



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

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΥΧΓΡΟΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
(i) ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΑ (ii) ΟΙΝΟΛΟΓΙΑ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μικροσυστατικά με ιδιαίτερη βιολογική αξία του ορού
διαφόρων ειδών γάλακτος. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Αριάδνη Γ. Μήλιου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:
Μοάτσου Γκόλφω, Καθηγήτρια ΓΠΑ

**Αθήνα
2023**

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Μικροσυστατικά με ιδιαίτερη βιολογική αξία του ορού
διαφόρων ειδών γάλακτος. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Micro-components with special biological value
of the whey of different types of milk. Literature review”

Αριάδνη Γ. Μήλιου

Εξεταστική Επιτροπή:

Μοάτσου Γκόλφω, Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Μασούρας Θεοφύλακτος, Καθηγητής ΓΠΑ

Μοσχοπούλου Αικατερίνη, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Μικροσυστατικά με ιδιαίτερη βιολογική αξία του ορού διαφόρων ειδών γάλακτος. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το γάλα είναι βιολογικό υγρό που περιέχει μία μεγάλη ποικιλία συστατικών με πολύ μεγάλη διατροφική και βιολογική αξία. Τα περισσότερα από αυτά τα συστατικά σχετίζονται με πρωτεϊνικά και λιπιδικά μόρια και καθώς παρουσιάζουν αξιόλογες λειτουργικές ιδιότητες είναι ιδανικά για χρήση τους στην βιομηχανία τροφίμων και την ανάπτυξη νέων τροφίμων. Αρκετά τα συστατικά με βιολογικές δράσεις εντοπίζονται στον ορό του γάλακτος, ακόμη και στο μη-πρωτεϊνικό κλάσμα του. Ο ορός του γάλακτος που απομακρύνεται κατά την παραγωγική διαδικασία των τυριών είναι το τυρόγαλα, το οποίο στην πλειονότητα των περιπτώσεων δεν αξιοποιείται πλήρως ή απορρίπτεται. Ένας από τους τρόπους αξιοποίησης των πρωτεϊνών και των μικροσυστατικών του ορού γάλακτος σχετίζεται με την προσθήκη τους σε υποκατάστατα μητρικού γάλακτος. Παρατηρούνται διαφορές ως προς αυτά τα συστατικά μεταξύ διαφορετικών ειδών γάλακτος με το γάλα των μικρών μηρυκαστικών να παρουσιάζει αξιόλογες διαφοροποιήσεις σε σχέση με το αγελαδινό. Η έρευνα των τελευταίων ετών έχει παρουσιάσει ευρήματα πως τα υποκατάστατα με βάση το αίγαιο γάλα πλεονεκτούν ως προς τη σύσταση του λίπους αλλά και μικροσυστατικών έναντι των κλασικών που έχουν βάση το αγελαδινό γάλα. Φαίνεται επίσης πως και ο ορός και το λίπος του πρόβειου γάλακτος παρουσιάζουν ενδιαφέρον για ενσωμάτωση σε αυτά τα προϊόντα.

Επιστημονική περιοχή: Ορός γάλακτος

Λέξεις κλειδιά: τυρόγαλα, ορός γάλακτος, μικροσυστατικά, πρωτεΐνες ορού, μη-πρωτεϊνικά συστατικά ορού.

Micro-components with special biological value of the whey of different types of milk. Literature review

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

ABSTRACT

Milk is a biological fluid that contains a wide variety of components with a very high nutritional and biological value. Most of these components are related to protein and lipid molecules and due to their remarkable functional properties they are ideal for use in the food industry and the development of new foods. Several components with biological effects are found in whey, even in its non-protein fraction. The whey removed during the cheese production process, in most cases, is not fully utilized or is discarded. One of the ways of utilizing the proteins and the minor components of whey is related to their addition to breast milk substitutes. Differences in these components are observed between different types of milk; the milk of small ruminants exhibits interesting differences compared to bovine milk. The research of the last years has shown that substitutes based on goat's milk are advantageous in terms of the composition of fat and micro-components compared to the classic ones based on cow's milk. It also appears that both whey and sheep milk fat are an interesting option for incorporation into these products.

Scientific area: milk serum

Key words: sweet whey, milk serum, minor compounds, whey proteins, non-protein whey components

Δήλωση έργου

Η κάτωθι υπογεγραμμένη, Αριάδνη Μήλιου δηλώνω ότι το κείμενο της μελέτης αποτελεί δικό μου, μη υποβοηθούμενο πόνημα. Υποβάλλεται σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παραγωγής Γάλακτος Και Γαλακτοκομικών Προϊόντων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Δεν έχει υποβληθεί ποτέ πριν οποιοδήποτε λόγο ή για εξέταση σε οποιοδήποτε άλλο πανεπιστήμιο ή εκπαιδευτικό ίδρυμα της χώρας ή του εξωτερικού.

Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της.

ΜΗΛΙΟΥ ΑΡΙΑΔΝΗ

Μάιος 2023

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά την καθηγήτριά μου κ. Μοάτσου Γκόλφω για την καθοδήγησή της, τις ακριβείς παρεμβάσεις τις καθώς και τον χρόνο που αφιέρωσε ώστε να με βοηθήσει να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την τριμελή επιτροπή για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες οδηγίες τους. Οι συμβουλές της όπως και η καθοδήγησή της ήταν πολύτιμες. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη στήριξη και υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας έρευνας.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	8
1. Ο ορός του γάλακτος.....	9
1.1. Εισαγωγή	9
1.2. Περιγραφή, σύσταση, μέθοδοι παραλαβής ορού του γάλακτος	10
2. Συστατικά του ορού του γάλακτος	17
2.1. Αζωτούχα συστατικά	17
Κύριες πρωτεΐνες	17
Δευτερεύουσες πρωτεΐνες	18
Ένζυμα.....	19
Ελεύθερα αμινοξέα.....	20
Νουκλεοτίδια, νουκλεοζίδια – συστατικά που σχετίζονται με το DNA.....	22
Πολυαμίνες.....	22
2.2. Υδατοδιαλυτές βιταμίνες	28
2.3. Ολιγοσακχαρίτες	30
3. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ορού διαφορετικών ειδών γάλακτος.....	32
Ανόργανα συστατικά και βιταμίνες του ορού.....	32
Ένζυμα.....	37
Μη-πρωτεϊνικά αζωτούχα συστατικά	39
Ελεύθερα αμινοξέα.....	39
Νουκλεοτίδια – νουκλεοζίδια – άλλα συστατικά του DNA.....	41
Πολυαμίνες.....	42
Ολιγοσακχαρίτες	43
4. Αξιοποίηση μικροσυστατικών του ορού γάλακτος άλλων θηλαστικών σε υποκατάστατα του μητρικού γάλακτος.....	45
4.1. Το μητρικό γάλα	45
4.2. Υποκατάστατα μητρικού γάλακτος.....	48
4.3. Συστατικά ορού γάλακτος άλλων ειδών σε υποκατάστατα μητρικού γάλακτος..	51
5. Συμπεράσματα	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

- BCCAs (Branched-chain amino acids): Διακλαδισμένα αμινοξέα
- CMP (Caseinomacropetide): Καζεΐνομακροπεπίδιο
- CLA (Conjucted linelaic acid): Συζευγμένο λινελαϊκό οξύ
- IE (Ionexchange): Χρωματογραφία ιοντοανταλλακτικών ρητινών
- IF (InfantFormula): Υποκατάστατα μητρικού γάλακτος
- FAA (Free Amino Acids): Ελεύθερα αμινοξέα
- FAD (Flavine Adenine Dinucleotide): Δινουκλεοτίδιο φλαβίνης αδενίνης
- FMN (Flavine Mononucleotide): Μονονουκλεοτίδια φλαβίνης
- FOF (Follow-on Formula): Υποκατάστατο γάλακτος δεύτερης βρεφικής ηλικίας
- HMFS (Human Milk Fat Substitutes): Υποκατάστατα λίπους μητρικού γάλακτος
- HMOs (Human Milk Oligosacharides): Ολιγοσακχαρίτες ανθρώπινου γάλακτος
- LCPUFAs (Long Chain Polyunsaturated Fatty Acids): Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα μακράς αλύσου
- MD (Membrane Distillation): Απόσταξη με μεμβράνη
- MF (Microfiltration): Μικροδιήθηση
- MFGM (Milk Fat Globule Membrane): Μεμβράνη λιποσφαιρίων
- NF (Nanofiltration) :Νανοδιήθηση
- NPN (Non Protein Nitrogen):Μη πρωτεϊνικό άζωτο
- RO (Reverse osmosis): Αντίστροφη όσμωση
- PUFAs (Polyunsaturated Fatty Acids): Πολυακόρεστα λιπαρά οξέα
- UF (Ultrafiltration): Υπερδιήθηση
- WPC (Whey Protein Concentrate): συμπυκνώματα πρωτεϊνών ορού
- WPH (Whey Protein Hydrolysated): υδρολύματα πρωτεϊνών τυρογάλακτος
- WPI (Whey Protein Isolate): απομονωμένες πρωτεΐνες ορού

1. Ο ορός του γάλακτος

1.1. Εισαγωγή

Το γάλα αποτελεί το υγρό που εκκρίνεται από τον μαστικό αδένα των θηλαστικών και είναι απαραίτητο για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών των θηλαστικών τα πρώτα χρόνια της ζωής τους. Η παραγωγή του γάλακτος ξεκίνησε μετά την εξημέρωση των ζώων, ξεκινώντας με τα αιγοπρόβατα πριν από περίπου 13.000 χρόνια και στη συνέχεια με τις αγελάδες περίπου 4000 χρόνια αργότερα. Πλέον αποτελεί βασικό συστατικό της ανθρώπινης διατροφής (Balthazar et al., 2017).

Το γάλα είναι η τροφή που έχει σχεδιαστεί για να καλύπτει τις ανάγκες των νεογνών των θηλαστικών. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί ως βασικό στοιχείο της διατροφής του τα συστατικά του γάλακτος άλλων θηλαστικών, κυρίως των μηρυκαστικών, μέσω της κατανάλωσης γαλακτοκομικών προϊόντων. Όπως είναι γνωστό, το γάλα περιέχει τον υδατάνθρακα λακτόζη, λιπίδια, πολλές διαφορετικές πρωτεΐνες, ανόργανα στοιχεία, βιταμίνες (Balthazar et al., 2017).

Επιπλέον παρέχει θρέψη με τη μορφή αλλά και διαφόρων ειδών βιολειτουργικές δράσεις γι' αυτό το γάλα και τα προϊόντα του θεωρούνται σε πολλές περιπτώσεις ως λειτουργικά τρόφιμα. Για παράδειγμα, υπάρχουν πολλές βιολογικές δραστηριότητες που συνδέονται με ορισμένα συστατικά του γάλακτος. Στην πλειοψηφία τους, αυτά τα βιολογικά ενεργά συστατικά (π.χ. υδατοδιαλυτές βιταμίνες, ανόργανα συστατικά, αντιμικροβιακές πρωτεΐνες ή πεπτίδια, πρωτεΐνες-φορείς άλλων συστατικών) βρίσκονται αποκλειστικά στον ορό γάλακτος. Επιπλέον, το λίπος του πρόβειου γάλακτος διαφέρει από τα λίπη ζωικής προέλευσης. Περίπου το ένα τρίτο των λιπαρών οξέων του λίπους στο πλήρες γάλα είναι ακόρεστα με κυρίαρχο το ελαϊκό, ενώ περιέχει και απαραίτητα λιπαρά οξέα (EFA) και άλλα συστατικά όπως οι λιποδιαλυτές βιταμίνες και το συζευγμένο λινελαϊκό οξύ (CLA). Αν και η περιεκτικότητα του γάλακτος σε CLA είναι μικρή, αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές αυτού του συστατικού στη διατροφή του ανθρώπου (Gaucheron, 2011).

Η βιοδραστικότητα των συστατικών του γάλακτος συνδέεται με: 1) τη λειτουργία του γαστρεντερικού συστήματος, 2) την ανάπτυξη των νεογνών, 3) τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος, και 4) τη μικροβιακή

δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένης της αντιβιοτικής και προβιοτικής δράσης. Πρέπει να σημειωθεί πως μερικά συστατικά του γάλακτος παρουσιάζουν περισσότερους από έναν τύπους βιολειτουργικότητας (Gaucheron, 2011). Επίσης, τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι φορείς βιολογικών δράσεων που οφείλονται μεταξύ άλλων και σε πεπτίδια που παράγονται κατά τη υδρόλυση των πρωτεϊνών του κατά την πέψη ή την ζύμωση (Nagpal et al., 2011).

1.2. Περιγραφή, σύσταση, μέθοδοι παραλαβής ορού του γάλακτος

Ο ορός γάλακτος είναι η υδατική φάση, η οποία λαμβάνεται κατά την οξίνιση του γάλακτος σε pH 4,6 και μετά από την κατακρήμνιση της καζεΐνης. Συγκεκριμένα, πλάσμα γάλακτος ή άπαχο γάλα χωρίς την καζεΐνη ονομάζεται ορός του γάλακτος, ο οποίος περιέχει τις πρωτεΐνες του ορού που είναι κυρίως σφαιρικές πρωτεΐνες και βρίσκονται στο γάλα σαν μεμονωμένα μόρια ή μικρά ολιγομερή καθώς και την λακτόζη, τα διαλυτά άλατα, τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες και άλλα μικρά μόρια (Καμιναρίδης & Μοάτσου 2009).

Παρόμοια σύσταση έχει και ο το τυρόγαλα που είναι ο ορός που προκύπτει κατά την πήξη του γάλακτος με πυτιά και έχει pH > 6.0. Τυρόγαλα με όξινο pH < 5.8, παράγεται κατά την παραγωγή τυριών με οξίνιση και όξινος ορός παράγεται κατά την στράγγιση του γιαουρτιού. Ο ορός που προκύπτει κατά την παραγωγή τυριών όπως η μυζήθρα ονομάζεται απόγαλα και μπορεί να είναι όξινο ή γλυκό (Bintsis & Papademas, 2023). Η σύνθεση και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του ορού γάλακτος ποικίλλουν ανάλογα με το είδος και την προέλευση του του ορού γάλακτος (όξινος ή γλυκός, τυρόγαλα, αγελαδινός πρόβειος κλπ, π.χ, Πίνακας 1).

Πίνακας 1 Σύσταση γλυκού και όξινου αγελαδινού ορού (από τους Argenta & De Paula Scheer, 2020)

Συστατικό	Γλυκός ορός	Όξινος ορός
Νερό (%)	93,0-94,0	93,0-95,0
Πρωτεΐνη (%)	0,8-1,0	0,7-1,0
Λακτόζη (%)	4,6-5,0	4,2-4,4
Λιπίδια (%)	0,2-0,5	0,05-0,1
Τέφρα (%)	0,5-0,7	0,7-0,8
Γαλακτικό οξύ (%)	0,05-0,2	0,5-0,8
pH	6,0-6,8	4,2-5,8

Το τυρόγαλα διαφοροποιείται από τον όξινο ορό του γάλακτος εκτός από το pH και ως προς τα κύρια πρωτεϊνικά συστατικά του γιατί περιέχει το καζεϊνομακροπεπτίδιο (CMP), που προκύπτει κατά τη υδρόλυση της κ-καζεΐνης με πυτιά. Τα συστατικά και οι βιολογικές δράσεις του τυρογάλακτος έχουν παρουσιασθεί πρόσφατα από τους Tsermoula et al. (2021) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2 Συστατικά του τυρογάλακτος και βιολογικές δράσεις (από τους Tsermoula et al. (2021). NA: δεν υπάρχει πληροφορία.

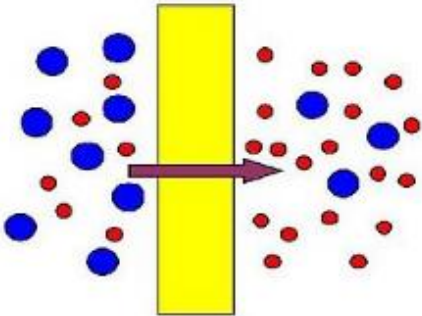
Συστατικό	Συγκέντρωση	Βιοδραστικότητα
β-λακτογλοβουλίνη	3,5g/L	Απορρόφηση και μεταβολισμός των λιπόφιλων συστατικών
α-λακταλβουμίνη	1,2g/L	Αντικαρινικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες
Ανοσοσφαιρίνη	0,7g/L	Ανοσορυθμιστικές ιδιότητες
Αλβουμίνη ορού	0,4g/L	Διατροφική σημασία
Λακτοφερίνη	0,02-0,035g/L	Αντιμικροβιακές ιδιότητες
Λακτουπεροξειδάση	0,01-0,03mg/L	Αντιμικροβιακές ιδιότητες
Λυσοζύμη	0,13-0,32mg/L	Αντιμικροβιακές ιδιότητες
(Γλυκο) Καζεϊνο-μακροπεπτίδιο (GMP)	1,2g/L	Αντιμικροβιακές και πρεβιοτικές ιδιότητες
Οστεοποντίνη	NA	Ανοσορυθμιστικές ιδιότητες
Πεπτίδια	19,7mg/L	Αντιυπερτασικές, αντιθρομβωτικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες
Λακτόζη	45-50g/L	Απορρόφηση των ανόργανων συστατικών, πρεβιοτικές ιδιότητες
Ολιγοσακχαρίτες	50-100mg/L	Προβιοτικές ιδιότητες
Λιπίδια	0,6-5g/L	Πηγή ενέργειας

Φωσφολιπίδια	0,9mg/L	Αντιβακτηριδιακές ιδιότητες, λειτουργία νευρικού συστήματος
Μέταλλα	810mg/L	-
Νάτριο	390-485mg/L	NA
Κάλιο	1570- 1650mg/L	Οστά
Μαγνήσιο	63-78mg/L	Ενζυμικός ενεργοποιητής
Ασβέστιο	237-560mg/L	Οστά
Βιταμίνες	7,5mg/L	Αντιοξειδωτικές ιδιότητες, συνένζυμα
Γαλακτικό οξύ	0,5-9g/L	NA
Κιτρικό οξύ	4,8mg/L	NA
Αναπτυξιακοί παράγοντες	0,3pg/L	Ανάπτυξη και λειτουργία οργάνων
Ουρία	87,8mg/L	NA
Ουρικό οξύ	4,8mg/L	NA
Αμμωνία	5,4mg/L	NA
Χολίνη	892-1415μg/L	Σύνθεση φωσφολιπιδίων
Κρεατίνη	543-761μg/L	NA
Κρεατινίνη	72,9-115μg/L	NA
Φωσφοκρεατινίνη	2-5μg/L	NA
α-αμινοξά οξέα	27,4mg/L	NA
Ακετυλορνιτίνη	1,4-2μg/L	NA
Καρνιτίνη	90μg/L	Αντιοξειδωτικό
Διακετυλσπερμίδίνη	10μg/L	NA
Διμεθυλαργινίνη	19-930μg/L	NA
Ντοπαμίνη	12μg/L	Νευροδιαβιβαστής
Πουτρεσκίνη	52μg/L	NA
Σπερμίδίνη	43μg/L	NA
Σπερμίνη	162μg/L	NA

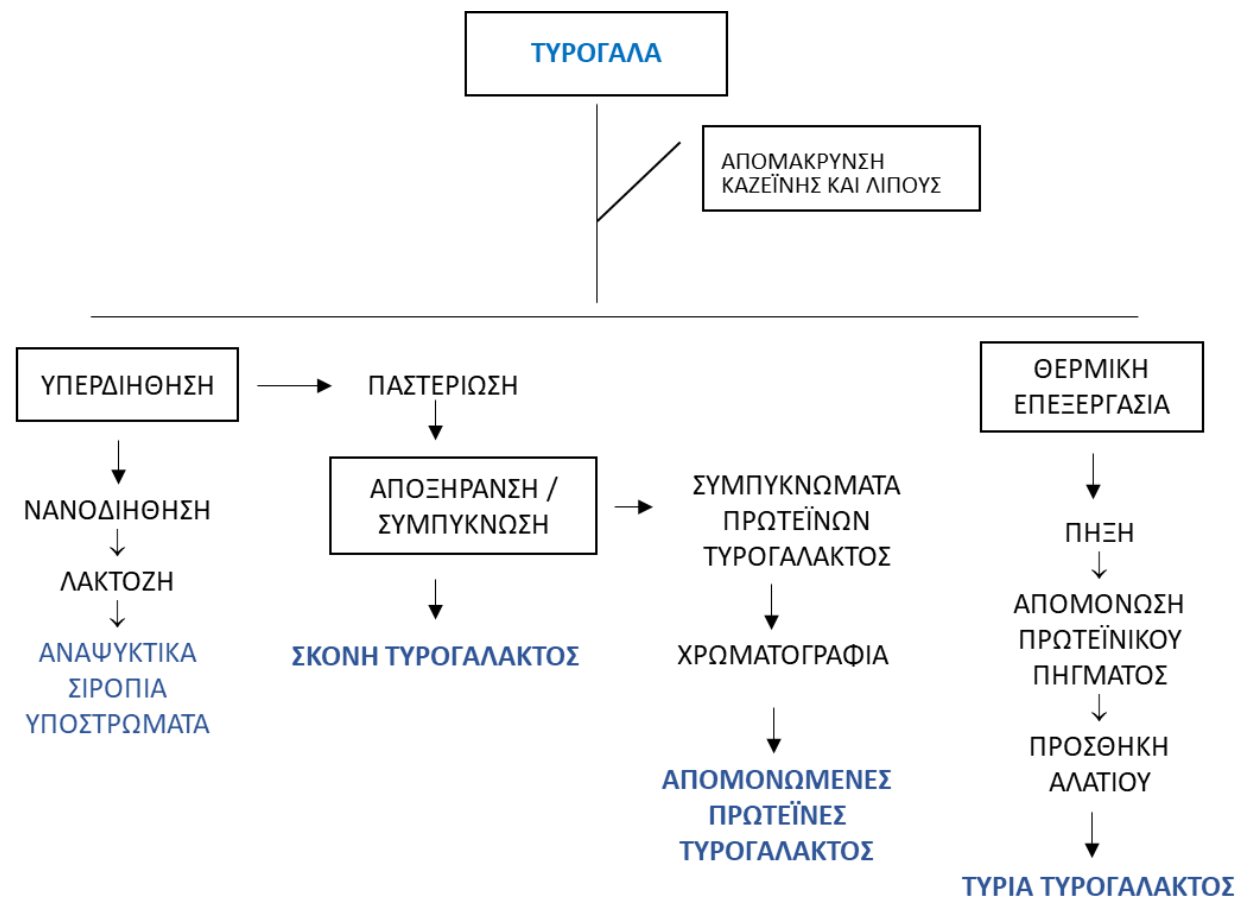
Κλασματοποίηση, απομόνωση και παραλαβή συστατικών των ορών γάλακτος

Παράγωγα των πρωτεϊνών του ορού μπορούν να παραχθούν με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων είτε μεμονωμένα ή σε συνδυασμούς τους. Συνοπτικά, έχουν παρουσιασθεί πρόσφατα από τους Minj&Anand (2020). Σύμφωνα με αυτή την παρουσίαση, το τυρόγαλα που παραλαμβάνεται από την πήξη του γάλακτος με πτυιά μπορεί να επεξεργασθεί με συστήματα μεμβρανών, όπως η υπερδιήθηση (UF) και η μικροδιήθηση (MF) ή με χρωματογραφία ιοντοανταλλακτικών ρητινών (IE). Με την UF μπορούν να παραχθούν συμπυκνώματα πρωτεϊνών του ορού (WPC), ενώ με την MF και την IE μπορούν να παραχθούν απομονωμένες πρωτεΐνες ορού (WPI). Τόσο τα προϊόντα WPC όσο και τα WPI μπορούν: α) να ενσωματωθούν σε άλλα τρόφιμα, β) να υδρολυθούν με ένζυμα, και γ) να υποστούν μικροβιακή ζύμωση. Από τις δύο τελευταίες επεμβάσεις προκύπτουν τα υδρολύματα πρωτεϊνών τυρογάλακτος (WPH), που περιέχουν βιοενεργά πεππίδια και ελεύθερα αμινοξέα. Παραδείγματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Οι τεχνολογίες μεμβρανών εφαρμόζονται ευρύτατα στην επεξεργασία των ορών και τα ευρήματα της βιβλιογραφίας παρουσιάζονται αναλυτικά από τους Argenta & De Paula Scheer (2020). Οι τεχνολογίες αυτές είναι η μικροδιήθηση (MF), η υπερδιήθηση (UF), η νανοδιήθηση (NF), η αντίστροφη ώσμωση (RO) και απόσταξη με μεμβράνη (MD). Η επίδραση των διαφόρων αυτών μεθόδων παρουσιάζεται από τους ίδιους συγγραφείς στην παρακάτω Εικόνα 1. Η νανοδιήθηση (NF) και η αντίστροφη ώσμωση (RO) εφαρμόζονται για συμπύκνωση και αφαλάτωση.

		<p>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΔΙΗΘΗΜΑΤΟΣ</p>
ΜΙΚΡΟΔΙΗΘΗΣΗ	Νερό, τέφρα, λακτόζη, πρωτεΐνες ορού, ορισμένα καζεϊνικά μικκύλια, ορισμένα λιπίδια	
ΥΠΕΡΔΙΗΘΗΣΗ	Νερό, τέφρα, λακτόζη, ορισμένες πρωτεΐνες ορού	
ΝΑΝΟΔΙΗΘΗΣΗ	Νερό, μερική απομάκρυνση τέφρας, μερική απομάκρυνση λακτόζης	
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ	Νερό	

Εικόνα 1 Επίδραση των διαφόρων τεχνολογιών μεμβρανών στα συστατικά τυρογάλακτος (βασίζεται στους Argenta & De Paula Scheer (2020)).



Εικόνα 2 Τεχνικές επεξεργασίας τυρογάλακτος για την απομόνωση ή συμπύκνωση συστατικών του με σκοπό την παραγωγή εμπορικών προϊόντων (προσωπικό διδακτικό υλικό της Μοάτσου, 2023 που βασίζεται στους Mehra et al. 2021).

Πίνακας 3 Εμπορικά προϊόντα πρωτεϊνών ορού γάλακτος (από τον Marshall, 2004)

Τύπος Προϊόντος	Συγκέντρωση πρωτεΐνης	Περιεκτικότητα σε λιπίδια, λακτόζη και ανόργανα συστατικά
Απομονωμένες πρωτεΐνες ορού (WPI)	90-95%	Μικρή ή καθόλου
Υδρολύματα πρωτεϊνών ορού (WPH)	Μεταβλητή. Γίνεται υδρόλυση / διάσπαση πεπτιδικών δεσμών. Οι πρωτεΐνες μετατρέπονται σε μικρότερα πεπτιδικά κλάσματα. Μειώνεται το αλλεργικό δυναμικό σε σχέση με τον μη-υδρολυμένο ορό.	Ποικίλει ανάλογα με τη συγκέντρωση πρωτεΐνης.
Συμπυκνώματα πρωτεϊνών ορού (WPC)	Κυμαίνεται από 25-89%. Συνήθως διατίθεται ως 80%.	Λίγα λιπαρά, λακτόζη και μέταλλα. Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση πρωτεϊνών, το λίπος, η λακτόζη και τα ανόργανα άλατα μειώνονται.
Συμπυκνώματα μη-μετουσιωμένων πρωτεϊνών ορού γάλακτος	Μεταβλητή. Συνήθως κυμαίνεται 25-89%.	Λίγα λιπαρά, λακτόζη και μέταλλα. Καθώς αυξάνεται η συγκέντρωση πρωτεϊνών, το λίπος, η περιεκτικότητα σε λακτόζη και τα ανόργανα άλατα μειώνονται. Επεξεργασία για τη διατήρηση της φυσικής πρωτεΐνης που οδηγεί σε υψηλότερες ποσότητες ανοσοσφαιρινών και λακτοφερίνης.

2. Συστατικά του ορού του γάλακτος

2.1. Αζωτούχα συστατικά

Κύριες πρωτεΐνες

Οι διαλυτές πρωτεΐνες του γάλακτος είναι τα πιο γνωστά συστατικά του. Η σύντομη παρουσίαση των κύριων πρωτεϊνών ορού που ακολουθεί βασίζεται στα κείμενα των Καμιναρίδη και Μοάτσου (2009), Moatsou (2010), Yadavetal. (2015), Mehra et al. (2021) και Tsermoula et al. (2021).

Οι πιο άφθονες είναι η β-γαλακτογλοβουλίνη (β-λβ) η α-γαλακτοαλβουμίνη (α-λα), η αλβουμίνη του ορού, οι ανοσογλοβουλίνες και η ομάδα των πρωτεοζών-πεπτονών. Αυτές οι πρωτεΐνες με εξαίρεση τις πρωτεόζες-πεπτόνες είναι σφαιρικές υδρόφοβες πρωτεΐνες ευαίσθητες στη θέρμανση. Η β-λβ δεν υπάρχει στο ανθρώπινο γάλα, αλλά αποτελεί περίπου το 50% των διαλυτών πρωτεϊνών του αγελαδινού γάλακτος. Έχει μοριακό βάρος ~18.4 kDa. Είναι σημαντική πηγή απαραίτητων αμινοξέων, κυρίως λευκίνης αλλά είναι και σημαντικό αλλεργιογόνο. Λόγω της μεγάλης υδροφοβίας της μπορεί να προσδένει σημαντικές ποσότητες ρετινόλης και ορισμένα λιπαρά οξέα και τα μεταφέρει στο λεπτό έντερο προστατεύοντάς τα από την οξειδωση. Η ευαισθησία της στη θέρμανση (μετουσίωση) παίζει καθοριστικό ρόλο στην τεχνολογική συμπεριφορά του γάλακτος.

Η α-λα είναι η δεύτερη πιο άφθονη πρωτεΐνη στον ορό του γάλακτος, είναι το 20% του συνόλου τους και έχει μοριακό βάρος ~14.2 kDa. Είναι μικρό σφαιρικό μόριο που μοιάζει από χημική άποψη με τη λυσοζύμη, αλλά δεν παρουσιάζει αντιβακτηριακή δράση. Ο βιολογικός της όρος είναι ότι είναι συνένζυμο στη σύνθεση της λακτόζης και φορέας ασβεστίου γιατί στο εσωτερικό της προσδένεται ισχυρά ιόν ασβεστίου που σταθεροποιεί τη δομή της. Γενικά, είναι λιγότερο ευαίσθητη στη θέρμανση από την β-γαλακτογλοβουλίνη. Η μείωση του pH απομακρύνει το ασβέστιο από το εσωτερικό της δομής της με αποτέλεσμα η πρωτεΐνη να γίνεται ευαίσθητη στη θέρμανση. Έχει πολύ μεγάλη διατροφική σημασία γιατί τα 2/3 των αμινοξέων της είναι απαραίτητα, ιδιαίτερα λυσίνη και κυστεΐνη και μεγάλες ποσότητες τρυπτοφάνης. Είναι βασικό συστατικό των υποκατάστατων του βρεφικού

γάλακτος λόγω της ομοιότητάς της με την αντίστοιχη πρωτεΐνη του μητρικού γάλακτος.

Οι ανοσογλοβουλίνες ή ανοσοσφαιρίνες είναι αντισώματα μεγάλου Μ.Β., γλυκοπρωτεΐνες που παρουσιάζουν μεγάλη ετερογένεια και είναι το 10% του συνόλου των διαλυτών πρωτεϊνών. Ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα του νεογνού περνώντας άθικτες από το γαστρεντερικό σύστημα στο αίμα. Διακρίνονται πολλές διαφορετικές κλάσεις ανοσογλοβουλινών και στο γάλα οι κλάσεις οι IgG, IgA και IgM. Η IgG βρίσκεται σε μεγαλύτερη αναλογία, ~85-90%. Κάθε μόριο IgG είναι πολυμερές δύο βαρέων (heavy) και δύο ελαφρών (light) αλυσίδων με Μ.Β. 150.000. Δεν είναι ξεκάθαρο εάν διατηρούν την ανοσορυθμιστική τους ικανότητα στο τυρόγαλα.

Η αλβουμίνη ορού αίματος είναι το 8% των πρωτεϊνών ορού, έχει μεγάλο μέγεθος περίπου 66.000, προέρχεται από το αίμα και δεν βιοσυντίθεται στον μαστό. Μπορεί να δεσμεύει λιπαρά οξέα C16-C18, μεταλλικά ιόντα και αρωματικά συστατικά.

Το (γλυκο)μακροπεπτιδιο είναι συστατικό του τυρογάλακτος όταν γίνεται πήξη του γάλακτος. Είναι περίπου το 20% των πρωτεϊνικών συστατικών του τυρογάλακτος και είναι το γλυκοζυλιωμένο τμήμα 106-169 της κ-καζεΐνης. Παρουσιάζει λειτουργικές ιδιότητες όπως η ικανότητα γαλακτωματοποίησης και συγκράτησης αφρού και βιολογικές δράσεις, όπως πρεβιοτική, ανοσορυθμιστική, αντιφλεγμονώδη και αντιαθηρωματική δράση.

Δευτερεύουσες πρωτεΐνες

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν συστατικά που έχουν μικρή συγκέντρωση αλλά με σημαντική διατροφική και βιολογική δράση.

Οι πρωτεόζες-πεπτόνες είναι μία ομάδα αζωτούχων συστατικών που διαφέρουν σημαντικά από τις υπόλοιπες πρωτεΐνες του ορού γιατί δεν είναι ευαίσθητες στη θέρμανση. Το μεγαλύτερο μέρος των πρωτεοζών-πεπτονών αποτελείται από τμήματα της β-καζεΐνης συμπληρωματικά των αμινοξικών ακολουθιών των γ-καζεϊνών. Σε αυτή την ομάδα περιλαμβάνεται και το συστατικό PP3, που είναι γλυκοπρωτεΐνη της μεμβράνης των λιποσφαιρίων. Το συστατικό αυτό παρουσιάζει καλές γαλακτωματοποιητικές ικανότητες και θεωρείται πως εμποδίζει την αυτόματη λιπόλυση γιατί εμποδίζει την επαφή της λιποπρωτεϊνικής λιπάσης με τα τριγλυκερίδια.

Η λακτοφερίνη (ή γαλακτοφερίνη) βρίσκεται στο αγελαδινό γάλα σε πολύ μικρή συγκέντρωση ~0,1-0,4 mg/ml, ενώ είναι πολύ υψηλότερη στο ανθρώπινο γάλα (~1-3 mg/ml). Είναι ένα μόριο με ιδιαίτερη δομή που επιτρέπει τη δέσμευση και την αποτελεσματική μεταφορά του σιδήρου, καθώς και την αδρανοποίηση ορισμένων επιβλαβών μικροοργανισμών. Παρουσιάζει διάφορους τύπους δράσεων, όπως βακτηριοστατική, αντιϊκή, αντιοξειδωτική, αντιφλεγμονώδη, αντικαρκινική και ανοσορυθμιστική.

Η οστεοποντίνη είναι μία γλυκοπρωτεΐνη με συγκέντρωση στο τυρόγαλα 18-22 mg/L . Παίζει ρόλο στην επούλωση των τραυμάτων, στην λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και στη γνωστική ανάπτυξη. Προτείνεται η προσθήκη οστεοποντίνης στα βρεφικά υποκατάστατα γάλακτος για προσομοίωση του μητρικού γάλακτος.

Ένζυμα

Εξαιτίας των χαμηλών τους συγκεντρώσεων, τα ένζυμα ανήκουν στα δευτερεύοντα αζωτούχα συστατικά, αλλά αποτελούν μία ειδική κατηγορία λόγω της λειτουργικότητάς τους. Σημαντικά ένζυμα του ορού του γάλακτος, όπως η (γα)λακτοϋπεροξειδάση, παρουσιάζονται παρακάτω.

Το πιο άφθονο σε ποσότητα (0,3% των συνολικών πρωτεϊνών του ορού) και το πιο σημαντικό ένζυμο του ορού γάλακτος είναι η (γα)λακτοϋπεροξειδάση. Είναι μία γλυκοπρωτεΐνη με ενεργότητα οξειδοοδουκτάσης που παρουσιάζει αντιβακτηριακή δράση στο γάλα παρουσία χαμηλών συγκεντρώσεων υπεροξειδίου του υδρογόνου και θειοκυανιούχων ιόντων. Αποτελεί κύριο ένζυμο του αγελαδινού γάλακτος, όμως υπάρχει και στα υπόλοιπα είδη γάλακτος προσδίδοντάς τους αντιβακτηριδιακές ιδιότητες που εξαρτώνται από τις αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις υπεροξειδίου του υδρογόνου και θειοκυανιούχων ιόντων (Moatsouet al., 2010). Ταυτόχρονα το σύστημα της λακτοϋπεροξειδάσης δρα επίσης ως αντιοξειδωτικό, προστατεύοντας τα κύτταρα του μαστού των θηλαστικών από εξαιρετικά δραστικά και καταστροφικά είδη που προέρχονται από το H₂O₂ (Seifuetal., 2005). Η λακτοϋπεροξειδάση είναι ένα από τα πιο σταθερά στην παστερίωση ένζυμα στο γάλα και η καταστροφή της έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης αποτελεσματικότητας επεξεργασιών εντονότερων από την κλασική παστερίωση. Απενεργοποιείται μόνο μερικώς με παστερίωση στους 74°C για

15 s, διατηρώντας επαρκή δραστικότητα για να καταλύει τις αντιδράσεις μεταξύ θειοκυανιούχων και υπεροξειδίου του υδρογόνου. Για την πλήρη αδρανοποίησή της απαιτείται θέρμανση του γάλακτος για 15 δευτερόλεπτα στους 78°C (Seifu et al., 2005).

Η λυσοζύμη είναι μια υδρολάση που αποτελεί ένα από τα μέσα άμυνας των οργανισμών έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις βρίσκεται στο σάλιο, στο ασπράδι του αυγού και στο μητρικό γάλα. Η συγκέντρωσή της στον ορό γάλακτος μηρυκαστικών είναι χαμηλή αλλά έχει αξιόλογη συγκέντρωση στο γάλα γαϊδούρας και φοράδας. Περισσότερες πληροφορίες για το γάλα άλλων ειδών αναφέρονται στο κεφ.3.

Το γάλα είναι πλούσια πηγή ριβονουκλεάσης - περίπου 11–25 mg/L στο αγελαδινό γάλα -, η οποία εντοπίζεται στον ορό. Δεν είναι γνωστή η τεχνολογική της σημασία για το γάλα, αλλά έχει βακτηριοκτόνο και αντι-ικό δυναμικό.

Η δισμουτάση των υπεροξειδίων (superoxidedismutase, SOD) είναι ένα ένζυμο του ορού του γάλακτος με αντιοξειδωτική δράση που προστατεύει τα λιπίδια από την αυτοοξειδωση και είναι ανθεκτικό στην παστερίωση του γάλακτος. Ακόμη μπορεί να παράγει υπεροξειδίο του υδρογόνου από διαφορετικές πηγές, όπως και η ξανθίνη-οξειδάση, ενισχύοντας έτσι τη δράση της γαλακτοϋπεροξειδάσης (Moatsou 2010).

Ελεύθερα αμινοξέα

Τα ελεύθερα αμινοξέα (FreeAminoAcids, FAA) στο γάλα έχουν διάφορες βιολογικές δράσεις εκτός από τη σύνθεση πρωτεϊνών, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό και την ανάπτυξη των θηλαστικών (Moatsou & Sakkas, 2019).

Οι Mangano et al. (2019) αναφέρουν τη σημαντική βιολογική αξία των αμινοξέων των πρωτεϊνών του ορού. Γενικά τα αμινοξέα του τυρογάλακτος απορροφούνται πιο εύκολα από χορηγούμενα ελεύθερα αμινοξέα. Κατά την πέψη των πρωτεϊνών του ορού απελευθερώνονται υψηλές ποσότητες απαραίτητων και διακλαδισμένων αμινοξέων (BCAAs) – λευκίνη, ισολευκίνη και βαλίνη, τα οποία είναι σημαντικά για την ανάπτυξη και επιδιόρθωση των ιστών. Επίσης οι πρωτεΐνες ορού γάλακτος έχουν υψηλή περιεκτικότητα στα θειούχα αμινοξέα κυστεΐνη και μεθειονίνη που ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα. Το

μητρικό γάλα έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα μεθειονίνης, φαινυλανίνης, και λυσίνης και υψηλότερα κυστεΐνης και τρυπτοφάνης.

Προκειμένου να προσεγγισθεί καλύτερα η σύσταση του πρωτεϊνικού κλάσματος του ανθρώπινου γάλακτος, στα υποκατάστατα βρεφικού γάλακτος προστίθεται αποξηραμένα προϊόντα τυρογάλακτος για να διαμορφωθεί η αναλογία 60% πρωτεΐνες τυρογάλακτος και 40% πρωτεΐνες γάλακτος. Οι Kuhn et al. (2023) έδειξαν πως στα ελεύθερα αμινοξέα υδρολύματος πρωτεϊνών τυρογάλακτος κυριαρχούν τα διακλαδισμένα αμινοξέα L-βαλίνη L-λευκίνη, and ισολευκίνη και το L-γλουταμινικό οξύ και η L-λυσίνη. Τα αποτελέσματά τους εκφρασμένα σε mg/100g σκόνης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4 Ελεύθερα αμινοξέα, mg/100g σκόνης υδρολύματος πρωτεϊνών τυρογάλακτος (από τους Kuhn et al. 2023)

Αμινοξύ	HPLC	GC-MS
αλανίνη	495,7	500,5
γλυκίνη	233,8	110,8
βαλίνη	975,1	951,9
λευκίνη	1353,5	1389,5
ισολευκίνη	998,4	979,6
προλίνη	158,6	181,2
μεθεινίνη	243,8	279,6
σερίνη	530,9	524,9
θρεονίνη	757,5	605,5
φαινυλανίνη	465,5	450,4
ασπαρτικό οξύ	745,2	726,8
γλουταμινικό οξύ	908,1	912,9
λυσίνη	1011,7	1152,4
ιστιδίνη	214,4	166,5
τυροσίνη	360,8	368,7
κυστεΐνη	229,7	226,1

Νουκλεοτίδια, νουκλεοζίδια – συστατικά που σχετίζονται με το DNA

Το κλάσμα μη πρωτεϊνικού αζώτου (NPN) του γάλακτος περιέχει νουκλεοτίδια, νουκλεοζίτες και νουκλεοβάσεις. Αυτά τα συστατικά του γάλακτος είναι μοναδικά για το κάθε είδος γάλακτος και υπάρχουν σε μικρομοριακές συγκεντρώσεις. Πληροφορίες για αυτή την κατηγορία συστατικών παρουσιάζονται από τους Gil & Indyk (2007), Gilletal. (2011, 2012) και Moatsou (2022). Τα συστατικά αυτά είναι πολύ σημαντικά για τις κυτταρικές λειτουργίες και βρίσκονται σε υψηλή συγκέντρωση στο πρωτόγαλα. Είναι σημαντικά για τις κυτταρικές λειτουργίες, καθώς δρουν ως πρόδρομες ουσίες των νουκλεϊκών οξέων και έχουν ευεργετικές επιδράσεις στο ανοσοποιητικό σύστημα, τη γαστρεντερική λειτουργία, τον κυτταρικό πολλαπλασιασμό και την απόπτωση. Αν και μπορούν να συντεθούν *de novo*, οι διαιτητικές πηγές μη πρωτεϊνικού αζώτου είναι σημαντικές για τη σωστή λειτουργία των κυττάρων σε περιόδους ταχείας ανάπτυξης του οργανισμού (Moatsou & Sakkas, 2019). Για τον λόγο αυτό είναι επιτρεπόμενα πρόσθετα για τα βρεφικά γάλατα και υποκατάστατα.

Τα νουκλεοζίδια αποτελούν ενώσεις μικρού μοριακού βάρους όπου αποτελούνται από μία πουρίνη 33 ή πυριμιδινική βάση η οποία βρίσκεται συνδεδεμένη μέσω ενός β-γλυκοζιτικού δεσμού με ένα σάκχαρο ριβόζης (ριβονουκλοζίτες). Οι νουκλεοβάσεις περιλαμβάνουν την κυτοσίνη, τη θυμίνη και την ουρακίλη (πυριμιδίνες), καθώς και την αδενίνη, τη γουανίνη, την υποξανθίνη και την ξανθίνη (πουρίνες). Τα νουκλεοζίτες αποτελούνται από μια βάση πουρίνης ή πυριμιδίνης που είναι συνδεδεμένη με ένα σάκχαρο (ριβόζη ή δεοξυριβόζη) (Gil & Indyk, 2007).

Πολυαμίνες

Πληροφορίες για τις πολυαμίνες ως βιοενεργά συστατικά του γάλακτος παρουσιάζονται από τους Larqu e etal. (2007), Galitsoroulouetal. (2015), Giorgioetal. (2018), Moatsou (2022). Είναι αλειφατικές ενώσεις που περιέχουν ομάδες αμινών διάσπαρτες κατά μήκος της δομής τους. Οι βιολογικά ενεργές πολυαμίνες είναι η πουτρεσκίνη (PUT), η σπερμιδίνη (SPD) και η σπερμίνη (SPM).

Πιο συγκεκριμένα, οι πολυαμίνες αποτελούν βασικά συστατικά των κυττάρων των προκαρυωτικών και ευκαρυωτικών οργανισμών. Η σπερμιδίνη και σπερμίνη, καθώς και η πρόδρομη ουσία τους διαμίνη και πουτρεσκίνη θεωρούνται ζωτικής σημασίας για διάφορες φυσιολογικές/μεταβολικές διαδικασίες κυτταρικής διαφοροποίησης και πολλαπλασιασμού (Galitsoroulou et al., 2015).

Οι δραστηριότητες των πολυαμινών έχουν συνδεθεί με τη σταθερότητα του DNA και της δομής της χρωματίνης, τη ρύθμιση των μεταγραφικών παραγόντων και τη σύνθεση πρωτεϊνών. Ταυτόχρονα έχουν ρόλο στη ρύθμιση φλεγμονωδών, πεπτικών, ανοσολογικών και αλλεργικών αποκρίσεων, καθώς και στην κυτταρική ανάπτυξη και διαφοροποίηση, επηρεάζοντας τη δραστηριότητα ορμονών και αυξητικών παραγόντων. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε περιπτώσεις ταχείας ανάπτυξης και κυτταρικού πολλαπλασιασμού (όπως στα νεογνά ή κατά την επούλωση τραυμάτων), η δεξαμενή πολυαμινών του σώματος πρέπει να αναπληρώνεται από εξωτερικές πηγές. Για τον λόγο αυτό η πρόσληψη πολυαμινών είναι απαραίτητη (Galitsoroulou et al., 2015). Απαιτούνται τόσο για τις αρσενικές όσο και για τις θηλυκές αναπαραγωγικές διαδικασίες, καθώς και για τη σπερματογένεση, την ωογένεση και την ανάπτυξη του εμβρύου. Όταν η κυτταρική ανάπτυξη επιβραδύνεται και η δραστηριότητα της αποκαρβοξυλάσης της ορνιθίνης μειώνεται με την ηλικία, οι διαιτητικές πολυαμίνες μπορεί να γίνουν πιο σημαντικές (Giorgio et al., 2018).

Στο μητρικό γάλα υπάρχουν σχετικά μεγάλες ποσότητες πολυαμινών κυρίως σπερμίνη και σπερμιδίνη. Παρόλο που οι πολυαμίνες συντίθενται ενδογενώς στους διάφορους οργανισμούς όπως ο άνθρωπος, η εξωγενής λήψη τους μπορεί να υποβοηθήσει στην διατήρηση ενός ικανοποιητικού επιπέδου πολυαμινών στον οργανισμό, ιδιαίτερα σε καταστάσεις ταχείας ανάπτυξης και κυτταρικού πολλαπλασιασμού (όπως στα νεογννήτα ή κατά την αποκατάσταση τραυματισμένων ιστών) (Galitsoroulou et al., 2015).

Το αγελαδινό γάλα εμφανίζει αρκετά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πολυαμίνες συγκριτικά με το ανθρώπινο γάλα λόγω του πολύ γρήγορου ρυθμού αποικοδόμησής τους από ένζυμα όπως η οξειδάση της διαμίνης και η οξειδάση της πολυαμίνης (Giorgio et al., 2018). Το ώριμο γάλα αγελάδων

περιέχει 0-1μM σε πουτρεσκίνη, 1-4,7μM σε σπερμιδίνη και 1-4μM σε σπερμίνη (Moatsouetal., 2019).

Το κλάσμα των πολυαμινών στο αίγιο απαρτίζεται κυρίως από την σπερμιδίνη που αποτελεί τα 55% των πολυαμινών και σε μικρότερο ποσοστό εντοπίζονται οι υπόλοιπες πολυαμίνες. Στο αίγιο γάλα ο λόγος σπερμιδίνης / σπερμίνης κυμαίνεται από 1,24-1,80 με το ποσοστό αυτό να διαφέρει ανάλογα τη φάση της γαλουχίας (Galitsoroulouetal., 2015). Η συγκέντρωση σπερμιδίνης ανέρχεται στα 3,18 – 3,80 μmol/l ενώ η περιεκτικότητα σε σπερμίνη κυμαίνεται στα 6-26 μmol/l(Giorgioetal., 2018).Οι πολυαμίνες αίγιου γάλακτος μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υποκατάστατα, όμως και πάλι η περιεκτικότητά του ανθρώπινου γάλακτος είναι αρκετά υψηλότερη με αποτέλεσμα η εφαρμογή τους να είναι απαραίτητη μόνο στην περίπτωση διατροφικών ελλείψεων (Giorgioetal., 2018).

Στο πρόβειο γάλα ο λόγος αυτός είναι <1 (εκτός από την 5^η ημέρα μετά τον τοκετό) και η σπερμιδίνη αντιπροσωπεύει το 49% της συνολικής ποσότητας ενώ η σπερμίνη το 39% του συνόλου των πολυαμινών (Galitsoroulouetal., 2015).Συγκεκριμένα στο ώριμο πρόβειο γάλα η περιεκτικότητά των σε πουτρεσκίνη κυμαίνεται στα 0,4μM, η περιεκτικότητά σε σπερμιδίνη στα 2μM και τέλος η περιεκτικότητά σε σπερμίνη στα 2,4μM (Moatsou & Sakkas, 2019).

Στο γάλα γαϊδούρας και φοράδας η περιεκτικότητά σε πολυαμίνες είναι χαμηλότερη από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος με περιεκτικότητά σε σπερμίνη 5,79-32,78 μg/L , σπερμιδίνη 5,20-51,06 μg/L και πουτρεσκίνη 2,94-374,79 μg/L (Salimei & Fantuz, 2012).

Φαίνεται ότι η ποσότητα των βιοδραστικών ενώσεων του γάλακτος στα είδη θηλαστικών αντανakλά τις διαφορές στις ανάγκες των απογόνων. Το αγελαδινό γάλα και τα προϊόντα του περιέχουν λιγότερες πολυαμίνες από το ανθρώπινο γάλα ενώ το γάλα αιγών είναι πλούσιο σε πολυαμίνες (Giorgio et al., 2018).

Ανόργανα συστατικά

Τα ανόργανα συστατικά του γάλακτος αποτελούν μία βασική κατηγορία θρεπτικών συστατικών που δεν μπορούν να συντεθούν στον οργανισμό αλλά λαμβάνονται από εξωγενείς πηγές. Παρόλο που στον άνθρωπο αποτελούν

μόνο το 4% του συνολικού βάρους εντοπίζονται σε κάθε κύτταρο και επηρεάζουν διάφορες μεταβολικές διεργασίες και λειτουργίες του οργανισμού (Vahcic et al. 2010, Chen et al. 2020).

Τα ανόργανα συστατικά του γάλακτος ή αλλιώς άλατα του γάλακτος περιλαμβάνουν όλα εκείνα τα ανόργανα συστατικά που περιέχονται στο γάλα και βρίσκονται υπό την μορφή αλάτων. Προέρχονται από την τροφή που καταναλώνουν τα ζώα και μεταφέρονται από το έδαφος στην τροφή τους και τελικώς στο γάλα τους. Τα εργαλεία και ο εξοπλισμός αρμέγματος αποτελούν βασικές πηγές χαλκού, σιδήρου, νικελίου και ψευδαργύρου. Το κάλιο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο φώσφορος και το νάτριο, είναι τα κύρια μέταλλα που βρίσκονται στο γάλα. Η αναλογία ασβεστίου προς φώσφορο στο γάλα είναι κατάλληλη για τη βέλτιστη αξιοποίηση του ασβεστίου. Ιχνοστοιχεία όπως ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος, ο χαλκός, το ιώδιο, το φθόριο και το σελήνιο υπάρχουν σε χαμηλά επίπεδα στο γάλα, ενώ το μολυβδαίνιο, το μαγγάνιο, το χρώμιο και άλλα υπάρχουν σε ακόμη μικρότερες ποσότητες (Martemucci & D'Alessandro, 2013).

Πιο συγκεκριμένα, τα άλατα του γάλακτος αποτελούνται κυρίως από φωσφορικά άλατα και κιτρικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Το κάλιο εντοπίζεται σε ποσότητες 698-1377 mg/g , το ασβέστιο σε ποσότητες 516-888 mg/g και το νάτριο σε 253-428 mg/g (Chenet al. 2020). Αν και τα άλατα αποτελούν λιγότερο από το 1% του γάλακτος, επηρεάζουν την διαδικασία της πήξης και σε άλλες λειτουργικές ιδιότητες. Μεταξύ της διαλυτής και της κολλοειδούς φάσης κατανέμονται το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο φώσφορος και τα κιτρικά άλατα, ενώ το νάτριο, κάλιο και χλώριο βρίσκονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στον ορό (Zamberlin et al. 2012).

Η κατανομή των ανόργανων συστατικών, ιδίως του ασβεστίου και του φωσφόρου, σε όλα τα κλάσματα του γάλακτος έχει σημαντική επίδραση στις τεχνικές και διατροφικές ιδιότητες του γάλακτος. Η περιεκτικότητα και κατανομή των ανόργανων συστατικών είναι κρίσιμη στις διεργασίες πήξης με καζεϊνικά μικκύλια, όπως η πήξη με οξύ και πυτιά στην παρασκευή γιαουρτιού και τυριού. Όπως είναι εμφανές στην παρουσίαση των Πινάκων 5 και 6 από τον Gaucheron (2011), στη διαλυτή φάση του γάλακτος και επομένως στον ορό και στο τυρόγαλα υπάρχουν σημαντικές ποσότητες μετάλλων σημαντικών για τις βιολογικές λειτουργίες.

Η διατροφή, η φυλή, ο τύπος του ζώου, το στάδιο της γαλακτοπαραγωγής, η εποχή, η διαχείριση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η τοποθεσία και η κατάσταση της υγείας των μαστών είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις ανόργανων συστατικών στο γάλα. Επιπλέον, υπάρχουν διαφορές στα κύρια και μικρά συστατικά μεταξύ των ειδών γάλακτος ενώ η περιεκτικότητα του γάλακτος σε ανόργανα άλατα αποτελεί μέτρο της ποιότητάς του (Chen et al., 2020).

Πίνακας 5 Κατανομή των αλάτων του γάλακτος (mmol/L) στην διαλυτή και κolloειδή φάση του (από τον Gaucheron 2011).

Ιόν	Συνολική συγκέντρωση	Συγκέντρωση στην υδατική φάση	Συγκέντρωση στην κolloειδή φάση
Ca	30,0	9,0	21,0
Mg	5,0	3,5	1,5
Na	22,0	21,5	0,5
K	35,0	34,3	0,7
P	21,0	11,0	10,0
Κιτρικό	9	8,1	0,9
Cl	30,0	30,0	0,0

Πίνακας 6 Κατανομή ιόντων και αλάτων του γάλακτος
(από τον Gaucheron 2011)

Ιόν	Φάση	Μορφή
Ca	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερο ιόν - Ενωμένο με κιτρικά, ανόργανο φώσφορο και χλώριο - Ενωμένο με α-γαλακτοαλβουμίνη
Ca	Μικκυλιακή	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με υπολείμματα φωσφοσερίνης - Ενωμένο με ανόργανο φωσφόρο
Mg	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερο ιόν - Ενωμένο με κιτρικά, ανόργανο φώσφορο και χλώριο
Mg	Μικκυλιακή	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με ανόργανο φώσφορο
Na	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερο ιόν - Ενωμένο με ανιόντα
K	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερο ιόν - Ενωμένο με ανιόντα
P οργ.	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Εστεροποιημένο με μικρότερα μόρια (νουκλεοτίδια, σάκχαρα)
P οργ.	Μικκυλική	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με υπολείμματα φωσφοσερίνης
P ανοργ.	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερα ιόντα - Ενωμένο με ασβέστιο, μαγνήσιο
Κιτρικά	Μικκυλιακή	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με ασβέστιο και μαγνήσιο
Κιτρικά	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με ασβέστιο
Χλώριο	Μικκυλιακή	<ul style="list-style-type: none"> - Ελεύθερο ιόν
Χλώριο	Υδατική	<ul style="list-style-type: none"> - Ενωμένο με ασβέστιο, μαγνήσιο, νάτριο και κάλιο

2.2. Υδατοδιαλυτές βιταμίνες

Το γάλα είναι πλούσια πηγή λιποδιαλυτών και υδατοδιαλυτών βιταμινών. Οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες της ομάδας Β καθώς και το ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) είναι συστατικά του ορού του γάλακτος και επομένως και του τυρογάλακτος (Martemucci & D' Alessandro, 2013).

Η όρος "βιταμίνες της ομάδας Β" αναφέρεται σε οκτώ ξεχωριστές ομάδες, καθεμία από τις οποίες αποτελείται από παρόμοια μόρια. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι για την ενεργοποίηση αυτών των βιταμινών, συμπεριλαμβανομένης της φωσφορυλίωσης για τη θειαμίνη και την οικογένεια της πυριδοξίνης, της προσθήκης νουκλεοτιδίων για την κοβαλαμίνη, τη ριβοφλαβίνη, τη νιασίνη και το παντοθενικό οξύ και της μείωσης του γλουταμινικού για το φολικό οξύ. Σε πολλές περιπτώσεις, λειτουργούν ως προσθετικές ομάδες ή συνένζυμα και απαιτούνται για τον αποτελεσματικό κυτταρικό μεταβολισμό των λιπαρών οξέων, των αμινοξέων, των υδατανθράκων, την παραγωγή ενέργειας, τη σύνθεση αίμης και νουκλεϊκών οξέων και τη διαμόρφωση αντιοξειδωτικού περιβάλλοντος (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη Β2 ή ριβοφλαβίνη λειτουργεί ως συνένζυμο μονονουκλεοτίδιο φλαβίνης (FMN) ή δινουκλεοτίδιο φλαβίνης αδενίνης (FAD) για πολλές ενζυμικές αντιδράσεις φλαβοπρωτεϊνών, οι οποίες εμπλέκονται σε πολλές βιολογικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένου του μεταβολισμού της ενέργειας. Η βιταμίνη Β2 βοηθά στη διάσπαση των υδατανθράκων, των λιπών και των πρωτεϊνών (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη Β3, η νιασίνη ή νικοτινικό οξύ διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο μεταβολισμό όλων των θρεπτικών συστατικών (λιπών, υδατανθράκων και πρωτεϊνών) και στη σύνθεση του DNA ως πρόδρομος του νικοτιναμιδικού δινουκλεοτιδίου αδενίνης (NAD) και του νικοτιναμιδίου φωσφορικού δινουκλεοτιδίου αδενίνης (NADP). Η ανεπάρκεια νιασίνης προκαλεί πελάγρα, μια σοβαρή δερματική ασθένεια (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη Β5 ή παντοθενικό οξύ συμμετέχει στο σχηματισμό του συνενζύμου Α (CoA), το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό των θρεπτικών συστατικών (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες και λιπίδια) των ζώων ως ακετυλο-CoA. Απαιτείται επίσης για τη δημιουργία λιπαρών οξέων, χοληστερόλης και ακετυλοχολίνης. Η έλλειψη βιταμίνης Β5 προκαλεί τα ίδια

συμπτώματα (κόπωση, απάθεια και μειωμένη παραγωγή ενέργειας) με τις άλλες ελλείψεις βιταμινών B (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη B6 ή πυριδοξίνη εντοπίζεται επίσης στο γάλα. Η ενεργός μορφή της βιταμίνης B6 συμμετέχει σε διάφορες μεταβολικές δραστηριότητες, όπως ο μεταβολισμός των αμινοξέων, η παραγωγή ισταμίνης, αιμοσφαιρίνης και νευροδιαβιβαστών όπως η σεροτονίνη, η ντοπαμίνη, η αδρεναλίνη, η νορεπινεφρίνη και το γ-αμινοβουτυρικό οξύ. Λειτουργεί επίσης ως συνένζυμο στο μεταβολισμό της μεθειονίνης. Συμμετέχει στο μεταβολισμό της γλυκόζης και των λιπιδίων και θεωρείται ότι επηρεάζει την έκφραση συγκεκριμένων γονιδίων (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη B7 ή βιοτίνη ενισχύει την ανάπτυξη των κυττάρων και τον μεταβολισμό των λιπιδίων κι αμινοξέων. Οι ποσότητες στο αγελαδινό γάλα κυμαίνονται από 2-4 $\mu\text{g}/100\text{ml}$. Το γάλα βουβαλιού έχει μεγαλύτερες ποσότητες, που κυμαίνονται από 11 έως 13 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ (Claeys et al., 2014).

Η βιταμίνη B9 ή φολικό (ή φυλλικό) οξύ συμμετέχει στο σχηματισμό και τη διατήρηση των κυττάρων, καθώς και στη σύνθεση του DNA και του RNA. Το φυλλικό οξύ είναι επομένως απαραίτητο κατά τη διάρκεια της έντονης κυτταρικής διαίρεσης. Εμφανίζεται υψηλή αλληλεπίδραση μεταξύ των βιταμινών B9 και B12, με αποτέλεσμα να προκαλείται έμμεση έλλειψη φυλλικού οξέος από έλλειψη βιταμίνης B12. Στο αγελαδινό γάλα οι τιμές κυμαίνονται στα 3,8-4,2 $\mu\text{g}/100\text{ml}$ (Ragalleretal., 2009).

Η βιταμίνη B12 ή αλλιώς η κυανοκοβαλαμίνη είναι ζωτικής σημασίας για την ομαλή λειτουργία του νευρικού συστήματος, ιδίως του εγκεφάλου και η ανεπάρκειά της προκαλεί σημαντική νευρική βλάβη. Το αγελαδινό γάλα περιέχει κατά μέσο όρο 0,44 $\text{mg}/100\text{ ml}$ μπορεί να φθάσει έως και 1,05 $\text{mg}/100\text{ml}$ (Matte et al., 2012).

Επιπλέον στοιχεία για τις υδατοδιαλυτές βιταμίνες αναφέρονται και στο κεφ. 3.

2.3. Ολιγοσακχαρίτες

Οι ολιγοσακχαρίτες (OS) είναι το τρίτο σε συγκέντρωση στερεό συστατικό του ανθρώπινου (μητρικού) γάλακτος μετά τη λακτόζη και το λίπος και αποτελούν σημαντικά βιολειτουργικά συστατικά του. Το ανθρώπινο γάλα κυρίως και το ζωικό γάλα είναι πηγές βιοενεργών ολιγοσακχαριτών, οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τη βιομηχανία λειτουργικών τροφίμων. Πολλές βιολογικές δραστηριότητες έχουν αναφερθεί για ορισμένους ολιγοσακχαρίτες του γάλακτος, συμπεριλαμβανομένης της πρεβιοτικής δραστηριότητας, των αντι-προσκολλητικών ιδιοτήτων, των αντιφλεγμονωδών ιδιοτήτων, και του ρόλου στην ανάπτυξη του εγκεφάλου και των χαρακτηριστικών των εντερικών κυττάρων που σχετίζονται με την ανάπτυξη (Kunz & Rudloff, 2006).

Οι ολιγοσακχαρίτες του γάλακτος αποτελούνται συνήθως από τρεις έως δέκα μονάδες μονοσακχαριτών, συμπεριλαμβανομένων της γλυκόζης (Glc), της γαλακτόζης (Gal) και της N-ακετυλογλυκοζαμίνης (GlcNAc), καθώς και της φουκόζης και των σιαλικών οξέων. Η βασική μονάδα που υπάρχει στο αναγωγικό άκρο των ολιγοσακχαριτών του γάλακτος είναι είτε η λακτόζη (Gal(b1 - 4)Glc) είτε η N-ακετυλο-λακτοζαμίνη (Gal (b1 - 4) GlcNAc) (Kunz & Rudloff, 2006). Οι ολιγοσακχαρίτες του ανθρώπινου γάλακτος (HMOSs) έχουν βιολογικές δράσεις που καθορίζονται από τη χημική τους δομή. Οι βασικές δομές των HMOSs βασίζονται κυρίως στη λακτόζη, η οποία τροποποιείται με ενζυμική προσθήκη συγκεκριμένων ουδέτερων μονοσακχαριτών όπως η N-ακετυλογλυκοζαμίνη ή N-ακετυλογαλακτοζαμίνη (HexNAc), η γαλακτόζη ή γλυκόζη (Hex) και η φουκόζη ή δεοξυεξόζη (Fuc) (ουδέτεροι ολιγοσακχαρίτες), ή όξινων συστατικών όπως το N (Kunz & Rudloff, 2006).

Έχει αποδειχθεί ότι οι ολιγοσακχαρίτες είναι ανθεκτικοί στην ενζυμική πέψη στο ανώτερο γαστρεντερικό σύστημα, γεγονός που απαιτείται για την πρεβιοτική δράση. Οι άπεπτοι ολιγοσακχαρίτες, οι οποίοι χρησιμεύουν ως πρεβιοτικά, μπορούν να προάγουν την υγεία του ξενιστή ενθαρρύνοντας την ανάπτυξη ωφέλιμων βακτηρίων στο παχύ έντερο. Οι ολιγοσακχαρίτες συμβάλλουν επίσης στο έμφυτο ανοσοποιητικό σύστημα των νεογνών που θηλάζουν, εμποδίζοντας τα επιβλαβή βακτήρια να προσκολληθούν στα κύτταρα του γαστρεντερικού συστήματος (Oliveira et al., 2015).

Το μεγαλύτερο μέρος των ολιγοσακχαριτών του γάλακτος είναι σιαλυλιωμένοι δηλαδή περιέχουν N-ακετυλο-νευραμινικό οξύ (Neu5Ac) ή/και N-γλυκολυλο-νευραμινικό οξύ (Neu5Gc) (Albrecht et al., 2014). Μία κατηγορία ολιγοσακχαριτών είναι οι φουκοζυλιωμένοι ολιγοσακχαρίτες που περιέχονται σε σημαντικές ποσότητες στο ανθρώπινο γάλα και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αντίσταση σε ασθένειες και στον πολλαπλασιασμό των ωφέλιμων βακτηρίων (Oliveira et al., 2015).

Προς το παρόν έχουν εντοπιστεί 115 διαφορετικές δομές ολιγοσακχαριτών στο ανθρώπινο γάλα καθιστώντας το ένα από τα πιο πολύπλοκα είδη γάλακτος, γεγονός που οφείλεται στην ποικιλία των γλυκοζιτικών δεσμών με φρουκτόζη ή και σιαλικό οξύ (Mills et al., 2011). Παρά τις διαφοροποιήσεις στη μορφή και την ποσότητα των ολιγοσακχαριτών που βρίσκονται στο γάλα ανθρώπου και ζώων, το γάλα από οικόσιτα ζώα μπορεί να είναι μια πηγή βιοδραστικών ολιγοσακχαριτών, π.χ. το αίγαιο γάλα, είναι μια καλή πηγή ολιγοσακχαριτών (Albrecht et al., 2014).

Επιπλέον στοιχεία αναφέρονται και στο κεφ. 3.

3. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ορού διαφορετικών ειδών γάλακτος

Ανόργανα συστατικά και βιταμίνες του ορού

Το περιεχόμενο διαφορετικών ειδών γάλακτος παρουσιάζεται ενδεικτικά στον Πίνακα 7 (Raynal–Ljutovac et al. 2008). Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο του αγελαδινού γάλακτος είναι περίπου 1100 mg/L ενώ του ανθρώπινου γάλακτος είναι περίπου 300 mg/L (Barlowska et al., 2011, Claeys et al. 2014). Το ποσοστό ασβεστίου, φωσφόρου, μαγνησίου που βρίσκεται στην κolloειδή φάση του γάλακτος ανέρχεται σε 66%, 57% και 33%, αντίστοιχα, αρκετά υψηλότερα σε σχέση με το ανθρώπινο γάλα (6% για όλα).

Στο αγελαδινό γάλα η περιεκτικότητα σε ασβέστιο κυμαίνεται στα 630-1970 mg/g (παρόμοια με αυτή του ανθρώπινου γάλακτος) καθιστώντας το μία πολύ καλή πηγή ασβεστίου (Chen et al., 2020). Το ποσοστό ασβεστίου, φωσφόρου, μαγνησίου που εντοπίζεται στα κolloειδή του γάλακτος ανέρχεται στο 66%, 57% και 33% αντίστοιχα ποσοστό αρκετά υψηλότερο από αυτό του ανθρώπινου γάλακτος (6% για όλα). Η περιεκτικότητα του αγελαδινού γάλακτος σε μαγνήσιο κυμαίνεται στα 119mg/100g καθιστώντας το μία πολύ καλή πηγή μαγνησίου. Επιπλέον το 8% του νατρίου (40 mg/L) και του K (110 mg/L) σχετίζονται με την καζεΐνη στο αγελαδινό γάλα (Fantuz et al., 2020).

Το πρόβειο γάλα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά, 0,9 περιεκτικότητα τέφρας έναντι 0,7% του αγελαδινού. Γενικά το πρόβειο γάλα περιέχει περισσότερο ασβέστιο (~150-240 mg/100g), φώσφορο (120-170 mg/100g), μαγνήσιο (~16-25mg/100g) , ψευδάργυρο, μαγγάνιο και χαλκό από το αγελαδινό γάλα, ενώ οι ποσότητες καλίου (~90-160 mg/100g) και νατρίου (~30-75 mg/100g) είναι χαμηλότερες (Balthazaret al., 2017, Claeys et al. 2014, Hernández-Ledesma et al. 2011). Όμως η περιεκτικότητα του πρόβειου γάλακτος σε ασβέστιο μεταβάλλεται αρκετά έντονα μεταξύ των διαφόρων εποχών και το στάδιο γαλουχίας με αποτέλεσμα να μην παρουσιάζει σταθερότητα η τιμή του (Martemucci, & D'Alessandro, 2013).

Το αίγιο γάλα εμφανίζει αρκετά υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά και βιταμίνης εφάμιλλη με αυτή του ανθρώπινου γάλακτος. Γενικότερα εμφανίζει την υψηλότερη περιεκτικότητα σε K (150 mg/100g) συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη γάλακτος. Η περιεκτικότητα σε Ca είναι

520mg/g και είναι παρόμοια με αυτή του γάλακτος από άλλα είδη (Chenet al., 2020). Ειδικότερα, περιέχει ένα τέταρτο έως ένα έκτο περισσότερο ασβέστιο και φώσφορο από το ανθρώπινο γάλα (Martemucci, & D'Alessandro, 2013).

Η περιεκτικότητα του βουβαλίσσιου γάλακτος σε κάλιο είναι σημαντικά χαμηλότερη ενώ του αίγιου είναι υψηλότερη (~150 mg/100g) από των υπόλοιπων ειδών γάλακτος μυρκαστικών (Chen et al. 2020, Claeys et al. 2014). Η περιεκτικότητα σε ανόργανα συστατικά του γάλακτος γαϊδούρας είναι παρόμοια και σε ορισμένες περιπτώσεις ελαφρώς υψηλότερη από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος. Οι συγκεντρώσεις του ασβεστίου, φωσφόρου, μαγνησίου, καλίου και νατρίου έχουν υπολογισθεί 80, 48, 8, 70 και 14 mg/100g, αντίστοιχα. Το 63% του ασβεστίου το 53% του φωσφόρου και το 33% του μαγνησίου συνδέεται με την κολλοειδή φάση και το υπόλοιπο βρίσκεται στην υδατική (Fantuz et al., 2020).

Μεταξύ των διαφόρων ειδών γάλακτος η βιοδιαθεσιμότητα των ανόργανων συστατικών φαίνεται πως μεταβάλλεται. Η περιεκτικότητα σε σίδηρο στο αγελαδινό και αίγιο γάλα είναι παρόμοια, με το πρόβειο γάλα να είναι το υψηλότερο. Η βιοδιαθεσιμότητα σιδήρου είναι υψηλότερη στο αίγιο γάλα από ότι στο αγελαδινό γάλα λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε νουκλεοτίδια που συμβάλλει στην καλύτερη απορρόφηση στο έντερο. Η βιοδιαθεσιμότητα ψευδαργύρου βρέθηκε υψηλότερη για το ανθρώπινο γάλα, χαμηλότερη για το πρόβειο γάλα και με ενδιάμεσες τιμές για το αίγιο και αγελαδινό γάλα (Raynal – Ljutovac et al., 2008). Ένα άλλο παράδειγμα είναι το Se το οποίο παρουσιάζει παρόμοια βιοδιαθεσιμότητα στο αίγιο και μητρικό γάλα όμως μικρότερη βιοδιαθεσιμότητα στο πρόβειο γάλα. Στο αίγιο γάλα η βιοδιαθεσιμότητα των ανόργανων συστατικών και βιταμινών είναι παρόμοια με αυτή του αγελαδινού γάλακτος, φαίνεται όμως απορροφούνται καλύτερα συγκριτικά με του αγελαδινού (Martemucci & D'Alessandro, 2013). Σχετικά με τα υπόλοιπα ανόργανα συστατικά στα μυρκαστικά, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και ο χαλκός συνδέονται κυρίως με την καζεΐνη αντίθετα από το ανθρώπινο γάλα που είναι συνδεδεμένα με διαλυτές πρωτεΐνες, με αποτέλεσμα στην πρώτη περίπτωση να παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά αφομοίωσης σε σχέση με το μητρικό γάλα (Martemucci, & D'Alessandro, 2013).

Πίνακας 7 Συγκέντρωση ανόργανων συστατικών διαφόρων ειδών γάλακτος (από τους Raynal–Ljutovac et al.2008)

	Αίγαιο γάλα	Πρόβειο γάλα	Αγελαδινό γάλα	Μητρικό γάλα
Ca (mg)	1260	1950–2000	1200	320
P (mg)	970	1240–1580	920	150
K(mg)	1900	1360–1400	1500	550
Na (mg)	380	440–580	450	200
Cl (mg)	1600	1100–1120	1100	450
Mg (mg)	130	180–210	110	40
Ca/P (mg)	1.3	1.3–1.6	1.3	2.1
Zn (μg)	3400	5200–7470	3800	3000
Fe (μg)	550	720–1222	460	600
Cu (μg)	300	400–680	220	360
Mn (μg)	80	53–90	60	30
I (μg)	80	104	70	80
Se (μg)	20	31	30	20

Αναφέρονται διαφορές στη μέση περιεκτικότητα ορισμένων υδατοδιαλυτών βιταμινών μεταξύ διαφορετικών ειδών γάλακτος όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 8 (Raynal – Ljutovac et al. 2008).

Πίνακας 8 Συγκέντρωση υδατοδιαλυτών βιταμινών διαφόρων ειδών γάλακτος (από τους Raynal – Ljutovac et al.2008). ΔΑ: δεν ανιχνεύθηκε.

	Αίγαιο γάλα	Πρόβειο γάλα	Αγελαδινό γάλα	Μητρικό γάλα
B1				
Θειαμίνη (mg)	0,05	0,08	0,04	0,02
B2				
Ριβοφλαμίνη (mg)	0,14	0,35	0,17	0,03
B3				
Νιασίνη (PP) (mg)	0,20	0,42	0,09	0,16
B5				
Παντοθενικό οξύ (mg)	0,31	0,41	0,34	0,18
B6				
Πυριδοξίνη (mg)	0,05	0,08	0,04	0,01
B8				
Βιοτίνη (μg)	2,00	ΔΑ	2,00	0,70
B9				
Φολικόοξύ (μg)	1,00	5,00	5,30	5,20
B12				
Κοβαλαμίνη (μg)	0,06	0,71	0,35	0,04
Ασκορβικό οξύ (mg)	1,30	5,00	1,00	4,00

Η πιο χαμηλή συγκέντρωση της σημαντικής βιταμίνης B12 (κοβαλαμίνης) παρατηρείται στο αίγιο γάλα, κατά μέσο όρο 70 ng/100 g, και η πιο υψηλή στο πρόβιο, 510 ng/100 g. Η μέση συγκέντρωση B12 στο αγελαδινό και βουβαλινό είναι 420 και 320ng/100 g, αντίστοιχα. Εκτός από το καροτένιο και το φυλλικό οξύ, τα οποία υπάρχουν σε χαμηλότερα ποσοστά, και το παντοθενικό οξύ, που βρίσκεται σε παρόμοια συγκέντρωση στο αγελαδινό γάλα, η περιεκτικότητα του πρόβιου γάλακτος σε υδατοδιαλυτές βιταμίνες είναι συνήθως υψηλότερη από αυτή του αγελαδινού και του αίγιου γάλακτος. Ακόμα τα επίπεδα ριβοφλαβίνης είναι υψηλά όπως και η περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (Balthazaretal., 2017). Στο γάλα μη μηρυκαστικών όπως το ανθρώπινο και το γαϊδουρινό αναφέρονται 50 και 110 ng/100 g, αντίστοιχα. Το πρόβιο και αίγιο γάλα περιέχουν πολύ περισσότερη νιασίνη (450 και 320 μg/100g) σε σχέση με το αγελαδινό και το βουβαλινό (90 και 80 μg/100g) και το γαϊδουρινό γάλα (74 μg/100g) και περισσότερη από το ανθρώπινο (170 μg/100g). Το πρόβιο γάλα περιέχει μεγάλη ποσότητα ριβοφλαβίνης 230 μg/100g, ενώ για το αίγιο, το αγελαδινό και το βουβαλινό αναφέρονται 150, 180 και 100 μg/100g, αντίστοιχα. Στο γαϊδουρινό και στο ανθρώπινο γάλα η ριβοφλαβίνη είναι 64 και 38 μg/100g, αντίστοιχα (Nohretal. 2011). Οι Barlowskaetal. (2011) αναφέρουν πως το αίγιο γάλα έχει τη χαμηλότερη μέση περιεκτικότητα σε φυλλικό οξύ ~1 μg/100g, ενώ το αγελαδινό, πρόβιο και ανθρώπινο γάλα περιέχουν περίπου 5 μg/100g. Επίσης αναφέρουν 0,94 και 1,29 mg/100g ασκορβικό οξύ (βιταμίνη C) για το αγελαδινό και αίγιο γάλα και πολύ περισσότερο 4 και 5 mg/100g για το πρόβιο και ανθρώπινο γάλα, αντίστοιχα.

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ενδιαφέρον για το γάλα της γαϊδούρας λαμβάνοντας υπόψη πως παραδοσιακά θεωρείται κατάλληλο εναλλακτικό του μητρικού γάλακτος για βρέφη που παρουσίαζαν δερματικές αλλοιώσεις ή ξηρό βήχα. Σύμφωνα με τους Altomonte et al. (2019) η συνολική περιεκτικότητα σε βιταμίνη C του γάλακτος γαϊδούρας είναι μεταξύ 1,2-5,7 mg/100g και είναι παρόμοια με εκείνη του ανθρώπινου γάλακτος (3,8-5,3 mg/100g) όπως βλέπουμε στον Πίνακα 9 (Salimei & Fantuz, 2012).

Η περιεκτικότητα σε ασβέστιο είναι σαφώς μικρότερη (0,26g/L) από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος (0,77 g/L) όπως και στην περίπτωση του φωσφόρου (0,15 έναντι 0,58 g/L) αλλά και μαγνησίου (0,03 έναντι 0,07 g/L). Η περιεκτικότητα σε κάλιο και νάτριο είναι παρόμοια. Σχετικά με τον ψευδάργυρο,

αποτελεί το κύριο ανόργανο συστατικό που περιέχεται στο γάλα γαϊδούρας (Altomonte et al., 2019). Επιπλέον η περιεκτικότητα σε θείο είναι παρόμοια (141 mg/L) με αυτή του ανθρώπινου γάλακτος (142 mg/L). Η πλειονότητα της ποσότητας θείου σχετίστηκε με τα αμινοξέα των πρωτεϊνών ορού γάλακτος ενώ μόνο το 25% σχετίστηκε με την καζεΐνη (Fantuz et al., 2020). Η μεγαλύτερη ποσότητα του ασβεστίου και του φωσφόρου στο γάλα γαϊδούρας ήταν συνδεδεμένη με την καζεΐνη ενώ τα υπόλοιπα ανόργανα συστατικά εντοπίζονται στην πλειονότητά τους στην υδατική φάση του γάλακτος. Συγκεκριμένα ο ανόργανος φώσφορος στο γάλα γαϊδούρας που εντοπίζεται στο κολλοειδές αποτελεί το 76% του συνολικού φωσφορου. Η κατά 76% μικρότερη περιεκτικότητα σε καζεΐνες από αυτή του αγελαδινού γάλακτος έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη ποσότητα ανόργανων συστατικών στον ορό γάλακτος (Fantuz et al., 2020).

Όσον αφορά τις βιταμίνες, το γάλα γαϊδούρας αποτελεί επίσης συγκρίσιμη πηγή με τον μητρικό. Συγκεκριμένα η συνολική περιεκτικότητα σε βιταμίνη C (12-57 mg/L) είναι παρόμοια με εκείνη του ανθρώπινου γάλακτος (38-53 mg/L). Η περιεκτικότητα σε βιταμίνες της ομάδας Β ποικίλλει. Γενικότερα όμως οι ποσότητες της Β1 και Β3 είναι υψηλότερες από αυτές του ανθρώπινου γάλακτος (Altomonte et al., 2019).

Πίνακας 9 Σύγκριση της περιεκτικότητας του γάλακτος γαϊδούρας με το μητρικό γάλα σε ανόργανα συστατικά και βιταμίνες(από τους Salimei & Fantuz, 2012)

Συστατικό (mg/L)	Γάλα γαϊδούρας	Μητρικό γάλα
Ca	330–1140	278
P	320–650	140
K	240–747	530
Na	100–268	180
Mg	40–83	35
Ca/P	0,93–2,37	1,7
Fe	0,43–2,64	0,72
Zn	1,23–3,19	1–3
Cu	0,08–0,30	0,2–0,4
Mn	ίχνη	0,003–0,006

Vitamin A	0,017	0,3–0,7
Vitamin D		0,0004
Vitamin E	0,051	3–8
Vitamin K		0,003–0,015
Vitamin C		50–100
Vitamin B2		0,4–0,6

Ένζυμα

Η (γα)λακτουπεροξειδάση διαφέρει ως προς την ποσότητα ή την ενεργότητά της στα διάφορα είδη γάλακτος (π.χ. Πίνακας 10). Στο αγελαδινό γάλα, η λακτουπεροξειδάση είναι το δεύτερο πιο άφθονο ένζυμο μετά την ξανθίνη-οξειδάση και έχει συγκέντρωση περίπου 30 mg/L στο αγελαδινό γάλα. Παρόλο που η συγκέντρωσή της είναι αρχικά χαμηλή στο αγελαδινό πρωτόγαλα, αυξάνεται γρήγορα για να φτάσει στο μέγιστο μετά από 3-5 ημέρες μετά τον τοκετό, σε αντίθεση με άλλες αντιβακτηριακές πρωτεΐνες. Οι διακυμάνσεις της επίσης επηρεάζονται από παράγοντες όπως ο κύκλος, η εποχή, η διατροφή και η φυλή. Το αγελαδινό γάλα περιέχει από 1,2 έως 19,4 μονάδες/ml λακτουπεροξειδάσης και είναι περίπου 20 φορές πιο πλούσιο σε ενεργότητα υπεροξειδάσης από το ανθρώπινο γάλα ενώ η ενεργότητά της στο αγελαδινό γάλα κυμαίνεται από 1,5 έως 2,7 U/ml με συνολικό μέσο όρο 2,3 U/ml. Στο βουβαλίσιο γάλα οι τιμές ενεργότητας λακτουπεροξειδάσης έχουν αναφερθεί στα 0,9U/ml (Seifu et al., 2005). Στο αίγιο γάλα η ενεργότητά της παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και κυμαίνεται από 0,05 έως 3,55 U/ml. Το ίδιο ισχύει και για το πρόβειο γάλα με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 0,7-3,46 U/ml (Seifu et al., 2005).

Στο πρόβειο γάλα η ενεργότητά της διαφέρει ανάλογα τη φυλή, στάδιο της γαλακτικής περιόδου ακόμα και ανάλογα με το χρονικό σημείο της άμελης, πρωί ή το βράδυ. Σε δείγματα γάλακτος προβάτων της φυλής Mancha στα μέσα της γαλακτοπαραγωγής η δραστηριότητα της λακτουπεροξειδάσης κυμαίνεται από 0,14 έως 2,38 UmL, με μέση τιμή 0,77 UmL. Η ενεργότητα της λακτοπεροξειδάσης στο γάλα των προβάτων έχει υπολογισθεί τέσσερις φορές υψηλότερη από εκείνη του αγελαδινού γάλακτος, αυξάνεται στα μέσα της γαλακτοπαραγωγής και βρίσκεται στη χαμηλότερη τιμή της στο τέλος της

γαλακτοπαραγωγής. Περισσότερο από το 90% της ενεργότητάς της είναι στο άπαχο γάλα ενώ μετά την κλασική παστερίωση του πρόβειου γάλακτος διατηρείται το 70-100% της αρχικής δραστηριότητάς της (Moatsou, 2010).

Πίνακας 10 Ενεργότητα λακτοϋπεροξειδάσης στα διάφορα είδη γάλακτος (από τους Seifu et al., 2005)

Είδος γάλακτος	Ενεργότητα (γα)λακτουπεροξειδάσης (U/ml)
Αγελαδινό	1,4
Βουβαλίσιο	0,9
Αίγειο	1,55
Πρόβειο	0,14-2,38
Μητρικό	0,06-0,97

Μεταξύ των ενζύμων του ορού παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση του γαϊδουρινού γάλακτος ως προς τη λυσοζύμη. Στο γάλα γαϊδούρας η περιεκτικότητα σε λυσοζύμη είναι αρκετά υψηλή και συγκρίσιμη με αυτή του ανθρώπινου γάλακτος και πολύ υψηλότερη από του γάλακτος των μηρυκαστικών. Οι υψηλές συγκεντρώσεις λυσοζύμης στο γάλα γαϊδούρας σχετίζονται με τις αντιμικροβιακές του ιδιότητες και με χαμηλό αριθμό βακτηρίων. Η λυσοζύμη του γάλακτος γαϊδούρας έχει χαμηλότερη δραστηριότητα (22.000 U/ml) από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος αλλά είναι ανθεκτική στα ένζυμα του γαστρεντερικού σωλήνα και φθάνει στον εντερικό σωλήνα δρώντας επιλεκτικά στα βακτήρια του ανθρώπινου εντέρου (Altomonte et al., 2019). Έτσι, μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο και στην εντερική ανοσοαπόκριση (Salimei & Fantuz, 2012). Επίσης, προτείνεται ως βέλτιστο μέσο ανάπτυξης για ορισμένα στελέχη χρήσιμων οξυγαλακτικών βακτηρίων όπως για παράδειγμα στην παραγωγή εμπλουτισμένου γάλακτος με οξυγαλακτικά προβιοτικά βακτήρια (Guo et al., 2007).

Μη-πρωτεϊνικά αζωτούχα συστατικά

Τα μη-πρωτεϊνικά αζωτούχα συστατικά αποτελούν βασικά συστατικά του μητρικού γάλακτος απαραίτητα για την πρωτεϊνοσύνθεση στα κύτταρα των βρεφών. Στο μητρικό γάλα αυτό το κλάσμα αντιπροσωπεύει το 18-30% του συνολικού αζωτούχου κλάσματος και αποτελείται κυρίως από ουρία, ελεύθερα αμινοξέα, νουκλεοτίδια, κρεατινίνη και σιαλικό οξύ (Πίνακας 11). Στο γάλα γαϊδούρας και φοράδας το μη πρωτεϊνικό άζωτο αποτελεί περίπου το 10-16% του συνολικού αζώτου, το οποίο είναι χαμηλότερο από το ανθρώπινο γάλα αλλά υψηλότερο από τα οικόσιτα μηρυκαστικά. Συγκεκριμένα στο γάλα γαϊδούρας, όπως και στο ανθρώπινο γάλα έτσι και στο γάλα γαϊδούρας περιέχεται μία αξιόλογη ποσότητα μη πρωτεϊνικών αζωτούχων συστατικών με μέσο όρο περίπου 4-5g/L. Στο γάλα γαϊδούρας η πλειονότητα αυτών των συστατικών είναι πεπτίδια που παράγονται από τις β-καζεΐνη και α2-καζεΐνη (Altomonte et al., 2019). Η μέση συγκέντρωση ουρίας είναι 20-35 mg/100 g, παρόμοια με το αγελαδινό γάλα αλλά ελαφρώς χαμηλότερη από το μητρικό γάλα και αντιπροσωπεύει περίπου το 40% του κλάσματος των μη πρωτεϊνικών αζωτούχων συστατικών στο γάλα αλόγου και γαϊδούρας, πιθανώς λόγω των ιδιομορφιών του μεταβολισμού τους (Salimei & Fantuz, 2010).

Πίνακας 11 Μη – πρωτεϊνικά αζωτούχα συστατικά στα διάφορα είδη γάλακτος (από τους Barlowska et al., 2011)

mg/100 mL	Αίγιο γάλα	Αγελαδινό γάλα	Μητρικό γάλα
Μη-πρωτεϊνικό άζωτο	42	38	32
Ελεύθερα αμινοξέα	21	6	3,4
Ταυρίνη	9,8	0,5	3
Νουκλεοτίδια	10	ND	4,2
Ουρία	28	22	18
Κρεατινίνη	1,4	1,8	1,1

Ελεύθερα αμινοξέα

Η συνολική μέση συγκέντρωση ελεύθερων αμινοξέων στα διάφορα είδη γάλακτος αναφέρεται από τους Alichanidis et al. (2016), ως εξής: αγελαδινό

33–51, βουβαλινό 15, αίγιο 153–243, πρόβιο 95, γαϊδουρινό 50, και ανθρώπινο 367–670 mg/kg, αντίστοιχα. Η περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα αμινοξέα του αγελαδινού γάλακτος κυμαίνεται σε ίδια ή ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος όμως σε ορισμένες περιπτώσεις στο αγελαδινό γάλα είναι υψηλότερη όπως στην περίπτωση γλουταμινοξού οξέος, αλανίνης και λυσίνης. Από την άλλη πλευρά για το γάλα βούβαλου τα δεδομένα δεν είναι ακόμα τόσο σαφή όμως δείχνουν πως υπολείπεται διάφορα αμινοξέα και η περιεκτικότητα στα υπόλοιπα είναι χαμηλότερη από αυτή του ανθρώπινου γάλακτος (Barlowska et al., 2011).

Το αίγιο γάλα έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ελεύθερα αμινοξέα, η οποία όμως είναι πολύ χαμηλότερη από του ανθρώπινου. Η σύνθεση του αίγιου γάλακτος σε αμινοξέα διαφέρει από αυτή του μητρικού γάλακτος καθώς το πρώτο περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες μεθειονίνης και μικρότερες ποσότητες τρυπτοφάνης και κυστεΐνης (Prosser, 2021). Γενικά, στο γάλα των μηρυκαστικών κυριαρχούν τα μη-απαραίτητα αμινοξέα γλουταμινικό οξύ, γλυκίνη, ασπαρτικό οξύ και αλανίνη. Ιδιαίτερα σημαντικό για την ανάπτυξη των βρεφών είναι το αμινοξύ ταυρίνη (taurine) που δεν συμμετέχει στις πεπτιδικές αλυσίδες. Η ταυρίνη είναι το πιο άφθονο ελεύθερο αμινοξύ στο αίγιο γάλα και έχει συγκεντρώσεις 45-70 mg/kg που είναι παρόμοιες με αυτές του ανθρώπινου γάλακτος. Υπάρχει σε αξιόλογες ποσότητες στο κλάσμα των ελεύθερων αμινοξέων του πρόβιου γάλακτος (~17 mg/kg), ενώ στο αγελαδινό γάλα είναι πολύ λιγότερο, 1.6–6.4 mg/kg (Alichanidis et al., 2016). Η ταυρίνη είναι απαραίτητο θρεπτικό συστατικό για τα βρέφη λόγω ανεπαρκούς ενδογενούς διαθεσιμότητας. Είναι σημαντική γιατί κυτταρικές μεμβράνες, ρυθμίζει την ανάπτυξη και παίζει καθοριστικό ρόλο στο σχηματισμό των χολικών αλάτων, τα οποία βοηθούν στην πέψη και την απορρόφηση των λιπιδίων. Εκτός από το αίγιο και το πρόβιο γάλα μπορεί να είναι πηγή ταυρίνης για την δημιουργία υποκατάστατων μητρικού γάλακτος (Landietal., 2021).

Το γάλα γαϊδούρας αποτελεί επίσης μία πολύ καλή πηγή ελεύθερων αμινοξέων. Είναι καλύτερη πηγή βαλίνης και λυσίνης συγκριτικά με το αγελαδινό, αιγοπρόβιο και το γάλα φοράδας (Barlowska et al., 2011). Όμως, συγκριτικά με το αγελαδινό γάλα έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ελεύθερα αμινοξέα λόγω της γενικότερης χαμηλότερης περιεκτικότητάς του σε πρωτεΐνες. Αναφορικά με τα μεμονωμένα αμινοξέα, η σερίνη, γλουταμίνη, αργινίνη και

βαλίνη είναι υψηλότερες στο γάλα γαϊδούρας, αλλά οι τιμές κυστεΐνης είναι χαμηλότερες εκφρασμένες σε g ελεύθερων αμινοξέων/100g πρωτεΐνης. Φαίνεται πως το περιεχόμενο του γάλακτος γαϊδούρας σε ελεύθερα αμινοξέα το καθιστά πλεονεκτικό για κατανάλωση από τον άνθρωπο και για την παραγωγή διαφόρων υποκατάστατων μητρικού γάλακτος συγκριτικά με την χρήση γάλακτος άλλων ειδών θηλαστικών (Guo et al., 2007).

Νουκλεοτίδια – νουκλεοζίδια – άλλα συστατικά του DNA

Ποσοτικές αλλά και ποιοτικές διαφορές παρατηρούνται στην κατανομή συστατικών που σχετίζονται με το DNA μεταξύ των διαφόρων ειδών γάλακτος. Τα νουκλεοτίδια – νουκλεοζίδια κι άλλα συστατικά του DNA αποτελούν απαραίτητα συστατικά για την συμπλήρωση των υποκατάστατων μητρικού γάλακτος καθώς απαιτούνται από τον οργανισμό σε συνθήκες έντονου κυτταρικού πολλαπλασιασμού και ανάπτυξης, όπως στην περίπτωση των βρεφών (Moatsou & Sakkas, 2019). Συγκριτικά με το μητρικό γάλα, τα μηρυκαστικά έχουν υψηλότερα επίπεδα συνολικών δυνητικά διαθέσιμων τέτοιων συστατικών. Η υψηλή περιεκτικότητα σε ουριδίνη και η συνεργιστική δράση των διαθέσιμων νουκλεοτιδίων και νουκλεοζιδίων στο πρόβειο γάλα θα μπορούσαν να το καταστήσουν χρήσιμο συμπλήρωμα διατροφής. Η περιεκτικότητά τους επηρεάζεται από το στάδιο της γαλουχίας ενώ μεταξύ των διαφορετικών ειδών γάλακτος διαφέρει τόσο η ποσότητά τους όσο και η ποιότητά τους (Moatsou & Sakkas, 2019).

Στο αγελαδινό γάλα περιέχονται 5-μονοφωσφορικής γουανοσίνης (GMP), 5-μονοφωσφορικής ινোসίνης (IMP), 5-μονοφωσφορικής ουριδίνης (UMP), 5-μονοφωσφορικής κυτιδίνης (CMP) και 5-μονοφωσφορικής αδενοσίνης (AMP) και το ανθρώπινο γάλα να περιέχει CMP και AMP. Τα πιο άφθονα νουκλεοτίδια στο γάλα των βοοειδών διαφέρουν ανάλογα το στάδιο γαλουχίας. Στο πρωτόγαλα των βοοειδών η πλειονότητα των νουκλεοτιδίων βασίζεται στην ουριδίνη όμως κατά την μετατροπή του πρωτογάλακτος σε ώριμο γάλα η πλειονότητα των νουκλεοτιδίων είναι νουκλεοτιδίων κυτιδίνης (Gill et al., 2011). Όσον αφορά την ποιότητα του συγκεκριμένου κλάσματος στο αγελαδινό γάλα, η κύρια ένωση των νουκλεοτιδίων είναι το οροτικό οξύ, το οποίο είναι πρόδρομο στην σύνθεση της πυριμιδίνης. Λόγω του γεγονότος πως είναι ελάχιστα αξιοποιήσιμο από τα ανθρώπινα νεογνά απουσιάζει από το ανθρώπινο γάλα.

Συγκριτικά με τα υπόλοιπα είδη γάλακτος το αγελαδινό γάλα παρουσιάζει την μικρότερη περιεκτικότητα (Gill et al., 2012).

Τα συνολικά εν δυνάμει διαθέσιμα νουκλεοτίδια (ελεύθερα νουκλεοτίδια, νουκλεοπρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα και παραγωγά τους) είναι περισσότερα στο γάλα των μηρυκαστικών σε σχέση με το ανθρώπινο γάλα. Το αγελαδινό, αίγιο και πρόβιο γάλα περιέχουν 79, 974, 3741 $\mu\text{mol/L}$, αντίστοιχα. Δηλαδή το πρόβιο γάλα περιέχει σημαντικά υψηλότερη ποσότητα συστατικών που σχετίζονται με το DNA (Moatsou, 2022). Η ουριδίνη είναι άφθονη στο πρόβιο γάλα, το οποίο είχε επίσης την υψηλότερη συγκέντρωση αδενοσίνης και γουανίνης ενώ η κυτιδίνη είναι πιο άφθονη στο αγελαδινό γάλα (Moatsou&Sakkas, 2019). Τα πιο άφθονα νουκλεοτίδια στο γάλα των βοοειδών διαφέρουν ανάλογα το στάδιο γαλουχίας. Στο πρωτόγαλα των βοοειδών η πλειονότητα των νουκλεοτιδίων βασίζεται στην ουριδίνη όμως κατά την μετατροπή του πρωτογάλακτος σε ώριμο γάλα η πλειονότητα των νουκλεοτιδίων εντοπίζεται με την μορφή νουκλεοτιδίων κυτιδίνης (Gill et al., 2011). Όσον αφορά τη συγκεκριμένη ομάδα συστατικών στο αγελαδινό γάλα, η κύρια ένωση είναι το οροτικό οξύ το οποίο είναι πρόδρομο ενδιάμεσο προϊόν στην σύνθεση της πυριμιδίνης. Λόγω του γεγονότος πως είναι ελάχιστα αξιοποιήσιμο από τα ανθρώπινα νεογνά απουσιάζει από το ανθρώπινο γάλα (Gil&Indyk, 2007). Συγκριτικά όμως με τα υπόλοιπα είδη γάλακτος το αγελαδινό γάλα παρουσιάζει την μικρότερη περιεκτικότητα (Gill et al., 2012).

Πολυαμίνες

Το αγελαδινό γάλα εμφανίζει αρκετά χαμηλότερη περιεκτικότητα σε πολυαμίνες συγκριτικά με το ανθρώπινο γάλα λόγω του γρήγορου ρυθμού ενζυμικής αποικοδόμησής τους (Giorgio et al., 2018). Στο πρόβιο γάλα η σπερμιδίνη αντιπροσωπεύει το 49% της συνολικής ποσότητας ενώ η σπερμίνη το 39% του συνόλου των πολυαμινών (Galitsoroulou et al., 2015). Το γάλα αιγών είναι πλούσιο σε πολυαμίνες που απαρτίζονται κυρίως από την σπερμιδίνη που αποτελεί τα 55% των πολυαμινών ενώ αναφέρεται πως η σύσταση αυτού του κλάσματος κυμαίνεται ανάλογα την φάση της γαλουχίας αλλά και τη φυλή των ζώων (Galitsoroulou et al., 2015, Moatsou 2022). Οι πολυαμίνες αίγιου γάλακτος μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υποκατάστατα μητρικού γάλακτος. Επειδή η περιεκτικότητα του ανθρώπινου γάλακτος είναι

αρκετά υψηλότερη, η χρήση τους στις βρεφικές φόρμουλες είναι απαραίτητη μόνο στην περίπτωση διατροφικών ελλείψεων (Giorgio et al., 2018).

Ολιγοσακχαρίτες

Το ανθρώπινο γάλα περιέχει μεγάλη ποσότητα ολιγοσακχαριτών (7-12 g/L στο ώριμο γάλα) και μέχρι σήμερα έχουν ανακαλυφθεί περισσότεροι από 200 ολιγοσακχαρίτες. Από αυτούς, οι ουδέτεροι και όξινοι ολιγοσακχαρίτες είναι οι κύριοι τύποι με πιο συνηθισμένους τη 2'φουκοσυλλακτόζη (2,6 g/L), η διφουκοζυλο-λακτο-N-εξόζη II (2 g/L) και την τριφουκοζυλο-λακτο-N-εξόζη (2,8 g/L). Μία ιδιαιτερότητα των ολιγοσακχαριτών του μητρικού γάλακτος είναι πως το φουκοζυλιωμένο τους κλάσμα υπάρχει σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις σε σχέση με το γάλα άλλων θηλαστικών, στα οποία συχνά δεν υπάρχει καθόλου (Hobbs et al., 2021).

Γενικά, στο γάλα των οικόσιτων ζώων, κυριαρχούν οι σιαλυλιωμένοι ολιγοσακχαρίτες δηλαδή περιέχουν N-ακετυλο-νευραμινικό οξύ (Neu5Ac) ή/και N-γλυκυλο-νευραμινικό οξύ (Neu5Gc) που μπορεί να αντιπροσωπεύουν το 80-90% της συνολικής ποσότητας ολιγοσακχαριτών (Albrecht et al., 2014). Στο αγελαδινό γάλα έχουν εντοπιστεί περίπου 50 ολιγοσακχαρίτες όμως η ποσότητά τους και η ποικιλομορφία τους δεν συγκρίνεται με αυτή του μητρικού γάλακτος με ελάχιστη παρουσία φουκοζυλιωμένων δομών. Το γάλα βοοειδών περιέχει χαμηλότερα επίπεδα ολιγοσακχαριτών από το ανθρώπινο γάλα σε συγκεντρώσεις 1-2 g/L και 0,05 g/L στο πρωτόγαλα και στο ώριμο γάλα που είναι 20 φορές χαμηλότερη από το αντίστοιχο μητρικό πρωτόγαλα και γάλα. Η μεγαλύτερη μείωση στην περιεκτικότητα σε ολιγοσακχαρίτες παρατηρείται κατά τις πρώτες 12-24 ώρες μετά τον τοκετό και μετά από 6 ημέρες το ποσοστό των σιαλυλιωμένων ολιγοσακχαριτών μειώνονται από 80% σε 40% (Albrecht et al., 2014). Συνοπτικά οι διαφορές με το ανθρώπινο γάλα είναι πώς οι ολιγοσακχαρίτες του ζωϊκού γάλακτος δεν περιλαμβάνουν mono- and disialyated lacto-N-tetraose, δεν παρατηρείται φουκοζυλίωση, η ποικιλομορφία είναι περιορισμένη (π.χ. περίπου 50 ολιγοσακχαρίτες έχουν εντοπισθεί στο αγελαδινό γάλα) και οι δομές είναι μικρότερες σε μέγεθος.

Η συγκέντρωση των ολιγοσακχαριτών και των επιμέρους μορφών τους διαφέρει ανάλογα με την φυλή. Για παράδειγμα η φυλή Jersey παράγει γάλα με υψηλότερες ποσότητες σιαλυλιωμένων ολιγοσακχαριτών ενώ το γάλα της

φυλής Holstein-Friesian περιέχει περισσότερους μικρότερους και απλούστερους ουδέτερους ολιγοσακχαρίτες. Το γάλα αιγών της φυλής Guanzhong έχει ελαφρά υψηλότερη συγκέντρωση από τις φυλές Saanen. Η αφθονία της 6' σιαλυλακτόζης είναι 3,3 φορές υψηλότερη στο γάλα των αιγών Guanzhong σε σχέση με των Saanen. Η περιεκτικότητα του αίγιου γάλακτος σε σιαλικό οξύ μειώνεται κατά τη διάρκεια της γαλακτικής περιόδου (Hobbs et al., 2021).

Στο πρόβειο γάλα η περιεκτικότητα σε ολιγοσακχαρίτες που περιέχουν σιαλικό οξύ ανέρχεται στο 302 g/L ενώ στις αίγες στα 193 g/L στο πρωτόγαλα με την πορεία της γαλουχίας να χαρακτηρίζεται από μείωση της ποσότητας. Στο αίγιο γάλα η συγκέντρωση των ολιγοσακχαριτών ανέρχεται στα 0,20-0,65 g/L στο πρωτόγαλα και 0,06-0,35 g/L στο ώριμο γάλα. Περίπου το 45% των 78 διαφορετικών δομών ολιγοσακχαριτών που βρίσκονται στο πρωτόγαλα των αιγών είναι σιαλυλιωμένοι. Το ώριμο γάλα αιγών περιέχει 64 ολιγοσακχαρίτες, εκ των οποίων οι 37 είναι σιαλυλιωμένοι. (Giorgio et al., 2018). Το ποσοστό των ουδέτερων ολιγοσακχαριτών ανέρχεται στο 64% του συνόλου στο αίγιο γάλα ενώ στο πρόβειο γάλα ανέρχεται στο 94% (Albrecht et al., 2014). Οι επικρατέστεροι σιαλυλιωμένοι ολιγοσακχαρίτες σε αυτό είναι οι 3' και 6' σιαλυλακτόζη ομοίως με το μητρικό γάλα, παρόλο που η ποσότητά τους είναι χαμηλότερη στο αίγιο γάλα σε σχέση με το μητρικό. Όμως, το ώριμο αίγιο γάλα παρουσιάζει ενδιαφέρον για τα υποκατάστατα μητρικού γάλακτος. Καταρχήν, περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες ολιγοσακχαριτών από τα άλλα είδη γάλακτος που είναι ~ 250-350 mg/L, ενώ στο πρόβειο και στο αγελαδινό περιέχονται ~ 20-40 και 30-60 mg/L, αντίστοιχα. Περιέχει δομές ουδέτερων αλλά και όξινων ολιγοσακχαριτών μοιάζουν με αυτές του μητρικού. Επιπλέον περιέχει τετραπλάσια ποσότητα σιαλικού οξέος (~230 mg/L) σε σχέση με το αγελαδινό, ενώ το μητρικό περιέχει περίπου 1 mg/L (Claeysetal. 2014, Moatsou, 2022). Για τους λόγους αυτούς το αίγιο γάλα έχει ενδιαφέρον ως πηγή ολιγοσακχαριτών για τα υποκατάστατα μητρικού γάλακτος (Giorgio et al., 2018).

Οι πληροφορίες για το κλάσμα των ολιγοσακχαριτών στο γάλα γαϊδούρας είναι περιορισμένες, αλλά φαίνεται πως παρουσιάζει μικρή συσχέτιση με του ανθρώπινου γάλακτος (Altomonte et al., 2019). Προς το παρόν είναι γνωστοί μόνο 3 όξινοι ολιγοσακχαρίτες οι 3-σιαλυλολακτόζη που εντοπίζεται σε

ποσότητες 0,014 g/L ενώ στο ανθρώπινο γάλα εντοπίζεται σε ποσότητες 0,20g/L, η 6-σιαλυλολακτόζη που εντοπίζεται σε ποσότητες 0,019 g/L ενώ στο ανθρώπινο γάλα εντοπίζεται σε ποσότητες 0,33 g/L και δισιαλυλο-λακτο-N-τετραόζη η οποία εντοπίζεται σε ποσότητες 0,008 g/L ενώ στο ανθρώπινο γάλα εντοπίζεται σε ποσότητες 0,50 g/L (Altomonte et al., 2019).

Το γάλα χοίρων αποτελεί μία πολύ καλή πηγή ολιγοσακχαριτών καθώς εμφανίζει υψηλή περιεκτικότητα συγκριτικά με άλλα είδη που είναι 11,85-12,19 g/L στο πρωτόγαλα και 6,82-6,98 g/L στο ώριμο γάλα. Έχουν προσδιορισθεί 94 δομές ολιγοσακχαριτών εκ των οποίων οι σιαλυλιωμένοι ολιγοσακχαρίτες αποτελούν περίπου το μισό του συνόλου. Ενώ τα επίπεδα αυτά είναι χαμηλότερα σε σχέση με το ανθρώπινο γάλα, είναι υψηλότερα από ό,τι σε άλλα γαλακτοπαραγωγά είδη, όπως τα βοοειδή και τα αιγοπρόβατα (Hobbsetal., 2024).

4. Αξιοποίηση μικροσυστατικών του ορού γάλακτος άλλων θηλαστικών σε υποκατάστατα του μητρικού γάλακτος

4.1. Το μητρικό γάλα

Το μητρικό γάλα η πιο κατάλληλη τροφή για νεογέννητα και βρέφη και συνδέεται με την εμφάνιση λιγότερων και συντομότερων μολύνσεων, με καλύτερη αναπτυξιακή πορεία και γνωστική ανάπτυξη, με διαφορετικό εντερικό μικροβίωμα και μικρότερη πιθανότητα ανάπτυξης παχυσαρκίας (Lønnerdal et al. 2017).

Το ώριμο μητρικό γάλα περιέχει 3-5% λίπος, 6,9-7,2% υδατάνθρακα εκφρασμένου ως λακτόζη, 0,8-0,9% πρωτεΐνη και 0,2% μέταλλα (Lyonsetal. 2020).

Μια ιδιαιτερότητα του λίπους του μητρικού γάλακτος σχετίζεται με το παλμιτικό οξύ που αντιστοιχεί στο ¼ των λιπαρών οξέων του και σε μεγάλο ποσοστό βρίσκεται στη θέση 2 του τριγλυκεριδίου, σε αντίθεση με το γάλα άλλων θηλαστικών. Κατά την ενζυμική υδρόλυση των τριγλυκεριδίων στο πεπτικό σύστημα του βρέφους απομακρύνονται τα λιπαρά οξέα στα άκρα του κορμού γλυκερόλης. Απομένει ένα μονογλυκερίδιο με το λιπαρό οξύ στη θέση

2 που διευκολύνει την διαλυτότητα και την απορρόφηση. Έχει αποδειχθεί πως το παλμιτικό οξύ στη θέση 2 στο λίπος του μητρικού γάλακτος έχει θετική επίδραση στην απορρόφηση του λίπους και των μετάλλων, στη λειτουργία του εντέρου και στο κλάμα των βρεφών (Demmelmaier & Koletzko, 2018).

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν τα λιπίδια εκτός των τριγλυκεριδίων του μητρικού γάλακτος. Στην ομάδα αυτή ανήκουν τα πολικά λιπίδια της μεμβράνης των λιποσφαιρίων (MFGM) όπως τα φωσφολιπίδια, τα οποία βρίσκονται σε συγκεντρώσεις 17.00–42.18 mg/100mL, ή 3.05–5.11 mg/g λίπους ή 1% των συνολικών λιπιδίων. Κυρίαρχο συστατικό αυτών των λιπιδίων είναι η σφιγγομυελίνη 29-30% του συνόλου, η οποία βρίσκεται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες σε σχέση με το γάλα άλλων θηλαστικών. Τα επόμενα πιο άφθονα πολικά λιπίδια είναι η φωσφατιδυλ-αιθανολαμίνη (19-38%) και η φωσφατιδυλ-χολίνη (10-36%). Από την σφιγγομυελίνη και την φωσφατιδυλ-χολίνη προσλαμβάνεται περίπου το 17% της συνολικής χολίνης που χρειάζονται τα βρέφη για την ανάπτυξη των οργάνων και των κυτταρικών μεμβρανών (Wei et al., 2019). Άλλα σύνθετα λιπίδια της MFGM του μητρικού γάλακτος με ειδικό ενδιαφέρον είναι η χοληστερόλη (9–15 mg/100 mL γάλακτος ή 0.5% των λιπιδίων) και τα γλυκοσφιγγολιπίδια ή γαγγλιοσίδια (15–20 mg/100 mL γάλακτος). Τα γαγγλιοσίδια περιέχουν ένα ή περισσότερα υπολείμματα σιαλικού οξέος, είναι το 6-10% των λιπιδίων του ανθρώπινου εγκεφάλου (Huërou-Luron et al. 2018, Wei et al., 2019).

Οι πρωτεΐνες στο μητρικό γάλα ανήκουν σε τρεις ομάδες που είναι οι πρωτεΐνες της μεμβράνης του λιποσφαιρίου, οι πρωτεΐνες ορού και οι καζεΐνες. Η πρώτη ομάδα βρίσκεται σε μικρές και σταθερές συγκεντρώσεις. Οι πρωτεΐνες ορού κυριαρχούν ως προς τη συνολική συγκέντρωση και περιλαμβάνουν κυρίως την α-λακταλβουμίνη, τη λακτοφερίνη και την διμερή (εκκριτική) ανοσογλοβουλίνη Α (sIgA). Οι συγκεντρώσεις της καζεΐνης και των πρωτεϊνών ορού αλλάζουν κατά τη διάρκεια της γαλουχίας, με την καζεΐνη να αυξάνει όσο μεγαλώνει το βρέφος. Μεταξύ 30 και 90 ημερών γαλουχίας η μέση σύσταση είναι περίπου, ως εξής: αναλογία πρωτεϊνών ορού προς καζεΐνη 61:39, α-λακταλβουμίνη 3 mg/mL, λακτοφερίνη 1,9 mg/mL, sIgA 1,1 mg/mL, λυσοζύμη 1 mg/mL (μεταξύ 2 και 4 εβδομάδων είναι 0,28 mg/mL), αλβουμίνη ορού 0,55 mg/mL, IgG 0,03 mg/mL και IgM 0,03 mg/mL. Οι βασικές καζεΐνες είναι η κ-καζεΐνη και η β-καζεΐνη, ενώ η της1-καζεΐνη βρίσκεται σε πολύ μικρές

ποσότητες. Η κ-καζεΐνη εμποδίζει την προσκόλληση παθογόνων βακτηρίων στα κύτταρα, ενώ κατά την πέψη της β-καζεΐνης προκύπτουν καζεΐνοφωσφοπεπτίδια που διευκολύνουν την μεταφορά του ασβεστίου και καζομορφίνες με ηρεμιστική δράση. Τέλος στο μητρικό γάλα είναι πολύ υψηλό το ποσοστό των απαραίτητων αμινοξέων που είναι περίπου 40-43% των συνολικών, την περίοδο 30-90 ημερών (Lönnnerdaletal., 2017).

Το 95-98% του λίπους του μητρικού γάλακτος είναι με τη μορφή τριγλυκεριδίων, που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα παλμιτικού οξέος (C16:0) στη θέση 2 της γλυκερόλης και ελαϊκού οξέος (C18:1) στις θέσεις 1 και 3. Τα πιο άφθονα είναι τα λιπαρά οξέα C10-C18, υπάρχουν τα απαραίτητα λινελαϊκό και λινολενικό (C18:2 και C18:3) και το πιο συχνό πολυακόρεστο είναι το αραχιδονικό. Το μητρικό γάλα περιέχει επαρκείς ποσότητες από τις περισσότερες βιταμίνες με εξαίρεση τις λιποδιαλυτές βιταμίνες Κ και D (Cimmino et al. 2023).

Περισσότεροι από 200 ολιγοσακχαρίτες του μητρικού γάλακτος (HMOs) έχουν προσδιορισθεί. Είναι σύνθετες δομές και αν και δεν πέπτονται, είναι το τρίτο πιο άφθονο συστατικό του μητρικού γάλακτος μετά τη λακτόζη και τα λιπίδια. Η συγκέντρωσή τους στο μητρικό πρωτόγαλα είναι 20–25 g/L και στο ώριμο γάλα 5–15 g/L (Lyons et al. 2020). Οι ολιγοσακχαρίτες του μητρικού γάλακτος διαφέρουν από του αγελαδινού γάλακτος λόγω της πολυπλοκότητας και της ποικιλίας τους. Οι γλυκοζιτικές συνδέσεις φουκόζης ή/και σιαλικού οξέος με τα βασικά μόρια ενισχύουν ακόμη περισσότερο την ποικιλομορφία των μορφών. Έχει αναφερθεί ότι η φουκόζη των χαρακτηριστικών φουκοζυλιωμένων ολιγοσακχαριτών του μητρικού γάλακτος συνδέεται γενετικά με την κάθε μητέρα ως προς την ομάδα αίματος (Mills et al., 2011).

Το μητρικό γάλα χαρακτηρίζεται από την παρουσία πολλών βιοενεργών συστατικών που ενισχύουν το ανοσοποιητικό σύστημα του βρέφους, όπως τα αντισώματα, οι ανοσογλοβουλίνες, η λακτοφερίνη, η λυσοζύμη, οι ολιγοσακχαρίτες (που αναφέρθηκαν προηγουμένως), αντιμικροβιακά πεπτίδια, αυξητικοί παράγοντες, λευκοκύτταρα και microRNAs. Στους αυξητικούς παράγοντες περιλαμβάνονται ο επιδερμικός αυξητικός παράγοντας, οι ινσουλινόμορφοι αυξητικοί παράγοντες 1 και 2 και νευρωνικοί αυξητικοί παράγοντες που ενισχύουν την επούλωση και την αύξηση των ιστών. Τα microRNAs (miRNAs) είναι μικρά μη-κωδικά RNAs που έχουν σημαντικό ρόλο

στη ρύθμιση της έκφρασης των γονιδίων. Μπορούν να περάσουν στον εξωκυτταρικό χώρο πακεταρισμένα σε εξωσώματα και θεωρείται πως βοηθούν την ανάπτυξη του ανοσοποιητικού συστήματος του βρέφους. Τέλος, έχει αποδειχθεί πως το μητρικό γάλα έχει το δικό του μοναδικό μικροβίωμα που περιλαμβάνει ωφέλιμα βακτήρια που δρουν συνεργιστικά και έχουν προβιοτικό δυναμικό (Lyons et al. 2020).

Επιπλέον στοιχεία αναφέρονται και στο κεφ. 3

4.2. Υποκατάστατα μητρικού γάλακτος

Τα υποκατάστατα μητρικού γάλακτος (IF) περιέχουν συστατικά που προέρχονται από το αγελαδινό γάλα, φυτικά έλαια και διάφορα μικροσυστατικά σε αναλογίες αντίστοιχες με του μητρικού γάλακτος. Προκειμένου να διαμορφωθεί η κατάλληλη αναλογία καζεϊνών προς πρωτεΐνες ορού είναι 30:70 για τα IF πρώτου σταδίου και 50:50 για τα FOF δευτέρου σταδίου (follow-on formula). Η ρύθμιση αυτής της αναλογίας μπορεί να γίνει με την προσθήκη προϊόντων πρωτεϊνών ορού που λαμβάνονται με υπερδιήθηση, κατά το σχήμα της Εικόνας (Lai et al. 2023).

Είναι συνηθισμένο τα λιπίδια των IF να προέρχονται από φυτικά έλαια. Στα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται για τις IF το μεγάλο ποσοστό του παλμιτικού βρίσκεται στις εξωτερικές θέσεις. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο η θέση αυτή είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη ακόμη και την καλή λειτουργία του νευρικού συστήματος των βρεφών (Demmelmair & Koletzko 2018).

Άλλη ιδιαιτερότητα των λιπιδίων του μητρικού γάλακτος που πρέπει να αντιμετωπισθεί κατά την παραγωγή των IF είναι τα λιπίδια εκτός των τριγλυκεριδίων, δηλαδή πολικά λιπίδια της μεμβράνης των λιποσφαιρίων (MFGM) όπως τα φωσφολιπίδια και άλλα σύνθετα λιπίδια που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι IF, με πηγή λιπιδίων φυτικά λιπαρά είναι ελλειμματικές ως προς τα παραπάνω συστατικά. Οι MFGM εξαιτίας των διαφορετικών συστατικών τους επηρεάζουν θετικά την υγεία των βρεφών με διάφορους μηχανισμούς. Συνοπτικά, οι επιδράσεις αυτές είναι η προστασία έναντι των παθογόνων μικροοργανισμών, η ρύθμιση της λειτουργίας του

ανοσοποιητικού συστήματος και του εντερικού μικροβιώματος και η ανάπτυξη του νευρικού συστήματος και των γνωστικών λειτουργιών (Huërou-Luronetal. 2018, Fontechaetal. 2020).

Τα φυτικά έλαια που χρησιμοποιούνται για τις IF είναι το λάδι καρύδας ως πηγή μικρών και μεσαίων λιπαρών οξέων, το φοινικέλαιο ως πηγή παλμιτικού οξέος και το ηλιέλαιο ή το σογιέλαιο (Huërou-Luron et al. 2018). Αλλά η θέση του παλμιτικού οξέος δεν είναι κατά κύριο λόγο στη θέση 2 του τριγλυκεριδίου, όπως συμβαίνει στο μητρικό γάλα και αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Η χρήση φυτικών ελαίων εξασφαλίζει την περιεκτικότητα των IF σε μακράς αλυσού πολυακόρεστα λιπαρά οξέα LCPUFAs, σε επίπεδα παρόμοια με του μητρικού γάλακτος (Huërou-Luron et al. 2018). LCPUFAs όπως τα δοκοσαεξανοϊκό οξύ (DHA), αραχιδονικό οξύ (AA) και εικοσαπεντανοϊκό οξύ (EPA) προστίθενται στις φόρμουλες βρεφικού γάλακτος. Επιπλέον με τη βοήθεια καταλυτών γίνεται σύνθεση των sn-2 παλμιτικών αλάτων (κυρίως 1,3-διολεοϋλο-2-παλμιτοϋλο-γλυκερόλη, OPO) με σκοπό τη μίμηση των τριγλυκεριδίων του μητρικού γάλακτος (Wei et al., 2019).

Τα φυτικά έλαια διασπείρονται με ομογενοποίηση δημιουργώντας μικρογαλακτώματα των λιπιδίων που σταθεροποιούνται από τις καζεΐνες με διάμετρο <0.5mm. Αντίθετα τα λιπίδια βρίσκονται στο μητρικό γάλα με τη μορφή των λιποσφαιρίων με διάμετρο 3–5mm, τα οποία περιβάλλονται από την MFGM που έχει τα πολύτιμα συστατικά που αναφέρθηκαν (Huërou-Luron et al. 2018). Η έρευνα με χορήγηση MFGM και των συστατικών της σε πειραματόζωα, βρέφη και μικρά παιδιά έχει δείξει πως δεν είχε παρενέργειες και είχε θετική επίδραση στην πέψη, την φυσιολογία και την προστασία έναντι παθογόνων (Huërou-Luron et al. 2018, Fonteshaetal. 2020). Το τυρόγαλα μπορεί να είναι πηγή τέτοιων συστατικών για τις IF επειδή περιέχει λιποσφαίρια (και άρα και MFGM) του γάλακτος της τυροκόμησης (Fontesha et al. 2020).

Τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση της κατάλληλης σύνθεσης των λιπιδίων περιγράφονται με τον όρο «υποκατάστατα λίπους μητρικού γάλακτος» (Human Milk Fat Substitutes ή HMFS). Εκτός από τα δομημένα στη θέση sn-2 τριγλυκερίδια χρησιμοποιούνται και άλλες κατηγορίες λιπιδίων. Ο όρος "HMFS" αρχικά χρησιμοποιείται για τις sn-2 δομημένα τριγλυκερίδια αλλά περιλαμβάνει και άλλα λειτουργικά λιπίδια με τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον Πίνακα 12 (από τους Wei et al., 2019).

Πίνακας 12 Τύποι και χαρακτηριστικά των ορισμένων υποκατάστατων λίπους ανθρώπινου γάλακτος (Human Milk Fat Substitutes ή HMFS) (από τους Weietal., 2019)

Τύπος HMFS	Σύνθεση	Χαρακτηριστικά
LCPUFA	Λιπαρά οξέα	<ul style="list-style-type: none"> • Λιπαρά οξέα με αλυσίδα με > 20 C με ακόρεστους δεσμούς, κυρίως DHA (22:6 n-3) και AA (20:4 n-6) • Θετική επίδραση στην όραση και την ανάπτυξη του νευρικού συστήματος του βρέφους. • Οι κύριες πηγές LCPUFA ως HMFS είναι το ιχθυέλαιο, τα ευκαρυωτικά φύκη και η μικροβιακή ζύμωση.
sn-2 παλμιτικό (β-παλμιτικό ή OPO ή Betapol)	Τριακυλογλυκερόλες (τριγλυκερίδια)	<ul style="list-style-type: none"> • Τριακυλογλυκερόλες ειδικής δομής με παλμιτικό οξύ (16:0) κυρίως στη θέση sn-2 • Μπορεί να αυξήσει την απορρόφηση ασβεστίου και να μαλακώσει τα κόπρανα • Συνήθης τρόπος παρασκευής είναι η τροποποίηση φυσικών/συνθετικών τριακυλογλυκερολών με τη χρήση λιπασών ειδικής περιοχής sn-1,3
MCT	Τριακυλογλυκερόλες (τριγλυκερίδια)	<ul style="list-style-type: none"> • Τριακυλογλυκερόλες που περιέχουν υψηλή ποσότητα λιπαρών οξέων μέσης αλυσίδας (κυρίως 8:0, 10:0 και 12:0) • Αυξημένη απορρόφηση λιπιδίων για βρέφη και ταχεία πηγή ενέργειας • Λαμβάνονται συνήθως με κλασμάτωση από τροπικά έλαια
Συμπλήρωμα MFGM	Σύνθετα λιπίδια	<ul style="list-style-type: none"> • Οι μεμβράνες (που γενικά αναφέρονται ως τριπλές στρώσεις) των λιποσφαιρίων του γάλακτος που περιέχουν βιοδραστικά συστατικά, όπως, σφιγγομυελίνη και γαγγλιοσίδια, χοληστερόλη, πρωτεΐνες κ.λπ.

4.3. Συστατικά του ορού γάλακτος άλλων ειδών σε υποκατάστατα μητρικού γάλακτος

Η αύξηση της περιεκτικότητας των υποκατάστατων του μητρικού γάλακτος σε συστατικά αντίστοιχα με του μητρικού γάλακτος μπορεί να γίνει μέσω της ενσωμάτωσης μικροσυστατικών του ορού του γάλακτος των μηρυκαστικών.

Καταρχήν, ο ορός του γάλακτος και συγκεκριμένα οι πρωτεΐνες τυρογάλακτος αποτελούν βασικό συστατικό των μιγμάτων που χρησιμοποιούνται για παρασκευή IF. Αυτό γίνεται για να επιτευχθεί η αναλογία καζεϊνών προς πρωτεΐνες ορού 30:70 για τα IF πρώτου σταδίου και 50:50 για τα FOF δευτέρου σταδίου. Μέσω αυτής της εφαρμογής εμπλουτίζεται το προϊόν και με άλλα συστατικά του ορού του γάλακτος (εκτός των πρωτεϊνών) άλλων ειδών θηλαστικών. Επιπλέον, μπορεί να γίνει και εμπλουτισμός με μεμονωμένες ομάδες συστατικών που βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο μητρικό γάλα είναι πολύ σημαντικά για την ανάπτυξη των βρεφών.

Τα βρέφη που δεν λαμβάνουν μητρικό γάλα, συνήθως, τρέφονται με φόρμουλες από αγελαδινό γάλα, το οποίο δεν περιλαμβάνει ανθρώπινους ολιγοσακχαρίτες (HMOs). Ο σημαντικός ρόλος αυτών των συστατικών του μητρικού γάλακτος για την ανάπτυξη των βρεφών έχει αναφερθεί προηγουμένως. Λόγω της πολυπλοκότητας των ανθρώπινων ολιγοσακχαριτών (HMOs) και της δυσκολίας και του υψηλού κόστους παραγωγής παρόμοιων συνθετικών δομών, μη-ανθρώπινοι ολιγοσακχαρίτες περιλαμβάνονται συνήθως σε βρεφικές φόρμουλες από αγελαδινό γάλα. Οι Ackermanetal. (2017) παρουσιάζουν τους ολιγοσακχαρίτες που χρησιμοποιούνται αυτοτελώς ή σε συνδυασμούς για τις IF εμπορίου ή κλινικών δοκιμών και το βαθμό πολυμερισμού τους. Είναι οι γαλακτοολιγοσακχαρίτες (GOS) με βαθμό πολυμερισμού 2-8, οι φρουκτοολογοσακχαρίτες (FOS) με 2-8, η ινουλίνη (IN) με 3-60, η λακτουλόζη με 2 (LOS) και η πολυδεξτρόζη (PDX) με 3-30. Οι GOS είναι ολιγομερή της γαλακτόζης που συνθέτονται από την λακτόζη και βρίσκονται σε μικρές ποσότητες στο μητρικό γάλα. Οι FOS είναι πολυμερή της λακτόζης που έχουν και γλυκαντική επίδραση και απουσιάζουν από το μητρικό γάλα (Buhrer et al. 2022). Η προσθήκη σε ποσοστό < 0.8 g/100

mL μιγμάτων που περιέχουν 90% GOS (ολιγογαλακτοζυλο-λακτόζη) και 10% FOS (ολιγοφρουκτοζυλο-σακχαρόζη) μακράς αλύσου θεωρείται ασφαλής από την EFSA (2014) και την ΕΕ (2016).

Όπως αναφέρθηκε στο κεφ. 3 οι ολιγοσακχαρίτες του αίγιου γάλακτος είναι περισσότεροι και έχουν μεγαλύτερη ποικιλία δομών και περιλαμβάνουν και κάποιες παρόμοιες με τους HMOs του μητρικού γάλακτος. Για τον λόγο αυτό προτείνεται να χρησιμοποιείται το κλάσμα των αίγιων ολιγοσακχαριτών σε IF ή να χρησιμοποιούνται IF με βάση το αίγιο γάλα, οι οποίες κυκλοφορούν και ως εμπορικά προϊόντα τα τελευταία χρόνια (Sousa et al. 2019, van Leeuwen et al. 2020). Οι Tolenaars et al. (2021) βρήκαν σε IF και FOF με 40% και 66% στερεά συστατικά από αίγιο γάλα υψηλές συγκεντρώσεις σιαλικού οξέος 8,7 και 11,7 mg/100 mL, αντίστοιχα. Όμως το μεγαλύτερο μέρος του ήταν ο τύπος Neu5Gc, ο οποίος υπάρχει μόνο σε ίχνη στο μητρικό γάλα.

Άλλα μικροσυστατικά του μητρικού γάλακτος είναι τα νουκλεοτίδια, τα οποία σύμφωνα με την ΕΕ (2016) στις IF δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 1,2 mg/100 kJ (5 mg/100 kcal). Εάν προστεθούν, οι μέγιστες περιεκτικότητες είναι cytidine 5'-monophosphate (CMP) 2,5 mg/100 kcal, uridine 5'-monophosphate (UMP) 1,75 mg/100 kcal, adenosine 5'-monophosphate (AMP) 1,50 mg/100 kcal, guanosine 5'-monophosphate (GMP) 0,50 mg/100 kcal και inosine 5'-monophosphate (IMP) 1,00 mg/100 kcal. Σύμφωνα πάντως με την EFSA (2014) δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη τους στις IF και FOF. Οι Tolenaar et al. (2021) βρήκαν σε IF και FOF με 40% και 66% στερεά συστατικά από αίγιο γάλα υψηλές συγκεντρώσεις νουκλεοτιδίων που προέρχονταν από το γάλα και όχι από εξωγενείς προσθήκες. Οι συγκεντρώσεις αυτές ήταν 2,7 mg/100kcal ή 1,82/100 mL για την IF και 4,7 mg/100kcal ή 2,99 mg/100 mL για την FOF. Επίσης, οι Lai et al. (2023) βρήκαν σε πειραματικές IF με βάση το πρόβιο γάλα νουκλεοτίδια, νουκλεοζίδια και γλυκοζυλιωμένα νουκλεοτίδια, όπως τα UDP-galactose, UDP-glucose, Uridine, UDPGlcNAc και UDP-GalNAc. Επίσης δεν βρήκαν οροτικό οξύ, το οποίο δεν υπάρχει στο μητρικό αλλά υπάρχει στο αγελαδινό γάλα.

Για την ινοσιτόλη επιτρέπεται σε αυτά τα προϊόντα κατώτατη συγκέντρωση 4 και ανώτατη 40 mg/100 kcal. Η περιεκτικότητα σε L-καρνιτίνη πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με 0,3 mg/100 kJ (1,2 mg/100 kcal) και σε

χολίνη 25 mg/100 kcal έως 50 mg/100 kcal). Η περιεκτικότητα αυτών των συστατικών πρέπει να δηλώνεται υποχρεωτικά στις IF ενώ δεν είναι απαραίτητη η προσθήκη τους στις FOF (EE 2016, EFSA 2014). Οι Lai et al. (2023) βρήκαν σε πειραματικές IF με βάση το πρόβειο γάλα 2 mg/L χολίνη και 2,8 mg/L O-Phosphocholine και 14,5 mg/L n-Glycero-3-phosphocholine.

Οι Tolenaars et al. (2021) προσδιόρισαν σε IF και FOF με 40% και 66% στερεά συστατικά από αίγιο γάλα 16,1 και 32,7 μg/100mL πολυαμίνες, αντίστοιχα και αναφέρουν πως οι συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά κοντά με αυτές του μητρικού γάλακτος.

Όμως το τυρόγαλα εκτός από πηγή διαλυτών πρωτεϊνών και διαλυτών μικροσυστατικών μπορεί να είναι και πηγή λιποσφαιρίων, δηλαδή λίπους και συστατικών της μεμβράνης του λιποσφαιρίου (MFGM), επειδή περιέχει λίπος που μπορεί εύκολα να απομονωθεί. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η MFGM είναι πηγή φωσφολιπιδίων. Η ποσότητα φωσφολιπιδίων σε παρασκευάσματα για βρέφη δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2 g/L (EE 2016). Οι Gallieretal. (2020) αναφέρουν πως όταν μία φόρμουλα περιέχει εκτός από φυτικά έλαια και λίπος αίγιου γάλακτος πλεονεκτεί σε σχέση με τον συνηθισμένο τύπο που περιέχει άπαχο αγελαδινό γάλα, πρωτεΐνες ορού και φυτικά έλαια με ή χωρίς παλμιτικό. Ο συνδυασμός φυτικού ελαίου και λίπους αίγιου γάλακτος έχει σύσταση παρόμοια με του λίπους του μητρικού γάλακτος. Μάλιστα, η χρήση μόνο φυτικών ελαίων και άλλων φυτικών συστατικών έχει ορισμένα αντι-διατροφικά χαρακτηριστικά, όπως ο αναστολέας της τρυψίνης, το φυτικό οξύ, τα φυτοοιστρογόνα και η ανεπιθύμητη γεύση. Όταν συμμετέχει στη σύστασή τους λίπος του αίγιου γάλακτος, οι IF εμπλουτίζονται με συζευγμένο λινελαϊκό οξύ (CLA), με μεσαίας αλύσεως λιπαρά οξέα, με β-κετοοξέα C16 και C18 και διακλαδισμένα λιπαρά οξέα όπως το 4-μεθυλ- και 4-αιθυλοκτανοϊκό οξύ σε επίπεδα παρόμοια με του μητρικού γάλακτος (Gallier et al. 2020).

5. Συμπεράσματα

Το γάλα είναι μια άφθονη πηγή συστατικών με διατροφική και βιολογικά αξία που μπορούν να ενισχυθούν ή/και να τροποποιηθούν περαιτέρω ώστε να ωφελήσουν τους καταναλωτές όλων των ηλικιών στο μέγιστο βαθμό. Ιδιαίτερη αξία έχει το διαλυτό κλάσμα του γάλακτος που μπορεί να παραληφθεί με τη μορφή διαφόρων τύπων ορών, όπως ο ορός της τυροκόμησης που είναι το τυρόγαλα.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες προϊόντων τυρογάλακτος με πιο διαδεδομένα τα προϊόντα πρωτεΐνης ορού γάλακτος, τα οποία χρησιμοποιούνται στις συστατικά άλλων τροφίμων ή ως φαρμακο-τρόφιμα. Πολύ σημαντικό είναι το κλάσμα του μη-πρωτεϊνικού αζώτου καθώς περιέχει συστατικά με σημαντική βιολογική αξία, όπως τα ελεύθερα αμινοξέα, τα νουκλεοτίδια και τα νουκλεοζίδια, και οι πολυαμίνες. Εκτός από τα αζωτούχα συστατικά σημαντική βιολογική αξία έχουν τα μέταλλα (ανόργανα συστατικά), οι υδατοδιαλυτές βιταμίνες και μικροσυστατικά όπως οι ολιγοσακχαρίτες. Παρατηρούνται διαφορές ως προς αυτά τα συστατικά μεταξύ διαφορετικών ειδών γάλακτος με το γάλα των μικρών μηρυκαστικών να παρουσιάζει αξιόλογες διαφοροποιήσεις σε σχέση με το αγελαδινό.

Το τυρόγαλα είναι βασικό συστατικό των υποκατάστατων του μητρικού γάλακτος. Εκτός από πηγή πρωτεϊνών, το τυρόγαλα εμπλουτίζει τα προϊόντα αυτά και με άλλα απαραίτητα μικροσυστατικά. Η έρευνα των τελευταίων ετών έχει παρουσιάσει ευρήματα πως τα υποκατάστατα με βάση το αίγαιο γάλα πλεονεκτούν ως προς τη σύσταση του λίπους αλλά και μικροσυστατικών έναντι των κλασικών που έχουν βάση το αγελαδινό γάλα. Φαίνεται επίσης πως και ο ορός και το λίπος του πρόβειου γάλακτος παρουσιάζουν ενδιαφέρον για ενσωμάτωση σε αυτά τα προϊόντα.

BIBΛIOΓPAΦIA

- Ackerman D.L., Craft K.M., Townsend S.D. (2017) Infant food applications of complex carbohydrates: Structure, synthesis, and function. *Carbohydrate Research*, 437, 16 – 27.
- Albenzio, M., & Santillo, A. (2011). Biochemical characteristics of ewe and goat milk: Effect on the quality of dairy products. *Small Ruminant Research*, 101(1-3), 33-40.
- Albrecht, S., Lane, J. A., Marino, K., Al Busadah, K. A., Carrington, S. D., Hickey, R. M., & Rudd, P. M. (2014). A comparative study of free oligosaccharides in the milk of domestic animals. *British Journal of Nutrition*, 111(7), 1313-1328.
- Alichanidis, E., Moatsou, G. and Polychroniadou, A. (2016). The composition and the properties of non-cow milks and products. In: *Non-Bovine Milk and Milk Products*, Academic Press, UK.
- Altomonte, I., Salari, F., Licitra, R., & Martini, M. (2019). Donkey and human milk: Insights into their compositional similarities. *International Dairy Journal*, 89, 111-118.
- Argenta A.B. & De Paula Scheer A. (2020) Membrane Separation Processes Applied to Whey: A Review. *Food Reviews International*, 36, 499-528.
- Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Ferrão, L. L., Almada, C. N., Santillo, A., Albenzio, M., ... & Cruz, A. G. (2017). Sheep milk: physicochemical characteristics and relevance for functional food development. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 16(2), 247-262.
- Barłowska, J., Szwajkowska, M., Litwińczuk, Z., & Król, J. (2011). Nutritional value and technological suitability of milk from various animal species used for dairy production. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 10(6), 291-302.
- Bintsis, T.; Papademas, P. (2023). Sustainable Approaches in Whey Cheese Production: A Review. *Dairy*, 4, 249–270.
- Blanca Hernández-Ledesma, Mercedes Ramos, José Ángel Gómez-Ruiz (2011) Bioactive components of ovine and caprine cheese whey. *Small Ruminant Research* 101, 1–3, 196-204.
- Bührer C., Ensenauer R., Jochum F., Kalhoff H., Koletzko B., Lawrenz B., Mihatsch W., Posovszky C., Rudloff S. (2022). Infant formulas with synthetic oligosaccharides and respective marketing practices. *Molecular and Cellular Pediatrics*, 9 (1), art. no. 14.
- Chen, L., Li, X., Li, Z., & Deng, L. (2020). Analysis of 17 elements in cow, goat, buffalo, yak, and camel milk by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *RSC advances*, 10(12), 6736-6742.
- Cimmino F., Catapano A., Villano I., Di Maio G., Petrella L., Traina G., Pizzella A., Tudisco R., Cavaliere G. (2023). Invited review: Human, cow, and donkey milk comparison: Focus on metabolic effects. *Journal of Dairy Science*, 106, 3072-3085.

- Claeys W.L., Verraes C., Cardoen S., De Block J., Huyghebaert A., Raes K., Dewettinck K., Herman L. (2014) Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food Control*, 42, 188 – 201.
- Demmelmair H., Koletzko B. (2018) Lipids in human milk. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* 32, 57-68.
- ΕΕ (2016). ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) 2016/127 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ όσον αφορά τις ειδικές απαιτήσεις ως προς τη σύνθεση και τις πληροφορίες για τα παρασκευάσματα για βρέφη και τα παρασκευάσματα δεύτερης βρεφικής ηλικίας, καθώς και όσον αφορά τις απαιτήσεις πληροφόρησης σχετικά με τη διατροφή των βρεφών και των μικρών παιδιών. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, L 25/1.
- EFSA (2014). European Food Safety Authority: Scientific opinion on the suitability of goat milk protein as a source of protein in infant formulae and follow-on formulae. *EFSA Journal* 2014,12(7), 3760-3806.
- Fantuz, F., Ferraro, S., Todini, L., Piloni, R., Mariani, P., & Salimei, E. (2012). Donkey milk concentration of calcium, phosphorus, potassium, sodium and magnesium. *International Dairy Journal*, 24(2), 143-145.
- Fantuz, F., Ferraro, S., Todini, L., Cimarelli, L., Fatica, A., Marcantoni, F., & Salimei, E. (2020). Distribution of calcium, phosphorus, sulfur, magnesium, potassium, and sodium in major fractions of donkey milk. *Journal of dairy science*, 103(10), 8741-8749.
- Fontecha, J.; Brink, L.; Wu, S.; Pouliot, Y.; Visioli, F.; Jiménez-Flores, R. (2020) Sources, Production, and Clinical Treatments of Milk Fat Globule Membrane for Infant Nutrition and Well-Being. *Nutrients*, 12, 1607.
- Galitsopoulou, A., Michaelidou, A. M., Menexes, G., & Alichanidis, E. (2015). Polyamine profile in ovine and caprine colostrum and milk. *Food Chemistry*, 173, 80-85.
- Gallier, S., Tolenaars, L. and Prosser, C. (2020). Whole goat milk as a source of fat and milk fat globule membrane in infant formula, *Nutrients* 12(11), 3486.
- Gaucheron F. (2011) Milk and Dairy Products: A Unique Micronutrient Combination, *Journal of the American College of Nutrition*, 30, sup5, 400S-409S.
- Gaucheron F. (2011) Milk salts. Distribution and Analysis. *Encyclopedia of Dairy Science*.
- Gill, B. D., & Indyk, H. E. (2007). Determination of nucleotides and nucleosides in milks and pediatric formulas: a review. *Journal of AOAC International*, 90(5), 1354-1364.
- Gill, B. D., Indyk, H. E., & Manley-Harris, M. (2011). Determination of total potentially available nucleosides in bovine milk. *International dairy journal*, 21(1), 34-41.
- Gill, B. D., Indyk, H. E., & Manley-Harris, M. (2012). Determination of total potentially available nucleosides in bovine, caprine, and ovine milk. *International dairy journal*, 24(1), 40-43.
- Giorgio, D., Di Trana, A., & Claps, S. (2018). Oligosaccharides, polyamines and sphingolipids in ruminant milk. *Small Ruminant Research*, 160, 23-30.
- Guo, H. Y., Pang, K., Zhang, X. Y., Zhao, L., Chen, S. W., Dong, M. L., & Ren, F. Z. (2007). Composition, physicochemical properties, nitrogen fraction distribution,

- and amino acid profile of donkey milk. *Journal of dairy science*, 90(4), 1635-1643.
- Hobbs, M., Jahan, M., Ghorashi, S. A., & Wang, B. (2021). Current perspective of sialylated milk oligosaccharides in mammalian milk: implications for brain and gut health of newborns. *Foods*, 10(2), 473.
- Kunz C., Rudloff S. (2006). Health promoting aspects of milk oligosaccharides. *International Dairy Journal*, 16 (11), 1341 – 1346.
- Lai, G.; Caboni, P.; Piras, C.; Pes, M.; Sitzia, M.; Addis, M.; Pirisi, A.; Scano, P. (2023). Development and Chemico-Physical Characterization of Ovine Milk-Based Ingredients for Infant Formulae. *Applied Sciences*, 13, 653.
- Landi, N., Ragucci, S., & Di Maro, A. (2021). Amino acid composition of milk from cow, sheep and goat raised in Ailano and Valle Agricola, two localities of 'Alto Casertano'(Campania Region). *Foods*, 10(10), 2431.
- Larqu e, E., Sabater, M. and Zamora, S. (2007). Biological significance of dietary polyamines, *Nutrition* 23, 87–95.
- Le Hu rou-Luron, I., Lemaire, M., Blat, S., (2018). Health benefits of dairy lipids and MFGM in infant formula. 2013. *OCL* 25 (3), D306.
- Li, Y., Gill, B. D., Grainger, M. N., & Manley-Harris, M. (2019). The analysis of vitamin B12 in milk and infant formula: A review. *International Dairy Journal*, 99, 104543.
- Lonnerdal, B., Erdmann, P., Thakkar, S. K., Sauser, J., & Destailats, F. (2017). Longitudinal evolution of true protein, amino acids, and bioactive proteins in breast milk: A developmental perspective. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 41, 1-11.
- Lyons K.E., Ryan C.A., Dempsey E.M., Ross R.P., Stanton C. (2020) Breast milk, a source of beneficial microbes and associated benefits for infant health. *Nutrients*, 12 (4), art. no. 1039.
- Lonnerdal, B., Erdmann, P., Thakkar, S. K., Sauser, J., & Destailats, F. (2017). Longitudinal evolution of true protein, amino acids, and bioactive proteins in breast milk: A developmental perspective. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 41, 1-11.
- Lyons K.E., Ryan C.A., Dempsey E.M., Ross R.P., Stanton C. (2020) Breast milk, a source of beneficial microbes and associated benefits for infant health. *Nutrients*, 12 (4), art. no. 1039.
- Martemucci, G., & Gabriella D'Alessandro, A. (2013). Progress in nutritional and health profile of milk and dairy products: a novel drug target. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Immune, Endocrine & Metabolic Disorders)*, 13(3), 209-233.
- Matte J.J., Guay F., Girard C.L. (2012) Bioavailability of vitamin B 12 in cows' milk. *British Journal of Nutrition*, 107, 61 – 66.
- Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., et al. (2021). Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*, 87, Article 104760.

- Minj S. & Anand S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy* 2020, 1, 233–258.
- Moatsou, G. (2010). Indigenous enzymatic activities in ovine and caprine milks. *International journal of dairy technology*, 63(1), 16-31.
- Moatsou, G., & Sakkas, L. (2019). Sheep milk components: Focus on nutritional advantages and biofunctional potential. *Small Ruminant Research*, 180, 86-99.
- Mills, S., Ross, R. P., Hill, C., Fitzgerald, G. F., & Stanton, C. (2011). Milk intelligence: Mining milk for bioactive substances associated with human health. *International dairy journal*, 21(6), 377-401.
- Moatsou, G. (2010). Indigenous enzymatic activities in ovine and caprine milks. *International journal of dairy technology*, 63(1), 16-31.
- Moatsou G. (2022). Milk composition and properties: interspecies comparison. In: Understanding and improving the functional and nutritional properties of milk. T. Huppertz & T. Vasiljevic (Editors), Burleigh Dodds Science Publishing Limited (Eds), Sawston, Cambridge, UK.
- Nagpal R., Behare P., Rana R., Kumar A., Kumar M., Arora S., Morotta F., Jain S., Yadav H. (2011). Bioactive peptides derived from milk proteins and their health beneficial potentials: An update *Food and Function*, 2, 18 – 27.
- Nohr D., Biesalski H.K., Back E.I. (2011). Viatmin B12. Biotin. Niasin. Riboflavin. Pantothenic acid. *Encyclopedia of Dairy Science*.
- Oliveira D.L., Wilbey R.A., Grandison A.S., Roseiro L.B. (2015) Milk oligosaccharides: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 68 (3), 305 - 321
- Prosser, C. G. (2021). Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula. *Journal of food science*, 86(2), 257-265.
- Ragaller V., Hüther L., Lebzien P. (2009). Folic acid in ruminant nutrition: A review. *British Journal of Nutrition*, 101, 153 – 164.
- Raynal-Ljutovac, K., Lagriffoul, G., Paccard, P., Guillet, I., & Chilliard, Y. (2008). Composition of goat and sheep milk products: An update. *Small ruminant research*, 79(1), 57-72.
- Roy, D., Ye, A., Moughan, P. J., & Singh, H. (2020). Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species—A review. *Frontiers in Nutrition*, 7, 577759.
- Salimei, E., & Fantuz, F. (2012). Equid milk for human consumption. *International dairy journal*, 24(2), 130-142.
- Seifu, E., Buys, E. M., & Donkin, E. F. (2005). Significance of the lactoperoxidase system in the dairy industry and its potential applications: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 16(4), 137-154.
- Sousa, Y.R.F., Medeiros, L.B., Pintado, M.M.E. and Queiroga, R.C.R.E. (2019). Goat milk oligosaccharides: composition, analytical methods and bioactive and nutritional properties, *Trends Food Sci. Technol.* 92, 152–161.
- Tolenaars L., Romanazzi D., Carpenter E., Gallier S., Prosser C.G. (2021). Minor dietary components intrinsic to goat milk and goat milk formulas. *International Dairy Journal*, 117, art. no. 105012

- Tsermoula P., Khakimov B., Nielsen J.H., Engelsen S.B., WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product, *Trends in Food Science & Technology*, 118, Part A, 2021, 230-241
- Vahčić N., Hruškar M., Marković K., Banović M., Colić I.B. (2010). Essential minerals in milk and their daily intake through milk consumption. *Mljekarstvo* 60, 77-85.
- van Leeuwen, S. S., Te Poele, E. M., Chatziioannou, A. C., Benjamins, E., Haandrikman, A., Dijkhuizen, L. (2020). Goat milk oligosaccharides: their diversity, quantity, and functional properties in comparison to human milk oligosaccharides, *J. Agric. Food Chem.* 68(47), 13469–13485.
- Vincenzetti, S., Pucciarelli, S., Nucci, C., Polzonetti, V., Cammertoni, N., & Polidori, P. (2014). Profile of nucleosides and nucleotides in donkey's milk. *Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids*, 33(10), 656-667.
- Wei W., Qingzhe J., Xingguo W. (2019) Human milk fat substitutes: Past achievements and current trends. *Progress in Lipid Research* 74, 69-86.
- Yadav J.S.S., Yan S., Pilli S., Kumar L., Tyagi R.D., Surampalli R.Y. (2015) Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides, *Biotechnology Advances*, 33 (6), 756 – 774.
- Zamberlin, Š., Antunac, N., Havranek, J., & Samaržija, D. (2012). Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo: časopis za unapređenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 62(2), 111-125.