορότερη σε σχέση με το συμβατικό (γάλα χωρίς ενζυμική κατεργασία), κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με το αποβουτυρωμένο γάλα, του οποίου η διάρκεια ζύμωσης επιμηκύνεται. Επιπλέον, όσον αφορά την ποσότητα του ενζύμου, η περίσσεια ενζύμου δεν βρέθηκε να επηρεάζει το ποσοστό υδρόλυσης της λακτόζης, εφόσον και οι δύο ποσότητες ενζύμου που μελετήθηκαν έδωσαν παρόμοια ποσοστά υδρόλυσης. Επιπροσθέτως, η σκόνη ορού γάλακτος δεν φάνηκε να βελτιώνει τα χαρακτηριστικά της υφής των τελικών προϊόντων και οι θερμικές κατεργασίες του γάλακτος που εξετάστηκαν αποδείχτηκαν σχεδόν ισοδύναμες. Τέλος, όλα τα δείγματα που υπέστησαν ενζυμική υδρόλυση της λακτόζης του γάλακτος, εμφάνισαν ένα πιο ασθενές πήγμα σε σχέση με τα συμβατικά πήγματα γιαουρτιού.

4.2 Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε η μελέτη της υδρόλυσης της λακτόζης του γάλακτος με χρήση του ενζύμου λακτάση. Η παρούσα μελέτη έθεσε την βάση για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων μειωμένης λακτόζης και απέδωσε αξιόλογα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά ωφέλιμο θα ήταν να μελετηθεί διεξοδικότερα η υδρόλυση της λακτόζης σε σχέση με τις συνθήκες ή/και άλλοι τρόποι υδρόλυσης για την παροχή πληροφοριών και την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων. Ένας άλλος τρόπος υδρόλυσης της λακτόζης στο γάλα που παρουσιάζει ερευνητικό ενδιαφέρον, είναι η προσθήκη του ενζύμου στο γάλα και η επώασή του σε χαμηλότερη θερμοκρασία (25°C) για 12 h. Μετά την επώαση, μπορεί να ακολουθήσει παστερίωση για την απενεργοποίηση του ενζύμου και στη συνέχεια ζύμωση του γάλακτος για την παραγωγή γιαουρτιού. Επίσης, ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της ταυτόχρονης προσθήκης του ενζύμου λακτάση με τη συμβιωτική καλλιέργεια και ακολούθως η επώαση στους 45°C μέχρι να ολοκληρωθεί η ζύμωση του γιαουρτιού. Η προσθήκη προβιοτικών βακτηρίων ταυτόχρονα με την προσθήκη του ενζύμου λακτάση θα μπορούσε επίσης να μελετηθεί, για την ενίσχυση της διατροφικής αξίας του γιαουρτιού σε άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη. Τέλος, η βελτίωση των χαρακτηριστικών της υφής του τελικού προϊόντος είτε με εντονότερη θερμική κατεργασία του γάλακτος είτε με τη χρήση ενισχυτικών στερεών είτε σταθεροποιητών, καθώς και η ανάπτυξη και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων, όπως ροφημάτων, παγωτού ή κρέμας γάλακτος, ελευθέρων λακτόζης μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης.

Βιβλιογραφία

- Κώδικας Τροφίμων, Ποτών και Αντικειμένων Κοινής Χρήσης. (2009). Μέρος Α, Άρθρο 80, Έκδοση 4.
- Κώδικας Τροφίμων, Ποτών και Αντικειμένων Κοινής Χρήσης. (2009). Μέρος Α, Άρθρο 82, Έκδοση 4. FAO 2016
- Corgneau, M., Scher, J., Ritie-Pertusa, L., Le, D. T., Petit, J., Nikolova, Y. & Gaiani, C. (2017). Recent advances on lactose intolerance: Tolerance thresholds and currently available answers. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(15), 3344-3356
- Deeth, H. C., & Tamime, A. Y. (1981). Yogurt: nutritive and therapeutic aspects. *Journal of Food Protection*, 44(1), 78-86
- Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73(suppl_1), 4-7.
- Fox, P. F., & Kelly, A. L. (2012). Chemistry and biochemistry of milk constituents. *Food Biochemistry and Food Processing*, 442-464.
- Fox, P. F., Mcsweeney, P. L., & Paul, L. (1998). Dairy chemistry and biochemistry (No. 637 F6.). London: Blackie Academic & Professional.
- Hertzler, S. R., Huynh, B. C. L., & Savaiano, D. A. (1996). How much lactose is low lactose? *Journal of the American Dietetic Association*, 96(3), 243-246.
- Ibarra, A., Acha, R., Calleja, M. T., Chiralt-Boix, A., & Wittig, E. (2012). Optimization and shelf life of a low-lactose yogurt with *Lactobacillus rhamnosus* HN001. *Journal of dairy science*, 95(7), 3536-3548.
- Jenness, R., & Patton, S. (1959). Principles of dairy chemistry. John Wiley; New York.
- Kárnyáczki, Z., & Csanádi, J. (2017). Texture profile properties, sensory evaluation, and susceptibility to syneresis of yoghurt prepared from lactose-free milk. *Acta Alimentaria*, 46(4), 403-410.
- Kretchmer, N. (1972). Lactose and lactase. *Scientific American*, 227(4), 70-79.
- Lankes, H., Ozer, B., & Robinson, R. K. (1998). Effect of method of fortification on the texture of natural yoghurt. *Milchwissenschaft*, 53(9), 510-513.
- Lomer, M. C. E., Parkes, G. C., & Sanderson, J. D. (2008). Lactose intolerance in clinical practice—myths and realities. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 27(2), 93-103.
- Massoud, R., Belgheisi, S., & Massoud, A. (2016). Effect of High-Pressure Homogenization on Improving the Quality of Milk and Sensory Properties of Yogurt: A. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 7(1).

- Montgomery, R. (1961). Further studies of the phenolsulfuric acid reagent for carbohydrates. *Biochimica et Biophysica Acta*, 48, 591-593.
- Nagaraj, M., Sharanagouda, B., Manjunath, H., & Manafi, M. (2009). Standardization of different levels of lactose hydrolysis in the preparation of lactose hydrolyzed yoghurt. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 10(2), 132-136.
- O'Mahony, J. A., & McSweeney, P. L. (2016). *Advanced dairy chemistry. Volume 1B: Proteins: Applied aspects*. Springer.
- Radke-Mitchell, L. C., & Sandine, W. E. (1986). Influence of Temperature on Associative Growth of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus*. *Journal of dairy science*, 69(10), 2558-2568.
- Rosenberg, Z. M. M. (2006). Current trends of β -galactosidase application in food technology. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(2), 47-54.
- Saarela, M. (Ed.). (2007). *Functional dairy products*. Elsevier.
- Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2017). Dairy 15 technologies in yogurt production. *Microbiology in Dairy Processing: Challenges and Opportunities*, 279.
- Smit, G. (Ed.). (2003). *Dairy processing: improving quality*. Elsevier.
- Spreer, E. (2017). *Milk and dairy product technology*. Routledge.
- Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt: science and technology*. Woodhead Publishing.
- Tamura, Y., Mizota, T., Shimamura, S., & Tomita, M. (1993). Lactulose and its application to food and pharmaceutical industries. In *Lactose hydrolysis, bulletin 239* (pp. 43–53) Brussels: International Dairy Federation.
- Tasneem, M., Siddique, F., Ahmad, A., & Farooq, U. (2014). Stabilizers: Indispensable substances in dairy products of high rheology. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(7), 869-879.
- Walstra, P., Geurts, T. J., Walstra, P., & Wouters, J. T. (2005). *Dairy science and technology*. CRC press.
- Watson, R. R., Collier, R. J., & Preedy, V. R. (Eds.). (2017). *Nutrients in Dairy and Their Implications for Health and Disease*. Academic Press.
- Yildiz, F. (2016). *Development and manufacture of yogurt and other functional dairy products*. CRC press.
- Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. (2007). Industrial yogurt manufacture: monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of dairy science*, 90(6), 2641-2654

- De Brabandere, A. G., & De Baerdemaeker, J. G. (1999). Effects of process conditions on the pH development during yogurt fermentation. *Journal of food engineering*, 41(3-4), 221-227.
- Fuquay, J. W., McSweeney, P. L., & Fox, P. F. (2011). *Encyclopedia of dairy sciences*. Academic Press.
- Moreira, T. C., da Silva, A. T., Fagundes, C., Ferreira, S. M. R., Cândido, L. M. B., Passos, M., & Krüger, C. C. H. (2017). Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 76, 326-329.
- ISMAIL, A. A., Mogensen, G., & Poulsen, P. R. (1983). Organoleptic and physical properties of yogurt made from lactose hydrolysed milk. *International Journal of Dairy Technology*, 36(2), 52-55.
- Passerat, B., Desmaison, A. M., & de Conférences, M. (1995). Lactase activity of *Bifidobacterium bifidum*. *Nutrition Research*, 15(9), 1287-1295.

Παράρτημα: Πίνακες στατιστικής επεξεργασίας

Π.1 Αποτελέσματα 2ης σειράς

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το είδος του γάλακτος (λιπαρά), η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας, η ποσότητα του ενζύμου και το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Πίνακας Π1.1: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό της υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	66067.22	1	66067.22	464.4015	0.000000
Milk	559.15	1	559.15	3.9304	0.072954
Time of enzymatic hydrolysis	21.44	1	21.44	0.1507	0.705237
Quantity of enzyme	310.45	1	310.45	2.1823	0.167659
Heat Treatment	391.28	1	391.28	2.7504	0.125443
Error	1564.89	11	142.26		

Πίνακας Π1.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.005528	1	0.005528	4945.067	0.000000
Milk	0.000004	1	0.000004	3.274	0.097784
Time of enzymatic hydrolysis	0.000001	1	0.000001	0.671	0.429955
Quantity of enzyme	0.000002	1	0.000002	1.701	0.218752
Heat Treatment	0.000024	1	0.000024	21.169	0.000764
Error	0.000012	11	0.000001		

Πίνακας Π1.2.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής επεξεργασίας στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	m pH Mean	1	2
1	1	-0.019804	****	
2	2	-0.017372		****

Πίνακας Π1.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	601831.4	1	601831.4	6406.334	0.000000
Milk	146.5	1	146.5	1.559	0.237700
Time of enzymatic hydrolysis	1.1	1	1.1	0.012	0.914124
Quantity of enzyme	27.9	1	27.9	0.297	0.596700
Heat Treatment	1721.3	1	1721.3	18.323	0.001298
Error	1033.4	11	93.9		

Πίνακας Π1.3.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής επεξεργασίας του γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	I pH Mean	1	2
1	1	183.5723	****	
2	2	204.3167		****

Πίνακας Π1.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	11296822	1	11296822	1.205474	0.295682
Milk	9237401	1	9237401	0.985715	0.342130
Time of enzymatic hydrolysis	9399879	1	9399879	1.003053	0.338095
Quantity of enzyme	9450315	1	9450315	1.008435	0.336857
Heat Treatment	9370322	1	9370322	0.999899	0.338824
Error	103083961	11	9371269		

Πίνακας Π1.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	432065.3	1	432065.3	641.1400	0.000000
Milk	657.7	1	657.7	0.9759	0.344447
Time of enzymatic hydrolysis	922.6	1	922.6	1.3690	0.266709
Quantity of enzyme	1213.9	1	1213.9	1.8013	0.206605
Heat Treatment	1518.1	1	1518.1	2.2527	0.161530
Error	7412.9	11	673.9		

Πίνακας Π1.6.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	854700.3	1	854700.3	7264.209	0.000000
Milk	169.0	1	169.0	1.436	0.255914
Time of enzymatic hydrolysis	182.2	1	182.2	1.549	0.239153
Quantity of enzyme	6.2	1	6.2	0.053	0.821952
Heat Treatment	1764.0	1	1764.0	14.992	0.002599
Error	1294.2	11	117.7		

Πίνακας Π1.6.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής επεξεργασίας του γάλακτος στον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Cell No.	Heat Treatment	Fermentation time Mean	1	2
1	1	220.6250	****	
2	2	241.6250		****

Πίνακας Π1.7.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	137915664	1	137915664	500.9802	0.000000
Milk	301676	1	301676	1.0958	0.317639
Time of Enzymatic Hydrolysis	194261	1	194261	0.7057	0.418774
Addition of whey powder	664633	1	664633	2.4143	0.148514
Heat treatment	1914764	1	1914764	6.9554	0.023104
Error	3028208	11	275292		

Πίνακας Π1.7.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στο ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C.

Cell No.	Heat treatment	Viscosity at 45 C (cP) Mean	1	2
1	1	2590.000	****	
2	2	3281.875		****

Πίνακας Π1.8.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5.935720	1	5.935720	355.9923	0.000000
Milk	0.430773	1	0.430773	25.8355	0.000353
Time of enzymatic hydrolysis	0.001482	1	0.001482	0.0889	0.771140
Quantity of enzyme	0.051001	1	0.051001	3.0587	0.108114
Heat Treatment	0.000140	1	0.000140	0.0084	0.928631
Error	0.183411	11	0.016674		

Πίνακας Π1.8.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στη σκληρότητα.

Cell No.	Milk	Firmness Mean	1	2
2	2	0.445000	****	
1	1	0.773167		****

Πίνακας Π1.9.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16745.91	1	16745.91	513.5038	0.000000
Milk	1020.10	1	1020.10	31.2808	0.000162
Time of enzymatic hydrolysis	0.07	1	0.07	0.0021	0.964365
Quantity of enzyme	17.22	1	17.22	0.5282	0.482561
Heat Treatment	22.84	1	22.84	0.7002	0.420510
Error	358.72	11	32.61		

Πίνακας Π1.9.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Milk	Adhesiveness Mean	1	2
2	2	24.36675	****	
1	1	40.33625		****

Πίνακας Π1.10.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.925552	1	3.925552	1260.605	0.000000
Milk	0.036348	1	0.036348	11.672	0.005759
Time of enzymatic hydrolysis	0.000041	1	0.000041	0.013	0.911139
Quantity of enzyme	0.000120	1	0.000120	0.039	0.847811
Heat Treatment	0.002066	1	0.002066	0.663	0.432621
Error	0.034254	11	0.003114		

Πίνακας Π1.10.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στη συνεκτικότητα.

Cell No.	Milk	Consistency Mean	1	2
1	1	0.447662	****	
2	2	0.542988		****

Πίνακας Π1.11: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	92.16000	1	92.16000	4087.841	0.000000
Milk	0.00046	1	0.00046	0.020	0.889585
Time of enzymatic hydrolysis	0.00014	1	0.00014	0.006	0.937736
Quantity of enzyme	0.04544	1	0.04544	2.016	0.183410
Heat Treatment	0.02778	1	0.02778	1.232	0.290673
Error	0.24799	11	0.02254		

Πίνακας Π1.12.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμάδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.349940	1	1.349940	377.8991	0.000000
Milk	0.043013	1	0.043013	12.0409	0.005240
Time of enzymatic hydrolysis	0.000912	1	0.000912	0.2553	0.623311
Quantity of enzyme	0.008400	1	0.008400	2.3515	0.153406
Heat Treatment	0.000833	1	0.000833	0.2331	0.638726
Error	0.039294	11	0.003572		

Πίνακας Π1.12.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στο κομμιώδες.

Cell No.	Milk	Guminess Mean	1	2
2	2	0.238619	****	
1	1	0.342316		****

Π2.Α Αποτελέσματα 3ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το είδος του γάλακτος (λιπαρά) και η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας.

Πίνακας Π2.Α.1.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	51249.92	1	51249.92	543.8148	0.000020
Milk	167.03	2	83.51	0.8862	0.480193
Time of enzymatic hydrolysis	2965.12	2	1482.56	15.7315	0.012722
Error	376.97	4	94.24		

Πίνακας Π2.Α.1.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής υδρόλυσης στο ποσοστό υδρόλυσης.

Cell No.	Time of enzymatic hydrolysis	% Hydrolysis Mean	1	2
1	1	51.44166		****
2	2	79.63093	****	
3	3	95.31185	****	

Πίνακας Π2.Α.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.002233	1	0.002233	4739.186	0.000000
Milk	0.000064	2	0.000032	67.454	0.000829
Time of enzymatic hydrolysis	0.000004	2	0.000002	4.530	0.093798
Error	0.000002	4	0.000000		

Πίνακας Π2.Α.2.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Milk	m pH Mean	1	2
1	1	-0.017964	****	
2	2	-0.017273	****	
3	3	-0.012013		****

Πίνακας Π2.Α.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	435856.6	1	435856.6	30822.54	0.000000
Milk	3670.5	2	1835.2	129.78	0.000230
Time of enzymatic hydrolysis	1171.5	2	585.7	41.42	0.002121
Error	56.6	4	14.1		

Πίνακας Π2.Α.3.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Milk	I pH Mean	1	2	3
1	1	201.6431	****		
2	2	210.3752		****	
3	3	248.1761			****

Πίνακας Π2.Α.3.γ: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας στη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Time of enzymatic hydrolysis	I pH Mean	1	2	3
1	1	205.9225	****		
3	3	220.4094		****	
2	2	233.8625			****

Πίνακας Π2.Α.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	21505938	1	21505938	1.214931	0.332217
Milk	30847186	2	15423593	0.871322	0.485172
Time of enzymatic hydrolysis	30210746	2	15105373	0.853345	0.491305
Error	70805439	4	17701360		

Πίνακας Π2.Α.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	332004.3	1	332004.3	70.39731	0.001104
Milk	7592.3	2	3796.1	0.80493	0.508414
Time of enzymatic hydrolysis	9648.0	2	4824.0	1.02287	0.437746
Error	18864.6	4	4716.2		

Πίνακας Π2.Α.6.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	589824.0	1	589824.0	8043.055	0.000000
Milk	6498.0	2	3249.0	44.305	0.001866
Time of enzymatic hydrolysis	274.7	2	137.3	1.873	0.266702
Error	293.3	4	73.3		

Πίνακας Π2.Α.6.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Cell No.	Milk	Fermentation time Mean	1	2
2	2	237.0000	****	
1	1	237.0000	****	
3	3	294.0000		****

Πίνακας Π1.7.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	85544001	1	85544001	2517.197	0.000001
Milk	880746	2	440373	12.958	0.017877
Time of Enzymatic Hydrolysis	137829	2	68914	2.028	0.246554
Error	135935	4	33984		

Πίνακας Π1.7.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στο ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C.

Cell No.	Milk	Viscosity at 45 C Mean	1	2
3	3	2642.000		****
1	1	3273.000	****	
2	2	3334.000	****	

Πίνακας Π2.Α.8: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.177466	1	1.177466	41.44379	0.002995
Milk	0.191447	2	0.095723	3.36922	0.138752
Time of enzymatic hydrolysis	0.088314	2	0.044157	1.55422	0.316644
Error	0.113645	4	0.028411		

Πίνακας Π2.Α.9: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1621.127	1	1621.127	12.75084	0.023358
Milk	996.937	2	498.468	3.92066	0.114109
Time of enzymatic hydrolysis	805.065	2	402.533	3.16609	0.149878
Error	508.555	4	127.139		

Πίνακας Π2.Α.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.233339	1	3.233339	243.1406	0.000099
Milk	0.000433	2	0.000216	0.0163	0.983927
Time of enzymatic hydrolysis	0.074230	2	0.037115	2.7910	0.174265
Error	0.053193	4	0.013298		

Πίνακας Π2.Α.11: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	44.31861	1	44.31861	421.6397	0.000033
Milk	0.28738	2	0.14369	1.3670	0.352827
Time of enzymatic hydrolysis	0.31056	2	0.15528	1.4773	0.330803
Error	0.42044	4	0.10511		

Πίνακας Π2.Α.12: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμάδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.371867	1	0.371867	51.64439	0.001986
Milk	0.046571	2	0.023285	3.23386	0.146021
Time of enzymatic hydrolysis	0.011007	2	0.005504	0.76433	0.523457
Error	0.028802	4	0.007201		

Π2.Β Αποτελέσματα 3ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το είδος του γάλακτος (λιπαρά) και η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας.

Πίνακας Π2.Β.1.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	38437.44	1	38437.44	550.7808	0.000000
Milk	125.27	2	62.64	0.8975	0.456034
Time of Enzymatic Hydrolysis	15777.60	3	5259.20	75.3606	0.000037
Error	418.72	6	69.79		

Πίνακας Π2.Β.1.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής υδρόλυσης στο ποσοστό υδρόλυσης.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	% Hydrolysis Mean	1	2	3
1	1	0.00000		****	
2	2	51.44166			****
3	3	79.63093	****		
4	4	95.31185	****		

Πίνακας Π2.Β.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.003024	1	0.003024	3635.041	0.000000
Milk	0.000067	2	0.000034	40.297	0.000333
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000005	3	0.000002	1.935	0.225209
Error	0.000005	6	0.000001		

Πίνακας Π2.2.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Milk	m pH Mean	1	2
1	1	-0.017857	****	
2	2	-0.017215	****	
3	3	-0.012553		****

Πίνακας Π2.Β.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	565446.0	1	565446.0	20647.13	0.000000
Milk	4666.1	2	2333.1	85.19	0.000039
Time of Enzymatic Hydrolysis	1493.8	3	497.9	18.18	0.002048
Error	164.3	6	27.4		

Πίνακας Π2.Β.3.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Milk	l pH Mean	1	2
1	1	200.9221	****	
2	2	205.4594	****	
3	3	244.8363		****

Πίνακας Π2.Β.3.γ: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας στη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	l pH Mean	1	2	3
2	2	205.9225	****		
1	1	208.0959	****		
4	4	220.4094		****	
3	3	233.8625			****

Πίνακας Π2.Β.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	16542826	1	16542826	1.266873	0.303352
Milk	23306029	2	11653015	0.892404	0.457836
Time of Enzymatic Hydrolysis	35184319	3	11728106	0.898155	0.494843
Error	78348017	6	13058003		

Πίνακας Π2.Β.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	388770.9	1	388770.9	102.2457	0.000054
Milk	4150.2	2	2075.1	0.5457	0.605675
Time of Enzymatic Hydrolysis	14895.1	3	4965.0	1.3058	0.356080
Error	22813.9	6	3802.3		

Πίνακας Π2.Β.6.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	792588.0	1	792588.0	6197.474	0.000000
Milk	6542.0	2	3271.0	25.577	0.001157
Time of Enzymatic Hydrolysis	310.7	3	103.6	0.810	0.533131
Error	767.3	6	127.9		

Πίνακας Π2.Β.6.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Cell No.	Milk	Fermentation Time Mean	1	2
2	2	239.5000	****	
1	1	241.5000	****	
3	3	290.0000		****

Πίνακας Π2.Β.7.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	117782002	1	117782002	2463.880	0.000000
Milk	971361	2	485681	10.160	0.011847
Time of Enzymatic Hydrolysis	227529	3	75843	1.587	0.288141
Error	286821	6	47803		

Πίνακας Π2.Β.7.β: Duncan test για την επίδραση του είδους του γάλακτος στο ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C.

Cell No.	Milk	Viscosity at 45 C Mean	1	2
3	3	2733.250		****
2	2	3292.500	****	
1	1	3373.000	****	

Πίνακας Π2.Β.8.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.053441	1	2.053441	70.15029	0.000158
Milk	0.421111	2	0.210555	7.19306	0.025495
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.185520	3	0.061840	2.11259	0.199999
Error	0.175632	6	0.029272		

Πίνακας Π2.Β.8.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στη σκληρότητα.

Cell No.	Milk	Firmness Mean	1	2
3	3	0.179750	****	
2	2	0.422917	****	****
1	1	0.638333		****

Πίνακας Π2.Β.9.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3859.277	1	3859.277	24.85655	0.002488
Milk	2332.629	2	1166.314	7.51191	0.023244
Time of Enzymatic Hydrolysis	1538.061	3	512.687	3.30208	0.099299
Error	931.572	6	155.262		

Πίνακας Π2.Β.9.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Milk	Adhesiveness Mean	1	2
3	3	0.09908	****	
2	2	19.56825	****	****
1	1	34.13283		****

Πίνακας Π2.Β.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	4.075035	1	4.075035	300.7533	0.000002
Milk	0.013274	2	0.006637	0.4898	0.635251
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.084202	3	0.028067	2.0715	0.205506
Error	0.081297	6	0.013549		

Πίνακας Π2.Β.11: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	61.40425	1	61.40425	735.1270	0.000000
Milk	0.20728	2	0.10364	1.2408	0.354015
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.37716	3	0.12572	1.5051	0.306010
Error	0.50117	6	0.08353		

Πίνακας Π2.Β.12.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμώδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.577583	1	0.577583	108.1819	0.000046
Milk	0.079519	2	0.039760	7.4470	0.023680
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.020362	3	0.006787	1.2713	0.365778
Error	0.032034	6	0.005339		

Πίνακας Π2.Β.12.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στο κομμώδες.

Cell No.	Milk	Guminess Mean	1	2
3	3	0.112679	****	
2	2	0.235337	****	****
1	1	0.310154		****

Π3.Α Αποτελέσματα 4ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας και το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Πίνακας Π3.Α.1.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	37678.04	1	37678.04	1541.754	0.000648
Time of Enzymatic Hydrolysis	2475.34	2	1237.67	50.644	0.019363
Heat Treatment	121.67	1	121.67	4.979	0.155365
Error	48.88	2	24.44		

Πίνακας Π3.Α.1.β: Duncan test για την επίδραση της ενζυμικής κατεργασίας στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	% Hydrolysis Mean	1	2
1	1	50.62175		****
2	2	91.45959	****	
3	3	95.65182	****	

Πίνακας Π3.Α.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.000999	1	0.000999	4066.021	0.000246
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000006	2	0.000003	12.657	0.073220
Heat Treatment	0.000005	1	0.000005	19.389	0.047899
Error	0.000000	2	0.000000		

Πίνακας Π3.Α.2.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	m pH Mean	1	2
1	1	-0.013795	****	
2	2	-0.012013		****

Πίνακας Π3.Α.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	331615.0	1	331615.0	9827.131	0.000102
Time of Enzymatic Hydrolysis	852.6	2	426.3	12.633	0.073351
Heat Treatment	1026.9	1	1026.9	30.430	0.031326
Error	67.5	2	33.7		

Πίνακας Π3.Α.3.β: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	I pH Mean	1	2
1	1	222.0118	****	
2	2	248.1761		****

Πίνακας Π3.Α.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5200.934	1	5200.934	76.97314	0.012744
Time of Enzymatic Hydrolysis	388.891	2	194.445	2.87777	0.257880
Heat Treatment	430.404	1	430.404	6.36992	0.127619
Error	135.136	2	67.568		

Πίνακας Π3.Α.5.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	167313.0	1	167313.0	6374.830	0.000157
Time of Enzymatic Hydrolysis	4373.9	2	2186.9	83.325	0.011859
Heat Treatment	1096.1	1	1096.1	41.763	0.023117
Error	52.5	2	26.2		

Πίνακας Π3.Α.5.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	I Viscosity Mean	1	2
2	2	146.2451	****	
1	1	149.5999	****	
3	3	205.1236		****

Πίνακας Π3.Α.5.γ: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	Viscosity Mean	1	2
2	2	153.4734	****	
1	1	180.5057		****

Πίνακας Π3.Α.6: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	467604.2	1	467604.2	6139.223	0.000163
Time of Enzymatic Hydrolysis	812.3	2	406.2	5.333	0.157913
Heat Treatment	1320.2	1	1320.2	17.333	0.053138
Error	152.3	2	76.2		

Πίνακας Π3.Α.7: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	43475800	1	43475800	739.6213	0.001349
Milk	26434	2	13217	0.2249	0.816424
Heat Treatment	14900	1	14900	0.2535	0.664611
Error	117562	2	58781		

Πίνακας Π3.Α.8: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.271221	1	0.271221	409.3443	0.002434
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.007339	2	0.003670	5.5385	0.152940
Heat Treatment	0.006294	1	0.006294	9.4997	0.091109
Error	0.001325	2	0.000663		

Πίνακας Π3.Α.9: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.119851	1	0.119851	165.8408	0.005976
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.004049	2	0.002024	2.8012	0.263075
Heat Treatment	0.009494	1	0.009494	13.1366	0.068405
Error	0.001445	2	0.000723		

Πίνακας Π3.Α.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.109192	1	2.109192	118.3264	0.008346
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.014653	2	0.007327	0.4110	0.708707
Heat Treatment	0.001407	1	0.001407	0.0789	0.805144
Error	0.035650	2	0.017825		

Πίνακας Π3.Α.11: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	29.80767	1	29.80767	84.68056	0.011604
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.04470	2	0.02235	0.06349	0.940303
Heat Treatment	0.28167	1	0.28167	0.80019	0.465433
Error	0.70400	2	0.35200		

Πίνακας Π3.Α.12: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμιάδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.092699	1	0.092699	675.2193	0.001478
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.002420	2	0.001210	8.8135	0.101900
Heat Treatment	0.001380	1	0.001380	10.0525	0.086732
Error	0.000275	2	0.000137		

Π3.Β Αποτελέσματα 4ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας και το είδος της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος.

Πίνακας Π3.Β.1.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	28258.53	1	28258.53	1069.132	0.000063
Time of Enzymatic Hydrolysis	11894.85	3	3964.95	150.010	0.000913
Heat Treatment	91.25	1	91.25	3.452	0.160138
Error	79.29	3	26.43		

Πίνακας Π3.Β.1.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής υδρόλυσης στο ποσοστό υδρόλυσης.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	% Hydrolysis Mean	1	2	3
1	1	0.00000		****	
2	2	50.62175			****
3	3	91.45959	****		
4	4	95.65182	****		

Πίνακας Π3.Β.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.001465	1	0.001465	6420.330	0.000004
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000016	3	0.000005	22.962	0.014290
Heat Treatment	0.000008	1	0.000008	33.723	0.010164
Error	0.000001	3	0.000000		

Πίνακας Π3.Β.2.β: Duncan test για την επίδραση της ενζυμικής κατεργασίας στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	m pH Mean	1	2
1	1	-0.015421	****	
2	2	-0.014280	****	
4	4	-0.012586		****
3	3	-0.011847		****

Πίνακας Π3.Β.2.γ: Duncan test για την επίδραση του είδους της θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	m pH Mean	1	2
1	1	-0.014514	****	
2	2	-0.012553		****

Πίνακας Π3.Β.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	423273.6	1	423273.6	9092.265	0.000003
Time of Enzymatic Hydrolysis	1470.5	3	490.2	10.529	0.042220
Heat Treatment	1756.2	1	1756.2	37.724	0.008681
Error	139.7	3	46.6		

Πίνακας Π3.Β.3.β: Duncan test για την επίδραση της ενζυμικής κατεργασίας στη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	l pH Mean	1	2	3
1	1	214.7982	****		
2	2	219.6085	****	****	
4	4	237.0658		****	****
3	3	248.6075			****

Πίνακας Π3.Β.3.γ: Duncan test για την επίδραση της ενζυμικής κατεργασίας στη διάρκεια της λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Heat Treatment	l pH Mean	1	2
1	1	215.2037	****	
2	2	244.8363		****

Πίνακας Π3.Β.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	21335.96	1	21335.96	11.97375	0.040631
Time of Enzymatic Hydrolysis	12218.23	3	4072.74	2.28563	0.257409
Heat Treatment	4307.45	1	4307.45	2.41734	0.217838
Error	5345.68	3	1781.89		

Πίνακας Π3.Β.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	252120.1	1	252120.1	430.7035	0.000245
Time of Enzymatic Hydrolysis	7037.6	3	2345.9	4.0075	0.142073
Heat Treatment	3851.4	1	3851.4	6.5794	0.082850
Error	1756.1	3	585.4		

Πίνακας Π3.Β.6.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	593505.1	1	593505.1	5246.454	0.000006
Time of Enzymatic Hydrolysis	1919.4	3	639.8	5.656	0.094287
Heat Treatment	2485.1	1	2485.1	21.968	0.018358
Error	339.4	3	113.1		

Πίνακας Π3.Β.6.β: Duncan test για την επίδραση του είδους θερμικής κατεργασίας του γάλακτος στον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Cell No.	Heat Treatment	Fermentation Time Mean	1	2
1	1	254.7500	****	
2	2	290.0000		****

Πίνακας Π3.Β.7: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	57362761	1	57362761	448.3275	0.000230
Milk	31195	3	10398	0.0813	0.965819
Heat Treatment	24642	1	24642	0.1926	0.690451
Error	383845	3	127948		

Πίνακας Π3.Β.8: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.319067	1	0.319067	190.1626	0.000825
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.011335	3	0.003778	2.2519	0.261118
Heat Treatment	0.003187	1	0.003187	1.8992	0.261961
Error	0.005034	3	0.001678		

Πίνακας Π3.Β.9: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.130901	1	0.130901	90.90140	0.002447
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.008369	3	0.002790	1.93721	0.300368
Heat Treatment	0.006651	1	0.006651	4.61855	0.120813
Error	0.004320	3	0.001440		

Πίνακας Π3.Β.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.128825	1	3.128825	241.2301	0.000580
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.039973	3	0.013324	1.0273	0.491425
Heat Treatment	0.000107	1	0.000107	0.0083	0.933340
Error	0.038911	3	0.012970		

Πίνακας Π3.Β.11: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	39.61983	1	39.61983	126.4437	0.001508
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.04498	3	0.01499	0.0479	0.983660
Heat Treatment	0.11045	1	0.11045	0.3525	0.594495
Error	0.94002	3	0.31334		

Πίνακας Π3.Β.12: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμιώδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.119426	1	0.119426	343.0431	0.000343
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.002527	3	0.000842	2.4200	0.243477
Heat Treatment	0.000722	1	0.000722	2.0750	0.245364
Error	0.001044	3	0.000348		

Π4.Α Αποτελέσματα 5ης σειράς χωρίς την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το είδος του γάλακτος (λιπαρά), η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας και η προσθήκη σκόνης ορού γάλακτος.

Πίνακας Π4.Α.1: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	49069.96	1	49069.96	224.3108	0.000116
Milk	147.29	1	147.29	0.6733	0.457983
Time of Enzymatic Hydrolysis	7.72	1	7.72	0.0353	0.860136
Addition of Whey	198.76	1	198.76	0.9086	0.394466
Error	875.04	4	218.76		

Πίνακας Π4.Α.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.002134	1	0.002134	1418.226	0.000003
Milk	0.000001	1	0.000001	0.348	0.587100
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000013	1	0.000013	8.558	0.043008
Addition of Whey	0.000003	1	0.000003	2.308	0.203328
Error	0.000006	4	0.000002		

Πίνακας Π4.Α.2.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	m pH Mean	1	2
2	2	-0.017601	****	
1	1	-0.015064		****

Πίνακας Π4.Α.3: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	341253.9	1	341253.9	7429.781	0.000000
Milk	1.9	1	1.9	0.042	0.847349
Time of Enzymatic Hydrolysis	134.8	1	134.8	2.934	0.161878
Addition of Whey	82.0	1	82.0	1.784	0.252552
Error	183.7	4	45.9		

Πίνακας Π4.Α.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	78842.68	1	78842.68	12.87096	0.023011
Milk	13133.28	1	13133.28	2.14399	0.216980
Time of Enzymatic Hydrolysis	11375.12	1	11375.12	1.85697	0.244650
Addition of Whey	4169.07	1	4169.07	0.68060	0.455738
Error	24502.51	4	6125.63		

Πίνακας Π4.Α.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	271875.9	1	271875.9	120.0836	0.000394
Milk	4868.9	1	4868.9	2.1505	0.216411
Time of Enzymatic Hydrolysis	1543.3	1	1543.3	0.6816	0.455415
Addition of Whey	5402.9	1	5402.9	2.3864	0.197282
Error	9056.2	4	2264.1		

Πίνακας Π4.Α.6: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	466578.0	1	466578.0	15173.27	0.000000
Milk	24.5	1	24.5	0.80	0.422514
Time of Enzymatic Hydrolysis	40.5	1	40.5	1.32	0.315090
Addition of Whey	32.0	1	32.0	1.04	0.365348
Error	123.0	4	30.8		

Πίνακας Π4.Α.7.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	80150460	1	80150460	455.4269	0.000029
Milk	202885	1	202885	1.1528	0.343416
Time of Enzymatic Hydrolysis	193442	1	193442	1.0992	0.353616
Addition of whey powder	4050	1	4050	0.0230	0.886768
Error	703959	4	175990		

Πίνακας Π4.Α.8.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.529375	1	2.529375	141.9933	0.000284
Milk	0.141778	1	0.141778	7.9591	0.047770
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000007	1	0.000007	0.0004	0.984770
Addition of Whey	0.081272	1	0.081272	4.5624	0.099537
Error	0.071253	4	0.017813		

Πίνακας Π4.Α.8.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στη σκληρότητα.

Cell No.	Milk	Firmness Mean	1	2
2	2	0.429167	****	
1	1	0.695417		****

Πίνακας Π4.Α.9.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2786.884	1	2786.884	62.62602	0.001380
Milk	170.558	1	170.558	3.83273	0.121871
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.265	1	0.265	0.00596	0.942170
Addition of Whey	2699.190	1	2699.190	60.65539	0.001466
Error	178.002	4	44.500		

Πίνακας Π4.Α.9.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Adhesiveness Mean	1	2
2	2	0.29600	****	
1	1	37.03283		****

Πίνακας Π4.Α.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	1.626010	1	1.626010	278.3097	0.000076
Milk	0.005728	1	0.005728	0.9804	0.378146
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.002027	1	0.002027	0.3469	0.587544
Addition of Whey	0.007240	1	0.007240	1.2393	0.327997
Error	0.023370	4	0.005842		

Πίνακας Π4.Α.11.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	43.10716	1	43.10716	3162.529	0.000001
Milk	0.01158	1	0.01158	0.849	0.408888
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.00062	1	0.00062	0.045	0.841750
Addition of Whey	0.13167	1	0.13167	9.660	0.035940
Error	0.05452	4	0.01363		

Πίνακας Π4.Α.11.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Elasticity Mean	1	2
2	2	2.193000	****	
1	1	2.449583		****

Πίνακας Π4.Α.12.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμιώδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.502524	1	0.502524	170.0897	0.000200
Milk	0.018141	1	0.018141	6.1403	0.068360
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000527	1	0.000527	0.1785	0.694371
Addition of Whey	0.027266	1	0.027266	9.2288	0.038482
Error	0.011818	4	0.002954		

Πίνακας Π4.Α.12.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Guminess Mean	1	2
2	2	0.192250	****	
1	1	0.309011		****

Π4.Β Αποτελέσματα 5ης σειράς με την εισαγωγή δεδομένων των συμβατικών γιαουρτιών

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι το είδος του γάλακτος (λιπαρά) και η διάρκεια ενζυμικής κατεργασίας.

Πίνακας Π4.Β.1.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ποσοστό υδρόλυσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	32713.30	1	32713.30	231.2158	0.000001
Milk	98.20	1	98.20	0.6940	0.432296
Time of Enzymatic Hydrolysis	16364.37	2	8182.19	57.8312	0.000044
Addition of Whey	132.51	1	132.51	0.9366	0.365403
Error	990.39	7	141.48		

Πίνακας Π4.Β.1.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής υδρόλυσης στο ποσοστό υδρόλυσης.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	% Hydrolysis Mean	1	2
1	1	0.00000		****
3	3	77.33589	****	
2	2	79.30056	****	

Πίνακας Π4.Β.2.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό μείωσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.003133	1	0.003133	1916.281	0.000000
Milk	0.000000	1	0.000000	0.043	0.840896
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.000014	2	0.000007	4.160	0.064472
Addition of Whey	0.000010	1	0.000010	6.377	0.039502
Error	0.000011	7	0.000002		

Πίνακας Π4.Β.2.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στο ρυθμό μείωσης του pH.

Cell No.	Addition of Whey	m pH Mean	1	2
1	1	-0.017091	****	
2	2	-0.015226		****

Πίνακας Π4.Β.3.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	513484.8	1	513484.8	7796.790	0.000000
Milk	1.2	1	1.2	0.019	0.895023
Time of Enzymatic Hydrolysis	137.3	2	68.6	1.042	0.401600
Addition of Whey	490.0	1	490.0	7.441	0.029433
Error	461.0	7	65.9		

Πίνακας Π4.Β.3.β: Duncan test για την επίδραση προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του pH.

Cell No.	Addition of Whey	1 pH Mean	1	2
1	1	200.4681	****	
2	2	213.2488		****

Πίνακας Π4.Β.4: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ρυθμό αύξησης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	87048.17	1	87048.17	16.84152	0.004551
Milk	5255.39	1	5255.39	1.01678	0.346862
Time of Enzymatic Hydrolysis	16148.96	2	8074.48	1.56220	0.274822
Addition of Whey	2076.70	1	2076.70	0.40179	0.546314
Error	36180.66	7	5168.67		

Πίνακας Π4.Β.5: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη διάρκεια λανθάνουσας φάσης του ιξώδους ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	356784.6	1	356784.6	228.0927	0.000001
Milk	3441.6	1	3441.6	2.2002	0.181561
Time of Enzymatic Hydrolysis	4952.8	2	2476.4	1.5832	0.270876
Addition of Whey	5783.7	1	5783.7	3.6975	0.095921
Error	10949.5	7	1564.2		

Πίνακας Π4.Β.6.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τον ολικό χρόνο ζύμωσης ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	719810.1	1	719810.1	26789.56	0.000000
Milk	24.1	1	24.1	0.90	0.375297
Time of Enzymatic Hydrolysis	320.7	2	160.3	5.97	0.030723
Addition of Whey	14.1	1	14.1	0.52	0.492558
Error	188.1	7	26.9		

Πίνακας Π4.Β.6.β: Duncan test για την επίδραση της διάρκειας ενζυμικής κατεργασίας στον ολικό χρόνο ζύμωσης.

Cell No.	Time of Enzymatic Hydrolysis	Fermentation Time Mean	1	2
3	3	239.2500	****	
2	2	243.7500	****	****
1	1	251.7500		****

Πίνακας Π4.Β.7: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το ιξώδες του τελικού προϊόντος στους 45°C ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	128963077	1	128963077	1186.394	0.000000
Milk	445060	1	445060	4.094	0.082709
Time of Enzymatic Hydrolysis	499898	2	249949	2.299	0.170764
Addition of whey powder	2002	1	2002	0.018	0.895868
Error	760912	7	108702		

Πίνακας Π4.Β.8.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη σκληρότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	3.982464	1	3.982464	282.0288	0.000001
Milk	0.190596	1	0.190596	13.4976	0.007923
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.004572	2	0.002286	0.1619	0.853619
Addition of Whey	0.175773	1	0.175773	12.4478	0.009622
Error	0.098845	7	0.014121		

Πίνακας Π4.Β.8.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στη σκληρότητα.

Cell No.	Milk	Firmness Mean	1	2
2	2	0.450056	****	
1	1	0.702111		****

Πίνακας Π4.Β.8.γ: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στη σκληρότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Firmness Mean	1	2
2	2	0.455056	****	
1	1	0.697111		****

Πίνακας Π4.Β.9.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την προσκολλησιμότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	5631.918	1	5631.918	67.28788	0.000078
Milk	169.396	1	169.396	2.02387	0.197842
Time of Enzymatic Hydrolysis	216.197	2	108.099	1.29152	0.333106
Addition of Whey	4216.275	1	4216.275	50.37436	0.000194
Error	585.892	7	83.699		

Πίνακας Π4.Β.9.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στην προσκολλησιμότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Adhesiveness Mean	1	2
2	2	2.91944	****	
1	1	40.40844		****

Πίνακας Π4.Β.10: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για τη συνεκτικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	2.586289	1	2.586289	494.1487	0.000000
Milk	0.013036	1	0.013036	2.4906	0.158532
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.006344	2	0.003172	0.6060	0.571828
Addition of Whey	0.000679	1	0.000679	0.1296	0.729419
Error	0.036637	7	0.005234		

Πίνακας Π4.Β.11.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για την ελαστικότητα ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	63.95007	1	63.95007	5637.049	0.000000
Milk	0.00248	1	0.00248	0.219	0.654023
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.00455	2	0.00227	0.200	0.822992
Addition of Whey	0.17553	1	0.17553	15.473	0.005650
Error	0.07941	7	0.01134		

Πίνακας Π4.Β.11.β: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στην ελαστικότητα.

Cell No.	Addition of Whey	Elasticity Mean	1	2
2	2	2.187556	****	
1	1	2.429444		****

Πίνακας Π4.Β.12.α: Ανάλυση διακύμανσης δύο παραγόντων για το κομμιώδες ως προς τις ανεξάρτητες μεταβλητές της πειραματικής διαδικασίας.

Effect	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0.825647	1	0.825647	377.6862	0.000000
Milk	0.019604	1	0.019604	8.9679	0.020094
Time of Enzymatic Hydrolysis	0.003799	2	0.001899	0.8688	0.460215
Addition of Whey	0.039020	1	0.039020	17.8496	0.003913
Error	0.015302	7	0.002186		

Πίνακας Π4.Β.12.β: Duncan test για την επίδραση του είδους γάλακτος στο κομμιώδες.

Cell No.	Milk	Guminess Mean	1	2
2	2	0.221886	****	
1	1	0.302724		****

Πίνακας Π4.Β.12.γ: Duncan test για την επίδραση της προσθήκης σκόνης ορού γάλακτος στο κομμιώδες.

Cell No.	Addition of Whey	Guminess Mean	1	2
2	2	0.205281	****	
1	1	0.319329		****