



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
I) ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ II) ΟΙΝΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Βελτίωση της σύστασης του όξινου ορού από στραγγιστό γιαούρτι
με χρήση μεμβρανών**

Κωνσταντίνα Λ. Μιλόση

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Αικατερίνη Μοσχοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΑΘΗΝΑ, 2023

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Βελτίωση της σύστασης του όξινου ορού από στραγγιστό γιαούρτι
με χρήση μεμβρανών

Improvement of acids whey composition from strained yogurt
using membrane technology

Κωνσταντίνα Λ. Μιλόση

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Μοσχοπούλου Αικατερίνη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΤΕΤΔΑ, ΓΠΑ (Επιβλέπουσα)

Μοάτσου Γκόλφω, Καθηγήτρια ΤΕΤΔΑ, ΓΠΑ

Θεοδώρου Γιώργος, Επίκουρος Καθηγητής, ΤΖΠ, ΓΠΑ

Βελτίωση της σύστασης του όξινου ορού από στραγγιστό γιαούρτι με χρήση μεμβρανών

*ΠΜΣ Σύγχρονη Τεχνολογία Τροφίμων Ι) Γαλακτοκομία ΙΙ) Οινολογία
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου
Εργαστήριο Γαλακτοκομίας*

Περίληψη

Ο όξινος ορός από το στραγγιστό γιαούρτι είναι ένα παραπροϊόν το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Όμως, η υψηλή συγκέντρωσή του σε γαλακτικό οξύ δημιουργεί πρόβλημα στην κρυστάλλωση της λακτόζης κατά την κονιοποίηση του. Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να συγκρίνουμε τη συμπεριφορά διαφορετικών όξινων ορών γιαουρτιού (ΟΟΓ) κατά την επεξεργασία τους με εφαρμογή μεμβρανών και την τυχόν βελτίωση στη σύστασή τους. Χρησιμοποιήθηκαν αγελαδινός ΟΟΓ από στράγγιση του αρχικού γιαουρτιού με υπερδιήθηση ή φυγοκέντρηση από δύο Ελληνικές γαλακτοβιομηχανίες καθώς και αγελαδινός ΟΟΓ και πρόβειος ΟΟΓ από παραδοσιακή στράγγιση γιαουρτιού μέσω υφασμάτινων σάκων, οι οποίοι παρήχθησαν στο Εργαστήριο Γαλακτοκομίας του ΓΠΑ. Οι οροί αρχικά μικροδιηθήθηκαν μέσω κεραμικής μεμβράνης με πόρους 1,4 μm σε πιλοτική μονάδα επεξεργασίας με μεμβράνες. Ακολούθησε η νανοδιήθηση του μικροδιηθημένου ορού μέσω κεραμικής μεμβράνης με αναφερόμενο μοριακό βάρος αποκοπής στα 250 Da και διαμεμβρανική πίεση στα 10 bar στους 23-25 °C. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κατακράτημα από τη νανοδιήθηση του πρόβειου ορού περιείχε στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) περισσότερο γαλακτικό οξύ, γαλακτόζη, ολική πρωτεΐνη, φώσφορο και ασβέστιο από ότι οι αγελαδινοί οροί, ακολουθώντας την αρχική τάση της σύστασης των ανεπεξέργαστων ορών. Γενικά με τη νανοδιήθηση ήταν εφικτή η απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος σε ποσοστά περίπου 40% -55% και η απομάκρυνση του καλίου και του νατρίου σε ποσοστά >60%. Αντίθετα η λακτόζη και η γαλακτόζη κατακρατήθηκαν σε ποσοστά >95% και 82% -89% αντίστοιχα. Τέλος, η νανοδιήθηση επηρέασε και τα φυσικά χαρακτηριστικά των ορών όπως το χρώμα και το σημείο πήξης.

Επιστημονική περιοχή: Γαλακτοκομία

Λέξεις κλειδιά: Όξινος ορός γιαουρτιού, τεχνολογία μεμβρανών, γαλακτικό οξύ

Improvement of acids whey composition from strained yogurt using membrane technology

*MSc Food Science & Technology I) Dairy Science II) Oenology
Department of Food Science & Human Nutrition
Laboratory of Dairy Science*

Abstract

The acid whey from strained yogurt is a co-product that can be utilized in various applications. However, its high concentration of lactic acid poses a problem in lactose crystallization during its powdering. The aim of this study was to compare the behavior of different yoghurt acid wheys (YAW) during their processing using membrane technology and any potential improvement in their composition. Cow's milk YAW obtained by ultrafiltration or centrifugation and provided by two Greek dairy industries, as well as cow's milk YAW and sheep's milk YAW from traditional yogurt straining through cloth bags and produced in the Dairy Laboratory of the Agricultural University of Athens, were used. The whey was initially microfiltered through a ceramic membrane with a pore size of 1.4 µm on a pilot membrane processing unit. Subsequently, the nanofiltration of the microfiltered whey through a ceramic membrane with a reported molecular weight cutoff at 250 Da and transmembrane pressure at 10 bar at 23-25 °C was performed. The results showed that the retentate from the nanofiltration of sheep YAW contained statistically significant ($P < 0.05$) higher levels of lactic acid, lactose, total protein, phosphorus, and calcium compared to cow YAW, following the initial composition trend in the untreated wheys. Overall, nanofiltration made it feasible to remove lactic acid by approximately 40%-55% and potassium and sodium by >60%. On the contrary, lactose and galactose were retained at rates >95% and 82%-89%, respectively. Finally, nanofiltration also affected the physical characteristics such as color and the freezing point of the YAW.

Scientific area: Dairy Science

Keywords: Yoghurt acid whey, membrane technology, lactic acid

Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γαλακτοκομίας του Τμήματος Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την επίβλεψη της κ. Μοσχοπούλου Αικατερίνης, Επίκουρης Καθηγήτριας στο τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της πτυχιακής μου μελέτης, κ. Μοσχοπούλου Αικατερίνη για την ανάθεση του θέματος, το ενδιαφέρον και το χρόνο που διέθεσε, καθώς και για την καθοριστική συμβολή στην ολοκλήρωση της μελέτης.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον διδάκτορα κ. Λάμπρο Σακκά και τον κ. Πάσχο Θεόδωρο, ΕΤΕΠ, για τη βοήθειά τους στη διεξαγωγή του πειράματος στην πιλοτική μονάδα των μεμβρανών, καθώς και την κ. Ζωίδου Ευαγγελία, ΕΔΙΠ και τη Γεωπόνο-Επιστήμονα τροφίμων κ. Καρέλα Μαριάννα για τη συνεχή βοήθειά τους κατά την διεξαγωγή των αναλύσεων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την καθηγήτρια κ. Μοάτσου Γκόλφω και τον επίκουρο καθηγητή κ. Θεοδώρου Γιώργο για τις διορθώσεις τους και τη συμβολή τους στην τελική αξιολόγηση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης.

«Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ – ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ – ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου: Τ1ΕΔΚ- 00783)»

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
Ευχαριστίες.....	4
Εισαγωγή.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το στραγγιστό γιαούρτι.....	7
1.1. Ορισμός.....	7
1.2 Μέθοδοι παρασκευής του στραγγιστού γιαουρτιού.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Όξινος ορός.....	13
2.1 Σύσταση όξινου ορού γάλακτος.....	14
2.2 Εφαρμογές και χρήσεις του όξινου ορού.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Επεξεργασία του όξινου ορού με μεμβράνες.....	23
3.1 Τεχνολογία μεμβρανών.....	24
3.2 Επεξεργασία όξινου ορού με μεμβράνες.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Υλικά και μέθοδοι.....	29
4.1 Σκοπός της μελέτης.....	29
4.2 Δειγματοληψία.....	29
4.3 Μικροδιήθηση του όξινου ορού γιαουρτιού.....	29
4.4 Νανοδιήθηση του όξινου ορού γιαουρτιού.....	30
4.5 Φυσικοχημικές αναλύσεις.....	31
4.6 Στατιστική ανάλυση.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Αποτελέσματα και συζήτηση.....	34
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	43
Βιβλιογραφία.....	44

Εισαγωγή

Ο όξινος ορός γάλακτος είναι παραπροϊόν της επεξεργασίας του γάλακτος από την παραγωγή καζεΐνης, στραγγιστών γιαουρτιών και τυριά τύπου cottage. Η παγκόσμια παραγωγή του αυξάνεται κάθε χρόνο καθώς αυξάνεται η παραγωγή του στραγγιστού γιαουρτιού. Σύμφωνα με τους Uduwerella (2017), μόνο από το στραγγιστό γιαούρτι προέρχονται 1.6×10^9 λίτρα όξινου ορού ετησίως. Στην Ελλάδα, επίσης ο μεγαλύτερος όγκος του όξινου ορού παράγεται από την παρασκευή στραγγιστού γιαουρτιού.

Η απόρριψη του όξινου ορού στο περιβάλλον προκαλεί μόλυνση του περιβάλλοντος λόγω του υψηλού οργανικού φορτίου που περιέχει. Ως εκ τούτου γίνονται προσπάθειες για την αξιοποίησή του. Έχουν μελετηθεί διάφοροι τρόποι προς αυτήν την κατεύθυνση και μέχρι σήμερα ο όξινος ορός μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διατροφή ζώων, ως λίπασμα, στην παραγωγή βιοαερίου κ.α. Επίσης γίνεται προσπάθεια για την κονιοποίηση του προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία τροφίμων, όμως, λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε γαλακτικό οξύ, το οποίο αναστέλλει την κρυστάλλωση της λακτόζης, η επεξεργασία του για την παραγωγή σκόνης είναι προβληματική. Επιπλέον, στις σκόνες όξινου ορού η υγροσκοπικότητα του γαλακτικού οξέος αυξάνει την απορρόφηση υγρασίας μειώνοντας έτσι την ποιότητα και διατηρησιμότητα του προϊόντος.

Ως εκ τούτου, γίνονται ερευνητικές προσπάθειες να μειωθεί το γαλακτικό οξύ, αλλά και τα ανόργανα συστατικά με εφαρμογή της ηλεκτροδιαπίδυσης και της νανοδιήθησης.

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι η επεξεργασία του όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) που έχει προκύψει από διάφορους τρόπους στράγγισης όπως φυγοκέντρηση, υπερδιήθηση και παραδοσιακή στράγγιση με σάκους, τους οποίους χρησιμοποιεί η Ελληνική βιομηχανία παρασκευής στραγγιστού γιαουρτιού, με μεμβράνες προκειμένου να βελτιωθεί η σύστασή του κυρίως ως προς τη μείωση του γαλακτικού οξέος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το στραγγιστό γιαούρτι

1.1. Ορισμός

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ) 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*, ώστε το τελικό ζυμωμένο προϊόν να περιέχει τουλάχιστον 10^7 cfu/g προϊόντος μέχρι την ημερομηνία ανάλωσής του (ΦΕΚ 2467/2016).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ) ως «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.» (ΦΕΚ 2457/2016).

Το στραγγιστό γιαούρτι , γνωστό και ως Greek Yoghurt ή Greek style Yoghurt στο εξωτερικό, είναι παχύρρευστο ή ημιστερό προϊόν γάλακτος που έχει υποστεί ζύμωση που δημιουργείται με την αφαίρεση του ορού γάλακτος από το κανονικό γιαούρτι (Tamime et al., 2014). Λόγω αυτής της διαδικασίας αποστράγγισης, το τελικό προϊόν περιέχει περισσότερα ολικά στερεά και λιγότερη λακτόζη από το συμβατικό γιαούρτι (Πίνακας 1).

Πίνακας 1.1: Χημική σύσταση (g/100g) πλήρους και χαμηλών λιπαρών στραγγιστού γιαουρτιού (Tamime, 2003)

Συστατικό	Πλήρες γιαούρτι	Χαμηλών λιπαρών γιαούρτι
Ολικά στερεά	22,0	14,3
Πρωτεΐνες	4,9	9,9
Λίπη	10,1	0,2
Υδατάνθρακες	6,0	3,5
Τέφρα	1,0	0,6

Τα προϊόντα αυτού του τύπου έχουν κρεμώδη/λευκή απόχρωση, απαλή και λεία υφή, καλή δυνατότητα επάλειψης και ελαφρώς όξινη γεύση (Tamime et al., 2014; Nsabimana et al, 2005). Το στραγγιστό γιαούρτι είναι ένα δημοφιλές είδος διατροφής στη Μέση Ανατολή και στα Βαλκάνια. Πολλά στοιχεία αποδεικνύουν τη χρήση του κατά το πέρασμα των ετών στο Τουρκεστάν, τα Βαλκάνια, την ανατολική Μεσόγειο και την Ινδική υπο-ήπειρο (Tamime και Robinson, 2007).

Το στραγγιστό γιαούρτι έχει μεταξύ 1,8% και 2,0% γαλακτικό οξύ, ενώ το κανονικό γιαούρτι περιέχει μικρότερα ποσοστά. Ως αποτέλεσμα, η ποιότητα διατηρείται περισσότερο από αυτή του τελευταίου τύπου (Robinson, 2002). Οι υψηλές ποσότητες γαλακτικού οξέος πιστεύεται ότι αναστέλλουν την ανάπτυξη παθογόνων βακτηρίων, ωστόσο οι ζύμες, και ορισμένα βακτήρια του γαλακτικού οξέος μπορούν ακόμα να συμβάλουν σε προβλήματα αλλοίωσης. Στους 7 °C, το στραγγιστό γιαούρτι μπορεί να αποθηκευτεί για δύο εβδομάδες (Nsabimana et al 2005). Οποιαδήποτε έντονη γεύση που προκύπτει από υψηλή συγκέντρωση γαλακτικού οξέος θα εξασθενήσει από το διακετύλιο που σχηματίζεται κατά τη ζύμωση και το υψηλό επίπεδο λίπους, το οποίο μπορεί να είναι περίπου 10% (Robinson, 2002). Σήμερα, το συμπυκνωμένο γιαούρτι καθιερώνεται ως ένα δημοφιλές τρόφιμο πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά με υγιή φήμη ισοδύναμη ή μεγαλύτερη από αυτή του συνηθισμένου γιαουρτιού (Nsabimana et al. 2005). Το γιαούρτι αυτό έχει κερδίσει τεράστια δημοτικότητα στις Ηνωμένες Πολιτείες ως υγιεινό και θρεπτικό φαγητό. Στην πραγματικότητα, τα οφέλη του για την υγεία, τα οποία εκτείνονται πέρα από τη διατροφή, είναι πλέον καλά αναγνωρισμένα (Auclair, et al 2019). Μεταξύ των αναφερόμενων πλεονεκτημάτων του γιαουρτιού και των προβιοτικών καλλιεργειών για την υγεία είναι η προαγωγή της ανάπτυξης, η ενίσχυση της απορρόφησης μετάλλων, η πέψη της λακτόζης (η ικανότητα μείωσης των συμπτωμάτων δυσανεξίας στη λακτόζη), η αντιμικροβιακή λειτουργία (η ικανότητα ενίσχυσης της αντίστασης στον αποικισμό από παθογόνα), η δράση της αντιχοληστερόλης (η ικανότητα μείωσης του κινδύνου καρδιαγγειακής νόσου μειώνοντας τη χοληστερόλη ορού) και αντικαρκινογόνο παράγοντα (η ικανότητα μείωσης του κινδύνου καρκίνου). Πρόσφατη έρευνα έχει συνδέσει την κατανάλωση γιαουρτιού, παρά τη σχετικά υψηλή περιεκτικότητά του σε κορεσμένα λιπαρά, με τη μειωμένη αρτηριακή πίεση (Nestel, 2019). Ωστόσο, ο υποκείμενος μηχανισμός είναι άγνωστος. Για να δοθεί μια ακόμη πιο υγιεινή

εικόνα στο τελικό προϊόν, το γιαούρτι συχνά εμπλουτίζεται με λειτουργικά συστατικά όπως προβιοτικά, πρεβιοτικά, φυτικές ίνες, εστέρες φυτικών στερολών, ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, μέταλλα και βιταμίνες (Auclair et al. 2019). Τις προηγούμενες δεκαετίες, η κατά κεφαλήν κατανάλωση γιαουρτιού στον Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες αυξήθηκε δραματικά λόγω της ανάπτυξης νέων ποικιλιών και της βελτιωμένης γνώσης των καταναλωτών για τα πλεονεκτήματα για την υγεία που συνδέονται με τις καλλιέργειες γιαουρτιού και τα προβιοτικά. Η εισαγωγή του ελληνικού γιαουρτιού άλλαξε τις αμερικανικές προτιμήσεις γιαουρτιού, γεγονός που συνέβαλε στην αύξηση των συνολικών πωλήσεων γιαουρτιού. Το 2016, η Αμερική αντιπροσώπευε πάνω από το 50% της παγκόσμιας αγοράς για το ελληνικό γιαούρτι. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό γιαούρτι, το ελληνικό γιαούρτι αγοράζεται εξίσου από άνδρες και γυναίκες λόγω της βελούδινης υφής του και της υψηλής περιεκτικότητάς του σε πρωτεΐνες. Τα τελευταία χρόνια, η κατηγορία του ελληνικού γιαουρτιού έχει γνωρίσει σημαντική ανάπτυξη στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 2017, οι Αμερικανοί κατανάλωναν 13,7 λίτρα γιαούρτι κατά κεφαλήν, με το 37,8 τοις εκατό να είναι ελληνικής ποικιλίας (Statista, 2018).

1.2. Μέθοδοι παρασκευής του στραγγιστού γιαουρτιού

Μεγάλο μέρος της αποδοχής του στραγγιστού γιαουρτιού από τους καταναλωτές εξαρτάται από τις οργανοληπτικές του ιδιότητες, οι οποίες φαίνεται να εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο επεξεργασίας (Jorgensen et al 2019). Ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, το στραγγιστό γιαούρτι μπορεί να περιέχει 10 φορές περισσότερα προβιοτικά βακτήρια από το συμβατικό γιαούρτι. Πληθυσμοί του *Lb. helveticus* και *S. thermophilus* ήταν τρεις έως επτά φορές υψηλότεροι στα φρέσκα υπερδιηθημένα ή φυγοκεντρημένα γιαούρτια ελληνικού τύπου από ό,τι στο συμβατικό αναδευόμενο γιαούρτι (Moineau-Jean, et al 2019). Παραδοσιακά, το στραγγιστό γιαούρτι και άλλα παρόμοια προϊόντα παράγονται με στράγγισμα του φυσικού σκευάσματος σε υφασμάτινες σάκους. Ωστόσο, σήμερα υπάρχουν διαθέσιμες εναλλακτικές τεχνολογίες για τη μαζική παραγωγή αυτού του προϊόντος. Οι Tamime and Robinson (2007), οι Robinson and Tamime (1993), ο Ozer (2006), ο Salji (1991), ο Nsabimana και συνεργάτες (2005) και ο Tamime και συνεργάτες (1989a,b, 1991) έχουν αξιολογήσει εξαντλητικά τις διάφορες

τεχνικές για την παρασκευή συμπυκνωμένου γιαουρτιού, και κατά συνέπεια το διαχωρισμό του όξινου ορού, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Παραδοσιακή διαδικασία (στράγγιση μέσω υφασμάτων σάκων)
2. Μέθοδοι που χρησιμοποιούν μηχανικούς διαχωριστές
3. Μέθοδοι που βασίζονται σε διαχωρισμό με μεμβράνη

1.2.1 Μέθοδοι που χρησιμοποιούν μηχανικούς διαχωριστές

Το στραγγιστό γιαούρτι έχει παραχθεί με επιτυχία σε βιομηχανική κλίμακα χρησιμοποιώντας μηχανικούς διαχωριστές (Tamime και Marshall, 1997). Ο Salji και άλλοι (1987) ανέφεραν ότι χρησιμοποιούν αυτήν τη μέθοδο για παραγωγή του σε εργοστασιακή κλίμακα στη Σαουδική Αραβία. Αυτή η διαδικασία απαιτεί ένα ακροφύσιο ή έναν διαχωριστή Quarg. Τα σφαιρίδια λίπους στο πλήρες γάλα θα φράξουν τα ακροφύσια διαχωρισμού, επομένως μόνο αποβουτυρωμένο γάλα θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε αυτήν τη μέθοδο παραγωγής γιαουρτιού. Ωστόσο, οι πρόσφατες εξελίξεις στον σχεδιασμό του φυγοκεντρικού διαχωριστή κατέστησαν δυνατή τη δημιουργία γιαουρτιού από ζυμωμένο πλήρες γάλα (Tamime, 2003). Η χρήση της φυγοκέντρωσης για τη συμπύκνωση του γιαουρτιού είναι μια διαδικασία δύο σταδίων. Αρχικά, το γάλα ζυμώνεται μέχρι να φτάσει στο κατάλληλο επίπεδο οξύτητας (pH 4,6-4,8). Μετά την οξίνιση, το αποβουτυρωμένο γάλα που έχει υποστεί ζύμωση αναδεύεται με δύναμη, θερμαίνεται στους 55–60 °C για να απενεργοποιηθεί η καλλιέργεια και να ρυθμιστεί το επίπεδο οξύτητας και στη συνέχεια ψύχεται στους 40 °C. Πριν εισέλθει στον φυγοκεντρικό διαχωριστή, το γάλα που έχει υποστεί ζύμωση απαερώνεται για 15–20 λεπτά για να διευκολυνθεί ο διαχωρισμός του ορού γάλακτος και αφαιρούνται τυχόν μεγάλοι θρόμβοι ή σβώλοι περνώντας το προϊόν ζύμωσης μέσα από ένα μεταλλικό κόσκινο. Το πήγμα στον διαχωριστή συμπυκνώνεται στο απαιτούμενο επίπεδο ολικών στερεών. Το προϊόν που βγαίνει από το διαχωριστή αναμιγνύεται με οποιαδήποτε πηγή λίπους ή κρέμας για να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο λίπους στο τελικό προϊόν. Μετά την ψύξη, συσκευάζεται (Tamime, 2003). Η δυναμικότητα ενός τέτοιου φυγοκεντρικού διαχωριστή μπορεί να φτάσει έως και τους 6,5 τόνους την ώρα (Tamime, 2003). Σύμφωνα με τους Dagher και Ali-Ghariebeh (1985), οι

οργανοληπτικές ιδιότητες του συμπυκνωμένου γιαουρτιού labneh που παράγονται με φυγοκέντρηση για 5 λεπτά σε διάφορες ταχύτητες μεταξύ 4.000 και 11.700 g ήταν συγκρίσιμες με εκείνες των δειγμάτων ελέγχου που παράγονται με τη συμβατική μέθοδο.

1.2.2 Μέθοδοι που βασίζονται σε διαχωρισμό του ορού με μεμβράνη

Στον τομέα του γιαουρτιού, οι τεχνικές μεμβράνης, ιδιαίτερα η υπερδιήθηση (UF), έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία τα τελευταία 20 έως 25 χρόνια. Επίσης ερευνάται η παραγωγή στραγγιστού γιαουρτιού με αντίστροφη ώσμωση (RO). Ωστόσο, παλαιότερη επιστημονική έρευνα έδειξε ότι η χρήση RO για την παραγωγή συμπυκνωμένου γιαουρτιού είχε ως αποτέλεσμα δομές που ήταν πιο αδύναμες και δεν είχαν χαρακτηριστικά συγκρίσιμα με εκείνα του συμπυκνωμένου γιαουρτιού που παρήχθη χρησιμοποιώντας τη συμβατική προσέγγιση (Özer και Robinson 1999). Δύο διακριτές μέθοδοι UF έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή συμπυκνωμένου γιαουρτιού:

(α) η ζύμωση του συμπυκνωμένου με UF γάλακτος με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε στερεά (El-Samragy και Zall, 1988; Valencia et al 2018) και

(β) UF του γιαουρτιού στους 40–50 °C (Tamime et al 1991) για να παραχθεί ένα συμπυκνωμένο προϊόν με τα επιθυμητά συνολικά στερεά (Tamime και Robinson, 2007).

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η μέθοδος της συμπύκνωσης του γάλακτος πριν τη ζύμωσή του δεν επιτρέπεται με βάση την Ελληνική νομοθεσία εάν αυτή δεν συνοδεύεται και από στράγγιση του πηγματος.

Αρκετές επιστημονικές μελέτες εξέτασαν τη μικροδομή και τις ρεολογικές παραμέτρους του συμπυκνωμένου γιαουρτιού που παράγεται από αυτές τις δύο τεχνικές (Tamime, et al 1989a,b; Özer et al 1998). Τα στραγγιστά γιαούρτια που παράγονται με υπερδιήθηση (UF) του γάλακτος είχαν άκαμπτη δομή, μειωμένη συνεκτικότητα και υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και λίπος (Uduwerella et al 2018). Η χρήση συνδυασμένης υπερδιήθησης (UF) και στραγγίσματος οδήγησε σε γιαούρτια με επιθυμητά χαρακτηριστικά δομής και σημαντική μείωση της παραγωγής όξινου ορού (AW). Άλλοι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το

συμπυκνωμένο γιαούρτι που δημιουργήθηκε από συμπύκνωση του γάλακτος με UF ήταν σημαντικά πιο σφιχτό από το γιαούρτι που παρασκευάστηκε χρησιμοποιώντας τη συμβατική μέθοδο ή μόνο UF (Tamime et al 1989a). Όμως, λόγω της αυξημένης περιεκτικότητας σε ασβέστιο, υπάρχει κίνδυνος πικρής γεύσης στο τελικό προϊόν εάν το γάλα συμπυκνωθεί με υπερδιήθηση πριν από την παραγωγή γιαουρτιού (Özer, 2006). Αντίθετα, χαρακτηριστικά όπως η ελαστικότητα, η ακαμψία και η δομή του στραγγιστού γιαουρτιού που παράγεται από UF γιαουρτιού είναι ίδια με εκείνα του παραδοσιακού προϊόντος (Tamime 2003). Από την άλλη μεριά, το φράξιμο των πόρων της μεμβράνης UF εμποδίζει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της υπερδιήθησης γιαουρτιού (Valencia et al 2018). Μετά την περίοδο ζύμωσης, το γιαούρτι θερμαίνεται στους 58-60 °C για 3 λεπτά σε πλακοειδή εναλλάκτη θερμότητας για να απενεργοποιηθεί η καλλιέργεια και να ελεγχθεί το επίπεδο οξύτητας. Στη συνέχεια, το γιαούρτι ψύχεται στους 40 °C, συμπυκνώνεται σε μονάδα UF δύο έως τεσσάρων σταδίων (ανάλογα με τον επιθυμητό βαθμό συμπύκνωσης), ψύχεται σε πλακοειδή εναλλάκτη ψύξης περίπου στους 20 °C και στη συνέχεια συσκευάζεται (Nsabimana et al 2005). Ο Özer και οι συνεργάτες του (1998) και ο Tamime και οι συνεργάτες του (1989a,b) αναφέρουν ότι οι εφαρμογές UF μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βιομηχανική εναλλακτική λύση στη συμβατική μέθοδο παρασκευής γιαουρτιού που περιλαμβάνει στράγγισμα. Αρκετές μελέτες που διερεύνησαν τη ρεολογία του συμπυκνωμένου γιαουρτιού που παράγεται με μια ποικιλία τεχνικών για την αύξηση των συνολικών στερεών κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, σε σύγκριση με άλλες τεχνικές (όπως RO και άμεσος ανασυνδυασμός), η UF του γιαουρτιού παράγει ιδιότητες πηκτής που είναι παρόμοιες με εκείνες του συμβατικού προϊόντος (Özer et al 1998). Άλλα πλεονεκτήματα της UF έναντι των συμβατικών μεθόδων περιλαμβάνουν 10% αύξηση στην απόδοση, 25% μείωση του χρόνου επεξεργασίας, μείωση του αφρού και απλή αυτοματοποίηση και διαχείριση των διεργασιών (Özer, 2006). Λόγω όλων αυτών των πλεονεκτημάτων, μια ποικιλία από εγκαταστάσεις UF είναι διαθέσιμες για τη μεγάλης κλίμακας παρασκευή στραγγιστού γιαουρτιού (Robinson και Tamime, 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Όξινος ορός

Ο ορός γάλακτος είναι η φάση ή το υγρό που μένει μετά την αφαίρεση του λίπους και της καζεΐνης. Αποτελείται κυρίως από διαλυτά συστατικά, όπως η λακτόζη, τα διαλυτά άλατα και οι σφαιρικές πρωτεΐνες (Chandrapala et al., 2016a). Κατά μέσο όρο, το κλάσμα ορού γάλακτος περιέχει περίπου το 55% των θρεπτικών συστατικών του γάλακτος, συμπεριλαμβανομένου του 20% της συνολικής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και του 85 έως 95% του όγκου της αρχικής ποσότητας γάλακτος (Walsh, 2014). Συμβατικά, ο ορός γάλακτος κατηγοριοποιείται ως όξινος ορός γάλακτος ή γλυκός ορός γάλακτος ανάλογα με τις συνθήκες παραγωγής του (Ryan and Walsh, 2016).

Ο όξινος ορός γάλακτος είναι το υποπροϊόν της όξινης πήξης του γάλακτος. Για αυτήν απαιτείται είτε η δράση των οξυγαλακτικών μικροοργανισμών μέσω της ζύμωσης της λακτόζης προς παραγωγή γαλακτικού οξέος είτε η προσθήκη οργανικών οξέων όπως το κιτρικό, το οξικό ή γαλακτικό οξύ, είτε τα ανόργανα οξέα όπως το υδροχλωρικό ή το θειικό οξύ (Ryan and Walsh, 2016). Με άλλα λόγια, ο όξινος ορός γάλακτος είναι υποπροϊόν της παρασκευής τυριών όπως το Cottage και του στραγγιστού γιαουρτιού καθώς και των καζεϊνικών αλάτων. Με την αύξηση της παραγωγής στραγγιστού γιαουρτιού και τυριού τύπου cottage, ο γαλακτοκομικός τομέας βρίσκεται υπό πίεση να ανακαλύψει δημιουργικές τεχνολογίες για τη βιώσιμη ανακύκλωση του όξινου ορού γάλακτος (Zotta et al., 2020).

Τα τελευταία χρόνια, η ποσότητα του όξινου ορού που παράγεται έχει αυξηθεί λόγω της αυξημένης παραγωγής στραγγιστού γιαουρτιού παγκοσμίως. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η ζήτηση στις Ηνωμένες Πολιτείες για στραγγιστό γιαούρτι, γνωστό ως Greek Yoghurt ή Greek Style Yoghurt, έχει αυξηθεί από το 2009, καθώς οι καταναλωτές που προσέχουν την υγεία τους αναζητούν τρόφιμα με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και χαμηλά λιπαρά (Watson, 2014; Newhart, 2018). Επί του παρόντος, το στραγγιστό γιαούρτι αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 50% της αγοράς του γιαουρτιού των Ηνωμένων Πολιτειών και ήταν το πιο δημοφιλές γιαούρτι που αγοράστηκε το 2019 (Mintel, 2019).

Κατά την παρασκευή του στραγγιστού γιαουρτιού, 100 μονάδες γάλακτος μετατρέπονται σε 33 μονάδες γιαουρτιού και 67 μονάδες όξινου ορού γιαουρτιού (Watson, 2014; Erickson, 2017). Στις Ηνωμένες Πολιτείες το 2015, παρήχθησαν 771.000 τόνοι στραγγιστού γιαουρτιού και περίπου 1,5 εκατομμύριο τόνοι όξινου ορού γιαουρτιού (Erickson, 2017). Κατά την παρασκευή τυριού με όξινη πήξη, 1 κιλό τυριού αποδίδει 10 λίτρα όξινου ορού (Mollea et al., 2013). Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει τη μεγαλύτερη αγορά τυριού στον κόσμο και, ως εκ τούτου, παράγει μεγάλη ποσότητα όξινου ορού γάλακτος. Η ετήσια παραγωγή όξινου ορού γάλακτος μόνο από τυρί στην Ευρωπαϊκή Ένωση εκτιμάται σε 40 εκατομμύρια τόνους (Zotta et al., 2020). Επιπλέον, η κατανάλωση των τυριών τύπου cottage στη γαλακτοβιομηχανία της βόρειας Αμερικής αναμένεται να αυξηθεί καθώς η ζήτηση για σνακ υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες και νέα γαλακτοκομικά προϊόντα συνεχίζει να αυξάνεται (Newhart, 2019; Tricoles, 2019). Συνεπώς, η αυξανόμενη ζήτηση για αυτά τα αγαθά δημιουργεί μια αφθονία όξινου ορού γάλακτος που πρέπει να απορριφθεί ή να επαναχρησιμοποιηθεί.

2.1 Σύσταση όξινου ορού γάλακτος

Ο όξινος ορός γάλακτος, ο οποίος περιέχει λειτουργικές πρωτεΐνες και πεπτίδια, λακτόζη, λιπίδια, βιταμίνες και μέταλλα, αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως χρήσιμο παραπροϊόν της γαλακτοβιομηχανίας (Bylund, 2015). Η σύνθεσή του ποικίλλει ανάλογα με διάφορες μεταβλητές, όπως η προέλευση του γάλακτος, ο τύπος του τυριού ή του γιαουρτιού που παράγεται και η θερμική επεξεργασία του γάλακτος (Lucas et al., 2006). Εποχιακά, η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη του όξινου ορού που συλλέγεται από την ίδια πηγή υπό τις ίδιες συνθήκες επεξεργασίας μπορεί να ποικίλλει (Lievore et al., 2015). Ομοίως, ο όξινος ορός γάλακτος από στραγγιστό γιαούρτι (ΟΟΓ) και από τυρί τύπου Cottage (ΟΟΤ) διαφέρουν ως προς τη σύνθεση. Ο ΟΟΓ συνήθως περιέχει λιγότερη τέφρα, ολικά στερεά, λακτόζη και γαλακτικό οξύ, και επομένως έχει υψηλότερη οξύτητα από τον ΟΟΤ, αν και ο ΟΟΤ συνήθως περιέχει περισσότερη πρωτεΐνη. Το λιπιδικό τους προφίλ, όμως, είναι σε μεγάλο βαθμό το ίδιο.

Πίνακας 2.1 Σύγκριση φυσικοχημικής σύστασης (%) γλυκού και όξινου ορού (Blaschek et al., 2007)

Συστατικό/ pH	Γλυκός Ορός	Όξινος Ορός
pH	6-6,5	3,5-4,5
Ολική πρωτεΐνη	0,65-0,96	0,37-0,65
Λακτόζη	3,9-4,8	4,2-4,9
Γαλακτικό οξύ	0,05	0,6-0,7

Γενικά, ο όξινος ορός γάλακτος έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση λακτόζης από τον γλυκό ορό γάλακτος. Η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα σε οξύ και γλυκό ορό γάλακτος είναι επίσης διακριτή. Σημαντικά περισσότερο ασβέστιο, φώσφορο, ψευδάργυρο και χαλκό υπάρχουν στον όξινο ορό γάλακτος. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές στο κάλιο, το αργίλιο, το μαγνήσιο, το μαγγάνιο, το νάτριο και το βόριο μεταξύ του γλυκού και του όξινου ορού γάλακτος. Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου και φωσφόρου στον όξινο ορό γάλακτος (σε ξηρή βάση) αναφέρονται ότι είναι 1,12% και 1,78%, αντίστοιχα (Menchik et al., 2019). Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η σύσταση του όξινου και του γλυκού ορού του γάλακτος, ενώ στον Πίνακα 2.2. παρουσιάζεται η σύσταση του ΟΟΓ και του ΟΟΤ.

Τέλος, όσον αφορά τη σύσταση του ΟΟΓ αυτή φαίνεται ότι επηρεάζεται από τη μέθοδο παραγωγής του, δηλαδή από την παραδοσιακή στράγγιση ή την φυγοκέντρωση ή την υπερδιήθηση του αρχικού γιαουρτιού, καθώς και από το είδος του γάλακτος, σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη των Καρέλα και συνεργάτες (2022).

Πίνακας 2.2. Μέση φυσικοχημική σύσταση (%) και BOD και COD τιμές ορού από στραγγιστό γιαούρτι και τυρί Cottage (Menchik et al., 2018)

Συστατικό	Ορός γιαουρτιού	Ορός τυριού Cottage
Νερό	94,23	93,08
Ολική πρωτεΐνη	0,17-0,37	0,17-0,51
α-La	0,017-0,077	0,022-0,071
β-Lg	0-0,02	0,083-0,211
Λακτόζη	3,33-3,5	1,99-2,13
Τέφρα	0,64-0,75	0,33-0,42
Ασβέστιο	0,12-0,128	0,068-0,071
Φώσφορος	0,067-0,069	0,046-0,049
pH	4,21-4,48	4,35-4,41
BOD mg/L	45,8-50,5	32,7-40
COD mg/L	52,4 -64,4	31,9-40

2.2 Εφαρμογές και χρήσεις του όξινου ορού

Ο όξινος ορός γάλακτος έχει υψηλό BOD, που κυμαίνεται από 52.400 έως 62.400 mg/L για τον όξινο ορό από στραγγιστό γιαούρτι και 31.900 έως 40.000 mg/L για όξινο ορό από τυρί, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη διάθεση του στο περιβάλλον χωρίς να καταστρέφονται τα γύρω οικοσυστήματα (Menchik et al., 2019). Επίσης, η υψηλή συγκέντρωση φωσφορικού ασβεστίου στον όξινο ορό προκαλεί εκτεταμένη ρύπανση του εξοπλισμού. Οι δυσκολίες που σχετίζονται με την απόρριψη του όξινου ορού γάλακτος εμποδίζουν την αξιοποίησή του και απαιτείται πρόσθετη έρευνα για τον εντοπισμό βιώσιμων εφαρμογών για αυτό το άφθονο παραπροϊόν.

Η κυριότερη επεξεργασία του ΟΟΓ είναι η κονιοποίησή του με σκοπό τη μεγαλύτερη διατηρησιμότητα των συστατικών του και τελικά τη χρήση του στη βιομηχανία τροφίμων. Όμως, η παρουσία του γαλακτικού οξέος και των μετάλλων, συστατικά τα οποία έχουν αυξημένη συγκέντρωση στον ΟΟΓ, δημιουργούν το πρόβλημα του κολλώδους στη σκόνη κατά τη

διαδικασία ξήρανσης και αυξάνουν την υγροσκοπικότητά της κατά την αποθήκευσή της. Η ξήρανσή του με ψεκασμό είναι δυνατή εάν εξουδετερωθεί ή εάν εφαρμοστούν πρόσθετα (Bylund, 2015), αλλά έχουν γίνει και έρευνες για τη μείωση του γαλακτικού οξέος και τη μερική αφαλάτωσή του με χρήση νανοδιήθησης ή ηλεκτροδιαπίδωσης ή ρητίνων ανταλλαγής ιόντων (Chandrapala et al. 2018; Chen et al. 2016; Horpe & Higgins, 1992), όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας μελέτης.

Η πιο διαδεδομένη χρήση του όξινου ορού γάλακτος είναι στη γεωργία. Ο όξινος ορός γάλακτος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα που είτε αναμειγνύεται με κοπριά είτε εφαρμόζεται απευθείας στο έδαφος (Ketterings et al. 2017). Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής στο έδαφος, οι συνθήκες του εδάφους, το μείγμα, ο ρυθμός εφαρμογής και το pH του όξινου ορού γάλακτος θα πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς (Ketterings et al., 2017). Ωστόσο, η χρήση του όξινου ορού γάλακτος ως λίπασμα πρέπει να περιοριστεί λόγω του κινδύνου απορροής. Επίσης, ο όξινος ορός γάλακτος γενικά έχει χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία ροφημάτων με σημαντικά οφέλη για την υγεία (Zotta et al. 2020), ενώ ο ΟΟΓ έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων, στη γεωργία και στη φαρμακευτική βιομηχανία (Wherry et al. 2019; Zotta et al. 2020), ενώ ο ΟΟΤ έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή λειτουργικών ποτών και βιοσυσκευασιών (Zotta et al., 2020).

2.2.1 Εφαρμογές σε ροφήματα με ζύμωση γάλακτος

Η χρήση όξινου ορού γάλακτος για την παραγωγή ροφημάτων γάλακτος παρόμοια με το γιαούρτι είναι εφικτή. Η ξινή και αλμυρή γεύση του όξινου ορού γάλακτος είναι το κύριο εμπόδιο στη χρήση του σε τρόφιμα (Lievore et al., 2015). Επιπλέον, ο όξινος ορός γάλακτος δεν είναι τυποποιημένο προϊόν και οι διαφορές στη σύνθεσή του ενδέχεται να αλλάξουν την οσμή, τη γεύση και την επίγευση του τελικού προϊόντος (Villarreal, 2017). Εάν η δυσάρεστη γεύση του όξινου ορού γάλακτος μπορεί να κρυφτεί από άλλες ουσίες, όπως εκχυλίσματα φρούτων και γλυκαντικά, η χρήση του όξινου ορού γάλακτος σε μαγειρικές εφαρμογές θα μπορούσε να αυξηθεί (Villarreal, 2017). Ο Lievore και οι συνεργάτες του (2015) αντικατέστησαν όλο το νερό στην αρχική συνταγή ενός εμπορικού ροφήματος γάλακτος που έχει υποστεί ζύμωση με όξινο

ορό από την παραγωγή τυριού τύπου Petit Suisse. Πρόσθεσαν σιρόπι σακχαρόζης, άρωμα εσπεριδοειδών και χυμό πορτοκαλιού στη συνταγή τους για να καλύψουν το άρωμα που παράγεται κατά τη βασική ζύμωση. Η προσθήκη αυτών των αρωματικών ενώσεων συνιστάται για την εξουδετέρωση των βλαβερών επιπτώσεων της προσθήκης όξινου ορού και της μείωσης του χρόνου ζύμωσης στην οργανοληπτική ποιότητα του τελικού προϊόντος. Αν και στη συγκριτική δοκιμή κανένα δείγμα δεν κρίθηκε "καλύτερο από το πρότυπο", το τεστ αποδοχής αποκάλυψε ότι το 90% των συμμετεχόντων αποδέχτηκε το πειραματικό προϊόν και περίπου το 54% όσων συμμετείχαν στην αισθητηριακή αξιολόγηση "θα το αγόραζαν σίγουρα". Η εμπορική χρήση του όξινου ορού γάλακτος ως αντικατάσταση του νερού στην παραγωγή θα μπορούσε να ελαχιστοποιήσει τη χρήση νερού, να συντομεύσει τον χρόνο ζύμωσης και να παράγει ένα πιο θρεπτικό προϊόν (Lievore et al., 2015). Αντίθετα, η Villarreal (2017) χρησιμοποίησε σε αναψυκτικό με βάση το γιαούρτι και γεύση μάνγκο ΟΟΓ μαζί με σταθεροποιητές. Σε αυτή τη μελέτη, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ του δείγματος με προσθήκη ΟΟΓ και του δείγματος με προσθήκη νερού όσον αφορά τη δοκιμή προτίμησης και το σύνολο της βαθμολογίας στην αισθητηριακή αξιολόγηση. Ωστόσο, τα πρόσθετα γεύσης μπορεί να κρύβουν την ξινή και αλμυρή γεύση του ΟΟΓ (Villarreal, 2017). Σε μια ξεχωριστή δοκιμή χωρίς πρόσθετα αρώματα, με χρήση όμως ΟΟΤ, η γεύση του προϊόντος άλλαξε από δύο καλλιέργειες εκκίνησης: *Lactobacillus acidophilus LA-5* και *Bifidobacterium animalis ssp. lactis Bb-12* (Skryplonek et al., 2015; Skryplonek et al., 2019). Όλα τα δείγματα είχαν έντονα ξινή γεύση, σύμφωνα με την αισθητηριακή αξιολόγηση, ωστόσο το *L. acidophilus LA-5* εμφάνισε ανώτερα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά από το *B. animalis Bb-12*. Κατά τη διάρκεια των τριών εβδομάδων αποθήκευσης, παρατηρήθηκε μείωση της γεύσης και του αρώματος σε όλα τα δείγματα. Πρόσφατα, οι Ζοΐδου και συνεργάτες (2023) παρασκεύασαν πόσιμο γιαούρτι τύπου Αριάνι αντικαθιστώντας 100% και 50% το νερό ως μέσον αραιώσης. Τα νέα προϊόντα είχαν πλουσιότερη σύσταση σε πρωτεΐνη και ολικά στερεά και παρουσίασαν μειωμένη αποβολή ορού σχετικά με το προϊόν που είχε αραιωθεί με νερό.

Κατά την προσθήκη όξινου ορού γάλακτος για την παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση με τις ίδιες ιδιότητες με τα υπάρχοντα προϊόντα, μια αλλαγή στην υφή είναι ένα άλλο πρόβλημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Ο Lievore και οι συνεργάτες του

(2015) ανακάλυψαν ότι το χαμηλό ιξώδες του ζυμωμένου γαλακτοκομικού προϊόντος τους με όξινο ορό τυριού τύπου Petit Suisse επηρέασε σοβαρά τα επίπεδα προτίμησης του προϊόντος. Η αντικατάσταση του γάλακτος από όξινο ορό μπορεί να οδηγήσει σε προϊόντα με μειωμένο ιξώδες. Οι Skryplonek και Jasiska (2015) ανέμιξαν τον όξινο ορό του τυριού Twaróg με γάλα σε αναλογία 1:1 για να δημιουργήσουν ένα προϊόν γάλακτος που έχει υποστεί ζύμωση παρόμοιο με το γιαούρτι. Ωστόσο, λόγω του φαινομένου του διαχωρισμού του ορού, τα προϊόντα τους κέρδισαν κακή βαθμολογία για την εμφάνιση. Η συνοχή ενός προϊόντος γάλακτος που έχει υποστεί ζύμωση εξαρτάται από την παραγωγή του πήγματος του καζεΐνης (Lievore et al., 2015). Λόγω της σχεδόν απουσίας καζεΐνης στον όξινο ορό, η αντικατάσταση μιας μερίδας του γάλακτος με όξινο ορό γάλακτος μειώνει την αντοχή και το ιξώδες της πηκτής (Skryplonek and Jasiska, 2015). Για να βελτιωθεί η υφή του προϊόντος, ο Skryplonek και οι συνεργάτες του (2019) είτε αντικατέστησαν το 25% του γάλακτος με συμπυκνωμένο γάλα είτε πρόσθεσαν 5% (w/w) αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη. Μια άλλη μελέτη διαπίστωσε ότι η προσθήκη σταθεροποιητή 0,4% είχε ως αποτέλεσμα προϊόντα με υψηλό ιξώδες και 100% ικανότητα συγκράτησης νερού για όλα τα δείγματα που δοκιμάστηκαν (Villarreal, 2017). Επιπλέον, η μελέτη αποκάλυψε ότι η ομογενοποίηση μετά τη ζύμωση θα μπορούσε να βελτιώσει τη φυσική σταθερότητα του προϊόντος και να δημιουργήσει μια πιο ευχάριστη αίσθηση στο στόμα. Κατά τη σύνθεση των γαλακτοκομικών προϊόντων που έχουν υποστεί ζύμωση με συμπλήρωμα ορού γάλακτος, η συμπερίληψη ενός σταθεροποιητή, η διαδικασία ομογενοποίησης και το είδος του ροφήματος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εξουδετέρωση των επιπτώσεων της αλλαγής της υφής.

2.2.2 Χρήση όξινου ορού γάλακτος για καλλιέργεια μικροοργανισμών

Η χρήση όξινου ορού γάλακτος για την καλλιέργεια μικροοργανισμών είναι μια πρόσθετη επιλογή γιατί όχι μόνο μειώνει το BOD του όξινου ορού κατά 90 έως 95%, αλλά δημιουργεί επίσης βιοσυστατικά με προστιθέμενη αξία για τη βιομηχανία τροφίμων. Η μικροδιήθηση χρησιμοποιήθηκε για το φιλτράρισμα και την απολύμανση του όξινου ορού γάλακτος με σκοπό την καλλιέργεια διαφόρων στελεχών ζύμης (Dudkiewicz et al., 2016) και η βιομάζα από οξυγαλακτικά βακτήρια που καλλιεργήθηκαν έχει πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία τροφίμων και φαρμακευτικών προϊόντων.

Λίγες μελέτες έχουν εξετάσει τη χρήση όξινου ορού γάλακτος για την παραγωγή βιομάζας. Ο Mondragón-Parada και οι συνεργάτες του (2006) διαπίστωσαν ότι ένα θρεπτικό μέσο με βάση τον όξινο ορό γάλακτος συμπληρωμένο με 30% χυμό ντομάτας και 1% εκχύλισμα μαγιάς μπορεί να αποδώσει συγκρίσιμη ποσότητα βιομάζας LAB με το θρεπτικό μέσο MRS. Επίσης, η παραγωγή βιομάζας οξυγαλακτικών βακτηρίων με τη χρήση όξινου ορού γάλακτος περιέχει συνήθως υψηλότερο επίπεδο οξύτητας και συγκέντρωση αλάτων, καθώς και χαμηλότερη συγκέντρωση λακτόζης και πρωτεΐνης, σε σύγκριση με τον γλυκό ορό γάλακτος (Alsaed et al., 2013).

2.2.3 Χρήση όξινου ορού γάλακτος για την παραγωγή βιοκαυσίμων

Ο όξινος ορός γάλακτος μπορεί επίσης να υποστεί αναερόβια επεξεργασία για την παραγωγή εύφλεκτου καυσίμου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας (Erickson, 2017).

Μεταξύ των βιοπροϊόντων που μπορούν να προκύψουν από τη ζύμωση είναι η αιθανόλη, τα οργανικά οξέα, το βιοαέριο (μεθάνιο), το υδρογόνο, τα αμινοξέα και οι βιταμίνες (Guimaraes et al., 2010). Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η λακτόζη καταναλώνεται απευθείας ως πηγή άνθρακα από βακτήρια που παράγουν χημικές ουσίες προστιθέμενης αξίας. Η παραγωγή αιθανόλης θεωρείται μια βιώσιμη μέθοδος για την αύξηση των κερδών από τα υποπροϊόντα επεξεργασίας ορού γάλακτος, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τόσο οينوπνευματωδών όσο και υγρών καυσίμων.

Η σύνθεση αιθανόλης από όξινο ορό γάλακτος είναι οικονομικά ανταγωνιστική σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Ωστόσο, για να επιτευχθεί καλύτερο αποτέλεσμα, ο όξινος ορός γάλακτος πρέπει να συμπυκνωθεί με υπερδιήθηση, αντίστροφη ώσμωση ή και με τα δύο. Ο Das και οι συνεργάτες του (2016) αναφέρουν ότι μικροοργανισμοί όπως οι *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces marxianus* και *Candida pseudotropicalis* έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό. Η ζύμη *Kluyveromyces marxianus* χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή αιθανόλης από την αναερόβια ζύμωση όξινου ορού. Μετά από 13 ώρες επώασης, επιτεύχθηκε το 97% της θεωρητικής απόδοσης (Sansonettil et al., 2009). Υπό αναερόβιες συνθήκες, η ζύμωση του όξινου ορού με *K. marxianus* σε θερμοκρασίες μεταξύ 33 και 38°C, pH μεταξύ 4,7 και 5,7 και

συγκεντρώσεις λακτόζης μεταξύ 50 και 108 g/L οδήγησε σε παραγωγή αιθανόλης 90% (Diniz et al., 2014).

2.2.4 Παραγωγή γαλακτοολιγοσακχαριτών

Οι γαλακτοολιγοσακχαρίτες (GOS) είναι υδατάνθρακες που δεν απορροφώνται από τον οργανισμό και αποτελούν συστατικά τροφίμων με ευεργετικές επιδράσεις στις φυσιολογικές λειτουργίες του οργανισμού. Αυτό σημαίνει ότι παρέχουν προστασία από μολύνσεις, μειώνουν τον αριθμό των δυνητικά παθογόνων βακτηρίων, βοηθούν στη υγιή λειτουργία του πεπτικού συστήματος, ενισχύουν την απορρόφηση ορισμένων ανόργανων στοιχείων και μειώνουν τη συγκέντρωση των λιπιδίων στο αίμα.

Οι περισσότερες έρευνες για τους γαλακτοολιγοσακχαρίτες (GOS) και την μέγιστη απόδοση τους πραγματοποιούνταν με τη χρήση ρυθμιστικών διαλυμάτων λακτόζης ως υπόστρωμα, πλέον παρατηρείται αύξηση στην διεξαγωγή ερευνών με υποπροϊόντα γαλακτοκομικών προϊόντων για την άμεση σύνθεση GOS, προκειμένου να αναπτυχθούν νέα γαλακτοκομικά προϊόντα εμπλουτισμένα με συστατικά υψηλής αξίας. Οι δομές των GOS είναι παρόμοιες με τους ολιγοσακχαρίτες που περιέχονται στο ανθρώπινο μητρικό γάλα και δρουν ως πρεβιοτικά.

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υποστρώματα, όπως ορός όξινης καζεΐνης και ορός γιαουρτιού από την παραδοσιακή παραγωγή ελληνικού γιαουρτιού και συμπυκνωμένο διάλυμα όξινου ορού γιαουρτιού για την εκτίμηση της ικανότητας τους στη σύνθεση GOS. Η αλλαγή του μέσου αντίδρασης για τη σύνθεση των GOS δεν είναι απλή, καθώς μπορεί να επηρεαστεί η αποτελεσματικότητα ή/και η σταθερότητα του ενζύμου, καθώς και η προδιάθεση για γαλακτοζυλίωση. Σε μια μελέτη, πραγματοποιήθηκε σύγκριση της ικανότητας γαλακτοζυλίωσης με εκείνη ενός εμπορικού παρασκευάσματος β-γαλακτοζιδάσης από *Aspergillus oryzae*. Με τη χρήση του *C. laurentii* λήφθηκαν υψηλές αποδόσεις σε GOS 34,6-36,1% σε όξινο ορό γιαουρτιού, ενώ η απόδοση με τον *A. oryzae* κυμάνθηκε μεταξύ 8,8- 19,6%. Ωστόσο, συχνά είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί μια άμεση σύγκριση μεταξύ ορού γάλακτος ή γάλακτος και ρυθμιστικού διαλύματος, καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορετικές αρχικές συγκεντρώσεις λακτόζης.

2.2.5 Άλλες χρήσεις του όξινου ορού

Ο όξινος ορός από συμπυκνωμένο γιαούρτι labneh, όταν συμπυκνωθεί με συμπυκνωτή κενού είναι πλούσιος σε θρεπτικά συστατικά και μπορεί να αντικαταστήσει τη ζάχαρη σε είδη αρτοποιίας και ζαχαροπλαστικής (Alsaed et al., 2012). 50 γραμμάρια συμπυκνωμένου όξινου ορού γάλακτος παρείχαν 114%, 34%, 25%, 22%, 20% και 18% της ημερήσιας αξίας για νάτριο, ψευδάργυρο, χαλκό, ασβέστιο, μαγνήσιο και κάλιο αντίστοιχα. Για τη χρήση σε προϊόντα αρτοποιίας, η λακτόζη του όξινου ορού μπορεί να υδρολυθεί χρησιμοποιώντας ακινητοποιημένη γαλακτοσιδάση, η οποία είναι πιο γλυκιά και πιο διαλυτή από τη λακτάση. Αυτή η δράση αυξάνει τη γλυκύτητα, τη διαλυτότητα και μειώνει τη διάρκεια της ζύμωσης του προϊόντος. Αυτή η χρήση μπορεί να επεκταθεί ώστε να συμπεριλάβει την ενσωμάτωση όξινου ορού γάλακτος σε είδη ζαχαροπλαστικής για ενισχυμένα αισθητηριακά χαρακτηριστικά, καθώς και σε διάφορες ζυμώσεις. Επιπλέον, λιγότερα μικρόβια είναι ικανά να χρησιμοποιούν τη λακτόζη ως πηγή άνθρακα σε σύγκριση με αυτά που μπορούν να μεταβολίσουν τη γλυκόζη και τη γαλακτόζη (González Siso, 1996). Ως εκ τούτου, η χρήση ορού γάλακτος με υδρολυμένη λακτόζη σε βιοδιεργασίες μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο βιώσιμη και μικροβιακά πλούσια ζύμωση ικανή να δημιουργήσει μεταβολίτες που είναι σημαντικά πιο διαφορετικοί και άφθονοι από τον όξινο ορό γάλακτος που δεν έχει υδρολυθεί (Coté et al., 2004).

Τέλος, πρόσφατα έχουν γίνει έρευνες με ενθαρρυντικά αποτελέσματα σχετικά με τη χρήση του ΟΟΓ σε εφαρμογές όπως η τρυφεροποίηση του κρέατος (Karageorgou et al. 2023) ή η ενσωμάτωσή του σε προϊόντα σάλτσας (Andreou et al. 2022) ή παγωτό γιαούρτι (Sakkas et al. 2023).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Επεξεργασία του όξινου ορού με μεμβράνες

Την τελευταία δεκαετία, έχει αυξηθεί η ζήτηση προϊόντων με υψηλή πρωτεϊνική περιεκτικότητα και χαμηλά λιπαρά με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης και της παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων όξινης πήξης, όπως το στραγγιστό γιαούρτι κ.α. (Rocha-Mendoza et al., 2021). Με την αύξηση της παραγωγής του στραγγιστού γιαουρτιού, αυξάνεται παράλληλα η ποσότητα του όξινου ορού που απορρίπτεται από τη βιομηχανία, καθώς για κάθε kg παραγόμενου προϊόντος στραγγιστού γιαουρτιού, απορρίπτονται περίπου 2-3 kg όξινου ορού (Erickson 2017), για παράδειγμα, κατά την παραγωγή οι 100 μονάδες γάλακτος μετατρέπονται σε 33 μονάδες γιαουρτιού και 67 μονάδες όξινου ορού (Rocha-Mendoza et al., 2021; Erickson, 2017).

Μέχρι πρότινος, ο όξινος ορός χαρακτηριζόταν ως απόβλητο και απορρίπτονταν στο περιβάλλον χωρίς να υποστεί κάποια επεξεργασία, κυρίως στο υδάτινο οικοσύστημα ή στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των αστικών λυμάτων (Smithers 2015). Σήμερα, η απόρριψη του όξινου ορού απαγορεύεται μέσω αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών εξαιτίας της μεγάλης ποσότητάς του και του υψηλού οργανικού φορτίου με την μορφή της λακτόζης, η οποία αποτελεί το κύριο στερεό συστατικό του. Η απόρριψη όξινου ορού στο περιβάλλον επηρεάζει αρνητικά και προκαλεί σοβαρά προβλήματα στη φυσική και χημική σύνθεση του εδάφους και στα ρεύματα νερού, όπου προκαλεί μείωση της ποσότητας οξυγόνου, για τους υδρόβιους οργανισμούς. Συγκεκριμένα, το υψηλό οργανικό φορτίο έχει ως συνέπεια ο όξινος ορός να παρουσιάζει υψηλό τόσο το μολυσματικό δείκτη Biological Oxygen Demand (B.O.D. >35000 ppm) όσο και το δείκτη Chemical Oxygen Demand (C.O.D. >60000 ppm) (Smithers 2015).

Λόγω της συνεχούς αύξησης της αυστηρότητας του περιβαλλοντικού κανονισμού για τα βιομηχανικά απόβλητα, οι γαλακτοβιομηχανίες έχουν οδηγηθεί στην εύρεση νέων τρόπων διαχείρισης του όξινου ορού, οι οποίες σχετίζονται με την αξιοποίηση των συστατικών του, τα οποία έχουν αξιόλογες φυσικές, χημικές, θρεπτικές και βιολογικές ιδιότητες (Smithers 2015). Για παράδειγμα, το Κέντρο Έρευνας Γαλακτοκομικών Προϊόντων στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin,

Madison, χρησιμοποίησε νανοδιήθηση για να συμπυκνώσει τη λακτόζη από τον όξινο ορό γάλακτος για μελλοντική χρήση ως γλυκαντικό (Erickson, 2017).

3.1 Τεχνολογία μεμβρανών

Η τεχνολογία μεμβράνης είναι μια μέθοδος διαχωρισμού που χρησιμοποιείται σε μόρια και ιόντα. Στη γαλακτοβιομηχανία εφαρμόζεται από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Η τεχνική είναι μία διεργασία διήθησης με μεμβράνη που βασίζεται στην πίεση επειδή το διάλυμα τροφοδοσίας ωθείται μέσω της μεμβράνης υπό πίεση. Οι μεμβράνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την κατακράτηση αλάτων σε αντίστροφη ώσμωση (RO) και νανοδιήθηση (NF), την αποκοπή μοριακού βάρους σε NF και υπερδιήθηση (UF) ή το διαχωρισμό με βάση το ονομαστικό μέγεθος πόρων σε μικροδιήθηση (MF).

Κατά τον διαχωρισμό δημιουργούνται δύο διαλύματα. Αυτό που περνάει μέσα από τη μεμβράνη το οποίο ονομάζεται "διήθημα" (filtrate ή permeate) και αυτό που απορρίπτεται από τη μεμβράνη το οποίο ονομάζεται κατακράτημα (retentate) ή "συμπύκνωμα" (concentrate). Ως εκ τούτου ανάλογα τη μεμβράνη, η τεχνολογία μεμβρανών εφαρμόζεται για τη συμπύκνωση διαλυμάτων με αφαίρεση νερού (RO), τη συμπύκνωση οργανικών συστατικών με αφαίρεση μέρους μονοσθενών ιόντων όπως νάτριο και χλώριο (NF), τη συμπύκνωση μακρομορίων, για παράδειγμα πρωτεϊνών (UF) και την απομάκρυνση βακτηρίων και διαχωρισμό μακρομορίων (MF).

3.2. Επεξεργασία όξινου ορού με μεμβράνες

Η μικροδιήθηση χρησιμοποιείται στην επεξεργασία του όξινου ορού κυρίως για την αφαίρεση του λίπους και τη μείωση του μικροβιακού φορτίου από τον ορό. Για την αφαίρεση των βακτηρίων χρησιμοποιούνται κεραμικές μεμβράνες μεγέθους 1,4 μm και 0,1 μm για την αφαίρεση του λίπους. Λόγω του μεγέθους των πόρων οι μεμβράνες MF φράζουν λόγω των επικαθίσεων συστατικών (fouling) πιο γρηγορά από άλλους τύπους μεμβρανών.

Η υπερδιήθηση χρησιμοποιείται κυρίως για τη συγκράτηση του λίπους και των πρωτεϊνών τα οποία αποτελούν το συμπύκνωμα, ενώ η λακτόζη μπορεί να απομονωθεί συνήθως από το διήθημα. Η νανοδιήθηση χρησιμοποιείται για τη μερική αφαλάτωση και μερική απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος πριν από την ξήρανση.

3.2.1 Νανοδιήθηση όξινου ορού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, σε σύγκριση με τον γλυκό ορό γάλακτος, ο όξινος ορός γάλακτος έχει χαμηλότερο pH και χαμηλότερες συγκεντρώσεις πρωτεΐνης και λακτόζης, αλλά περιλαμβάνει περισσότερο διαλυτό ασβέστιο και ιδιαίτερα περισσότερο γαλακτικό οξύ (Schmidt et al. 1984). Αυτές οι αλλαγές στη σύνθεση παρέχουν δυσμενείς συνθήκες για την κρυστάλλωση της λακτόζης, αποκλείοντας έτσι τη χρήση των τρεχουσών μεθόδων που εφαρμόζονται στην επεξεργασία του γλυκού ορού γάλακτος. Η συμπεριφορά της λακτόζης στον όξινο ορό γάλακτος φαίνεται να ρυθμίζεται από την παρουσία και τις ποσότητες του γαλακτικού οξέος και του ασβεστίου (Chandrapala et al. 2016b). Το γαλακτικό οξύ αναστέλλει την κρυστάλλωση της λακτόζης λόγω της μείωσης της θερμοκρασίας υαλώδους μετάπτωσης (Tg) της λακτόζης (Saffari and Langrish 2014). Κατά συνέπεια, κατά την αποθήκευση του όξινου ορού γάλακτος, ο κύριος όγκος της λακτόζης παραμένει στην άμορφη μορφή του, προκαλώντας σβώλους και σχηματισμό σωματιδίων σκόνης ορού γάλακτος.

Η διαδικασία της νανοδιήθησης (NF) επιτρέπει τη συγκέντρωση (έως 20-22 g/100 g ξηρής ουσίας) και την αφαλάτωση του όξινου ορού γάλακτος σε ένα στάδιο, μεταξύ 25 και 60% ή 90% με διαδιήθηση, με απώλειες λακτόζης που κυμαίνονται από 1 έως 6% (Kelly & Kelly, 1995). Η προεπεξεργασία του όξινου ορού γάλακτος, όπως η αφαλάτωση και η εξουδετέρωση της οξύτητας πραγματοποιούνται για να διευκολυνθεί η ξήρανση ή η συμπύκνωση και να μειωθεί η κολλώδης του συμπεριφορά. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτροδιαπίδωση ή νανοδιήθηση. Η ηλεκτροδιαπίδωση έχει αποδειχθεί ότι απομακρύνει ιόντα και γαλακτικό οξύ από τον ΟΟΓ σε υψηλότερα ποσοστά (67 και 44%, αντίστοιχα) από ότι η νανοδιήθηση (38 και 34%, αντίστοιχα). Ωστόσο, η ηλεκτροδιαπίδωση οδηγεί σε σημαντική μείωση της ζωής της μεμβράνης, υποδηλώνοντας ότι η νανοδιήθηση μπορεί να είναι μια καλύτερη μακροπρόθεσμη εναλλακτική λύση (Dufton et al., 2018; Sunkesule et al., 2019). Επιπλέον, η ανάκτηση ασβεστίου

και φωσφορικών από όξινο ορό γάλακτος όχι μόνο ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ρύπανσης του εξοπλισμού κατά την ξήρανση, αλλά παρέχει επίσης τη δυνατότητα συλλογής ανόργανων συστατικών γάλακτος για άλλες εφαρμογές (Almécija et al., 2009). Επίσης, οι Jeantet και συνεργάτες (1996), έχουν περιγράψει τα πλεονεκτήματα της επεξεργασίας με NF ενός σταδίου στην παρασκευή σκόνης όξινου ορού γάλακτος με ψεκασμό. Υπό το πρίσμα αυτό, δεν έχει ακόμη αναφερθεί μια ημι-βιομηχανική κλίμακα αυτών των ευρημάτων. Μερικοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει μοντέλα σε πιλοτική κλίμακα με νανοδιήθηση, εξατμιστές και ξήρανση με ψεκασμό, αλλά αυτά έχουν μικρή επιφάνεια μεμβράνης, χαμηλή ικανότητα εξατμίσσης νερού, κ.λπ., οπότε δεν είναι αντιπροσωπευτικά της κλίμακας της γαλακτοβιομηχανίας (Chandrapala et al., 2016c, 2017; Chen et al 2016). Οι Bedas και συνεργάτες χρησιμοποίησαν NF και ξήρανση με ψεκασμό του όξινου ορού σε ημι-βιομηχανική κλίμακα με αποτέλεσμα 30% μείωση της περιεκτικότητας σε γαλακτικό οξύ και μείωση μεταξύ 46% και 60% στα μονοσθενή ιόντα. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι φυσικοχημικές ιδιότητες σκόνης όξινου ορού χωρίς νανοδιήθηση (βασική επεξεργασία) και με νανοδιήθηση, ενώ στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζεται μία σύγκριση του ενεργειακού κόστους μεταξύ της σκόνης όξινου ορού με τη βασική επεξεργασία και της νανοδιηθημένης σκόνης όξινου ορού για την παραγωγή 1000 kg σκόνης από ορό με ξηρή ουσία (ξ.ο.) 5,9 g/100g και συμπυκνωμένη σε 17,1 g/100g ξ.ο με NF, σε 60 g/100g ξ.ο. με εξατμίσση υπό κενό και 97 g/100 g ξ.ο. με ξήρανση με ψεκασμό.

Οι Chandrapala και Vasiljevic (2017) παρατήρησαν ότι η ρύθμιση της συγκέντρωσης του γαλακτικού οξέος και του Ca σε συστήματα μοντέλων που περιέχουν λακτόζη βελτίωσε τα χαρακτηριστικά της κρυστάλλωσης της λακτόζης, με αποτέλεσμα να προκύψουν υψηλότερες αποδόσεις στις σκόνες που παράχθηκαν με ψεκασμό. Από αυτή την άποψη, η τεχνολογία μεμβρανών μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο ως μία από τις πιθανές λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αλλαγή της συγκέντρωσης των αλάτων και των οργανικών οξέων του όξινου ορού γάλακτος.

Πίνακας 3.1: Φυσικοχημικές ιδιότητες σκόνης όξινου ορού (AW) και σκόνης νανοδιηθημένου όξινου ορού (NF AW) (Bedas, et al 2017)

Ιδιότητα	Μονάδα	AW	NF AW
Ολική υγρασία	g/100g	8,2 ±0,4	6,4 ±0,3
Ελεύθερο νερό	g/100g	5,4 ±0,1	3,5 ±0,1
Δεσμευμένο νερό	g/100g	2,8 ±0,5	2,9 ±0,4
Αναλογία κρυστάλλωσης	g/100g (λακτόζης)	78 ±3	81 ±3
Ενεργότητα νερού	-	0,18 ±0,02	0,16 ±0,02
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης	°C	18 ±2	53 ±2
Υγροσκοπικότητα σε 40% σχετική υγρασία	g/100g	3,7 ±0,5	2,3 ±0,4
Υγροσκοπικότητα σε 80% σχετική υγρασία	g/100g	22,6 ±1,2	14,1 ±1,0
Κατανομή μεγέθους σωματιδίων d(0,5)	μm	184 ±10	190 ±8

Πίνακας 3.2: Σύγκριση του ενεργειακού κόστους μεταξύ σκόνης όξινου ορού (βασική επεξεργασία) και σκόνης από νανοδιηθημένο όξινο ορό με διαφορετικούς τρόπους συμπύκνωσης (Bedas et al 2017)

	Νερό που έχει αφαιρεθεί (kg)	Ενεργειακή κατανάλωση (kWh/kg νερού)	Συνολική ενέργεια (kWh)
<i>Σκόνη όξινου ορού</i>			
Εξάτμιση υπό κενό	902	0,116	104,6
Ξήρανση με ψεκασμό	37	1,46	54,0
Σύνολο	939	-	158,6
<i>Σκόνη νανοδιηθημένου όξινου ορού</i>			
Νανοδιήθηση	655	0,012	7,9
Εξάτμιση υπό κενό	247	0,11	28,7
Ξήρανση με ψεκασμό	37	1,46	54,0
Σύνολο	939	-	90,6

Σύμφωνα με μελέτη των Chandrapala et al. (2016a), νανοδιήθηση όξινου ορού από τυρί (αποτελούμενος από 0,58 % w/w γαλακτικό οξύ και 0,098 % w/w Ca με ρυθμισμένο pH 3) με χρήση μεμβράνης HL στους 40 °C απέρριψε το 50% του γαλακτικού οξέος μέσω της μεταφοράς του στο διήθημα (permeate) ενώ διατήρησε το 93% λακτόζη στο κατακράτημα. Επιπλέον, οι

Chandrapala et al. (2016c) διερεύνησαν διάφορους τρόπους για να μεγιστοποιήσουν τη μείωση του γαλακτικού οξέος με νανοδιήθηση/νανοδιαδιήθηση. Η εργασία υιοθέτησε ένα βασικό στάδιο προεπεξεργασίας, τη φυγοκέντρηση, μετά από ρύθμιση του pH. Η πρόκληση συμπλοκοποίησης του γαλακτικού οξέος και του Ca σε αλκαλικό pH που ακολουθείται από την απομάκρυνσή του με φυγοκέντρηση και την επακόλουθη αναπροσαρμογή του pH του προκύπτοντας υπερκειμένου σε pH 3, πριν από τη νανοδιήθηση, οδήγησε σε 66% αποβολή του γαλακτικού οξέος. Η σταδιακή προσαρμογή του pH κατά τη διάρκεια της νανοδιήθησης του όξινου ορού γάλακτος φαίνεται να είναι μια βιώσιμη μέθοδος για την αφαίρεση σημαντικών ποσοτήτων γαλακτικού οξέος, σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας.

Ο προσδιορισμός της βιωσιμότητας της ξήρανσης με ψεκασμό των κατακρατημάτων από νανοδιηθημένο όξινο ορό γάλακτος με διάφορες συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος και Ca ήταν το επίκεντρο έρευνας των Chandrapala και Vasiljevic (2017). Το pH των εξεταζόμενων συστημάτων όξινου ορού γάλακτος προσαρμόστηκε σε τρία διαφορετικά επίπεδα: pH 3,0, 4,5 και 7,3 προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της ρύθμισης του pH στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας ξήρανσης. Προηγούμενη έρευνα έδειξε ότι η ρύθμιση του pH είχε ως αποτέλεσμα ποικίλες μορφές και επιφανειακά χαρακτηριστικά των συστατικών του όξινου ορού γάλακτος (Chandrapala et al., 2015). Τα αποτελέσματα της μελέτης των Chandrapala και Vasiljevic (2017) έδειξαν ότι η παρουσία γαλακτικού οξέος και Ca σε ανομοιομορφες στοιχειομετρικές αναλογίες επηρεάζει τη ξήρανση του όξινου ορού γάλακτος με ψεκασμό και τη λήψη σκονών με τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά. Η ισχύς του στρώματος ενυδάτωσης που περιβάλλει τα μόρια λακτόζης, οι δομικές αλλαγές της λακτόζης και των μορίων πρωτεΐνης και η δημιουργία αλάτων γαλακτικού ασβεστίου, που περιορίζουν τη διάχυση της λακτόζης, είναι μεταξύ των πρωταρχικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα της διαδικασίας και τα χαρακτηριστικά των όξινων σκονών ορού γάλακτος. Αυτή η μελέτη έδειξε τη σημασία της ρύθμισης των αλληλεπιδράσεων λακτόζης-νερού-γαλακτικού οξέος-πρωτεΐνης στις απαιτούμενες στοιχειομετρικές αναλογίες προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η συμπεριφορά κρυστάλλωσης της λακτόζης. Για ξήρανση με ψεκασμό νανοδιηθημένου όξινου ορού γάλακτος με pH 4,5 που περιέχει 0,5% γαλακτικό οξύ, η διαλυτότητα της σκόνης είναι σε επίπεδα μεγαλύτερα του 70%.

ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Κεφάλαιο 4. Υλικά και μέθοδοι

4.1 Σκοπός της μελέτης

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είχε ως σκοπό να συγκρίνει τη συμπεριφορά διαφορετικών όξινων ορών γιαουρτιού κατά την επεξεργασία τους με εφαρμογή μεμβρανών και την τυχόν βελτίωση στη σύστασή τους.

4.2 Δειγματοληψία

Για τον σκοπό της μελέτης, χρησιμοποιήθηκε αγελαδινός όξινος ορός γιαουρτιού ο οποίος είχε παραχθεί είτε με στράγγιση του αρχικού γιαουρτιού με υπερδιήθηση (δείγματα BAWuf) είτε με φυγοκέντρηση (δείγματα BAWce) από δύο Ελληνικές γαλακτοβιομηχανίες. Επίσης χρησιμοποιήθηκε αγελαδινός (δείγματα BAWcb) και πρόβειος (δείγματα OAWcb) όξινος ορός γιαουρτιού ο οποίος παρήχθη στο Εργαστήριο Γαλακτοκομίας του ΓΠΑ κατά την παραγωγή στραγγιστού γιαουρτιού με την παραδοσιακή στράγγιση δηλαδή στράγγιση μέσω υφασμάτων σάκων. Τα αρχικά γιαούρτια παρασκευάστηκαν σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφονται από τους Moschoroulou and Moatsou (2017). Οι φρέσκοι οροί διατηρήθηκαν στην κατάψυξη στους -24°C μέχρι την επεξεργασία τους με τεχνολογία μεμβρανών.

4.3 Μικροδιήθηση του όξινου ορού γιαουρτιού

Πριν από κάθε νανοδιήθηση γινόταν μικροδιήθηση του όξινου ορού με σκοπό τον καθαρισμό του από λίπος και άλλα συστατικά όπως κύτταρα των μικροοργανισμών του γιαουρτιού τα οποία μπορούν να φράξουν τους πόρους της μεμβράνης νανοδιήθησης. Η μικροδιήθηση πραγματοποιήθηκε σε πιλοτική μονάδα φιλτραρίσματος με μεμβράνες MMS SW18 (MMS AG Membrane systems, Urdorf, Switzerland) χρησιμοποιώντας μια σωληνοειδή κεραμική μεμβράνη με μέγεθος πόρων $1.4\mu\text{m}$ και επιφάνεια 0.06m^2 (TAMI Industries, Z.A. Les Laurons, NYOS CEDEX, France) υπό σταθερή διαμεμβρανική πίεση (TMP) 1.94 bar στους $23-25^{\circ}\text{C}$. Η επεξεργασία διαρκούσε 15 λεπτά. Ύστερα από κάθε λειτουργία, η μεμβράνη καθαριζόταν με εκπλύσεις διαδοχικά με νερό για 20 λεπτά, 0.2% αλκαλικό απολυμαντικό διάλυμα (P3-hydrochloran,

ECOLAB) για 20 λεπτά, νερό για 10 λεπτά, 1% όξινο απολυμαντικό διάλυμα (P3-ultrasil 78, ECOLAB) για 25 λεπτά, νερό για 10 λεπτά, αλκαλικό διάλυμα για 20 λεπτά και νερό για 60 λεπτά. Πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές μικροδιήθησης για κάθε τύπο όξινου ορού χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές παρτίδες.

4.4 Νανοδιήθηση του όξινου ορού γιαουρτιού

Η νανοδιήθηση του μικροδιηθημένου όξινου ορού πραγματοποιήθηκε στην ίδια πιλοτική μονάδα χρησιμοποιώντας μια κεραμική μεμβράνη με αναφερόμενο μοριακό βάρος αποκοπής στα 250 Da, με πλάτος καναλιού 10 mm, μήκος 60 mm και επιφάνεια 0.01 m² (inopor®, Scheibitz, Germany). Η TMP ήταν στα 10 bar στους 23-25 °C. Η επεξεργασία διαρκούσε 2 ώρες και ακολούθως η μεμβράνη καθαριζόταν όπως περιεγράφηκε παραπάνω μετά τη μικροδιήθηση. Πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές νανοδιήθησης για κάθε τύπο όξινου μικροδιηθημένου ορού από τρεις διαφορετικές παρτίδες.

Η απόδοση του διαχωρισμού των στοιχείων του ορού με νανοδιήθηση αξιολογήθηκε όπως έχει προταθεί από τους Chandrapala et al. (2016c). Εν συντομία, η απόδοση του διαχωρισμού της πρωτεΐνης, του γαλακτικού οξέος, ασβεστίου, φωσφόρου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου του YAW αξιολογήθηκε με τον υπολογισμό του συντελεστή διαχωρισμού που ορίζεται ως : $S(\%) = (C_iP/C_iF) \times 100$, όπου C_iP και C_iF είναι η συγκέντρωση του κάθε στοιχείου στο διήθημα και στον ορό τροφοδοσίας αντίστοιχα. Η αποτελεσματικότητα του διαχωρισμού της λακτόζης και της γαλακτόζης αξιολογήθηκε με τον υπολογισμό του συντελεστή απόρριψης που ορίζεται ως : $R(\%) = (1 - C_iP/C_iF) \times 100$.

4.5 Φυσικοχημικές Αναλύσεις

4.5.1. Προσδιορισμός pH και οξύτητας

Το pH όλων των δειγμάτων του όξινου ορού μετρήθηκε σε πεχάμετρο (WTW multi3420, Germany). Η οξύτητα εκφρασμένη ως γαλακτικό οξύ (g/100g) προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση

10 ml δείγματος με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH N/9) και φαινολοφθαλεΐνης ως δείκτη.

4.5.2 Προσδιορισμός σύστασης

Η περιεκτικότητα των ολικών στερεών, του λίπους και της πρωτεΐνης προσδιορίστηκαν με φασματοσκοπία υπέρυθρου σε Milkoscan FT120 (Foss, Hilleroed, Denmark).

Η περιεκτικότητα σε τέφρα προσδιορίστηκε με τη μέθοδο AOAC (1975), μέσω αποτέφρωσης των δειγμάτων στους 550°C για 5,5-6 ώρες. Η τέφρα από κάθε δείγμα συλλέχθηκε και φυλάχθηκε σε ειδικά φιαλίδια προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό των ανόργανων στοιχείων.

4.5.3. Προσδιορισμός σακχάρων και οργανικών οξέων

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των δειγμάτων σε σάκχαρα και σε οργανικά οξέα προσδιορίστηκε με τη χρήση υγρής χρωματογραφίας υψηλής απόδοσης (HPLC) σε Perkin Elmer Flexar system (Shelton, U.S.A.) σε συνδυασμό με ανιχνευτές RI-PDA, έχοντας ανιχνευτή δείκτη διάθλασης (RI) για τα σάκχαρα και ανιχνευτή υπεριώδους (PDA) για τα οργανικά οξέα. Για την παρασκευή του δείγματος, αναμίχθηκαν 15 ml όξινου ορού και προστέθηκαν 20ml βολφραμικού οξέος (0.7% αφυδατωμένο βολφραμικό νάτριο, 0.01% ορθοφωσφορικό, 7% θειικό οξύ 1N) και ο τελικός όγκος του δείγματος ήταν στα 50ml με υπερκάρθρο νερό. Μετά από 15 λεπτά, το αραιωμένο δείγμα διηθήθηκε μέσω διηθητικού χαρτιού Whatman No. 1 και στη συνέχεια σε 1 mL διηθήματος προστέθηκαν 100 μL υπερχλωρικού οξέος (70%). Μετά από ολονύκτια παραμονή στους 4°C, το δείγμα φυγοκεντρήθηκε στις 12.500 rpm για 60 λεπτά στους 4°C και το υπερκείμενο χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση. Η έκλυση κάθε δείγματος (20μL) έγινε ισοκρατικά με θειικό οξύ (H₂SO₄ 5mM) υπό σταθερή θερμοκρασία 35°C και ταχύτητα ροής 0,5mL/min μέσα από στήλη Aminex HPX-87H (300 35 mm x7,8 mm). Τα αποτελέσματα συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν με το λογισμικό CHROMERA® ενώ για τον ποσοτικό προσδιορισμό σακχάρων και των οργανικών οξέων χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες καμπύλες αναφοράς.

4.5.4. Προσδιορισμός ανόργανων στοιχείων

Ο προσδιορισμός των ανόργανων στοιχείων Ca, Mg, Na και K πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μέθοδο ISO/IDF 119 (2007) με χρήση φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης με φλόγα (Atomic Absorption Spectrometer AAS-6800 Shimadzu Corporation). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε περίπου 0,025g τέφρας η οποία διαλύθηκε με προσθήκη 1ml HNO₃ 25% και ακολούθησαν κατάλληλες για κάθε στοιχείο αραιώσεις του δείγματος μαζί με προσθήκη 10ml χλωριούχου λανθανίου (LaCl₃).

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του φωσφόρου στα δείγματα όξινου ορού πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την μέθοδο της IDF.42 (2006) με χρήση φωτόμετρου (Lambda 20, PerkinElmer). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 0,02g τέφρας, η οποία διαλύθηκε με 2ml υδροχλωρίου (HCL 1N), στη συνέχεια προστέθηκε στο διάλυμα μίγμα αντιδραστηρίων (διάλυμα μολυβδαινικού νατρίου και διάλυμα ασκορβικού οξέος) και στη συνέχεια θερμάνθηκε σε υδατόλουτρο στους 100°C για 15 λεπτά. Τέλος έγινε άμεση ψύξη και ακολούθησε ο φωτομετρικός προσδιορισμός σε μήκος κύματος 820nm. Η τελική συγκέντρωση φωσφόρου κάθε δείγματος υπολογίστηκε βάση καμπύλης αναφοράς. .

4.5.5 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών

Ο προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (°Brix) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του διαθλασίμετρου Portable Refractometer (AnalytiKa). Αρχικά, έγινε μηδενισμός του οργάνου με την προσθήκη 1-2 σταγόνων απιονισμένου νερού πάνω στο καθαρό και στεγνό πρίσμα. Το πρίσμα καθαρίστηκε και προστέθηκαν 1-2 σταγόνες από το δείγμα. Στο οπτικό πεδίο του οργάνου καταγράφηκε η τιμή της γραμμής που διαχωρίζει το σκοτεινό με το φωτεινό τμήμα, που αντιστοιχεί στην ποσότητα των διαλυτών στερεών (°Brix).

4.5.6. Προσδιορισμός του σημείου πήξης

Η μέτρηση του σημείου πήξης των δειγμάτων έγινε με χρήση κρυοσκοπίου (cryostar automatic). Η μέτρηση κάθε δείγματος επαναλήφθηκε 3 φορές.

4.5.7. Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός του χρώματος των δειγμάτων έγινε με χρήση του φορητού χρωματομέτρου (Lovibond® Colour Measurement LC 100). Μετά το τέλος της μέτρησης κάθε δείγματος γίνονταν καταγραφή των παραμέτρων του χρώματος (L, a και b), οι οποίες αντιστοιχούν στα εξής:

- L : Φωτεινότητα και αυξάνεται από το 0 έως το 100
- a : Κόκκινο προς πράσινο (από τις θετικές προς τις αρνητικές τιμές)
- b : Κίτρινο προς κυανό (από τις θετικές προς τις αρνητικές τιμές)

4.6 Στατιστική ανάλυση

Τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε στατιστική επεξεργασία με το λογισμικό Statgraphics Centurion XVII software (Centurion XVI Manugistics software, Inc., Rockville, MD, USA). Πραγματοποιήθηκε One way ANOVA και ο έλεγχος των σημαντικών διαφορών των μέσων έγινε με τη μέθοδο της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (Least Significant Difference, LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% ($P < 0.05$).

Κεφαλαίο 5. Αποτελέσματα και συζήτηση

Η σύσταση των ανεπεξέργαστων όξινων ορών γιαουρτιού που χρησιμοποιηθήκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 pH, οξύτητα και σύνθεση (%) ανεπεξέργαστου όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean ± SD).

	Αγελαδινός ΟΟΓ		Πρόβειος ΟΟΓ	
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
pH	4,47 ± 0,04 ^{a*}	4,44 ± 0,02 ^b	3,98 ± 0,03 ^d	4,29 ± 0,06 ^c
Οξύτητα	0,63 ± 0,04 ^b	0,48 ± 0,00 ^a	0,66 ± 0,04 ^b	0,82 ± 0,04 ^c
Ολικά στερεά	5,71 ± 0,15 ^{a,b}	5,46 ± 0,03 ^b	4,76 ± 0,02 ^c	5,78 ± 0,13 ^a
Ολική πρωτεΐνη	0,26 ± 0,04 ^a	0,27 ± 0,02 ^{a,b}	0,32 ± 0,02 ^b	0,54 ± 0,02 ^c
Τέφρα	0,89 ± 0,04 ^b	0,74 ± 0,03 ^a	0,75 ± 0,01 ^a	1,03 ± 0,04 ^b
Λακτόζη	2,79 ± 0,07 ^a	3,20 ± 0,32 ^a	2,12 ± 0,21 ^b	1,98 ± 0,24 ^b
Γαλακτόζη	0,78 ± 0,01 ^b	0,58 ± 0,07 ^a	0,84 ± 0,03 ^b	1,36 ± 0,00 ^c
Γαλακτικό οξύ	0,96 ± 0,04 ^b	0,65 ± 0,08 ^a	0,89 ± 0,05 ^b	1,37 ± 0,00 ^c
<i>Ανόργανα στοιχεία (mg/100g)</i>				
Φώσφορος	88,81 ± 5,55 ^b	70,15 ± 3,01 ^c	55,96 ± 5,63 ^a	98,46 ± 1,14 ^d
Ασβέστιο	124,36 ± 1,81 ^c	100,56 ± 5,32 ^b	76,43 ± 2,91 ^a	150,58 ± 4,94 ^d
Μαγνήσιο	14,70 ± 1,37 ^b	12,96 ± 0,85 ^{a,b}	10,73 ± 0,37 ^a	24,51 ± 2,36 ^c
Κάλιο	151,54 ± 8,34 ^a	150,53 ± 12,76 ^a	125,41 ± 14,32 ^a	136,22 ± 5,04 ^a
Νάτριο	51,74 ± 0,60 ^a	67,51 ± 6,70 ^a	n.d	94,81 ± 12,20 ^b

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).

Τόσο οι δύο οροί που προήλθαν από τη βιομηχανία, δηλ. ο αγελαδινός από υπερδιήθηση γιαουρτιού (BAWuf) και ο αγελαδινός από φυγοκέντρηση γιαουρτιού (BAWce), όσο και οι δύο που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο Γαλακτοκομίας του ΓΠΑ, δηλ. αγελαδινός και πρόβειος από παραδοσιακή στράγγιση γιαουρτιού (BAWcb και OAWcb αντίστοιχα), είχαν τυπική σύσταση για όξινο ορό γιαουρτιού, σύμφωνα με τους Καρέλα και συνεργάτες (2022), οι οποίοι μελέτησαν

τη σύσταση αρκετών δειγμάτων ΟΟΓ από τη γαλακτοβιομηχανία. Ο πρόβειος ορός είχε στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$) υψηλότερη συγκέντρωση σε πρωτεΐνη, γαλακτόζη, γαλακτικό οξύ, φώσφορο, ασβέστιο και μαγνήσιο από τους αγελαδινούς ορούς. Τέλος, όλοι οι οροί είχαν λίπος < 0.05 , οπότε το λίπος θεωρήθηκε μηδενικό.

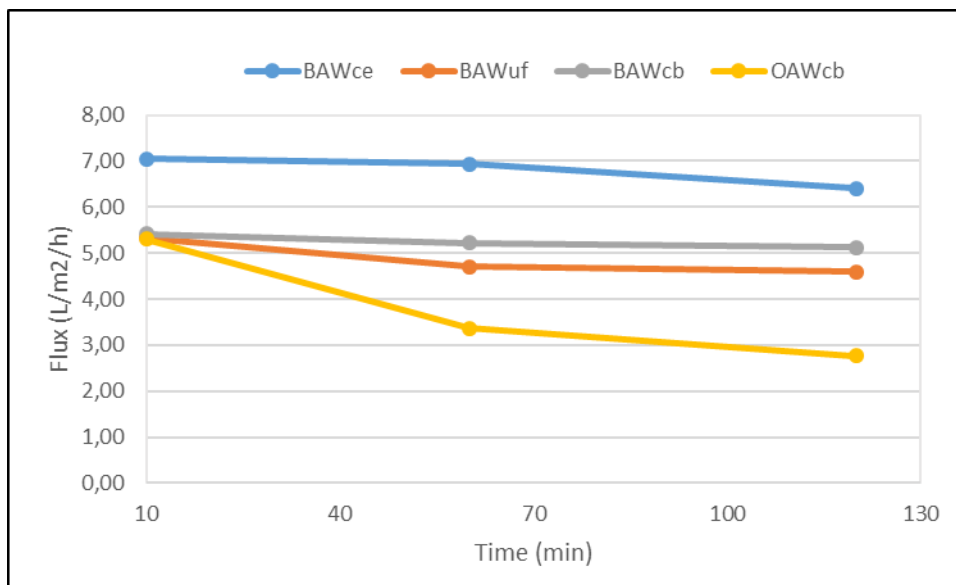
Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράμετροι της επεξεργασίας των παραπάνω ορών με μικροδιήθηση και περαιτέρω με νανοδιήθηση. Όπως ήταν να αναμενόμενο, η ροή κατά τη νανοδιήθηση ήταν πάρα πολύ μικρή και γενικά χρειάστηκαν περίπου 3 ώρες για να αποκτηθεί νανοδιήθημα όγκου 150-200 ml γενικά και ως εκ τούτου η συμπύκνωση που επιτεύχθηκε ήταν ελάχιστη.

Πίνακας 5.2. Παράμετροι επεξεργασίας με μικροδιήθηση και νανοδιήθηση όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean \pm SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
Μικροδιήθηση				
Θερμοκρασία (°C)	23,67 \pm 0,58	24,67 \pm 3,79	23,13 \pm 1,03	24,57 \pm 2,52
Διαμεμβρανική πίεση (TMP) (bar)	1,94 \pm 0,40	1,94 \pm 0,04	1,95 \pm 0,01	1,94 \pm 0,26
Flux (L/m ² /h)	805,48 \pm 72,86	130,58 \pm 16,62	254,45 \pm 57,09	491,85 \pm 98,78
Συντελεστής συμπύκνωσης όγκου κατακρατήματος (VCR)	5,24 \pm 0,33	4,84 \pm 0,77	5,41 \pm 0,46	5,33 \pm 0,01
Νανοδιήθηση				
Θερμοκρασία (°C)	24,33 \pm 0,58	23,33 \pm 0,58	23,83 \pm 1,04	23,15 \pm 0,41
Διαμεμβρανική πίεση (TMP) (bar)	10,07 \pm 0,07	10,02 \pm 0,03	9,98 \pm 0,03	9,99 \pm 0,04
Flux (L/m ² /h)	4,87 \pm 0,83	6,46 \pm 0,30	5,16 \pm 0,06	3,81 \pm 0,30
Συντελεστής συμπύκνωσης όγκου κατακρατήματος (VCR)	1,09 \pm 0,02	1,29 \pm 0,08	1,12 \pm 0,04	1,09 \pm 0,01

Το γεγονός αυτό αποδόθηκε αφενός στη μονάδα επεξεργασίας η οποία είναι πολύ μικρής δυναμικότητας και αφετέρου στο φράξιμο της μεμβράνης λόγω επικαθίσεων κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας με αποτέλεσμα τη μείωση της ροής και γενικά τη δυνατότητα διαχωρισμού.

Στην Εικόνα 5.1 φαίνεται η ροή του νανοδιηθήματος σε σχέση με τον χρόνο επεξεργασίας. Είναι φανερό ότι η ροή του πρόβειου ορού μειώθηκε πολύ πιο γρήγορα από ότι στην περίπτωση των αγελαδινών ορών και αυτό οφείλεται επίσης στην πλουσιότερη σύσταση που είχε ο πρόβειος ορός μετά και τη μικροδιήθηση (Πίνακας 5.3).



Εικόνα 5.1 Ροή του νανοδιηθήματος (flux: L/m²/h) όξινων ορών από γιαούρτι σε διάρκεια επεξεργασίας για 120 min.

Όπως ήταν αναμενόμενο, η μικροδιήθηση με χρήση μεμβράνης με πόρους 1,4 μm δεν μετέβαλε ουσιαστικά την αρχική σύσταση των ορών, όμως η χρήση της μικροδιήθησης πριν τη νανοδιήθηση κρίνεται απαραίτητη για τον 'καθαρισμό' του ορού μέσω της απομάκρυνσης κυρίως του λίπους, των κυττάρων των μικροοργανισμών του γιαουρτιού και τυχόν σωματικών κυττάρων που έχουν περάσει σε αυτόν κατά τη στράγγιση. Μικροδιήθηση του όξινου ορού από cream cheese πριν τη νανοδιήθησή του έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Chandrapala et al. 2016a,c). Και πάλι ο πρόβειος μικροδιηθημένος ορός είχε στατιστικά σημαντικά ($P < 0.05$)

υψηλότερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, τέφρα, λακτόζη, γαλακτόζη, φώσφορο, ασβέστιο και μαγνήσιο από ότι οι αγελαδινοί οροί (Πίνακας 5.3).

Πίνακας 5.3. pH, οξύτητα και σύσταση (%) μικροδιηθημένου όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean \pm SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
pH	4,47 \pm 0,08 ^c	4,44 \pm 0,08 ^c	4.01 \pm 0,01 ^a	4,25 \pm 0,04 ^b
Οξύτητα	0,60 \pm 0,01 ^b	0,47 \pm 0,01 ^a	0,64 \pm 0,02 ^c	0,79 \pm 0,03 ^d
Ολικά στερεά	5,35 \pm 0,05 ^b	5,41 \pm 0,01 ^{b,c}	4,68 \pm 0,04 ^a	5,61 \pm 0,15 ^c
Ολική πρωτεΐνη	0,25 \pm 0,02 ^a	0,25 \pm 0,03 ^a	0.30 \pm 0.01 ^b	0,51 \pm 0,02 ^c
Τέφρα	0,85 \pm 0,02 ^b	0,71 \pm 0,07 ^a	0,74 \pm 0,01 ^a	1,00 \pm 0,01 ^c
Λακτόζη	2,72 \pm 0,09 ^a	2,86 \pm 0,01 ^a	2.28 \pm 0.01 ^b	2.05 \pm 0.04 ^c
Γαλακτόζη	0,77 \pm 0,01 ^b	0,52 \pm 0,01 ^a	0,85 \pm 0,08 ^b	1,33 \pm 0,01 ^c
Γαλακτικό οξύ	0,92 \pm 0,01 ^b	0,63 \pm 0,07 ^a	0.92 \pm 0.04 ^b	1,35 \pm 0,01 ^c
<i>Ανόργανα στοιχεία (mg/100g)</i>				
Φώσφορος	87,60 \pm 2,16 ^c	68,65 \pm 1,15 ^b	51,65 \pm 2,88 ^a	91,55 \pm 1,60 ^c
Ασβέστιο	120,25 \pm 9,89 ^{b,c}	102,60 \pm 13,80 ^b	73,57 \pm 4,19 ^a	142,42 \pm 7,92 ^c
Μαγνήσιο	14,00 \pm 0,82 ^b	13,33 \pm 0.21 ^b	10,35 \pm 0,21 ^a	22,40 \pm 2,18 ^c
Κάλιο	148,53 \pm 0,32 ^c	145.49 \pm 2.38 ^c	117,59 \pm 2,02 ^a	135,55 \pm 3,33 ^b
Νάτριο	57,30 \pm 3,62 ^a	57,52 \pm 9,67 ^a	97,38 \pm 4,44 ^b	105,63 \pm 12,17 ^b

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η νανοδιήθηση χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση μέρους των αλάτων αλλά και του γαλακτικού οξέος του όξινου ορού προκειμένου να βελτιωθεί η σύστασή του για τη παραγωγή σκόνης. Μέσω μίας μεμβράνης νανοδιήθησης με πόρους για αποκοπή 250 Da περνά ως επί το πλείστο μέρος του γαλακτικού οξέος και των ανόργανων συστατικών, ενώ συστατικά όπως η πρωτεΐνη και η λακτόζη κατακρατούνται. Στους

Πίνακες 5.4 και 5.5 παρουσιάζονται η σύσταση των κατακρατημάτων (συμπυκνωμάτων) και των διηθημάτων των ορών από τη νανοδιήθηση αντίστοιχα. Επίσης στις Εικόνες 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται συνοπτικά η επίδραση της επεξεργασίας του όξινου ορού γιαουρτιού στη σύστασή του και στα ανόργανα άλατα αντίστοιχα στις συγκεκριμένες συνθήκες επεξεργασίας.

Πίνακας 5.4. pH, οξύτητα και σύσταση (%) κατακρατήματος νανοδιήθησης όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean \pm SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	ΟΑWcb
pH	4,52 \pm 0,06 ^{a*}	4,42 \pm 0,07 ^b	4,02 \pm 0,02 ^d	4,26 \pm 0,01 ^c
Οξύτητα	0,61 \pm 0,05 ^b	0,47 \pm 0,07 ^a	0,70 \pm 0,04 ^b	0,82 \pm 0,03 ^c
Ολικά στερεά	5,81 \pm 0,12 ^{a,b}	6,40 \pm 0,50 ^b	5,38 \pm 0,08 ^a	5,96 \pm 0,26 ^{a,b}
Ολική πρωτεΐνη	0,26 \pm 0,03 ^a	0,27 \pm 0,06 ^{a,b}	0,34 \pm 0,02 ^b	0,53 \pm 0,01 ^c
Τέφρα	0,86 \pm 0,09 ^{a,b}	0,90 \pm 0,11 ^{a,b}	0,74 \pm 0,02 ^a	1,02 \pm 0,01 ^b
Λακτόζη	2,80 \pm 0,36 ^{a,b}	3,49 \pm 0,63 ^b	2,38 \pm 0,30 ^a	2,05 \pm 0,13 ^a
Γαλακτόζη	0,86 \pm 0,06 ^b	0,61 \pm 0,09 ^a	1,01 \pm 0,05 ^b	1,43 \pm 0,02 ^c
Γαλακτικό οξύ	0,87 \pm 0,07 ^b	0,60 \pm 0,05 ^a	0,96 \pm 0,06 ^b	1,38 \pm 0,00 ^c
<i>Ανόργανα στοιχεία (mg/100g)</i>				
Φώσφορος	93,21 \pm 2,77 ^b	88,46 \pm 9,93 ^b	62,34 \pm 1,84 ^a	97,31 \pm 6,62 ^b
Ασβέστιο	140,06 \pm 3,95 ^{b,c}	129,57 \pm 26,01 ^b	83,98 \pm 1,07 ^a	165,95 \pm 10,35 ^c
Μαγνήσιο	15,69 \pm 0,81 ^a	17,61 \pm 1,80 ^a	12,19 \pm 0,29 ^a	26,01 \pm 4,11 ^b
Κάλιο	132,31 \pm 10,48 ^{a,b}	147,60 \pm 20,24 ^b	112,31 \pm 1,39 ^a	132,03 \pm 4,97 ^{a,b}
Νάτριο	55,98 \pm 0,70 ^a	50,72 \pm 7,55 ^a	96,31 \pm 3,08 ^c	78,06 \pm 0,18 ^b

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).

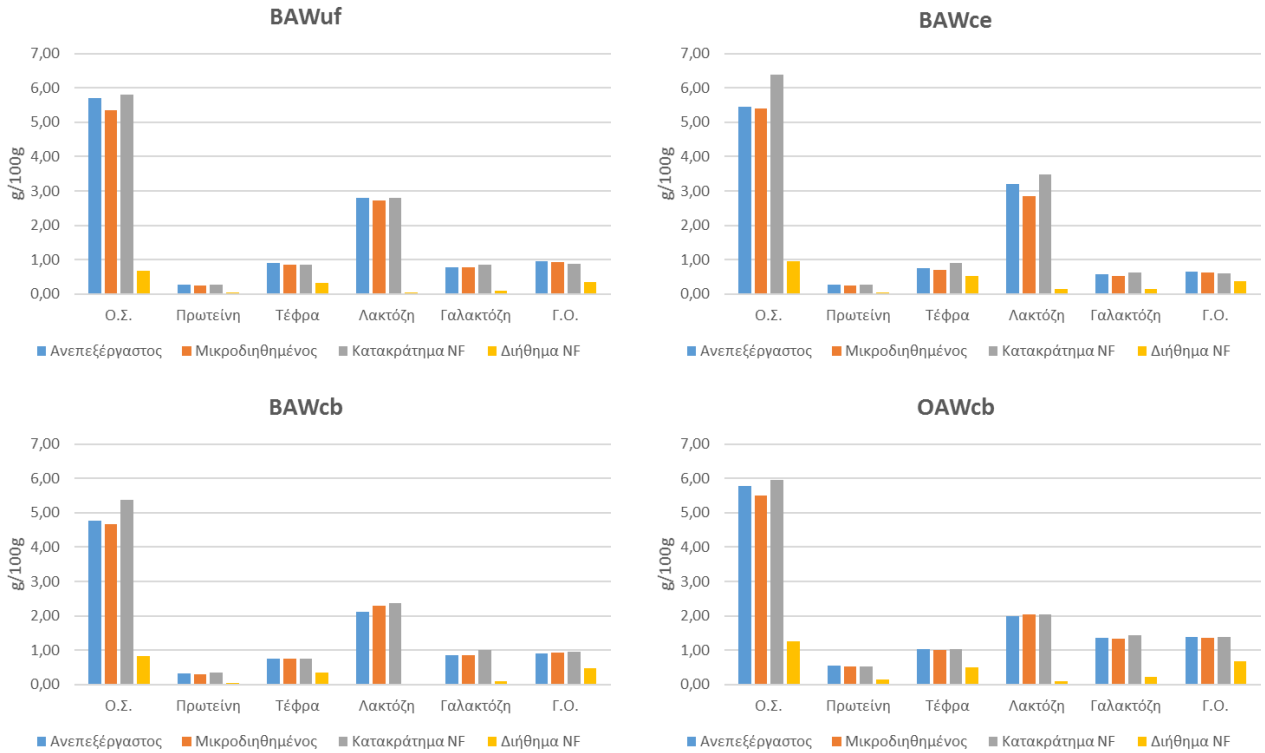
Τέλος, στον Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι συντελεστές διαχωρισμού (%) για την πρωτεΐνη, το γαλακτικό οξύ και τα ανόργανα στοιχεία και οι συντελεστές απόρριψης (%) για τη λακτόζη και τη γαλακτόζη. Υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες του πειράματος, όσον αφορά την επεξεργασία με νανοδιήθηση (τύπος μεμβράνης, θερμοκρασία, pH, TMP και ροή), επιτεύχθηκε ένα εύρος του συντελεστή διαχωρισμού του γαλακτικού οξέος από 37,17 \pm 1,83% έως 58,87 \pm 3.58% ανάλογα

με την προέλευση του όξινου ορού. Οι Chandrapala et al. (2016c) σε μία διεξοδική μελέτη νανοδιήθησης όξινου ορού από τυρί cream cheese σύγκριναν επεξεργασίες του με 3 διαφορετικές μεμβράνες νανοδιήθησης σε 3 επίπεδα pH του ορού (3, 4.5 και 7.3) και σε 2 θερμοκρασίες (25°C και 40°C) και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι στους 40°C και σε pH 3 είχαν τον καλύτερο διαχωρισμό του γαλακτικού οξέος (περίπου 50%), ενώ η λακτόζη κατακρατήθηκε περίπου κατά 93%. Στην παρούσα εργασία η κατακράτηση της λακτόζης ήταν σε παρόμοια υψηλά ποσοστά (περίπου 95%), ενώ της γαλακτόζης κυμάνθηκε μεταξύ 82,85% και 89,11%. Από τα ανόργανα στοιχεία, τις υψηλότερες τιμές διαχωρισμού τις παρουσίασαν το κάλιο και το νάτριο.

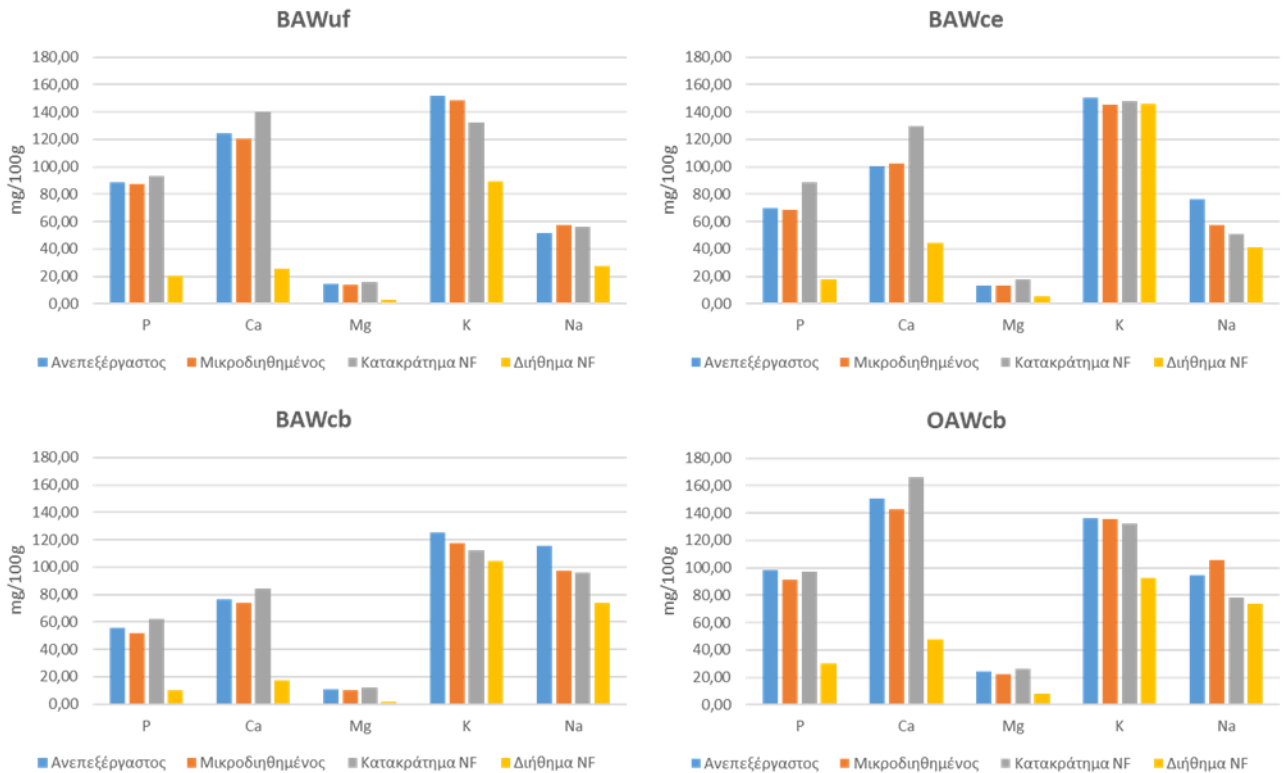
Πίνακας 5.5 pH, οξύτητα και σύσταση (%) διηθήματος νανοδιήθησης όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean ± SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
pH	4,62 ± 0,08 ^{a*}	4,56 ± 0,14 ^a	4,07 ± 0,02 ^c	4,36 ± 0,02 ^b
Οξύτητα	0,18 ± 0,07 ^a	0,14 ± 0,06 ^a	0,21 ± 0,02 ^{a,b}	0,29 ± 0,05 ^b
Ολικά στερεά	0,67 ± 0,02 ^a	0,94 ± 0,06 ^a	0,82 ± 0,04 ^{a,b}	1,25 ± 0,12 ^c
Ολική πρωτεΐνη	0,04 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,04 ^b
Τέφρα	0,32 ± 0,00 ^a	0,52 ± 0,12 ^b	0,34 ± 0,02 ^{a,b}	0,49 ± 0,05 ^{a,b}
Λακτόζη	0,04 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,09 ^c	0,01 ± 0,00 ^a	0,09 ± 0,02 ^b
Γαλακτόζη	0,09 ± 0,00 ^a	0,14 ± 0,02 ^a	0,09 ± 0,01 ^a	0,23 ± 0,05 ^b
Γαλακτικό οξύ	0,34 ± 0,12 ^a	0,38 ± 0,04 ^{a,b}	0,47 ± 0,04 ^b	0,67 ± 0,06 ^c
<i>Ανόργανα στοιχεία (mg/100g)</i>				
Φώσφορος	20,30 ± 0,57 ^{a,b}	17,95 ± 9,38 ^{a,b}	10,10 ± 1,27 ^a	29,91 ± 5,45 ^b
Ασβέστιο	25,30 ± 5,04 ^{a,b}	44,73 ± 17,62 ^{a,b}	17,03 ± 2,08 ^a	47,40 ± 11,43 ^b
Μαγνήσιο	2,68 ± 0,06 ^a	5,29 ± 0,95 ^b	1,67 ± 0,19 ^a	8,30 ± 1,11 ^c
Κάλιο	89,48 ± 4,30 ^a	145,66 ± 10,88 ^b	104,44 ± 17,64 ^a	92,30 ± 6,57 ^a
Νάτριο	27,61 ± 5,66 ^a	41,16 ± 2,05 ^b	74,13 ± 4,58 ^c	73,45 ± 1,73 ^c

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).



Εικόνα 5.2 Επίδραση της επεξεργασίας του όξινου ορού γιαουρτιού με μεμβράνες στη σύστασή του



Εικόνα 5.3 Επίδραση της επεξεργασίας του όξινου ορού γιαουρτιού με μεμβράνες στην περιεκτικότητα σε ανόργανα στοιχεία

Πίνακας 5.6. Συντελεστές διαχωρισμού (%) ολικής πρωτεΐνης, γαλακτικού οξέος, φωσφόρου, ασβεστίου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου και συντελεστές απόρριψης (%) λακτόζης και γαλακτόζης κατά τη νανοδιήθηση όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean ± SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
Συντελεστής διαχωρισμού (%)				
Ολική πρωτεΐνη	18,44±7,02 ^{a,b*}	20,63±2,24 ^{a,b}	11,62±1,81 ^a	28,55±6,04 ^b
Γαλακτικό οξύ	37,17±1,83 ^a	58,87±3,58 ^c	55,42±1,51 ^{b,c}	49,26±4,41 ^b
Φώσφορος	23,14±1,44 ^a	45,69±11,38 ^b	19,69±3,64 ^a	32,84±5,7 ^{a,b}
Ασβέστιο	20,69±2,13 ^a	42,83±11,41 ^b	23,92±2,75 ^a	33,11±6,19 ^{a,b}
Μαγνήσιο	18,48±1,48 ^a	39,75±7,74 ^b	16,21±1,53 ^a	27,32±3,70 ^a
Κάλιο	60,32±2,88 ^a	96,54±10,83 ^b	76,10±1,24 ^{a,b}	85,72±15,95 ^{a,b}
Νάτριο	47,10±6,11 ^a	72,89±15,82 ^a	69,04±11,64 ^a	63,79±0,33
Συντελεστής απόρριψης (%)				
Λακτόζη	95,92±4,36 ^a	95,51±2,96 ^a	99,67±0,05 ^a	95,29±0,60 ^a
Γαλακτόζη	84,34±6,78 ^a	79,22±6,53 ^a	89,11±0,51 ^a	82,85±3,61 ^a

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).

Στον Πίνακα 7.7 παρουσιάζεται η επίδραση της νανοδιήθησης σε κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των όξινων ορών που μελετήθηκαν. Παρατηρήθηκε η αύξηση των ολικών διαλυτών στερών (^oBrix) και ως εκ τούτου η μείωση του σημείου πήξης καθώς και η αύξηση της φωτεινότητας του χρώματος στον κατακρατημένο από νανοδιηθημένο ορό. Οι ιδιότητες αυτές έχουν σημασία όταν ο όξινος ορός γιαουρτιού χρησιμοποιηθεί μετά από νανοδιήθηση ως έχει σε διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα ή σε άλλα τρόφιμα.

Πίνακας 5.7. Βrix, χρώμα και σημείο πήξης ανεπεξέργαστου και κατακρατημένου από νανοδιήθηση όξινου ορού γιαουρτιού (ΟΟΓ) από διαφορετικές μεθόδους στράγγισης (mean ± SD, n=3).

	Αγελαδινός ΟΟΓ			Πρόβειος ΟΟΓ
	BAWuf	BAWce	BAWcb	OAWcb
Ανεπεξέργαστος				
<i>°Brix</i>	6,5 ± 0,3 ^{b,c,*}	6,20 ± 0,17 ^{a,b}	5,80 ± 0,26 ^a	6,8 ± 0,3 ^c
<i>Σημείο πήξης</i>	-0,722 ± 0,004 ^b	-0,654 ± 0,017 ^c	-0,734 ± 0,025 ^b	-0,861 ± 0,016 ^a
<i>Παράμετροι χρώματος</i>				
L	67,48 ± 0,76 ^b	55,40 ± 0,69 ^a	56,53 ± 1,46 ^a	54,97 ± 0,38 ^a
a*	2,28 ± 0,88 ^b	1,67 ± 0,20 ^a	1,83 ± 0,12 ^a	0,78 ± 0,11 ^a
b*	6,93 ± 0,53 ^a	10,10 ± 0,35 ^c	9,20 ± 0,18 ^b	13,72 ± 0,23 ^d
Κατακράτημα νανοδιήθησης				
<i>°Brix</i>	6,9 ± 0,1 ^{a,b}	7,40 ± 0,57 ^b	6,47 ± 0,31 ^d	7,2 ± 0,5 ^{a,b}
<i>Σημείο πήξης</i>	-0,737 ± 0,023 ^b	-0,724 ± 0,045 ^b	-0,770 ± 0,008 ^b	-0,861 ± 0,008 ^a
<i>Παράμετροι χρώματος</i>				
L	67,20 ± 1,35 ^b	65,55 ± 1,60 ^{a,b}	64,55 ± 0,48 ^a	64,58 ± 1,03 ^a
a*	2,43 ± 0,21 ^b	2,60 ± 0,51 ^b	2,10 ± 0,15 ^b	1,38 ± 0,18 ^a
b*	7,58 ± 0,40 ^a	10,78 ± 1,10 ^b	11,28 ± 0,16 ^b	17,45 ± 1,46 ^c

*Οι μέσοι όροι με διαφορετικά γράμματα στον εκθέτη στην ίδια σειρά διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους (P<0.05).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Ο τρόπος στράγγισης του αρχικού γιαουρτιού για την παραγωγή στραγγιστού επηρεάζει τη σύσταση του αποβαλλόμενου ορού.
- Ο πρόβειος όξινος ορός είναι ο πιο 'πλούσιος' ορός σε γαλακτικό οξύ και σε ασβέστιο συγκριτικά με τους αγελαδινούς όξινους ορούς.
- Με τη διεργασία της νανοδιήθησης σε συγκεκριμένες συνθήκες
 - είναι εφικτή η απομάκρυνση του γαλακτικού οξέος σε ποσοστά περίπου 40% -55%
 - απομακρύνονται κυρίως το κάλιο και το νάτριο σε ποσοστά >60%
 - η λακτόζη μπορεί να κατακρατηθεί σε ποσοστό >95%
 - η γαλακτόζη μπορεί κατακρατηθεί σε ποσοστό 82% -89%
 - επηρεάζονται οι φυσικές ιδιότητες όπως το σημείο πήξης και το χρώμα

Τέλος, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την βελτιστοποίηση των παραμέτρων της νανοδιήθησης ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερος βαθμός συμπύκνωσης.

Βιβλιογραφία

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Καρέλα Μ., Ζωίδου Ε., Νταλάκα Ε., Θεοδώρου Γ., Μοάτσου Γ. & Μοσχοπούλου Α. (2022). Χαρακτηριστικά όξινου ορού από στραγγιστό γιαούρτι που παράγεται στην Ελληνική Γαλακτοβιομηχανία. 13ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής Πάτρα, 2-4 Ιουνίου 2022.
- ΦΕΚ 2457/2016. Αντικατάσταση του άρθρου 82 «Γιαούρτι» του Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (ΚΤΠ) (ΦΕΚ 788/ Β' /31.12.1987), όπως ισχύει.

ΔΙΕΘΝΗΣ

- Almécija, M. C., A. Guadix, A. Martinez-Ferez, P. González-Tello, and E. M. Guadix. 2009. A flux enhancing pretreatment for the ultrafiltration of acid whey. *Desalination* 245:737–742.
- Alsaed, A. K., R. Ahmad, H. Aldoomy, S. Abd El-Qad, D. Saleh, H. Sakejha, and L. Mustafa. 2013. Characterization, concentration and utilization of sweet and acid whey. *Pak. J. Nutr.* 12:172–177.
- Alsaed, A. K., and M. Hadadin. 2012. Utilization of acidic labneh whey lactose hydrolysed syrup in baking and confectionery. *Pak. J. Nutr.* 11:688–695.
- Andreou, V.; Chanioti, S.; Xanthou, M.Z.; Katsaros, G. 2022. Incorporation of Acid Whey Yogurt By-Product in Novel Sauces Formulation: Quality and Shelf-Life Evaluation. *Sustainability* 2022, 14, 15722.
- AOAC (1975). *Official Methods of Analysis*, 12th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Washington, DC, USA; p. 254.
- Auclair, O., Han, Y., Burgos, S.A. (2019), Consumption of milk and alternatives and their contribution to nutrient intakes among Canadian adults: Evidence from the 2015 Canadian Community Health Survey-Nutrition, *Nutrients*, 11(8), pp. 1948–1957
- Bédas, M., Tanguy, G., Dolivet, A., Méjean, S., Gaucheron, F., Garric, G., Senard, G., Jeantet, R., & Schuck, P. (2017). Nanofiltration of lactic acid whey prior to spray drying: Scaling up to a semi-industrial scale. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 355–360.

- Blaschek, K.; Wendorff, W.L.; Rankin, S.A. (2007). Survey of salty and sweet whey composition from various cheese plants in Wisconsin. *J. Dairy Sci.*, 90, 2029–2034.
- Bylund, G. 2015. *Dairy Processing Handbook*. 3rd. ed. Tetra Pak Processing Systems AB, Lund, Sweden.
- Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Zisu, B., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. (2015). Properties of acid whey as a function of pH and temperature. *Journal of Dairy Science*, 98, 1–12.
- Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. (2016c). Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature. *Separation and Purification Technology*, 160, 18–27.
- Chandrapala, J., Wijayasinghe, R., & Vasiljevic, T. (2016b). Lactose crystallisation as affected by presence of lactic acid and calcium in model lactose systems. *Journal of Food Engineering*, 178, 181–189.
- Chandrapala, J., Duke, M. C., Gray, S. R., Zisu, B., Weeks, M., Palmer, M., & Vasiljevic, T. (2016a). Strategies for maximising removal of lactic acid from acid whey-addressing the unprocessability issue. *Separation and Purification Technology*, 172, 489–497.
- Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2017). Properties of spray dried lactose powders as affected by presence of lactic acid and Ca. *Journal of Food Engineering*, 198, 63–71
- Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2018). Feasibility of Spray Drying Concentrated Acid Whey After Nanofiltration. *Food and Bioprocess Technology* 11, 1505–1515
- Chandrapala, J., M. C. Duke, S. R. Gray, M. Weeks, M. Palmer, and T. Vasiljevic. 2016. Nanofiltration and nanodiafiltration of acid whey as a function of pH and temperature. *Separ. Purif. Tech.* 160:18–27.
- Chen, G. Q., F. I. I. Eschbach, M. Weeks, S. L. Gras, and S. E. Kentish. 2016. Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis. *Separ. Purif. Tech.* 158:230–237.
- Coté, A., W. A. Brown, D. Cameron, and G. P. van Walsum. 2004. Hydrolysis of lactose in whey permeate for subsequent fermentation to ethanol. *J. Dairy Sci.* 87:1608–1620.

- Dagher S., Ali-Ghariebeh A. (1985), Effect of pasteurization, centrifugation and additives on the quality of concentrated yoghurt (labneh), *Journal of Food Protection*, 48(4), pp. 300–302.
- Das, B., S. Sarkar, S. Maiti, and S. Bhattacharjee. 2016. Studies on production of ethanol from cheese whey using *Kluyveromyces marxianus*. *Mater. Today Proc.* 3:3253–3257.
- Diniz, R. H. S., M. Q. R. B. Rodrigues, L. G. Fietto, F. M. L. Passos, and W. B. Silveira. 2014. Optimizing and validating the production of ethanol from cheese whey permeate by *Kluyveromyces marxianus* UFV-3. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 3:111–117.
- Dudkiewicz, M., J. Berlowska, and D. Kregiel. 2016. Acid whey as a medium for cultivation of conventional and non-conventional yeasts. *Biotech. Food Sci.* 80:75–82.
- Dufton, G., S. Mikhaylin, S. Gaaloul, and L. Bazinet. 2018. How electrodialysis configuration influences acid whey deacidification and membrane scaling. *J. Dairy Sci.* 101:7833–7850.
- El-Samragy Y.A., Zall R.R. (1988), Organoleptic properties of the yoghurt-cheese labneh manufactured using ultrafiltration, *Dairy Industries International*, 53(3), pp. 27–28.
- Erickson, B. 2017. Acid whey: Is the waste product an untapped goldmine? *Chem. Eng. News.* 95, 26–30.
- Gonza'lez Siso, M. I., 1996, Cheese whey as a resource: whey utilization, *Bioresource-Technol* 57(1): 1–11.
- Guimarães, P. M. R., J. A. Teixeira, and L. Domingues. 2010. Fermentation of lactose to bio-ethanol by yeasts as part of integrated solutions for the valorisation of cheese whey. *Biotechnol. Adv.* 28:375–384.
- Hoppe, G., & Higgins, J. (1992). Demineralization. In J. G. Zadow (Ed.), *Whey and lactose processing* (pp. 91e131). London: Elsevier.
- International Standard IDF (2007) 119/ISO 8070. Milk and milk products- Determination of calcium, sodium, potassium and magnesium contents – Atomic absorption spectrometric method. International Dairy Federation: Brussels, Belgium.

- International Standard IDF (2006) 42/ISO 9874. Milk - Determination of total phosphorus content – Method using molecular absorption spectrometry. International Dairy Federation: Brussels, Belgium.
- Jeantet, R., Schuck, P., Famelart, M. H., & Maubois, J. L. (1996). Inter^et de la nanofiltration dans la production de poudres de lactoserum demineralisees. *Lait*, 76, 283e301
- Jorgensen, C.E. ; Abrahamsen, R.K., Rukke, E.O., Hoffmann, T.K., Johansen, A.G. Skeie, S.B. (2019), Processing of high-protein yoghurt – A review, *International Dairy Journal*, 88, pp. 42–59.
- Karageorgou, A.; Paveli, A.; Goliomytis, M.; Theodorou, G.; Politis, I.; Simitzis, P. The Effects of Yoghurt Acid Whey Marination on Quality Parameters of Pork and Chicken Meat. *Foods* 2023, 12, 2360.
- Kelly, J., & Kelly, P. (1995). Desalination of acid casein whey by NF. *International Dairy Journal*, 5(3), 291–303.
- Ketterings, Q., K. Czymmek, S. Cmi, G. Godwin, and K. Ganoe. 2017. Guidelines for Land Application of Acid Whey. Accessed Feb. 23, 2017.
- Lievore, P., D. R. S. Simões, K. M. Silva, N. L. Drunkler, A. C. Barana, A. Nogueira, and I. M. Demiate. 2015. Chemical characterization and application of acid whey in fermented milk. *J. Food Sci. Technol.* 52:2083–2092.
- Lucas, A., E. Rock, J.-F. Chamba, I. Verdier-Metz, P. Brachet, and J.-B. Coulon. 2006. Respective effects of milk composition and the cheese-making process on cheese compositional variability in components of nutritional interest. *Lait* 86:21–41.
- Menchik, P., T. Zuber, A. Zuber, and C. I. Moraru. 2019. Short communication: Composition of coproduct streams from dairy processing: Acid whey and milk permeate. *J. Dairy Sci.* 102:3978–3984.
- Mintel. 2019. Yogurt and Yogurt Drinks—US—November 2019. Accessed May 16, 2020. <https://store.mintel.com/yogurt-and-yogurt-drinks-us-november-2019>

- Mollea, C., L. Marmo, and F. Bosco. 2013. Chapter 24: Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. Pages 549–588 in Food Industry. I. Mazzalupo, ed. InTech Open, London, UK.
- Moineau-Jean A., Champagne C.P., Roy D., Raymond Y., LaPointe G. (2019), Effect of Greek-style yoghurt manufacturing processes on starter and probiotic bacteria populations during storage, *International Dairy Journal*, 93, pp. 35–44.
- Mondragón-Parada, M. E., M. Nájera-Martínez, C. Juárez-Ramírez, J. Galíndez-Mayer, N. Ruiz-Ordaz, and E. Cristiani-Urbina. 2006. Lactic acid bacteria production from whey. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 134:223–232.
- Moschopoulou, E. and Moatsou, G. (2017). Greek Dairy Products. In *Mediterranean Food: Composition and Processing*; Cruz, R., Vieira, M., Eds.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; pp. 267–320.
- Nestel P.J. (2019), Dietary fat and blood pressure, *Current Hypertension Reports*, 21(2), pp. 17–22.
- Newhart, B. 2018. State of the industry: How Greek yogurt keeps customers coming back. Accessed Dec. 3, 2018.
- Newhart, B. 2019. Cottage cheese “renaissance” heats up in the US. Accessed Jun. 5, 2019. <https://www.dairyreporter.com/Article/2019/06/04/Cottage-cheese-renaissance-heats-up-in-the-US>
- Nsabimana C., Jiang B., Kossah R. (2005), Manufacturing, properties and shelf life of labneh: a review, *International Journal of Dairy Technology*, 58(3), pp. 129-137.
- Özer B.H, Grandison A.S., Robinson R.K. (1998), Rheological properties of concentrated yoghurt (labneh), *Journal of Texture Studies*, 29(1), pp. 67–79.
- Özer B.H. (2006), Production of concentrated products. In A. Y. Tamime (Ed.), *Fermented milks*, pp.128–155, Blackwell Science Ltd, Ames
- Özer B.H, & Robinson R.K. (1999), The behaviour of starter cultures in concentrated yoghurt (labneh) produced by different techniques, *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 32(7), pp. 391–395

- Robinson R.K. (2002), Yoghurt types and manufacture. In P.F. Fox (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences*, pp. 1055–1058, Elsevier Science, Burlington.
- Robinson R.K., Tamime A.Y. (1993), Manufacture of yoghurt and other fermented milks. In R. K. Robinson (Ed.), *Modern dairy technology 2nd Edition (Vol. 2)*, pp.1–48. Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London.
- Rocha-Mendoza D., Kosmerl E., Krentz A., et al., (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*, 104:1262-1275.
- Ryan, M. P., and G. Walsh. 2016. The biotechnological potential of whey. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 15:479–498.
- Saffari, M., & Langrish, T. (2014). Effect of lactic acid in-process crystallization of lactose/protein powders during spray drying. *Journal of Food Engineering*, 137, 88–94.
- Sakkas L., Karela M., Zoidou E., Moatsou G. and Moschopoulou E. (2023). ‘Incorporation of Yoghurt Acid Whey in Low-Lactose Yoghurt Ice Cream’. *Foods* 2023, 12, 3860.
- Salji, J.P. (1991), Concentrated yogurt: a challenge to our food industry, *Food Science and Technology Today*, 5, pp. 18–19
- Salji J.P., Sawaya W.N., Ayaz M., Mashhadi A. (1987), The dairy industry in the Eastern, Northern, and Southern Provinces of Saudi Arabia, *Milchwissenschaft*, 42(5), pp. 291–293.
- Sansonetti, S., S. Curcio, V. Calabrò, and G. Iorio. 2009. Bio-ethanol production by fermentation of ricotta cheese whey as an effective alternative non-vegetable source. *Biomass Bioenergy* 33:1687–1692.
- Schmidt, R. H., Packard, V. S., & Morris, H. A. (1984). Effect of processing on whey protein functionality. *Journal of Dairy Science*, 67(11), 2723–2733.
- Skryplonek, K., I. Dmytrów, and A. Mituniewicz-Małek. 2019. Probiotic fermented beverages based on acid whey. *J. Dairy Sci.*102:7773–7780.
- Skryplonek, K., and M. Jasińska. 2015. Fermented probiotic beverages based on acid whey. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 14:397–405.
- Smithers, G. W. 2015. Whey-ing up the options—Yesterday, today and tomorrow. *Int. Dairy J.* 48:2–14.
- Statista (2018), Available at: <https://www.statista.com/topics/2351/greek-yogurt>

- Sunkesula, V., A. R. A. Hammam, and L. E. Metzger. 2019. Partial demineralization and deacidification of Greek yogurt acid whey by nanofiltration for improving the drying characteristics of Greek yogurt acid whey. *J. Dairy Sci.* 102(Suppl. 1):M104. (Abstr.)
- Tamime A.Y., Robinson R.K. (2007), Traditional and recent developments in yoghurt production and related products. In A. Y. Tamime, & R.K. Robinson (Eds.), *Yoghurt: Science and technology* 3rd Edition, (pp. 348–367). CRC Press, Boca Raton.
- Tamime A.Y., Kalab, M., Davies G. (1989a), Rheology and microstructure of strained yogurt (labneh) made from cow's milk by three different methods, *Food Microstructure*, 8(1), pp. 125–135.
- Tamime A.Y. (2003), Yogurt-based products. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), *Encyclopedia of Food Science and Nutrition* 2nd Edition, pp. 6259–6264, Academic Press, London.
- Tamime A.Y., Marshall V.M.E. (1997), Microbiology and technology of fermented milks. In B. A. Law (Ed.), *Microbiology and biochemistry of cheese and fermented milk* 2nd Edition, pp. 57–133, Chapman & Hall, New York.
- Tamime A.Y., Davies G., Chehade A.S., Mahdi H.A. (1989b), The production of labneh by ultrafiltration: a new technology, *International Journal of Dairy Technology*, 42(2), pp. 35–39.
- Tamime A.Y., Davies G., Chehade A.S., Mahdi H.A. (1991), The effect of processing temperatures on the quality of labneh made by ultrafiltration, *International Journal of Dairy Technology*, 44(4), pp. 99–103.
- Tamime A.Y., Hickey M., Muir D.D (2014). Strained fermented milks – A review of existing legislative provisions, survey of nutritional labelling of commercial products in selected markets and terminology of products in some selected countries. *International Journal of Dairy Technology*, Volume 67 No 3 p. 305-333.
- Tricoles, R. 2019. Cottage cheese is the new Greek yogurt. Accessed Mar. 24, 2019. <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2019/03/cottage-cheese-new-greek-yogurt/585487/>

- Uduwerella, G. (2017). A novel strategy for minimizing acid whey generation during Greek yoghurt production (Doctoral dissertation, Victoria University).
- Uduwerella G., Chandrapala J., Vasiljevic T. (2018), Preconcentration of yoghurt base by ultrafiltration for reduction in acid whey generation during Greek yoghurt manufacturing, *International Journal of Dairy Technology*, pp. 71(1), 71–80
- Valencia A.P., Doyen A., Benoit S., Margni M., Pouliot Y. (2018), Effect of ultrafiltration of milk prior to fermentation on mass balance and process efficiency in Greek-style yogurt manufacture, *Foods*, 7(9), pp. 144–149.
- Villarreal, M. 2017. Value added products utilizing acid whey: Development of a fruit yogurt beverage and a sports drink. Master's thesis. Department of Food Science, College of Agriculture and Life Sciences. Cornell University, Ithaca, NY.
- Walsh, H. 2014. Functional properties of whey protein and its application in nanocomposite materials and functional foods. PhD thesis. Department of Nutrition and Food Sciences, College of Agriculture and Life Sciences. University of Vermont, Burlington, VT.
- Watson, E. 2014. Greek yogurt's biggest guns explore creative ways to address acid whey challenge. Accessed Dec. 5, 2014. <https://www.dairyreporter.com/Article/2014/12/05/Patent-watch-General-Mills-tackles-Greek-yogurt-acid-whey>
- Wherry, B., D. M. Barbano, and M. A. Drake. 2019. Use of acid whey protein concentrate as an ingredient in nonfat cup set-style yogurt. *J. Dairy Sci.* 102:8768–8784.
- Zidou E., Karela M., Sakkas L., Ifanti M., Doufexis B., Youssef L., Moatsou G., Evageliou V. and Moschopoulou E* (2023). Properties of plain drinking yoghurt made with acid whey from Greek Yoghurt. 11th International Symposium Euro-Aliment 2023 - Insights of Future Foods – From concepts and challenges to technological innovations. 19- 20 October, Galati-Romania, Online.
- Zotta, T., L. Solieri, L. Iacumin, C. Picozzi, and M. Gullo. 2020. Valorization of cheese whey using microbial fermentations. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 104:2749–2764.