

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗ  
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ  
ΑΦΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ  
ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΣΤΙΑΣΗ»**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΒΑΡΔΑΚΑΡΗ ΛΥΔΙΑ  
ΠΟΛΥΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

**ΑΘΗΝΑ 2022**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΣΘΗΚΗ  
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ  
ΑΦΡΟΠΟΙΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΟΥ  
ΓΑΛΑΚΤΟΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΣΤΙΑΣΗ»**

ΒΑΡΔΑΚΑΡΗ ΛΥΔΙΑ  
ΠΟΛΥΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)  
ΧΟΥΧΟΥΛΑ ΔΗΜΗΤΡΑ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΔΗΤΡΙΑ ΠΑΔΑ  
ΤΣΑΚΑΛΗ ΕΥΣΤΑΘΙΑ, ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΠΑΔΑ

**ΑΘΗΝΑ 2022**

ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντωνόπουλος Διονύσιος	Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό	
Χούγουλα Δήμητρα	Αναπληρώτρια Καθηγήτρια	
Τσάκαλη Ευσταθία	Επίκουρη Καθηγήτρια	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογεγραμμένες Βαρδακάρη Λυδία του Κωνσταντίνου με αριθμό μητρώου 17009 και Πολυχρονοπούλου Μαρία του Ηλία-Νικόλαου με αριθμό μητρώου 17087 φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς της παρακάτω πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί αποκλειστικά από εμάς και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση των πτυχίων μας».

Η Δηλούσα



Η Δηλούσα



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους μας βοήθησαν και μας στήριξαν κατά την υλοποίηση της. Πρωτίστως, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέπων καθηγητή μας, τον κύριο Διονύση Αντωνόπουλο για την καθοδήγηση, το ενδιαφέρον και για τον χρόνο που αφιέρωσε κατά την εκτέλεση και την συγγραφή της συγκεκριμένης μελέτης.

Εν συνεχεία, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τόσο τον κύριο Διονύση Αντωνόπουλο όσο και την κυρία Δήμητρα Χούχουλα για την πολύτιμη βοήθεια τους όσον αφορά την παροχή των υλικών για την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας, όπως τα πρόσθετα που χρησιμοποιήσαμε αλλά και για την οικιακή μηχανή αφρογάλατος. Επιπλέον, ευχαριστούμε την κυρία Ευσταθία Τσάκαλη για τις συμβουλές αλλά και την παραχώρηση του εργαστηρίου Γάλακτος και Γαλακτοκομικών προϊόντων για την διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της πτυχιακής μας εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον υποψήφιο διδάκτορα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Σπυρίδων Παπαθεοδώρου για την καθοδήγηση του στο πειραματικό μέρος της εργασίας και τη συμβολή του σε αυτό μέσω μας εμπειρίας του και των επιστημονικών του γνώσεων. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε από το μέρος των ευχαριστιών την υποψήφια διδάκτορα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής Αλίκη Τσάκη για τη συμβολή της στη χρήση επαγγελματικών μηχανημάτων για την ανάδευση των τελικών μας δειγμάτων .

Ιδιαίτερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους και τους συμφοιτητές μας αλλά και τις οικογένειες μας για τις ιδέες, τις συμβουλές και τη στήριξη που μας πρόσφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας.

Φεβρουάριος 2022

Βαρδακάρη Λυδία

Πολυχρονοπούλου Μαρία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η παρασκευή δύο προϊόντων γάλακτος τύπου Barista, από νωπό γάλα, με σκοπό την επαγγελματική τους χρήση στο χώρο της εστίασης. Τα δύο προϊόντα μελετήθηκαν ως προς τις ρεολογικές τους ιδιότητες, το ιξώδες τους, της συναίρεση τους και κυρίως ως προς την ποιότητα και την σταθερότητα του αφρού που παράγουν. Επιπλέον, διέφεραν μεταξύ τους τόσο στην λιποπεριεκτικότητά όσο και στο είδος αλλά και την αναλογία των προσθέτων που περιείχαν. Τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν καθ'όλη τη διάρκεια του πειράματος ήταν το καζεϊνικό νάτριο (sodium caseinate - NaC), το αλγινικό νάτριο (sodium alginate -SA) και το συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλατος (Milk Protein Concentrate - MPC).

Το πρωτόκολλο της πειραματικής διαδικασίας περιελάμβανε αρχικά την ανάδευση διαφόρων εμπορικών τύπων γάλατος χωρίς την προσθήκη εξωγενών παραγόντων και έπειτα ανάδευση νωπών γαλάτων 1,5% και 3,5% σε λιπαρά με την προσθήκη ενός και μοναδικού προσθέτου κάθε φορά. Τέλος, έλαβε χώρα ο συνδιασμός των πρωτεϊνικής φύσεως ουσιών με τον σταθεροποιητή σε διαφορετικές κάθε φορά αναλογίες προκειμένου να εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα. Όλες οι παραπάνω δοκιμές, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η λιποπεριεκτικότητα του γάλακτος για την ζεστή παρασκευή είναι προτιμότερο να είναι 3,5% ενώ για αυτή του κρύου 1%.

Συνολικά, παρασκευάστηκαν 4 διαφορετικά τελικά δείγματα για το προϊόν που προοριζόταν για την παρασκευή ζεστού καφέ και άλλα 4 για αυτό που προοριζόταν για την παρασκευή κρύου καφέ. Πιο αναλυτικά, τα δείγματα του ζεστού αφρογάλατος αφορούσαν τον συνδιασμό των παρακάτω: 1) 0,1% MPC + 0,1% SA, 2) 0,2% MPC+0,1% SA, 3) 0,3% MPC + 0,1% SA , 4) 0,5% MPC +0,1% SA, ενώ αυτά του κρύου αφορούσαν τον συνδιασμό: 1) 0.7% NaC+0,3% SA , 2) 1% NaC+0,3% SA , 3) 1% NaC+0,35% SA , 4) 1% NaC+0,4% SA.

Εκ των δειγμάτων αυτών, επιλέχθηκε ένα και μοναδικό σε κάθε περίπτωση το οποίο αποτέλεσε και το τελικό προϊόν στην κάθε μία. Το τελικό προϊόν επιλέχθηκε με βάση τη συμπεριφορά που ανέδειξε έπειτα από την ανάδευση του σε επαγγελματικό επίπεδο και την παρατήρησή της συμπεριφοράς τους σε σχέση με την συνύπαρξή τους με τον καφέ για χρονικό διάστημα 20-25 λεπτών.

## ABSTRACT

The aim of this study was the preparation of two separate Barista type milk products from raw milk, in order to use them in restaurants. These two products were analyzed in terms of their rheological properties, viscosity, syneresis and especially in terms of the quality and the stability of the foam they produce. Furthermore, they had differences not only in their fat content but also in their additive's ratios. The additives that were used in this experiment were sodium caseinate (NaC), sodium alginate (SA) and milk protein concentrate (MPC).

The protocol of the experimental part first included the stirring of various types of milk without the addition of any external factors, and then the stirring of raw milk with a fat content of 1,5 % and 3,5 % by adding one and only additive each time. The final part was the combination of the protein materials with the stabilizer in different ratios each time in order to end up to the final results. All these trials led us to the conclusion that the milk's fat content for hot beverages should be 3,5% while for cold beverages it should be 1%.

In total, four different final samples were prepared for the product which was designed for hot coffee and other four samples for cold coffee. Specifically, the samples for hot foam include the combination of: 1) 0,1% MPC + 0,1% SA, 2) 0,2% MPC + 0,1% SA, 3) 0,3% MPC + 0,1% SA , 4) 0,5% MPC + 0,1% SA, and for the cold foam : : 1) 0.7% NaC+0,3% SA , 2) 1% NaC+0,3% SA , 3) 1% NaC+0,35% SA , 4) 1% NaC+0,4% SA.

From all these samples it was selected one and only combination for each beverage which became the final product for each case. The selection of these products was based on their behavior after professionally stirring them and after the observation of their interaction with coffee for 20-25 minutes.

Λέξεις κλειδιά : αφρός , συναίρεση , επιφανειοδραστικότητα , καζεϊνικό νάτριο , αλγινικό νάτριο , συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος , σταθερότητα αφρογάλατος

Key Words: foam, syneresis, surfactants, sodium caseinates, sodium alginate, milk protein concentrate, foam stability

## Πίνακας περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
<b>A.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	10
1.ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	10
1.1.ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ – ΚΑΖΕΪΝΕΣ .....	10
1.2.ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	18
1.3.ΛΙΠΟΣ.....	22
1.4.ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ .....	23
1.5.ΛΑΚΤΟΖΗ .....	25
1.6.ΕΝΖΥΜΑ.....	26
1.7.ΑΛΑΤΑ.....	27
2.ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	28
3.ΓΑΛΑ ΒΑΡΙΣΤΑ .....	30
3.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	30
3.2.ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΦΡΟΥ .....	32
3.2.1.ΕΓΧΥΣΗ ΑΤΜΟΥ .....	32
3.2.2.ΑΝΑΔΕΥΣΗ .....	34
3.3.ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΑΦΡΟΥ .....	35
3.3.1.ΣΥΝΝΕΝΩΣΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ .....	36
3.3.2.ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ .....	36
3.3.3.ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΑΦΡΟΥ.....	37
4.ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΕΞΩΓΕΝΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	38
4.1.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΩΝ ΣΤΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ .....	38
4.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΣΤΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ.....	39
4.2.1.ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ (WHEY PROTEINS-WP).....	40
4.2.2.ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ (MPC) .....	41
4.2.3. ΚΑΖΕΪΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ.....	42
5.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΙΠΟΥΣ.....	45
5.1.ΑΦΡΟΙ ΠΛΗΡΟΥΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ .....	45
5.2.ΑΦΡΟΙ ΑΠΟΒΟΥΤΥΡΩΜΕΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ.....	46
<b>B.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b> .....	48
6.ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	48
6.1.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	48
6.2.ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΓΑΛΑΤΩΝ .....	49



7.ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ – ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ .....	53
8.ΤΡΙΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ.....	60
9.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
<b>10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>79</b>
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	83

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γάλα αποτελεί ένα μοναδικό προϊόν για την ανθρώπινη διατροφή και χρησιμοποιείται ευρύτατα για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων τροφίμων. Ο μετασχηματισμός του γάλακτος στα διάφορα γαλακτοκομικά προϊόντα όπως το γιαούρτι και το τυρί, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις των κύριων συστατικών που σχηματίζουν τη δομή του γάλακτος, δηλαδή των ‘μικελλών’ που δομούνται από τις πρωτεΐνες της καζεΐνης. Πέρα από τις καζεΐνες, το γάλα περιέχει και άλλα συστατικά όπως είναι οι πρωτεΐνες του ορού, η λακτόζη, τα σφαιρίδια λίπους αλλά και πλήθος άλλων ανόργανων συστατικών. Η περιεκτικότητα αλλά και η κατανομή όλων των παραπάνω συμβάλλουν στο σχηματισμό της δομής του γάλακτος, παρόλα αυτά, η καζεΐνη αποτελεί το κύριο και πιο πολύτιμο συστατικό του (Smith et al., 2020).

Μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές του γάλακτος είναι αυτή στη βιομηχανία του καφέ, εφόσον όλο και περισσότεροι καταναλωτές στρέφουν την προτίμησή τους σε ροφήματα καφέ με αφρό ή κρέμα στην επιφάνεια. Ένα ιδανικό κρεμώδες προϊόν όταν προστίθενται στον καφέ πρέπει να παραμένει σταθερό για ένα ικανοποιητικό χρονικό διάστημα, να διαλύεται ομοιόμορφα σε αυτόν και να παρέχει στον καταναλωτή την όψη του λευκού χρώματος. Σε γενικές γραμμές, αυτές είναι ιδιότητες οι οποίες προσδίδονται στο γάλα λόγω των πρωτεϊνών (Golde & Schmidt, 2005).

Στη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη τρεις διαφορετικές πρωτεϊνικής φύσεως ουσίες αλλά και ένας σταθεροποιητής χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση κρέμας καφέ, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό, και οι προκύπτουσες κρεμώδεις παρασκευές αξιολογήθηκαν ως προς την εμφάνισή τους, τη λειτουργικότητά τους, τη σταθερότητα

αλλά και την αλληλεπίδραση τους με τον καφέ. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν καζεϊνικό νάτριο, συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος και αλγινικό νάτριο. Παρόλο που η πρωτεΐνη δεν είναι γενικά το κύριο συστατικό σε μια κρέμα καφέ, είναι γνωστό πως επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργικότητα του τελικού προϊόντος. Οι αφροί, οι οποίοι αποτελούν και το αντικείμενο μελέτης της εργασίας είναι γαλακτώματα διασποράς αερίων σε υγρά. Οι πρωτεΐνες συμβάλλουν στο ιξώδες και στη σταθερότητα του γαλακτώματος μέσω της επιφανειοδραστικότητας τους. Η δράση τους στηρίζεται στο σχηματισμό εύκαμπτων συνεκτικών υμενίων περιμετρικά των φυσαλίδων αέρα με αποτέλεσμα να τις κρατά σταθερές έναντι της συνένωσης. Ανάλογη είναι και η δράση του αλγινικού νατρίου ως σταθεροποιητής, καθώς συμβάλει στην αύξηση του ιξώδους των μειγμάτων, τη βελτίωση της υφής και την αύξηση της σταθερότητας κατά την αποθήκευση.

## **A.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1.ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ**

#### **1.1.ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ – ΚΑΖΕΪΝΕΣ**

Το γάλα εμπεριέχει κολλοειδή σωματίδια τα οποία αποτελούνται από ένα σύμπλεγμα συνδεδεμένων πρωτεϊνών και φωσφορικού ασβεστίου. Αυτά τα ετερογενή σωματίδια χαρακτηρίζονται ως ‘μικκύλια καζεΐνης’ (Fox, 2003). Τα μικκύλια της καζεΐνης είναι σφαιρικά πρωτεϊνικά συσσωματώματα τα οποία αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος των πρωτεϊνών του γάλακτος των βοοειδών, καθώς καταλαμβάνουν περίπου το 80%, ενώ το υπόλοιπο πρωτεϊνικό κλάσμα αποτελείται κυρίως από υδατοδιαλυτές πρωτεΐνες ορού γάλακτος (Corredig et al., 2019). Το πρωτεϊνικό κλάσμα των μικκυλίων της καζεΐνης, το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 94% της ξηρής μάζας της, αποτελείται κυρίως από τέσσερα μεμονωμένα γονιδιακά προϊόντα, τις  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -,  $\beta$ - και  $\kappa$ - καζεΐνες, σε κατά προσέγγιση αναλογίες 4 : 1 : 3,5 : 1,5 , οι οποίες διαφέρουν ως προς την πρωτοταγή τους δομή, τον τύπο αλλά και το βαθμό της μετα-μεταφραστικής τους τροποποίησης (Dalglish, 2011; Swaisgood, 2003). Το υπόλοιπο περίπου 6% της ξηρής τους μάζας αποτελείται από ανόργανα συστατικά χαμηλού μοριακού βάρους τα οποία είναι γνωστά με τον όρο

κολλοειδές φωσφορικό ασβέστιο, και το οποίο αποτελείται κυρίως από ασβέστιο και φωσφορικά άλατα ενώ εντοπίζονται και ίχνη μαγνησίου, κιτρικών αλάτων και άλλων ειδών (Fox & McSweeney, 2003). Οι πρωτεΐνες της καζεΐνης είναι φωσφοπρωτεΐνες και στο γάλα των βοοειδών ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες, τις ευαίσθητες στο ασβέστιο  $\alpha_{s1}$ -,  $\alpha_{s2}$ -,  $\beta$ - καζεΐνες και την ανθεκτική στο ασβέστιο κ-καζεΐνη (Horne, 2006). Μια ορισμένη ετερογένεια των καζεϊνών, προκύπτει από ορισμένες μετα-μεταφραστικές διαδικασίες, όπως είναι η φωσφορυλίωση, η γλυκοζυλίωση και η περιορισμένη πρωτεόλυση. Τα πιο αξιοσημείωτα είναι τα διαφορετικά επίπεδα φωσφορυλίωσης της  $\alpha_{s2}$ -καζεΐνης, η γλυκοζυλίωση της κ-καζεΐνης και η πρωτεολυτική δράση της πλασμίνης στην  $\beta$ -καζεΐνη, που δίνει αυτό που αρχικά ήταν γνωστό ως  $\gamma$ -καζεΐνες και πρωτεόζες-πεπτόνες (Swaisgood, 2003).

#### ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΜΙΚΚΥΛΙΩΝ

Παρά το γεγονός ότι οι δομικές και φυσικές ιδιότητες των μικκυλίων της καζεΐνης έχουν μελετηθεί εκτενώς, μέχρι και σήμερα δεν υπάρχει κάποια σαφής και ενιαία εικόνα μεταξύ των επιστημόνων σε ότι αφορά τη λεπτή δομή του εσωτερικού των μικκυλίων. Πλέον, είναι γενικά αποδεκτό ότι η επιφάνεια των μικκυλίων καλύπτεται σε μεγάλο βαθμό από ένα στρώμα κ-καζεΐνης, ενώ οι φαινότυποι της κ-καζεΐνης αλλά και ο βαθμός γλυκοζυλίωσης τους φαίνεται να συσχετίζονται καλά με το μέγεθος των μικκυλίων. Ως εκ τούτου, οι περισσότερες επιστημονικές συζητήσεις και μελέτες που λαμβάνουν τόπο αφορούν την εσωτερική δομή και τη συναρμολόγηση των πρωτεϊνών της καζεΐνης μέσα στα μικκύλια (Day et al., 2017) .

Με την πάροδο των χρόνων, έχουν κατασκευαστεί και προταθεί διάφορα περιγραφικά μοντέλα που αφορούν στη δομή και συναρμολόγηση των μικκυλίων της καζεΐνης. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στη παρατήρηση των μικκυλίων με τεχνικές σκέδασης φωτός και τεχνικές μικροσκοπίας αλλά και πάνω στη γνώση της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικά χημικά περιβάλλοντα. Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των μοντέλων είναι η αναγνώριση του κολλοειδούς φωσφορικού ασβεστίου ως ένα αναπόσπαστο μέρος της εσωτερικής δομής των μικκυλίων, του οποίου η κύρια λειτουργία είναι η σύνδεση των πρωτεϊνικών υπομονάδων της  $\alpha$ - και  $\beta$ - καζεΐνης μέσω ομάδων φωσφοσερίνης (Day et al., 2017; Ingham et al., 2016).

Τεχνικές όπως η σκέδαση ακτίνων Χ μικρής γωνίας (SAXS) και η σκέδαση νετρονίων μικρής γωνίας (SANS) έχουν χρησιμοποιηθεί για να λάβουμε δομικές πληροφορίες για τα μικκύλια της καζεΐνης σε ένα ευρύ φάσμα κλιμάκων μήκους. Και οι δύο τεχνικές παρουσιάζουν μια σειρά από χαρακτηριστικά τα οποία υποδεικνύουν ότι οι μικέλλες της καζεΐνης έχουν μια ιεραρχική δομή. Επί του παρόντος δεν υπάρχει μοντέλο που να ικανοποιεί όλα τις παρατηρήσεις που έγιναν τόσο από το SAXS όσο και από το SANS. Παρ'όλα αυτά, τα μοντέλα που έχουν προταθεί μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε δύο κατηγορίες. Την πρώτη κατηγορία αποτελεί το μοντέλο των υπομικελλών, το οποίο βέβαια με τα χρόνια έχει μερικώς απορριφθεί, ενώ τη δεύτερη κατηγορία αποτελεί το μοντέλο των νανοσυσσωματωμάτων. Μια μεταγενέστερη παραλλαγή του μοντέλου αυτού είναι το μοντέλο διπλής δέσμευση (Ingham et al., 2016).

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΥΠΟΜΙΚΚΥΛΙΩΝ

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, σφαιρικές υπομονάδες ή υπομικκύλια όπως ονομάζονται, αποτελούν τις δομικές μονάδες των μικκυλίων της καζεΐνης. Κάθε υπομικκύλιο περιέχει περίπου 20-25 μόρια καζεΐνης και έχει διάμετρο 12-15 νανόμετρα. Τα υπομικκύλια, διατηρούνται ενωμένα μέσω των υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων που αναπτύσσονται μεταξύ των πρωτεϊνών που τα αποτελούν και των δεσμών φωσφορικού ασβεστίου. Υπάρχουν δύο τύποι υπομικκυλίων, αυτά που αποτελούνται από αs- και β- καζεΐνες και είναι υδρόφοβα, και αυτά που περιέχουν αs- και κ- καζεΐνες και είναι υδρόφιλα λόγω της παρουσίας καταλοίπων σακχάρων από τις κ-καζεΐνες. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας σε κ-καζεΐνη και του μεγέθους του υπομικκυλίου. Τα μεγαλύτερα μικκύλια καζεΐνης περιέχουν υψηλότερα πολυμερή της κ-καζεΐνης, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι αλληλεπιδράσεις κ-κ είναι μεγαλύτερες στα μικκύλια με χαμηλή περιεκτικότητα σε κ-καζεΐνη (Bhat et al., 2016).

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΝΑΝΟΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ

Η συγκεκριμένη επιστημονική προσέγγιση ως προς την εσωτερική δομή των μικκυλίων της καζεΐνης, υποστηρίζει ότι τα νανοσυσσωματώματα του φωσφορικού ασβεστίου κατανέμονται τυχαία, συνδέοντας με αυτόν τον τρόπο έναν τρισδιάστατο ιστό μορίων καζεΐνης (Horne, 2020). Σε αντίθεση με το μοντέλο των υπομικκυλίων, το οποίο δίνει έμφαση στις υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις, το μοντέλο των νανοσυσσωματωμάτων

βασίζεται αποκλειστικά στην αλληλεπίδραση των καζεϊνών και του φωσφορικού ασβεστίου για την συγκράτηση των μικκυλίων (Horne, 2006). Το μοντέλο αυτό προκύπτει από την ιδέα ότι η βιολογική λειτουργία της καζεΐνης είναι κυρίως ο έλεγχος της καθίζησης του ασβεστίου στο μαστικό αδένα. Ως εκ τούτου, ενσωματώνει τις ρεομορφικές καζεΐνες και τα νανοσυσσωματώματα φωσφορικού ασβεστίου σε μια δομή χωρίς υπομονάδες. Οι ποσοτικές προβλέψεις του μοντέλου προκύπτουν από την υπόθεση ότι η σύνθεση και η μάζα του μικκυλιακού φωσφορικού ασβεστίου είναι ουσιαστικά η ίδια με εκείνη της νανοσυσσώρευσης φωσφορικού ασβεστίου που παρασκευάζεται στο εργαστήριο (de Kruijff & Holt, 2003). Το μοντέλο των νανοσυσσωματομάτων, ουσιαστικά αμφισβήτησε την ύπαρξη της υπομικκυλιακής δομής μέσα στα μικκύλια της καζεΐνης. Το μοντέλο το οποίο προτάθηκε εισήγαγε τον πολυμερισμό, ή αλλιώς ένα δίκτυο γέλης του μικκυλίου της καζεΐνης, το οποίο προέβλεπε την ανάπτυξη μέσω της αλληλεπίδρασης της φωσφοσερινικής συστάδας των ευαίσθητων στο ασβέστιο καζεϊνών με τα νανοσυμπλέγματα κολλοειδούς φωσφορικού ασβεστίου. Με αυτό το μοντέλο, ο σχηματισμός των νανοσυμπλεγμάτων θα οδηγούσε στο σχηματισμό μικκυλίων με την τυχαία δέσμευση περισσότερων φωσφοπρωτεϊνών. Η ανάπτυξη αυτού του δικτύου θα βασιζόταν στο γεγονός ότι οι αs-καζεΐνες διαθέτουν παραπάνω από μία φωσφοσερινικές μονάδες (Lucey & Horne, 2018).

#### ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΙΠΛΗΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ

Το μοντέλο αυτό, ανέδειξε την αμφίφυλη φύση των καζεϊνών, όπου οι καζεΐνες δρουν σαν συμπολυμερή μπλοκ με τμήματα που εναλλάσσονται μεταξύ φορτίου και υδροφοβικότητας. Οι ηλεκτροστατικές αλληλεπιδράσεις που αφορούν τη δέσμευση ασβεστίου και το σχηματισμό νανοσυσσωματομάτων προτάθηκαν για να λειτουργούν συντονισμένα (συνεργατικά) με μια δεύτερη αλληλεπίδραση πρόσδεσης που ήταν υδρόφοβη στη φύση. Τα πεπτίδια που λαμβάνουν μέρος σε αυτές τις ενώσεις βρίσκονται στο υδρόφοβο τμήμα των καζεϊνών (Lucey & Horne, 2018). Αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ ηλεκτροστατικών απωθήσεων και ελκυστικών υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων που συγκρατούν τις πρωτεΐνες στα μικκύλια καζεΐνης. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό, η υδρόφοβη αλληλεπίδραση είναι η κινητήρια δύναμη για το σχηματισμό των μικκυλίων της καζεΐνης και οι ηλεκτροστατικές απώσεις είναι υπεύθυνες για τον περιορισμό της ανάπτυξης των πολυμερών. Οι α<sub>s1</sub>- και β-καζεΐνες αυτοσυνδέονται με υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας συνδεδεμένης δομής τύπου ουράς, πριν από την προσρόφηση σε υδρόφοβες διεπιφάνειες. Παρατηρείται

επιπλέον μείωση στην ηλεκτροστατική απόθεση λόγω του κολλοειδούς φωσφορικού ασβεστίου που σχηματίζει δεσμούς μεταξύ των καζεϊνικών μικκυλίων και των παραγόντων εξουδετέρωσης του αρνητικού φορτίου των καταλοίπων φωσφοσερίνης που καθιστά την υδρόφοβη αλληλεπίδραση μεταξύ των καζεϊνών κυρίαρχη δύναμη για την ένωση των πρωτεϊνών. Η έλλειψη του συμπλέγματος φωσφοσερίνης για τη δέσμευση ασβεστίου στην κ-καζεΐνη την κάνει να αλληλεπιδρά υδρόφοβα και να δρα ως τερματιστής του πολλαπλασιασμού (Horne, 2020; Lucey & Horne, 2018).

### ΟΙ ΚΑΖΕΪΝΕΣ ΩΣ ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΑΣΒΕΣΤΙΟΥ

Οι καζεΐνες ανήκουν σε μία από τις μεγαλύτερες οικογένειες εκκριτικών φωσφοπρωτεϊνών που δεσμεύουν ασβέστιο, όπως διαπιστώθηκε από την ανάλυση της δομής του ανθρώπινου γονιδιώματος, και αποτελούν ένα από τα καλύτερα παραδείγματα εγγενώς ατακτοποίητων (ή εγγενώς μη αναδιπλωμένων πρωτεϊνών). Η υπόθεση ότι μόνο οι πρωτεΐνες που διαθέτουν μια καλά καθορισμένη αναδιπλωμένη διαμόρφωση είναι σε θέση να εκτελέσουν μια συγκεκριμένη βιολογική λειτουργία δεν ισχύει στην περίπτωση πολλών εγγενώς ατακτοποίητων πρωτεϊνών, καθώς έχουν συγκεκριμένες βιολογικές λειτουργίες ακόμη και στην μη αναδιπλωμένη τους κατάσταση. Όλες οι πρωτεΐνες της καζεΐνης διαθέτουν πολύ μικρή δευτεροταγή και τριτοταγή δομή, αλλά εξακολουθούν να είναι σε θέση να επιτελούν τη λειτουργία τους στην άτακτη τους αυτή κατάσταση (Bhat et al., 2016).

Οι καζεΐνες ανήκουν στην οικογένεια των εκκριτικών φωσφοπρωτεϊνών, καθώς συμμετέχουν στην παγίδευση του φωσφορικού ασβεστίου. Η εγγενής αταξία τους όχι μόνο βοηθά στο σχηματισμό θερμοδυναμικά σταθερού συμπλόκου με το φωσφορικό ασβέστιο, αλλά επίσης επιτρέπει σε αυτές τις πρωτεΐνες να σχηματίζουν ένα πιο συμπαγές σύμπλοκο σε σχέση με μια σφαιρική δομή. Επιπλέον, οι καζεΐνες φωσφορυλιώνονται μεταμεταφραστικά σε σερύλιο και σε σπανιότερες περιπτώσεις σε θρεονυλικά κατάλοιπα, γεγονός που αποτελεί ένα από τα μοναδικά τους χαρακτηριστικά. Η κ-καζεΐνη, περιέχει στο μόριό της μόνο ένα ή δύο φωσφοσερυλικά κατάλοιπα και είναι η μόνη καζεΐνη που είναι γλυκοζυλιωμένη. Αυτές οι ευαίσθητες στο ασβέστιο καζεΐνες δεν είναι μόνο σε θέση να συνδεθούν στην επιφάνεια των κρυστάλλων φωσφορικού ασβεστίου αλλά έχουν επίσης την ικανότητα να σχηματίζουν νανοσυσσωματώματα φωσφορικού ασβεστίου, τα οποία είναι θερμοδυναμικά σταθερά χημικά σύμπλοκα μέσω της δέσμευσης άμορφου φωσφορικού ασβεστίου (Bhat et al., 2016).

## ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΚΑΖΕΪΝΗΣ

Η καζεΐνη στο γάλα, στην εγγενή της κατάσταση υφίσταται ως μεγάλο σύμπλοκο μακρομορίων σε κolloειδή διασπορά με μάζα περίπου 108 Da και μέγεθος περίπου 200 nm. Η κύρια πρωτεΐνη του συμπλόκου καζεΐνης είναι η  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνη που αποτελεί σχεδόν το 38% και ακολουθείται από τη  $\beta$ -καζεΐνη 36%,  $\kappa$ -καζεΐνη 13% και  $\alpha_{S2}$ -καζεΐνη 10%. Όλες οι πρωτεΐνες της καζεΐνης, στη μητρική τους κατάσταση δεν διαθέτουν μια καλά καθορισμένη δευτερογενή ή τριτοταγή δομή. Η καζεΐνη, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κατατάσσεται στις εγγενώς ατακτοποιήτες πρωτεΐνες, πράγμα που σημαίνει ότι η πρωτεΐνη είναι λειτουργική στην αδόμητη μορφή της. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι η  $\alpha_{S1}$ - και η  $\beta$ -καζεΐνη διαθέτουν και μια συνοδευτική δραστηριότητα, καθώς είναι υπεύθυνες για την σταθεροποίηση των μικκυλίων εμποδίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη συσσωμάτωση της  $\alpha_{S2}$ - και της  $\kappa$ -καζεΐνης, αντίστοιχα. Η αυτοσύνδεση των μονομερών της  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνης σε υδατικό διάλυμα αποδίδεται στον υψηλό βαθμό υδροφοβικότητας και τη μικρή ποσότητα δομικού περιεχομένου. Εντοπίζονται ~43% υδρόφοβα αμινοξέα στην περίπτωση της  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνης, ~33% στην περίπτωση της  $\alpha_{S2}$ -καζεΐνης, ~52% στη  $\beta$ -καζεΐνη και ~43% στην  $\kappa$ -καζεΐνη (Bhat et al., 2016).

Το αμινοξύ προλίνη, το οποίο είναι γνωστό ότι διαταράσσει την  $\alpha$ -έλικα και τις  $\beta$ -δομές, είναι παρούσα σε μεγαλύτερη ποσότητα στην  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνη. Έχει διαπιστωθεί ότι το 70% της  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνης βρίσκεται σε αταξινόμητη μορφή με μικρή μόνο ποσότητα  $\alpha$ -έλικας και  $\beta$ -δομής. Η  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνη παίζει σημαντικό ρόλο στην ικανότητα του γάλακτος να μεταφέρει φωσφορικό ασβέστιο. Η δεύτερη πρωτεΐνη που βρίσκεται σε αφθονία στο γάλα είναι η  $\beta$ -καζεΐνη. Αυτή, διαθέτει πολύ μικρή δευτεροταγή δομή και συναντάται ως τυχαία σπείρα μέσα στο υδατικό διάλυμα. Η έλλειψη δευτεροταγούς δομής οφείλεται στην ομοιόμορφα κατανομημένη προλίνη που εντοπίζεται κατά τη διάρκεια της πλήρους αλληλουχίας αμινοξέων της  $\beta$ -καζεΐνης. Η  $\beta$ -καζεΐνη παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της επιφανειακής ιδιότητας των μικκυλίων καζεΐνης ενώ διαθέτει επίσης και ένα αντιοξειδωτικό πεπτίδιο το οποίο έχει αντιοξειδωτική δράση. Η τελευταία καζεΐνη που αλληλουχήθηκε ήταν η  $\alpha_{S2}$ -καζεΐνη, η οποία διαθέτει την πιο μοναδική πρωτοταγή δομή από όλες τις καζεΐνες. Αυτή η πρωτεΐνη έχει δύο κατάλοιπα κυστεΐνης χωρίς κάποιον υδατάνθρακα. Η  $\alpha_{S2}$ -καζεΐνη υπάρχει ως διμερές και είναι λιγότερο επιρρεπής στη συσσωμάτωση λόγω των εναλλασσόμενων αρνητικά φορτισμένων και υδρόφοβων περιοχών. Παίζει και αυτή επίσης σημαντικό ρόλο στη μεταφορά του φωσφορικού

ασβεστίου όπως και η  $\alpha_{S1}$ -καζεΐνη. Η διαλυτότητα της κ-καζεΐνης στο ασβέστιο οδήγησε στο συμπέρασμα ότι παίζει βασικό ρόλο στη σταθεροποίηση των μικκυλίων της καζεΐνης, της οποίας τα άλλα συστατικά είναι αδιάλυτα στο ασβέστιο. Σταθεροποιεί το σχηματισμό μικελλών αποτρέποντας έτσι την καθίζηση της καζεΐνης στο γάλα (Bhat et al., 2016).

Όλες οι πρωτεΐνες καζεΐνης διαθέτουν διαφορετικές υδρόφιλες και υδρόφοβες περιοχές κατά μήκος της πρωτεϊνικής τους αλυσίδας. Οι  $\alpha_S$ -καζεΐνες είναι οι κυριότερες πρωτεΐνες καζεΐνης με 8-12 φωσφορικές ομάδες σεφυλίου, ενώ η β-καζεΐνη περιέχει περίπου 5 κατάλοιπα φωσφοσερίνης και είναι περισσότερο υδρόφοβη από τις  $\alpha_S$ -καζεΐνες και την κ-καζεΐνη. Οι υψηλά φωσφορυλιωμένες  $\alpha_S$ -καζεΐνες και οι β-καζεΐνες είναι πολύ ευαίσθητες στη συγκέντρωση του άλατος ασβεστίου, δηλαδή οι πρωτεΐνες αυτές καθιζάνουν παρουσία υψηλών ιόντων  $Ca^{2+}$ . Σε αντίθεση με άλλους τύπους καζεϊνών, οι κ-καζεΐνες είναι γλυκοπρωτεΐνες και διαθέτουν μία μόνο ομάδα φωσφοσερίνης. Αυτό τις καθιστά σταθερές παρουσία  $Ca^{2+}$ , παίζοντας έτσι σημαντικό ρόλο στην προστασία άλλων καζεϊνών, που είναι ευαίσθητες στο ασβέστιο, από την κατακρήμνιση και καθιστά σταθερά τα καζεϊνικά μικκύλια. Η καζεΐνη είναι ανθεκτική στη θερμότητα και μόνο θερμοκρασίες άνω των 120 °C, μπορούν να προκαλέσουν τη διαλυτοποίησή της, ενώ αντιθέτως είναι ευαίσθητη στο pH και θα κατακρημνιστεί στο ισοηλεκτρικό της pH που είναι 4,6 (Bhat et al., 2016).

Οι καζεΐνες είναι σημαντικές από διατροφική άποψη λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε φωσφορικά άλατα, λόγω της οποίας δεσμεύουν σημαντικές ποσότητες ασβεστίου και είναι επίσης πλούσιες σε λυσίνη, η οποία αποτελεί ένα πάρα πολύ σημαντικό αμινοξύ για τον ανθρώπινο οργανισμό. Οι  $\alpha_{S1}$ - και  $\alpha_{S2}$ -καζεΐνες διαθέτουν 14 και 24 λυσίνες, αντίστοιχα. Καθεμία από τις καζεΐνες διαθέτει σημαντική μεταβλητότητα λόγω της έκτασης της μετα-μεταφραστικής τροποποίησής τους, των δισουλφιδικών δεσμούς τους και του γενετικού πολυμορφισμού τους. Οι ιδιότητες του γάλακτος και των διαφόρων γαλακτοκομικών προϊόντων εξαρτώνται κυρίως από τις πρωτεΐνες που υπάρχουν σε αυτό και σε κάποιο βαθμό από άλλα συστατικά όπως τα άλατα, το λίπος και η λακτόζη. Οι καζεΐνες οι οποίες διαθέτουν εξαιρετικά υψηλή θερμική σταθερότητα, καθιστούν το γάλα και τα άλλα γαλακτοκομικά προϊόντα εξαιρετικά σταθερά ακόμη και σε υψηλότερες θερμοκρασίες (Bhat et al., 2016).



## ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΚΑΖΕΪΝΩΝ ΚΑΙ Κ-ΚΑΖΕΪΝΗ

Από κολλοειδούς άποψης, τα μικκύλια της καζεΐνης έχουν περιγράψει ως στερικά σταθεροποιημένα κολλοειδή. Η στερική σταθεροποίηση παρέχεται κυρίως από το στρώμα της κ-καζεΐνης που βρίσκεται στην επιφάνεια των μικκυλίων, με το C-τελικό άκρο της πρωτεΐνης να προεξέχει στην υδατική φάση και το N-τελικό άκρο να συνδέεται με τον πυρήνα των μικελλών καζεΐνης. Η διαλυτότητα του C-τελικού άκρου του τμήματος της κ-καζεΐνης διέπεται από το υψηλό καθαρό αρνητικό φορτίο του, ως αποτέλεσμα της παρουσίας μεγάλου αριθμού καταλοίπων Glu και Asp και του χαμηλού επιπέδου θετικά φορτισμένων καταλοίπων. Η γλυκοζυλίωση των υπολειμμάτων Thr-, με το σιαλικό οξύ ως μέρος των υδατανθρακικών τμημάτων, παρέχει πρόσθετη διαλυτότητα στο στρώμα της κ-καζεΐνης και συνεπώς κολλοειδή σταθερότητα στις μικέλλες. Όπως και για άλλα στερικά σταθεροποιημένα κολλοειδή, η κολλοειδής σταθερότητα των μικκυλίων της καζεΐνης εξαρτάται από την πυκνότητα και το μήκος του στρώματος κ-καζεΐνης. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζονται από διάφορες διεργασίες που εφαρμόζονται συνήθως κατά την επεξεργασία γαλακτοκομικών προϊόντων, δηλαδή από τη θερμική επεξεργασία, την επεξεργασία με πρωτεολυτικά ένζυμα και την οξίνιση. Στην περίπτωση όμως που θα μελετήσουμε παρακάτω μας αφορά κυρίως η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας στο στρώμα της κ-καζεΐνης (Huppertz et al., 2018).

Η αποδόμηση του στρώματος της κ-καζεΐνης από τα μικκύλια καζεΐνης μπορεί να συμβεί και ως αποτέλεσμα θερμικής επεξεργασίας. Το γάλα που θερμαίνεται σε θερμοκρασία  $>70^{\circ}\text{C}$  έχει συνήθως σημαντικά υψηλότερα επίπεδα κ-καζεΐνης στη φάση του ορού σε σχέση με το μη θερμαινόμενο γάλα, ενώ η έκταση του διαχωρισμού από την επαγόμενη θερμότητα της κ-καζεΐνης συνήθως αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της διάρκειας της θερμικής επεξεργασίας. Επιπλέον, η επαγόμενη από τη θερμότητα διάσπαση της κ-καζεΐνης εξαρτάται έντονα από το pH. Συνήθως δεν συμβαίνει σε τιμές pH χαμηλότερες από το φυσικό pH της του γάλακτος, αλλά συμβαίνει σε τιμές pH πάνω από το φυσικό pH του γάλακτος και με ρυθμό που αυξάνεται με την αύξηση του pH. Τα μικκύλια καζεΐνης που έχουν αποστραγγιστεί από την κ-καζεΐνη είναι επιρρεπή στην πήξη, η οποία μπορεί να συμβεί είτε γρήγορα κατά τη θερμική επεξεργασία, εάν το pH είναι αρκετά χαμηλό ή και αν η δραστηριότητα του  $\text{Ca}^{2+}$  είναι αρκετά υψηλή (Huppertz et al., 2018).

## 1.2. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Το γάλα είναι ένα σύμπλεγμα κολλοειδούς εναιωρήματος που αποτελείται από σφαιρίδια λίπους, μικέλλες καζεΐνης και ορό. Ο ορός γάλακτος αντιστοιχεί στο υγρό κλάσμα που απομένει έπειτα από την πήξη του γάλακτος με τη χρήση διαφόρων πρωτεολυτικών ενζύμων, με κυριότερο την χυμοσίνη, και την απομάκρυνση της καζεΐνης. Το προϊόν αυτό είναι άφθονο στην γαλακτοβιομηχανία και προκύπτει είτε από την παραγωγή τυριού είτε από την παραγωγή καζεΐνης και αντιπροσωπεύει περίπου το 85-90 % του όγκου του γάλακτος ενώ διατηρεί το 55% των θρεπτικών του συστατικών (Brandelli et al., 2015). Αναλυτικότερα, η σύνθεση του είναι περίπου 94% νερό εκ των οποίων το 6% καταλαμβάνουν τα ολικά στερεά, 4,5% η λακτόζη, 0,8% οι πρωτεΐνες και 0,7% τα ανόργανα άλατα. Μία από τις επεξεργασίες που μπορεί να υποστεί ο ορός γάλακτος είναι η ξήρανση με σκοπό τη λήψη ενός προϊόντος που ονομάζεται σκόνη ορού γάλακτος. Το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας του ορού γάλακτος είναι η συμπύκνωση των πρωτεϊνών με την ταυτόχρονη απομάκρυνση των ανόργανων συστατικών και της λακτόζης. Όταν η περιεκτικότητα της σκόνης σε πρωτεΐνες είναι τουλάχιστον 25% ή περισσότερο, το προϊόν ονομάζεται συμπυκνωμένη πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Τα υποπροϊόντα του συμπυκνώματος πρωτεΐνης είναι η λακτόζη και τα πλούσια σε ασβέστιο μέταλλα του γάλακτος τα οποία γίνονται όλο και πιο χρήσιμα είτε για την παραγωγή συμπληρωμάτων διατροφής είτε για τον εμπλουτισμό διαφόρων τροφίμων και ποτών με ασβέστιο (Kilara & Vaghela, 2018).

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος (whey proteins) είναι διαλυτές πρωτεΐνες σε ένα ευρύ φάσμα pH και αποτελούν περίπου το 20% της συνολικής περιεχόμενης πρωτεΐνης στο γάλα. Οι κυριότερες πρωτεΐνες που ανήκουν στην ομάδα αυτή είναι : η β-γαλακτογλοβουλίνη (β-Lg), η α-γαλακταλβουμίνη (α-La), η οραλβουμίνη (SA), οι ανοσοσφαιρίνες (Igs), η λακταφερίνη, και οι πρωτεόζες-πεπτόνες. Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι σε διασπορά υπό τη μοριακή τους μορφή και έχουν απλή τεταρτοταγή δομή. Μερικές από αυτές συντίθεται στο μαστό του ζώου (β-γαλακτογλοβουλίνη, α-γαλακταλβουμίνη) ενώ μερικές προέρχονται από το αίμα (οραλβουμίνη, ανοσοσφαιρίνες). Αρκετά σημαντικό ρόλο ωστόσο έχουν η β-γαλακτογλοβουλίνη και η α-γαλακταλβουμίνη καθώς αντιπροσωπεύουν περίπου το 70% των συνολικών πρωτεϊνών ορού γάλακτος και είναι υπεύθυνες για τις ιδιότητες ενυδάτωσης, πηκτωματοποίησης και επιφανειοδραστικότητας των συστατικών πρωτεΐνης ορού γάλακτος (Philippe Cayot & Denis Lorient, 1997).

## β-ΓΑΛΑΚΤΟΓΛΟΒΟΥΛΙΝΗ (β-Lg)

Η β-γαλακτογλοβουλίνη είναι η επικρατέστερη πρωτεΐνη του ορού γάλακτος καθώς αποτελεί περίπου το 58%. Επίσης αποτελεί το 10% της συνολικής περιεχόμενης πρωτεΐνης στο γάλα. Περιέχει 162 αμινοξέα με μοριακό βάρος 18.300 Da τα οποία είναι πλούσια σε θείο. Οι κυριότερες γενετικές παραλλαγές είναι η Α και η Β, των οποίων η διαφορά έγκειται στην αντικατάσταση μιας γλυκίνης στην παραλλαγή Β από ένα ασπαρτικό οξύ στην παραλλαγή Α. Το μόριο περιέχει δύο δισουλφιδικές και μια ελεύθερη σουλφοδρυλική ομάδα ενώ ο φώσφορος απουσιάζει εντελώς. Η β-γαλακτογλοβουλίνη σε pH μικρότερο του 3,0 και μεγαλύτερο του 8,0 υπάρχει ως μονομερές ενώ σε pH μεταξύ 3,1 και 5,1 και σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας συνδέεται προκειμένου να σχηματίσει ένα οκταμερές. Σε άλλες τιμές pH, συμπεριλαμβανομένου και του pH του γάλακτος η β-γαλακτογλοβουλίνη τείνει να σχηματίζει ένα διμερές το οποίο είναι σφαιρικό και έχει διάμετρο περίπου 18 Å (Kilara & Vaghela, 2018). Εξαιτίας των πολύ υψηλών επιπέδων δευτεροταγών και τριτοταγών δομών η β-γαλακτογλοβουλίνη είναι αρκετά ανθεκτική στην πρωτεόλυση στην φυσική της κατάσταση. Αυτή η ιδιότητα συνεπάγεται πως η κύρια λειτουργία της πρωτεΐνης δεν είναι αποκλειστικά θρεπτική αλλά βιολογική. Ο πρωταρχικός ρόλος της β-γαλακτογλοβουλίνης είναι ότι μπορεί να δράσει ως φορέας για τη ρετινόλη (Βιταμίνη Α). Το μόριο διαθέτει μια αρκετά υδρόφοβη περιοχή η οποία έχει την ικανότητα να δεσμεύει την ρετινόλη προστατεύοντας την από την οξειδωση και να τη μεταφέρει μέσω του στομάχου στο λεπτό έντερο (Patrick F. Fox & Paul L. H. McSweeney, 2013).

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος είναι ευαίσθητες στη θέρμανση και σε υψηλές θερμοκρασίες η δομή τους τροποποιείται και αναδιπλώνονται γεγονός που οδηγεί στο σχηματισμό συμπλεγμάτων με πρωτεΐνες καζεΐνης που επηρεάζουν τη σταθερότητα του γάλακτος. Το σύμπλοκο αυτό δημιουργείται συγκεκριμένα μεταξύ της β-γαλακτογλοβουλίνης και της κ-καζεΐνης, δηλαδή της πρωτεΐνης που βρίσκεται στην επιφάνεια του μικκυλίου καζεΐνης. Η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των δύο πρωτεϊνών γίνεται μέσω του σχηματισμού δισουλφιδικών δεσμών (Raynes et al., 2017).

### α-ΓΑΛΑΚΤΑΛΒΟΥΜΙΝΗ (α-La)

Η δεύτερη επικρατέστερη πρωτεΐνη στον ορό γάλακτος είναι η α-γαλακταλβουμίνη και περιλαμβάνει περίπου το 3,5% της συνολικής πρωτεΐνης γάλακτος το οποίο αντιπροσωπεύει περίπου το 20% της συνολικής πρωτεΐνης ορού γάλακτος. Το μόριο αποτελείται από 123 αμινοξέα και έχει μοριακό βάρος 14.146 Da, ενώ περιέχει τέσσερις δισουλφιδικούς δεσμούς και καμία φωσφορική ομάδα (Kilara & Vaghela, 2018). Η α-γαλακταλβουμίνη είναι μια συμπαγής πρωτεΐνη η οποία έχει ταξινομηθεί στις μεταλλοπρωτεΐνες καθώς περιέχει ένα μόριο ασβεστίου ( Ca ) σε κάθε μόριο της. Η δέσμευση ασβεστίου έχει αποδεχθεί πως είναι απαραίτητη για τη σωστή αναδίπλωση του μορίου και τον σχηματισμό των δισουλφιδικών δεσμών (H. Deeth & Bansal, 2018). Η παρουσία ασβεστίου καθιστά την α-γαλακταλβουμίνη μια πρωτεΐνη σταθερή έναντι στην θερμότητα και συγκεκριμένα είναι η πιο θερμοάντοχη πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Χωρίς τα μέταλλα η α-γαλακταλβουμίνη μετουσιώνεται σε αρκετά χαμηλό εύρος θερμοκρασιών και δεν επανέρχεται στην αρχική της μορφή κατά την ψύξη γεγονός που εκμεταλλεύθηκε για την απομόνωση της (Patrick F. Fox & Paul L. H. McSweeney, 2013). Σε βιολογικό επίπεδο έχει συνδεθεί με τη ρύθμιση της σύνθεσης της λακτόζης αφού η συγκέντρωση λακτόζης στο γάλα είναι ανάλογη με την περιεκτικότητά του σε α-γαλακταλβουμίνη. Η πρωτεΐνη αυτή σχηματίζει ένα σύμπλοκο με β-1,4 -γαλακτοζυλοτρανσφεράση και ρυθμίζει την έλξη της με τη λακτόζη επιτρέποντας την αποτελεσματική παραγωγή της στο σύμπλεγμα Golgi (H. Deeth & Bansal, 2018).

### ΟΡΑΛΒΟΥΜΙΝΗ (SA)

Η οραλβουμίνη απαντάται στο γάλα σε πολύ μικρότερη ποσότητα συγκριτικά με την β-γαλακτογλοβουλίνη και την α-γαλακταλβουμίνη. Το αγελαδινό γάλα περιέχει περίπου 0,4 g SA /L ), η οποία αντιστοιχεί στο 1,5% της συνολικής πρωτεΐνης γάλακτος και περίπου στο 8% των συνολικών πρωτεϊνών ορού γάλακτος. Η πρωτεΐνη αυτή έχει μοριακό βάρος περίπου 69.000 Da ενώ αποτελείται από 582 αμινοξέα. Διαθέτει 17 δισουλφίδια , μια ελεύθερη σουλφοδρυλική ομάδα και καθόλου φώσφορο. Η οραλβουμίνη είναι πανομοιότυπη από πλευράς σύνθεσης με την αλβουμίνη του αίματος, επομένως η οραλβουμίνη δεν συντίθεται στον μαστό αλλά μεταφέρεται στο γάλα μέσω της παθητικής διαρροής από την κυκλοφορία του αίματος. Αυτό συμβαίνει λόγω της «αποδυνάμωσης» των ισχυρών δεσμών μεταξύ των μητρικών επιθηλιακών κυττάρων. Γενικά η οραλβουμίνη

περιγράφεται ως μια πολυλειτουργική πρωτεΐνη με εξαιρετική ικανότητα δέσμησης λιπαρών οξέων και μεταλλικών ιόντων. Τα λιπαρά οξέα που δεσμεύονται με αυτόν τον τρόπο έχουν αυξημένη διαλυτότητα. Επίσης εξαιτίας της δέσμησης των λιπαρών οξέων με κατάλληλο τρόπο η οραλβουμίνη χρησιμοποιείται συχνά σε δοκιμές λιπάσης για την απορρόφηση των ελεύθερων λιπαρών οξέων και μείωση της αναστολής του προϊόντος στην αντίδραση. Η οραλβουμίνη με δεσμευμένα λιπαρά οξέα είναι πιο σταθερή απέναντι στη μετουσίωση και την υδρόλυση ενώ ταυτόχρονα έχει βελτιωμένη γαλακτωματοποιητική δράση λόγω της μείωσης του υδρόφοβου χαρακτήρα στην επιφάνεια της πρωτεΐνης (H. Deeth & Bansal, 2018).

### ΑΝΟΣΟΣΦΑΙΡΙΝΕΣ (Ig)

Οι ανοσοσφαιρίνες αποτελούν τουλάχιστον το 2% της συνολικής πρωτεΐνης γάλακτος. Την κατηγορία αυτή των πρωτεϊνών τη συναντάμε στο γάλα σε διάφορες μορφές οι οποίες είναι οι IgG1, IgG2, IgA και IgM. Όλα αυτά τα μόρια έχουν παρόμοια βασική δομή (μονομερή) και αποτελούνται από δύο ελαφριές αλυσίδες με μοριακό βάρος 20.000–25.000 Da και δύο βαριές αλυσίδες με μοριακά βάρη 50.000–70.000 Da που συνδέονται με δισουλφιδικούς δεσμούς. Όπως και η οραλβουμίνη έτσι και οι ανοσοσφαιρίνες δεν συντίθενται στον μαστικό αδένα αλλά προέρχονται από το αίμα επομένως πρέπει πρωτίστως να εισέλθουν στον αδένα και στη συνέχεια να μεταφερθούν μέσω αυτού στο γάλα. Έρευνες έχουν δείξει πως για την γενετική παραλλαγή IgG1 έχει εντοπιστεί μια ειδική θέση υποδοχέα στη μεμβράνη των κυττάρων του μαστικού αδένα η οποία διευκολύνει την είσοδο της πρωτεΐνης (Kilara & Vaghela, 2018). Οι ανοσοσφαιρίνες (Igs) στο πρωτόγαλα και το γάλα είναι καίριας σημασίας για το αμυντικό σύστημα του νεαρού ζώου έναντι παθογόνων βακτηρίων, ιών και άλλων τοξινών. Η περιεκτικότητα του πρωτογάλατος σε ανοσοσφαιρίνες είναι σημαντικά μεγαλύτερη συγκριτικά με το ώριμο γάλα. Όταν ένα μοσχάρι γεννιέται δεν έχει αντισώματα αίματος οπότε προκειμένου να αποκτήσει ανοσία στα αρχικά στάδια της ζωής βασίζεται στο πρωτόγαλα (H. Deeth & Bansal, 2018).

## ΠΡΩΤΕΟΖΕΣ - ΠΕΠΤΟΝΕΣ

Η κατηγορία αυτή των πρωτεϊνών είναι ένα μίγμα πρωτεϊνών και πεπτιδίων και ορίζονται ως το κλάσμα του γάλακτος το οποίο παραμένει εν διαλύσει μετά από θέρμανση του γάλακτος στους 95°C για 20 λεπτά και στη συνέχεια οξίνιση σε pH 4,7 με 12% τριγλωροοξικό οξύ. Περίπου το 1,1% της συνολικής πρωτεΐνης του γάλακτος αποτελείται από πεπτόνες πρωτεόζες οι οποίες μπορούν να χωριστούν σε τέσσερα κύρια συστατικά ενώ απαντώνται και δευτερεύοντα. Μπορούν να ταξινομηθούν σε αυτές που προκύπτουν από την πρωτεόλυση των καζεϊνών και σε αυτές που είναι εγγενείς στο γάλα. Το συστατικό πρωτεόζης / πεπτόνης 3 (PP3) βρίσκεται μόνο στον ορό του γάλακτος, δεν συνδέεται με την καζεΐνη και περιέχει πάνω από 17% υδατάνθρακες. Το συστατικό πρωτεόζης πεπτόνης 5 συνδέεται τόσο με το κλάσμα ορού γάλακτος όσο και με το κλάσμα καζεΐνης ενώ το μόριο αυτό περιέχει φώσφορο. Τα κύρια προϊόντα της πρωτεόλυσης σε αυτό το κλάσμα είναι η πρωτεόζη πεπτόνη 5 (PP5), πεπτόνη πρωτεόζης 8 (αργή) (PP8s) και πρωτεόζη πεπτόνη 8 (γρήγορη) (PP8f). Δεδομένου ότι ορισμένα από αυτά τα μόρια προέρχονται από την πρωτεόλυση των β-καζεϊνών, η συγκέντρωσή τους σε κάθε γάλα αναμένεται να αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου (H. Deeth & Bansal, 2018), (Kilara & Vaghela, 2018).

### 1.3.ΛΙΠΟΣ

Τα λιπίδια του γάλακτος είναι πολύ σημαντικά καθώς προσδίδουν χαρακτηριστικές υφές και οργανοληπτικές ιδιότητες σε ποικίλα γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως κρέμα γάλακτος, βούτυρο, πλήρες γάλα, σκόνη γάλακτος και τυρί. Πρωταρχικός ρόλος των λιπιδίων είναι να προσφέρουν ενέργεια στο νεογέννητο μοσχάρι. Ωστόσο η λιποπερικτικότητα του γάλακτος και η σύνθεση των λιπαρών οξέων εξαρτάται από τη φυλή του ζώου, τη διατροφή της αγελάδας και το στάδιο της γαλακτικής περιόδου. Η περιεκτικότητα σε λιπαρά μπορεί να ποικίλλει από περίπου 3,0 έως 6,0%, αλλά συνήθως κυμαίνεται από 3,5 έως 4,7%. Στο αγελαδινό γάλα τα λιπίδια έχουν τη μορφή μικροσκοπικών σφαιριδίων και είναι διασκορπισμένα στη συνεχή φάση του πλάσματος του γάλακτος το οποίο περιέχει μικκύλια καζεΐνης, πρωτεΐνες ορού, σάκχαρα και μέταλλα και μπορεί να θεωρηθεί τόσο κολλοειδές εναιώρημα όσο και γαλάκτωμα λάδι σε νερό (Huppertz et al., 2020). Τα σφαιρίδια λίπους αποτελούνται από έναν πυρήνα τριγλυκεριδίων που περιβάλλεται από

μια λεπτή μεμβράνη που χαρακτηρίζεται ως μεμβράνη σφαιριδίων λίπους γάλακτος -Milk Fat Globule Membrane (MFGM). Τα τριγλυκερίδια αποτελούν τη σημαντικότερη κατηγορία λιπιδίων και αποτελούν τα 97-98 % των ολικών λιπιδίων. Η μεμβράνη των λιποσφαιρίων έχει διατομή περίπου 10-20 nm, δρα ως γαλακτωματοποιητής και προστατεύει τα σφαιρίδια από τη συνένωση και την ενζυμική αποικοδόμηση. Είναι επίσης εξαιρετικά δομημένη και περιέχει ειδικές για τη μεμβράνη πρωτεΐνες με κυριότερες τις γλυκοπρωτεΐνες. Όσον αφορά τα λιπίδια η μεμβράνη αποτελείται κυρίως από πολικά λιπίδια όπως φωσφολιπίδια και σφιγγολιπίδια τα οποία χαρακτηρίζονται ως αμφιφιλικά μόρια με υδρόφοβη ουρά και υδρόφιλη ομάδα κεφαλής. Οι αμφιφιλικές ιδιότητες κυρίως των φωσφολιπιδίων τα καθιστούν πολύτιμο συστατικό της μεμβράνης καθώς στο εσωτερικό της είναι εγκλωβισμένο το λίπος και στο εξωτερικό διαβρέχεται από την υδατική φάση. Επιπλέον, μπορούν να εμφανιστούν και ουδέτερα λιπίδια όπως είναι τα τριγλυκερίδια, τα διγλυκερίδια, τα μονογλυκερίδια, η χοληστερόλη και οι εστέρες της (Dewettinck et al., 2008).

Επειδή τα λιποσφαίρια έχουν χαμηλότερη πυκνότητα από το πλάσμα του γάλακτος τείνουν να ανέρχονται στην επιφάνεια υπό την επίδραση μιας βαρυτικής δύναμης σχηματίζοντας μια κρέμα πλούσια σε λίπος. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, καθώς δημιουργεί ελαττώματα σε ποικίλα γαλακτοκομικά προϊόντα, καθιερώθηκε η ομογενοποίηση του γάλακτος. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται τεμαχισμός των σφαιριδίων λίπους γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους τους εξασφαλίζοντας έτσι την ομοιόμορφη διασπορά τους στην υδατική φάση. Η νέα μεμβράνη των λιποσφαιρίων μετά την ομογενοποίηση είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορέσει να καλυφθεί και να σταθεροποιηθεί από την αρχική ποσότητα της MFGM. Επομένως η επιφάνεια καλύπτεται κυρίως από μικκύλια καζεΐνης και δευτερευόντως από πρωτεΐνες του ορού δημιουργώντας έτσι μια τεχνητή μεμβράνη με διαφορετικά χαρακτηριστικά από την φυσική μεμβράνη (Huppertz et al., 2020).

#### 1.4.BITAMINEΣ

Οι βιταμίνες είναι οργανικές ουσίες που συνήθως ταξινομούνται ανάλογα με τη διαλυτότητά τους. Οι λιποδιαλυτές βιταμίνες περιλαμβάνουν τις βιταμίνες A, D, E και K, ενώ οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες περιλαμβάνουν εκείνες που ανήκουν στο σύμπλεγμα B

καθώς και τη βιταμίνη C. Σε γενικές γραμμές, κάτω από κάθε μικροθρεπτικό συστατικό που ονομάζεται "βιταμίνη" υπάρχει μια οικογένεια μοριακά συγγενών ενώσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τουλάχιστον ένα μέλος κάθε οικογένειας βιταμινών βρίσκεται συνήθως στο γάλα, αν και μερικές φορές σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση. Για αυτόν ακριβώς το λόγο όμως, το γάλα περιέχει ένα σχεδόν πλήρες συμπλήρωμα βιταμινών, η συμβολή των οποίων στην ανθρώπινη διατροφή θα μπορούσε να έχει οφέλη όχι μόνο για την υγεία αλλά και για τη ρύθμιση του μεταβολισμού, με τις επιπτώσεις του να εξαρτώνται από τη διατροφική κατάσταση του κάθε ατόμου. Οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των βιταμινών στο γάλα προκύπτουν από το συνδυασμό της ειδικής προέλευσής τους (σύνθεση της διατροφής, μικροβιακή σύνθεση στο γαστρεντερικό σωλήνα, ενδογενής σύνθεση από τους ζωικούς ιστούς σε ορισμένες περιπτώσεις) που εξαρτούν τη διαθεσιμότητά τους για το γαλακτοπαραγωγό ζώο και κατά συνέπεια τη μεταφορά τους στο γάλα, καθώς και από ρυθμιστικούς παράγοντες όπως οι πεπτικές διεργασίες, η φυσιολογική κατάσταση και η γενικότερη υγεία του ζώου (Graulet et al., 2013).

Οι συγκεντρώσεις των λιποδιαλυτών βιταμινών στο γάλα εξαρτώνται από την περιεκτικότητα του γάλακτος σε λιπαρά. Έτσι οι ποικιλίες γάλακτος με χαμηλά λιπαρά και το αποβουτυρωμένο γάλα έχουν χαμηλότερες ποσότητες βιταμινών A, D και E. Σε ορισμένες χώρες μάλιστα, το αποβουτυρωμένο γάλα ενισχύεται με βιταμίνες A και D για να βελτιωθεί ο θρεπτικός του πλούτος. Η βιταμίνη A είναι ιδιαίτερα σημαντική για την αύξηση, την ανάπτυξη, την ανοσία και την υγεία των ματιών. Η περιεκτικότητά της στο γάλα εξαρτάται κυρίως από την ποσότητα του λίπους, αλλά και από παράγοντες όπως η ζωοτροφή και η εποχή. Το πλήρες γάλα θεωρείται γενικά καλή πηγή βιταμίνης A, παρέχοντας περίπου 172mg/100g. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε βιταμίνη A στο αποβουτυρωμένο γάλα ή στο γάλα χωρίς λιπαρά μπορεί να είναι τόσο χαμηλή όσο 102mg/100 g και 5mg/100g, αντίστοιχα. Έτσι, αρκετές χώρες έχουν επιλέξει να ενισχύσουν τα γαλακτοκομικά προϊόντα με μειωμένα λιπαρά για να βελτιώσουν τη διατροφική κατάσταση και να μειώσουν την ανεπάρκεια βιταμίνης A, ιδίως στα παιδιά. Επιπλέον, το γάλα διακρίνεται και για τον πλούτο του σε βιταμίνες του συμπλέγματος B, παρέχοντας το 10% με 15% της ημερήσιας συνιστώμενης πρόσληψης για τους περισσότερους ανθρώπους. Οι βιταμίνες αυτές είναι σημαντικοί ενζυμικοί συμπαράγοντες και συμμετέχουν σε διάφορα μεταβολικά μονοπάτια, όπως η παραγωγή ενέργειας από θρεπτικά συστατικά και η σύνθεση νευροδιαβιβαστών και ορμονών (Pereira, 2014).



## 1.5.ΛΑΚΤΟΖΗ

Η λακτόζη αποτελεί τον κύριο υδατάνθρακα που υπάρχει στο γάλα. Είναι ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από γλυκόζη και γαλακτόζη. Μπορεί να βρεθεί σε δύο ισομερείς μορφές, την άλφα ( $\alpha$ ) και τη βήτα ( $\beta$ ) που σε υδατικό διάλυμα βρίσκονται σε ισορροπία. Υδρολύεται από την  $\beta$ -γαλακτοσιδάση, η οποία είναι ευρέως γνωστή ως λακτάση, η οποία έχει μάλιστα μια ιδιαίτερη προτίμηση στη μορφή  $\beta$  (Pereira, 2014). Ένας γλυκοσυλικός δεσμός (1,4) συνδέει το άτομο άνθρακα 1 της γαλακτόζης και το άτομο άνθρακα 4 της γλυκόζης και, όπως πολλοί υδατάνθρακες έτσι και η λακτόζη μπορεί να λάβει 2 ανωμερές μορφές: την ο- $\beta$ -d-γαλακτοπυρανοσυλ-(1,4)- $\alpha$ -d-γλυκοπυρανόζη, γνωστή ως  $\alpha$ -λακτόζη, και την ο- $\beta$ -d-γαλακτοπυρανοσυλ-(1,4)- $\beta$ -d-γλυκοπυρανόζη, γνωστή ως  $\beta$ -λακτόζη. Στους 20°C, η συνολική λακτόζη αποτελείται από 37,3%  $\alpha$ -λακτόζη και 62,7%  $\beta$ -λακτόζη. Η δυναμική ισορροπία μεταξύ των 2 αυτών μορφών επηρεάζεται από παράγοντες όπως η συνολική LP (lactose percentage- ποσοστό λακτόζης), η θερμοκρασία, το pH και η παρουσία συνδιαλυτών (Costa et al., 2019).

Η  $\alpha$ -λακτόζη αυξάνει τη σταθερότητά της όταν συνδέεται με 1 μόριο νερού, το οποίο ορίζεται ως νερό κρυστάλλωσης και για το λόγο αυτό αναφέρεται συνήθως ως μονοϋδρική λακτόζη. Η μετάβαση μεταξύ των 2 διαμορφώσεων πραγματοποιείται όταν ένα μονομερές γλυκόζης μετατρέπεται σε μια ανοικτή αλδεϋδική μορφή, με οξύ, βάση ή νερό που ενεργεί ως καταλύτης. Ως αποτέλεσμα, ο ανομερές ακεταλικός άνθρακας της γλυκόζης μπορεί να αλλάξει τη διαμόρφωσή του από  $\alpha$  σε  $\beta$  ή αντίστροφα. Οι 2 ισόμορφες της λακτόζης διαφέρουν ως προς τη διαλυτότητα, την ειδική περιστροφή και τη γλυκύτητα. Οι διαφορές αυτές είναι ζωτικής σημασίας για τις τεχνολογικές επεξεργασίες της λακτόζης, όπως η ξήρανση με ψεκασμό, η κρυσταλλοποίηση και οι μεταγενέστερες εφαρμογές. Τόσο η  $\alpha$ -όσο και η  $\beta$ -λακτόζη παρουσιάζουν το ίδιο θρεπτικό προφίλ. Η αλδεϋδική μορφή της λακτόζης υπάρχει στο γάλα σε πολύ μικρές ποσότητες και με ιδιαίτερα δυναμική ισορροπία τείνει να μετατρέπεται αμέσως στην κυκλική μορφή. Ωστόσο, η αλδεϋδική ομάδα δρα ως αναγωγικός παράγοντας και μπορεί να αλληλεπιδράσει με τις πρωτεΐνες μέσω αντιδράσεων Maillard (Costa et al., 2019).

## 1.6.ENZYMA

Τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες με καταλυτική δράση είναι δηλαδή βιολογικοί καταλύτες. Στο γάλα των βοοειδών έχουν παρατηρηθεί πάνω από 60 διαφορετικά ενδογενή ένζυμα τα οποία προέρχονται από τρεις κύριες πηγές : από το αίμα των ζώων, από το κυτταρόπλασμα των εκκριτικών κυττάρων ή από την από την μεμβράνη που περιβάλλει τα λιποσφαίρια η οποία πιθανόν να είναι και ο κύριος παράγοντας ύπαρξης ενδογενών ενζύμων στο γάλα. Έτσι, τα περισσότερα ένζυμα εισέρχονται στο γάλα λόγω των ιδιαιτεροτήτων του μηχανισμού με τον οποίο τα συστατικά του γάλακτος, ιδίως τα λιποσφαίρια, αποβάλλονται από τα εκκριτικά κύτταρα. Το γάλα δεν περιέχει υποστρώματα για πολλά από τα υπάρχοντα ένζυμα, ενώ πολλά άλλα είναι ανενεργά στο γάλα λόγω των ακατάλληλων περιβαλλοντικών συνθηκών, π.χ. pH. Παρόλα αυτά, πολλά ενδογενή ένζυμα του γάλακτος είναι τεχνολογικά σημαντικά για τους παρακάτω λόγους:

1. Η αλλοίωση ή η συντήρηση της ποιότητας του γάλακτος. Η πρώτη γίνεται κυρίως μέσω του ενζύμου λιπάση, το οποίο δυνητικά αποτελεί ίσως το σημαντικότερο εγγενές ένζυμο στο γάλα από τεχνολογική άποψη. Είναι μια λιποπρωτεΐνη της οποίας ο ρόλος αφορά την υδρολυτική τάγγιση που καθιστά το υγρό γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα δυσάρεστα και τελικά μη εμπορεύσιμα. Όλα τα γάλατα περιέχουν επαρκές επίπεδο λιπάσης για ταχεία λιπόλυση, αλλά γίνονται ταγγισμένα μόνο αφού καταστραφεί η μεμβράνη των λιποσφαιρίων. Η συντήρηση της ποιότητας του γάλακτος γίνεται κυρίως μέσω του υπεροξειδίου της δισμουτάσης. Αυτό στο γάλα, είναι σταθερό στους 71 °C για 30 λεπτά, αλλά χάνει γρήγορα τη δραστηριότητά του ακόμη και σε ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες. Μικρές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία παστερίωσης είναι επομένως κρίσιμες για την επιβίωση του στα θερμαινόμενα γαλακτοκομικά προϊόντα και μπορεί να συμβάλλουν στις διακυμάνσεις της σταθερότητας του γάλακτος στην οξειδωτική τάγγιση.

2. Ως δείκτες της μόλυνσης από μαστίτιδα. Η συγκέντρωση διαφόρων ενζύμων αυξάνεται κατά τη μαστική μόλυνση, ιδίως της καταλάσης και της N-ακέτυλο-β-d-γλυκοζαμινιδάσης.

3. Αποτελούν δείκτες της αντιμικροβιακής δράσης ιδιαίτερα η λυσοζύμη και η λακτοπεροξειδάση. Οι βακτηριοκτόνες επιδράσεις των λακτοπεροξειδάσης-υπεροξειδίου του υδρογόνου -θειοκυανίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ψυχρή παστερίωση του

γάλακτος σε περιπτώσεις όπου η ψύξη ή και η θερμική παστερίωση του γάλακτος δεν είναι εφικτή.

Με ορισμένες μικρές εξαιρέσεις όπως π.χ. η λυσοζύμη και η λακτυπεροξειδάση, τα ενδογενή γαλακτοκομικά ένζυμα δεν έχουν ευεργετική επίδραση στα θρεπτικά ή οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος και, ως εκ τούτου, η αδρανοποίησή τους με θερμότητα είναι ένας από τους στόχους πολλών γαλακτοκομικών διεργασιών (Fox et al., 2015).

### 1.7.ΑΛΑΤΑ

Τα άλατα του γάλακτος αποτελούνται κυρίως από Ca(ασβέστιο), Mg(μαγνήσιο), K(κάλιο), Na(νάτριο), Cl(χλώριο), Pi(ανόργανα φωσφορικά) και κιτρικά, τα οποία κατανέμονται μεταξύ της ορώδους και της μικελλικής φάσης. Σχεδόν όλα τα K, Na, Cl, το ένα τρίτο του Ca, τα δύο τρίτα του Mg, το μισό του Pi και το 90% των κιτρικών υπάρχουν στην υδατική φάση, ενώ τα υπόλοιπα από αυτά τα μικροστοιχεία είναι συνδεδεμένα με τα φωσφορυλιωμένα κατάλοιπα των καζεϊνών, σχηματίζοντας το μικελλικό κolloειδές φωσφορικό ασβέστιο (MCP). Υπάρχει μια δυναμική ισορροπία μεταξύ των ιόντων και νανοσυσσωματωμάτων MCP, η οποία είναι κρίσιμη για τις φυσικοχημικές ιδιότητες και τη σταθερότητα (π.χ. πήξη της πυτιάς, σταθερότητα στη θερμότητα και την αλκοόλη) του γάλακτος (Wang & Ma, 2020).

Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επεξεργασίας γαλακτοκομικών προϊόντων, το ισοζύγιο αλάτων είναι εύκολο να ενεργοποιηθεί υπό διαφορετικές συνθήκες. Ένας από τους παράγοντες είναι η θερμοκρασία που προκύπτει από τη θερμική επεξεργασία, η οποία χρησιμοποιείται συχνά για τη θανάτωση των μικροοργανισμών και την αύξηση της διάρκειας ζωής του γάλακτος. Για το αποβουτυρωμένο γάλα, η θερμική επεξεργασία οδηγεί σε μείωση των διαχεόμενων αλάτων, ιδίως του Ca και του Pi, και σε αύξηση του μη διαχεόμενου Ca και του Pi. Το φωσφορικό ασβέστιο που σχηματίζεται είναι ένα αναστρέψιμο άλας όσον αφορά τη διαλυτότητα κατά τη θερμική επεξεργασία. Εάν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 90C, η μετατόπιση των διαχεόμενων αλάτων προς τη μικυλλιακή φάση θεωρείται αντιστρεπτή μετά την ψύξη. Εξάλλου, η αύξηση του μικελλικού ασβεστίου και των φωσφορικών αλάτων αποδίδεται στις εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία προσαρμογές του μεγέθους ή του αριθμού των νανοσυσσωματωμάτων MCP.

Αντιθέτως, οι σοβαρές θερμικές επεξεργασίες (π.χ. 120°C για 10 λεπτά) προκαλούν μη αναστρέψιμες μεταβολές στην κατανομή των αλάτων, πιθανώς λόγω των τροποποιήσεων στη δομή του MCP (Wang & Ma, 2020).

Εκτός από τη θερμοκρασία, το pH είναι μια άλλη σημαντική μεταβλητή που επηρεάζει την ισορροπία των αλάτων. Η οξίνιση του γάλακτος οδηγεί σε προοδευτική πρωτονίωση των φωσφορικών και προκαλεί προοδευτική διάλυση του MCP. Η συγκέντρωση του ιοντικού ασβεστίου αυξάνεται επίσης καθώς μειώνεται το pH ενώ αντιθέτως, παρατηρείται μείωση των διαχεόμενων αλάτων με αύξηση των μικελλικών αλάτων καθώς αυξάνεται το pH (Wang & Ma, 2020).

## 2. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Η επίδραση της θερμότητας στο γάλα αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα στη χημεία των γαλακτοκομικών προϊόντων καθώς τα περισσότερα από αυτά υπόκεινται σε θερμική επεξεργασία πριν διατεθούν στο εμπόριο. Η θερμική σταθερότητα του γάλακτος αναφέρεται στην ικανότητα του γάλακτος να αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες επεξεργασίας χωρίς ορατή πήξη ή ζελατινοποίηση. Πρωτίστως η θερμική επεξεργασία σκοτώνει τα παθογόνα βακτήρια προκειμένου να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των γαλακτοκομικών προϊόντων και των καταναλωτών. Ωστόσο, προκαλεί επίσης αλλαγές στη δομή και τη βιοδραστικότητα ορισμένων συστατικών του γάλακτος με κυριότερο τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Η επεξεργασία που υπόκεινται το γάλα μπορεί να κυμαίνεται από 65°C για 15 δευτερόλεπτα (θέρμισμα) έως 120°C για 10-20 λεπτά (αποστείρωση) και εξαρτάται από το είδος και τη φύση του προϊόντος που επιθυμεί η εκάστοτε γαλακτοβιομηχανία να παράγει. Όταν το γάλα θερμαίνεται αρχίζει να λαμβάνει χώρα μια σειρά αντιδράσεων ανταγωνιστικών και συχνά αλληλεξαρτώμενων, όπου η σημασία της καθεμίας καθορίζεται από τις συνθήκες θέρμανσης και την σύνθεση του γάλακτος. Κατά τη μελέτη των πρωτεϊνικής φύσεως συστατικών του γάλακτος το ενδιαφέρον των επιστημόνων στράφηκε στη μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού αλλά και στις αλληλεπιδράσεις που έχουν με άλλες πρωτεΐνες όπως τα μικκύλια καζεΐνης. Αυτές οι αντιδράσεις μπορούν να τροποποιήσουν σημαντικά τις φυσικοχημικές ιδιότητες του γάλακτος και να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της σταθερότητας του

γάλακτος και της λειτουργικότητας των θερμαινόμενων γαλακτοκομικών προϊόντων (Anema, 2019 & Zhang et al., 2021).

Ως μετουσίωση πρωτεϊνών ορίζεται ως οποιαδήποτε μη ομοιοπολική αλλαγή στη δευτεροταγή ή τριτοταγή δομή του μορίου της πρωτεΐνης. Συγκρίνοντας την θερμοανθεκτικότητα τους, η α-γαλακταλβουμίνη αποτελεί την πιο σταθερή πρωτεΐνη απέναντι στην έκθεση τη θερμότητα ενώ ακολουθούν η οραλβουμίνη και η β-γαλακτογλοβουλίνη με τις ανοσοσφαιρίνες να αποτελούν την πιο θερμοευαίσθητη κατηγορία. Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος στην φυσική τους μορφή απαντώνται ως μη ομοιοπολικά συνδεδεμένα ολιγομερή ( όπως το διμερές της β-γαλακτογλοβουλίνης). Έπειτα από την μετουσίωση, η πρωτεΐνη μπορεί είτε να επανέλθει στη φυσική της κατάσταση (αναδιπλωθεί) είτε να αλληλοεπιδράσει με άλλα συστατικά του γάλακτος. Κατά την έναρξη της μετουσίωσης συμβαίνει αναστρέψιμη διάσπαση του ολιγομερούς με μονομερή. Η μονομερής πρωτεΐνη μπορεί εν συνεχεία να ξεδιπλωθεί διαταράσσοντας την αρχική διαμόρφωση του μορίου. Όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται στους 65°C η διαδικασία αυτή είναι αναστρέψιμη ενώ σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 70°C όχι. Σε ένα γαλάκτωμα όπως το γάλα η διαδικασία της ξεδίπλωσης συνεπάγεται με την έκθεση των αντιδραστικών αμινομάδων της πλευρικής αλυσίδας επιτρέποντας έτσι να συμβούν μη αντιστρέψιμες αντιδράσεις συσσωμάτωσης. Οι αντιδράσεις αυτές μπορούν να πραγματοποιηθούν είτε μεταξύ αναδιπλωμένων πρωτεϊνών ορού είτε μεταξύ πρωτεϊνών ορού και μικκυλίων καζεΐνης. Μια από τις κυριότερες αντιδράσεις της τελευταίας κατηγορίας είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της β-γαλακτογλοβουλίνης με την κ-καζεΐνη στην επιφάνεια του μικκυλίου όταν οι δύο αυτές πρωτεΐνες θερμαίνονται μαζί (Anema, 2019).

### 3.ΓΑΛΛΑ BARISTA

#### 3.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ολοένα και πιο δημοφιλή έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια τα ροφήματα καφέ τύπου cappuccino. Αυτό οφείλεται κυρίως στην επίστρωση αφρού στην κορυφή των συγκεκριμένων ροφημάτων γεγονός που ενισχύει αρκετά τη γεύση, την υφή, την εμφάνιση και την αίσθηση στο στόμα. Η ποιότητα και η ζήτηση αυτών των προϊόντων εξαρτάται από την ικανότητα του γάλακτος να σχηματίζει έναν σταθερό αφρό ικανό να σταθεί στην κορυφή του καφέ. Με το πέρασ των χρόνων υπάρχει ένα



Εικόνα 1.Δείγμα επαγγελματικού cappuccino

αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την αεροποιητική ικανότητα του γάλακτος, όπως η σύνθεση του, οι επεξεργασίες που υποβάλλεται και οι συνθήκες αποθήκευσης του και αυτό διότι τα παράπονα για κατώτερης ποιότητας αφρού είναι συχνά σε καφετέριες (Xiong et al., 2020). Οι αφροί γενικά είναι συστήματα αερίου-υγρού, τα οποία έχουν εφαρμογές σε διάφορους τομείς, ένας εκ των οποίων είναι και η βιομηχανία των τροφίμων. Η ενσωμάτωση φυσαλίδων αέρα στα τρόφιμα συμβάλλει στη βελτίωση της υφής, της εμφάνισης αλλά και της γεύσης τους. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ενσωμάτωση φυσαλίδων στα τρόφιμα όπως για παράδειγμα το μηχανικό χτύπημα και η έγχυση αέρα. Η λιγότερο ίσως κατανοητή μέθοδος για τη δημιουργία αφρών είναι η έγχυση ατμού γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην αποκλειστική της εφαρμογή για τον αφρισμό του γάλακτος που χρησιμοποιείται στην παρασκευή ζεστών ροφημάτων με βάση τον καφέ, όπως ο cappuccino, ο latte και ο mochaccino (Jimenez-Junca et al., 2015).

Ο αφρός του γάλακτος χαρακτηρίζεται ως ένα κολλοειδές σύστημα αέρα-υγρού στο οποίο οι φυσαλίδες αέρα σταθεροποιούνται από επιφανειοδραστικές ουσίες που υπάρχουν στο γάλα οι οποίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα

μικρομοριακά πολικά λιπίδια όπως μονογλυκερίδια, διγλυκερίδια, ελεύθερα λιπαρά οξέα και φωσφολιπίδια ενώ στη δεύτερη οι πρωτεΐνες οι οποίες διαδραματίζουν κύριο ρόλο καθώς αποτελούν πολύ καλές τασιενεργές ουσίες (ή επιφανειοδραστικές ουσίες) λόγω του αμφιφιλικού χαρακτήρα των μορίων τους. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος συμβάλλουν στον σχηματισμό αφρού μέσω της διάχυσης και της συγκέντρωσης τους στην επιφάνεια αέρα-υγρού που οδηγεί στην μείωση της επιφανειακής τάσης. Οι πρωτεΐνες εν συνεχεία ξεδιπλώνονται στη διεπιφάνεια σε υδρόφιλες και υδρόφοβες ομάδες προς την υγρή και την αέρια φάση, αντίστοιχα, και σχηματίζουν μια εξαιρετικά ιξωδοελαστική διεπιφανειακή μεμβράνη που έχει σαν αποτέλεσμα την σταθεροποίηση των φυσαλίδων αέρα. Η ικανότητα αφρισμού των πρωτεϊνών του γάλακτος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, η αναλογία καζεΐνης προς πρωτεΐνη ορού γάλακτος, η θερμική επεξεργασία και ιοντικό περιβάλλον. Έχει γίνει γνωστό ότι η όση περισσότερη είναι η περιεκτικότητα του γάλακτος σε πρωτεΐνη, πάντα σε εύρος όπου παραμένει διαλυτή στο γάλα, τόσο περισσότερο βελτιώνονται τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και η σταθερότητα του αφρού που παράγεται (Xiong et al., 2020) .

Οι πρωτεΐνες του γάλακτος μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες ανάλογα με τη δομή τους, στις εύκαμπτες και στις σφαιρικές. Οι εύκαμπτες καζεΐνες δεν έχουν τριτοταγή δομή και περιλαμβάνουν τις πρωτεΐνες  $\alpha_{S1}$ -,  $\alpha_{S2}$ -,  $\beta$ - και  $\kappa$ -καζεΐνη, τα μίγματα καζεϊνικού νατρίου και καζεϊνικού ασβεστίου. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες οι οποίες μπορούν να απομονωθούν μετά την καταβύθιση της καζεΐνης (π.χ. κατά τη διαδικασία παρασκευής τυριού) ονομάζονται πρωτεΐνες ορού γάλακτος. Οι πρωτεΐνες αυτές περιέχουν δισουλφιδικές γέφυρες, τριτοταγή δομή και διατηρούν τη σφαιρική τους μορφή, ακόμη και μετά από την προσρόφηση σε μια διεπιφάνεια. Λόγω της διαφορετικής μοριακής τους δομής, οι δύο τύποι πρωτεϊνών σχηματίζουν διαφορετικά σε δομή στρώματα προσρόφησης με πολύ διαφορετικές επιφανειακές ρεολογικές ιδιότητες. Τα πρωτεϊνικά μόρια, αλλάζουν τη φόρτιση και την επιφανειακή τους δραστηριότητα όταν μεταβάλλεται το pH και κατά συνέπεια μεταβάλλονται επίσης η αφριστικότητα και οι γαλακτωματοποιητικές τους ιδιότητες (Marinova et al., 2009a).

Ο αφρισμός με έγχυση ατμού είναι μια μη ισοθερμική μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί τη ροή ατμού για την αναρρόφηση αέρα και την ταυτόχρονη θέρμανση του γάλατος. Όπως κάθε αφρός, οι αφροί γάλακτος που παράγονται με έγχυση ατμού αρχίζουν να αποσταθεροποιούνται αμέσως μόλις η ροή του ατμού διακοπεί, με αποτέλεσμα τα χαρακτηριστικά τους να αλλάζουν συνεχώς με το χρόνο. Η διαδικασία αυτή συνοδεύεται

επίσης από πτώση της θερμοκρασίας, η οποία επηρεάζει περαιτέρω τις ιδιότητες του αφρού. Οι ιδιότητες του αφρού εξαρτώνται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της συνεχούς φάσης, τη μέθοδο παραγωγής και τις συνθήκες διεργασίας. Οι περισσότερες μελέτες που αφορούν τη σχέση μεταξύ των συνθηκών επεξεργασίας και των ιδιοτήτων του αφρού περιορίζονται στη μηχανική ανάδευση, βασιζόμενες σε μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αφρών (Jimenez-Junca et al., 2015).

### 3.2.ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΦΡΟΥ

Οι απαιτήσεις που υπάρχουν για το σχηματισμό αφρού περιλαμβάνουν τα εξής: αέριο, νερό, επιφανειοδραστική ουσία και ενέργεια. Η επιφανειοδραστική ουσία απαιτείται για τη μείωση της επιφανειακής τάσης μεταξύ του αερίου και του νερού έτσι ώστε να διευκολύνει το σχηματισμό μικρών φυσαλίδων αερίου. Για τους αφρούς γάλακτος και τους περισσότερους άλλους αφρούς τροφίμων γενικότερα, την επιφανειοδραστική ουσία αποτελούν οι πρωτεΐνες που υπάρχουν στο σύστημα. Από την άλλη, η ενέργεια απαιτείται για να ξεπεραστεί η διεπιφανειακή ελεύθερη ενέργεια του συστήματος, η οποία αυξάνεται κατά τον αφρισμό λόγω της διεύρυνσης της επιφάνειας. Κατά το σχηματισμό φυσαλίδων αερίου στο υγρό, οι φυσαλίδες αερίου θα πρέπει να έχουν επαρκή χρόνο για το σχηματισμό μιας διεπιφανειακής μεμβράνης, της οποίας η λειτουργία είναι να αποτραπεί η κατάρρευση ή η συνένωση των φυσαλίδων αυτών. Η συνένωση των φυσαλίδων αερίου συμβαίνει κατά κανόνα γρήγορα προκειμένου να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση της επιφάνειας, ωστόσο ο σχηματισμός ενός διεπιφανειακού φιλμ πρωτεϊνών παρέχει ένα κατάλληλο φράγμα για την αποτροπή της συνένωσης. Ιδανικά, οι πρωτεΐνες σχηματίζουν ένα συνεκτικό ιξωδοελαστικό φιλμ, το οποίο είναι παραμορφώσιμο και σταθερό στην τοπική αραίωση. Για την παρασκευή αφρών, υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες μέθοδοι σχηματισμού όπως η έγχυση ατμού και η ανάδευση (HUPPERTZ, 2010).

#### 3.2.1.ΕΓΧΥΣΗ ΑΤΜΟΥ

Στο εμπόριο, υπάρχουν διαθέσιμα πολλά και διαφορετικά σχέδια μηχανών καφέ, τα οποία για την παρασκευή αφρού γάλακτος χρησιμοποιούν μια ποικιλία από εγχυτήρες ατμού. Αναπόφευκτα λοιπόν, κάθε σχεδιασμός παράγει αφρό με διαφορετικό μηχανισμό. Η παλαιότερη μέθοδος παραγωγής αφρού με έγχυση ατμού είναι η χρήση ενός ακροφυσίου,



το οποίο τοποθετείται ακριβώς κάτω από την επιφάνεια του γάλακτος έτσι ώστε η ροή του ατμού μέσω του ακροφυσίου να προκαλεί την είσοδο του αέρα. Ο χειριστής (barista), μετακινεί το δοχείο του γάλακτος κάθετα και οριζόντια σε μια κατάλληλη συχνότητα για την εισαγωγή του αέρα και την παραγωγή του αφρού. Άλλα σχέδια, εκμεταλλεύονται την αρχή του εκτοξευτήρα ατμού για να περιορίσουν τη διέλευση του ατμού και να δημιουργήσουν την απαραίτητη πτώση πίεσης για την αναρρόφηση αέρα, ή ενός μείγματος αέρα και γάλακτος, για την παραγωγή του αφρού. Το απλούστερο σύστημα με βάση τον εκτοξευτήρα αποτελείται από ένα ακροφύσιο, όπου ο ατμός αφήνεται να διασταλεί, δημιουργώντας πολύ χαμηλή πίεση και εν συνεχεία, τραβάει τον αέρα μέσω ενός σωλήνα που συνδέεται στο ακροφύσιο. Τέλος, οι δύο φάσεις των ρευστών εισέρχονται σε ένα θάλαμο ανάμιξης πριν εισαχθούν στο γάλα για τη δημιουργία του αφρού (Jimenez-Junca et al., 2015).

Κατά τον σχηματισμό αφρού μέσω έγχυσης, το αέριο διοχετεύεται στο υγρό μέσω μικρών ανοιγμάτων παραδείγματος χάρη μέσα σε ένα πορώδες φύλλο, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται φυσαλίδες αερίου. Δύο παραλλαγές αυτής της μεθόδου χρησιμοποιούνται για την παρασκευή αφρών γάλακτος, ο ψυχρός αερισμός και η έγχυση ατμού. Ο ψυχρός αερισμός του γάλακτος αναφέρεται σε διεργασίες όπου το γάλα διογκώνεται σε αφρό μέσω της ενσωμάτωσης αέρα ή άλλου αερίου, σε θερμοκρασία σχεδόν περιβάλλοντος. Ο αποτελεσματικότερος ψυχρός αερισμός επιτυγχάνεται όταν ο αέρας διοχετεύεται στο γάλα μέσω ενός ακροφυσίου ή κάποιου άλλου τύπου διάτρητης επιφάνειας, με σκοπό τη δημιουργία μικρών αέριων φυσαλίδων, οι οποίες σταθεροποιούνται ταχέως από τα επιφανειοδραστικά υλικά του γάλακτος. Ο ψυχρός αερισμός του γάλακτος δεν χρησιμοποιείται συνήθως για εμπορικές διεργασίες, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε επιστημονικές μελέτες, λόγω της ευκολίας εφαρμογής του και της ευελιξίας του. Για τη μελέτη των ιδιοτήτων αφρισμού του γάλακτος, οι κύριες μεταβλητές όσον αφορά τον ψυχρό αερισμό είναι η διάρκεια του αερισμού, η πίεση του αερίου και η θερμοκρασία του γάλακτος. Η έγχυση με ατμό, αναφέρεται σε διεργασίες όπου το γάλα διογκώνεται με την ενσωμάτωση ατμού. Όπως και για τον ψυχρό αερισμό, ο ατμός διοχετεύεται στο γάλα μέσω ενός ακροφυσίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται φυσαλίδες αφρού στο γάλα. Η κύρια διαφορά μεταξύ του ψυχρού αερισμού και της έγχυσης ατμού είναι ότι η τελευταία προκαλεί επίσης σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας του γάλακτος. Σε μετρήσεις που έχουν διεξαχθεί, ο ατμός για 50 δευτερόλεπτα αυξάνει τη θερμοκρασία του γάλακτος άνω των 85°C ωστόσο η θερμοκρασία του αφρού δεν υπερβαίνει τους 65°C και μειώνεται

γρήγορα περίπου στους 50°C μέσα σε 4 λεπτά. Η έγχυση ατμού εφαρμόζεται γενικά στην παρασκευή του παραδοσιακού τύπου barista αφρού γάλακτος σε καφετέριες (HUPPERTZ, 2010).

### 3.2.2.ΑΝΑΔΕΥΣΗ

Το χτύπημα ή η ανάδευση έχει χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό αφρού και μπορεί να γίνει με τη χρήση μιας ποικιλίας συσκευών, οι οποίες αναδύουν έντονα ένα υγρό και τη διεπιφάνεια του με μια αέρια φάση. Κατά τη διαδικασία αυτή, ο αέρας ενσωματώνεται στο υγρό και διασπάται σε μικρότερες φυσαλίδες από την ταχύτατη κίνηση που προκαλείται, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή διάτμησης και αναταραχής στο μείγμα αερίου-υγρού (Narsimhan & Xiang, 2018a). Στο σχηματισμό αφρού μέσω ανάδευσης, μηχανική ενέργεια μεταφέρεται στη διεπιφάνεια αερίου-νερού, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται φυσαλίδες στο προϊόν. Η ανάδευση οδηγεί συνήθως στον αρχικό σχηματισμό συγκριτικά μεγάλων φυσαλίδων αέρα, οι οποίες μπορούν να διασπαστούν περαιτέρω σε μικρότερες. Όσον αφορά την τον αφρισμό του γάλακτος, οι πιο κοινές εφαρμογές είναι μικρές συσκευές χτυπήματος γάλακτος για οικιακή χρήση. Για τη μελέτη τον αφρισμό του γάλακτος με ανάδευση, οι κύριες μεταβλητές είναι οι η ένταση και η διάρκεια της ανάδευσης και η θερμοκρασία του γάλακτος (HUPPERTZ, 2010).

Το κλάσμα όγκου του αφρού και το υγρό στον αφρό ήταν υψηλότερα σε υψηλότερη ταχύτητα χτυπήματος καθώς και σε χαμηλότερο ρυθμό ροής του υγρού λόγω της υψηλότερης ενσωμάτωσης αέρα και του μεγαλύτερου παρασυρόμενου υγρού. Τόσο το κλάσμα όγκου όσο και το κλάσμα υγρού ήταν υψηλότερα για τους αφρούς που σταθεροποιήθηκαν με καζεϊνικό νάτριο από ό,τι για εκείνους που έχουν σταθεροποιηθεί με πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Αυτό δείχνει ότι η αφριστικότητα του καζεϊνικού νατρίου, μιας τυχαίας σπειροειδούς πρωτεΐνης, είναι υψηλότερη από την σφαιρική πρωτεΐνη ορού γάλακτος. Ωστόσο, τόσο το κλάσμα όγκου αφρού όσο και το υγρό κλάσμα μειώθηκαν πολύ ταχύτερα στην περίπτωση χρήσης καζεϊνικού νατρίου. Η μείωση του υγρού κλάσματος οφειλόταν στην ταχύτερη αποστράγγιση του υγρού, ενώ η μείωση του όγκου του αφρού οφειλόταν στις συνδυασμένες επιδράσεις της συναίρεσης και της συνένωσης των φυσαλίδων. Η σύγκριση αυτής της συμπεριφοράς μεταξύ αφρών σταθεροποιημένων με ορό γάλακτος και αφρών σταθεροποιημένων με καζεϊνικό νάτριο έδειξε ότι ο τελευταίος είναι λιγότερο σταθερός (Narsimhan & Xiang, 2018a).

Γενικά, το πλεονέκτημα της δημιουργίας φυσαλίδων μέσω του ακροφυσίου έναντι της ανάδευσης του γάλακτος είναι ο καλύτερος έλεγχος της κατανομής του μεγέθους των φυσαλίδων αέρα (Narsimhan & Xiang, 2018a).



Εικόνα 2. Παρασκευές καφέ βασισμένες στη δίογκωση του γάλακτος

### 3.3.ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΑΦΡΟΥ

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των αφρών γάλακτος είναι η σταθερότητα τους. Η σταθερότητα του αφρού αναφέρεται συνήθως στην ικανότητα του να διατηρεί ορισμένες από τις ιδιότητές του σταθερές με το πέρας του χρόνου όπως για παράδειγμα τον όγκο του, το μέγεθος των φυσαλίδων και την περιεκτικότητα του αφρού σε υγρό. (Marinova et al., 2009b). Για τα ροφήματα όπως το cappuccino, η σταθερότητα του αφρού είναι απαιτούμενη για περίπου 15-20 λεπτά όσος και ο τυπικός χρόνος κατανάλωσης του. Με το πέρας του χρόνου αρχίζουν σταδιακά να συμβαίνουν σημαντικές αλλαγές στην εμφάνιση του αφρού, καθεμία από τις οποίες οδηγεί στην αποσύνθεση του αφρού. Αυτές είναι η συνένωση των φυσαλίδων αερίου, η δυσαναλογία στην εμφάνιση τους αλλά και η

αποστράγγιση του αφρού που συνεπάγει την απώλεια του υγρού στοιχείου από αυτόν (Huppertz Thom, 2010) .

### 3.3.1.ΣΥΝΝΕΝΩΣΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Ξεκινώντας με την πρώτη διεργασία, η συνένωση των φυσαλίδων απαντάται ως μια διαδικασία αραίωσης και ρήξης των λεπτών υγρών μεμβρανών που χωρίζουν δύο διπλανές φυσαλίδες. Έτσι ο αριθμός των φυσαλίδων αερίου στον αφρό μειώνεται ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται το μέγεθος τους. Η συνένωση των φυσαλίδων συμβαίνει κατά τον σχηματισμό αφρού και επηρεάζεται έντονα από τη δυναμική της προσρόφησης των ενεργών μορίων της επιφάνειας. Η ταχύτερη προσρόφηση οδηγεί σε περισσότερες και σταθερότερες μεμβράνες αφρού υπό δυναμικές συνθήκες και σε καταστολή της συνένωση των φυσαλίδων κατά τον αφρισμό. Η κινητήρια δύναμη πίσω από τη συνένωση των φυσαλίδων αερίου είναι η σταθερότητα των υγρών μεμβρανών μεταξύ των σταγονιδίων. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη σταθερότητα έναντι της συνένωσης είναι οι κολλοειδείς επιφανειακές δυνάμεις που δρουν μεταξύ των επιφανειών των μεμβρανών , η ικανότητα προσρόφησης επιφανειακά ενεργών μορίων ,η δύναμη συμπίεσης που ωθεί της φυσαλίδες τη μια κοντά στην άλλη και η διάμετρος του φιλμ. Η εξάπλωση του επιφανειοδραστικού υλικού προκαλεί αραίωση και τελικά κατάρρευση της υγρής μεμβράνης, με αποτέλεσμα να επέρχεται συνένωση. Η ευαισθησία του φιλμ στην κατάρρευση και συνεπώς, στη συνένωση των φυσαλίδων αέρα, αυξάνεται με τη μείωση του ιξώδους του υγρού στο φιλμ. Επιπλέον, το μέγεθος των σταγονιδίων του γαλακτώματος έχει μια ισχυρή επίδραση στην τάση συνένωσης σε αφρώδη γαλακτώματα (Huppertz Thom, 2010; Marinova et al., 2009b).

### 3.3.2.ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΦΥΣΑΛΙΔΩΝ

Όσον αφορά την εμφάνιση των φυσαλίδων με το πέρασ του χρόνου έχει παρατηρηθεί πως το μέγεθος τους μεταβάλλεται. Όταν δύο φυσαλίδες διαφορετικού μεγέθους διαχωρίζονται από ένα στρώμα υγρού, το αέριο διαχέεται από τη μικρότερη φυσαλίδα προς τη μεγαλύτερη ως αποτέλεσμα της βαθμιαίας συγκέντρωσης που δημιουργείται από τη διαφορά πίεσης του αερίου μεταξύ των φυσαλίδων. Ως αποτέλεσμα οι μικρότερες φυσαλίδες γίνονται μικρότερες ενώ οι μεγαλύτερες γίνονται ακόμα μεγαλύτερες και

τελικά η διαφορά πίεσης αυξάνεται όλο και πιο γρήγορα έως ότου οι μικρότερες φυσαλίδες να εξαφανίζονται (Huppertz Thom, 2010).

### 3.3.3. ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ ΑΦΡΟΥ

Η συναίρεση είναι η αυθόρμητη συστολή ενός γαλακτώματος, που συνοδεύεται από την αποβολή υγρού από τους πόρους του. Ένα πήκτωμα αποτελείται από ένα στερεό δίκτυο το οποίο περιβάλλεται από τη συνεχή υγρή φάση. Όταν η στερεά φάση συστέλλεται, το υγρό από το πήκτωμα πιέζεται. Δεδομένου ότι οι πόροι σε ένα ανόργανο τζέλ είναι πολύ μικροί (περίπου 10 nm), προσφέρουν υψηλή αντίσταση στη ροή υγρού (δηλαδή, η διαπερατότητα της γέλης είναι χαμηλή), δυσκολεύοντας το εσωτερικό της γέλης να συμβιβαστεί. Η επιφάνεια της γέλης επομένως συρρικνώνεται ελεύθερα, επειδή το υγρό μπορεί εύκολα να διαφύγει από τους πόρους (Narsimhan & Xiang, 2018a).

Ο αφρός του γάλακτος μπορεί να ταξινομηθεί σε σφαιρικό αφρό και σε πολυεδρικό αφρό. Ο σφαιρικός αφρός περιέχει σφαιρικές φυσαλίδες αέρα οι οποίες διαχωρίζονται από σημαντικούς όγκους συνεχούς φάσης γάλακτος. Στην περίπτωση αυτή η απομάκρυνση ή αποστράγγιση του υγρού από τον αφρό μπορεί να χαρακτηριστεί ως η ανοδική κίνηση των φυσαλίδων αέρα ως συνέπεια της διαφορετικής τους πυκνότητας συγκριτικά με τη συνεχή φάση η οποία ταυτόχρονα υφίστανται μια καθοδική κίνηση. Για να αποφευχθεί η αστάθεια που προκαλείται από την αποστράγγιση στο σφαιρικό αφρό, η ανοδική κίνηση του αέρα φυσαλίδων ως αποτέλεσμα της βαρυτικής δύναμης πρέπει να αποτραπεί. Η αύξηση του ιξώδους του περιβάλλοντος υγρού δεν θα αποτρέψει την αποστράγγιση, αλλά μπορεί να μειώσει σημαντικά τον ρυθμό που θα εξελιχθεί. Φυσικά, οι γαλακτωματοποιητές και οι πρωτεΐνες παρέχουν σταθερότητα στους αφρούς μειώνοντας την επιφανειακή τάση, επιβραδύνοντας έτσι την κατάρρευση του λεπτού φιλμ. Όταν οι φυσαλίδες του αφρού συνεχίζουν να δημιουργούν κρέμα και έχει επέλθει επαρκής αποστράγγιση, οι φυσαλίδες έρχονται σε επαφή και οι δυνάμεις άνωσης προκαλούν την παραμόρφωση των φυσαλίδων του αφρού. Η μείωση του υγρού κλάσματος οφείλεται στην ταχύτερη αποστράγγιση του υγρού, ενώ η μείωση του όγκου του αφρού οφείλεται στις συνδυασμένες επιδράσεις της συνύφανσης και της συνένωσης των φυσαλίδων. Ως αποτέλεσμα, οι φυσαλίδες αφρού διαχωρίζονται μόνο από επίπεδα στρώματα, που ονομάζονται ελάσματα, άρα οι φυσαλίδες αυτές αποκτούν πολυεδρικό σχήμα και η δομή του αφρού αποκτά τέτοια μορφή που μοιάζει με αυτή της κηρήθρας μελιού. Με το πέρας του χρόνου η κορυφή του αφρού

γίνεται εντελώς ξηρή, οδηγώντας έτσι στην κατάρρευσή του , με αποτέλεσμα να μειώνεται το ύψος του στρώματος αφρού στον καφέ(Huppertz Thom, 2010; Narsimhan & Xiang, 2018b).

#### 4.ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΕΞΩΓΕΝΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

##### 4.1.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΤΩΝ ΣΤΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ

Οι σταθεροποιητές είναι απαραίτητες ουσίες στα τρόφιμα και κατηγοριοποιούνται ως πρόσθετα τροφίμων. Η χρήση σταθεροποιητών σε πολλές βιομηχανίες και ειδικότερα στη βιομηχανία τροφίμων είναι πολύ διαδεδομένη τις τελευταίες δεκαετίες. Ο λόγος είναι ότι οι ουσίες αυτές έχουν γνωρίσει μεγάλη ανάπτυξη και εφαρμογή τα τελευταία χρόνια και έχουν πολλές ενδιαφέρουσες χρήσεις και χαρακτηριστικά. Αυτού του είδους οι ενώσεις ορίζονται ως μακρομόρια τα οποία διαλύονται ή διασπείρονται σχετικά εύκολα στο νερό και προκαλούν αύξηση του ιξώδους ή σχηματίζουν πηκτή. Μπορούν έχουν φυτική προέλευση αν και σε ορισμένες περιπτώσεις θα μπορούσαν να ληφθούν και από ζώα. Αρκετά γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα πολυμερή που περιλαμβάνονται σε αυτή την κατηγορία είναι τα αλγινικά άλατα λόγω των πολλαπλών ευνοϊκών ιδιοτήτων τους, συμπεριλαμβανομένης της βιοδιασπασιμότητας, της ζελατινοποίησης, της χαμηλής τοξικότητας, της ιοντικής διασύνδεσης, και της προσιτής τιμής του. Η χρήση αυτών των πολυμερών ως σταθεροποιητές τροφίμων έχει χαρακτηριστικά που προκαλούν ενδιαφέρον για τη χρήση τους σε διάφορες διεργασίες. Ένα παράδειγμα αυτών των χαρακτηριστικών είναι η αύξηση του ιξώδους των μειγμάτων, η βελτίωση της υφής και η αύξηση της σταθερότητας κατά την αποθήκευση (Gómez-Díaz & Navaza, 2004).

Τα αλγινικά άλατα βρίσκονται σε όλα τα φαιοφύκη (*Phaeophyceae*) ως σκελετικό χαρακτηριστικό των κυτταρικών τους τοιχωμάτων. Η σημαντικότερη πηγή βιομηχανικής παραγωγής είναι το γιγαντιαίο φύκι kelp, *Macrocystis pyrifera*. Τα άλγη εκχυλίζονται με αλκάλια όπως το νάτριο ενώ ο πολυσακχαρίτης κατακρημνίζεται από το εκχύλισμα συνήθως με οξέα ή άλατα ασβεστίου. Οι δομικές μονάδες των αλγινικών είναι το β-D-μαννουρονικό οξύ και το α-L-γουλουρονικό οξύ που ενώνονται μεταξύ τους με 1-4 γλυκοζιτικούς δεσμούς. Η αναλογία των δύο σακχάρων, μαννουρονικά/γουλουρονικά

οξέα, είναι γενικά 1 προς 5 με κάποιες αποκλίσεις ανάλογα με την προέλευση τους. Τα αλγινικά οξέα είναι υδατοδιαλυτά υπό τη μορφή αλάτων αλκαλίων ενώ το ιξώδες των διαλυμάτων αυτών επηρεάζεται από το μοριακό βάρος και από το αντίθετα φορτισμένο ιόν του άλατος (Belitz H.-D et al., 2009). Η κυριότερη ιδιότητα του αλγινικού άλατος είναι η επιλεκτική σύνδεση με πολυδύναμα κατιόντα, ιδίως ιόντα ασβεστίου, γνωστή και ως ικανότητα ιοντικής διασύνδεσης, η οποία αποτελεί προϋπόθεση για τον σχηματισμό πηκτωμάτων και φιλμ μικροσωματιδίων αλγινικού άλατος. Η διαδικασία οφείλεται στο ότι το γουλουρονικό οξύ αναδιπλώνεται και συσσωρεύεται προς τα κατιόντα ενώ στη συνέχεια οι τεντωμένες μοριακές αλυσίδες αλλάζουν και μετατρέπονται σε μια διατεταγμένη δομή ζώνης όπου εν τέλει σχηματίζεται μια δομή που μοιάζει με ένα τρισδιάστατο δίκτυο μορίων (Li et al., 2021).

Οι σταθεροποιητές έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ένα δίκτυο δεσμών μεταξύ αυτών και των συστατικών του γάλακτος λόγω των ριζών υδρογόνου ή καρβοξυλίου που υπάρχουν στη δομή τους. Οι αρνητικές πλευρές προσκολλώνται στη διεπιφάνεια και το νερό δεσμεύεται στο βασικό μίγμα λόγω της παρουσίας των σταθεροποιητών. Έχει επιβεβαιωθεί ότι είναι αποτελεσματικοί στη διαμόρφωση λειτουργικών γαλακτοκομικών προϊόντων διότι δημιουργούν δίκτυα πηκτωμάτων, όταν ενσωματώνονται σε αυτά οδηγώντας τα σε σταθερή υφή, και κατά συνέπεια μειώνεται το πρόβλημα της συγκόλλησης ή συσσωμάτωσης των μορίων μεταξύ τους (Damodaran & Paraf, 2017).

#### 4.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΣΤΟ ΓΑΛΑΚΤΩΜΑ

Τα γαλακτώματα είναι διεσπαρμένα συστήματα συνήθως δύο μη αναμίξιμων συστατικών. Σε όλες τις περιπτώσεις μια εξωτερική συνεχής φάση διαχωρίζεται από μια εσωτερική, ασυνεχή, διεσπαρμένη φάση. Η σταθεροποίηση των γαλακτωμάτων επιτυγχάνεται από τασιενεργούς παράγοντες, ή όπως αλλιώς ονομάζονται επιφανειοδραστικές ενώσεις. Οι ενώσεις αυτές έχουν ευρεία χρήση στην βιομηχανία τροφίμων σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η μείωση της επιφανειακής τάσης. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν όλα τα είδη διασποράς συμπεριλαμβανομένου γαλακτωμάτων, αφρών και αιωρημάτων. Οι αφροί, οι οποίοι αποτελούν και το αντικείμενο μελέτης της εργασίας, είναι διασπορά αερίων σε υγρά. Στην περίπτωση αυτή η εξωτερική φάση είναι υγρή ενώ η εσωτερική αέρια. Οι πρωτεΐνες, όντας ουσίες επιφανειακά ενεργές βρίσκουν εκτεταμένη χρήση στην

σταθεροποίηση των αφρών. Η δράση τους στηρίζεται στο σχηματισμό εύκαμπτων συνεκτικών υμενίων περιμετρικά των φυσαλίδων αέρα. Κατά την πρόσκρουση, η εν λόγω πρωτεΐνη προσροφάται στην διεπιφάνεια μέσω των υδρόφοβων περιοχών, και ακολουθεί μερικό ξεδίπλωμα της πρωτεΐνης (επιφανειακή μετουσίωση). Η μείωση των επιφανειακών τάσεων που συνεπάγει η πρωτεϊνική προσρόφηση δίνει τη δυνατότητα σχηματισμού νέων διεπιφανειών φυσαλίδων αερίου (H.-D. Belitz et al., n.d.; Sarkar & Singh, 2016b).

Οι πρωτεΐνες οι οποίες έχουν μερικώς ξεδιπλωμένη μορφή ενώνονται καθώς σχηματίζουν υμένα σταθεροποίησης με ιξωδοελαστικές ιδιότητες. Ο ρυθμός με τον οποίο διαχέεται μια πρωτεϊνική ουσία στις διεπιφάνειες είναι καίριας σημασίας διότι όσο πιο γρήγορα συμβαίνει αυτό τόσο πιο εύκολα μετουσιώνεται σε εκείνο το σημείο με αποτέλεσμα να δημιουργείται περισσότερος αφρός. Η δυναμική των μεμβρανών επομένως εξαρτάται από την προσροφημένη ποσότητα πρωτεΐνης και τη δυνατότητα των προσροφημένων μορίων να αλληλοσυνδέονται. Η επιφανειακή μετουσίωση απελευθερώνει τις πρόσθετες πλευρικές αλυσίδες αμινοξέος που μπορούν να μετέχουν στις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις, οι οποίες όσο ισχυρότερες είναι τόσο πιο σταθερό παραμένει το υμένιο. Στην περίπτωση σχηματισμού αφρού, οι πρωτεΐνες επιβραδύνουν τη ρήξη των λεπτών μεμβρανών επιτρέποντας στον αφρό να αντιστέκεται στην αποσταθεροποίηση. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μορφές πρωτεΐνης που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των αφρών είναι το καζεϊνικό νάτριο και οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος σε μορφή σκόνης. Λόγω των ιδιαίτερα επιφανειοδραστικών ιδιοτήτων τους, έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν σταθερά γαλακτώματα σε σχετικά χαμηλή αναλογία (Belitz H.-D et al., 2009)(Sarkar & Singh, 2016a).

#### 4.2.1. ΠΡΩΤΕΪΝΕΣ ΟΡΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ (WHEY PROTEINS-WP)

Οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος έχουν αμφίφιλικά χαρακτηριστικά, δηλαδή ένα μόριο από τη συγκεκριμένη ομάδα πρωτεϊνών μπορεί να έχει ταυτόχρονα υδρόφοβες και υδρόφιλες ιδιότητες. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μόρια των πρωτεϊνών ορού γάλακτος περιέχουν αμινοξέα με υδρόφοβες και υδρόφιλες ρίζες. Η ρίζα είναι το μέρος ενός πρωτεϊνικού μορίου που επιτρέπει στα αμινοξέα να διακρίνουν το ένα από το άλλο. Λόγω αυτής της ιδιότητας, οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος μπορούν να συνδεθούν στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα σχηματίζοντας ένα λεπτό φιλμ στην επιφάνειά τους με αποτέλεσμα να τις σταθεροποιούν. Ένα άλλο φαινόμενο που οδηγεί στο σχηματισμό και τη σταθεροποίηση



του αφρού είναι η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος. Γενικά, η μετουσίωση των πρωτεϊνών υποδηλώνει την απώλεια της αρχικής τους δομής και την αλλαγή ιδιοτήτων τους. Η μετουσίωση μπορεί να συμβεί υπό διάφορες συνθήκες, δηλαδή θερμική επεξεργασία, αλλαγή του pH, προσθήκη οργανικών διαλυτών. Στην περίπτωση του ζεστού καφέ οφείλεται στη θερμική επεξεργασία. Έτσι, όταν το γάλα θερμαίνεται η εξαιρετικά οργανωμένη τριτοταγής δομή των πρωτεϊνών ορού γάλακτος αρχίζει να ξεδιπλώνεται. Έτσι οι εξαιρετικά αντιδραστικές ομάδες θειόλης που βρίσκονται θαμμένες στο εσωτερικό μέρος της πρωτεΐνης, εκτίθενται στην επιφάνεια. Η θερμοκρασία περίπου των 70°C είναι το σημείο όπου αρχίζει η μετουσίωση, ωστόσο για την παρασκευή ροφημάτων τύπου cappuccino προτείνεται η θερμοκρασία των 60-65 °C καθώς αρχίζει σταδιακά η μετουσίωση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος, ωστόσο δεν προκαλείται σοβαρή βλάβη στα μόρια. Το ιξώδες του γάλακτος και του αφρού αυξάνεται ελαφρώς και οδηγεί στο σχηματισμό ενός "δικτύου" γύρω από τις φυσαλίδες αέρα. Οι μερικώς μετουσιωμένες πρωτεΐνες είναι επίσης πιο επιφανειοδραστικές. Σε υψηλά επίπεδα μετουσίωσης, οι πρωτεΐνες χάνουν ως επί το πλείστον την αρχική τους δομή, με αποτέλεσμα λιγότερες πρωτεΐνες να είναι διαθέσιμες για τη δημιουργία ενός σταθεροποιητικού φιλμ γύρω από τις φυσαλίδες αέρα. Οι αφροί που παράγονται σε θερμοκρασίες υψηλότερες από 70°C είναι ξηροί, παχύρρευστοι και έχουν την τάση να αποστραγγίζουν και να αποδομούνται ταχύτερα. Αυτό επιβεβαιώνει τη σύσταση του να μην ξεπερνιέται η θερμοκρασία των 65°C κατά την παρασκευή ζεστών ροφημάτων τύπου cappuccino (Bals & Kulozik, 2003; Huppertz Thom, 2010).

#### 4.2.2. ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΑ ΠΡΩΤΕΪΝΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ (MPC)

Το συμπύκνωμα πρωτεΐνης γάλακτος (MPC – Milk Protein Concentrate), είναι ένα συστατικό με κυρίαρχη την καζεΐνη, στο οποίο, σε αντίθεση με τις καζεΐνες και τα καζεϊνικά άλατα, οι μικέλλες της καζεΐνης διατηρούνται σε (σχεδόν) φυσική μορφή. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται ήπιες τεχνολογίες διαχωρισμού, όπως η διήθηση με μεμβράνες. Για την MPC, η υπερδιήθηση (UF) χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση των καζεϊνών και των πρωτεϊνών ορού γάλακτος και την απομάκρυνση της λακτόζης και των διαλυτών αλάτων. Τυπικά όρια μοριακού βάρους για τις μεμβράνες UF που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή της MPC είναι 5-20kDa. Χρησιμοποιώντας συγκέντρωση μέσω UF και περαιτέρω πλύση με διαδιήθηση (DF), μπορεί να αφαιρεθεί σχεδόν όλη η λακτόζη και τα διαλυτά άλατα, αποδίδοντας προϊόντα με έως και 90%

πρωτεΐνη σε ξηρή ύλη, ενώ το υπόλοιπο είναι MPC και ιόντα. Μετά από UF και ακολουθούμενη από DF, τα κατακρατούμενα μπορούν να εξατμιστούν για να αυξηθεί η περιεκτικότητα σε ξηρή ύλη, ακολουθούμενη από ξήρανση με ψεκασμό (Huppertz et al., 2018).

Τα προϊόντα MPC παράγονται με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη που κυμαίνεται από ~50% έως ~90% σε ξηρή ύλη. Με την αύξηση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη στο προϊόν, η περιεκτικότητα σε λακτόζη μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα η περιεκτικότητα σε τέφρα παραμένει σχετικά σταθερή. Το τελευταίο μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι, ενώ τα διαλυτά ανόργανα άλατα απομακρύνονται, τα μικελικά ανόργανα άλατα συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια της UF/DF. Ενώ οι μικέλλες της καζεΐνης παραμένουν σχετικά αμετάβλητες κατά τη διάρκεια των UF και DF, η φάση του ορού μεταβάλλεται σημαντικά, κυρίως όσον αφορά την αύξηση του pH και της μείωσης της ιοντικής ισχύος. Σε δεδομένο pH, η δραστηριότητα  $Ca^{2+}$  είναι επίσης σημαντικά υψηλότερη στα MPC με υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, λόγω της μειωμένης ιοντικής ισχύος. Αυτή η υψηλότερη δραστηριότητα  $Ca^{2+}$  έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μειωμένη θερμική σταθερότητα των MPC's. Η χαμηλότερη θερμική σταθερότητα είναι σημαντική για τις εφαρμογές αυτών των συστατικών σε αποστειρωμένα προϊόντα, αλλά και για τη σταθερότητα κατά την ξήρανση των MPC, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αδιαλυτότητα των προϊόντων σε σκόνη (Huppertz et al., 2018).

#### 4.2.3. ΚΑΖΕΪΝΙΚΟ ΝΑΤΡΙΟ

Στη βιομηχανία τροφίμων, οι μεμονωμένες καζεΐνες γενικά δεν χρησιμοποιούνται για την παρασκευή γαλακτωμάτων λόγω του μεγάλου κόστους των καθαρών κλασμάτων και της αραιής τους διαθεσιμότητας. Αντ' αυτού, χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι καζεϊνικών αλάτων, όπως το καζεϊνικό νάτριο, το οποίο χρησιμοποιούνται ευρέως στην παρασκευή προϊόντων τύπου γαλακτώματος (Sarkar & Singh, 2016b). Οι καζεΐνες και τα καζεϊνικά άλατα χρησιμοποιούνται ως συστατικά σε μια μεγάλη ποικιλία προϊόντων τροφίμων. Η όξινη καζεΐνη και η καζεΐνη από πυτιά αποτελούν πολύ σημαντικά προϊόντα εδώ και δεκαετίες, ενώ τα καζεϊνικά άλατα των κατιόντων νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου παράγονται επίσης ευρέως, ιδίως όμως το καζεϊνικό νάτριο. Η παρασκευή του καζεϊνικού νατρίου συνίσταται από το σχηματισμό εναιωρήματος καζεΐνης, διαλυτοποίηση της καζεΐνης με τη χρήση υδροξειδίου του νατρίου και τέλος με ξήρανση

του παραγόμενου καζεϊνικού νατρίου (Huppertz et al., 2018)(Sarode et al., 2015). Το καζεϊνικό νάτριο περιλαμβάνει όχι μόνο  $\alpha_{s1}$ - και  $\beta$ -καζεΐνες αλλά και  $\kappa$ - και  $\alpha_{s2}$ -καζεΐνες και μικρές ποσότητες λιπιδίων και ανόργανων αλάτων. Η σταθερότητα ενός ελαίου σε νερό γαλακτώματος που παρασκευάζεται με καζεϊνικό νάτριο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του προσροφημένου στρώματος, τις ποσότητες των πρωτεϊνών και τη διαμόρφωση της καζεΐνης στη συνεχή φάση. Στα σταθεροποιημένα γαλακτώματα ελαίου σε νερό με καζεϊνικό νάτριο, όλες οι μορφές των καζεϊνών προσροφώνται στα σταγονίδια του επιφανειακού γαλακτώματος, παρέχοντας σταθερότητα έναντι της συνένωσης και της κροκίδωσης (Sarkar & Singh, 2016b).

Η όξινη καζεΐνη παράγεται από το γάλα με οξίνιση, η οποία επιτυγχάνεται κυρίως με την προσθήκη ανόργανων οξέων, όπως υδροχλωρικό ή θειικό οξύ, αν και η μικροβιακή οξίνιση με τη χρήση βακτηρίων γαλακτικού οξέος είναι επίσης συνήθης. Η οξίνιση πραγματοποιείται συνήθως έως ότου να επιτευχθεί pH περίπου 4,2 με 4,6. Ως αποτέλεσμα, συμβαίνουν δύο πράγματα: οι μικέλλες της καζεΐνης πήζουν και το συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος (MCP) διαλύεται. Αφού επιτευχθεί το απαιτούμενο pH, το τυρόπηγμα μαγειρεύεται για να ενισχυθεί η απομάκρυνση του ορού γάλακτος, μετά την απομάκρυνση του όξινου ορού γάλακτος, που περιέχει τη λακτόζη, τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος και τα ανόργανα άλατα, το τυρόπηγμα όξινης καζεΐνης πλένεται με νερό για να επιτευχθεί περαιτέρω απομάκρυνση των πρωτεϊνών ορού γάλακτος, της λακτόζης και των ανόργανων συστατικών και να αυξηθεί η καθαρότητα της καζεΐνης. Το πηγμένο γάλα όξινης καζεΐνης στη συνέχεια ξηραίνεται και αλέθεται για να παραχθεί όξινη καζεΐνη σε μορφή σκόνης. Η σκόνη όξινης καζεΐνης είναι αδιάλυτη στο νερό και συνήθως απαιτεί εξουδετέρωση για να γίνει διαλυτή (Huppertz et al., 2018).

Εναλλακτικά, για την παραγωγή καζεϊνικών αλάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλυμένο τυρόπηγμα καζεΐνης. Για την παραγωγή καζεϊνικών αλάτων, η υγρή όξινη καζεΐνη αλέθεται και στη συνέχεια εξουδετερώνεται, σε pH  $\sim 7,0$ , με το κατάλληλο αλκάλιο, για παράδειγμα, νάτριο, κάλιο, ασβέστιο, ή υδροξείδιο του μαγνησίου, ακολουθούμενη από ξήρανση με ψεκασμό ή ξήρανση με κυλίνδρους. Τα καζεϊνικά άλατα έχουν συνήθως υψηλή διαλυτότητα στο νερό. Τα εναιωρήματα καζεϊνικού νατρίου ή καλίου περιέχουν σωματίδια που έχουν ακτίνα  $\sim 20$  nm. Τα εναιωρήματα καζεϊνικού οξέος είναι αρκετά ιξώδη, γεγονός που οφείλεται εν μέρει στην ενυδάτωση των σωματιδίων καζεΐνης, αλλά κυρίως στο μη σφαιρικό σχήμα των σωματιδίων. Λόγω του μικρού μεγέθους των

σωματιδίων, το καζεϊνικό νάτριο και κάλιο έχουν χαμηλή θολερότητα και είναι κάπως διαφανή (Huppertz et al., 2018).

Το πιο κοινό αλκάλιο που χρησιμοποιείται στην παραγωγή καζεϊνικού νατρίου είναι το υδροξείδιο του νατρίου σε μορφή διαλύματος 2,5 Μ. Η απαιτούμενη ποσότητα αλκαλίου είναι γενικά 1,7 - 2,2 % κατά βάρος των στερεών της καζεΐνης. Άλλα αλκάλια, όπως το διττανθρακικό νάτριο ή τα φωσφορικά άλατα νατρίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά οι απαιτούμενες ποσότητες και το κόστος τους είναι μεγαλύτερα από εκείνα του υδροξειδίου του νατρίου. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιούνται μόνο για ειδικούς σκοπούς, όπως η κατασκευή κιτρικού καζεϊνικού άλατος. Η προσθήκη του αραιού αλκαλίου, πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά με στόχο την επίτευξη τελικού pH καζεϊνικού άλατος μεταξύ 6,6 και 7,0. Το ιξώδες των διαλυμάτων καζεϊνικού νατρίου μπορεί να εκφραστεί ως εξής λογαριθμική συνάρτηση της συνολικής συγκέντρωσης στερεών. Εκτός από συγκέντρωση, τη θερμοκρασία και το pH, η περιεκτικότητα σε ασβέστιο του τυροπήγματος, ο τύπος του χρησιμοποιούμενου αλκαλίου, καθώς και οι εποχικοί και γενετικοί παράγοντες επηρεάζουν επίσης το ιξώδες του προϊόντος. Μόλις το αλκάλιο έχει προστεθεί στην καζεΐνη, είναι σημαντικό να αυξηθεί η θερμοκρασία το συντομότερο δυνατό στους 60-70°C, προκειμένου να μειωθεί το ιξώδες. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διάλυσης, η ενσωμάτωση αέρα πρέπει να διατηρείται στο ελάχιστο, διότι τα διαλύματα καζεϊνικού άλατος σχηματίζουν πολύ σταθερούς αφρούς (Sarode et al., 2015).

Η σταθερότητα της κρέμας ενός γαλακτώματος καζεϊνικού νατρίου παρουσιάζει μια πολύπλοκη εξάρτηση από την περιεκτικότητα σε καζεϊνικό άλας. Σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις καζεϊνικών αλάτων, το γαλάκτωμα αποσταθεροποιείται με κροκίδωση γέφυρας επειδή υπάρχει μη επαρκής ποσότητα πρωτεΐνης για να καλύψει πλήρως όλα τα σταγονίδια στο γαλάκτωμα. Σε μια ενδιάμεση τιμή συγκέντρωσης καζεϊνικού περίπου 2,0 % κατά βάρος, το γαλάκτωμα σταθεροποιείται έναντι της κροκίδωσης και της συνένωσης καθώς η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες επαρκεί για να καλύψει την επιφάνεια των σταγονιδίων. Ωστόσο, όταν η συγκέντρωση καζεϊνικού αυξάνεται σε πάνω από 3,0 % κατά βάρος, το μη απορροφημένο καζεϊνικό οξύ προκαλεί κροκίδωση. Περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης πρωτεΐνης πάνω από 6,0 % κατά βάρος έχει ως αποτέλεσμα πολύ υψηλό βαθμό κροκίδωσης, που οδηγεί σε ένα ισχυρό δίκτυο σταγονιδίων γαλακτώματος το οποίο είναι σταθερό στη δημιουργία κρέμας (Sarkar & Singh, 2016b).

## 5.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΛΙΠΟΥΣ

### 5.1.ΑΦΡΟΙ ΠΛΗΡΟΥΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Είναι ευρέως γνωστό πως η παρουσία του λίπους στο γάλα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον αφρισμό του. Ακόμη η ύπαρξη μικρών αναλογιών λίπους στο γάλα μπορεί να έχει ισχυρή ανασταλτική δράση τόσο στο σχηματισμό όσο και στη σταθερότητα των αφρών γάλακτος όταν δεν ακολουθούνται οι κατάλληλες διεργασίες. Όταν η διαδικασία του αφρισμού πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες της τάξεως των 10-40 °C οι αφροί που σχηματίζονται χαρακτηρίζονται από φυσαλίδες μεγάλου μεγέθους οι οποίες κατανέμονται ακανόνιστα. Αντιθέτως όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 50°C το γάλα αποκτά αφροποιητικές ικανότητες οι οποίες μοιάζουν με αυτές του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Η αποσταθεροποιητική επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών οφείλεται στο γεγονός ότι το λίπος όταν το γάλα βρίσκεται σε αυτές τις θερμοκρασίες απαντάται σε μερικώς κρυσταλλική μορφή. Τα σφαιρίδια λίπους στους 10–30 °C αποκτούν μια παραπάνω ευαισθησία καθώς διαταράσσονται κατά την διαδικασία της έκχυσης ατμού με αποτέλεσμα το υγρό λίπος να διασπείρεται πάνω στις υγρές μεμβράνες των φυσαλίδων αέρα και τελικά να τις αποσταθεροποιεί και αυτές να συνενώνονται. Για το λόγο αυτό η θερμοκρασία κατά την παραγωγή αφρού είναι ζωτικής σημασίας διότι σε υψηλότερες θερμοκρασίες η αντίσταση στην παραμόρφωση και τη διάσπαση μειώνεται λόγω των χαμηλών επιπέδων κρυσταλλικού λίπους (Huppertz Thom, 2010).

Εκτός από την παρουσία ελεύθερου λίπους γάλακτος, η παρουσία επιφανειοδραστικών λιπιδίων στο γάλα επηρεάζει αρκετά τον αφρισμό με τα πολικά λιπίδια όπως τα φωσφολιπίδια και τα προϊόντα λιπόλυσης να είναι καθοριστικής σημασίας. Και οι δύο μπορούν να ανταγωνιστούν τις πρωτεϊνικές φύσεως ουσίες στη διεπιφάνεια των φυσαλίδων αφρού, γεγονός όμως που τελικά οδηγεί στην αποσταθεροποίηση. Εκτός από τα φωσφολιπίδια, μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα ελεύθερα λιπαρά οξέα, τα μονογλυκερίδια και τα διγλυκερίδια. Αν και ορισμένα ελεύθερα λιπαρά οξέα, μονογλυκερίδια και διγλυκερίδια βρίσκονται στο γάλα λόγω της ατελούς σύνθεσης των τριγλυκεριδίων κατά τη διάρκεια του βιοσύνθεσης του γάλακτος, η κύρια πηγή αυτών των ενώσεων στο γάλα είναι η ενζυμική διάσπαση των τριγλυκεριδίων μια διαδικασία που ονομάζεται λιπόλυση. Η λιπόλυση συνήθως αναστέλλεται μέσω της αδρανοποίησης της

λιποπρωτεΐνης λιπάσης, κάτι που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της συμβατικής παστερίωσης του γάλακτος. Ωστόσο αν προκύψει βλάβη της μεμβράνης των λιποσφαιρίων του γάλακτος πριν από την αδρανοποίηση της λιπάσης, αυτό μπορεί να οδηγήσει κατευθείαν στην λιπόλυση. Η λιπόλυση μπορεί επίσης να προκύψει από βακτηριακής φύσεως λιπάσες οι οποίες εμφανίζονται στις περιπτώσεις που το γάλα παρουσιάζει χαμηλή μικροβιακή ποιότητα. Σε αντίθεση με τις λιποπρωτεϊνικές λιπάσες, οι βακτηριακές είναι εξαιρετικά θερμοάντοχες και έχουν την ικανότητα να παραμένουν ενεργές μετά την παστερίωση του γάλακτος ή ακόμη και μετά από μια εντονότερη μορφή θερμικής επεξεργασίας όπως η Ultra High Temperature (H. C. Deeth, 2006).

Οι αρχικές παρατηρήσεις σχετικά με το ρόλο της λιπάσης και της διαδικασίας της λιπόλυσης στις ιδιότητες αφρισμού του γάλακτος, εντόπισαν μια γραμμική σχέση μεταξύ της επιφανειακής τάσης του γάλακτος και του όγκου του αφρού που σχηματίζεται. Μεταγενέστερες μελέτες από τους Deeth και Smith (1983) και Kamath et al. (2008b) επιβεβαίωσαν τα αποτελέσματα αυτά και έδειξαν ότι η αδυναμία αφρισμού του γάλακτος με μειωμένη επιφανειακή τάση, οφείλονται πράγματι στη λιπόλυση (Huppertz Thom, 2010).

## 5.2. ΑΦΡΟΙ ΑΠΟΒΟΥΤΥΡΩΜΕΝΟΥ ΓΑΛΑΚΤΟΣ

Οι ιδιότητες των αφρών αποβουτυρωμένου γάλακτος εξαρτώνται σημαντικά από τις συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται ο αφρισμός. Ιδιαίτερα όμως, η θερμοκρασία του γάλακτος έχει ισχυρή επίδραση. Ο όγκος του αφρού που σχηματίζεται από αποβουτυρωμένο γάλα αυξάνεται προοδευτικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του γάλακτος κατά τον αφρισμό, ενώ η υπέρβαση του αφρού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η βελτίωση της αφριστικότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο η επιφανειακή τάση όσο και το ιξώδες του αποβουτυρωμένου γάλακτος μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ως αποτέλεσμα, οι πρωτεΐνες του γάλακτος μπορούν να διαχέονται ομοιόμορφα μέσα στην επιφάνεια αέρα - νερού γρηγορότερα και να σταθεροποιούν τις φυσαλίδες αέρα πιο αποτελεσματικά. Η μέση διάμετρος των φυσαλίδων αφρού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας στην οποία πραγματοποιείται ο αφρισμός. Το γεγονός αυτό μπορεί επίσης να σχετίζεται με την ευκολότερη κάλυψη της επιφάνειας κατά τον αφρισμό και τη μείωση

της επιφανειακής τάσης με την αύξηση της θερμοκρασίας (Borcherding et al., 2009; Kamath et al., 2008).

Η σταθερότητα των αφρών αποβουτυρωμένου γάλακτος επηρεάζεται επίσης έντονα από τη θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται ο αφρισμός. Οι (Kamath et al., 2008) παρατήρησαν ότι οι αφροί αποβουτυρωμένου γάλακτος που σχηματίζονται στους 45°C είχαν σημαντικά υψηλότερη σταθερότητα από τους αφρούς που παρασκευάζονται σε υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία. Ομοίως, ανέφεραν ότι οι αφροί γάλακτος που σχηματίστηκαν στους 50°C ήταν σημαντικά πιο σταθεροί από εκείνους που σχηματίστηκαν στους 70°C. Η ακριβής φύση για τη μέγιστη σταθερότητα των αφρών αποβουτυρωμένου γάλακτος μεταξύ 40 και 50°C δεν έχει διευκρινιστεί μέχρι σήμερα. Οι ίδιοι βέβαια πρότειναν ότι το μέγιστο αυτό πιθανώς να σχετίζεται με το γεγονός ότι το επίπεδο των μη μικελλικών καζεϊνών είναι χαμηλότερο σε αυτή τη θερμοκρασία. Αυτό, σε συνδυασμό με την έλλειψη μετουσίωσης του ορού γάλακτος πρωτεΐνης σε αυτή τη θερμοκρασία, θα μπορούσε να οδηγήσει στην σχηματισμό ενός ισχυρού διεπιφανειακού στρώματος που αποτελείται κυρίως από μικέλλες καζεΐνης (HUPPERTZ, 2010; Kamath et al., 2008).

Το pH του γάλακτος μπορεί επίσης να επηρεάσει τις ιδιότητες αφρισμού του γάλακτος μέσω ποικίλων μηχανισμών. Την πιο σχετική προσέγγιση από την συγκεκριμένη οπτική αποτελεί το γεγονός ότι η μείωση του pH μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του επιπέδου των μη μικελλικών καζεϊνών και σε αντίστοιχη αύξηση των επιπέδων του μη μικελλικού φωσφορικού ασβεστίου. Το pH του γάλακτος έχει, τουλάχιστον, στην "ουδέτερη" περιοχή του pH δηλαδή μεταξύ τιμών 6,0 και 7,0, ελάχιστη επίδραση στην υπερπήδηση των αφρών αποβουτυρωμένου γάλακτος και στην αντίστασή τους στην αποστράγγιση. Έρευνα των (Borcherding et al. 2009) καταδεικνύει ότι για το αποβουτυρωμένο γάλα σε pH 6,2, 6,5, 6,7 και 7,0, ο όγκος του αφρού που σχηματίζεται από το γάλα είναι ουσιαστικά πανομοιότυπος και ότι όλοι οι αφροί παρουσιάζουν καλή φυσική σταθερότητα κατά τη διάρκεια 1 ώρας αποθήκευσης. Η διάμετρος των φυσαλίδων αφρού στους αφρούς αποβουτυρωμένου γάλακτος δεν επηρεάζεται από pH του γάλακτος στην περιοχή 6,4 - 7,0. Όταν το pH μειώνεται στο 5,6 παρατηρείται αύξηση της αφριστικότητας του αποβουτυρωμένου γάλακτος. Επιπλέον, σε ακόμη χαμηλότερο pH 4,5-5,0, το αποβουτυρωμένο γάλα έχει πολύ φτωχές ιδιότητες αφρισμού λόγω της καθίζησης των καζεϊνών σε αυτό το pH. Η ρύθμιση του pH του γάλακτος σε τιμές μεγαλύτερες του 7,0 δεν επηρεάζει την υπερπήδηση των αφρών γάλακτος, αλλά βελτιώνει την αντίσταση των

αφρών στην αποστράγγιση. Η βελτιωμένη αντίσταση στην αποστράγγιση σε υψηλό pH μπορεί να σχετίζεται με την αυξημένη ιξώδες του γάλακτος σε αυτό το pH λόγω της μερικής διάσπασης των μικελλών της καζεΐνης (HUPPERTZ, 2010).

## **B.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

### **6.ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

Η διεξαγωγή της παρακάτω πειραματικής διαδικασίας είχε ως σκοπό την παρασκευή δύο προϊόντων ροφήματος γάλακτος από φρέσκο γάλα απλής παστερίωσης με την καλύτερη δυνατή σύσταση, με στόχο την επαγγελματική του χρήση στη βιομηχανία του καφέ ως “Γάλα τύπου Barista”. Τα δύο αυτά προϊόντα θα αφορούν ξεχωριστά την παραγωγή κρύου και ζεστού αφρογάλατος αντίστοιχα. Σαν βασική πρώτη ύλη χρησιμοποιήθηκε αγελαδινό γάλα με περιεκτικότητα σε λιπαρά 1g / 100 mL προϊόντος, 1,5g / 100 mL προϊόντος και 3,5g / 100 mL προϊόντος. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές δοκιμές με την προσθήκη διαφόρων γαλακτοματοποιητών (συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος ,καζεϊνικά άλατα) και σταθεροποιητών (αλγινικό νάτριο), έτσι ώστε να βρεθεί ο καταλληλότερος συνδυασμός των παραπάνω που θα προσφέρει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Το κάθε δείγμα αναδεύτηκε τόσο για την παρασκευή κρύου όσο και για την παρασκευή ζεστού αφρογάλατος σε πρώτο στάδιο. Όλες οι δοκιμές που αναφέρονται παρακάτω πραγματοποιήθηκαν ενώ τα γάλατα βρίσκονταν σε θερμοκρασία ψυγείου (περίπου 4°C). Επιπλέον, η ποσότητα του γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε στην κάθε δοκιμή ήταν 60 mL ενώ το χρονικό όριο για την εκπόρευση των αποτελεσμάτων ήταν τα 20 λεπτά.

### **6.1.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του πειράματος είναι τα εξής :

- Αναλυτικός ζυγός
- Θερμαντική – Μαγνητική πλάκα ( θέρμανση υπό ταυτόχρονη ανάδευση)
- Οικιακή μηχανή αφρογάλατος



- Θερμόμετρα
- Ποτήρια ζέσεως
- Σκόνη καζεϊνικού νατρίου (NaC)
- Σκόνη συμπυκνώματος πρωτεϊνών γάλακτος (MPC)
- Σκόνη αλγινικού νατρίου (SA)

## 6.2.ΠΡΩΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ - ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΜΠΟΡΙΚΩΝ ΓΑΛΑΤΩΝ

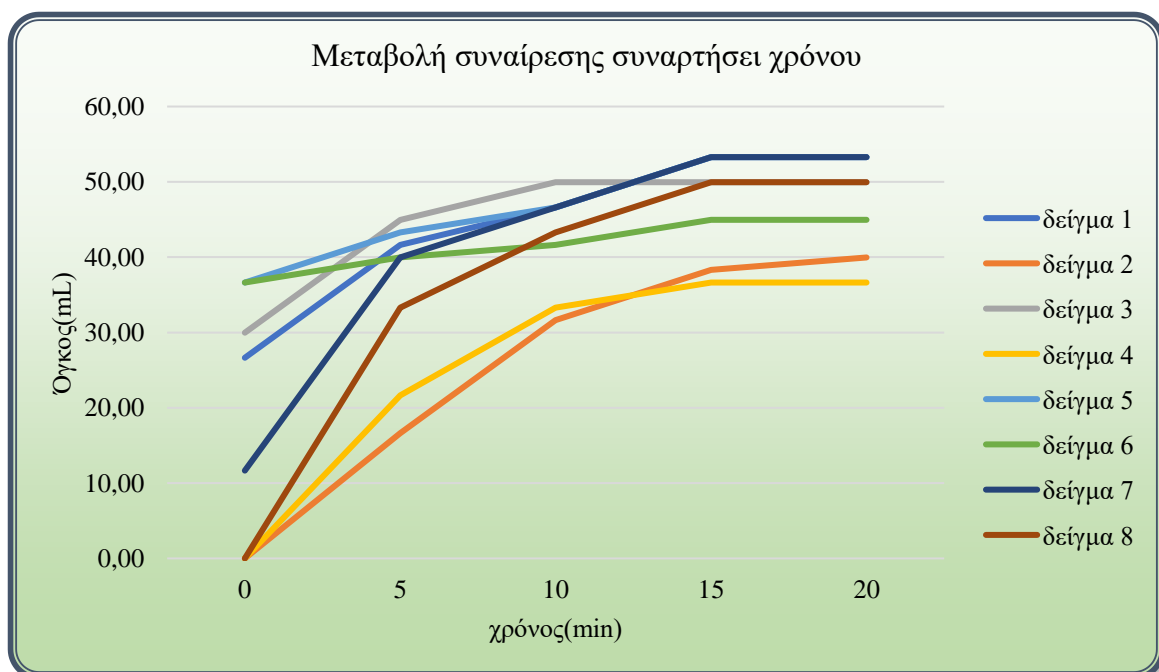
Κατά την έναρξη της διαδικασίας, για την παρασκευή των επιθυμητών προϊόντων, χρησιμοποιήθηκαν γάλατα τύπου ‘Barista’ που αφορούν αποκλειστικά την παρασκευή αφρογάλατος για τον καφέ. Έχοντας αυτά ως ‘πρότυπα’, έγινε η σύγκριση τους με 6 εμπορικά γάλατα χωρίς την προσθήκη κάποιου εξωγενή παράγοντα με στόχο την αξιολόγηση της λειτουργικότητας τους στην παρασκευή αφρογάλατος. Τα 6 αυτά δείγματα διέφεραν μεταξύ τους ως προς τη λιποπεριεκτικότητα, το ποσοστό πρωτεΐνης αλλά και το είδος της θερμικής επεξεργασίας που έχουν υποστεί. Όλα τα παραπάνω δείγματα αναδεύτηκαν σε οικιακή μηχανή παρασκευής αφρογάλατος με σκοπό να παρατηρηθεί ο χρόνος και ο βαθμός συναίρεσης τους καθώς και η ποιότητα αλλά και η σταθερότητα του αφρού που παράγουν. Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας (Πίνακας 6.2) με το σύνολο των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη φάση της πειραματικής διαδικασίας και τα βασικά τους χαρακτηριστικά όσον αφορά τη συγκέντρωση λίπους και πρωτεΐνης.

**Πίνακας 6.2.Σύνολο δειγμάτων πρώτου σταδίου του πειράματος**

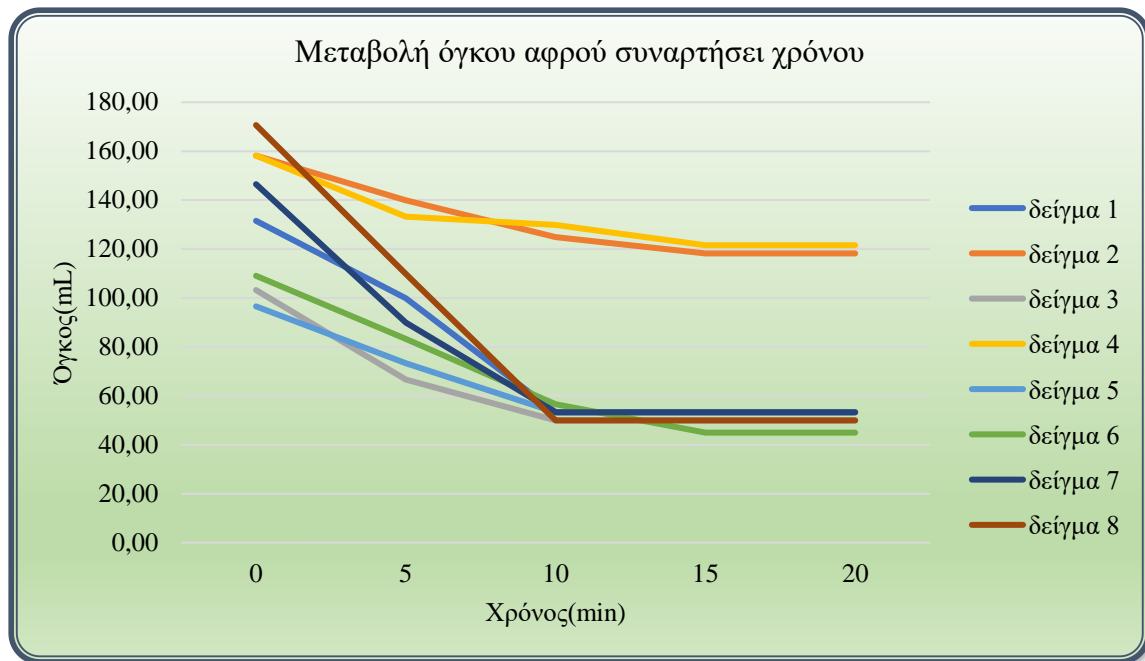
Ονομασία	Είδος Γάλακτος	Περιεκτικότητα σε λίπος g/100 mL	Περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη g/100mL
Δείγμα 1	Ρόφημα γάλακτος για επαγγελματική χρήση ειδικό για ζεστό αφρόγαλα (ESL)	3	3,5
Δείγμα 2	Άπαχο γάλα για επαγγελματική χρήση ειδικό για κρύο αφρόγαλά (ESL)	0,3	3,3

Δείγμα 3	Γάλα ημιαποβουτυρωμένο εμπλουτισμένο με +50% πρωτεΐνη (ESL)	1,5	5,0
Δείγμα 4	Γάλα άπαχο (ESL)	0,3	3,4
Δείγμα 5	Γάλα πλήρες (ESL)	3,6	3,4
Δείγμα 6	Γάλα ημιαποβουτυρωμένο (ESL)	1,5	3,5
Δείγμα 7	Γάλα φρέσκο απλής παστερίωσης 7 ημερών πλήρες	3,5	3,5
Δείγμα 8	Γάλα φρέσκο απλής παστερίωσης 7 ημερών ημιαποβουτυρωμένο	1,5	3,2

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται αναλυτικά στα παρακάτω διαγράμματα (6.2.1. - 6.2.4.), τα οποία αποτυπώνουν τον βαθμό συναίρεσης αλλά και τον όγκο του αφρού τόσο στη ζεστή όσο και στην κρύα παρασκευή.

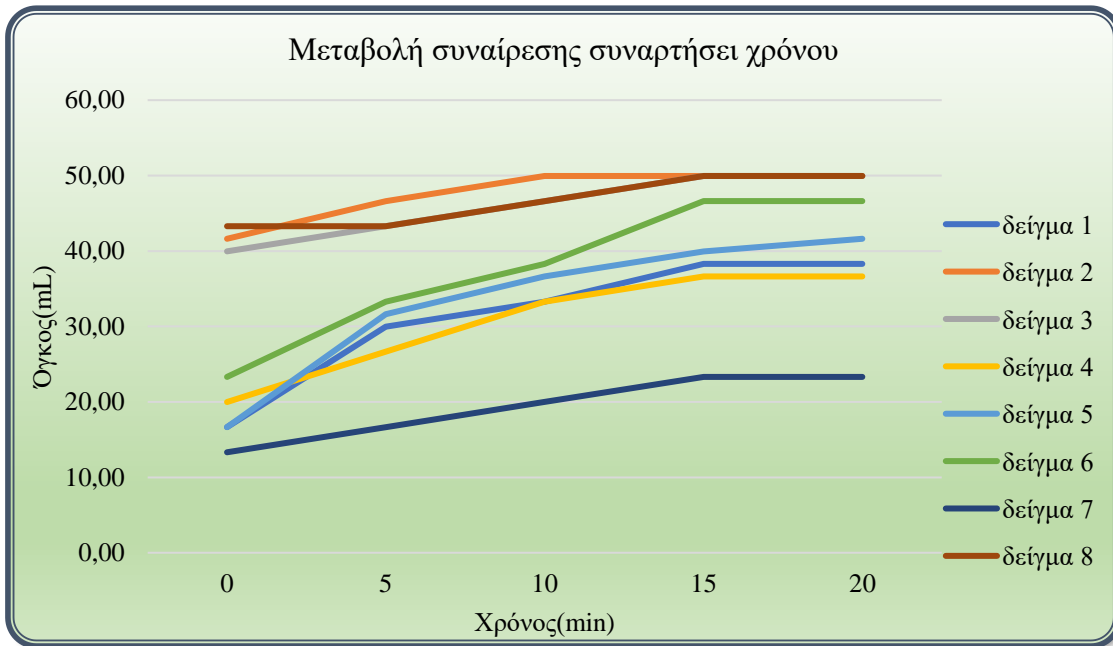


**Διάγραμμα 6.2.1. Μεταβολή συναίρεσης συναρτήσει χρόνου για τις κρύες παρασκευές**

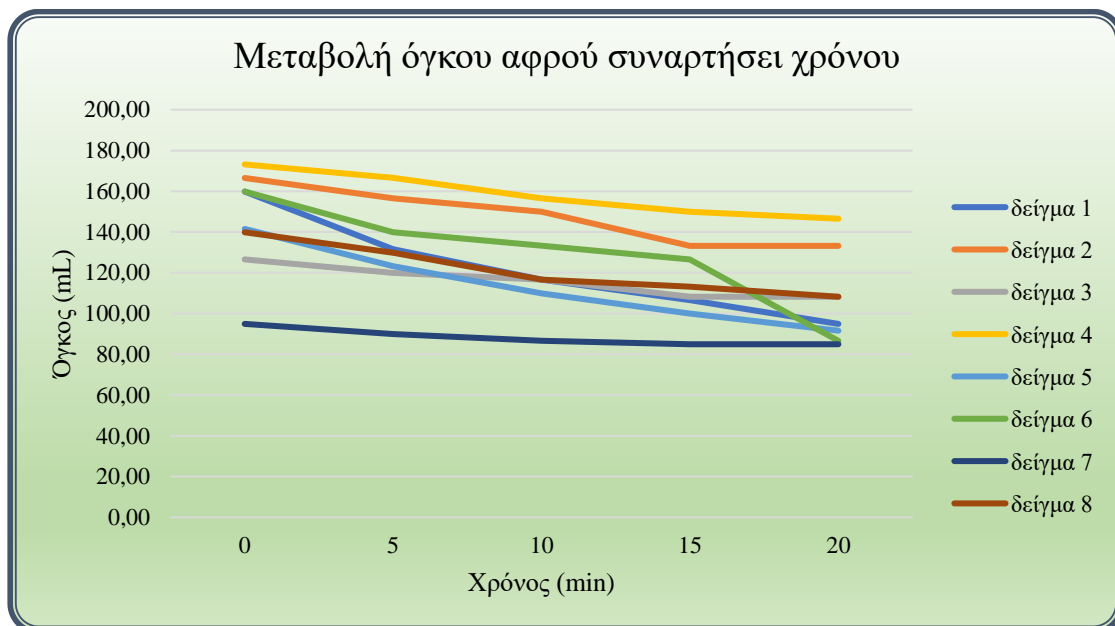


**Διάγραμμα 6.2.2. Μεταβολή όγκου αφρού συναρτήσει χρόνου για τις κρύες παρασκευές**

Όπως απεικονίζεται παραπάνω, σε ότι αφορά την παρασκευή του κρύου αφρογάλατος, τα δείγματα τα οποία έδωσαν καλό αποτέλεσμα ήταν τα 2 και 4 αφού έπειτα από την ανάδευση τους παρήγαγαν πλούσια και σταθερή κρέμα. Τα δείγματα 1, 5 και 8 σε χρόνο  $t=0$  δημιούργησαν κρέμα με χαμηλό ιξώδες και αφρό στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να μην μπορεί να διατηρηθεί στην κορυφή του καφέ και εν τέλει να αναμιγνύεται με αυτόν. Με το πέρας του χρονικού διαστήματος το πολύ των 10 λεπτών ωστόσο, τα δείγματα επανέρχονταν στην αρχική τους ρευστή κατάσταση όπως παρατηρείται και στα παραπάνω διαγράμματα. Τέλος τα δείγματα 3, 6 και 7 παρόλο που στον χρόνο  $t=0$  δημιούργησαν πλούσια κρέμα, παρατηρήθηκε πως σε σύντομο χρονικό διάστημα ο όγκος της μειώνονταν σταδιακά, ενώ μετά το πέρας των 10 περίπου λεπτών απέκτησαν ξανά την αρχική τους σύσταση. Συγκριτικά όμως με τα δείγματα 1, 5 και 8 διατήρησαν την κρέμα τους συμπαγή για περισσότερο χρόνο. Με την διεξαγωγή αυτών των δοκιμών συμπεραίνουμε ότι για την παρασκευή αφρογάλατος το οποίο προορίζεται για κρύο καφέ απαραίτητη είναι η χρήση γάλατος χαμηλό σε λιπαρά.



Διάγραμμα 6.2.3.Μεταβολή συναίρεσης συναρτήσσει χρόνου για τις ζεστές παρασκευές



Διάγραμμα 6.2.4.Μεταβολή όγκου αφρού συναρτήσσει χρόνου για τις ζεστές παρασκευές

Για την παρασκευή του ζεστού αφογάλατος, η πλειονότητα των δειγμάτων έδωσαν αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Στο δείγμα 1, το οποίο αποτελεί το πρότυπο δείγμα επαγγελματικής φύσεως παρατηρούμε στο διάγραμμα πως η συναίρεση του ήταν σταδιακή ενώ η ποσότητα του αφρού διατηρήθηκε συμπαγής και σταθερή με μια μικρή αλλά επίσης

αναμενόμενα σταδιακή μεταβολή του όγκου. Τα δείγματα 2, 4 και 6 μετά το πέρας των 20 λεπτών έκαναν επαρκή συναίρεση, ωστόσο η ποσότητα του αφρού ήταν περισσότερη του επιθυμητού και το αποτέλεσμα οργανοληπτικά κρίθηκε μη επιθυμητό. Τα δείγματα 3 και 5 αξιολογήθηκαν ως τα δείγματα τα οποία απέδωσαν χαρακτηριστικά παρόμοια με το πρότυπο ενώ τα 7 και 8 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και ως πρώτη ύλη για τη συνέχεια του πειράματος, καθώς έδωσαν και τα δύο εξίσου ικανοποιητική συναίρεση. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι στο δείγμα 7 ο όγκος του αφρού ήταν μικρότερος. Έχοντας ως βάση τα χαρακτηριστικά ενός παρασκευάσματος ζεστού καφέ όπου το μεγαλύτερο μέρος του γάλακτος αναμιγνύεται με αυτόν αφήνοντας μια ορισμένη ποσότητα πλούσιου αφρού στην επιφάνεια, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα γάλατα με περισσότερα λιπαρά είναι καταλληλότερα για τη συγκεκριμένη παρασκευή.

#### 7.ΔΕΥΤΕΡΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ – ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Έπειτα από το πρώτο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας, όπου μελετήθηκε η συμπεριφορά του κάθε δείγματος χωρίς κάποια εξωγενή προσθήκη, στο επόμενο στάδιο σκοπός ήταν να παρατηρηθεί η αεροποιητική συμπεριφορά του φρέσκου γάλακτος 1,5% και 3,5% σε λιπαρά έπειτα από την προσθήκη σταθεροποιητικών και γαλακτοματοποιητικών παραγόντων σε μορφή σκόνης. Οι προσθήκες αφορούσαν αλγινικό νάτριο (sodium alginate -SA) και καζεϊνικό νάτριο (sodium caseinate-NaC) όπου το καθένα προσδίδει στα τελικά προϊόντα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως σταθερότητα και κρεμώδη υφή. Στη συνέχεια έγινε ξεχωριστή προσθήκη καζεϊνικού και αλγινικού νατρίου σε διαφορετικές αναλογίες στα γάλατα, τα οποία βρίσκονταν υπό ταυτόχρονη ανάδευση σε θερμαντική πλάκα, χωρίς όμως η θερμοκρασία του κάθε δείγματος να ξεπεράσει τους 40-45 °C. Αυτό το πρωτόκολλο ακολουθήθηκε διότι τα πρόσθετα αυτά, κυρίως το αλγινικό νάτριο, δεν είναι διαλυτά στο γάλα όταν αυτό βρίσκεται στην φυσική του κατάσταση. Έτσι για να επιτευχθεί η διαλυτοποίησή τους, η θέρμανση του γάλακτος υπό ταυτόχρονη ανάδευση ήταν απαραίτητη, ενώ ο χρόνος διαλυτοποίησης κυμαίνεται από 45 λεπτά έως μια ώρα ανάλογα με την προστιθέμενη ποσότητα. Οι προσθήκες αρχικά έγιναν ξεχωριστά έτσι ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά τους και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που προσδίδουν στο γάλα, με απώτερο

σκοπό την εύρεση των πιο σωστών αναλογιών προκειμένου να ληφθεί ένα προϊόν με τα καλύτερα δυνατά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακες 7.1 , 7.2) παρατίθενται αναλυτικά όλες οι αναλογίες οι οποίες προστέθηκαν αλλά και ποιες ποσότητες προστέθηκαν στο κάθε προϊόν ξεχωριστά.

**Πίνακας 7.1. Προστιθέμενες αναλογίες NaC και SA σε γάλα με 1,5% λιποπεριεκτικότητα**

Ποσότητα	Γάλα 1,5% σε λιπαρά	
	Καζεϊνικό Νάτριο (NaC)	Αλγινικό Νάτριο (SA)
0,1%	-	✓
0,3%	✓	✓
0,5%	-	-
0.7%	✓	-
1%	✓	-

**Πίνακας 7.2. Προστιθέμενες αναλογίες NaC και SA σε γάλα με 3,5% λιποπεριεκτικότητα**

Ποσότητα	Γάλα 3,5% σε λιπαρά	
	Καζεϊνικό Νάτριο (NaC)	Αλγινικό Νάτριο (SA)
0,1%	-	✓
0,3%	✓	✓
0,5%	-	-
0.7%	✓	-
1%	✓	-

Στα γάλατα τόσο με λιποπεριεκτικότητα 1,5 g / 100 mL όσο και με 3,5g / 100 mL, όλες οι προσθήκες καζεϊνικού νατρίου που αφορούσαν την παρασκευή κρύου αφογάλατος απορρίφθηκαν. Τα δείγματα αυτά έπειτα από την ανάδευση τους δημιούργησαν κρέμα η οποία δεν ήταν αρκετά σταθερή ενώ παράλληλα είχε αρκετές φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια. Παρατηρείται επίσης πως στις εικόνες 7.1 και 7.2 ότι σε χρόνο  $t=0$  η προσθήκη 0,3% NaC συγκριτικά με την προσθήκη 1% NaC απέδωσε αφρό με μικρότερο όγκο και μεγαλύτερες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια γεγονός που αποδίδεται στο μικρότερο πρωτεϊνικό περιεχόμενο. Επιπλέον, έπειτα από περίπου 10 λεπτά έχαναν εξ ολοκλήρου τον όγκο τους και μετατρέπονταν ξανά σε γάλα. Από αυτά καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για την παρασκευή ενός ροφήματος γάλακτος που προορίζεται για κρύο καφέ δεν είναι επαρκής η προσθήκη μόνο κάποιου γαλακτοματοποιητή, καθώς από τη μία προκαλεί

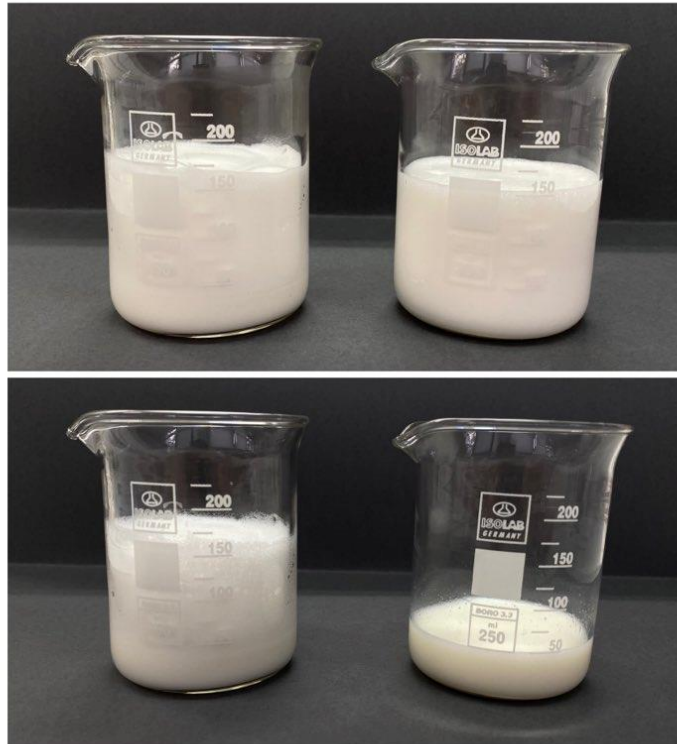
αφρισμό, ωστόσο ο αφρός αυτός δεν είναι αρκετά σταθερός ώστε να παραμείνει στην επιφάνεια του καφέ για ικανοποιητικό χρονικό διάστημα. Επομένως προκειμένου το προϊόν να είναι ικανό να σταθεί εμπορικά κρίνεται αναγκαία και η προσθήκη κάποιου σταθεροποιητικού παράγοντα.

Εν αντιθέσει με το κρύο, στο ζεστό αφρόγαλα και τα δύο είδη γάλακτος έδωσαν αρκετά καλά αποτελέσματα. Όλα τα δείγματα δημιούργησαν πλούσιο αφρό ο οποίος παρέμενε σταθερός και μετά το πέρας των 20 λεπτών ενώ η συναίρεση ήταν η απαιτούμενη. Παρατηρώντας καλύτερα τα αποτελέσματα, το γάλα με 3,5% λιπαρά έδωσε περισσότερο συμπαγή αφρό σε σχέση με το γάλα με 1,5% λιπαρά χωρίς αυτό να συνεπάγει ότι δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη μιας μικρής ποσότητας κάποιου σταθεροποιητή, ο οποίος θα προσδώσει στο προϊόν μια πιο επιθυμητή σύσταση από την ήδη υπάρχουσα.

Παρακάτω παρατίθενται ένα σύνολο εικόνων (7.1 – 7.8), στις οποίες απεικονίζονται τα διάφορα παρασκευάσματα και είναι ορατές οι διαφορές τους αλλά και οι παρατηρήσεις οι οποίες αναλύθηκαν παραπάνω. Σε κάθε εικόνα υπάρχουν δυο ποτήρια ζέσεως με το ίδιο προϊόν γάλακτος, το οποίο αναδεύτηκε και για ζεστό και κρύο αφρόγαλα. Σε όλες τις εικόνες η αριστερή παρασκευή αφορά πάντα το ζεστό και η δεξιά πάντα το κρύο αφρόγαλα.



Εικόνα7.1.Προσθήκη 0,3% NaC σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

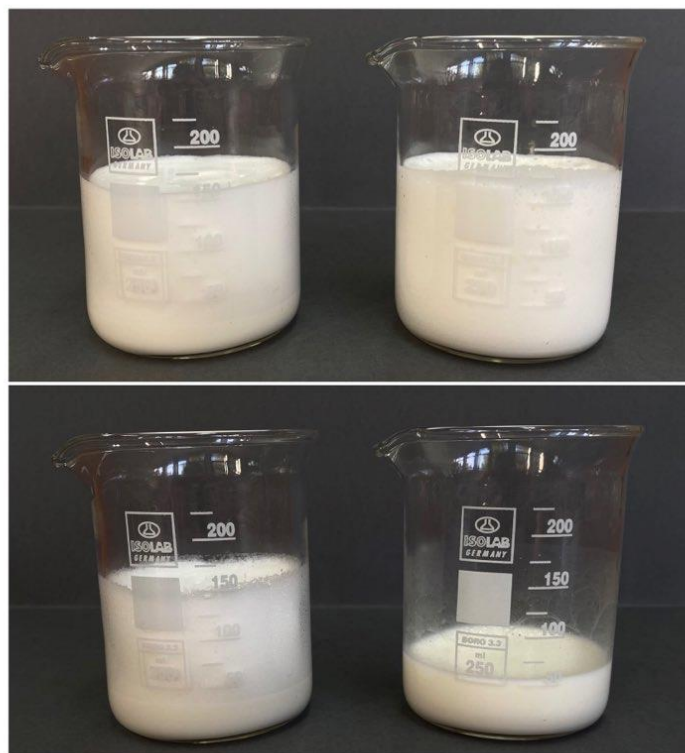


Εικόνα 7.2. Προσθήκη 1% NaC σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 7.3. Προσθήκη 0,3% NaC σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

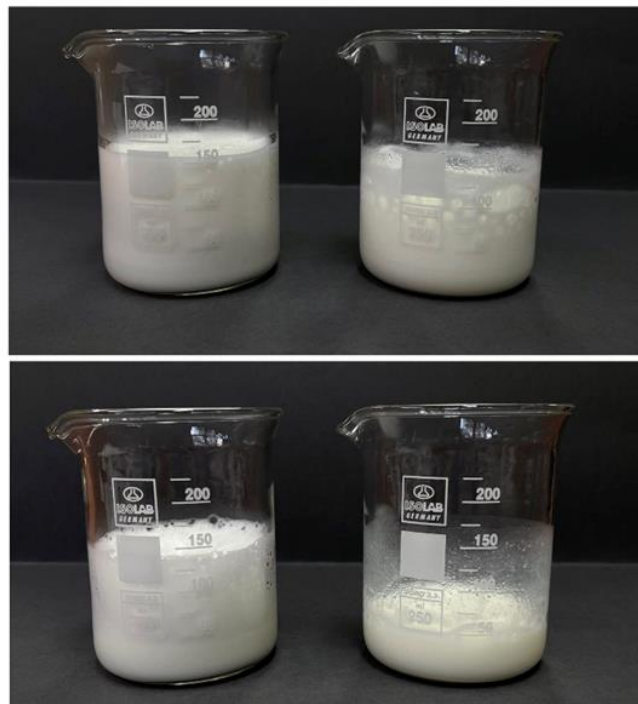




Εικόνα7. 4.. Προσθήκη 1% NaC σε 3,5% γάλα σε χρόνο t=0 min (επάνω) και t=20 min (κάτω)

Όσον αφορά την προσθήκη του αλγινικού νατρίου οι ποσότητες που προστέθηκαν απεικονίζονται στους πίνακες 7.1 και 7.2. Μετά από δοκιμές στο γάλα με 3,5% λιπαρά διεξήχθη το συμπέρασμα ότι η προσθήκη ποσοτήτων μεγαλύτερων του 0,3 % , με αυτό το ποσοστό να αποτελεί οριακή τιμή , δεν ήταν αποδεκτές διότι κατά τη σταδιακή προσθήκη του στο γάλα δεν διαλύονταν και δημιουργούσε συσσωματώματα. Αντιθέτως στο γάλα με 1,5% λιπαρά παρόλο που σε όλε τις δοκιμές που διεξήχθησαν το αλγινικό νάτριο διαλύονταν σ' αυτό , σε ποσότητες μεγαλύτερες του 0,4% όταν τοποθετούταν στο ψυγείο άρχιζε σταδιακά να αποκτά μία πιο πηκτή υφή χωρίς να θυμίζει την υγρή σύσταση που έχει το γάλα. Το φαινόμενο αυτό ήταν πιο έντονο όσο περισσότερη ποσότητα σταθεροποιητή ήταν διαλυμένη στο γάλα με χαρακτηριστικό παράδειγμα να αποτελεί η ακραία προσθήκη 0,7% αλγινικού νατρίου όπου το γάλα αφού ψύχθηκε στους 4°C απέκτησε τη μορφή τζέλ. Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών το αλγινικό νάτριο ή αλλιώς πρόσθετο E401 υπακούει στον κανόνα *quantum satis* δηλαδή δεν ορίζεται ανώτατο όριο για τη χρήση του στη βιομηχανία τροφίμων. Σύμφωνα με αυτό επιτρέπεται να προστεθεί σε ποσότητα η οποία κρίνεται επαρκής ώστε να μην αλλοιωθούν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε προϊόντος.

Κάνοντας έναν διαχωρισμό στις ζεστές και κρύες παρασκευές στις οποίες προστέθηκε μόνο αλγινικό νάτριο παρατηρήθηκε πως στο ζεστό αφρόγαλα την πιο ικανοποιητική σύσταση έδωσε το δείγμα που περιείχε 0,1% σταθεροποιητή και στα δύο είδη γάλακτος. Η διαφορά τους σε σχέση με τα δείγματα που περιείχαν 0,3% αλγινικό νάτριο παρατηρείται στην ελαστικότητα του αφρού και στην ικανότητα του να αναμιγνύεται εξ αρχής ομοιόμορφα με τον καφέ. Αξίζει να σημειωθεί ότι ανεξαρτήτως της προστιθέμενης ποσότητας αλγινικού νατρίου και της λιποπεριεκτικότητας του γάλακτος σε όλες τις δοκιμές που αφορούσαν το κρύο αφρόγαλα, αυτό δεν μπορούσε να δημιουργήσει κρέμα ικανή ώστε να παραμείνει σταθερή για παραπάνω από 3 λεπτά. Έπειτα από την ανάδευση των δειγμάτων αυτών το γάλα είχε αρκετά ρευστή μορφή με πολλές φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια ακόμα και στην μικρότερη προστιθέμενη αναλογία. Η προσθήκη 0,3% στο γάλα με 1,5% λιπαρά, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τη σταθερότητα του προϊόντος αφού η κρέμα αποδομήθηκε πιο αργά σε σχέση με τις υπόλοιπες δοκιμές ωστόσο δεν είχε την κρεμώδη υφή που απαιτείται καταλήγοντας έτσι στο ότι ο συνδυασμός γαλακτοματοποιητή και σταθεροποιητή είναι αυτός που θα μας οδηγήσει στο καλύτερο δυνατό προϊόν. Με γνώμονα τις παραπάνω παρατηρήσεις οι δοκιμές που ακολούθησαν αφορούσαν τον συνδυασμό καζεϊνικού και αλγινικού νατρίου με το ποσοστό του δεύτερου να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα χωρίς να ξεπερνά το 0,4%.



Εικόνα 7.5. Προσθήκη 0,1% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 7.6. Προσθήκη 0,3% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 7.7. Προσθήκη 0,1% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 7.8. Προσθήκη 0,3% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

## 8. ΤΡΙΤΟ ΣΤΑΔΙΟ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ – ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ

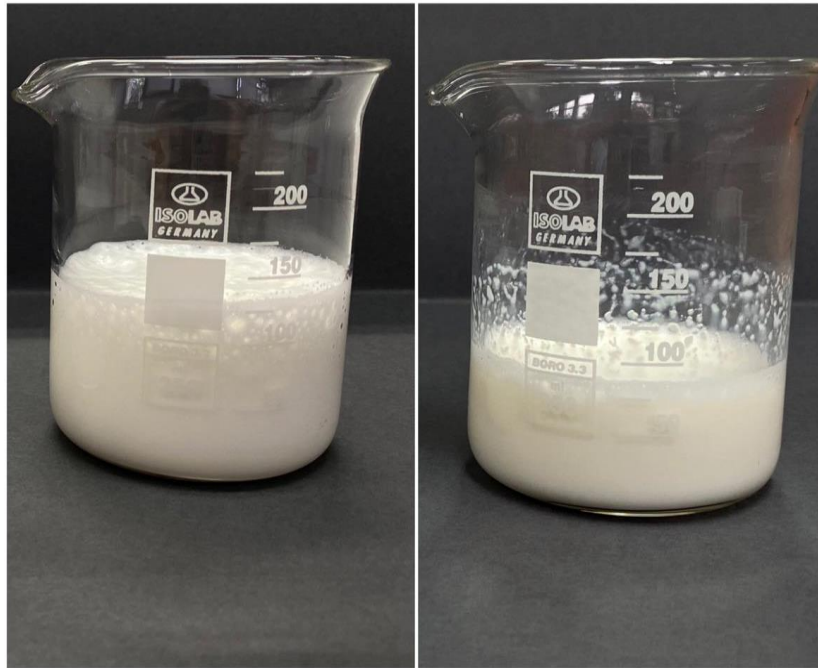
Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στα δύο προηγούμενα στάδια της πειραματικής διαδικασίας, έγινε ξεκάθαρο ότι για την παρασκευή κρύου αφρογάλατος είναι απαραίτητη η χρήση γάλακτος με όσο το δυνατόν μικρότερη λιποπεριεκτικότητα, ενώ αντιθέτως για την παρασκευή ζεστού αφρογάλατος είναι προτιμότερη η χρήση γάλακτος με υψηλότερα λιπαρά. Για το λόγο αυτό σε αυτή τη φάση η έρευνα επικεντρώθηκε ξεχωριστά για την παραγωγή του κάθε προϊόντος. Οι προσθήκες που έγιναν σε όλες τις περιπτώσεις των κρύων παρασκευών αφορούσαν τον συνδυασμό καζεϊνικού και αλγινικού νατρίου σε διαφορετικές αναλογίες κάθε φορά. Για τις ζεστές παρασκευές από την άλλη μεριά οι δοκιμές αφορούσαν είτε τον συνδυασμό επίσης καζεϊνικού και αλγινικού νατρίου είτε αλγινικού νατρίου και μίγματος πρωτεϊνών ορού γάλακτος με συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος. Στους πίνακες (8.1, 8.2, 8.3) που ακολουθούν, παρατίθενται αναλυτικά οι αναλογίες όλων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση.

**Πίνακας 8.1. Συνδυασμοί προστιθέμενων ποσοτήτων NaC και SA σε γάλα με 1.5% λιποπεριεκτικότητα**

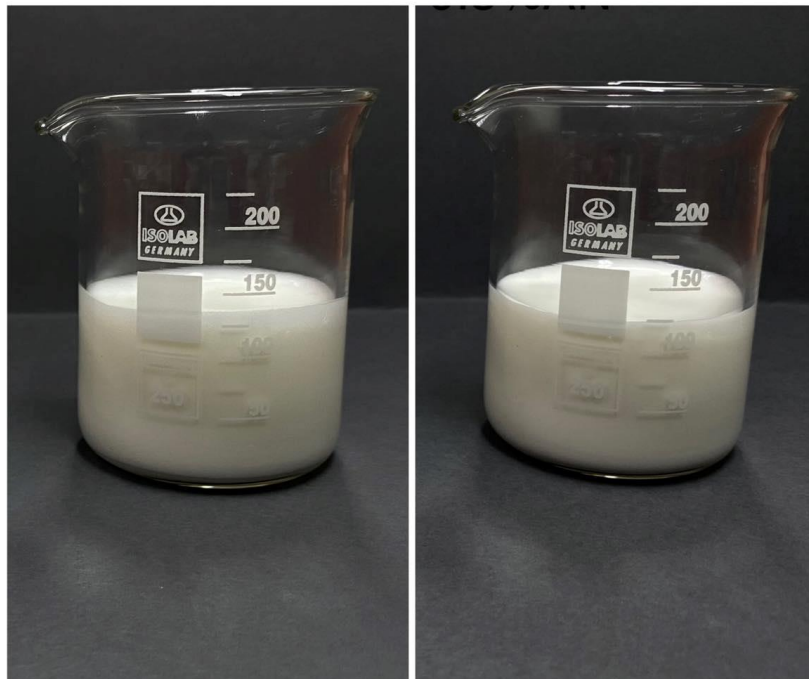
Γάλα 1,5% σε λιπαρά		
Συνδυασμός	Ποσότητα Καζεϊνικού Νατρίου (NaC)	Ποσότητα Αλγινικού Νατρίου (SA)
1	0,3%	0,3%
2	0,5%	0,5%
3	0,7%	0,3%
4	0,9%	0,4%
5	1%	0,3%
6	1%	0,35%
7	1%	0,4%

#### Συνδυασμός 1&2

Οι συνδυασμοί αυτοί απορρίφθηκαν διότι όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά δεν ήταν τα επιθυμητά. Αρχικά στον συνδυασμό 1 δεν δημιουργήθηκε πλούσια κρέμα ενώ είχε πολλές και σε ακανόνιστο σχήμα φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια. Παράλληλα στον συνδυασμό 2 η αυξημένη ποσότητα αλγινικού νατρίου έδωσε αρνητικά αποτελέσματα καθώς η κρέμα ήταν πολύ πιο σταθερή χωρίς να δημιουργείται σταδιακή συναίρεση η οποία είναι επιθυμητή με το πέρας του χρόνου. Όσον αφορά την κρέμα κρίθηκε πιο πλούσια συγκριτικά με τον προηγούμενο συνδυασμό, δεν ήταν όμως ικανή να σταθεί εμπορικά. Επίσης είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στη λιγοστή συναίρεση που παρατηρήθηκε τελικά, είχε αλλοιωθεί το χρώμα του γάλακτος και ήταν πιο διαυγές και όχι λευκό. Μετά από τις παραπάνω δοκιμές ήταν σαφές πως όσο περισσότερη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου προστίθενται τόσο πιο πλούσια κρέμα παράγεται ενώ αντιθέτως όσο περισσότερη ποσότητα αλγινικού νατρίου προστίθενται τόσο πιο πολύ αλλοιώνονται τα χαρακτηριστικά του γάλακτος.



Εικόνα 8.1..Προσθήκη 0,3% NaC και 0,3% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)



Εικόνα 8.2.Προσθήκη 0,5% NaC και 0,5% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)

### Συνδυασμός 3

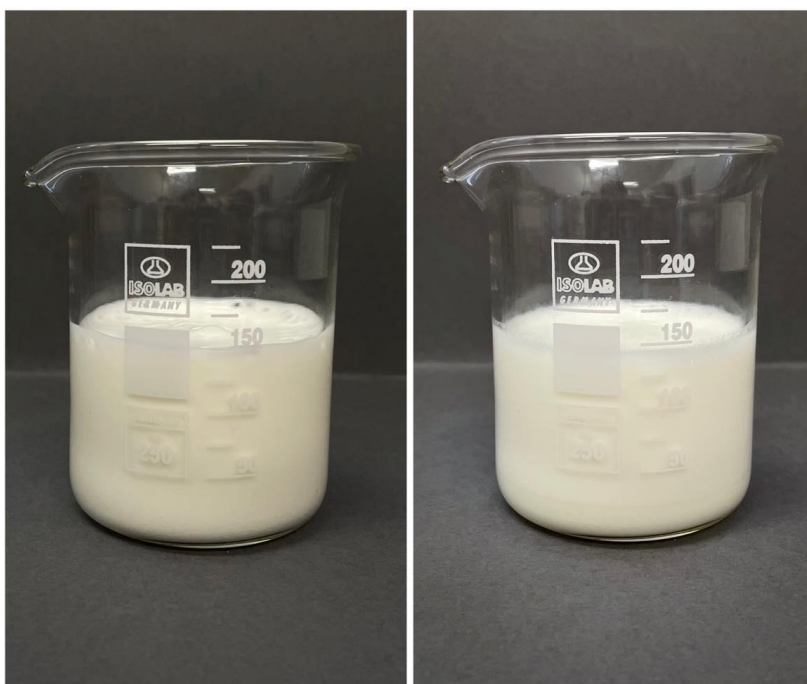
Στην περίπτωση αυτή λήφθηκαν αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα, συνεπώς αποτελεί έναν από τους καλύτερους συνδυασμούς που πραγματοποιήθηκαν. Αναλυτικότερα, η ποσότητα 0,7% καζεϊνικού νατρίου έδωσε στο αφρόγαλα πλούσια υφή και επιθυμητό ιξώδες που θύμιζε σε μεγάλο βαθμό το πρότυπο δείγμα 2 όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες. Η συναίρεση επιπλέον εξελίσσονταν με τέτοιο ρυθμό έτσι ώστε το γάλα που αποβάλλεται να ανακατεύτε σταδιακά με τον καφέ.



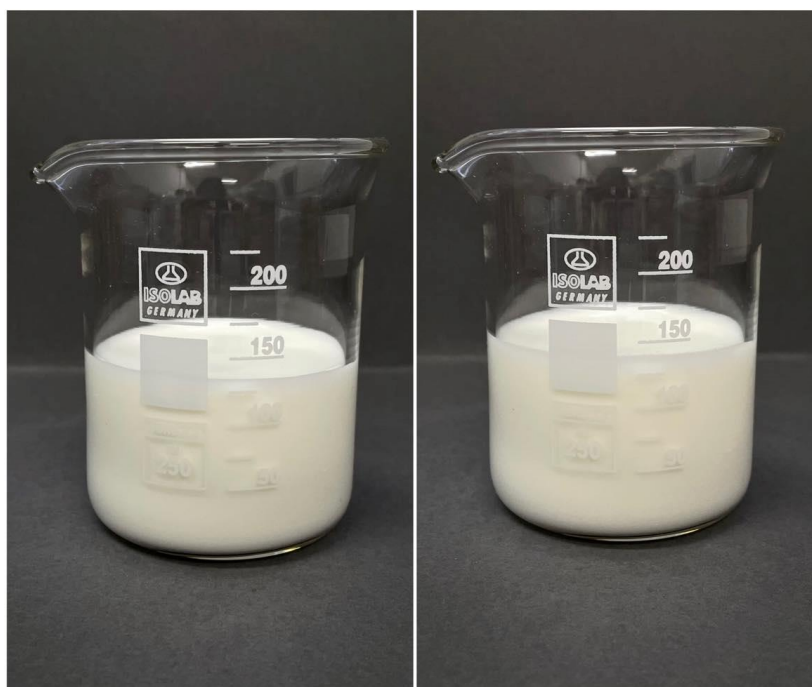
Εικόνα 8.3. Προσθήκη 0,7% NaC και 0,3% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)

### Συνδυασμός 4&7

Τα δείγματα αυτά όπως φαίνεται και στις εικόνες 8.4 και 8.5 έδωσαν αρκετά παρόμοια αποτελέσματα. Συγκεκριμένα έπειτα από την ανάδευση τους δημιούργησαν συμπαγή κρέμα και η συναίρεση τους κρίθηκε ικανοποιητική. Παρόλα αυτά στα τελικά δείγματα συγκαταλέχθηκε ο συνδυασμός 7 λόγω του αυξημένου πρωτεϊνικού του περιεχομένου το οποίο είναι γνωστό πως συμβάλλει στη δημιουργία σταθερότερων αφρών.



Εικόνα 8.4..Προσθήκη 0,9% NaC και 0,4% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)

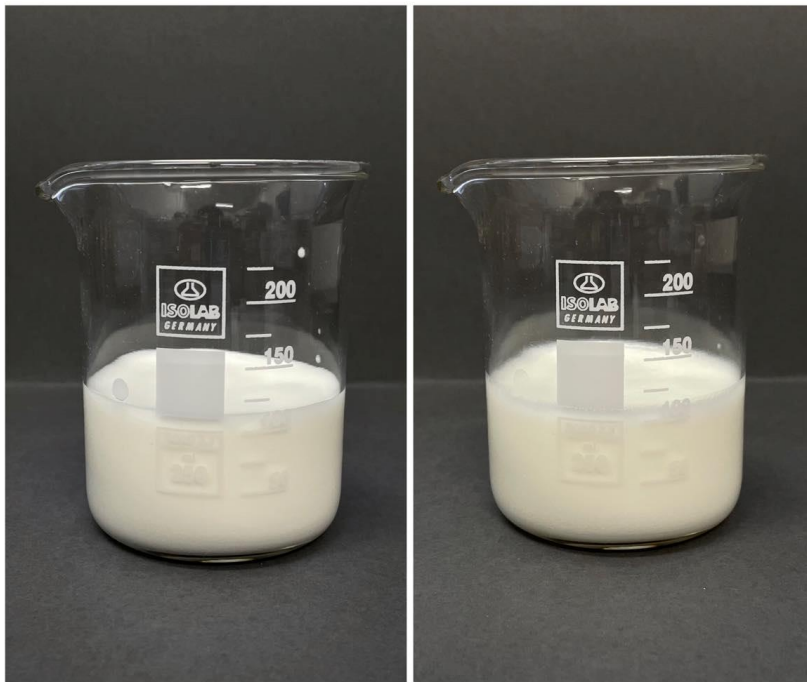


Εικόνα 8.5.Προσθήκη 1% NaC και 0,4% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)

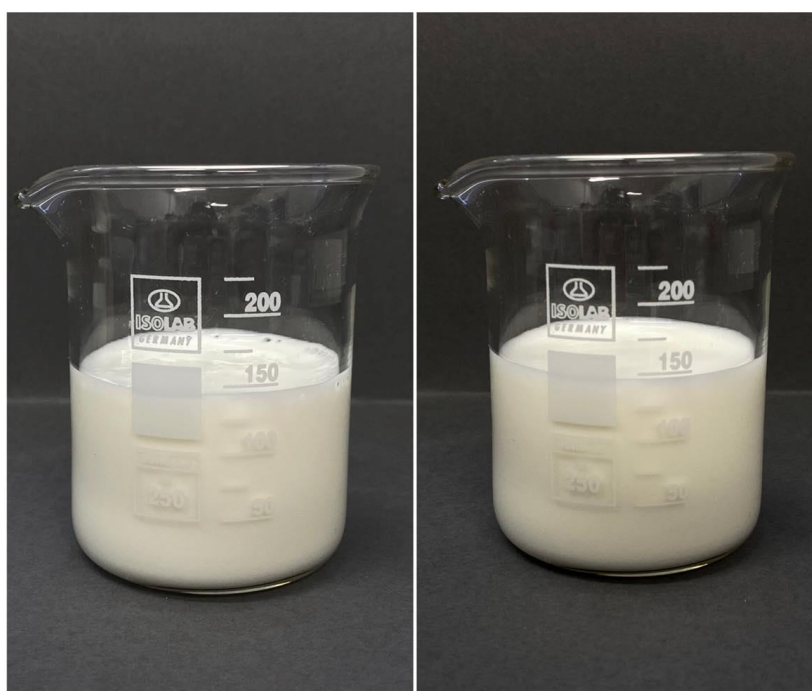


### Συνδυασμός 5&6

Τα συγκεκριμένα δείγματα έδωσαν εξαιρετικά αποτελέσματα σε σχέση με όλα τα προηγούμενα. Η μόνη μεταξύ τους διαφορά ήταν η μικρότερη διόγκωση του συνδυασμού 5 συγκριτικά με τον 6. Η συναίρεση ήταν σταδιακή σε συνάρτηση με το χρόνο και η υφή της κρέμας που παρήγαγαν η απαιτούμενη έχοντας πάντα ως γνώμονα το πρότυπο δείγμα 2.



Εικόνα 8.6. Προσθήκη 1% NaC και 0,3% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)



Εικόνα 8.7. Προσθήκη 1% NaC και 0,35% SA σε 1,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (αριστερά) και  $t=20$  min (δεξιά)

Έχοντας σαν γνώμονα ότι όσο λιγότερα είναι τα λιπαρά στο γάλα τόσο καλύτερα αποτελέσματα θα λαμβάνονται όσον αφορά την παραγωγή αφρογάλατος για κρύα παρασκευάσματα, οι καλύτεροι συνδυασμοί που πραγματοποιήθηκαν στην τρίτη φάση της πειραματικής διαδικασίας, οι οποίοι παρατίθενται στον πίνακα 5, δοκιμάστηκαν εκ νέου χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη γάλα με λιποπεριεκτικότητα 1%. Τα δείγματα αυτά, αφού αποτελούν τα τελικά προϊόντα, εκτός από την οικιακή μηχανή αφρογάλατος που χρησιμοποιήθηκε σε ολόκληρη την πειραματική διαδικασία, αναδεύτηκαν και σε επαγγελματική μηχανή για να παρατηρηθεί η συμπεριφορά τους σε πραγματικές συνθήκες.

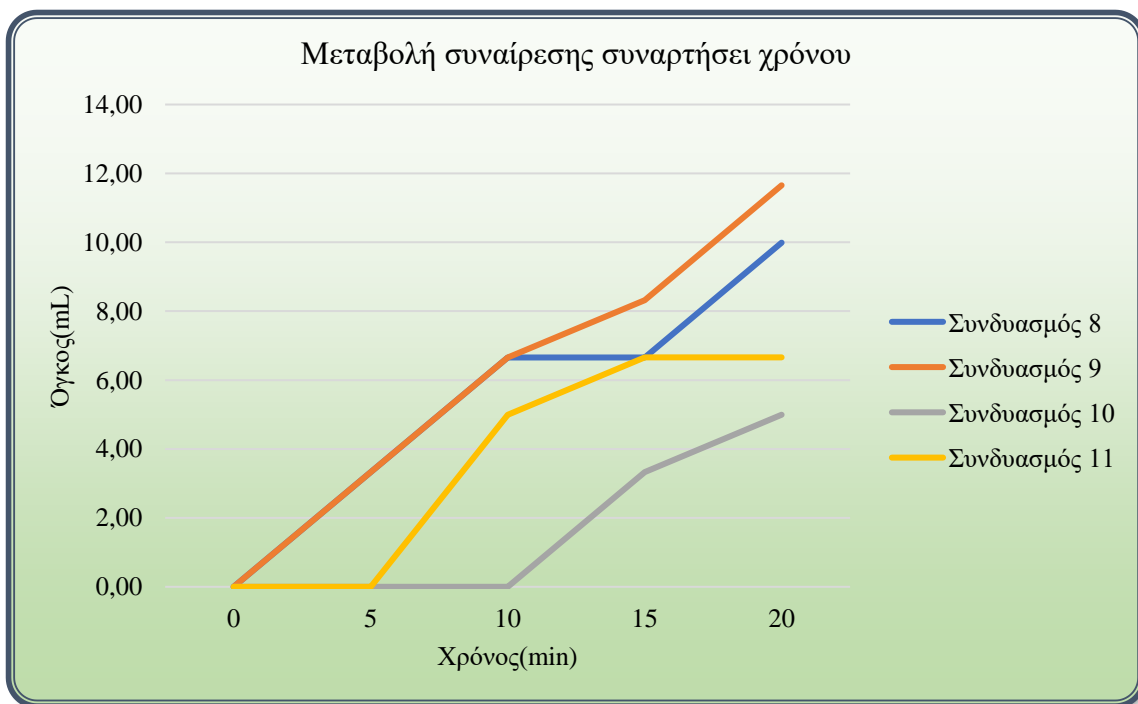
**Πίνακας 8.2..Συνδυασμοί προστιθέμενων ποσοτήτων NaC και SA σε γάλα με 1% λιποπεριεκτικότητα**

Γάλα 1% σε λιπαρά		
Συνδυασμός	Ποσότητα Καζεϊνικού Νατρίου (NaC)	Ποσότητα Αλγινικού Νατρίου (SA)
8	1%	0,3%
9	1%	0,35%
10	1%	0,4%
11	0,7%	0,3%

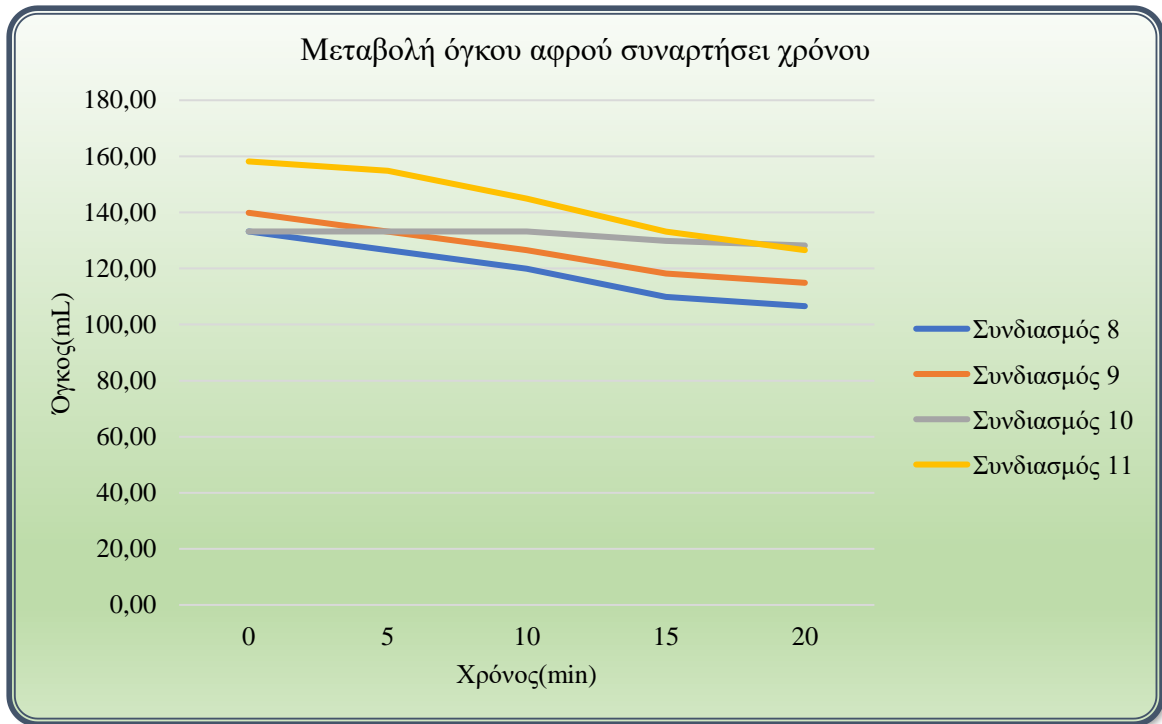
Οι συνδυασμοί αυτοί έδωσαν όλοι εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα, ωστόσο παρατηρήθηκαν οι λεπτομέρειες τους και όταν συνυπάρχουν με τον καφέ. Σημαντικό ρόλο στην τελική αξιολόγηση των δειγμάτων διαδραμάτισε η υφή και η σταθερότητα της κρέμας αλλά και το χρονικό διάστημα στο οποίο ξεκινά η συναίρεση αλλά και η αποδόμηση της. Με βάση αυτά τα κριτήρια, το πιο επιθυμητό αποτέλεσμα έδωσε ο συνδυασμός 9, καθώς ως προϊόν ήταν παρόμοιο με το πρότυπο δείγμα 2 της πρώτης φάσης του πειράματος. Πιο αναλυτικά, η κρέμα ήταν πλούσια, είχε το επιθυμητό ιξώδες και σταδιακά αναμιγνύονταν ομοιόμορφα με τον καφέ. Επιπλέον περίπου σε χρονικό διάστημα 15 λεπτά έπειτα από την ανάδευση ξεκίνησαν να δημιουργούνται κάποιες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια όπως ήταν αναμενόμενο. Μετά το πέρας των 20 λεπτών η κρέμα παρέμενε σταθερή στην κορυφή του καφέ χωρίς να έχει χάσει εντελώς την αρχική της υφή. Παρακάτω απεικονίζονται όλες οι παραδοχές οι οποίες αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Όσον αφορά τα υπόλοιπα τρία δείγματα θα αναφερθούν παρακάτω οι λόγοι για τους οποίους απορρίφθηκαν εν τέλει έπειτα από την σύγκριση τους με τα αποτελέσματα του συνδυασμού 9. Οι δοκιμές 8 και 11 έδωσαν αρκετά παρόμοια προϊόντα, δηλαδή αναμίχθηκαν σταδιακά με τον καφέ και η υφή της κρέμας τους ήταν επιθυμητή ωστόσο σε χρόνο περίπου δέκα λεπτά άρχισαν να σχηματίζουν μεγάλες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια τους, γεγονός που επιτάχυνε την επιστροφή της κρέμας στην αρχική της μορφή και την λίγο γρηγορότερη ανάμειξη της με τον καφέ. Μια μικρή διαφορά μεταξύ αυτών των δειγμάτων είναι ότι αυτό με την μικρότερη προστιθέμενη ποσότητα καζεϊνικού νατρίου δημιούργησε σε συντομότερο χρονικό διάστημα φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια κάτι που συμβαίνει λόγω της μικρότερης ποσότητας επιφανειοδραστικής ουσίας. Τέλος, στη δοκιμή 10 η κρέμα είχε αυξημένο ιξώδες λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας αλγινικού νατρίου που περιείχε. Επιπλέον η συναίρεση του συγκεκριμένου συνδυασμού

καθυστερούσε με αποτέλεσμα να μην ομογενοποιείται στον επιθυμητό χρόνο με τον καφέ, όπως είναι εμφανές στο διάγραμμα η συναίρεση ξεκινά δέκα λεπτά αφού προστεθεί στον καφέ ενώ ο όγκος του αφρού παραμένει σχεδόν αμετάβλητος αφού η γκρι γραμμή είναι σχεδόν ευθεία. Οι πορτοκαλί γραμμές που αντιπροσωπεύουν τον συνδυασμό 9 στα διαγράμματα φαίνεται να έχουν την πιο σταδιακή μεταβολή τόσο της συναίρεσης όσο και του όγκου του αφρού. Οι συνδυασμοί 8 και 9 παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά τον όγκο του αφρού καθώς στο διάγραμμα 8.2 οι ευθείες που τους αντιπροσωπεύουν είναι σχεδόν παράλληλες ωστόσο η διαφορά τους έγκειται στη μεταβολή της συναίρεσης η οποία παρόλο που στο χρονικό διάστημα 0-10 λεπτά είναι η ίδια, έπειτα από αυτό στον συνδυασμό 8 παρουσιάζεται μια μικρή σταθερότητα και μετά εκθετική αύξηση ενώ στον συνδυασμό 9 μια σταδιακή εκθετικότητα.



**Διάγραμμα 8.1. Μεταβολή συναίρεσης συναρτήσει χρόνου για τις κρέμες παρασκευές σε γάλα με λιποπερικτικότητα 1%**



**Διάγραμμα 8.2. Μεταβολή όγκου αφρού συναρτήσει χρόνου για τις κρύες παρασκευές σε γάλα με λιποπεριεκτικότητα 1%**

Στις παρακάτω εικόνες ( 8.8 – 8.11) παρατίθενται τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών:



**Εικόνα 8.8. Προσθήκη 0,7% NaC και 0,3% SA σε 1% γάλα σε χρόνο t=0 min (επάνω) και t=20 min (κάτω)**



Εικόνα 8.9. Προσθήκη 1% NaCl και 0,3% SA σε 1% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 8.10. Προσθήκη 1% NaCl και 0,35% SA σε 1% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 8.11. Προσθήκη 1% NaC και 0,4% SA σε 1% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

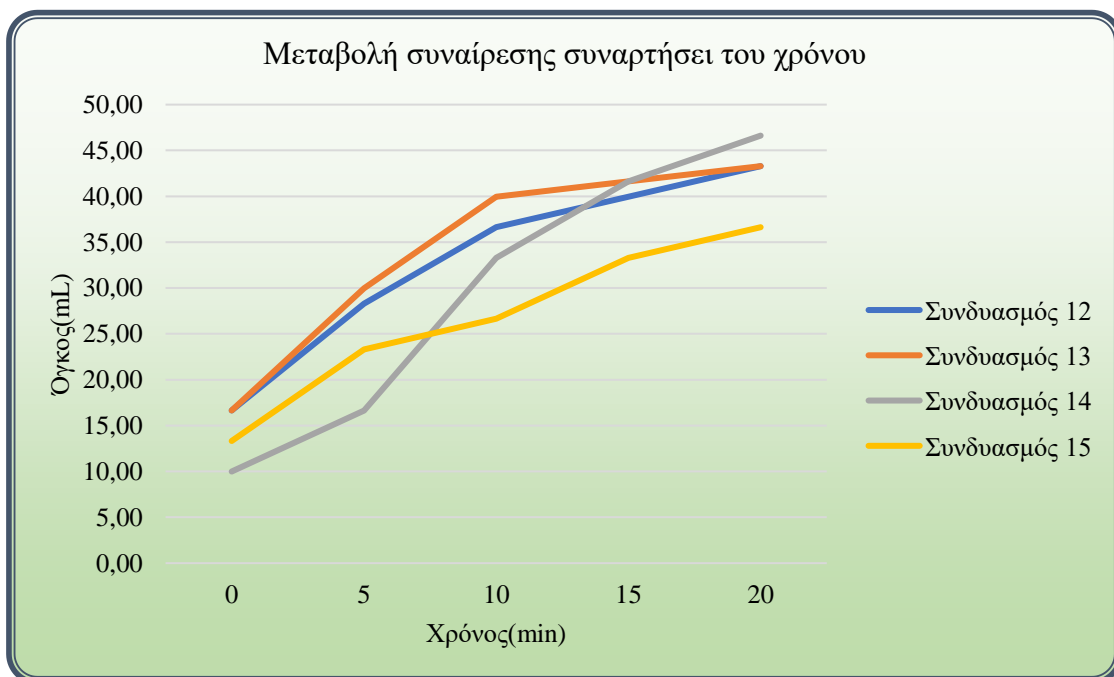
Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο μέρος της πειραματικής διαδικασίας η προσθήκη 0,1% αλγινικού νατρίου σε γάλα που έχει λιποπεριεκτικότητα 3,5% έδωσε σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα για την παρασκευή ζεστού αφρογάλατος. Συνεπώς σε όλους τους συνδυασμούς που δοκιμάστηκαν η ποσότητα του αλγινικού νατρίου παρέμεινε αμετάβλητη. Στο ζεστό αφρόγαλα το πρόσθετο πρωτεϊνικής φύσεως ήταν το συμπύκνωμα πρωτεϊνών γάλακτος σε μεταβαλλόμενες αναλογίες όπως φαίνεται στον πίνακα 8.3.

**Πίνακας 8.3. Συνδυασμοί προστιθέμενων ποσοτήτων MPC και SA σε γάλα με 3,5% λιποπεριεκτικότητα**

Γάλα 3,5% σε λιπαρά		
Συνδυασμός	Ποσότητα Πρωτεϊνών (MPC)	Ποσότητα Αλγινικού Νατρίου (SA)
12	0,1%	0,1%
13	0,2%	0,1%
14	0,3%	0,1%
15	0,5%	0,1%

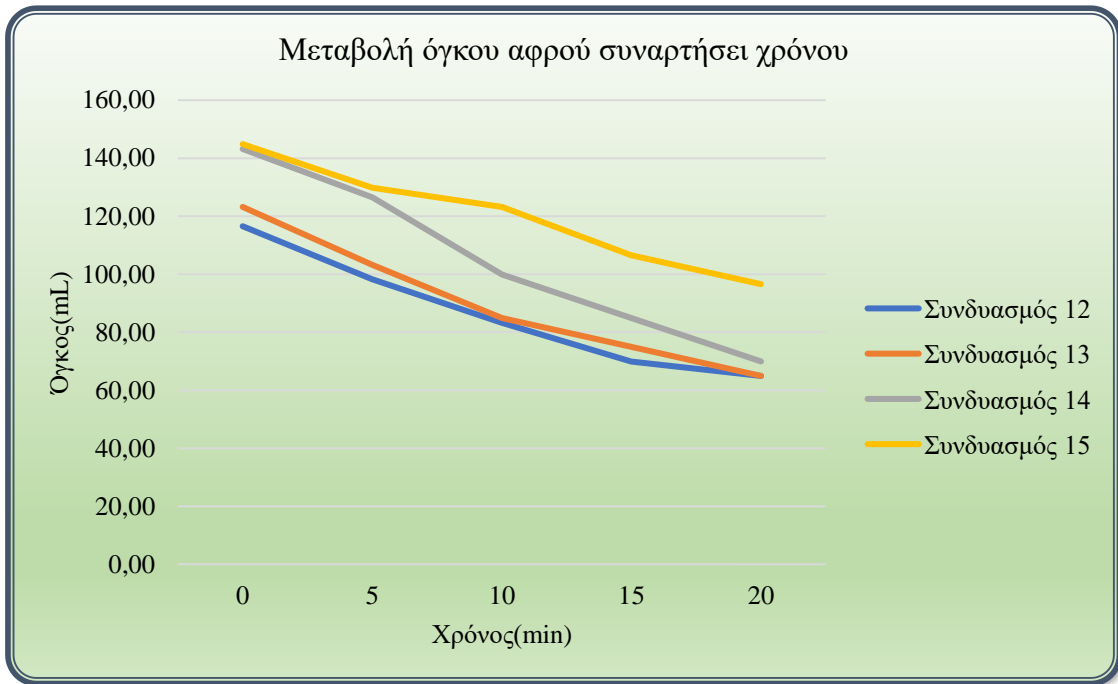
Στην περίπτωση του ζεστού αφρογάλατος σκοπός δεν είναι η δημιουργία μιας συμπαγούς κρέμας όπως στο κρύο, αλλά η δημιουργία μιας λεπτόρρευστης κρέμας η οποία όταν προστίθενται στον καφέ να αναμιγνύεται κατευθείαν με αυτόν αφήνοντας στην επιφάνεια μια σημαντική ποσότητα ελαστικού αφρού. Για την παρασκευή ενός cappuccino δεν απαιτείται ο αφρός αυτός να έχει εξ ολοκλήρου λευκό χρώμα αλλά να υπάρχει μια μικρή ανάμιξη του λευκού χρώματος του γάλακτος με αυτό του καφέ.

Οι δοκιμές που ακολουθήθηκαν παρατίθενται στον πίνακα 8.3. Οι συνδυασμοί 14 και 15 εν τέλει απορρίφθηκαν διότι παρήγαγαν μεγαλύτερη ποσότητα αφρού από την επιθυμητή όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα 8.4. Επίσης όσον αφορά τη συναίρεση τους δεν είχε έναν σταθερό ρυθμό όπως φαίνεται και από τις αντίστοιχες καμπύλες στο διάγραμμα 8.3 γεγονός που δεν είναι επιθυμητό. Οι υπόλοιποι δύο συνδυασμοί έδωσαν αρκετά παρόμοια και ταυτόχρονα ικανοποιητικά αποτελέσματα αφού και στα παρακάτω διαγράμματα οι καμπύλες τους είναι σχεδόν παράλληλες. Συγκεκριμένα μετά την ανάδευση τους στην οικιακή μηχανή αφρογάλατος αναμίχθηκαν ομοιόμορφα με τον καφέ αφήνοντας ικανοποιητική ποσότητα αφρού στην επιφάνεια ωστόσο το δείγμα με την καλύτερη σύσταση κρίθηκε έπειτα από την έκχυση ατμού με το ακροφύσιο στο γάλα σε επαγγελματική μηχανή καφέ.



**Διάγραμμα 8.3. Μεταβολή συναίρεσης συναρτήσει χρόνου για τις ζεστές παρασκευές σε γάλα με λιποπεριεκτικότητα 3,5%**





**Διάγραμμα 8.4. Μεταβολή όγκου αφρού συναρτήσει χρόνου για τις ζεστές παρασκευές σε γάλα με λιποπερικτικότητα 3,5%**



**Εικόνα 8.12. Προσθήκη 0,1% MPC και 0,1% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)**



Εικόνα 8.13. Προσθήκη 0,2% MPC και 0,1% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 8.14. Προσθήκη 0,3% MPC και 0,1% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)



Εικόνα 8.15. Προσθήκη 0,5% MPC και 0,1% SA σε 3,5% γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

## 9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περίπτωση του ζεστού αφρογάλατος το δείγμα με την μεγαλύτερη αναλογία πρωτεΐνης δεν μπόρεσε να σταθεί εμπορικά παρόλο που στην οικιακή συσκευή καφέ έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έπειτα από έκχυση ατμού, το συγκεκριμένο δείγμα δεν ήταν ικανό να δημιουργήσει αφρό κατάλληλο για ένα ρόφημα τύπου cappuccino. Αντιθέτως, το δείγμα που συνδύασε [redacted] παράγαγε μια κρέμα με σχετικά χαμηλό ιξώδες και αφρό στην επιφάνεια με συνέπεια να αποτελέσει και το τελικό προϊόν όσον αφορά την ζεστή παρασκευή. Χαρακτηριστικά απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες ότι σε χρόνο  $t=0$  υπάρχει ομοιόμορφη ανάμιξη του γάλακτος με τον καφέ και ικανοποιητική ποσότητα αφρού στην κορυφή με σχετικά μικρό αριθμό φυσαλίδων. Έπειτα από πέντε λεπτά ο αφρός εξακολουθεί να παραμένει σταθερός στην επιφάνεια με τη μόνη διαφορά να έγκειται στο ότι οι φυσαλίδες αρχίζουν σιγά σιγά να χάνουν την αρχική σφαιρική τους μορφή και σε κάποια σημεία να αποκτούν ανομοιόμορφο σχήμα. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται σε χρόνο  $t=10$  min όπου το μέγεθος

των φυσαλίδων έχει γίνει μεγαλύτερο ενώ σταδιακά φαίνεται να ξεκινά και η αποστράγγιση του αφρού η οποία γίνεται εντονότερη σε χρόνο  $t=20$  min διότι παρατηρείται ότι σε κάποια σημεία ο αφρός έχει υποχωρήσει από τα τοιχώματα του πλαστικού ποτηριού. Τα φαινόμενα που εξελίσσονται στα χρονικά αυτά διαστήματα είναι αναμενόμενα οπότε ο [REDACTED] μπορεί να ανταποκριθεί στις εμπορικές απαιτήσεις.



Εικόνα 9.1. Προσθήκη [REDACTED] γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=5$  min (κάτω)



Εικόνα 9.2. Προσθήκη [redacted] γάλα σε χρόνο  $t=10$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

Τα δείγματα που προορίζονταν για τα κρύα ροφήματα καφέ διέφεραν κατά πολύ λίγο ως προς την προστιθέμενη ποσότητα σταθεροποιητή. Το δείγμα με την μικρότερη ποσότητα αλγινικού νατρίου, δηλαδή ο [redacted], δεν παρήγαγε τόσο συμπαγή κρέμα όταν αναδεύτηκε στην επαγγελματική μηχανή ενώ παράλληλα σε χρόνο  $t=0$  παρουσίαζε μικρού αλλά και μεγαλύτερου μεγέθους φυσαλίδες αέρα στην κορυφή. Στον ίδιο χρόνο παρουσίαζε ικανοποιητική σταθερότητα όσον αφορά την κρέμα ωστόσο η συναίρεση ήταν ταχύτερη και σε συνδυασμό με την αρχική του εμφάνιση της κρέμας το συγκεκριμένο δείγμα απορρίφθηκε. Απεναντίας, ο [redacted] που περιείχε [redacted] στον χρόνο αυτό η κρέμα του ήταν αρκετά πιο σταθερή με καλύτερη υφή και σημαντικά λιγότερες φυσαλίδες αέρα στην επιφάνεια. Μετά από πέντε λεπτά η συναίρεση δεν είχε ξεκινήσει, συνεπώς επιβεβαιώνεται η σταθερότητα της κρέμας. Σε χρόνο  $t=10$  min ξεκίνησε με σχετικά αργό ρυθμό η ανάμιξη μικρού μέρους του γάλακτος που αποβάλλεται από την κρέμα με τον καφέ, ενώ περισσότερες φυσαλίδες αέρα έκαναν την εμφάνιση τους όπως αναμένονταν. Τέλος στο χρονικό διάστημα μέχρι  $t=20$  min τα φαινόμενα που αναφέρθηκαν συνεχίστηκαν με αποτέλεσμα την αλλαγή πλέον του χρώματος του καφέ αφού η συναίρεση αυξήθηκε όπως έγινε και με τις φυσαλίδες αέρα οι οποίες ήταν αρκετές με ακανόνιστο σχήμα.



Εικόνα 9.3. Προσθήκη [redacted] γάλα σε χρόνο  $t=0$  min (επάνω) και  $t=5$  min (κάτω)



Εικόνα 9.4. Προσθήκη [redacted] γάλα σε χρόνο  $t=10$  min (επάνω) και  $t=20$  min (κάτω)

## 10.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anema, S. G. (2019). The whey proteins in milk: Thermal denaturation, physical interactions, and effects on the functional properties of milk. In *Milk Proteins: From Expression to Food* (pp. 325–384). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00009-8>
2. Bals, A., & Kulozik, U. (2003). Effect of pre-heating on the foaming properties of whey protein isolate using a membrane foaming apparatus. *International Dairy Journal*, 13(11), 903–908. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00111-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00111-0)
3. Belitz H.-D, Grosch Werner, & Schieberle Peter. (2009). *Food Chemistry*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>
4. Bhat, M. Y., Dar, T. A., & Singh, L. R. (2016). Casein Proteins: Structural and Functional Aspects. In *Milk Proteins - From Structure to Biological Properties and Health Aspects*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64187>
5. Borcherdig, K., Lorenzen, P. C. H. R., & Hoffmann, W. (2009). Effect of protein content, casein-whey protein ratio and pH value on the foaming properties of skimmed milk: ORIGINAL RESEARCH. *International Journal of Dairy Technology*, 62(2), 161–169. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2009.00472.x>
6. Brandelli, A., Daroit, D. J., & Corrêa, A. P. F. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. In *Food Research International* (Vol. 73, pp. 149–161). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.016>
7. Corredig, M., Nair, P. K., Li, Y., Eshpari, H., & Zhao, Z. (2019). Invited review: Understanding the behavior of caseins in milk concentrates. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 4772–4782. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15943>
8. Costa, A., Lopez-Villalobos, N., Sneddon, N. W., Shalloo, L., Franzoi, M., de Marchi, M., & Penasa, M. (2019). Invited review: Milk lactose—Current status and future challenges in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 102(7), 5883–5898. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15955>
9. Dalgleish, D. G. (2011). On the structural models of bovine casein micelles—review and possible improvements. *Soft Matter*, 7(6), 2265–2272. <https://doi.org/10.1039/C0SM00806K>
10. Damodaran, S., & Paraf, A. (2017). *Food Proteins and their Applications*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203755617>

11. Day, L., Raynes, J. K., Leis, A., Liu, L. H., & Williams, R. P. W. (2017). Probing the internal and external micelle structures of differently sized casein micelles from individual cows milk by dynamic light and small-angle X-ray scattering. *Food Hydrocolloids*, *69*, 150–163. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.007>
12. de Kruif, C. G., & Holt, C. (2003). Casein Micelle Structure, Functions and Interactions. In *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins* (pp. 233–276). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_5)
13. Deeth, H., & Bansal, N. (2018). Whey proteins. In *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (pp. 1–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00001-1>
14. Deeth, H. C. (2006). Lipoprotein lipase and lipolysis in milk. *International Dairy Journal*, *16*(6), 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.08.011>
15. Dewettinck, K., Rombaut, R., Thienpont, N., Le, T. T., Messens, K., & van Camp, J. (2008). Nutritional and technological aspects of milk fat globule membrane material. *International Dairy Journal*, *18*(5), 436–457. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.10.014>
16. Fox, P. F. (2003). Milk Proteins: General and Historical Aspects. In *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins* (pp. 1–48). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_1)
17. Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (Eds.). (2003). *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3>
18. Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O’Mahony, J. A. (2015). Enzymology of Milk and Milk Products. In *Dairy Chemistry and Biochemistry* (pp. 377–414). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-14892-2_10)
19. Golde, A. E., & Schmidt, K. A. (2005). QUALITY OF COFFEE CREAMERS AS A FUNCTION OF PROTEIN SOURCE. In *Journal of Food Quality* (Vol. 28).
20. Gómez-Díaz, D., & Navaza, J. M. (2004). Rheology of food stabilizers blends. *Journal of Food Engineering*, *64*(2), 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.09.024>
21. Graulet, B., Martin, B., Agabriel, C., & Girard, C. L. (2013). Vitamins in Milks. In *Milk and Dairy Products in Human Nutrition* (pp. 200–219). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118534168.ch10>
22. H.-D. Belitz, Werner Grosch, & Peter Schieberle. (n.d.). *Food Chemistry*.



23. Horne, D. S. (2006). Casein micelle structure: Models and muddles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 11(2–3), 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2005.11.004>
24. Horne, D. S. (2020). Casein micelle structure and stability. In *Milk Proteins* (pp. 213–250). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00006-2>
25. HUPPERTZ, T. (2010). Foaming properties of milk: A review of the influence of composition and processing. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 477–488. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00629.x>
26. Huppertz, T., Fox, P. F., & Kelly, A. L. (2018). The caseins: Structure, stability, and functionality. In *Proteins in Food Processing: Second Edition* (pp. 49–92). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00004-8>
27. Huppertz, T., Uniacke-Lowe, T., & Kelly, A. L. (2020). Physical Chemistry of Milk Fat Globules. In *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2* (pp. 133–167). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48686-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48686-0_5)
28. Huppertz Thom. (2010). Foaming properties of milk: A review of the influence of composition and processing. *International Journal of Dairy Technology*, 63(4), 477–488. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00629.x>
29. Ingham, B., Smialowska, A., Erlangga, G. D., Matia-Merino, L., Kirby, N. M., Wang, C., Haverkamp, R. G., & Carr, A. J. (2016). Revisiting the interpretation of casein micelle SAXS data. *Soft Matter*, 12(33), 6937–6953. <https://doi.org/10.1039/C6SM01091A>
30. Jimenez-Junca, C., Sher, A., Gumy, J. C., & Niranjana, K. (2015). Production of milk foams by steam injection: The effects of steam pressure and nozzle design. *Journal of Food Engineering*, 166, 247–254. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.05.035>
31. Kamath, S., Huppertz, T., Houlihan, A. v., & Deeth, H. C. (2008). The influence of temperature on the foaming of milk. *International Dairy Journal*, 18(10–11), 994–1002. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.05.001>
32. Kilara, A., & Vaghela, M. N. (2018). Whey proteins. In *Proteins in Food Processing: Second Edition* (pp. 93–126). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00005-X>
33. Li, D., Wei, Z., & Xue, C. (2021). Alginate-based delivery systems for food bioactive ingredients: An overview of recent advances and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(6), 5345–5369. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12840>

34. Lucey, J. A., & Horne, D. S. (2018). Perspectives on casein interactions. *International Dairy Journal*, 85, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.010>
35. Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A. Y., Campbell, B., & Ivanov, I. B. (2009a). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1864–1876. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.003>
36. Marinova, K. G., Basheva, E. S., Nenova, B., Temelska, M., Mirarefi, A. Y., Campbell, B., & Ivanov, I. B. (2009b). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1864–1876. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.03.003>
37. Narsimhan, G., & Xiang, N. (2018a). 19 The Annual Review of Food Science and Technology is online at food. *Annu. Rev. Food Sci. Technol*, 9, 3–4. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216>
38. Narsimhan, G., & Xiang, N. (2018b). 19 The Annual Review of Food Science and Technology is online at food. *Annu. Rev. Food Sci. Technol*, 9, 3–4. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216>
39. Patrick F. Fox, & Paul L. H. McSweeney. (2013). *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1: Proteins, Parts A&B*.
40. Pereira, P. C. (2014). Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition*, 30(6), 619–627. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.10.011>
41. Philippe Cayot, & Denis Lorient. (1997). *Food Proteins and their Applications: Vol. Whey Proteins*.
42. Raynes, J. K., Day, L., Crepin, P., Horrocks, M. H., & Carver, J. A. (2017). Coaggregation of  $\kappa$ -Casein and  $\beta$ -Lactoglobulin Produces Morphologically Distinct Amyloid Fibrils. *Small*, 13(14), 1603591. <https://doi.org/10.1002/smll.201603591>
43. Sarkar, A., & Singh, H. (2016a). Emulsions and Foams Stabilised by Milk Proteins. In *Advanced Dairy Chemistry* (pp. 133–153). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_5)
44. Sarkar, A., & Singh, H. (2016b). Emulsions and foams stabilised by milk proteins. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 1B: Proteins: Applied Aspects: Fourth Edition* (pp. 133–153). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_5)

45. Sarode, A. R., Sawale, P. D., Khedkar, C. D., Kalyankar, S. D., & Pawshe, R. D. (2015). Casein and Caseinate: Methods of Manufacture. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 676–682). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00122-7>
46. Smith, G. N., Brok, E., Christiansen, M. V., & Ahrné, L. (2020). Casein micelles in milk as sticky spheres. *Soft Matter*, *16*(43), 9955–9963. <https://doi.org/10.1039/D0SM01327G>
47. Swaisgood, H. E. (2003). Chemistry of the Caseins. In *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins* (pp. 139–201). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_3)
48. Tasneem, M., Siddique, F., Ahmad, A., & Farooq, U. (2014). Stabilizers: Indispensable Substances in Dairy Products of High Rheology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *54*(7), 869–879. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.614702>
49. Wang, Q., & Ma, Y. (2020). Effect of temperature and pH on salts equilibria and calcium phosphate in bovine milk. *International Dairy Journal*, *110*, 104713. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104713>
50. Xiong, X., Ho, M. T., Bhandari, B., & Bansal, N. (2020). Foaming properties of milk protein dispersions at different protein content and casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal*, *109*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104758>
51. Zhang, L., Zhou, R., Zhang, J., & Zhou, P. (2021). Heat-induced denaturation and bioactivity changes of whey proteins. *International Dairy Journal*, *123*. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105175>

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. [www.kathimerini.gr/wp-content/uploads/2018/10/nor\\_coffee\\_styles09.jpg](http://www.kathimerini.gr/wp-content/uploads/2018/10/nor_coffee_styles09.jpg)
2. [www.yuzubakes.com/sites/yuzubakes.com/files/styles/yct\\_adaptive\\_ls\\_scale\\_720/public/pinterest-yuzu-bakes.jpg](http://www.yuzubakes.com/sites/yuzubakes.com/files/styles/yct_adaptive_ls_scale_720/public/pinterest-yuzu-bakes.jpg)