



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ (ΠΡΩΗΝ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ) ΣΧΟΛΗ
ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ
ΓΕΩΠΟΝΩΝ

**Εκτίμηση Υγιεινής και Μικροβιολογικής Ασφάλειας του Γιαουρτιού μ
Χαρτογράφηση Πηγών Κινδύνου και Στοχευμένες Τεχνολογίες
Βιοπροστασίας**

Πτυχιακή εργασία της φοιτήτριας
Ευαγγελής
Επιβλέπουσα: Δρ Φώτου Κωνσταντίνα, ΕΔΙΠ
Άρτα 2026

Ζήτηση
AM 15945

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

Πτυχιακή / Διπλωματική

Εργασία με θέμα :

**Εκτίμηση Υγιεινής και Μικροβιολογικής Ασφάλειας του Γιαουρτιού με
Χαρτογράφηση Πηγών Κινδύνου και Στοχευμένες Τεχνολογίες Βιοπροστασίας**

**Hygiene and Microbiological Safety Assessment of Yogurt: Mapping Sources of
Bioprotective Risk and Evaluating Targeted Technologies**

**Φοιτήτρια : Ευαγγελή Ζήτηση
Επιβλέπουσα Δρ Φώτου Κωνσταντίνα, ΕΔΙΠ**

ΑΡΤΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2026

Μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής

- 1. Φώτου Κωνσταντίνα, Μέλος ΕΔΙΠ του Τμήματος Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Επιβλέπουσα)**
- 2. Χατζησήσης Λάμπρος, Επίκουρος Καθηγητής του Τμήματος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**
- 3. Βοίδαρου Χρυσούλα, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Ζήτηση Ευαγγελή

Υπογραφή

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή/διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Γεωπονίας, της Σχολής Γεωπονίας, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις πιο θερμές και ειλικρινείς ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κ. Φώτου Κωνσταντίνα , για την αμέριστη βοήθεια, την εμπιστοσύνη , την επιστημονική και ηθική καθοδήγηση και τη συνεχής υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και της έρευνας. Φυσικά, δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω θερμά τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κ. Χατζηζήση Λάμπρο και κ. Βοϊδάρου Χρυσούλα για τις πολύτιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τους . Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ ανήκει σε όλες τις καθηγήτριες και τους καθηγητές της σχολής οι οποίο αποτελούν πρότυπο για μένα. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστήσω στην οικογένειά μου, η οποία στάθηκε στο πλευρό μου, και με στήριξε ηθικά και συναισθηματικά καθ' όλη τη διάρκεια αυτής μου της προσπάθειας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	8
Abstract	9
Εισαγωγή.....	10
Σκοπός	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
Γενικά για το Γιαούρτι.....	13
1.1 Ορισμός και προέλευση του Γιαουρτιού	13
1.2 Ταξινόμηση του γιαουρτιού.....	16
1.3 Κατανάλωση γιαουρτιού.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
Τεχνολογία παρασκευής Γιαουρτιού	23
2.1. Πρώτες ύλες στην παραγωγή γιαουρτιού	23
2.1.1 Γάλα	23
2.1.2. Καλλιέργειες εκκίνησης	25
2.1.3 Λοιπές ύλες και βοηθητικά συστατικά στην παραγωγή γιαουρτιού	27
2.2. Στάδια παραγωγής γιαουρτιού.....	27
1. Παραλαβή και Τυποποίηση του γάλακτος	28
2. Ομογενοποίηση του γάλακτος.....	28
3. Θερμική επεξεργασία γάλακτος (παστερίωση)	29
4. Ψύξη και εμβολιασμός με τις εναρκτήριες καλλιέργειες	29
5. Επώαση και ζύμωση.....	29
6.Ψύξη.....	30
7.Συσκευασία	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	33
Χημική σύσταση και θρεπτική αξία και ευρύτερος διατροφικός ρόλος του Γιαουρτιού	33
3.1 Χημική σύσταση και θρεπτική αξία του Γιαουρτιού	33
Πρωτεΐνες , πεπτίδια και αμινοξέα.....	34
Λιπίδια.....	35
Υδατάνθρακες και λακτόζη	36
Βιταμίνες και ανόργανα μέταλλα	36
3.2 Ο ρόλος του γιαουρτιού στη διατροφή και την υγεία.....	37
3.3 Ο ρόλος των βακτηρίων του γιαουρτιού στη διατροφή και την υγεία	38

3.4 Γιαούρτι και υγεία	39
3.5 Το γιαούρτι ως λειτουργικό τρόφιμο και οι μελλοντικές προοπτικές.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	44
Ασφάλεια και ποιότητα του Γιαουρτιού.....	44
4.1 Πηγές μόλυνσης του γιαουρτιού	44
1. Νωπό γάλα –Μικροοργανισμοί νωπού γάλακτος	44
2. Το περιβάλλον παραγωγής	46
3. Δευτερεύουσες ύλες και πρόσθετα	46
4. Υλικά συσκευασίας.....	47
4.2 Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί του Γιαουρτιού	47
1. Ζύμες και Μύκητες.....	47
2. Ψυχοτρόποι μικροοργανισμοί	48
4.3 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί του Γιαουρτιού	48
4.4 Μικροβιολογικά κριτήρια και συνήθεις έλεγχοι στο γιαούρτι.....	54
4.5 Επιπτώσεις της παρουσίας μικροοργανισμών στο γιαούρτι.....	54
Επιπτώσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος.....	55
Επιπτώσεις στη θρεπτική και λειτουργική αξία.....	55
Επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής του προϊόντος	55
Οικονομικές επιπτώσεις	55
Επιπτώσεις στην υγεία του καταναλωτή	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	57
Μελλοντικές τάσεις στην πρόληψη των επιμολύνσεων του Γιαουρτιού	57
5.1 Χρήση νωπού γάλακτος υψηλής μικροβιολογικής ποιότητας	57
5.2 Ενίσχυση των συστημάτων πρόληψης μέσω αυστηρότερης και πιο στοχευμένης εφαρμογής των GMP, GHP και HACCP	58
5.3 Ενσωμάτωση ταχέων και υψηλής ευαισθησίας μεθόδων ανίχνευσης.....	58
Παραδοσιακές τεχνικές μικροβιακής καλλιέργειας	59
Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (Polimerase Chain Reaction-PCR)	59
Αλληλούχιση επόμενης γενιάς (Next Generation Sequencing – NGS)	60
Μεταγονιδιωματική	60
Φθορίζων In Situ υβριδισμός (Fluorescence In Situ Hybridization- FISH)	60
Φασματοσκοπία Επιφανειακής Ενίσχυσης Σχεδίασης Reman (Surface Enhanced Reman Spectroscopy-SERS)	61
Βιοαισθητήρες	61
Τεχνολογίες Lab-on-a-Chip.....	61

5.4 Υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών συσκευασίας, ιχνηλασιμότητας και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο.....	62
5.5 Ανάπτυξη βιοπροστατευτικών και βιώσιμων παρεμβάσεων με έμφαση στην βιοπροστασία του γιαουρτιού.....	63
1. Βιοπροστασία μέσω επιλεγμένων μικροοργανισμών και αντιμικροβιακών μεταβολιτών	63
2. Βιοπροστασία μέσω βακτηριοσινών και φυσικών αντιμικροβιακών ουσιών	64
3. Εφαρμογές εμπορικών βιοπροστατευτικών καλλιεργειών στο γιαούρτι	64
4. Χρήση βακτηριοφάγων ως αναδυόμενη στρατηγική βιοπροστασίας	65
5. Προοπτικές και τεχνολογική σημασία της βιοπροστασίας στο γιαούρτι.....	65
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	66
Βιβλιογραφία	68

Περίληψη

Το γιαούρτι αποτελεί ένα ευρέως καταναλισκόμενο γαλακτοκομικό προϊόν, το οποίο εκτιμάται ιδιαίτερα σαφώς για την υψηλή του διατροφική αξία καθώς και την περιεκτικότητά του σε προβιοτικά. Η παραγωγή του βασίζεται σε μια σύνθετη βιοτεχνολογική διεργασία ζύμωσης, η οποία παρά τα οφέλη της, καθιστά το προϊόν ευάλωτο σε φαινόμενα μικροβιακής επιμόλυνσης σε διάφορα στάδια της παραγωγικής αλυσίδας. Η παρούσα εργασία διερευνά τις κύριες πηγές μικροβιακής επιμόλυνσης κατά την παραγωγή γιαουρτιού, τις επιπτώσεις αυτής στην ποιότητα και την ασφάλεια του τελικού προϊόντος, καθώς και τις διαθέσιμες στρατηγικές μετριασμού των σχετικών κινδύνων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται αφενός στους παθογόνους μικροοργανισμούς που δύνανται να επηρεάσουν την ασφάλεια και την διατηρησιμότητα του προϊόντος, όπως τα βακτηριακά είδη *Escherichia Coli* , *Salmonella spp.*, *Listeria Monocytogenes* και *Streptococcus aureus* και αφετέρου στους αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς, ζύμες, μύκητες (μούχλες) και ορισμένα βακτήρια του γαλακτικού οξέος, οι οποίοι σχετίζονται με την εμφάνιση οργανοληπτικών ελαττωμάτων και την υποβάθμιση της οργανοληπτικής αξίας του γιαουρτιού . Τέλος εξετάζονται οι υφιστάμενες στρατηγικές πρόληψης και ελέγχου των επιμολύνσεων κατά την παραγωγική διαδικασία και διατυπώνονται τεκμηριωμένες κατευθύνσεις για την υιοθέτηση αποτελεσματικών πρακτικών διαχείρισης και καινοτόμων προσεγγίσεων όπως η εφαρμογή στοχευμένων τεχνολογιών προστασίας με σκοπό τη διασφάλιση του γιαουρτιού ως ασφαλούς και θρεπτικού τροφίμου.

Abstract

Yogurt is a widely consumed dairy product, highly appreciated for its nutritional value and probiotic content. Its production relies on a complex biotechnological fermentation process which, despite its beneficial effects, also makes the product susceptible to microbial contamination at various stages of the production chain. The present study examines the main sources of microbial contamination during yogurt production, their impact on the quality and safety of the final product, and the available strategies for reducing the associated risks. Particular emphasis is given, on the one hand, to pathogenic microorganisms that may compromise product safety and shelf life, such as *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, and *Staphylococcus aureus*, and, on the other hand, to spoilage microorganisms, including yeasts, molds, and certain lactic acid bacteria, which are associated with the development of organoleptic defects and the deterioration of yogurt's sensory quality. Finally, current prevention and control strategies applied during the production process are reviewed, and evidence-based directions are proposed for the adoption of effective management practices and innovative approaches, including targeted bioprotective technologies, in order to ensure yogurt as a safe and nutritious food.

Εισαγωγή

Το γιαούρτι αποτελεί βασικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής, λόγω της υψηλής του θρεπτικής αξίας, των ευνοϊκών οργανοληπτικών του χαρακτηριστικών και της προσαρμοστικότητας του σε διάφορα διατροφικά πρότυπα. (Delgado-Fernandez et al., 2020, Zubairi et al., 2021). Η διαδικασία της ζύμωσης συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της διατηρησιμότητας του γάλακτος, στη διαμόρφωση επιθυμητών φυσικοχημικών ιδιοτήτων και στην ενίσχυση της μικροβιακής του σταθερότητας, λειτουργώντας ως φυσικός μηχανισμός συντήρησης (Ganzle, 2022).

Το γιαούρτι αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα και εμπορικά σημαντικά γαλακτοκομικά προϊόντα παγκοσμίως. Παράγεται μέσω της ελεγχόμενης ζύμωσης του γάλακτος από θεرمόφιλα βακτήρια γαλακτικού οξέως (LAB), κυρίως των ειδών *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus*, τα οποία χρησιμοποιούνται ως καλλιέργειες εκκίνησης (Fazilah et al., 2018-Meybodi et al., 2020). Η συνεργιστική δράση των μικροοργανισμών αυτών οδηγεί στη μετατροπή της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ, στη μείωση του pH και στη δημιουργία της χαρακτηριστικής υφής, γεύσης και αρώματος του προϊόντος. Παράλληλα το γιαούρτι αναγνωρίζεται ως τρόφιμο με λειτουργικές ιδιότητες, ιδίως όταν περιέχει προβιοτικά στελέχη τα οποία δύνανται να συμβάλουν στη ρύθμιση της εντερικής μικροχλωρίδας και να συμβάλουν στην υγεία του καταναλωτή (Marco et al., 2021).

Στον τομέα της παραγωγικής διαδικασίας του γιαουρτιού, οι κίνδυνοι ασφάλειας περιλαμβάνουν βιολογικούς, χημικούς και φυσικούς παράγοντες. Στους βιολογικούς κινδύνους συγκαταλέγονται παθογόνοι μικροοργανισμοί όπως *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella spp.* Και *Listeria monocytogenes*, καθώς και σπορογόνα βακτήρια όπως *Bacillus cereus*. Παράλληλα, ζυμομύκητες και μύκητες που επιφέρουν αλλοίωση δύνανται να επηρεάσουν αρνητικά τη διάρκεια ζωής και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Ortuzar et al., 2018 , Addis & Cabras, 2022). Στους χημικούς κινδύνους περιλαμβάνονται υπολείμματα κτηνιατρικών φαρμάκων, απολυμαντικών και περιβαντολλογικοί ρύποι, οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν τόσο την ασφάλεια όσο και την τεχνολογική διαδικασία ζύμωσης (Muresan et al., 2020). Παρά την αποτελεσματικότητα της θερμικής επεξεργασίας στην μείωση του μικροβιακού φορτίου του γάλακτος , ο κίνδυνος της δευτερογενούς επιμόλυνσης μετά την παστερίωση

παραμένει κρίσιμος. Επιμολύνσεις μπορεί να προκύψουν κατά τη φάση ψύξης, την προσθήκη καλλιεργειών, τη συσκευασία ή την αποθήκευση, συχνά ως αποτέλεσμα ανεπαρκούς υγιεινής εξοπλισμού ή σχηματισμού βιοφίλμ σε επιφάνειες επεξεργασίας (Liu et al., 2023). Οι βιοφιλμικές δομές προστατεύουν τους μικροοργανισμούς από τα συνήθη απολυμαντικά μέσα, καθιστώντας αναγκαία την εφαρμογή στοχευμένων στρατηγικών καθαρισμού και απολύμανσης.

Η διαχείριση των ανωτέρω κινδύνων στηρίζεται στην εφαρμογή ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης ασφάλειας τροφίμων, τα οποία περιλαμβάνουν τις Ορθές Πρακτικές Παραγωγής (GMP), τις Ορθές Πρακτικές Υγιεινής (GHP), τις Τυποποιημένες Διαδικασίες Υγιεινής (SSOPs) και τα Προγράμματα Προαπαιτούμενων (PRPs, OPRPs). Κεντρικό εργαλείο πρόληψης αποτελεί το σύστημα Ανάλυσης κινδύνων και Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου (HACCP), το οποίο επιτρέπει τον συστηματικό εντοπισμό, την αξιολόγηση και τον έλεγχο πιθανών κινδύνων σε όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας (Hulebak & Schlosser, 2002). Παράλληλα οι σύγχρονες ταχείες και μοριακές τεχνικές ανίχνευσης παθογόνων μικροοργανισμών επιτρέπουν την έγκαιρη διάγνωση πιθανών επιμολύνσεων και την άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων (Sadiq et al., 2022). Τα τελευταία έτη, η προσέγγιση της ασφάλειας τροφίμων ενισχύεται μέσω της υιοθέτησης καινοτόμων στρατηγικών Βιοπροστασίας. Η χρήση προστατευτικών καλλιεργειών με ανταγωνιστική δράση έναντι παθογόνων, η αξιοποίηση βακτηριοσινών και άλλων φυσικών αντιμικροβιακών ουσιών, καθώς και η εφαρμογή της τεχνολογίας εμποδίων (hurdle technology) συμβάλλουν στη μείωση του μικροβιακού κινδύνου χωρίς αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος (Mayo et al., 2023).

Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι

- Η συστηματική διερεύνηση των κύριων πηγών μικροβιακής επιμόλυνσης που ενδέχεται να εμφανιστούν στα κρίσιμα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας του γιαουρτιού ιδίως σε σημεία όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος δευτερογενών επιμολύνσεων.

Η αποτύπωση των επιπτώσεων των επιμολύνσεων αυτών στην ποιότητα, τη μικροβιολογική σταθερότητα και την ασφάλεια του τελικού προϊόντος οδηγεί

- στην αποτύπωση και αξιολόγηση των διαθέσιμων στρατηγικών μετριασμού των σχετικών κινδύνων και
- στη διερεύνηση καινοτόμων και επιστημονικά τεκμηριωμένων προσεγγίσεων πρόληψης και ελέγχου των μικροβιολογικών μολύνσεων
- στη διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου διαχείρισης για την παραγωγή ασφαλούς, ποιοτικά σταθερού και θρεπτικού γιαουρτιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Γενικά για το Γιαούρτι

1.1 Ορισμός και προέλευση του Γιαουρτιού

Σύμφωνα με το άρθρο 82 του Ελληνικού Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ) (ΦΕΚ 788 Β΄/31.12.1987), όπως αυτό αντικαταστάθηκε από την Υπουργική Απόφαση Αριθ. 106/2016 (ΦΕΚ 2457/2016) ως «Γιαούρτι» χαρακτηρίζεται το γαλακτοκομικό προϊόν, το οποίο παράγεται από τη ζύμωση και πήξη του γάλακτος, με τη χρήση υποχρεωτικά των καλλιεργειών–εκκινητών *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*. Ωστε το τελικό ζυμωμένο προϊόν να περιέχει τουλάχιστον 10^7 cfu/ml ζώντων οξυγαλακτικών βακτηρίων μέχρι την ημερομηνία ανάλωσής του». Σύμφωνα με την ίδια απόφαση ως πρώτη ύλη του γιαουρτιού χρησιμοποιείται το γάλα όπως αυτό ορίζεται στον κανονισμό (ΕΚ) 1308/2013(Παράρτημα VII, Μέρος III, παράγραφος 1), ενώ δεν επιτρέπεται η χρήση ολικά αφυδατωμένου γάλακτος ή παραγώγων του γάλακτος σε μορφή σκόνης με εξαίρεση την περίπτωση της παρ. 5, σημ. β. 4. Η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη στο γιαούρτι από αγελαδινό ή γίδινο γάλα πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.2% και από πρόβειο γάλα τουλάχιστον 5,5%. Σε περίπτωση χρήσης μειγμάτων γάλακτος η ελάχιστη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη υπολογίζεται από την αναλογία των ειδών του γάλακτος. Κατά την Παρασκευή του γιαουρτιού, πέραν της πρώτης ύλης , επιτρέπεται μόνο: α) η προσθήκη κρέμας γάλακτος για τη ρύθμιση της περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες β) η προσθήκη πρωτεϊνών γάλακτος για τεχνικούς λόγους ρύθμισης του Στερεού Υπολείμματος Άνευ(ΣΥΑΛ) του ίδιου είδους ζώου, υπό την προϋπόθεση ότι η αύξηση του ΣΥΑΛ στο γιαούρτι δεν θα ξεπερνά το ΣΥΑΛ του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε, όπως ορίζεται στο Άρθρο 80, παρ. 3 του Κ.Τ.Π. κατά 4 μονάδες. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν για τη ζύμωση και άλλοι μικροοργανισμοί επιπλέον της χαρακτηριστικής καλλιέργειας του γιαουρτιού της παρ. 1 αναγράφονται στην επισήμανση υπό την προϋπόθεση ότι ο πληθυσμός τους θα είναι τουλάχιστον 10^6 cfu/gr προϊόντος κατά την ημερομηνία ανάλωσης. Η παραγωγή του γιαουρτιού ανάγεται αρκετές χιλιάδες χρόνια πριν καν την ανακάλυψη της Κεραμικής. Οι νομάδες κτηνοτρόφοι της προϊστορικής περιόδου χρησιμοποιούσαν ασκούς από δέρμα ζώου για τη μεταφορά και τη διατήρηση του γάλακτος. Ο συνδυασμός της φυσικής μικροβιακής χλωρίδας του περιβάλλοντος που έφερε το ίδιο το δέρμα του ζώου και της ενδογενούς χλωρίδας του νωπού γάλακτος οδήγησε στην εκδήλωση ποικιλίας ζυμώσεων. Ως αποτέλεσμα αυτών των

αυθόρμητων διεργασιών παρήχθησαν τα πρώτα ζυμωμένα γαλακτοκομικά προϊόντα, μεταξύ των οποίων και το γιαούρτι.

Ως γεωγραφική κοιτίδα του γιαουρτιού θεωρείται η Μέση Ανατολή, η Δυτική και η Κεντρική Ασία. Ήδη από την περίοδο 15.000 -10.000 π.Χ, οι πρώιμες ανθρώπινες κοινωνίες είχαν αρχίσει να εξημερώνουν τα ζώα και να εξοικειώνονται με τη διαδικασία του αρμέγματος. Όταν το γάλα έπρεπε να μεταφερθεί, χρησιμοποιούνταν φυσικοί ασκοί ή δοχεία κατασκευασμένα. Οι συγκεκριμένες συνθήκες αποθήκευσης δημιουργούσαν ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη γαλακτικών βακτηρίων και, κατά συνέπεια, για την παραγωγή ζυμωμένων προϊόντων όπως το γιαούρτι.

Το νωπό γάλα αρχικά περιέχει τη δική του ενδογενή μικροχλωρίδα. Η επιμόλυνση από τον αέρα, από το σώμα του ζώου, τα χέρια των κτηνοτρόφων ή από το εσωτερικό του ίδιου του ασκού εισήγαγε επιπλέον μικροοργανισμούς, οι οποίοι διαδραμάτιζαν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του τελικού προϊόντος. Η αλληλεπίδραση όλων αυτών των παραγόντων είχε ως αποτέλεσμα την παρασκευή ενός νέου γαλακτοκομικού τροφίμου, μοναδικά, ποιοτικά και οργανοληπτικά διαφορετικού από το νωπό γάλα. Η ιδιαίτερη γεύσης και υφής του το καθιστούν εναλλακτική διατροφική επιλογή, ενώ η ζύμωση συνέβαλε στη μεγαλύτερη διάρκεια συντήρησης του.

Το γιαούρτι ήταν γνωστό στους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους. Υπάρχουν γραπτές αναφορές ήδη από τον 1^ο αιώνα π.χ., στις οποίες γίνεται λόγος για την κατανάλωσή του από "βαρβαρικούς" λαούς. Στην Αρχαία Ελλάδα αναφέρεται ως «υγείαρτο» (άριστος άρτος), ενώ οι Αρχαίοι Έλληνες κατανάλωναν ένα παρόμοιο προϊόν, το «οξύγαλα». Επιπλέον, ο ιδρυτής της μογγολικής αυτοκρατορίας Genghis Khan φέρεται να ενθάρρυνε την κατανάλωσή του από τους στρατιώτες του, αναγνωρίζοντας την διατροφική του αξία. Στην Δυτική Ευρώπη, ωστόσο, η διάδοσή του πραγματοποιείται αρκετά αργότερα. Η Γαλλίδα Toussaint- Samat, στο έργο της "History of food", αναφέρει ότι εισήχθη στη Γαλλία το 1542, όταν ο βασιλιάς Francis I of France, ανάρρωσε από ασθένεια έπειτα από κατανάλωσή του. Περίπου έναν αιώνα αργότερα, το 1625, ο Άγγλος συγγραφέας Samuel Purchas, στο βιβλίο του «Pilgrimes» κάνει αναφορά στο γιαούρτι.

Παρά το γεγονός ότι για αιώνες - αν όχι για χιλιετίες- η ευεργετική δράση του γιαουρτιού ήταν εμπειρικά γνωστή, μόλις στις αρχές του 20^ο αιώνα δόθηκε επιστημονική ερμηνεία στο φαινόμενο αυτό. Το 1905, ο Βούλγαρος φοιτητής της Ιατρικής, Stamen Grigorov, απομόνωσε και περιέγραψε για πρώτη φορά το οξυγαλακτικό βακτήριο *Bacillus bulgarius*,

το οποίο μετέπειτα μετονομάστηκε *Lactobacillus bulgaricus*. Η ανακάλυψη αυτή αποτέλεσε καθοριστικό σταθμό για την κατανόηση της μικροβιολογικής βάσης της ζύμωσης του γάλακτος.

Ωστόσο, η ευρεία διάδοση και η ενίσχυση της φήμης του γιαουρτιού συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τον Ρώσο επιστήμονα, Elie Matchnikoff του Pasteur Institute. Ο Matchnikoff, ο οποίος τιμήθηκε με το βραβείο Νόμπελ Φυσιολογίας κα Ιατρικής το 1908, υποστήριξε στο έργο του ‘‘ The prolongation of life’’ ότι η κατανάλωση γιαουρτιού και γενικότερα ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων συμβάλει στην μακροζωία και στην βελτίωση της υγείας, αποδίδοντας τις ιδιότητες αυτές στην δράση των γαλακτικών βακτηρίων στο εντερικό μικροβίωμα.

1.2 Ταξινόμηση του γιαουρτιού

Η ευρεία κατανάλωση γιαουρτιού στις μέρες μας διεθνώς, έχει οδηγήσει στην παραγωγή ποικιλίας προϊόντων τα οποία διαφοροποιούνται τόσο ως προς την τεχνολογία παραγωγής (δομή/ρεολογία) όσο και ως προς την σύσταση (λιπαρά, πρωτεΐνη, πρόσθετα συστατικά) αλλά και τον τρόπο διάθεσης στον καταναλωτή (π.χ. πόσιμο, επιδόρπιο, υψηλής πρωτεΐνης) προκειμένου να καλυφθούν οι διαφορετικές καταναλωτικές προτιμήσεις και περιστάσεις.

Ο ελληνικός ΚΤΠ ορίζει το «γιαούρτι» όπως έχει αναφερθεί ανωτέρω, ενώ προβλέπει ειδικούς ορισμούς για το «στραγγιστό γιαούρτι» και το «παραδοσιακό».

- «Παραδοσιακό» είναι το γιαούρτι που πληροί τις παρακάτω προδιαγραφές:
α) Παρασκευάζεται με την παραδοσιακή μέθοδο ώστε να φέρει υμένα (πέτσα) στην επιφάνειά του. Β) Προκύπτει από την πήξη αποκλειστικά νωπού ή παστεριωμένου γάλακτος που δεν έχει υποστεί τροποποίηση της φυσικής του σύνθεσης με μόνη εξαίρεση τη ρύθμιση της λιποπεριεκτικότητας, έως του σημείου που είναι τεχνικά επιτεύξιμη η δημιουργία υμένα [άρθρο 82 ΚΠΤ (ΦΕΚ Β' 2457/2016)].
- «Στραγγιστό γιαούρτι» χαρακτηρίζεται το προϊόν που λαμβάνεται από το γιαούρτι μετά από αποστράγγιση μέρους του ορού μετά την πήξη και έχει κατ' ελάχιστο 5.6% πρωτεΐνες για το αγελαδινό ή γίδινο γάλα και 8% για το πρόβειο γάλα. Σε περίπτωση μιγμάτων διαφόρων ειδών γάλακτος η ελάχιστη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες υπολογίζεται με βάση την αναλογία των ειδών γάλακτος [άρθρο 82 ΚΠΤ (ΦΕΚ Β' 2457/2016)].

Εκτός από την ανωτέρω ταξινόμηση στην ελληνική και παγκόσμια αγορά υπάρχουν αναγνωρισμένες κατηγορίες γιαουρτιού υψηλής εμπορικής αξίας όπως καταγράφονται παρακάτω :

- «Γιαούρτι από αγελαδινό ή γίδινο ή πρόβειο γάλα»: Οι ενδείξεις αυτές είναι υποχρεωτικές και συνοδεύουν την ονομασία πώλησης, όπως προβλέπεται από το άρθρο 82 του ΚΤΠ και τον κανονισμό (ΕΕ) 1169/2011, όπου εκτός από το είδος του ζώου από το οποίο προέρχεται το γάλα είναι υποχρεωτικό να αναφέρεται και το επί τοις εκατό (%) ποσοστό της περιεκτικότητας σε λιπαρές ουσίες του έτοιμου προϊόντος.
- Βιολογικό γιαούρτι Για να θεωρηθεί βιολογικό, θα πρέπει να φέρει τη σχετική ένδειξη που πιστοποιεί τη βιολογική μέθοδο που ακολουθήθηκε για την παραγωγή του σύμφωνα με τους κανόνες που καθορίζονται από τους Καν. (ΕΚ) 834/2007, 889/2008 και Καν. (ΕΕ) 271/2010. Παρασκευάζεται αποκλειστικά από βιολογικό γάλα που προέρχεται από ζώα ελευθέρως βοσκής τα οποία δεν έχουν λάβει κανένα χημικό πρόσθετο της

συμβατικής εκτροφής σε όλη τη διάρκεια της ζωής τους, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται έλεγχος σε όλα τα στάδια παραγωγής έως τη δημιουργία του τελικού προϊόντος (Banerjee et al., 2017).

- Γιαούρτι «πλήρες», «χαμηλών λιπαρών», «άπαχο» : παρασκευάζονται από πλήρες, μερικώς αποβουτυρωμένο και από πλήρως αποβουτυρωμένο (άπαχο) γάλα αντίστοιχα (Banerjee et al., 2017).
- Γιαούρτι «σταθερού πήγματος (ή συνεκτικό)» (Firm yogurt), «αναδυνάμενο», (Stirred yogurt), «πόσιμο (ή ρευστό)» (Drinkable yogurt) : η εν λόγω ταξινόμηση γίνεται με κριτήριο τη φυσική κατάσταση του προϊόντος. Το γιαούρτι «σταθερού πήγματος» διακρίνεται για την παχιά υφή του ενώ είναι επίσης γνωστό ως «Βαλκανικού τύπου» γιαούρτι (Balkan-style). Επώάζεται και ψύχεται στην τελική του συσκευασία. Αναφέρεται ότι χρησιμοποιείται σε συνταγές της κουζίνας των Βαλκανίων που έχουν ως βάση το κρέας, ως υποκατάστατο της ξινής κρέμας, ως dressing σαλάτας ή ως επικάλυψη σε μεσογειακά πιάτα όπως «μουσακάς, «σπανακόπιτα» και «πίτες/σάντουιτς» με φέτες κρέας ή κοτόπουλο. Επιπλέον, μπορεί να καταναλωθεί ως κοινό γιαούρτι, με προσθήκη ψιλοκομμένων φρούτων, ζάχαρης ή μελιού, ή να σερβιριστεί με γκρανόλα στο πρωινό (Banerjee et al., 2017).

Το «αναδυνάμενο γιαούρτι» είναι γνωστό και ως γιαούρτι «Ευρωπαϊκού τύπου» (European style), χαρακτηρίζεται από κρεμμώδη και λεία υφή με δυνατότητα προσθήκης φρούτων (π.χ. μύρτιλο, φράουλα, , μάγκο, ροδάκινο) και αρωμάτων. Το γιαούρτι αυτού του τύπου περιγράφεται ως ελαφρώς πιο λεπτόρρευστο σε σύγκριση με το «βαλκανικού τύπου»/«σταθερού πήγματος» ενώ αντίθετα με το γιαούρτι «Βαλκανικού τύπου» παράγεται όπως και το πόσιμο με επώαση του μίγματος σε δεξαμενή και ακολουθεί η διάσπαση του πήγματος μέσω ανάδευσης πριν από την ψύξη και τη συσκευασία του. Χρησιμοποιείται σε κρύα ροφήματα και επιδόρπια (Pal, M., et al., 2015, Banerjee et al., 2017).

Το «Πόσιμο γιαούρτι» προσφέρει τα οφέλη του γιαουρτιού χωρίς να απαιτείται κουτάλι, αποτελώντας πρακτική επιλογή για άτομα «εν κινήσει» ή για όσους δεν προτιμούν την υφή των πιο σφιχτών γιαουρτιών. Περιγράφονται ως προϊόντα που παρασκευάζονται με προσθήκη νερού και πρόσθετων γεύσεων στο παραδοσιακό γιαούρτι. Αναφέρεται ότι περιέχουν τα ίδια θρεπτικά συστατικά με τα φυσικά γιαούρτια, αν και ενδέχεται να έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε ζάχαρη και θερμίδες (Banerjee et al., 2017).

- Γιαούρτι ελληνικού τύπου (Greek style / Mediterranean style): Το γιαούρτι ελληνικού τύπου αναφέρεται και ως μεσογειακού τύπου (Mediterranean style). Περιγράφεται ως

παχύτερο και πιο κρεμμώδες σε σύγκριση με το «τυπικό» γιαούρτι ενώ παράγεται είτε από μερικώς συμπυκνωμένο γάλα είτε μέσω στράγγισης του ορού από τυπικό γιαούρτι. Εκτός από τα είδη *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus*, συχνά περιλαμβάνονται και τα είδη *Lactobacillus casei* και *Lactobacillus rhamnosus*, η δράση των οποίων ενισχύει την κρεμμώδη υφή και την προβιοτική του δράση. Λόγω της πυκνής υφής του χρησιμοποιείται ως βασικό συστατικό επιδορπίων και σαλατών (όπως το «τζατζίκι»). Επισημαίνεται επίσης ότι ενδέχεται να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε κορεσμένα λιπαρά και αποτελεί σημαντική πηγή βιταμίνης A (Banerjee et al., 2017).

- Γιαούρτι γαλλικού τύπου (French-style/custard-style)

Ο τύπος αυτός αναφέρεται ως custard-style yogurt και παράγεται με άμεση καλλιέργεια μέσα στο δοχείο, σύμφωνα με «γαλλική» καλλιέργεια και διαδικασία, αποδίδοντας υφή που προσεγγίζει την πουτίγκα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα γαλλικού τύπου γιαούρτια περιλαμβάνουν κομμάτια φρούτων (με γεύση να προέρχεται από το φρούτο), τα οποία ενσωματώνονται στο μίγμα, συχνότερα φράουλα και μύρτιλο. Αναφέρεται ότι αποτελεί καλή πηγή βιταμίνης A, σιδήρου και πρωτεΐνης (Bannered et al., 2017).

- «Βίο ή προβιοτικό γιαούρτι» (bio / probiotic yogurt): παρασκευάζεται με τη χρήση προβιοτικών στελεχών πέραν των τυπικών καλλιεργειών εκκίνησης (standard culture yogurt) *Lactobacillus bulgaricus* και *Streptococcus thermophilus*. Οι εν λόγω προβιοτικοί μικροοργανισμοί ανήκουν στα *Bifidobacterium* και *Lactobacillus acidophilus*, στη δράση των οποίων αποδίδονται πολλαπλά οφέλη για την υγεία και τη γενικότερη ευεξία του καταναλωτή. Το προβιοτικό γιαούρτι αναφέρεται ως περισσότερο δημοφιλές, με ηπιότερο και πιο κρεμμώδες γευστικό προφίλ και χαμηλότερη οξύτητα (Banerjee, U., et al., 2017).

- Γιαούρτι με φρούτα (Fruit yogurt)

Αναφέρονται δύο είδη γιαουρτιού με φρούτα: (i) εκείνο στο οποίο τα φρούτα τοποθετούνται στον πυθμένα της συσκευασίας και (ii) εκείνο στο οποίο τα φρούτα κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα στο γιαούρτι (ελβετικού τύπου, Swiss-style yogurt). Κομμάτια φρούτων ή πολτός προστίθενται στο στάδιο της παραγωγής, δημιουργώντας ποικιλία γεύσεων, αυξάνοντας την ελκυστικότητα για τον καταναλωτή και την αντιληπτή γλυκύτητα (Banerjee et al., 2017).

- Μη γαλακτοκομικά γιαούρτια (Non-dairy yogurts)

Τα μη γαλακτοκομικά γιαούρτια περιγράφονται ως εναλλακτική λύση για άτομα με αλλεργία στο γάλα ή για όσους εμφανίζουν γαστρεντερικά προβλήματα από την κατανάλωση γιαουρτιών γαλακτοκομικής προέλευσης. Παρουσιάζονται επίσης ως επιλογή

για άτομα που δεν καταναλώνουν γαλακτοκομικά για θρησκευτικούς ή προσωπικούς λόγους. Γιαούρτια από γάλα σόγιας αναφέρεται ότι είναι συχνά διαθέσιμα στο λιανεμπόριο και ότι, επειδή εμπλουτίζονται με θρεπτικά συστατικά(π.χ. ασβέστιο και βιταμίνη D), δύναται να έχουν διατροφικό προφίλ αντίστοιχο με εκείνο των γιαουρτιών από γάλα. Σημειώνεται ότι ορισμένοι παραγωγοί χρησιμοποιούν ζωντανές/ενεργές καλλιέργειες για τη ζύμωση, ενώ άλλοι όχι (Bannered et al., 2017)

• Γιαούρτι φυτικής προέλευσης

Η αυξανόμενη ευαισθητοποίηση των καταναλωτών αναφορικά με τις διατροφικές , λειτουργικές και προστατευτικές για την υγεία ιδιότητες των τροφίμων έχει ενισχύσει σημαντικά το ενδιαφέρον για εναλλακτικά προϊόντα που υποκαθιστούν το κρέας και το γάλα. Τα προϊόντα αυτά ανταποκρίνονται όχι μόνο σε σύγχρονες διατροφικές τάσεις, αλλά και σε ειδικές διατροφικές απαιτήσεις και θρησκευτικές προτιμήσεις, όπως η δυσανεξία στη λακτόζη και η αποφυγή συστατικών ζωικής προέλευσης (Klost and Drusch, 2019, Yang et al., 2020, Wang et al., 2025). Στο πλαίσιο αυτό, το γιαούρτι φυτικής προέλευσης αναδεικνύεται ως μια ιδιαίτερα σημαντική κατηγορία λειτουργικών τροφίμων, η οποία συνδυάζει τεχνολογικό, διατροφικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον (Klost and Drust, 2019, Yang et al., 2020). Οι κύριες πρώτες ύλες παραγωγής φυτικού γιαουρτιού είναι όσπρια, δημητριακά, ξηροί καρποί και φρούτα (Makinem et al., 2016, Levy et al., 2021, Montemurro et L., 2021). Παρά το γεγονός ότι ο τύπος γιαουρτιού προσομοιάζει στο γαλακτοκομικό γιαούρτι ως προς τη γεύση, την υφή και το θρεπτικό προφίλ, αντιμετωπίζει συχνά προκλήσεις ως προς την επίτευξη οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, εμφανίζοντας συχνά προβλήματα που σχετίζονται με τη γεύση, όπως υπερβολικά όξινος, γλυκός ή πικρός χαρακτήρας, καθώς και με τις ιδιότητες αφής, όπως υδαρής σύσταση, χαμηλό ιξώδες και διαχωρισμός φάσεων (Gresso et al., 2020, Gupta et al., 2022).

1.3 Κατανάλωση γιαουρτιού

Το γιαούρτι έχει κερδίσει την αποδοχή παγκοσμίως. Η δημοτικότητα του αυξήθηκε θεαματικά κατά τις δεκαετίες του 1950 και του 1960 ως επακόλουθου της άνθησης της κουλτούρας ένταξης των υγιεινών τροφίμων στη διατροφή του ανθρώπου. Αν και δεν υπάρχει ενιαία βιβλιογραφική εκτίμηση για το ακριβώς ποσοστό συμμετοχής του γιαουρτιού στο σύνολο της κατανάλωσης ζυμούμενων τροφίμων, το προϊόν περιγράφεται σταθερά στη διεθνή βιβλιογραφία ως ένα από τα δημοφιλέστερα και ευρύτερα

καταναλισκόμενα ζυμούμενα τρόφιμα, τα οποία αποτελούν περίπου το 25% των τροφίμων που καταναλώνονται παγκοσμίως (Pal et al., 2015, Munteanu, R, A., et. al., 2024).

Τα πρότυπα κατανάλωσης γιαουρτιού εμφανίζουν σημαντική διακύμανση μεταξύ των διαφόρων χωρών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, παρά τη σημαντική προώθηση της κατανάλωσης γαλακτοκομικών προϊόντων μέσω οργανωμένων παρεμβάσεων διατροφικής εκπαίδευσης, η κατανάλωση γιαουρτιού παραμένει χαμηλή, καθώς μόλις περίπου το 6% του πληθυσμού το καταναλώνει σε καθημερινή βάση. Αντίθετα, στη Γαλλία παρατηρούνται σημαντικά υψηλότερα ποσοστά κατανάλωσης, με την πλειονότητα του πληθυσμού να καταναλώνει τουλάχιστον μια μερίδα ημερησίως, ενώ ποσοστό άνω του ενός τρίτου καταναλώνει τουλάχιστον πέντε μερίδες σε εβδομαδιαία βάση. Διακριτική συγκριτική μελέτη σε 15 χώρες καταδεικνύει ότι τα υψηλότερα ποσοστά κατανάλωσης γιαουρτιού καταγράφονται στην Ολλανδία, τη Γαλλία, την Τουρκία, την Ισπανία και τη Γερμανία, ενώ τα χαμηλότερα στην Αίγυπτο, την Κολομβία, τη Ρουμανία και τη Νότια Αφρική (Fisberg, M., & Machado, R. 2015).

Στο πλαίσιο των αναπτυσσόμενων οικονομιών, η κατανάλωση γιαουρτιού φαίνεται να λειτουργεί ως δείκτης κοινωνικοοικονομικού μετασχηματισμού, με την κατανάλωση γιαουρτιού να συνδέεται με συγκεκριμένα κοινωνικοδημογραφικά και υγειονομικά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, είναι συχνότερη σε άτομα με καλύτερη κατάσταση υγείας, χαμηλότερο δείκτη μάζας σώματος, υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο και ανώτερο κοινωνικοοικονομικό υπόβαθρο, ενώ παρατηρείται υψηλότερη συχνότητα κατανάλωσης στις γυναίκες. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον πληθυσμό του Σάο Πάολο στη Βραζιλία (G. Possa, R. Fisberg και M. Fisberg, (αδημοσίευτα δεδομένα), οι καταναλωτές γιαουρτιού ήταν κατά κύριο λόγο νεότερης ηλικίας, γυναίκες, μη διαβητικοί, μη υπερτασικοί, μη καπνίζοντες, με υψηλότερο μορφωτικό επίπεδο και προερχόμενοι από ανώτερα κοινωνικοοικονομικά στρώματα. Αντίστοιχα ευρήματα έχουν τεκμηριωθεί και σε πληθυσμούς των Ηνωμένων Πολιτειών και της Γαλλίας. Το αναδυόμενο αυτό πρότυπο κατανάλωσης ενισχύει την υπόθεση ότι οι καταναλωτές προσανατολίζονται κυρίως προς τα αντιλαμβανόμενα οφέλη του γιαουρτιού για την υγεία. Ως εκ τούτου, διαμορφώνονται σημαντικές προοπτικές για την ανάπτυξη καινοτόμων μορφών παραγωγής και εμπορικής παρουσίασης του προϊόντος, με στόχο τη διείσδυση σε πληθυσμιακές ομάδες που εμφανίζουν χαμηλά επίπεδα κατανάλωσης.

Οι ευρωπαϊκές χώρες παρουσιάζουν την υψηλότερη κατανάλωση γιαουρτιού σε σύγκριση με άλλες περιοχές (εικόνα 1) (Jiang, Y. 2022).



Εικόνα 1 : Μέση κατά κεφαλήν κατανάλωση γιαουρτιού (kg) σε διάφορες χώρες (Jiang, Y. 2022)

<https://www.statista.com/outlook/cmo/food/dairy-products-eggs/yogurt/europe?currency=EUR#global-comparison>

Η ευρεία χρήση του αποτυπώνεται σε πληθώρα γαστρονομικών εφαρμογών. Καταναλώνεται αυτούσιο σε νωπή μορφή, ενώ παράλληλα αξιοποιείται ως συστατικό στην παρασκευή προϊόντων αρτοποιίας. Επιπλέον, προστίθεται τόσο σε αλμυρά όσο και σε γλυκά τρόφιμα, βελτιώνοντας την γεύση και την υφή τους. Χρησιμοποιείται επίσης στην παρασκευή σούπας, καθώς και σε κρύα ροφήματα και παγωμένα ποτά, είτε αυτούσιο είτε σε συνδυασμό με νερό ή άλλα συστατικά. Παράλληλα, το γιαούρτι ενσωματώνεται σε σαλάτες ωμών λαχανικών, καθώς και σε διάφορα μαγειρευτά φαγητά, όπως πιάτα με κοτόπουλο ή αυγό σε μορφή κάρυ.

Στον τομέα της γαστρονομίας, αποτελεί βασικό συστατικό για την παρασκευή σαλτσών, ενώ μπορεί να και ως υποκατάστατο της φρέσκιας κρέμας σε κρύες σάλτσες λόγω της παρόμοιας υφής και της χαμηλότερης περιεκτικότητας σε λιπαρά. Ως επιδόρπιο, καταναλώνεται συχνά σε συνδυασμό με ζάχαρη, μέλι, μαρμελάδα ή αποξηραμένα φρούτα, ενώ μπορεί επίσης να συνδυαστεί με φρούτα όπως μπανάνα, ή με δημητριακά πρωινού. Επιπροσθέτως, χρησιμοποιείται για την παρασκευή παραδοσιακών τροφίμων, όπως το «raita», ένα συνοδευτικό πιάτο που παρασκευάζεται με ανάμειξη γιαουρτιού και λαχανικών (π.χ. αγγούρι, καρότο, πατάτα, κρεμμύδι, ντομάτα) και καταναλώνεται κυρίως κατά το μεσημεριανό γεύμα. Τέλος, σε πολιτισμικό και θρησκευτικό επίπεδο, το γιαούρτι (dahi) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην Ινδία, όπου χρησιμοποιείται στην παρασκευή του «Panchamrit», ενός παραδοσιακού προσφερόμενου μείγματος στο πλαίσιο θρησκευτικών τελετών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τεχνολογία παρασκευής Γιαουρτιού

Η διαδικασία παρασκευής γιαουρτιού αν και αποτελεί αρχαϊκή τεχνική, τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει αυξημένη σημασία λόγω της προόδου στους τομείς της μικροβιολογίας, της βιοχημείας, της τεχνολογίας τροφίμων καθώς και της μηχανικής τροφίμων συνδυάζοντας στοιχεία επιστημονικής γνώσης και τεχνικής/βιοτεχνικής δεξιοτεχνίας.

2.1. Πρώτες ύλες στην παραγωγή γιαουρτιού

Οι κύριες πρώτες ύλες για την παρασκευή γιαουρτιού είναι το γάλα και οι καλλιέργειες εκκίνησης, κυρίως *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, μπορεί να χρησιμοποιηθούν επιπλέον ύλες για την τυποποίηση και ενίσχυση του υποστρώματος γάλακτος, όπως αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη ή πρωτεϊνικά συμπυκνώματα, καθώς και σταθεροποιητές, γλυκαντικές ύλες και παρασκευάσματα φρούτων. Η σύσταση του γάλακτος και τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών εκκίνησης επηρεάζουν καθοριστικά τη ζύμωση, τη δομή, τη γεύση και τη σταθερότητα του τελικού προϊόντος.

2.1.1 Γάλα

Το γάλα αποτελεί την κύρια πρώτη ύλη για την παρασκευή γιαουρτιού και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη θρεπτική αξία, τη μικροδομή, την υφή και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Εμπορικά, το αγελαδινό γάλα είναι η συνηθέστερη βάση για την παρασκευή γιαουρτιού, αν και χρησιμοποιείται επίσης γάλα προβάτου, αίγας και βουβάλας, ενώ σε ορισμένες περιοχές αξιοποιούνται και άλλα είδη γάλακτος, όπως καμήλας ή γιοκ. Η επιλογή του είδους του γάλακτος επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του προϊόντος κατά τη ζύμωση και τη συνεκτικότητα του πηκτώματος, λόγω διαφορών στη σύσταση σε πρωτεΐνες, λίπος και ολικά στερεά (Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. 1999, Banerjee, U., et al., 2017).

Γιαούρτι από αγελαδινό γάλα : Το αγελαδινό γάλα αποτελεί την κύρια πηγή για την παρασκευή γιαουρτιού λόγω της πλούσια σύστασής του σε θρεπτικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των πρωτεϊνών, λακτόζης, ασβεστίου, φωσφόρου και βιταμινών (Li et al., 2022a). Τα οφέλη για την υγεία του καταναλωτή σχετίζονται με τη συμβολή του στην υγεία των οστών, την ανάπτυξη των μυών και τη συνολική κάλυψη του οργανισμού σε θρεπτικά συστατικά (Bonjour et al., 2013). Παρά τα οφέλη, η υψηλή του

περιεκτικότητα σε λιπαρά, ιδιαίτερα κορεσμένα, απαιτεί προσαρμογές σε ορισμένους πληθυσμούς όπως εκείνους με παχυσαρκία ή υπέρταση.

Γιαούρτι από γίδινο γάλα : Έχουν σημειωθεί σημαντικές εξελίξεις στην παραγωγή γιαουρτιού από εναλλακτικές πηγές γάλακτος , όπως το κατσικίσιο. Ενώ η περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες, λιπαρά και λακτόζη είναι συγκρίσιμη με τα αντίστοιχα συστατικά του αγελαδινού γάλακτος, το γίδινο γάλα παρουσιάζει ηπιότερη αλλεργιογόνο δράση και υψηλότερη πεπτικότητα σε σύγκριση με το αγελαδινό, λόγω διαφορών στη σύνθεση των αμινοξέων, στις φυσικοχημικές ιδιότητες των μικκυλίων καζεΐνης, στον βαθμό πολυμερισμού/αλληλεπίδρασης μεταξύ πρωτεϊνών και λιπιδίων, στο μικρότερο μέγεθος των λιποσφαιρίων, καθώς και στο μήκος της ανθρακικής αλυσίδας των λιπαρών αμινοξέων (Verruck et al., 2019). Παρά τα ανωτέρω πλεονεκτήματα, γενικά είναι λιγότερο αποδεκτό από το γιαούρτι που παρασκευάζεται από αγελαδινό γάλα λόγω της περιεκτικότητας του σε καπραϊκό, καπρυλικό και καπρικό οξύ, τα οποία συμβάλλουν σε μια λιγότερο επιθυμητή γεύση (Costa et al., 2017)

Γιαούρτι από γάλα καμήλας : Το γάλα καμήλας, πλούσιο σε μονοακόρεστα (Monounsaturated Fatty Acids, MUFA) και πολυακόρεστα (Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA) λιπαρά οξέα, περιέχει πολλαπλά οφέλη για την υγεία του καταναλωτή, συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης των λειτουργιών του ανοσοποιητικού συστήματος, της ακαταλληλότητάς του για άτομα με δυσανεξία στη λακτόζη, καθώς και πιθανών δράσεων στην προστασία απέναντι του καρκίνου και του διαβήτη (El-Agemy et al., 2009- Konuspayeva et al., 2009). Φέρνει υψηλότερες συγκεντρώσεις πρωτεϊνών με αντιβακτηριακή και άνοσο-υποστηρικτική δράση καθώς και αυξημένη περιεκτικότητα σε σίδηρο και ινσουλίνη. Ωστόσο, ο μικρότερος λόγος καζεΐνης προς πρωτεΐνη ορού γάλακτος σε σύγκριση με το αγελαδινό επηρεάζει τη συνεκτικότητα του πηγματος και καθιστά δυσχερή τον σχηματισμό μαλακής γέλης κατά τη ζύμωση, με αποτέλεσμα ασθενέστερη υφή και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Kumar et al., 2016). Για την αντιμετώπιση των ανωτέρω προκλήσεων στο γιαούρτι από γάλα καμήλας προστίθενται σταθεροποιητές όπως άμυλο καλαμποκιού ή τροποποιημένο άμυλο, καθώς και χλωριούχο ασβέστιο, με σκοπό την αύξηση του ιξώδους, τη βελτίωση των ιδιοτήτων της γέλης και την ενίσχυση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (Oselu et al., 2022).

Γιαούρτι από γάλα γαϊδούρας Το γάλα γαϊδούρας, με σύσταση που προσεγγίζει εκείνη του ανθρώπινου γάλακτος, παρουσιάζει χαμηλό αλλεργιογόνο δυναμικό. Εντούτοις, η χαμηλή

περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνη και λίπος συνεπάγεται περιορισμένη ικανότητα σχηματισμού σταθερού πηγματος κατά τη ζύμωση, με αποτέλεσμα δυσκολία στην απόδοση, τη συνεκτικότητα και το ιξώδες του παραγόμενου γιαουρτιού. Στο πλαίσιο αυτό, η ενσωμάτωση κατάλληλων παραγόντων πύκνωσης, όπως φυτικές ίνες φρούτων και λαχανικών μπορεί να λειτουργήσει ως τεχνολογική στρατηγική για τη βελτίωση των ρεολογικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του (Guenard-Lampron et al., 2020).

2.1.2. Καλλιέργειες εκκίνησης

Οι καλλιέργειες εκκίνησης αποτελούν τη δεύτερη θεμελιώδη πρώτη ύλη. Στο κλασικό γιαούρτι χρησιμοποιούνται οι θεرمόφιλοι οξυγαλακτικοί μικροοργανισμοί *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, οι οποίοι λειτουργούν συνεργαστικά κατά τη διάρκεια της ζύμωσης. Ο *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* είναι μικροοργανισμός με μακρά ιστορία ασφαλούς χρήσης στη ζύμωση γαλακτοκομικών προϊόντων και αποτελεί, μαζί με τον *Streptococcus thermophilus*, τον χαρακτηριστικό εκκινητήριο μικροοργανισμό του γιαουρτιού. Τα βακτήρια αυτά μπορούν να αναπτυχθούν ανεξάρτητα στο γάλα ωστόσο, ο συνδυασμός τους είναι καθοριστικός για τη βελτίωση των ιδιοτήτων που σχετίζονται με την υφή του γιαουρτιού, μέσω της παραγωγής εξωπολυσακχαριτών, καθώς και με την παροχή ωφέλιμων στην υγεία καταναλωτών. Οι Horiuchi και Sasaki ανέφεραν ότι η ζύμωση του γιαουρτιού με *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* και *S. thermophilus*, τα οποία είναι προαιρετικά αναερόβια, πραγματοποιείται αποτελεσματικά ακόμη και παρουσία οξυγόνου, καθώς τα βακτήρια αυτά μπορούν να αναπτύσσονται τόσο υπό αερόβιες όσο και υπό αναερόβιες συνθήκες. Η συνεργατική και αμοιβαϊοτική συσχέτιση μεταξύ των δυο αυτών μικροοργανισμών περιλαμβάνει ανταγωνισμό για τα θρεπτικά συστατικά του γάλακτος και ανταλλαγή μεταβολιτών (Horiuchi, H., & Sasaki, Y., 2012, Rul, F. 2017, Sfakianakis, P., & Tzia, C. 2014). Από Bankole, A. O., Irondi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023)).

Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus

Ο *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* είναι ένα προβατικό βακτήριο, το οποίο προσφέρει οφέλη στην υγεία του ανθρώπου. Αναπτύσσεται βέλτιστα σε θερμοκρασίες εύρους 43-46° C και μπορεί να συνεργάζεται με άλλα βακτήρια, όπως ο *Streptococcus thermophilus*, για τη ζύμωση του γάλακτος. Ο *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* ζυμώνει υδατάνθρακες παράγοντας ως κύριο παραπροϊόν το γαλακτικό οξύ. Το παραγόμενο γαλακτικό οξύ. Πρόσφατη γονιδιωματική μελέτη που εξέτασε τη σύσταση

νουκλεϊτιδίων του *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* έδειξε ότι η περιεκτικότητα του βακτηρίου σε γουατίνη και κυτοσίνη κυμαίνεται σε ποσοστό 49-51 % (Ayiví, R. D., & Ibrahim, S. A. 2022). Σε άλλη συγκριτική μελέτη διαπιστώθηκε ότι ο *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*, παρουσίαζε σημαντικά υψηλότερο περιεχόμενο γουανίνης και κυτοσίνης, σε σχέση με τα υπόλοιπα μέλη του γένους του. (Nicolas, P., 2007). Τα υψηλότερα αυτά ποσοστά γουανίνης και κυτοσίνης στην τρίτη θέση του κωδικονίου συμβάλλουν στην ιδιαίτερα αυξημένη γονιδιωματική του δομή (Sieuwerts, S., et al., 2008, Terrou, A., et al., 2019). Επιπλέον, ο *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* διαθέτει ένα ευρύ σύστημα μεταφοράς αμινοξέων και πρωτεολυτικών προϊόντων, το οποίο ενισχύει τη μεταβολική του αποδοτικότητα σε περιβάλλοντα πλούσια σε πρωτεΐνες (Canon, F. et al., 2020). Παρουσιάζει επίσης καλή ανάπτυξη σε θρεπτικά υποστρώματα πλούσια σε λακτόζη και κωδικοποιεί ποικίλες μεταβολικές οδούς, έστω και μερικώς ανεπτυγμένες, που υποστηρίζουν τη μεταβολική του αποτελεσματικότητα.

Streptococcus thermophilus

Ο *Streptococcus thermophilus* αποτελεί Gram-θετικό βακτήριο, το οποίο χαρακτηρίζεται από ομοζυμωτικό μεταβολισμό, αξιοποιώντας την οδό Embden-Meyerhof για τη ζύμωση της λακτόζης, με κύριο τελικό προϊόν το γαλακτικό οξύ (80). Παρουσιάζει άριστη ανάπτυξη σε θερμοκρασία 42° C και ταξινομείται ως αεροανεκτικό αναερόβιο. Ανήκει στην ομάδα *salivarius*, στην οποία εντάσσονται επίσης τα είδη *S. Salivarius* και *S. Vestibularis*. Ο συγκεκριμένος μικροοργανισμός κατέχει εξέχουσα θέση στη βιομηχανία τροφίμων, καθώς αποτελεί το μοναδικό είδος του γένους *Streptococcus* που αξιοποιείται εκτενώς σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η μακρόχρονη κατανάλωσή του από τον άνθρωπο, χωρίς σύνδεση με παθογόνες επιδράσεις, έχει συμβάλει στην αναγνώριση του ως μικροοργανισμό «Γενικώς Αναγνωρισμένου ως Ασφαλούς» (Generally Recognized As Safe, GRAS) από τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των Ηνωμένων Πολιτειών (FDA)(82).

Στην παραγωγή γιαουρτιού, ο *S. thermophilus* αποτελεί βασικό εκκινητήριο βακτήριο με καθοριστικό ρόλο στην ταχεία όξυνση του γάλακτος μέσω της παραγωγής γαλακτικού οξέος, συμβάλλοντας έτσι ουσιαστικά στη διαμόρφωση της τεχνολογικής και ποιοτικής φύσης του τελικού προϊόντος. Παράλληλα, συμμετέχει στον σχηματισμό δευτερογενών μεταβολιτών της ζύμωσης, όπως το μυρμηκικό οξύ, η ακεταλδεΐδη και το διακετύλιο, οι οποίοι ενισχύουν σημαντικά τα αρωματικά, γευστικά και χαρακτηριστικά υφής των ζυμούμενων γαλακτοκομικών προϊόντων (Roux, E., I., 2022). Πέραν της καθιερωμένης

χρήσης του στην παρασκευή γιαουρτιού, ο *S. Thermophilus* συμμετέχει επίσης στην παραγωγή διαφόρων τυροκομικών προϊόντων, όπως τα τυριά Emmental, Camembert, Brie, Mozzarella και Parmesan, επιβεβαιώνοντας τη μεγάλη τεχνολογική του σημασία στη γαλακτοκομική βιομηχανία (Hols, P., et al., 2005)

2.1.3 Λοιπές ύλες και βοηθητικά συστατικά στην παραγωγή γιαουρτιού

Πέραν του γάλακτος και των εναρκτήριων καλλιιεργειών, στην παραγωγή γιαουρτιού είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται και άλλες ύλες, οι οποίες συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση της σύστασης, της υφής, της σταθερότητας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος (Bagnio, E. 2014, Capla, J., al., 2022, Cardoso, C. E. D. F., et al., 2025). Στις ύλες αυτές περιλαμβάνονται συστατικά για την τυποποίηση της σύστασης, σταθεροποιητές και πηκτικοί παράγοντες, καθώς και γλυκαντικές, αρωματικές και χρωστικές ύλες, ιδιαίτερα στην περίπτωση αρωματισμένων ή σύνθετων προϊόντων γιαουρτιού. Η χρήση των παραπάνω συστατικών αποσκοπεί κυρίως στη βελτίωση της υφής, της συνεκτικότητας, της ικανότητας συγκράτησης νερού και της συνολικής αποδοχής του προϊόντος από τον καταναλωτή (Arab, M., et al., 2023, Gawai, K. M., et al., 2017). Ειδικότερα, οι σταθεροποιητές συμβάλλουν στον περιορισμό της συναίνεσης και στη διατήρηση της επιθυμητής μικροδομής του πυκτώματος, ενώ τα παρασκευάσματα φρούτων, τα φυσικά αρώματα και άλλα λειτουργικά συστατικά μπορούν να ενισχύουν τόσο τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όσο και τη διατροφική αξία του γιαουρτιού (Munteanu-Ichim, R. A., et al., 2024, Rashman, A. K., et al., 2023). Στη σύγχρονη τεχνολογία γιαουρτιού παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση φυσικών πρόσθετων και λειτουργικών συστημάτων, όπως φρούτα, λαχανικά, εδώδιμα άνθη, μανιτάρια και πρωτεϊνούχα συστατικά, τα οποία δύναται να βελτιώσουν τα τεχνολογικά, αισθητηριακά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Συνεπώς, οι λοιπές ύλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή γιαουρτιού δεν περιορίζονται μόνο σε τεχνολογικό ρόλο, αλλά μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά και στη διαφοροποίηση και προστιθέμενη αξία του προϊόντος (Mehra, R., et al., 2022).

2.2. Στάδια παραγωγής γιαουρτιού

Η παραγωγή γιαουρτιού περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια επεξεργασίας, τα οποία αποσκοπούν στη διαμόρφωση κατάλληλων συνθηκών για τη δράση των εκκινητήριων καλλιιεργειών και στη διασφάλιση των επιθυμητών φυσικοχημικών, μικροβιολογικών και

οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Τα στάδια παραγωγής του γιαουρτιού σύμφωνα με τον Ενιαίο Φορέα Ελέγχου των Τροφίμων (ΕΦΕΤ 2012) αναλύονται ως εξής:

1. Παραλαβή και Τυποποίηση του γάλακτος

Αρχικά πραγματοποιείται η παραλαβή και προτυποποίηση του γάλακτος, κατά την οποία ρυθμίζεται η σύσταση της πρώτης ύλης, κυρίως ως προς την περιεκτικότητα σε λίπος και ολικά στερεά, ώστε να εξασφαλιστεί η επιθυμητή υφή και σταθερότητα του προϊόντος. Ανάλογα με το αν το τελικό προϊόν προορίζεται να είναι πλήρης, ημίπαχο ή άπαχο γιαούρτι, προσαρμόζεται η περιεκτικότητα του γάλακτος σε λίπος και πρωτεΐνη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Codex Alimentarius, η ελάχιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του γιαουρτιού σε πρωτεΐνη γάλακτος είναι 2,7 %, με εξαίρεση το συμπυκνωμένο γιαούρτι, στο οποίο η ελάχιστη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη μπορεί, μετά τη συμπύκνωση, να ανέρχεται έως και σε 5,6 %. Επιπλέον, η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε λίπος στο γιαούρτι ορίζεται στο 15% (Standard, C. 2003). Η περιεκτικότητα του γάλακτος σε πρωτεΐνες και ολικά στερεά θεωρείται καθοριστική για τη εξασφάλιση σταθερών τεχνολογιών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του γιαουρτιού. Για να πληρούνται οι απαιτήσεις, τα πρότυπα του FAO/WHO ορίζουν πως το γάλα πρέπει να έχει ελάχιστη περιεκτικότητα σε στερεά χωρίς λίπος (SNF) 8,2% και περιεκτικότητα σε λιπαρά 3% (Sfakianakis, P., & Tzia, C. 2014, Gomez-Gallero, C., et al., 2018). Για την αύξηση της περιεκτικότητας σε ολικά στερεά είναι δυνατόν να προστεθούν αποβουτυρωμένη σκόνη γάλακτος, συμπύκνωμα πρωτεϊνών ορού γάλακτος ή συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά στερεά συμβάλλει στη βελτίωση του σώματος, της υφής και της αίσθησης στο στόμα του τελικού προϊόντος. Στο ίδιο στάδιο μπορούν επίσης να ενσωματωθούν σταθεροποιητές, όπως πηκτίνη, ζελατίνη ή άμυλο, με σκοπό την αποφυγή του διαχωρισμού του ορού κατά τη διάρκεια της συντήρησης.

2. Ομογενοποίηση του γάλακτος

Η ομογενοποίηση αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο, ιδίως στην περίπτωση γιαουρτιού με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά. Κατά τη διαδικασία το γάλα διέρχεται από στενή οπή (βαλβίδα ομογενοποίησης) υπό πίεση 10-12 MPa και θερμοκρασία μεταξύ 55 και 65° C. Υπό τις συνθήκες αυτές, τα λιποσφαίρια του γάλακτος διασπώνται σε μικρότερα σωματίδια (μικρότερα του 1 μm) και καθίστανται λιγότερο ευάλωτα σε αλλοίωση αφενός και αφετέρου κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το γιαούρτι παρεμποδίζοντας το διαχωρισμό της κρέμας κατά τη διάρκεια της ζύμωσης ή της αποθήκευσης. Επιπλέον,

συμβάλλει στην αύξηση της λευκότητας, στη μείωση του διαχωρισμού του ορού και στη βελτίωση της συνεκτικότητας του γιαουρτιού (Lee, W. I., & Lucey, J. A. 2010, Silva et al., 2022).

3. Θερμική επεξεργασία γάλακτος (παστερίωση)

Το μίγμα γάλακτος στη συνέχεια υποβάλλεται σε θερμική επεξεργασία, συνήθως στους 80-85° C για 30 λεπτά ή εναλλακτικά στους 90-95° C για 5 λεπτά (Soukoulis, C., et al., 2007). Με την παστερίωση επιτελούνται δύο κρίσιμες λειτουργίες. Αρχικά, καταστρέφονται παθογόνοι καθώς και οι αλλοιωγόνους ώστε να διασφαλιστεί κατάλληλο και μικροβιολογικά ασφαλές περιβάλλον για την ανάπτυξη των εναρκτηρίων καλλιιεργειών (O'Rell, K., & Chandan, R. C. 2013). Παράλληλα και ιδιαίτερα σημαντικά, η υψηλή θερμοκρασία μέσω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος και κυρίως της β-λακτοσφαιρίνης ασκεί σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της υφής του γιαουρτιού. Οι μετουσιωμένες πρωτεΐνες αλληλεπιδρούν με τα μικκύλια της καζεΐνης, οδηγώντας στον σχηματισμό ενός πιο σταθερού και λεπτότερου πηκτώματος, το οποίο εμφανίζει αυξημένη αντοχή στον διαχωρισμό νερού κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το γιαούρτι υποβάλλεται σε υψηλότερη θερμοκρασία παστερίωσης συγκριτικά με το γάλα που προορίζεται για πόση (Lee, W. J., & Lucey, J. A. 2010).

4. Ψύξη και εμβολιασμός με τις εναρκτηρίες καλλιιεργειες

Μετά τη θερμική επεξεργασία, το γάλα ψύχεται στη βέλτιστη θερμοκρασία επώασης, η οποία κυμαίνεται περίπου στους 40-45° C ή πρακτικά στους 38-42° C, ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη των θερμόφιλων βακτηρίων. Στο στάδιο αυτό προστίθεται η εναρκτηρία καλλιιεργεια, δηλαδή ένα μίγμα των *Streptococcus thermophilus* και *Lactobacillus delbruekii subsp. Bulgaricus* σε αναλογία 1:1 το οποίο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από βακτηριοφάγους και μολυσμένα βακτήρια. Στη βιομηχανική παραγωγή, οι καλλιιεργειες αυτές διατίθενται συνήθως υπό μορφή λυοφιλωμένων ή κατεψυγμένων συμπυκνωμένων παρασκευασμάτων, ώστε να διασφαλίζεται σταθερή απόδοση και ομοιομορφία μεταξύ των παρτίδων παραγωγής (Arab, M., et al., 2023).

5. Επώαση και ζύμωση

Το εμβολιασμένο γάλα διατηρείται στη θερμοκρασία επώασης έως ότου το pH του να μειωθεί περίπου στο 4,5, διαδικασία που συνήθως διαρκεί 4 έως 6 ώρες. Η θερμοκρασία

και η οξύτητα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς. Κατά το στάδιο αυτό τα βακτήρια μεταβολίζουν τη λακτόζη, παράγουν γαλακτικό οξύ και συνθέτουν αρωματικές ενώσεις που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος. Η διαδικασία της πήξης επιτελείται προοδευτικά καθώς αυξάνεται η οξύτητα του συστήματος. Ο ακριβής χρόνος και η θερμοκρασία επώασης μπορούν να τροποποιηθούν ανάλογα με το επιθυμητό pH και τα ζητούμενα χαρακτηριστικά (σύσταση, γεύση και υφή) του τελικού προϊόντος (Tamime, A. Y. & Deeth, H. C. 1980).

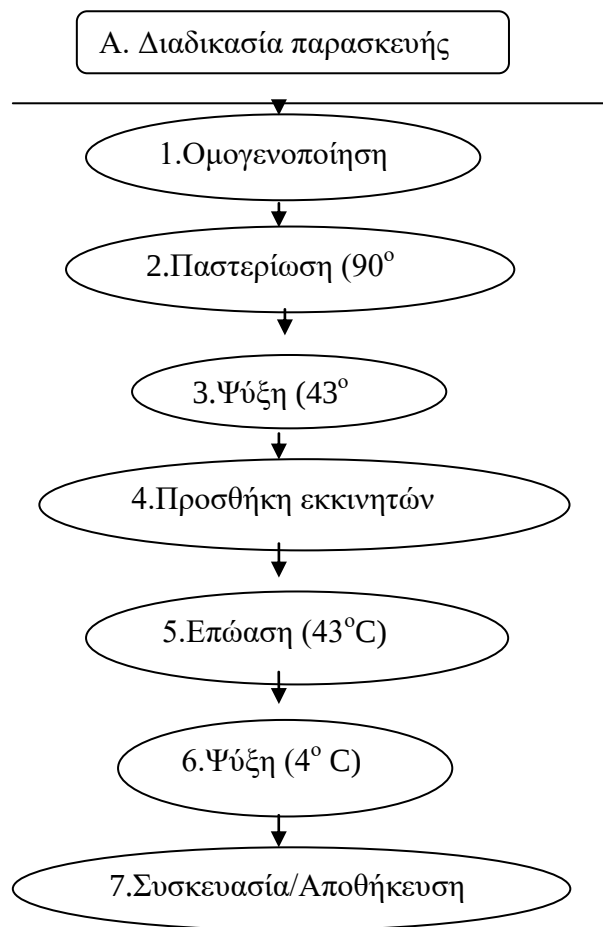
6.Ψύξη

Μόλις επιτευχθεί η επιθυμητή οξύτητα (pH =4,5-4,6), το γιαούρτι ψύχεται ταχέως σε θερμοκρασία περίπου 4-7° C, προκειμένου να επιβραδυνθεί η μεταβολική δραστηριότητα των βακτηρίων και να ανασταλεί η περαιτέρω παραγωγή οξέος.

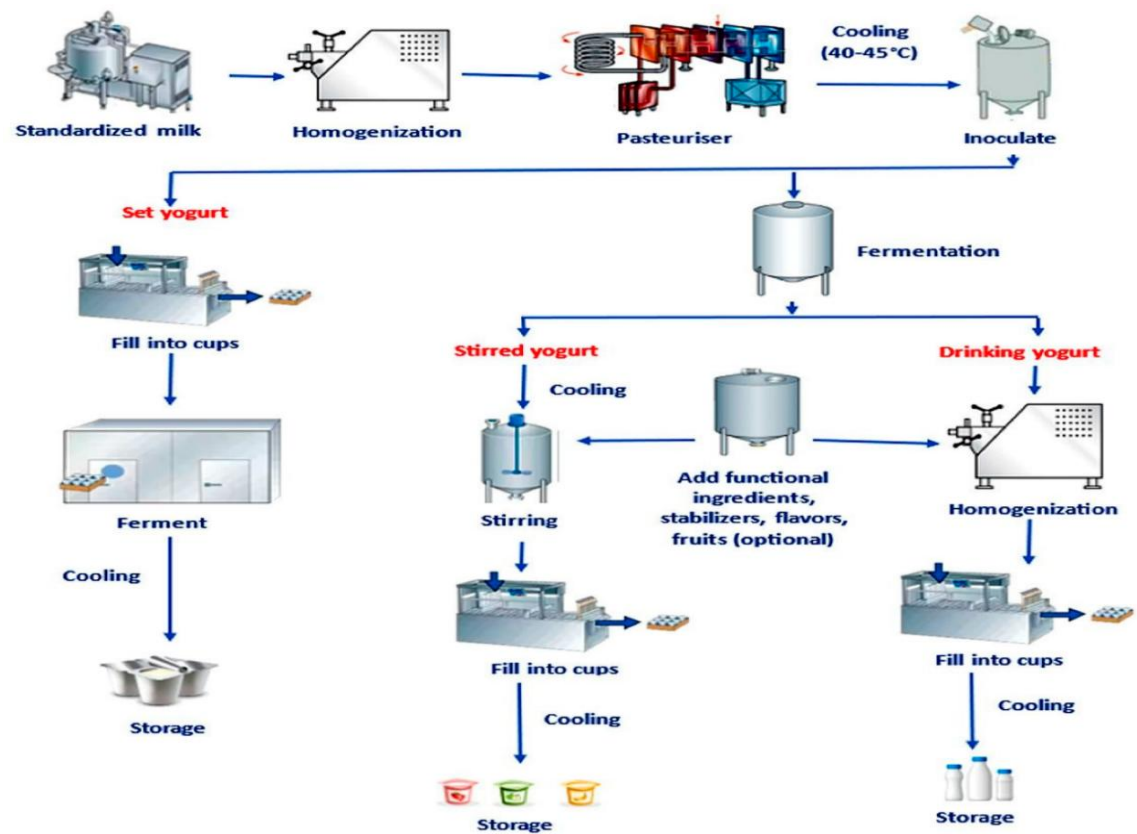
7.Συσκευασία

Μετά την ψύξη και ανάλογα με τον τύπο του παραγόμενου γιαουρτιού, γίνεται προσθήκη παρασκευασμάτων φρούτων, αρωματικών ή γλυκαντικών υλών ή άλλων επιτρεπόμενων συστατικών αφού προηγηθεί ανάδευση του μίγματος. Στα αρωματισμένα ζυμούμενα γάλατα τα μη γαλακτοκομικά συστατικά μπορούν να προστεθούν πριν ή μετά τη ζύμωση (Codex CXS 243-2003 Standard for Fermented Milks). Ακολούθως το προϊόν συσκευάζεται και μεταφέρεται σε συνθήκες ψυχρής αποθήκευσης, ώστε να διατηρηθεί η ποιότητα του κατά τη διανομή και εμπορική διάθεσή του. Για το συνεκτικό γιαούρτι η επώαση μπορεί να γίνεται μέσα στον τελικό περιέκτη, ενώ για το αναδύομενο γιαούρτι το προϊόν ψύχεται και αναδεύεται πριν από τη συσκευασία. Η διατήρηση σε χαμηλή θερμοκρασία είναι απαραίτητη για τον περιορισμό της μεταζυμωτικής όξυνσης και τη διατήρηση της ποιότητας μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής του προϊόντος.

Τα παραπάνω στάδια αποδίδονται συνοπτικά στο σχήμα 1, εικόνα 2



Σχήμα 1 : Διαδικασία παρασκευής γιαουρτιού (Bankole, A. O., Irindi, E. A., Awoyale, W., & Ajieni, E. O. (2023)



Εικόνα 2: Τύποι γιαουρτιού, βιομηχανικές διαδικασίες παρασκευής τους (Munteanu-Ichim, R. A., et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Χημική σύσταση και θρεπτική αξία και ευρύτερος διατροφικός ρόλος του Γιαουρτιού

Από θρεπτικής άποψης το γιαούρτι αποτελεί τρόφιμο υψηλής θρεπτικής αξίας, καθώς συνδυάζει πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας, υδατάνθρακες, λιπίδια μεταβολικής σύνθεσης και σημαντικά μακροθρεπτικά συστατικά. Η διαδικασία της ζύμωσης επηρεάζει όχι μόνο τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, αλλά και ορισμένες πτυχές της βιοδιαθεσιμότητας και της λειτουργικής του αξίας. Υπό την έννοια αυτή, το γιαούρτι μπορεί να θεωρηθεί όχι μόνο ως ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν υψηλής διατροφικής αξίας, αλλά και ως τρόφιμο με ευρεία εφαρμογή σε ισορροπημένα διατροφικά πρότυπα, ιδίως λόγω της συμβολής του στην πρόσληψη πρωτεΐνης, ασβεστίου και άλλων θρεπτικών συστατικών (Gomez-Gallero Garlos, 2018).

3.1 Χημική σύσταση και θρεπτική αξία του Γιαουρτιού

Το γιαούρτι θεωρείται τρόφιμο υψηλής θρεπτικής αξίας, καθώς αποτελεί σημαντική πηγή πρωτεϊνών υψηλής βιολογικής αξίας και ασβεστίου υψηλής βιοδιαθεσιμότητας.. Παράλληλα, συμβάλλει στην πρόσληψη μακροθρεπτικών συστατικών όπως ιώδιο, φώσφορος, κάλιο, ριβοφλαβίνη (βιταμίνη B2) και βιταμίνης B12. Αν και δεν αποτελεί φυσική πηγή βιταμίνης D, ορισμένα προϊόντα εμπλουτίζονται με αυτήν, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις προστίθεται και επιπλέον ασβέστιο, γεγονός που μπορεί να επηρεάζει τους σχετικούς διατροφικούς ισχυρισμούς. Η τελική χημική και διατροφική σύσταση του γιαουρτιού εξαρτάται από την πρώτη ύλη, τις τεχνολογικές μεθόδους παραγωγής, την περιεκτικότητα σε λιπαρά, τον βαθμό απομάκρυνσης του ορού, καθώς και από την ενδεχόμενη προσθήκη σακχάρων, φρούτων ή άλλων συστατικών (Sumi et al., 2023 Ruxton, 2015).

Η περιεκτικότητα σε λιπαρά παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, μεταξύ των διαφορετικών τύπων γιαουρτιού, από προϊόντα χωρίς λιπαρά έως προϊόντα πλήρη ή στραγγιστά με υψηλότερη περιεκτικότητα. Αντίστοιχα, διαφοροποιούνται και η ενεργειακή αξία, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, υδατάνθρακες και ανόργανα στοιχεία (πίνακας...). Για το λόγο αυτό, η αξιολόγηση της θρεπτικής αξίας του γιαουρτιού πρέπει να γίνεται με βάση τον συγκεκριμένο τύπο προϊόντος και τη σύστασή του, όπως αυτή αποτυπώνεται σε συγκριτικούς πίνακες διατροφικής σύστασης ((Sellars, 1989· Sousi et al., 1990· Weerathilake et al., 2014).

Πίνακας 1 : Θρεπτική αξία διαφορετικών τύπων γιαουρτιού (Weerathilake et al., 2014).

Συστατικά ανά 100 g	Άπαχο γάλα	Πλήρες σε λιπαρά	Χαμηλό σε λιπαρά	Χωρίς λιπαρά
Πρωτεΐνη (g)	3,50	3,88	3,55	4,35
Λιπαρά (g)	0,10	3,50	1,60	0,10
Λακτόζη (g)	5,00	3,90	4,10	4,20
Γαλακτόζη (g)	0,00	1,50	1,50	1,50
Συνολικοί υδατάνθρακες (g)	5,00	5,42	5,60	5,70
Γαλακτικό οξύ (g)	0,00	1,00	1,00	1,00
Κιτρικό οξύ (g)	0,20	0,30	0,30	0,30
Νάτριο (g)	0,05	0,07	0,07	0,07
Κάλιο (g)	0,15	0,20	0,20	0,20
Ασβέστιο (g)	0,12	0,18	1,18	0,17
Φώσφορος (g)	0,10	0,14	0,14	0,12
Χλωριούχα (g)	0,10	0,12	0,12	0,12
Ενεργειακή αξία (kg)	150	307	221	165
Βακτηριακή μάζα (g)	0,00	0,15	0,15	0,15

Πρωτεΐνες, πεπτίδια και αμινοξέα

Το γιαούρτι και γενικότερα τα γαλακτοκομικά προϊόντα θεωρούνται εξαιρετική πηγή απαραίτητων αμινοξέων για την ανθρώπινη διατροφή, ανάπτυξη και εξέλιξη (Kanwar JR, Kanawar RK, Sun X, et al., 2009). Οι πρωτεΐνες του γάλακτος χαρακτηρίζονται από ευνοϊκό προφίλ αμινοξέων, ενώ το πρωτεϊνικό τους κλάσμα περιέχει πεπτίδια και άλλους βιοδραστικούς παράγοντες με ενδεχόμενη διατροφική και λειτουργική σημασία.

Κατά τη διαδικασία της ζύμωσης, οι πρωτεΐνες υφίστανται εν μέρει πρωτόλυση από το βακτηριακό πρωτεολικό σύστημα, γεγονός που μπορεί να διευκολύνει την πέψη τους και να συμβάλει στο σχεδιασμό βιοδραστικών πεπτιδίων. Παράλληλα, έχει προταθεί ότι το σύμπλεγμα των πρωτεϊνών του γάλακτος μπορεί να συμμετέχει σε μηχανισμούς κορεσμού και ρύθμισης του σωματικού βάρους, αν και τα διαθέσιμα δεδομένα δεν είναι απολύτως συνεπή και δεν έχει αποσαφηνιστεί πλήρως αν οι πρωτεΐνες ορού υπερέχουν λειτουργικά

έναντι άλλων πρωτεϊνικών κλασμάτων του γάλακτος ((Hall WL, Millward DJ, Long SJ, et al., 2003).

Τα γαλακτοκομικά προϊόντα έχουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε αμινοξέα διακλαδικής αλυσίδας, δηλαδή λευκίνη, ισολευκίνη και βαλίνη, καθώς και λυσίνη η οποία συμπληρώνει το προφίλ αμινοξέων άλλων τροφίμων, όπως τα δημητριακά και τα όσπρια, αυξάνοντας τη βιολογική αξία της πρωτεΐνης, όταν αυτά τα τρόφιμα καταναλώνονται μαζί (Moreno Aznar LA, Cervena Ral P, Ortega Anta RM, et al., 2013).

Οι καζεΐνες επιτελούν επίσης σημαντικό διατροφικό ρόλο, καθώς μέσω των φωσφοπεπτιδίων καζεΐνης που παράγονται μετά από ενδημική υδρόλυση συμβάλουν στη διαλυτότητα και στην απορρόφηση του ασβεστίου, με πιθανή θετική επίδραση στην οστική ανοργανοποίηση σε ορισμένες πληθυσμιακές ομάδες (Scholz-Ahnens KE, Schrezenmeir J. 2000). Επιπλέον, πρωτεΐνες όπως η λακτοφερίνη, συνδέονται με λειτουργίες που σχετίζονται με την ομοιόσταση του σιδήρου καθώς και με αντιμικροβιακές και ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες. (Kanwar GR, Knwar RK, Sun X, et al. 2009)

Λιπίδια

Το γαλακτοκομικό λίπος συγκαταλέγεται μεταξύ των πλέον σύνθετων φυσικών λιπών, καθώς περιλαμβάνει μεγάλο αριθμό διαφορετικών λιπαρών οξέων, μεταξύ των οποίων κορεσμένα, μέσης και βραχείας αλυσίδας, διακλαδισμένα, trans φυσικής προέλευσης και ειδικά λιπαρά οξέα. Η πολυπλοκότητα αυτή διαφοροποιεί τα γαλακτοκομικά λίπη από άλλα λίπη ζωικής προέλευσης. (O'Donnell-Megaró M, Krajcovic J. 2011)

Στις σύγχρονες διατροφικές οδηγίες συχνά προτείνεται η κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων χαμηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά,. Ωστόσο, η επιστημονική βάση αυτής της σύστασης εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο συζήτησης, καθώς ορισμένες μελέτες έχουν αναφέρει αντίστροφη συσχέτιση μεταξύ της κατανάλωσης πλήρων γαλακτοκομικών και της συχνότητας παχυσαρκίας σε ενήλικες και παιδιά (Crichton GE, Alkharwi A. 2014) . Σε κάθε περίπτωση, το λίπος του γιαουρτιού δεν αποτελεί μόνο πηγή ενέργειας, αλλά και φορέα λιποδιαλυτών βιταμινών και βιοδραστικών συστατικών.

Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης, το λίπος του γάλακτος μπορεί να υποστεί βιοχημικές μεταβολές με αποτέλεσμα την αύξηση ορισμένων ελεύθερων λιπαρών οξέων και του συζευγμένου λινολεϊκού οξέος (CLA). Η παρουσία του CVA και συγγενών ενώσεων, όπως το vaccenic acid, έχει μελετηθεί για επιδράσεις στην υγεία , αν και η κλινική σημασία τους παραμένει υπό διερεύνηση. Επομένως, το προφίλ των λιπαρών οξέων του γιαουρτιού συνιστά σημαντική παράμετρο της διατροφικής του αξιολόγησης και πρέπει να

εξετάζεται στο πλαίσιο της συνολικής ποιότητας της δίαιτας. (Wadolowska L, Ulewicz N., Sodas K, et al., 2018)

Υδατάνθρακες και λακτόζη

Η λακτόζη αποτελεί τον κύριο υδατάνθρακα του γάλακτος και κατ' επέκταση, του γιαουρτιού. Πρόκειται για δισακχαρίτη αποτελούμενο από γλυκόζη και γαλακτόζη, ο οποίος πέρα από την συμβολή του στην παροχή ενέργειας, έχει συνδεθεί με φυσιολογικές λειτουργίες όπως υποστήριξη της ανάπτυξης και η ενίσχυση της απορρόφηση ορισμένων μετάλλων όπως το ασβεστίου (Schuette SA, Knowels JB, Ford HE, 1989).

Η περιεκτικότητα του αγελαδινού γάλακτος σε λακτόζη είναι περίπου 5gr/100gr, ενώ στο γιαούρτι μειώνεται λόγω της δράσης των καλλιεργειών εκκίνησης, οι οποίες μετατρέπουν μέρος της λακτόζης σε γαλακτικό οξύ. Πριν τη ζύμωση, η περιεκτικότητα του μείγματος γιαουρτιού μπορεί να είναι περίπου 6%, ενώ μετά τη ζύμωση συνήθως μειώνεται περίπου 4,1-4,7%. Σε προϊόντα τύπου «ελληνικού» όπου απομακρύνεται ο ορός γάλακτος, απομακρύνεται και σημαντικό μεγάλο ποσοστό της λακτόζης (Wallace E., 2018).

Παρά τη διατήρηση υπολειμματικής λακτόζης, το γιαούρτι είναι συχνά ανεκτό από άτομα που παρουσιάζουν δυσανεξία στη λακτόζη σε σύγκριση με το γάλα. Αυτό αποδίδεται όσο στην παρουσία βακτηριακής β-γαλακτοσιδάσης όσο και στην βραδύτερη γαστρική κένωση, η οποία επιτρέπει αποτελεσματικότερη διάσπαση της λακτόζης κατά τη διέλευση από το πεπτικό σύστημα (Marteau P., Flourie B., Pochart P., et al., 1990). Τα φαινόμενα αυτά έχει αναγνωριστεί από διεθνείς οργανισμούς και ευρωπαϊκούς φορείς αξιολόγησης (FAO/WHO, 2018, EFSA, 2018)

Βιταμίνες και ανόργανα μέταλλα

Τα γιαούρτι αποτελεί σημαντική πηγή τόσο λιποδιαλυτών όσο και υδατοδιαλυτών βιταμινών, ανάλογα με την περιεκτικότητά του σε λιπαρά και τη σύνθεση της πρώτης ύλης. Μεταξύ των λιποδιαλυτών βιταμινών περιλαμβάνονται κυρίως οι βιταμίνες A, D και E. Ενώ από τις υδατοδιαλυτές ξεχωρίζουν η ριβοφλαβίνη, νιασίνη και η βιταμίνη B12 (Moreno Aznar LA, Cervera Ral P, Ortega Anta RM, et al., 2013). Επιπλέον, κατά τη ζύμωση ενδέχεται να αυξάνεται η συγκέντρωση ορισμένων βιταμινών του συμπλέγματος B, όπως τα φολικά, λόγω της μεταβολικής δραστηριότητας των βακτηρίων.

Από τα ανόργανα στοιχεία, το γιαούρτι αποτελεί κυρίως σημαντική πηγή ασβεστίου, αλλά και φωσφόρου, μαγνησίου, ψευδαργύρου νατρίου και καλίου (Gaucheron F. 2011). Η σημασία του ασβεστίου του γιαουρτιού είναι ιδιαίτερη, καθώς το προϊόν συγκαταλέγεται

στις καλύτερες διαιτητικές πηγές του, λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας, του υψηλού βαθμού απορρόφησης και προσιτού κόστους.

Το όξινο pH του γιαουρτιού επηρεάζει τη διαλυτότητα ορισμένων ανόργανων στοιχείων και μπορεί να διευκολύνει τη βιοδιαθεσιμότητά τους, η όξινη αντίδραση του προϊόντος ευνοεί τον ιονισμό του και διευκολύνει την εντερική απορρόφηση του. Μια μερίδα γιαουρτιού, μπορεί να αποδώσει περίπου 250mg ασβεστίου, δηλαδή περίπου το 25% της συνιστώμενης ημερήσιας πρόσληψης για έναν ενήλικα (Rizzoli R,2014).

3.2 Ο ρόλος του γιαουρτιού στη διατροφή και την υγεία

Οι διατροφικές οδηγίες αποτελούν βασικό εργαλείο για τους επαγγελματίες υγείας και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, καθώς καθοδηγούν τους πολίτες στην επιλογή τροφίμων και ποτών που συμβάλλουν στην πρόληψη νοσημάτων και στην προαγωγή της υγείας (Rahavi E., Bevington F., 2018). Στο πλαίσιο αυτό, το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα αναγνωρίζονται ως τρόφιμα υψηλής διατροφικής πυκνότητας, δεδομένου ότι παρέχουν ενέργεια, πρωτεΐνες υψηλής ποιότητας και σημαντικές ποσότητες μικροθρεπτικών συστατικών, όπως ασβέστιο, κάλιο, μαγνήσιο, φώσφορο, ψευδάργυρο, σελήνιο, ριβοφλαβίνη, θειαμίνη και βιταμίνη B12, ενώ ορισμένα προϊόντα είναι και εμπλουτισμένα με βιταμίνη D (Jacobs DR, Gross MD, Tapsell LC.,2009· Rizzoli R.,)

Όπως επισημαίνει ο German (2014), το γιαούρτι μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα της συνύπαρξης τριών παραγόντων: του γάλακτος ως βιολογικού υποστρώματος υψηλής θρεπτικής αξίας, των μικροβιακών καλλιέργειών που επιτελούν τη ζύμωση και διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, και του ίδιου του καταναλωτή, με τη διατροφική, πολιτισμική και βιολογική του ποικιλομορφία. Επομένως, η θέση του γιαουρτιού στις διατροφικές οδηγίες δεν εξαρτάται μόνο από τη χημική του σύσταση, αλλά και από τη συνολική του συμβολή στη σύγχρονη διατροφή. Οι διατροφικές συστάσεις οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο την υψηλή πυκνότητα θρεπτικών συστατικών του γιαουρτιού και το σχετικά χαμηλό του κόστος, αλλά και την παρουσία ζωντανών βακτηρίων, που ενδέχεται να συμβάλλουν στη λειτουργική του αξία (Weaver CM., 2014). Αρκετά κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιλαμβάνουν το γιαούρτι στις εθνικές διατροφικές τους οδηγίες ως τρόφιμο που συνεισφέρει ουσιαστικά στην κάλυψη διατροφικών αναγκών. Σύμφωνα με τους Smug και συν. (2014), πέντε από τις χώρες που αξιολογήθηκαν περιλάμβαναν ειδικές αναφορές σε προβιοτικά ή σε γιαούρτι στις επίσημες διατροφικές συστάσεις τους, ενώ σε περιορισμένο αριθμό χωρών δίνονταν και συγκεκριμένα παραδείγματα προβιοτικών μικροοργανισμών. Επιπλέον, εντός της

Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει εγκριθεί συγκεκριμένος ισχυρισμός υγείας σύμφωνα με τον οποίο το γιαούρτι με ζωντανές καλλιέργειες βελτιώνει την πέψη της λακτόζης σε άτομα με δυσκολία πέψης της λακτόζης.

3.3 Ο ρόλος των βακτηρίων του γιαουρτιού στη διατροφή και την υγεία

Περισσότερα από 3500 παραδοσιακά ζυμωμένα προϊόντα μπορούν να βρεθούν παγκοσμίως με διαφορετικούς τύπους ζύμωσης και διαφορετικές μικροβιακές κοινότητες. Οι ποικίλες αυτές μορφές ζύμωσης, σε συνδυασμό με τη διαφορετική ζωική προέλευση του γάλακτος, επηρεάζουν σημαντικά τις θρεπτικές και λειτουργικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Οι μικροοργανισμοί που εκτελούν τη ζύμωση μπορεί είτε να παράγουν ωφέλιμους μεταβολίτες ανάλογα με τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά, δηλαδή να ασκούν βιογενή επίδραση, είτε να αλληλεπιδρούν οι ίδιοι με τον ξενιστή με θετικό τρόπο, δηλαδή να ασκούν προβιοτική επίδραση (FAO, 2013).

Στην περίπτωση του γιαουρτιού, οι οργανισμοί καλλιέργειας εκκίνησης είναι κυρίως θερμοφιλά βακτήρια όπως ο *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* και ο *Streptococcus thermophilus*. Τα βακτήρια αυτά είναι σχετικά ευαίσθητα στη χολή, και δεν θεωρούνται ιδανικά προσαρμοσμένα για μακροχρόνια επιβίωση και εγκατάσταση στο ανθρώπινο έντερο. Έχει αναφερθεί ότι μόνο μικρό ποσοστό αυτών φθάνει στο δωδεκαδάκτυλο, ωστόσο η επιβίωση τους στο γαστρεντερικό σύστημα δεν αποτελεί προϋπόθεση για την άσκηση ευεργετικών δράσεων. Για παράδειγμα, η θετική συμβολή των καλλιεργειών εκκίνησης του γιαουρτιού στην δυσπεψία της λακτόζης δεν σχετίζεται με αποικισμό του παχέος εντέρου, αλλά μάλλον με τη διάσπαση της λακτάσης στο λεπτό έντερο (Moreli L., 2014).

Παρά τα παραπάνω, έχει αναφερθεί ότι ορισμένα στελέχη *L. delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* εμφανίζουν μεγαλύτερη ανοχή στην υψηλή οξύτητα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η φυσική ποικιλομορφία των στελεχών μπορεί να έχει σημασία για τη λειτουργική τους επίδραση. Επιπλέον, το γιαούρτι συμβάλλει ουσιαστικά στην ημερήσια πρόσληψη ζώντων βακτηρίων μέσω της διατροφής. Όπως αναφέρουν οι Derrien και Van Hylckama Vlieg (2015), η κατανάλωση ενός κυπέλλου γιαουρτιού μπορεί να αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των βιώσιμων βακτηρίων που λαμβάνει ο καταναλωτής σε σύγκριση με μια διατροφή βασισμένη κυρίως σε βιομηχανικά επεξεργασμένα τρόφιμα.

Τα βακτήρια του γιαουρτιού, ακόμη και όταν δεν εγκαθίστανται μόνιμα στο έντερο, μπορούν κατά τη γαστρεντερική διέλευση να αλληλεπιδρούν με ανοσολογικά και επιθηλιακά κύτταρα, με εντερικά συστατικά και με το εντερικό μικροβίωμα του ξενιστή. Παράλληλα, βακτήρια γαλακτικού οξέος που απομονώνονται από ζυμωμένα γάλατα έχει

αποδειχθεί ότι αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων όπως *Escherichia coli* και *Salmonella enteritidis*, κυρίως μέσω της όξυνσης του περιβάλλοντος (Vinderola G, Gueimonde M, Gomez-Gallero C, et al., 2017). Επιπλέον, η τακτική κατανάλωση γιαουρτιού και άλλων ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων που περιέχουν κατάλληλα LAB έχει συνδεθεί με βελτίωση του προφίλ βιταμινών του συμπλέγματος B, όπως το φυλλικό οξύ, η θειαμίνη και η ριβοφλαβίνη, καθώς και με ενίσχυση της απορρόφησης ασβεστίου και της υγείας των οστών (Rizzoli R., 2014).

3.4 Γιαούρτι και υγεία

Πολλές μελέτες έχουν συσχετίσει, την συχνή κατανάλωση γιαουρτιού και άλλων ζυμωμένων γαλακτοκομικών προϊόντων, με καλύτερη ποιότητα διατροφής και με διαιτητικά πρότυπα που προσεγγίζουν τη μεσογειακή διαίτα (Vasilopoulos E., Dilis V., Trichopoulos A., 2013). Ωστόσο, η σημασία του γιαουρτιού για την υγεία υπερβαίνει τη στενή έννοια της θρεπτικής του αξίας, καθώς πρόκειται για τρόφιμο που συνδυάζει βασικά θρεπτικά συστατικά με την παρουσία ζωντανών καλλιεργειών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, προβιοτικών μικροοργανισμών.

Το γιαούρτι παρέχει πρωτεΐνη, ασβέστιο και, όταν είναι εμπλουτισμένο, βιταμίνη D, ενώ ορισμένα είδη περιέχουν και προβιοτικά, γεγονός που μπορεί να ενισχύει τη λειτουργική του σημασία. Έχει προταθεί ότι η τακτική κατανάλωση γιαουρτιού μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση ευνοϊκής εντερικής μικροχλωρίδας, στη βελτίωση της πέψης της λακτόζης και σε ορισμένους δείκτες καρδιομεταβολικής υγείας. Ωστόσο, οι σχετικές επιδράσεις δεν θα πρέπει να διατυπώνονται ως απόλυτα γενικευμένες, καθώς τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζουν ετερογένεια ως προς τα χρησιμοποιούμενα στελέχη, τον τύπο του προϊόντος και τη μεθοδολογία των μελετών (Adolfsson O., Meydani SN, Russell RM., 2004).

Πληθώρα στοιχείων υποδηλώνουν ότι τα βακτηριακά είδη που χρησιμοποιούνται για τη ζύμωση του γιαουρτιού διαθέτουν αντιπαθογόνες και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες (Adolfsson O., Meydani SN, Russell RM. 2004). Έχει επίσης αναφερθεί πιθανή συμμετοχή τους στον έλεγχο της χοληστερόλης του ορού, ιδιαίτερα της λιποπρωτεΐνης χαμηλής πυκνότητας (LDL), αν και τα αποτελέσματα δεν είναι ομοιόμορφα για όλα τα προϊόντα και τα στελέχη (Moreno Asnar LA, Cervera Ral P, Ortrera Anta RM et al., 2013, Sah BNP, Vasilevic McKechrie S et al., 2018). Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ακόμη, πιθανή θετική επίδραση στην εντερική διέλευση, καθώς και μείωση της διάρκειας ορισμένων γαστρεντερικών λοιμωδών νοσημάτων (Merenstein D, Murfy M. Fokar A. et al., 2010, Hickson M, D'Souza AL, Muthu N, et al., 2007).

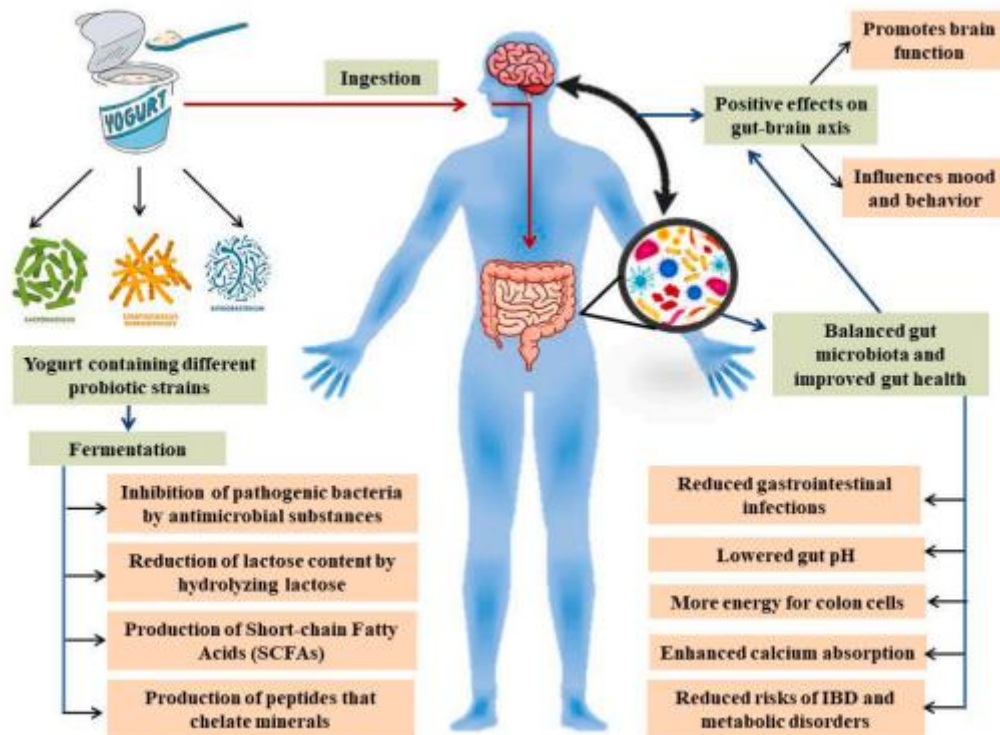
Συστηματικές ανασκοπήσεις και μετά-αναλύσεις έχουν δείξει πως το γιαούρτι μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κίνδυνου διάρροιας που σχετίζεται με τη χρήση αντιβιοτικών και να υποστηρίξει την ανάρρωση από οξεία γαστρεντερίτιδα στα παιδιά. Ωστόσο, λόγω περιορισμών στη διαθεσιμότητα των δεδομένων και μεθοδολογικών αδυναμιών ορισμένων μελετών, τα συμπεράσματα αυτά. θα πρέπει να εξετάζονται με προσοχή (Patro –Golab B, Shamir R, Szajewska H.2015). Η ίδια επιφύλαξη ισχύει και για άλλες αναφερόμενες επιδράσεις, καθώς η ετερογένεια των στελεχών LAB, οι διαφορές στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις και η απουσία ενιαίου ορισμού της «υγείας του εντέρου» δυσχεραίνουν τη γενίκευση των αποτελεσμάτων (Adolfsson O., Meydani SN, Russell RM., 2004).

Έχει επίσης προταθεί ότι η τακτική κατανάλωση γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση με προσθήκη προβιοτικών μπορεί να επηρεάζει ευνοϊκά το λιπιδαιμικό προφίλ, ιδιαίτερα σε γυναίκες, αν και δεν εμφανίζουν όλα τα προϊόντα την ίδια υποχοληστερολαιμική επίδραση (Sadrzadeh-Yeganeh H, Elmadfa I, Djazayeri A, et al., 2010). Αντίστοιχα, έχουν αναφερθεί πιθανές ευεργετικές επιδράσεις στην πρόληψη, στη μείωση ή στη διάρκεια λοιμώξεων της αναπνευστικής οδού, του κοινού κρυολογήματος, της γρίπης και ορισμένων αλλεργικών εκδηλώσεων. Για παράδειγμα, γιαούρτι που παρασκευάστηκε με *L. bulgaricus* OLL1073R-1 συσχετίστηκε με μειωμένη συχνότητα εμφάνισης κοινού κρυολογήματος σε ηλικιωμένους που το κατανάλωναν καθημερινά (Makino S, Ikegami S, Kume A, et al., 2010).

Πρόσφατα, απομονώθηκε από εμπορικό γιαούρτι ένα ενδιαφέρον στέλεχος *Lactobacillus parafarraginis*, το οποίο παρουσίασε αντιμικροβιακή δράση έναντι πολυανθεκτικών βακτηρίων, δημιουργώντας προοπτικές περαιτέρω διερεύνησης των πιθανών εφαρμογών του (Allan-McFarlane RS, Bansal G, Allen ADE., 2017). Παράλληλα, η κατανάλωση γιαουρτιού έχει συσχετισθεί και με μειωμένο κίνδυνο ορισμένων αλλεργικών παθήσεων, φαινόμενο που συχνά αποδίδεται σε συγκεκριμένες προβιοτικές καλλιέργειες. Σε νορβηγική μελέτη, η κατανάλωση προβιοτικών γαλακτοκομικών προϊόντων κατά την εγκυμοσύνη και τη βρεφική ηλικία συσχετίστηκε με μειωμένη συχνότητα εμφάνισης ατοπικού εκζέματος και ρινοεπιπεφυκίτιδας σε παιδιά (Bertelsen RJ, Brantsaeter AL, Magnus MC, et al., 2014). Αντίστοιχα, οι Roduit και συν. κατέληξαν ότι η πρόωμη εισαγωγή γιαουρτιού και η μεγαλύτερη ποικιλία τροφίμων κατά το πρώτο έτος της ζωής μπορεί να έχουν προστατευτική επίδραση έναντι της ατοπικής δερματίτιδας.

Συνολικά, το γιαούρτι μπορεί να θεωρηθεί τρόφιμο με πιθανές ευεργετικές επιδράσεις στην υγεία, ιδιαίτερα όταν καταναλώνεται στο πλαίσιο ισορροπημένων διατροφικών

προτύπων ή όταν περιέχει συγκεκριμένες προβιοτικές καλλιέργειες. Ωστόσο, οι επιδράσεις αυτές πρέπει να παρουσιάζονται με επιστημονική επιφύλαξη και χωρίς απόλυτες γενικεύσεις. Η επίδραση του προβιοτικού γιαουρτιού στην υγεία παρουσιάζονται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3: Η επίδραση του προβιοτικού γιαουρτιού στην υγεία (Chakma, Setal., 2025)

3.5 Το γιαούρτι ως λειτουργικό τρόφιμο και οι μελλοντικές προοπτικές

Πέρα από τη θρεπτική και λειτουργική του αξία, το γιαούρτι έχει αποκτήσει και σαφή κοινωνική διάσταση, καθώς έχει χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο παρέμβασης σε προγράμματα δημόσιας υγείας και αντιμετώπισης κοινωνικών προβλημάτων, όπως ο παιδικός υποσιτισμός. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόγραμμα «Yogurito Escolar» στην Αργεντινή, το οποίο βασίστηκε στην ανάπτυξη και διανομή προβιοτικού γιαουρτιού σε παιδιά με στόχο τη βελτίωση της διατροφικής τους κατάστασης και την πρόληψη νοσημάτων που σχετίζονται με υποσιτισμό (Bortz G., Thomas H., 2017). Αντίστοιχα, στην Αφρική, το Ίδρυμα Yoba for Life ανέπτυξε πρόγραμμα μικρής κλίμακας τοπικής παραγωγής ζυμωμένων τροφίμων, με στόχο τη βελτίωση της πρόσβασης σε

ασφαλή και λειτουργικά τρόφιμα για οικονομικά ευάλωτες ομάδες. Το εγχείρημα βασίσθηκε κυρίως στα στελέχη *Lactobacillus rhamnosus* GG και *Streptococcus thermophilus* και επεκτάθηκε σε διάφορες χώρες της υποσαχάριας Αφρικής (Kort R., et al., 2015). Τα παραδείγματα αυτά αναδεικνύουν ότι το γιαούρτι δεν είναι μόνο τρόφιμο υψηλής διατροφικής αξίας, αλλά μπορεί να λειτουργήσει και ως μέσο κοινωνικής παρέμβασης.

Παράλληλα, το γιαούρτι παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως τρόφιμο-φορέας λειτουργικών συστατικών, καθώς μπορεί να εμπλουτιστεί με βιοδραστικές ενώσεις που ενισχύουν διατροφική και λειτουργική του αξία. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται πολυφαινολικές ενώσεις, αντιοξειδωτικά, φυτικές ίνες και άλλες ουσίες φυτικής προέλευσης που μπορούν να αυξήσουν την αντιοξειδωτική ικανότητα του προϊόντος. Η προσθήκη επεξεργασμένων σταφυλιών Isabel σε προβιοτικό κατσικίσιο γιαούρτι οδήγησε, για παράδειγμα, σε προϊόν πλούσιο σε προβιοτικά, πολυφαινόλες και υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα (Silva et al., 2022), ενώ η ενσωμάτωση εκχυλίσματος αποξηραμένων σπόρων *camu-camu* αύξησε τη χημική αντιοξειδωτική και αναγωγική ικανότητα του προϊόντος (Fidelis et al., 2022). Αντίστοιχα, υδρολύματα φασολιών, πλούσια σε αμινοξέα και πολυφαινόλες, έχουν δείξει αντιοξειδωτική δράση και ικανότητα καθυστέρησης του σχηματισμού οξειδωμένων ενώσεων στο γιαούρτι (Sarker et al., 2020). Η μελέτη του γιαουρτιού και του ρόλου του στη διατροφή διευρύνεται συνεχώς, με τη βοήθεια σύγχρονων τεχνολογιών, όπως οι μέθοδοι αλληλούχισης επόμενης γενιάς, η μεταγονιδιωματική και η μεταμεταγραφωμική. Οι τεχνολογίες αυτές προσφέρουν νέες δυνατότητες για τη διερεύνηση της μικροβιακής δυναμικής των ζυμώσεων, των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τροφίμων και μικροβίων και της σχέσης τους με το εντερικό μικροβίωμα (German JB., 2014).

Ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η ανάπτυξη νέων προϊόντων γιαουρτιού με βελτιωμένο διατροφικό και λειτουργικό προφίλ. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζονται η μείωση της προστιθέμενης ζάχαρης μέσω χρήσης φυσικών γλυκαντικών, όπως η στέβια ή το εκχύλισμα καρπού μοναχού (Carocho et al., 2017· Ban, Liu, et al., 2020· Thun et al., 2022), η χρήση φυσικών χρωστικών φυτικής προέλευσης για τη βελτίωση της οπτικής αποδοχής (Wijesekara et al., 2022· Du et al., 2023· Schneider-Teixeira et al., 2022), καθώς και ο εμπλουτισμός με πρεβιοτικά, όπως ινουλίνη, ολιγογαλακτόζη, ολιγοφρουκτόζη και ανθεκτικό άμυλο (Marsh et al., 2014· Mousavi et al., 2019).

Επιπλέον, η ανάπτυξη συμβιωτικών προϊόντων, στα οποία συνδυάζονται προβιοτικά και πρεβιοτικά, αποτελεί πολλά υποσχόμενη ερευνητική κατεύθυνση, καθώς στοχεύει τόσο στη βελτίωση της σταθερότητας του προϊόντος όσο και στην ενίσχυση της επίδρασής του στο εντερικό περιβάλλον και σε άλλους δείκτες υγείας (Cheng et al., 2017· Li et al., 2021). Συνολικά, οι μελλοντικές τάσεις δείχνουν ότι το γιαούρτι αντιμετωπίζεται πλέον όχι μόνο ως παραδοσιακό ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν, αλλά και ως δυναμική πλατφόρμα ανάπτυξης καινοτόμων λειτουργικών τροφίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ασφάλεια και ποιότητα του Γιαουρτιού

Τα γαλακτοκομικά προϊόντα που έχουν υποστεί ζύμωση, όπως το γιαούρτι, συνήθως θεωρούνται μικροβιολογικά σταθερά λόγω της παραγωγής τους από γάλα το οποίο έχει υποστεί θερμική επεξεργασία, την αποθήκευσή τους στο ψυγείο και της παρουσίας ανταγωνιστικής μικροχλωρίδας που προκαλεί όξυνση του προϊόντος μέσω της σύνθεσης οργανικών οξέων. Παρόλα αυτά, η μικροβιακή μόλυνση αποτελεί σημαντική απειλή για την ασφάλεια και την ποιότητα του γιαουρτιού.

4.1 Πηγές μόλυνσης του γιαουρτιού

Η μικροβιακή μόλυνση αποτελεί σημαντική απειλή για την ασφάλεια και την ποιότητα του γιαουρτιού, προερχόμενη από διάφορες πηγές καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής του διαδικασίας. Μία από τις κύριες πηγές είναι το νωπό γάλα, σημαντικός παράγοντας επίσης είναι το ίδιο το περιβάλλον παραγωγής του γιαουρτιού, ακόμη τα συστατικά και πρόσθετα μπορεί να αποτελέσουν πηγή επιμόλυνσης και τέλος τα υλικά συσκευασίας του.

1. Νωπό γάλα –Μικροοργανισμοί νωπού γάλακτος

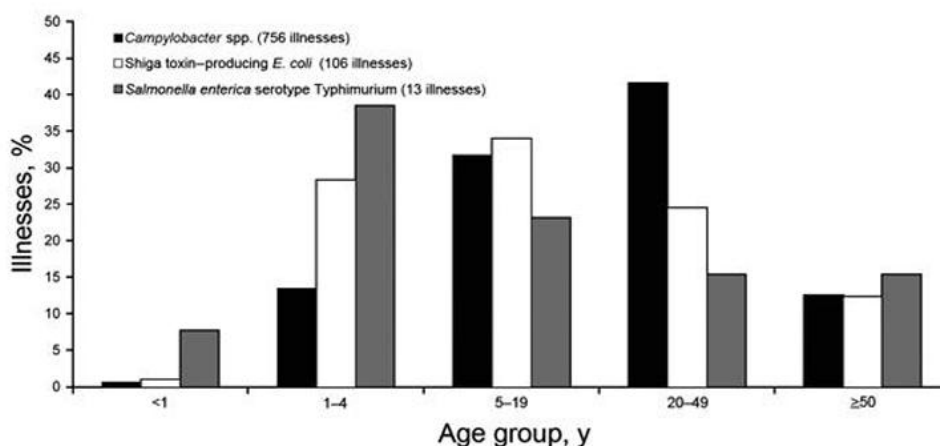
Η μικροχλωρίδα του νωπού γάλακτος διακρίνεται σε τρεις κύριες κατηγορίες : τα βακτήρια γαλακτικού οξέος, τα κολοβακτηριοειδή και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα βακτήρια γαλακτικού οξέος πραγματοποιούν ζύμωση στο γάλα, μετατρέποντας την λακτόζη σε γαλακτικό οξύ, Σύμφωνα με τους Sullivan και Cotter, στα βακτήρια αυτά περιλαμβάνονται κυρίως είδη των γενών *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Enterococcus* και *Streptococcus*, καθώς και μικρότεροι πληθυσμοί των γενών *Pseudomonas*, *Hafnia*, *Clostridium*, *Leuconosoc*, *Faecalibacterium*, *Prevotella*, *Acinetobacter* και *Aeromonas spp.*

Τα κολοβακτηριοειδή όπως το *Escherichia coli*, συνδέονται συχνά με παθογόνους μικροοργανισμούς, χωρίς όμως να είναι κατ' ανάγκην παθογόνα τα ίδια. Επιπλέον, έχουν την ικανότητα να ζυμώνουν τη λακτόζη παράγοντας οξύ και αέρια, γεγονός που συμβάλλει στην αλλοίωση του γάλακτος. Η καταστροφή τους επιτυγχάνεται μέσω της παστερίωσης υψηλής θερμοκρασίας και σύντομου χρόνου (High-Temperature Short-Time, HTST) καθώς η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξής τους είναι περίπου οι 37° C. (Holsinger, V .H ., 1973).

Η αλλοίωση των τροφίμων αποτελεί μεταβολική διεργασία που καθιστά τα τρόφιμα ανεπιθύμητα ή ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση λόγω μεταβολών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους όπως η υφή, η ανάπτυξη δυσάρεστων γεύσεων και οσμών. Οι κύριοι μικροοργανισμοί που προκαλούν αλλοίωση στο γάλα είναι οι ψυχροτρόποι μικροοργανισμοί. Αν και η παστερίωση καταστρέφει το μεγαλύτερο μέρος αυτών, ορισμένα ψυχρότροπα βακτήρια επιβιώνουν και παράγουν εξωκυτταρικά πρωτεολυτικά και λιπολυτικά ένζυμα με θερμοανθεκτικές ιδιότητες, προκαλώντας έτσι αλλοίωση του γάλακτος. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα είδη *Pseudomonas fluorescens* και *Pseudomonas fragi* (Holsinger, V .H .et al., 1973).

Επιπρόσθετα υπάρχουν είδη μικροοργανισμών που επιβιώνουν της παστερίωσης και μπορούν να αναπτυχθούν σε συνθήκες ψύξης, όπως ορισμένα είδη και στελέχη των γενών *Bacillus*, *Clostridium*, *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Lactobacillus*, *Microbacterium*, *Micrococcus* και *Streptococcus* (Holsinger, V. H. et al., 1973).

Η πλειονότητα των τροφιμογενών νοσημάτων που σχετίζονται με το γάλα αποδίδονται στην κατανάλωση μη παστεριωμένο γάλακτος, καθώς αυτό περιέχει σημαντικό αριθμό παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Campylobacter spp.*, *Salmonella enteric* serotype *typhimurium* και στελέχη *Escherichia coli* που παράγουν τοξίνη Shiga (Horton, B. S. 1985). Σύμφωνα με δεδομένα του Κέντρου Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (Centers for Disease Control and Prevention, CDC), τα *Campylobacter spp.* ευθύνονται για το μεγαλύτερο ποσοστό τροφιμογενών λοιμώξεων που σχετίζονται με μη παστεριωμένο γάλα, ενώ τα περισσότερα περιστατικά αφορούν άτομα ηλικίας από 1 έως 50 ετών (Εικόνα 4.) (Horton, B. S. 1985, Elisabeth A, et al., 2015).



Εικόνα 4 : Ποσοστό τροφολοιμώξεων προκαλούμενων από *Campylobacter spp.*, *E. Coli* και *Salmonella*, μέσω της κατανάλωσης μη παστεριωμένου γάλακτος σε διάφορες ηλικιακές ομάδες (Horton, B. S. 1985).

2. Το περιβάλλον παραγωγής

Πέρα από το νωπό γάλα, το περιβάλλον παραγωγής μπορεί να χρησιμεύσει ως δεξαμενή μικροβιακής μόλυνσης (Boor et al., 2017). Οι επιφάνειες του εξοπλισμού, οι δεξαμενές και οι ζυμωτήρες μπορεί να φιλοξενούν βιουμένια (βιοφίλμ), σύνθετες δηλαδή κοινότητες βακτηρίων που περιβάλλονται από προστατευτικές μήτρες. Τα βιοφίλμ είναι ανθεκτικά στα μέσα καταστροφής των μικροοργανισμών και μπορούν να απελευθερώνουν συνεχώς βακτήρια στο γιαούρτι κατά τη διάρκεια της παραγωγής (Marchand et al., 2012). Οι αερομεταφερόμενοι μικροοργανισμοί συμβάλλουν περαιτέρω στην επιμόλυνση, εγκαθίστανται σε επιφάνειες ή απευθείας σε ανοιχτές παρτίδες γιαουρτιού, θέτοντας σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ποιότητα του (Buehler et al., 2018).

3. Δευτερεύουσες ύλες και πρόσθετα

Συστατικά και πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στο γιαούρτι, όπως φρούτα, αρωματικές και γλυκαντικές ύλες , αποτελούν επίσης κινδύνους εάν δεν χειριστούν ή αποθηκευθούν κατάλληλα. Για παράδειγμα, τα φρούτα και τα αρώματα μπορεί να φιλοξενούν μύκητες και ζύμες, μικροοργανισμοί οι οποίοι δύναται να πολλαπλασιαστούν στο περιβάλλον του γιαουρτιού, προκαλώντας αλλοίωση στην υφή και τα αισθητηριακά χαρακτηριστικά. Μη κατάλληλες συνθήκες υγιεινής κατά την επεξεργασία ή την αποθήκευση των υλών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε διασταυρούμενη μόλυνση, επιδεινώνοντας περαιτέρω τους μικροβιακούς κινδύνους (Chandan & Kilara, 2013). Επιπλέον, τα υλικά συσκευασίας που χρησιμοποιούνται για το γιαούρτι είναι δυνατόν να αποτελέσουν πηγές μόλυνσης εάν δεν αποστειρωθούν ή δεν χειριστούν επαρκώς. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να αποικίσουν στις επιφάνειες συσκευασίας, ενδεχομένως θέτοντας σε κίνδυνο τη διάρκεια ζωής και την ασφάλεια του προϊόντος. Τα μολυσμένα υλικά συσκευασίας μπορούν να εισαγάγουν μικρόβια που θα διατηρηθούν ή πολλαπλασιαστούν στο σφραγισμένο δοχείο γιαουρτιού, επηρεάζοντας την ποιότητά του κατά την αποθήκευση και τη διανομή (Chintalapati, 2023).

4. Υλικά συσκευασίας

Τα υλικά συσκευασίας αποτελούν σημαντική πηγή μόλυνσης κατά τη διαδικασία αποθήκευσης και διανομής του γιαουρτιού. Τα υλικά αυτά (δηλαδή τα δοχεία και τα καπάκια τους) πρέπει να αποστειρώνονται πλήρως πριν τη χρήση τους για να εξαλειφθούν πιθανές μικροβιακές επιμολύνσεις (Chidalapati P, 2023). Η ανεπαρκής αποστείρωση μπορεί να οδηγήσει σε αποίκιση των μικροοργανισμών στις επιφάνειες των συσκευασιών , οι οποίοι θα μεταφερθούν στο γιαούρτι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πλήρωσης και σφράγισης του με αποτέλεσμα επιπτώσεις στην ασφάλεια και τη διάρκεια ζωής του γιαουρτιού και οι ρύποι οδηγούν σε αλλοίωση, δυσάρεστη γεύση και τη διάρκεια ζωής του γιαουρτιού (Chountalas P, Tsarouhas D, & Lagodimos A, 2009).

Η μικροβιακή επιμόλυνση αποτελεί μια μεγάλη πρόκληση για την ασφάλεια και την ποιότητα του γιαουρτιού, ωστόσο, ο σωστός χειρισμός , η παστερίωση και η συντήρηση των υλικών συσκευασίας είναι απαραίτητες ενέργειες για την αποφυγή επιμολύνσεων και την ασφάλεια του προϊόντος καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής του.

4.2 Αλλοιογόνοι Μικροοργανισμοί του Γιαουρτιού

1. Ζύμες και Μύκητες

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί που επιμολύνουν το γιαούρτι κυρίως κατά τη διαδικασία παραγωγής του επιφέροντας αλλοίωση αυτού είναι οι ζύμες, οι μύκητες και οι παραγόμενες τοξίνες τους. Το γιαούρτι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην αλλοίωση από μύκητες λόγω της παρουσίας διάφορων στελεχών μυκήτων οι οποίοι μπορούν να αναπτυχθούν σε χαμηλό pH και χαμηλές θερμοκρασίες. Η αλλοίωση του γιαουρτιού από τη δράση μυκήτων επιφέρει οπτικές δυσμορφίες, μειωμένα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και περιορισμένο χρόνο ζωής του προϊόντος στο ράφι (Snyder et al., 2016). Αλλοιογόνοι μύκητες είναι δυνατόν να εισαχθούν σε συσκευασίες γιαουρτιού που δεν έχουν σφραγιστεί σωστά.. Παρότι τα υλικά συσκευασίας απολυμαίνονται με τη χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας (UVC), υπέρυθρης ακτινοβολίας, ατμού και άλλων μέσων, κατά τη διαδικασία πλήρωσης των περιεκτών οι μηχανισμοί εμφιάλωσης εκτίθενται άμεσα στον αέρα, γεγονός που δεν αποτρέπει πλήρως την ατμοσφαιρική επιμόλυνση. Για τον περιορισμό των ανωτέρω αλλοιογόνων μικροοργανισμών απαιτείται συστηματικός έλεγχος του αέρα των εγκαταστάσεων για την παρουσία τους καθώς και αποτελεσματική σφράγιση κάθε συσκευασίας. Επιπλέον, πολλά εμπορικά γιαούρτια περιέχουν παρασκευάσματα φρούτων, τα οποία αποτελούν σημαντική πηγή μικροβιακής επιμόλυνσης, καθώς μπορούν να φιλοξενούν ζύμες και μύκητες . Σύμφωνα με τον

MacBean R. D. (2009), η επιμόλυνση από ζύμες και μύκητες σχεδόν αναπόφευκτα οδηγεί στη διατήρηση και ανάπτυξη αυτών στο προϊόν, με επακόλουθο την αλλοίωσή του.

Αλλοιογόνοι μύκητες είναι δυνατόν να ανευρεθούν στο γιαούρτι εάν χρησιμοποιηθεί γάλα που περιέχει αυτούς τους μικροοργανισμούς. Επομένως, η καλή παστερίωση, η αυστηρή και υγιεινή επεξεργασία και η συσκευασία θα μειώσουν σημαντικά την μικροβιακή αλλοίωση που προκαλείται από ζύμη και μύκητες.

2. Ψυχοτρόποι μικροοργανισμοί

Τα ψυχοτρόπα βακτήρια αποτελούν σημαντικούς αλλοιωγόνους μικροοργανισμούς του γιαουρτιού. Πρόκειται για μικροοργανισμούς που μπορούν να αναπτυχθούν ακόμη και σε θερμοκρασίες ψύξης, περίπου στους 7° C, προκαλώντας αλλοίωση των γαλακτοκομικών προϊόντων. Η ανθεκτικότητά τους οφείλεται κυρίως στην παρουσία θερμοανθεκτικών εξωκυτταρικών ενζύμων, τα οποία επιβιώνουν τόσο της παστερίωσης όσο και της επεξεργασίας άκρως υψηλής θερμοκρασίας (Ultrahigh Temperature Processing, UHT) . Στα συνηθέστερα ψυχοτρόπα βακτήρια συγκαταλέγονται είδη των γενεών *Bacillus*, *Staphylococcus* και *Pseudomonas* να συνδέονται συχνά με το νωπό γάλα. Τα είδη *Pseudomonas* παράγουν θερμοανθεκτικές πρωτεάσες και λιπάσες , μπορούν να επιβιώσουν της παστερίωσης ενώ οι συνθήκες ψύξης του γιαουρτιού ευνοούν την ανάπτυξή τους, καθιστώντας τα σημαντικό παράγοντα αλλοίωσης .

4.3 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί του Γιαουρτιού

Παρότι οι καλλιέργειες εκκίνησης του γιαουρτιού και τα προστιθέμενα προβιοτικά εμφανίζουν ανασταλτική δράση έναντι παθογόνων μικροοργανισμών, έχουν καταγραφεί περιστατικά τροφικών δηλητηριάσεων που σχετίζονται με την κατανάλωση γιαουρτιού.

Escherichia coli O157:H7

Η *Escherichia coli*, ιδιαίτερα τα παθογόνα στελέχη του όπως το *E. Coli O157*, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές γαστρεντερικές παθήσεις οι οποίες έχουν ως χαρακτηριστικό τη διάρροια, το κοιλιακό άλγος και τον έμετο. Το 1991 στην Αγγλία σημειώθηκε επιδημία που σχετίστηκε με την παρουσία βεροτοξινογόνου *Escherichia coli O157:H7* σε γιαούρτι, πιθανότατα λόγω επιμόλυνσης μετά την παστερίωση. Η επιδημία προκάλεσε 16 περιστατικά ασθένειας, εκ των οποίων τα 5 εξελίχθηκαν σε αιμολυτικό ουραιμικό

σύνδρομο, μετά από κατανάλωση αρωματισμένου γιαουρτιού τοπικής παραγωγής από παστεριωμένο πλήρες γάλα (Morgan et al., 1993).

Οι Dineen et al. (1998) αναφέρουν επιβίωση *E. Coli* O157:H7 στο γιαούρτι έως 12 ημέρες μετά τον εμβολιασμό, ενώ οι Hudson et al. (1997) έδειξαν ότι επιμόλυνση μετά την επεξεργασία μπορούσε να επιτρέψει την επιβίωση του παθογόνου ακόμη και σε ιδιαίτερα όξινα περιβάλλοντα υπό ψύξη. Οι Tirloni et al. (2015) κατέγραψαν παρουσία της *E. Coli* σε δείγματα γιαουρτιού ακόμη και μετά από παρατεταμένη αποθήκευση.

Clostridium botulinum

Σε περιστατικό τροφιμογενούς αλλαντίασης στο Ηνωμένο Βασίλειο το 1989, 27 άτομα νόσησαν και καταγράφηκε ένας θάνατος έπειτα από κατανάλωση γιαουρτιού με φουντούκι. Η αιτία αποδόθηκε σε ανεπαρκή επεξεργασία της πάστας φουντουκιού, γεγονός που δεν επέτρεψε την καταστροφή των σπόρων του *Clostridium botulinum*, οδηγώντας στην παραγωγή τοξίνης τύπου Β (O'Mahony et al., 1990). Αντίστοιχα το 2005 στην Τουρκία, δέκα άτομα εμφάνισαν αλλαντίαση από τοξίνη τύπου Α του *Clostridium botulinum* μετά από κατανάλωση παραδοσιακού συμπυκνωμένου γιαουρτιού (suzme yogurt) που είχε αποθηκευτεί θαμμένο στο έδαφος (Akdeniz et al., 2007).

Salmonella spp.

Η *Salmonella* αποτελεί σημαντικό παθογόνο για τη γαλακτοβιομηχανία. Είδη του γένους *Salmonella* είναι υπεύθυνα για τη σαλμονέλλωση, με συμπτώματα τον πυρετό, τη διάρροια και το κοιλιακό άλγος. Επιδημία που προκλήθηκε από *Salmonella typhimurium* DT170 συνδέθηκε με κατανάλωση κεμπάπ και σαλτσών με βάση το γιαούρτι. Κατά τη διερεύνηση της επιδημίας διαπιστώθηκε ότι ωμός κιμάς αρνιού ήταν θετικός στη *Salmonella*, ενώ ασφράγιστα δοχεία γιαουρτιού με ίχνη αίματος αποθηκεύτηκαν κάτω από σχάρες όπου φυλάσσονταν ωμό αρνίσιο κρέας (Evans et al., 1999).

Ο Emaniloff (1941) ανέφερε τη βιωσιμότητα της *Salmonella* στο γιαούρτι, ενώ ο Ghoniem (1971) έδειξε ότι η *Salmonella typhimurium* μπορούσε να επιβιώσει για 68 ημέρες σε κατάψυξη (-1° C), 23 ημέρες στους 4° C και για 19 ημέρες στους 30-32° C σε γιαούρτι από γάλα βουβαλιού.

Οι Alvanez-Ordonez et al., (2013) διαπίστωσαν ότι τόσο τα προσαρμοσμένα όσο και τα μη προσαρμοσμένα σε όξινο περιβάλλον κύτταρα της *Salmonella enteric serovar Typhimurium* παρουσίασαν μικρή μόνο μείωση πληθυσμού κατά την αποθήκευση στους 4, 10 και 25° C επί 43 ημέρες.

Staphylococcus aureus

Ο *Staphylococcus aureus* αποτελεί παθογόνο που ενδιαφέρει τη γαλακτοβιομηχανία καθώς παράγει ενδοτοξίνες οι οποίες προκαλούν τροφική δηλητηρίαση (Silva & Evelyn, 2023). Το 1964 σε στρατιωτικό νοσοκομείο στο Στρασβούργο της Γαλλίας σημειώθηκε επιδημία τροφικής δηλητηρίασης εξαιτίας κατανάλωσης κατανάλωσης γιαουρτιού με άρωμα βατόμουρου, το οποίο περιείχε 1×10 σταφυλόκοκκους ανά γραμμάριο προϊόντος (Mocquot και Hurel, 1970).

Listeria monocytogenes

Ένας από τους σημαντικότερους παθογόνους μικροοργανισμούς για τη γαλακτοβιομηχανία είναι η *Listeria monocytogenes*. Προκαλεί μια σοβαρή λοίμωξη, η οποία προκαλεί μηνιγγίτιδα και είναι ιδιαιτέρως επικίνδυνη στις έγκυες, στα νεογνά και στους ανοσοκατεσταλμένους. Η παρουσία του μικροοργανισμού αυτού φαίνεται να έχει παρατηρηθεί ήδη από το 1891 (Gray και Killinger, 1966), ενώ η αναλυτική περιγραφή του πραγματοποιήθηκε από τους Munray et al., το 1929. Οι επιδημικές λιστερίωσης που σχετίστηκαν με παστεριωμένο γάλα στη Μασαχουσέτη (Fleming et al., 1985) και με τυριά μεξικανικού τύπου (Linnan et al., 1988) αύξησαν σημαντικά την ευαισθητοποίηση της γαλακτοβιομηχανίας σχετικά με τη *Listeria monocytogenes* και τη λιστερίωση. Επιδημιολογικές έρευνες έδειξαν παρουσία της *L. monocytogenes* σε δείγματα γιαουρτιού στην Αιθιοπία και στη Σρι Λάνκα (Muhammed et al., 2013 Wijendra et al., 2014), ενώ άλλες μελέτες δεν κατέδειξαν παρουσία *Listeria spp.* Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι η *L. monocytogenes* μπορεί να επιβιώσει για μεγάλο χρονικό διάστημα στο γιαούρτι, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης. Οι Ikonomov και Todorov (1964), Choi et al (1988), Tirloni et al., (2015) και Szczawinski et al., (2016) ανέγεραν σημαντικούς χρόνους επιβίωσης και υψηλή ανθεκτικότητα του παθογόνου. Η οξύτητα επηρεάζει σημαντικά την επιβίωση της *L. monocytogenes*. Οι Siragusa και Johnson (1988) έδειξαν ότι σε γιαούρτι με pH 4,1 το παθογόνο μπορούσε να επιβιώσει έως και εννέα ημέρες, ενώ οι Hill et al., (1995) διαπίστωσαν αυξημένη επιβίωση όξινα προσαρμοσμένων στελεχών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή επεξεργασίας υψηλής υδροστατικής πίεσης στο παραδοσιακό τούρκικο ρόφημα γιαουρτιού ayran. Οι Evrendilek και Balasubramaniam (2011) έδειξαν ότι η μέθοδος αυτή μείωσε σημαντικά τους πληθυσμούς της *L. Monocytogenes* χωρίς ουσιαστική μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος.

Campylobacter jejuni

Οι Omara et al., (2015) ανίχνευσαν *Campylobacter jejuni* στο 4,4% των δειγμάτων γιαουρτιού στη Αίγυπτο μέσω καλλιεργητικών και βιοχημικών μεθόδων, ενώ ποσοστό 1,2% επιβεβαιώθηκε με PCR ανίχνευση του γονιδίου MapA.

Yersinia enterocolitica

Η *Yersinia enterocolitica* εντοπίστηκε σε σπιτικό γιαούρτι που σχετίστηκε με επιδημία στην Πενσυλβανία το 2011 (Centers for Disease Control and Prevention, 2011). Οι Aytac και Ozbas (1994) ανέφεραν ότι το παθογόνο μπορούσε να επιβιώσει για τουλάχιστον 26 ημέρες σε γάλα που χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή γιαουρτιού.

Bacillus cereus

Ο *Bacillus cereus* απομονώθηκε σε ένα από τα τριάντα δείγματα γιαουρτιού που εξετάστηκαν από τους San et al., (2012).

Aeromonas hydrophila

Οι Aytac και Ozbas (1994) διαπίστωσαν ότι το *Aeromonas hydrophilia* δεν επιβίωνε πέραν των πέντε ημερών μετά τον εμβολιασμό του σε γιαούρτι.

Enterobacter sakazakii

Το *Enterobacter sakazakii* αναπτύσσεται κατά τα αρχικά στάδια ζύμωσης του απλού γιαουρτιού, όμως ο πληθυσμός του μειώνεται σημαντικά κατά την ψύξη και αποθήκευση λόγω του χαμηλού pH του προϊόντος (Shaker et al., 2008).

Geotrichum spp.

Έχει αναφερθεί περιστατικό παρουσίας *Geotrichum spp.* σε γιαούρτι στο Καναδά το 1975, το οποίο αποδόθηκε σε ακατάλληλο χειρισμό τροφίμων (Todd, 1978).

Mucor circinelloides f. circinelloides

Ο τροφιμογενής μυκητιακός παθογόνος οργανισμός *Mucor circinelloides f. Citcinelloides* προκάλεσε περισσότερα από 200 περιστατικά ναυτίας, εμετού και διάρροιας μετά από κατανάλωση ελληνικού γιαουρτιού στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2013 (Lee et al., 2014).

Corynebacterium diphtheriae

Ένας από τους παράγοντες κινδύνου που συνδέθηκαν με επιδημία διφθερίτιδας στην Αραβική Δημοκρατία της Υεμένης μεταξύ 1981 και 1982 ήταν η κατανάλωση βιομηχανικά παραγόμενου γιαουρτιού (Jones et al., 1985).

Mycobacterium spp.

Η χρήση μη παστεριωμένου γάλακτος σε περιοχές όπου παρασκευάζεται γιαούρτι αποτελεί παράγοντα κινδύνου για μετάδοση φυματίωσης. Ο DeGrolier (1939) απομόνωσε λοιμογόνα μυκοβακτηρίδια βοοειδούς φυματίωσης από ένα στα οχτώ δείγματα γιαουρτιού που εξετάστηκαν. Οι VanBrandtetal (2011) ανέφεραν ότι το *Mycobacterium avium subsp paratuberculosis* το οποίο πιθανολογείται ότι σχετίζεται με τη νόσο του Crohn, μπορούσε αν επιβιώσει στο γιαούρτι για έξι εβδομάδες. Επιπλέον, οι Nast et al., (2014) έδειξαν ότι το *Mycobacterium bovis* επιβίωσε στο γιαούρτι έως και επτά ημέρες μετά τον εμβολιασμό του προϊόντος.

Οι σωστές συνθήκες παστερίωσης διασφαλίζουν την αδρανοποίηση των επιβλαβών αυτών μικροοργανισμών, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο επιμόλυνσης του τελικού προϊόντος προκειμένου να διασφαλιστεί η υγεία του καταναλωτή (Chinthalal. K. (2016). Στον πίνακα 2 οι σημαντικότεροι αλλοιογόνοι και παθογόνοι μικροοργανισμοί που δύναται να ανευρεθούν στο γιαούρτι, η προέλευσή τους και οι στρατηγικές αποφυγής ή περιορισμού των επιμολύνσεων αυτών.

Πίνακας 2 : Πηγές μόλυνσης του γιαουρτιού, τα μικρόβια που εμπλέκονται και οι στρατηγικές επεξεργασίας

Πηγή μόλυνσης στο γιαούρτι	Μικρόβια	Μέτρα αποφυγής επιμολύνσεων
Νωπό γάλα	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella monocytogenes</i> <i>Staphylococcus aureus</i>	Παστερίωση και χρήση νωπού γάλακτος υψηλής μικροβιακής ποιότητας
Παραγωγή Περιβάλλον	Ψευδομονάς Βάκυλλος Εντεροβακτήριο spp.	Αυστηρές πρακτικές υγιεινής για πρόληψη σχηματισμού βιοφίλμ στις επιφάνειες του εξοπλισμού (2020). Χρήση απολυμαντικών και περιοδική αποσυναρμολόγηση εξοπλισμού για βαθύ καθαρισμό.
Συστατικά Πρόσθετα	<i>Candida spp.</i> <i>Penicillium</i> <i>Aspargillus spp.</i>	Ορθός χειρισμός και κατάλληλη αποθήκευση για την πρόληψη διασταυρούμενων. Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία) κατά την αποθήκευση.
Συσκευασία Υλικά	Διάφορα βακτήρια και μύκητες	Αποστείρωση των υλικών συσκευασίας πριν τη χρήση. Ορθός χειρισμός και αποθήκευση για την αποφυγή επιμολύνσης μετά την αποστείρωση. Τακτικός έλεγχος της ακεραιότητας της συσκευασίας.

4.4 Μικροβιολογικά κριτήρια και συνήθειες έλεγχοι στο γιαούρτι

Στο ισχύον ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο, ο Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 2073/2005 σεβ προβλέπει ειδικό μικροβιολογικό κριτήριο αποκλειστικά για το γιαούρτι ως ξεχωριστή κατηγορία προϊόντος. Το γιαούρτι, ως τρόφιμο έτοιμο προς κατανάλωση υπάγεται στις γενικές απαιτήσεις ασφάλειας τροφίμων και στα σχετικά μικροβιολογικά κριτήρια που εφαρμόζονται στα τρόφιμα έτοιμα προς κατανάλωση. Παράλληλα, η επιχείρηση τροφίμων οφείλει να εφαρμόζει τις αρχές της ορθής υγιεινής πρακτικής και του HACCP διασφαλίζοντας τη μικροβιολογική ασφάλεια του προϊόντος σε όλα τα στάδια παραγωγής και διάθεσης (European Commission, 2024).

Πέραν των κριτηρίων ασφάλειας, ιδιαίτερη σημασία έχει και η τεχνολογική και βιολογική ταυτότητα του γιαουρτιού ως ζυμούμενου γαλακτοκομικού προϊόντος, σύμφωνα με το πρότυπο Codex Alimentarius για τα ζυμούμενα γάλατα, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (Codex Alimentarius Commission, 2003).

Στην πράξη ο μικροβιακός έλεγχος του γιαουρτιού περιλαμβάνει τόσο παραμέτρους ασφάλειας όσο και δείκτες υγιεινής ή αλλοίωσης. Μεταξύ των σημαντικότερων μικροοργανισμών που ελέγχονται περιλαμβάνονται παθογόνα όπως η *Listeria monocytogenes* και η *Salmonella spp.*, ενώ συχνά αξιολογούνται επίσης δείκτες υγιεινής, όπως τα κολοβακτηριοειδή ή η *Escherichia coli* καθώς και αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί, όπως ζύμες και μύκητες. Παράλληλα, ελέγχεται η παρουσία και η επάρκεια των χαρακτηριστικών καλλιιεργειών εκκίνησης, καθώς και τεχνολογικές παράμετροι όπως το pH και η οξύτητα, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τη σταθερότητα και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Η συνολική αξιολόγηση των παραμέτρων αυτών είναι ουσιώδης τόσο για τη συμμόρφωση στις απαιτήσεις ασφάλειας όσο και τη διατήρηση της ποιότητας και της ταυτότητας του τελικού προϊόντος (European Commission, 2024, Codex Alimentarius, 2003).

4.5 Επιπτώσεις της παρουσίας μικροοργανισμών στο γιαούρτι

Η παρουσία ανεπιθύμητων μικροοργανισμών στο γιαούρτι αποτελεί προτίστος κρίσιμο ζήτημα ασφάλειας τροφίμων, καθώς μπορεί να συνδεθεί με την επιβίωση ή την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και κατ' επέκταση, με την πρόκληση τροφιμογενών λοιμώξεων ή τοξικόσεων. Παράλληλα, η σχετική βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι η μικροβιακή επιμόλυνση δεν περιορίζεται μόνο στη διάσταση της δημόσιας υγείας, αλλά επηρεάζει συνολικά την ποιότητα, τη σταθερότητα, τη λειτουργική αξία και την εμπορική αποδοχή του προϊόντος. Η σημασία των επιδράσεων αυτών είναι ιδιαίτερα αυξημένη στην

περίπτωση του γιαουρτιού, καθώς πρόκειται για ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν, του οποίου η τεχνολογική ταυτότητα και η διάρκεια ζωής εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη διατήρηση μιας επιθυμητής και ελεγχόμενης μικροβιακής ισορροπίας.

Επιπτώσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος

Η παρουσία ανεπιθύμητων μικροοργανισμών στο γιαούρτι μπορεί να οδηγήσει σε ουσιώδη υποβάθμιση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Ειδικότερα, οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί, αλλά και ορισμένοι παθογόνοι πληθυσμοί, είναι δυνατόν να μεταβάλουν τη γεύση, την οσμή και την εμφάνιση του γιαουρτιού, προκαλώντας δυσάρεστες γευστικές αποκλίσεις, ανάπτυξη μη επιθυμητών οσμών, διαχώριση ορού, παραγωγή αερίων, μεταβολές στην συνεκτικότητα και γενικότερη απώλεια της αποδοχής του προϊόντος από τον καταναλωτή. Παράλληλα, η μικροβιακή επιμόλυνση μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη συνολική τεχνολογική ποιότητα του προϊόντος, καθιστώντας το λιγότερο ελκυστικό ή ακόμη και μη αποδεκτό προς τον καταναλωτή.

Επιπτώσεις στη θρεπτική και λειτουργική αξία

Η ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών είναι δυνατόν να διαταράξει τη μικροβιακή ισορροπία του γιαουρτιού και να επηρεάσει αρνητικά τη βιωσιμότητα των επιθυμητών καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένων των προβιοτικών μικροοργανισμών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί η λειτουργική αξία του προϊόντος, ιδίως όταν αυτή συνδέεται με την παρουσία ζώντων και μεταβολικά ενεργών καλλιεργειών. Παράλληλα, δεν μπορεί να αποκλειστεί η πρόκληση μεταβολών σε επιμέρους θρεπτικά συστατικά, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάσει δυσμενώς τη συνολική θρεπτική αξία και ποιότητα του προϊόντος.

Επιπτώσεις στη διάρκεια ζωής του προϊόντος

Η παρουσία αλλοιογόνων ή παθογόνων μικροοργανισμών είναι δυνατόν να μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του γιαουρτιού. Τα εμπλουτισμένα προϊόντα παρουσιάζουν ταχύτερη αλλοίωση, με αποτέλεσμα την πρόωρη απώλεια των ποιοτικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους και, κατά συνέπεια, τη μείωση της εμπορικής διάρκειας ζωής τους. Επομένως, η μικροβιακή επιμόλυνση επηρεάζει όχι μόνο την ασφάλεια αλλά και τη σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση, τη μεταφορά και τη διάθεσή του στην αγορά.

Οικονομικές επιπτώσεις

Η μικροβιακή επιμόλυνση του γιαουρτιού μπορεί να επιφέρει σημαντικές οικονομικές συνέπειες για τη γαλακτοβιομηχανία και τις επιχειρήσεις τροφίμων. Οι συνέπειες αυτές περιλαμβάνουν την απόρριψη παρτίδων, την ανάκληση προϊόντων από την αγορά, την

απώλεια εμπιστοσύνης των καταναλωτών και πιθανές νομικές ή κανονιστικές επιπτώσεις για την επιχείρηση. Παράλληλα, οι παραγωγοί ενδέχεται να επιβαρύνονται με αυξημένα κόστη που σχετίζονται με την ενίσχυση των μέτρων υγιεινής, τη βελτίωση των διαδικασιών ποιοτικού ελέγχου, την εντατικοποίηση της μικροβιολογικής παρακολούθησης και, όπου απαιτείται, την αποζημίωση των επηρεαζόμενων καταναλωτών ή συνεργατών.

Επιπτώσεις στην υγεία του καταναλωτή

Η πλέον κρίσιμη διάσταση της παρουσίας ανεπιθύμητων μικροοργανισμών στο γιαούρτι αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία του καταναλωτή. Η κατανάλωση μικροβιολογικά επιμολυσμένου προϊόντος μπορεί να ενέχει σοβαρούς κινδύνους, ιδίως για ευάλωτες ομάδες πληθυσμού, όπως τα βρέφη και τα μικρά παιδιά, οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες γυναίκες και τα ανοσοκατεσταλμένα άτομα. Οι τροφιμογενείς λοιμώξεις ή τοξινώσεις που σχετίζονται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο γιαούρτι μπορεί να εκδηλωθούν με ήπια γαστρεντερικά συμπτώματα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε σοβαρές επιπλοκές ή ακόμη και στον θάνατο. Κατά συνέπεια, η μικροβιακή ασφάλεια του γιαουρτιού συνιστά θεμελιώδη προϋπόθεση όχι μόνο για τη διασφάλιση της ποιότητας του προϊόντος, αλλά και για την προστασία της δημόσιας υγείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Μελλοντικές τάσεις στην πρόληψη των επιμολύνσεων του Γιαουρτιού

Η πρόληψη των επιμολύνσεων στο γιαούρτι στηριζόταν παραδοσιακά στην ορθή υγιεινή πρακτική, στην αποτελεσματική παστερίωση των πρώτων υλών, στον έλεγχο των κρίσιμων σημείων της παραγωγικής διαδικασίας και στη συμμόρφωση με τα συστήματα GMP, GHP και HACCP. Ωστόσο, η σύγχρονη βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η μικροβιολογική ασφάλεια του γιαουρτιού επιτυγχάνεται με τη σταδιακή μετάβαση από ένα κατά βάση στατικό σύστημα περιοδικού ελέγχου προς ένα περισσότερο δυναμικό, πολυπαραγοντικό και τεχνολογικά ενισχυμένο σύστημα πρόληψη, το οποίο ενσωματώνει προηγμένες μεθόδους ανίχνευσης, συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και βιοπροστατευτικές παρεμβάσεις. Η πρόσφατη βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι οι μελλοντικές τάσεις στην πρόληψη των επιμολύνσεων του γιαουρτιού διαμορφώνονται κυρίως γύρω από πέντε αλληλένδετους άξονες (Aslami et al., 2024, Chowdhury et al., 2024, Wang et al., 2025).

5.1 Χρήση νωπού γάλακτος υψηλής μικροβιολογικής ποιότητας

Ο πρώτος άξονας περιλαμβάνει τη διασφάλιση μιας θεμελιώδους προϋπόθεσης πρόληψης των επιμολύνσεων στο γιαούρτι, αυτή της χρήσης νωπού γάλακτος υψηλής μικροβιολογικής ποιότητας ,με όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα επιμόλυνσης, σε συνδυασμό με τη συντήρησή του στις κατάλληλες χαμηλές θερμοκρασίες έως την επεξεργασία του. Η σημασία του παράγοντα αυτού έχει επισημανθεί στη σχετική βιβλιογραφία, καθώς η ποιότητα της πρώτης ύλης επηρεάζει καθοριστικά τόσο την ασφάλεια όσο και την σταθερότητα του τελικού προϊόντος. Ειδικότερα, η χρήση γάλακτος με χαμηλό μικροβιακό φορτίο σε συνδυασμό με τη συντήρησή του υπό ψύξη επιβραδύνει τον πολλαπλασιασμό της επιμόλυνσης μικροχλωρίδας πριν από την παστερίωση. Παράλληλα, η καλή μικροβιακή ποιότητα του νωπού γάλακτος συμβάλει στην αποτελεσματικότερη δράση των καλλιεργειών εκκίνησης και στη διατήρηση της επιθυμητής τεχνολογικής και μικροβιακής ισορροπίας κατά την παραγωγή του γιαουρτιού. Υπό αυτή την έννοια, η πρόληψη των επιμολύνσεων δεν αρχίζει μόνο στο στάδιο της μεταποίησης, αλλά ήδη από την επιλογή, τον χειρισμό και τη συντήρηση της πρώτης ύλης (Argyana and Olson, 2017;Farmani et al., 2017).

5.2 Ενίσχυση των συστημάτων πρόληψης μέσω αυστηρότερης και πιο στοχευμένης εφαρμογής των GMP, GHP και HACCP

Ο δεύτερος άξονας αφορά την ενίσχυση των ήδη καθιερωμένων συστημάτων πρόληψης μέσω αυστηρότερης και περισσότερο στοχευμένης εφαρμογής των κανόνων GMP, GHP και HACCP. Η σχετική βιβλιογραφία δείχνει ότι παρά τη διαχρονική τους σημασία, τα συστήματα αυτά τείνουν πλέον να εφαρμόζονται με μεγαλύτερη εξειδίκευση στα σημεία της παραγωγικής αλυσίδας που παρουσιάζουν αυξημένη τρωτότητα, όπως η παραλαβή του γάλακτος, η παστερίωση, η μεταξυμωτική διαχείριση, η πλήρωση και η συσκευασία. Η μελλοντική κατεύθυνση δεν αφορά απλώς τη συμμόρφωση με τυπικά υγειονομικά πρωτόκολλα, αλλά την προσαρμοστική και τεκμηριωμένη εφαρμογή τους βάσει μικροβιολογικών δεδομένων, ιστορικών αποκλίσεων και ανάλυσης πραγματικού κινδύνου, ώστε τα προληπτικά μέτρα να αποκτούν περισσότερο επιχειρησιακό και λιγότερο μόνο κανονιστικό χαρακτήρα (Aslani et al., 2024).

5.3 Ενσωμάτωση ταχέων και υψηλής ευαισθησίας μεθόδων ανίχνευσης

Ο τρίτος άξονας σχετίζεται με τη μετάβαση από τον αποκλειστικά συμβατικό μικροβιολογικό έλεγχο σε ολοκληρωμένα συστήματα επιτήρησης που συνδυάζουν καλλιεργητικές τεχνικές με ταχείες και υψηλής ευαισθησίας μεθόδους ανίχνευσης, οι οποίες αναμένεται να αποτελέσουν καθοριστικό στοιχείο των μελλοντικών συστημάτων διαχείρισης της ασφάλειας και ποιότητας του γιαουρτιού.

Αν και οι παραδοσιακές τεχνικές μικροβιακής καλλιέργειας εξακολουθούν να είναι απαραίτητες για την απομόνωση, καταμέτρηση και φαινοτυπική επιβεβαίωση των μικροοργανισμών, η σύγχρονη τάση στρέφεται προς την ευρύτερη ενσωμάτωση μοριακών και αναλυτικών τεχνολογιών, οι οποίες επιτρέπουν ταχύτερη, ακριβέστερη και συχνά πιο ολοκληρωμένη αποτύπωση του μικροβιακού φορτίου, της μικροβιακής ποικιλομορφίας του προϊόντος με στόχο την έγκαιρη προειδοποίηση και υποστήριξη προληπτικών παρεμβάσεων, συμβάλλοντας σε ένα πιο δυναμικό, ευέλικτο και τεκμηριωμένο σύστημα διαχείρισης του μικροβιολογικού κινδύνου (Chowdhury et al., 2025; Davidesca et al., 2025; Ziyaina and Salter, 2020).

Στο πλαίσιο αυτό, τεχνικές όπως η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (PCR) και η ποσοτική PCR πραγματικού χρόνου (qPCR) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την ταχεία ευαίσθητη ανίχνευση παθογόνων ή αλλοιογόνων μικροοργανισμών σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Παράλληλα, η αλληλούχιση επόμενης γενιάς (NGS) και η

μεταγονιδιωματική επιτρέπουν την ευρύτερη διερεύνηση της μικροβιακής κοινότητας του γιαουρτιού, συμπεριλαμβανομένων και μη καλλιεργήσιμων μικροοργανισμών, παρέχοντας λεπτομερέστερη εικόνα όχι μόνο για τη σύνθεση αλλά και για τις ενδεχόμενες λειτουργικές δυνατότητες της μικροχλωρίδας. Με τον τρόπο αυτό, η ανίχνευση δεν περιορίζεται πλέον στην επιβεβαίωση παρουσίας συγκεκριμένων μικροοργανισμών-στόχων, αλλά μπορεί να επεκταθεί και στην κατανόηση της συνολικής μικροβιακής δυναμικής του προϊόντος (Chowdhury et al., 2025; Adenaike et al., 2024).

Επιπλέον, προηγμένες τεχνικές όπως υβριδισμός φθορισμού in situ (Fluorescence In Situ Hybridization FISH), η Φασματοσκοπία Raman με επιφανειακή ενίσχυση (Surface Enhanced Raman Spectroscopy – SERS), οι βιοαισθητήρες και οι τεχνολογίες lab-on-a-chip διευρύνουν περαιτέρω τις δυνατότητες ταχείας ανίχνευσης και παρακολούθησης. Οι προσεγγίσεις αυτές προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την ταχύτητα, την ευαισθησία, τον μειωμένο όγκο δείγματος και, σε ορισμένες περιπτώσεις, τη δυνατότητα αυτοματοποίησης ή ανάλυσης σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Για προϊόντα όπως το γιαούρτι, όπου η έγκαιρη ανίχνευση μιας επιμόλυνσης μπορεί να αποτρέψει την είσοδο ακατάλληλων παρτίδων στην εφοδιαστική αλυσίδα, οι τεχνολογίες αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία (Bhowmik et al., 2025; Yang et al., 2021).

Οι σημαντικότερες των προαναφερθεισών τεχνικών για την ανίχνευση και ανάλυση μικροβιακών κινδύνων στο γιαούρτι παρουσιάζονται συνοπτικά ως εξής :

Παραδοσιακές τεχνικές μικροβιακής καλλιέργειας

Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την απομόνωση και καταμέτρηση μικροοργανισμών από δείγματα γιαουρτιού με τη χρήση εκλεκτικών θρεπτικών υποστρωμάτων. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει μεθόδους όπως την ενσωμάτωση του υπό εξέταση δείγματος σε θρεπτικό υπόστρωμα, (pour plate), την επιφανειακή επίστρωση (spread plate) και τη διήθηση με φίλτρο μεμβράνης. Το δείγμα γιαουρτιού αραιώνεται κατάλληλα και επωάζεται σε θρεπτικά μέσα που περιέχουν συστατικά για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών-στόχων. Μετά την επώαση, οι αναπτυσσόμενες αποικίες αναγνωρίζονται βάσει μορφολογικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών και στη συνέχεια καταμετρώνται.

Αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης (Polimerase Chain Reaction-PCR)

Η PCR αποτελεί μοριακή τεχνική κατά την οποία η ταυτοποίηση μικροοργανισμών στο γιαούρτι βασίζεται στην ποιοτική ανίχνευση συγκεκριμένων αλληλουχιών DNA που είναι μοναδικές για το μικρόβιο-στόχο. Μετά την απομόνωση του γενετικού υλικού από το

γιαούρτι, πραγματοποιείται η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης όπου, αν ο μικροοργανισμός είναι παρών, οι ειδικοί εκκινητές προσδένονται στο DNA του και αυτό πολλαπλασιάζεται εκθετικά. Το τελικό αποτέλεσμα αξιολογείται ως θετικό αν ανιχνευθεί το παραγόμενο DNA του (μέσω σήματος φθορισμού σε Real-Time PCR ή εμφάνισης συγκεκριμένης ζώνης σε ηλεκτροφόρηση), επιβεβαιώνοντας την παρουσία του μικροβίου, ενώ ορίζεται ως αρνητικό αν δεν υπάρξει πολλαπλασιασμός, αποδεικνύοντας την απουσία του. Η PCR πραγματικού χρόνου (qPCR) επιτρέπει την ποσοτικοποίηση του γενετικού υλικού και, κατ' επέκταση, του επιπέδου μικροβιακής επιμόλυνσης. Πρόκειται για ιδιαίτερα ευαίσθητη τεχνική, ικανή να ανιχνεύει ακόμη και πολύ χαμηλά επίπεδα παθογόνων μικροοργανισμών σε σύνθετα τρόφιμα όπως το γιαούρτι.

Αλληλούχιση επόμενης γενιάς (Next Generation Sequencing – NGS)

Η NGS αποτελεί τεχνολογία υψηλής απόδοσης για τον προσδιορισμό μιας ολοκληρωμένης μικροβιακής κοινότητας στο γιαούρτι. Η τεχνική βασίζεται στην αλληλούχιση του συνόλου του γενετικού υλικού ενός δείγματος με στόχο τη δημιουργία λεπτομερούς προφίλ της μικροβιακής ποικιλομορφίας. Τεχνικές όπως η αλληλούχιση γονιδίων 16S rRNA για βακτήρια και η αλληλούχιση της περιοχής ITS (Internal Transcribed Spacer) για μύκητες χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση και ταξινόμηση των μικροοργανισμών που περιέχονται στο δείγμα. Επίσης, η NGS μπορεί να αποκαλύψει τόσο καλλιεργήσιμους όσο και μη καλλιεργήσιμους μικροοργανισμούς, παρέχοντας ολοκληρωμένη εικόνα των μικροβιακών πληθυσμών και πιθανών μολυσματικών παραγόντων.

Μεταγονιδιωματική

Η μεταγονιδιωματική αφορά τη μελέτη του γενετικού υλικού που ανακτάται απευθείας από δείγμα γιαουρτιού. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μικροβιολογικές τεχνικές, δεν απαιτείται καλλιέργεια μικροοργανισμών. Η μέθοδος περιλαμβάνει εξαγωγή του συνόλου του DNA του δείγματος, αλληλούχιση του και βιοπληροφορική ανάλυση για την ταυτοποίηση μικροβιακών ειδών και λειτουργικών γονιδίων. Η προσέγγιση αυτή παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις λειτουργικές δυνατότητες της μικροβιακής κοινότητας, όπως η παρουσία γονιδίων αντοχής ή μεταβολικών οδών (De, S. 2019).

Φθορίζων In Situ υβριδισμός (Fluorescence In Situ Hybridization- FISH)

Η τεχνική FISH χρησιμοποιείται για την ανίχνευση συγκεκριμένων αλληλουχιών νουκλεϊκών οξέων εντός μικροοργανισμών σε δείγματα γιαουρτιού. Φθορίζουσες ολιγονουκλεοτιδικοί ανιχνευτές έχουν σχεδιαστεί ώστε να συνδέονται με αλληλουχίες DNA ή RNA και εφαρμόζονται στα δείγματα. Οι συνδεδεμένοι ανιχνευτές παρατηρούνται

μέσω μικροσκοπίας φθορισμού. Η τεχνική αυτή επιτρέπεται την άμεση παρατήρηση και ταυτοποίηση συγκεκριμένων μικροοργανισμών, παρέχοντας ταυτόχρονα χωρικές και ποσοτικές πληροφορίες.

Φασματοσκοπία Επιφανειακής Ενίσχυσης Σχεδίασης Reman (Surface Enhanced Reman Spectroscopy-SERS)

Η τεχνική SERS ενισχύει τα σήματα σκέδασης Reman μέσω της χρήσης νανοδομημένων μεταλλικών επιφανειών ή νανοσωματιδίων, αυξάνοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ φωτός και μορίων στο δείγμα γιαουρτιού. Τα δείγματα εφαρμόζονται σε υπόστρωμα επικαλυμμένο με μεταλλικά νανοσωματίδια, τα οποία ενισχύουν το σήμα Reman των μορίων. Η τεχνική παρέχει ένα χαρακτηριστικό μοριακό αποτύπωμα των μικροοργανισμών, επιτρέποντας την ταυτοποίηση τους βάσει ειδικών φασματικών προτύπων.

Βιοαισθητήρες

Οι βιοαισθητήρες αποτελούν αναλυτικές διατάξεις που χρησιμοποιούν βιολογικά στοιχεία αναγνώρισης, όπως αντισώματα, ένζυμα ή νουκλεϊκά οξέα, για την ανίχνευση συγκεκριμένων μικροοργανισμών στο γιαούρτι. Το βιολογικό στοιχείο συνδέεται με έναν μετατροπέα, ο οποίος μετατρέπει το συμβάν σύνδεσης σε μετρήσιμο σήμα, όπως ηλεκτρικό, οπτικό ή ηλεκτροχημικό. Στους τύπους βιοαισθητήρων περιλαμβάνουν οι ανοσοενζυμικές δοκιμασίες (ELISA), επιφανειακός συντονισμός πλάσμονίων (Surface Plasmon Resonance-SPR) και οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες. Οι βιοαισθητήρες προσφέρουν ταχεία και υψηλής ευαίσθητης ανίχνευση μικροβιακών ρύπων του γιαουρτιού (Franco-Duarte, R., Cernacova, I., Kadam, K. S. Salehi, B., 2019).

Τεχνολογίες Lab-on-a-Chip

Οι τεχνολογίες Lab-on-a-Chip ενσωματώνουν πολλαπλές αναλυτικές δοκιμασίες σε ένα και μόνο μικροτσίπ, επιτρέποντας τη μικρογραφία και αυτοματοποίηση της ανίχνευσης μικροοργανισμών στο γιαούρτι. Οι πλατφόρμες αυτές συνδυάζουν την προετοιμασία του δείγματος, τις αντιδράσεις ανάλυσης και την ανίχνευση σε ένα ενιαίο σύστημα. Βασίζονται σε μικρορευστομηχανικές διατάξεις για τον χειρισμό πολύ μικρών όγκων δειγμάτων και μπορούν να συνδυαστούν με μεθόδους ανίχνευσης όπως ο φθορισμός, οι ηλεκτροχημικές και οι οπτικές δοκιμές. Οι τεχνολογίες αυτές διευκολύνουν ανάλυση την υψηλής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας παράλληλα τον όγκο δείγματος και το χρόνο επεξεργασίας.

5.4 Υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών συσκευασίας, ιχνηλασιμότητας και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο

Ο τέταρτος άξονας αφορά την ανάπτυξη και υιοθέτηση έξυπνων τεχνολογιών συσκευασίας και συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Η σύγχρονη βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι η έξυπνη συσκευασία μετασχηματίζει σταδιακά το πλαίσιο της ασφάλειας και της ποιότητας των τροφίμων, καθώς επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων, τη βελτίωση της ιχνηλασιμότητας και την έγκαιρη ανίχνευση ενδείξεων αλλοίωσης ή απόκλισης από τις βέλτιστες συνθήκες συντήρησης (Palanisary et al., 2024; Davidescu et al., 2025). Τεχνολογίες όπως οι αισθητήρες για τον έλεγχο της φρεσκότητας, οι βιοαισθητήρες, οι έξυπνες ετικέτες, τα συστήματα RFID (Radio Frequency Identification) και οι Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT), μπορούν να προσφέρουν συνεχή αποπεία παραμέτρων όπως η θερμοκρασία συντήρησης, η ακεραιότητα της συσκευασίας και δείκτες ποιοτικής ή μικροβιολογικής υποβάθμισης. Η βιβλιογραφία τονίζει ότι οι βιοαισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν στη συσκευασία για την ανίχνευση πρώιμων σημείων αλλοίωσης ή φρεσκότητας, ενώ όταν συνδυάζονται τα συστήματα IoT, διευκολύνουν τη συνεχή ροή δεδομένων και τη λήψη ταχύτερων αποφάσεων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού (Sodhen et al., 2025; Nath et al., 2024).

Για το γιαούρτι, το οποίο εξαρτάται σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό από τη σταθερότητα της ψυκτικής αλυσίδας και από τη διατήρηση της μικροβιακής και φυσικοχημικής του ισορροπίας, οι τεχνολογίες αυτές αποκτούν ιδιαίτερη σημασία. Η έγκαιρη ανίχνευση αποκλίσεων στη θερμοκρασία, στη στεγανότητα της συσκευασίας ή σε δείκτες ποιοτικής υποβάθμισης μπορεί να επιτρέψει προληπτικές παρεμβάσεις πριν το προϊόν καταστεί ακατάλληλο ή μη ασφαλές. Παράλληλα, η χρήση έξυπνων συστημάτων ιχνηλασιμότητας ενισχύει τη δυνατότητα παρακολούθησης του προϊόντος σε όλα τα στάδια διακίνησης, συμβάλλοντας τόσο στην ταχύτερη αναγνώριση προβλημάτων όσο και στη βελτίωση της διαχείρισης κινδύνου (Segar et al., 2025).

Επιπλέον, η έξυπνη συσκευασία δεν συνδέεται μόνο με την ενίσχυση της ασφάλειας, αλλά και με τη μείωση της σπατάλης τροφίμων, καθώς επιτρέπει ακριβέστερη εκτίμηση της πραγματικής κατάστασης του προϊόντος και όχι μόνο του θεωρητικού χρόνου ζωής του. Υπό αυτή την έννοια, οι τεχνολογίες παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο αναμένεται να αποτελέσουν βασικό στοιχείο των μελλοντικών στρατηγικών πρόληψης επιμολύνσεων

στο γιαούρτι, σε συνδυασμό με τις ταχείες αναλυτικές μεθόδους και τα βιοπροστατευτικά συστήματα (Palamisamy et al., 2024; Danidescu et al., 2025).

5.5 Ανάπτυξη βιοπροστατευτικών και βιώσιμων παρεμβάσεων με έμφαση στην βιοπροστασία του γιαουρτιού

Ο πέμπτος άξονας, και κατά τη σύγχρονη βιβλιογραφία ένας από τους πλέον υποσχόμενους για το μέλλον, αφορά την ανάπτυξη βιοπροστατευτικών και γενικότερα βιώσιμων παρεμβάσεων πρόληψης, με έμφαση στη βιοπροστασία (*bioprotection*). Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη χρήση βιολογικών παραγόντων ή/και και των αντιμικροβιακών προϊόντων τους για την αναστολή ανάπτυξης παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών, χωρίς να απαιτείται αποκλειστική προσφυγή σε σύνθετα συντηρητικά ή σε πιο επιθετικές τεχνολογικές παρεμβάσεις. Για το γιαούρτι, η βιοπροστασία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, επειδή είναι συμβατή με τη φύση του ως ζυμούμενο γαλακτοκομικό προϊόν και μπορεί να ενσωματωθεί λειτουργικά στη μικροβιακή του οικολογία (Shi and Knochel, 2022; Rahman et al., 2025).

1. Βιοπροστασία μέσω επιλεγμένων μικροοργανισμών και αντιμικροβιακών μεταβολιτών

Η σημαντικότερη και περισσότερο ώριμη τεχνολογικά μορφή βιοπροστασίας βασίζεται στη χρήση επιλεγμένων μικροοργανισμών, κυρίως βακτηρίων γαλακτικού οξέος, ή/και των αντιμικροβιακών μεταβολιτών που αυτά παράγουν. Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν ως προστατευτικές καλλιέργειες περιορίζοντας την ανάπτυξη ανεπιθύμητης μικροχλωρίδας μέσω παραγωγής οργανικών οξέων, βακτηριοσινών, αντιμυκητιακών ενώσεων και άλλων βιοενεργών μεταβολιτών. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλη για το γιαούρτι, επειδή οι προστατευτικές καλλιέργειες μπορούν να δράσουν *in situ* μέσα στη μήτρα του προϊόντος, ενισχύοντας την μικροβιολογική του σταθερότητα χωρίς να μεταβάλλουν ριζικά τη «φυσιογνωμία» του προϊόντος (Pujato et al., 2024; Putri et al., 2024; Rahman et al., 2025).

Ειδικότερα, οι προστατευτικές καλλιέργειες εμφανίζουν ιδιαίτερη δυναμική ως προς τον έλεγχο ζυμών, μυκήτων και αλλοιογόνων βακτηρίων, τα οποία σχετίζονται με τη μείωση της διάρκειας ζωής και την ποιοτική υποβάθμιση του γιαουρτιού. Παράλληλα, η χρήση τους είναι συμβατή με τη σύγχρονη τάση για προϊόντα «clean label», καθώς προσφέρει τη

δυνατότητα ενίσχυσης της σταθερότητας και της ασφάλειας με πιο φυσικό τρόπο σε σχέση με τα συνθετικά συντηρητικά.

2. Βιοπροστασία μέσω βακτηριοσινών και φυσικών αντιμικροβιακών ουσιών

Μια επιμέρους αλλά ιδιαίτερα σημαντική κατεύθυνση της βιοπροστασία αφορά τη χρήση βακτηριοσινών και άλλων φυσικών αντιμικροβιακών μεταβολιτών που παράγονται από βακτήρια γαλακτικού οξέως. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να αναστείλουν στοχευμένα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων μικροοργανισμών, διατηρώντας παράλληλα τη λειτουργική και τεχνολογική φυσιογνωμία του προϊόντος. Η πρόσφατη βιβλιογραφία δίνει ιδιαίτερη έμφαση στις βιακτηριοσύνες ως πολλά υποσχόμενα εργαλεία βιοσυντήρησης στα γαλακτοκομικά προϊόντα, επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μέσω των ίδιων των παραγωγών καλλιεργειών είτε μέσω πιο στοχευμένων εφαρμογών φυσικών αντιμικροβιακών συστημάτων (Pujiato et al., 2024; Chen et al., 2025).

Για το γιαούρτι, η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα ελκυστική, επειδή επιτρέπει τον έλεγχο της αλλοίωσης και την ενίσχυση της ασφάλειας χωρίς να επηρεάζεται αναγκαστικά η βιωσιμότητα των επιθυμητών καλλιεργειών ζύμωσης. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από τη φύση της μικροβιακής απειλής, τις φυσικοχημικές ιδιότητες του προϊόντος και τη συμβατότητα των αντιμικροβιακών ουσιών με τη σύνθεση και την τεχνολογία του γιαουρτιού.

3. Εφαρμογές εμπορικών βιοπροστατευτικών καλλιεργειών στο γιαούρτι

Η βιβλιογραφία των τελευταίων ετών δείχνει ότι η χρήση εμπορικών βιοπροστατευτικών γαλακτικών καλλιεργειών στο γιαούρτι αποτελεί πλέον όχι μόνο θεωρητική αλλά και πρακτικά εφαρμόσιμη στρατηγική. Πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι τέτοιες καλλιέργειες μπορούν να επηρεάσουν τη μικροβιολογική σταθερότητα του προϊόντος κατά την αποθήκευση, συμβάλλοντας στον περιορισμό της αλλοίωσης και στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής. Παράλληλα έχει καταδειχθεί ότι η εφαρμογή τους μπορεί να επηρεάσει φυσικοχημικές ιδιότητες, όπως το pH, την τιτλοδοτούμενη οξύτητα, τη συνέρεση και ορισμένα χαρακτηριστικά υφής, γεγονός που υποδηλώνει ότι η βιοπροστασία πρέπει να ενσωματώνεται με ισορροπημένο τεχνολογικό σχεδιασμό, ώστε διασφαλίζεται η σταθερότητα χωρίς να υποβαθμίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του προϊόντος (Melo et al., 2024).

4. Χρήση βακτηριοφάγων ως αναδυόμενη στρατηγική βιοπροστασίας

Σε πιο καινοτόμο επίπεδο, οι βακτηριοφάγοι αναδύονται ως συμπληρωματική βιοπροστατευτική στρατηγική για τον έλεγχο συγκεκριμένων παθογόνων ή αλλοιογόνων βακτηρίων. Αν η εφαρμογή τους στο γιαούρτι παραμένει ακόμη περισσότερο σε ερευνητικό στάδιο συγκριτικά με τις προστατευτικές καλλιέργειες και τις βακτηριοσίνες, οι πρόσφατες ανασκοπήσεις υποδηλώνουν ότι μπορούν να αποτελέσουν στο μέλλον στοχευμένο εργαλείο ελέγχου, ιδίως όταν εντάσσονται σε πολυπαραγοντικά σχήματα βιοσυντήρησης και συνδυάζονται με ήπιες τεχνολογίες επεξεργασίας και συντήρησης (Braz et al., 2025; Ranveer et al., 2024).

Το πλεονέκτημα των βακτηριοφάγων έγκειται κυρίως στην υψηλή εξειδίκευσή τους έναντι συγκεκριμένων βακτηριακών στόχων. Ωστόσο, η μελλοντική αξιοποίησή τους στο γιαούρτι εξαρτάται από την καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασής τους με τη μικροβιακή κοινότητα του προϊόντος, από ζητήματα σταθερότητας και κανονιστικής αποδοχής, καθώς και από την ανάγκη να εξασφαλίζεται ότι δεν θα διαταράσσουν την επιθυμητή μικροβιακή οικολογία της ζύμωσης.

5. Προοπτικές και τεχνολογική σημασία της βιοπροστασίας στο γιαούρτι

Συνολικά, η βιοπροστασία αναδύεται όχι απλώς ως μια επιμέρους τεχνική, αλλά ως κεντρική μελλοντική στρατηγική για την πρόληψη των επιμολύνσεων του γιαουρτιού. Το κύριο πλεονέκτημα της έγκειται στο ότι συνδυάζει μικροβιολογική ασφάλεια, επιμήκυνση της διάρκειας ζωής και συμβατότητα με τις σύγχρονες απαιτήσεις για πιο φυσικά και λειτουργικά τρόφιμα. Υπό αυτή την έννοια, η μελλοντική πρόληψη των επιμολύνσεων του γιαουρτιού φαίνεται ότι θα βασιστεί όχι μόνο στην αυστηρότερη εφαρμογή των συμβατικών συστημάτων υγιεινής και ελέγχου, αλλά και στην ολοένα σημαντικότερη ενσωμάτωση βιοπροστατευτικών καλλιεργειών, φυσικών αντιμικροβιακών μεταβολιτών και άλλων στοχευμένων βιολογικών εργαλείων, σε συνδυασμό με ταχείες τεχνικές ανίχνευσης και ψηφιακής επιτήρησης της παραγωγικής διαδικασίας (Wang et al., 2025; Rahman et al., 2024).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το γιαούρτι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ζυμούμενα γαλακτοκομικά προϊόντα, με υψηλή θρεπτική αξία, ευρεία κατανάλωση και ιδιαίτερη σημασία για τη σύγχρονη διατροφή. Ωστόσο, η ασφάλεια και η ποιότητά του δεν μπορούν να θεωρούνται δεδομένες, καθώς η παραγωγή του βασίζεται σε μια σύνθετη βιοτεχνολογική διεργασία, κατά την οποία είναι δυνατόν να εμφανιστούν μικροβιολογικοί κίνδυνοι σε διαφορετικά στάδια της παραγωγικής αλυσίδας. Η παρούσα εργασία ανέδειξε ότι, παρά τη συμβολή της ζύμωσης και της θερμικής επεξεργασίας στη σταθεροποίηση του προϊόντος, το γιαούρτι εξακολουθεί να είναι ευάλωτο σε φαινόμενα μικροβιακής επιμόλυνσης, ιδίως κατά τις μεταπαστεριωτικές φάσεις της παραγωγής.

Από τη συνθετική αποτίμηση της σχετικής βιβλιογραφίας προκύπτει ότι οι πηγές μικροβιακής επιμόλυνσης του γιαουρτιού είναι πολλαπλές και περιλαμβάνουν τόσο το νωπό γάλα όσο και το περιβάλλον παραγωγής, τον εξοπλισμό, τις επιφάνειες επεξεργασίας, τις δευτερεύουσες ύλες και τα υλικά συσκευασίας. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι η μικροβιολογική ασφάλεια του προϊόντος δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την ορθότητα της παστερίωσης, αλλά από τη συνολική υγιεινή ακεραιότητα της παραγωγικής διαδικασίας. Ιδιαίτερα κρίσιμος αναδείχθηκε ο ρόλος των δευτερογενών επιμολύνσεων μετά τη θερμική επεξεργασία, καθώς και η σημασία του ελέγχου των βιοφίλμ, τα οποία δύνανται να λειτουργήσουν ως επίμονες δεξαμενές μικροβιακού φορτίου και να υπονομεύσουν τη μικροβιολογική σταθερότητα του τελικού προϊόντος.

Η εργασία κατέδειξε επίσης ότι οι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με το γιαούρτι διακρίνονται λειτουργικά σε δύο βασικές κατηγορίες, με διαφορετική σημασία για την ασφάλεια και την ποιότητα του προϊόντος. Από τη μία πλευρά, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, όπως *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* και *Staphylococcus aureus*, συνδέονται άμεσα με κινδύνους για τη δημόσια υγεία και με την πιθανότητα πρόκλησης τροφιμογενών λοιμώξεων ή τοξινώσεων. Από την άλλη, οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί, όπως ζύμες, μύκητες και ορισμένα βακτήρια, επιδρούν κυρίως στη διάρκεια ζωής, στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και στη συνολική εμπορική αποδοχή του προϊόντος. Συνεπώς, η ασφάλεια του γιαουρτιού δεν πρέπει να προσεγγίζεται μόνο ως απουσία παθογόνων, αλλά ως διατήρηση της μικροβιολογικής, τεχνολογικής και αισθητηριακής του σταθερότητας.

Περαιτέρω, επιβεβαιώθηκε ότι η διαχείριση των μικροβιολογικών κινδύνων στο γιαούρτι απαιτεί συστηματική και ολοκληρωμένη προσέγγιση. Η χρήση πρώτων υλών υψηλής μικροβιακής ποιότητας, η αποτελεσματική εφαρμογή της παστερίωσης, η αυστηρή τήρηση

των κανόνων υγιεινής, καθώς και η ορθή εφαρμογή των GMP, GHP και HACCP, συνιστούν τη βασική γραμμή άμυνας για την παραγωγή ασφαλούς τελικού προϊόντος. Υπό αυτό το πρίσμα, η πρόληψη των επιμολύνσεων δεν αποτελεί απλώς υποχρέωση συμμόρφωσης προς τις κανονιστικές απαιτήσεις, αλλά ουσιαστική προϋπόθεση για τη διασφάλιση της ποιότητας, της διάρκειας ζωής, της διατροφικής αξιοπιστίας και της εμπορικής αξίας του προϊόντος.

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά, στο σύγχρονο επιστημονικό και τεχνολογικό πλαίσιο, η μετάβαση από τις αποκλειστικά συμβατικές μεθόδους ελέγχου σε πιο δυναμικά και στοχευμένα συστήματα πρόληψης. Η ενσωμάτωση ταχέων και υψηλής ευαισθησίας μεθόδων ανίχνευσης, η αξιοποίηση έξυπνων τεχνολογιών παρακολούθησης και ιχνηλασιμότητας, καθώς και η εφαρμογή τεχνολογιών ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, αναμένεται να ενισχύσουν ουσιαστικά την έγκαιρη αναγνώριση αποκλίσεων και την αποτελεσματικότητα των διορθωτικών παρεμβάσεων. Κατά συνέπεια, η μικροβιολογική ασφάλεια του γιαουρτιού διαμορφώνεται πλέον ως ένα εξελισσόμενο πεδίο, στο οποίο η τεχνολογική καινοτομία συνδέεται άμεσα με την πρόληψη και όχι μόνο με την εκ των υστέρων διαπίστωση του κινδύνου.

Ιδιαίτερα ελπιδοφόρα αναδείχθηκε και η συμβολή της βιοπροστασίας ως σύγχρονης στρατηγικής ασφάλειας τροφίμων. Η χρήση προστατευτικών καλλιεργειών, βακτηριοσινών, φυσικών αντιμικροβιακών μεταβολιτών και άλλων βιολογικών εργαλείων φαίνεται να προσφέρει τη δυνατότητα πιο στοχευμένου ελέγχου παθογόνων και αλλοιογόνων μικροοργανισμών, με παράλληλη διατήρηση της τεχνολογικής και οργανοληπτικής φυσιογνωμίας του προϊόντος. Η βιοπροστασία, επομένως, δεν συνιστά απλώς συμπληρωματική τεχνική, αλλά αναδεικνύεται σε στρατηγική υψηλής σημασίας για το μέλλον της παραγωγής ασφαλούς και ποιοτικά σταθερού γιαουρτιού. Παρ' όλα αυτά, η ευρύτερη εφαρμογή της προϋποθέτει περαιτέρω τεκμηρίωση ως προς την αποτελεσματικότητα, τη σταθερότητα, τη συμβατότητα με την παραγωγική τεχνολογία και τη ρυθμιστική της αποδοχή.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία καταλήγει στο ότι η παραγωγή ασφαλούς, ποιοτικά σταθερού και θρεπτικού γιαουρτιού προϋποθέτει τη συνδυασμένη εφαρμογή αυστηρών συστημάτων υγιεινής, επιστημονικά τεκμηριωμένων μεθόδων ελέγχου και καινοτόμων στρατηγικών πρόληψης. Η αποτελεσματική χαρτογράφηση των πηγών κινδύνου, η συστηματική παρακολούθηση της μικροβιολογικής κατάστασης του προϊόντος και η ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών βιοπροστασίας συγκροτούν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο διαχείρισης, ικανό να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις της βιομηχανίας

τροφίμων και της προστασίας της δημόσιας υγείας. Υπό αυτή την έννοια, η μικροβιολογική ασφάλεια του γιαουρτιού δεν συνιστά μόνο τεχνολογική πρόκληση, αλλά και ουσιώδη προϋπόθεση διατήρησης της εμπιστοσύνης του καταναλωτή σε ένα τρόφιμο ιδιαίτερης διατροφικής και κοινωνικής σημασίας.

Βιβλιογραφία

1. Addis, M., & Cabras, R. (2022). Dairy safety and emerging microbiological hazards: Current challenges and future perspectives. *Foods*, 11(9), 1285.
2. Adenaike, O. et al. (2024) 'Detection methods of foodborne pathogens: culture-dependent and culture-independent approaches'.
3. Adolfsson O, Meydani SN, Russell RM. Yogurt and gut function. *Am J Clin Nutr*. 2004;80:245–256.

4. Arab, M., Yousefi, M., Khanniri, E., Azari, M., Ghasemzadeh-Mohammadi, V., & Mollakhalili - Meybodi, N. (2023). A comprehensive review on yogurt syneresis: Effect of processing conditions and added additives. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1656-1665
5. Arthur R. Hill Prashantiddipalli. Dairy Products: Cheese and Yogurt. *Biochemistry of foods*, 2013, 3: 319-362.
6. Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017) . A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of dairy science*, 100(12), 9987-10013 .
7. Aslani, R., Mazaheri, Y., Jafari, M., Sadighara, P., Molaee-Aghaee, E., Ozcakmak, S. and Reshadat, Z. (2024) 'Implementation of hazard analysis and critical control point (HACCP) in yogurt production', *Journal of Dairy Research*, 91(1), pp. 125–135.
8. Ayivi, R. D., & Ibrahim, S. A. (2022) . Lactic acid bacteria: an essential probiotic and starter culture for the production of yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(11), 7008-7025
9. Baglio, E. (2014). The industry of yoghurt: formulations and food additives. In *Chemistry and technology of yoghurt fermentation* (pp . 33-57) . Cham: Springer International Publishing
10. Banerjee, U., Maida, R., Panda, R., Halder, T., & Roymahapatra, G. (2017). Variety of yogurt and its health aspects— A brief review. *International Journal of Innovative Practice and Applied Research*, 7(7), 56-66.
11. Bankole, A. O., Irondi, E. A., Awoyale, W., & Ajani, E. O. (2023). Application of natural and modified additives in yogurt formulation: Types, production, and rheological and nutraceutical benefits. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1257439
12. Bhowmik, D., Rickard, J. J. S., Jelinek, R., & Goldberg Oppenheimer, P. (2025). Resilient sustainable current and emerging technologies for foodborne pathogen detection. *Sustainable Food Technology*, 3 (1), 10–31.
13. Bortz G, Thomas H. Biotechnologies for inclusive development: scaling up,knowledge intensity and empowerment (the case of the probiotic yoghurt 'Yogurito' in Argentina). *Innov Dev.* 2017;7. 37-61
14. Braz, M. et al. (2025) 'A review on recent trends in bacteriophages for post-harvest food decontamination', *Microorganisms*, 13(3), p. 515.
15. Burton Kathryn J, Rosikiewicz Marta, Pimentel Grégory, et al. Probiotic yogurt and acidified milk similarly reduce postprandial inflammation and both alter the gut microbiota of healthy, young men. *British Journal of Nutrition*, 2017, 117(9): 1312-1322.
16. Cani PD, Amar J, Iglesias MA, et al. Metabolic endotoxemia initiates obesity and insulin resistance. *Diabetes*. 2007;56 : 1761–1772
17. Canon, F., Nidelet, T., Guédon, E., Thierry, A., & Gagnaire, V. (2020). Understanding the mechanisms of positive microbial interactions that benefit lactic acid bacteria co- cultures. *Frontiers in Microbiology*, 11, 2088
18. Čapla, J., Zajác, P., Ševcová, K., Čurlej, J., & Fikselová, M. (2022). Milk and dairy products--summary of European legislation, hygiene manuals, ISO standards and Codex Alimentarius standards. *Slovak Journal of Food Sciences*, 16
19. Cardoso, C. E. D. F., Silva, S. T., Trindade, M. E. F., Campos, M. D. B. E., Cruz, A. G., Lobo, F. A. T. F., & Teodoro, A. J. (2025). Flavors of the Earth: Bioprospecting and Potential of Agricultural Ingredients in Yogurt Production with a Focus on Sustainability, Quality, and Technological Innovation. *Foods*, 14(9), 1497
20. Chakma, S., Acharjee, M. R., Tonni, I. J., Tabassum, F., Das, E., Islam, S., & AlFaruq, S. (2025). Probiotic potential of yogurt: Exploring lactic acid bacteria for health-enhancing benefits. *Applied Food Research*, 101383
21. Chen, X. et al. (2025) 'Lactic acid bacteria bacteriocins: safe and effective natural preservatives'.
22. Chintalapati, P. (2023). Fungal Contamination in Yogurt and its Potential Association with Various Packaging Materials .
23. Chountalas, P., Tsarouchas, D., & Lagodimos, A. (2009). Standardized food safety management:The case of industrial yoghurt. *British Food Journal*, 111(9), 897–914.
24. Chowdhury, M.A.H. et al. (2025) 'Comprehensive approaches for ensuring microbial safety in the dairy industry: monitoring systems, inhibitory strategies and future prospects', *Food Control*, 168, p. 110894.
25. Codex Alimentarius Commission. Standard for Fermented Milks (CXS 243-2003), revised and amended through 2024
26. Costa, M. P., Monteiro, M. L. G., Frasao, B. S., Silva, V. L., Rodrigues, B. L., Chiappini, C. C., & Conte-Junior, C. A. (2017). Consumer perception, health information, and instrumental parameters of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) goat milk yogurts. *Journal of dairy science*, 100(1), 157 - 168.

27. Davidescu, M.A. et al. (2025) 'Advances and challenges in smart packaging for food safety and monitoring', *Foods*, 14(24), p. 4347.
28. De, S. (2019). Role of genome technology in dairy food quality and safety. *Indian Journal of Dairy Science*, 72(4), 353–357.
29. Delgado-Fernández, P., Corzo, N., Olano, A., Hernández-Hernández, O., & Moreno, F. J. (2020). Fermented milk products: Impact on human health and nutrition. *Food Research International*, 136, 109504
30. Ebringer L, Ferencik M, Krajcovic J. Beneficial health effects of milk and fermented dairy products—review. *Folia Microbiol.* 2008;53 : 378–394.
31. Elisabeth A. Mungai Comments to Author Casey Barton Behraves, and I., Hannah Gould. Increased Outbreaks Associated with Nonpasteurized Milk, United States, 2007 – 2012. 2015.
32. European Commission. 2024. Microbiological criteria - Food Safety.
33. European Commission. European Guide for Good Hygiene Practices in the production of artisanal cheese and dairy products.
34. European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to live yoghurt cultures and improved lactose digestion (ID 1143, 2976) pursuant to article 13(1) of regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA J.* 2010; 8:18.
35. Fagnani, R., Battaglini, A.P.P., Beloti, V., Araújo, J.P. and Dunga, K.S. (2017) 'Extended storage of cold raw milk on yogurt manufacturing'.
36. FAO/WHO. Report of a joint FAO/WHO Expert Consultation on evaluation of health and nutritional properties of probiotics in food including power milk with lactic acid bacteria
37. Fazilah, N. F., Ariff, A. B., Khayat, M. E., Rios-Solis, L., & Halim, M. (2018). Influence of probiotics, prebiotics, and synbiotics on the physicochemical and sensory properties of yogurt. *Food Research International*, 107, 30–40.
38. Fisberg, M., & Machado, R. (2015). History of yogurt and current patterns of consumption. *Nutrition reviews*, 73(suppl_1), 4-7
39. Food and Agriculture Organization. CODEX ALIMENTARIUS—International Food Standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2022. Available online: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/liststandards/en/> (accessed on 18 September 2024)
40. Franco-Duarte, R., Černáková, L., Kadam, S., Kaushik, K. S., Salehi, B., Bevilacqua, A., Corbo, M. R., Antolak, H., Dybka-Stępień, K., Leszczewicz, M., Tintino, S. R., de Souza, V. C. A., Sharifi-Rad, J., Coutinho, H. D. M., Martins, N., & Rodrigues, C. F. (2019). Advances in Chemical and Biological Methods to Identify Microorganisms—From Past to Present. *Microorganisms* 2019, Vol. 7, Page 130, 7(5), 130.
41. Fusco, V., Chieffi, D., Fanelli, F., Logrieco, A. F., Cho, G. S., Kabisch, J., Böhnlein, C., & Franz, C. M. A. P. (2020). Microbial quality and safety of milk and milk products in the 21st century. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 2013–2049.
42. Gänzle, M. G. (2022). Food fermentations for improved food safety and quality. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100840
43. Gawai, K. M., Mudgal, S. P., & Prajapati, J. B. (2017). Stabilizers, colorants, and exopolysaccharides in yogurt. In *Yogurt in health and disease prevention* (pp. 49–68). Academic Press
44. Gómez-Gallego, C., Gueimonde, M., & Salminen, S. (2018). The role of yogurt in food-based dietary guidelines. *Nutrition reviews*, 76(Supplement_1), 29-39
45. Gupta, M. K., Torrico, D. D., Ong, L., Gras, S. L., Dunshea, F. R., & Cottrell, J. J. (2022). Plant and dairy-based yogurts: A comparison of consumer sensory acceptability linked to textural analysis. *Foods*, 11(3), 463
46. Hall WL, Millward DJ, Long SJ, et al. Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite. *Br J Nutr.* 2003;89:239–248
47. Hantsis-Zacharov Elionora, Halpen Malka. Culturable psychrotrophic bacteria communities in raw milk and their proteolytic traits. *Applied and environmental microbiology*, 2007, 73(22) : 7162-7168.
48. Harugeri, C., Niranjana Raj, S., & Baker, S. (2025). MICROBIAL CONTAMINATION OF YOGURT
49. Hols, P., Hancy, F., Fontaine, L., Grossiord, B., Prozzi, D., Leblond-Bourget, N., & Kleerebezem, M. (2005). New insights in the molecular biology and physiology of *Streptococcus thermophilus* revealed by comparative genomics. *FEMS microbiology reviews*, 29(3), 435-463

50. Horiuchi, H., & Sasaki, Y. (2012). Effect of oxygen on symbiosis between *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *Journal of dairy science*, 95(6), 2904-2909
51. Hulebak, K. L., & Schlosser, W. (2002) . Hazard analysis and critical control point (HACCP) history and conceptual overview. *Risk Analysis*, 22(3), 547–552.
52. Influence of probiotics, prebiotics, and synbiotics on the physicochemical and sensory properties of yogurt. *Food Research International*, 107, 30–40.
53. Jiang, Y. (2022). The health effects of yogurt and its safety hazards. *Highlights Sci. Eng. Technol*, 19, 119-124
54. Klost, M., & Drusch, S. (2019). Structure formation and rheological properties of pea protein-based gels. *Food hydrocolloids*, 94, 622-630.
55. Kort R, Westerik N, Mariela Serrano L , et al. A novel consortium of *Lactobacillus rhamnosus* and *Streptococcus thermophilus* for increased access to functional fermented foods . *Microb Cell Fact* 2015 ; 14:195
56. Kumar, H., Bhardwaj, K., Cruz-Martins, N., Sharma, R., Siddiqui, S. A., Dhanjal, D. S., Singh, R., Chopra, C., Dantas, A., Verma, R., Dosoky, N. S., & Kumar, D. (2022). Phyto- enrichment of yogurt to control hypercholesterolemia: A functional approach. *Molecules*, 27(11), 3479. <https://doi.org/10.3390/molecules27113479>
57. Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2010) . Formation and physical properties of yogurt. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 23(9), 1127-1136
58. Li, A., J. Zheng, X. Han, S. Yang, S. Cheng, J. Zhao, W. Zhou, and Y. Lu. 2023b. Advances in low-lactose/lactose-free dairy products and their production. *Foods* 12.
59. Liu, Y., Chen, J ., & Wang, H. (2023) . Control of biofilms in dairy processing environments: Advances in prevention and sanitation strategies. *Food Control*, 146, 109540 .
60. MacBean Roger D. Packaging and the shelf life of yogurt . *Food packaging and shelf life*, 2010: 143-156.
61. Marchand, S., De Block, J., De Jonghe, V., Coorevits, A., Heyndrickx, M., & Herman , L. (2012) . Biofilm Formation in Milk Production and Processing Environments; Influence on Milk Quality and Safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(2), 133–147. <https://doi.org/10.1111/J.1541-4337.2011.00183.X>
62. Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M ., et al. (2021) . The ISAPP consensus statement on fermented foods . *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 196–208 .
63. Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., et al . (2021) . The ISAPP consensus statement on fermented foods . *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 196–208
64. Marco, M. L., Sanders, M. E., Gänzle, M., et al. (2021). The ISAPP consensus statement on fermented foods. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18, 196–208.
65. Mayo, B., Rachid, C. T. C. C., & Alegría, Á. (2023). Bioprotective cultures in dairy products: Mechanisms and applications. *International Journal of Food Microbiology*, 387, 110055.
66. Mehra, R., Kumar, H., Rafiq, S., Kumar, N., Buttar, H. S., Leicht, K., & Korzeniowska, M. (2022). Enhancing yogurt products’ ingredients: preservation strategies, processing conditions, analytical detection methods, and therapeutic delivery—an overview. *PeerJ*, 10, e14177
67. Mélo, E.D. et al . (2024) ‘ Effect of commercial bioprotective lactic cultures on physicochemical, microbiological and textural properties of yogurt’, *Fermentation*, 10(11), p. 585.
68. Meybodi, N. M., Mortazavian, A. M., & Monfared, A. B. (2020) . The effect of starter cultures on yogurt quality: A review. *Journal of Food Quality*, 2020,
69. Meybodi, N. M., Mortazavian, A. M., & Monfared, A. B. (2020) . The effect of starter cultures on yogurt quality: A review. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–12.
70. Morelli L. Yogurt, living cultures, and gut health. *Am J Clin Nutr*. 2014;99(5 suppl):1248S–1250S
71. Moreno Aznar LA, Cervera Ral P, Ortega Anta RM, et al. Scientific evidence about the role of yogurt and other fermented milks in the healthy diet for the Spanish population. *Nutr Hosp*. 2013;28:2039–2089.
72. Munteanu-Ichim, R. A., Canja, C. M., Lupu, M., Bădăraș, C. L., & Matei, F. (2024). Tradition and innovation in yoghurt from a functional perspective—a review. *Fermentation*, 10(7), 357.
73. Mureșan, C. C., et al. (2020). Food safety management systems in dairy processing . *Food Control* , 110, 106984.
74. Nath, S. (2024). Advancements in food quality monitoring: integrating biosensors for precision detection. *Sustainable Food Technology*, 2(4), 976-992.
75. Nicolas, P., Bessi eres, P., Ehrlich, S. D., Maguin, E., & Van De Guchte, M. (2007). Extensive horizontal transfer of core genome genes between two *Lactobacillus* species found in the gastrointestinal tract. *BMC evolutionary biology*, 7(1), 141

76. O'Rell, K., & Chandan, R. C. (2013). Manufacture of various types of yogurt. *Manufacturing yogurt and fermented milks*, 263-295
77. Ortuzar, V., et al. (2018) . Microbiological hazards in dairy products. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 1–15.
78. Pal, M., Tefera, M., Tasew, A., Jergefa, T., & Deressa, A. (2015). Hygienic and microbial quality of yoghurt. *Beverage and Food World*, 42(4), 25-31.
79. Palanisamy, Y. et al. (2024) ‘Recent technological advances in food packaging: sensors, smart monitoring and safety applications’.
80. Pujato, S.A. et al. (2024) ‘Bacteriocins from lactic acid bacteria: strategies for the bioprotection of dairy foods’.
81. Putri, D.A. et al. (2024) ‘Biopreservation of food using bacteriocins from lactic acid bacteria’.
82. Rahman, M.S. et al. (2025) ‘Lactic acid bacteria: beyond fermentation to bio-protection’.
83. Ranveer, S.A. et al. (2024) ‘Positive and negative aspects of bacteriophages and their applications in food systems’.
84. Rashwan, A. K., Osman, A. I., & Chen, W. (2023). Natural nutraceuticals for enhancing yogurt properties: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1907-1931
85. Rizzoli R. Dairy products, yogurts, and bone health. *Am J Clin Nutr.* 2014;99:1256s–1262s Prentice AM. Dairy products in global public health . *Am J Clin Nutr.* 2014;99 :1212s–1216s
86. Roux, E., Nicolas, A., Valence, F., Siekaniec, G., Chuat, V., Nicolas, J., & Guédon, E. (2022). The genomic basis of the *Streptococcus thermophilus* health-promoting properties. *BMC genomics*, 23(1), 210
87. Rul, F. (2017). Yogurt microbiology, organoleptic properties and probiotic potential. In *Fermented foods, part II* (pp. 418-450). CRC Press
88. Ruxton, C. (2015). Nutritional benefits of yoghurt. *energy*, 1, 1-1
89. Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H ., & Chen, W . (2022) . Advances in rapid detection methods for foodborne pathogens in dairy products. *Comprehensive*
90. Sagar, N.A. et al. (2025) ‘Recent trends and innovations in smart and AI-based food packaging: a review’, *Frontiers in Food Science and Technology*.
91. Sfakianakis, P., & Tzia, C. (2014). Conventional and innovative processing of milk for yogurt manufacture; development of texture and flavor: a review. *Foods*, 3(1), 176-193. 15. Rul, F. (2017). Yogurt microbiology, organoleptic properties and probiotic potential. In *Fermented foods, part II* (pp. 418-450). CRC Press.
92. Shi, C. and Knöchel, S. (2022) ‘Lactic acid bacteria as biopreservation against spoilage fungi in dairy products’.
93. Sieuwerts, S., De Bok, F. A., Hugenholtz, J., & van Hylckama Vlieg, J. E. (2008). Unraveling microbial interactions in food fermentations: from classical to genomics approaches. *Applied and environmental microbiology*, 74(16), 4997-5007
94. Silva, F. V. M., & Evelyn . (2023). Pasteurization of Food and Beverages by High Pressure Processing (HPP) at Room Temperature: Inactivation of *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, and Other Microbial Pathogens. *Applied Sciences* 2023, Vol. 13, Page 1193, 13(2), 1193
95. Silva, M., Kadam, M. R., Munasinghe, D., Shanmugam, A., & Chandrapala, J. (2022). Encapsulation of nutraceuticals in yoghurt and beverage products using the ultrasound and high-pressure processing technologies. *Foods*, 11(19), 2999
96. Smug, L. N., Salminen, S., Sanders, M. E., & Ebner, S. (2014). Yoghurt and probiotic bacteria in dietary guidelines of the member states of the European Union. *Beneficial microbes*, 5(1), 61-66.
97. Sobhan, A. et al. (2025) ‘IoT-enabled biosensors in food packaging’, *Foods*, 14(8), p. 1403.
98. 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
99. Spoilage Microorganisms in Milk. <https://www.uoqelph.ca/foodscience/book-page/spoilage-microorganisma-milk>.
100. Standard, C. (2003). Codex standard for fermented milks. *FAO/WHO Codex Alimentarius Commission*
101. Sumi, K., Tagawa, R., Yamazaki, K., Nakayama, K., Ichimura, T., Sanbongi, C., & Nakazato, K. (2023). Nutritional value of yogurt as a protein source: digestibility/absorbability and effects on skeletal muscle. *Nutrients*, 15(20), 4366
102. Tamime, A. Y ., & Robinson, R. K . (1999) . Yoghurt: science and technology.
103. Tamime, A. Y., & Deeth, H. C. (1980). Yogurt: technology and biochemistry. *Journal of food protection*, 43(12), 939-977

104. Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in food systems: Significance and emerging strategies towards improved viability and delivery of enhanced beneficial value. *Nutrients*, 11(7), 1591
105. Verruck, S., Dantas, A., & Prudencio, E. S. (2019). Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of functional foods*, 52, 243- 257.
106. Villena J, Salva S, Nuñez M, et al. Probiotics for everyone! The novel immunobiotic *Lactobacillus rhamnosus* CRL 1505 and the beginning of social probiotic programs in Argentina . *Int J Biotechnol Wellness Ind.* 2012 ;1 : 189–198
107. Wang, X., Wang, L., Wei, X., Xu, C., Cavender, G., Lin, W., & Sun, S. (2025) . Invited review: Advances in yogurt development—Microbiological safety, quality, functionality, sensory evaluation, and consumer perceptions across different dairy and plant-based alternative sources. *Journal of Dairy Science*, 108(1), 33-58.
108. Weaver CM. How sound is the science behind the dietary recommendations for dairy? *AmJ Clin Nutr.* 2014 ; 99: 1217S –1222S German JB. The future of yogurt: scientific and regulatory needs. *Am J Clin Nutr.* 2014 ; 99 :1271s–1278s.
109. Weerathilake, W. A. D. V., Rasika, D. M. D., Ruwanmali, J. K. U., & Munasinghe, M. A. D. D. (2014). The evolution, processing, varieties and health benefits of yogurt. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(4), 1-10
110. WHO / FAO . Recommended Methods of Analysis and Sampling (CODEX STAN 234- 1999) . 1999. Codex Alimentarius Commission
111. World Health Organization [WHO]/Food and Agricultural Organization of the United Nations [FAO] . Codex Standard for Fermented Milks (CODEX STAN 243- 2003) . Rome: FAO; 2010.
112. Yang, L. et al. (2021) ‘ Application of lab-on-chip for detection of microbial nucleic acid in food and environment ’ .
113. Yang, X., Su, Y., & Li, L. (2020). Study of soybean gel induced by *Lactobacillus plantarum*: Protein structure and intermolecular interaction. *Lwt*, 119, 108794
114. Ziyaina, M. and Salter, A.M. (2020) ‘Rapid methods of microbial detection in dairy products: a review’.
115. Zubairi, A., et al. (2021). Dairy contamination and public health implications . *Foods*, 10(3), 1–18.
116. Zubairi, A., et al. (2021). Dairy contamination and public health implications. *Foods*, 10(3), 1–18.
117. Zubairi, A., et al. (2021). Reviews in Food Science and Food Safety, 21(3), 2465 –2495 Dairy contamination and public health implications . *Foods*, 10(3), 1–18.