

# **ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου  
Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών**

**ΔΠΜΣ "Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παραγωγής Γάλακτος και Γαλακτοκομικών Προϊόντων"**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**«Μελέτη των χαρακτηριστικών σκόνης του αίγειου γάλακτος»**

*του Αλέξανδρου Σακαρίκα*

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

Μασούρας Θεόφιλος, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων)  
Μοάτσου Γκόλφω, Επίκουρος Καθηγήτρια, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών  
Παπαδάκης Σπύρος, Καθηγητής, ΤΕΙ Αθηνών

**Αθήνα 2016**

# **ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων και Διατροφής του Ανθρώπου  
Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής & Υδατοκαλλιεργειών**

**ΔΠΜΣ "Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παραγωγής Γάλακτος και Γαλακτοκομικών  
Προϊόντων"**

## **ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ**

**«Μελέτη των χαρακτηριστικών σκόνης του αίγειου  
γάλακτος»**

*του Αλέξανδρου Σακαρίκα*

### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

Μασούρας Θεόφιλος, Αναπληρωτής Καθηγητής,  
Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπων)  
Μοάτσου Γκόλφω, Επίκουρος Καθηγήτρια, Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών  
Παπαδάκης Σπύρος, Καθηγητής, ΤΕΙ Αθηνών

**Αθήνα 2016**

## Περίληψη

Η σκόνη προερχόμενη από αγελαδινό γάλα είναι σημαντικό προϊόν της βιομηχανίας τροφίμων λόγω της χρησιμοποίησης και μεταποίησης με πολλούς τρόπους, αλλά πιο σημαντικό με λιγότερους περιορισμούς σε ότι αφορά τη διάρκεια ζωής της. Ωστόσο κάτι αντίστοιχο δεν ισχύει για τις σκόνες προερχόμενες από άλλους τύπους γάλακτος. Πιο συγκεκριμένα η σκόνη αίγειου γάλακτος υπάρχει πολύ περιορισμένα στο εμπόριο καθώς στις χώρες όπου παράγεται σκόνη δεν υπάρχει μεγάλη παραγωγή σε αίγειο γάλα. Σημαντικό παράγοντα έχει και η ίδια η φύση του αίγειου γάλακτος, καθώς η οσμή του είναι απωθητική στο αγοραστικό κοινό. Στην εργασία αυτή αναλύεται η παραγωγή σκόνης αίγειου γάλακτος σε συνθήκες εργαστηρίου, και η συλλογή στοιχείων (μέσω αναλύσεων) για το τελικό προϊόν.

## Abstract

The powder derived from cow's milk is an important product of the food industry is thanks to its ability to be used and processed in many ways, but most importantly with fewer restrictions in terms of durability. But something similar is not valid for powders derived from other types of milk. More specifically, the goat milk powder is too limited to trade, as in the countries where powder is produced there is not much production in goat milk. An important factor is the nature of goat milk itself, since the odor is repellent to the public. This paper analyzes the goat milk powder production in laboratory conditions, and data collection (through analysis) for the finished product.

Key words: σκόνη αίγειου γάλακτος, spray dry, ξήρανση

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	4
Λειτουργικές ιδιότητες της σκόνης γάλακτος.....	5
Σχήμα των σωματιδίων της σκόνης.....	5
Μέγεθος σωματιδίων.....	5
Ρευστότητα.....	6
Ιδιότητες ανάμειξης.....	7
Ιδιότητες άφρησης.....	8
Θερμική σταθερότητα του αποξηραμένου γάλακτος.....	9
Παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργικές ιδιότητες της σκόνης γάλακτος.....	9
Τύπος της τροφοδοσίας.....	9
Πρόσθετα.....	9
Ολικά στερεά του συμπυκνώματος του γάλακτος.....	10
Θέρμανση του συμπυκνώματος.....	10
Θερμοκρασία κατά τη συμπύκνωση.....	10
Προθέρμανση και ομογενοποίηση του συμπυκνώματος.....	10
Τύπος ξηραντήρα.....	10
Θερμοκρασία εισόδου.....	11
Συσσωμάτωση μετά την ξήρανση.....	11
Σταθερότητα κατά την αποθήκευση.....	11
Ιδιότητες της σκόνης γάλακτος.....	12
Περιεκτικότητα σε υγρασία.....	12
Υγροσκοπικότητα.....	12
Επίπεδα ελεύθερου λίπους.....	12
Συσσωμάτωση και χρήση λεκιθίνης.....	13
Κατεστραμμένα (καμένα) σωματίδια.....	13
Τύποι σκόνης προερχόμενες από γαλακτοκομικά προϊόντα.....	14

Σκόνες γάλακτος ταξινομημένες με βάση τη θερμική τους επεξεργασία.....	14
Θερμικά ευσταθείς σκόνες.....	14
Σκόνη γάλακτος, υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, παραγόμενη από υπερφιλτραρισμένα κατακρατήματα.....	15
Σκόνη βουτυρογάλακτος.....	16
Σκόνη ορού γάλακτος και οι παραλλαγές του.....	16
Σκόνες για τον καφέ.....	17
Σκόνη βουτύρου.....	17
Σκόνη τυριού.....	17
Το αίγιο γάλα και ο ρόλος του στη διατροφή του ανθρώπου.....	18
Η πρωτεΐνη του αίγιου γάλακτος.....	19
Το λίπος του αίγιου γάλακτος.....	21
Λοιπά συστατικά του αίγιου γάλακτος.....	22
Προϊόντα αίγιου γάλακτος.....	23
Σκόνη αίγιου γάλακτος.....	24
Μέθοδοι ξήρανσης.....	25
Ξήρανση με ψεκασμό.....	25
Συμπύκνωση πριν την ξήρανση.....	26
Διάταξη διεργασίας ξήρανσης.....	26
Λυοφιλίωση.....	30
Αρχή λειτουργίας της μεθόδου.....	31
Διαδικασία λυοφιλίωσης.....	32
Διάταξη διεργασίας λυοφιλίωσης.....	33
Υλικά και μέθοδοι.....	36
Γάλα προς ξήρανση.....	36
Ξήρανση με ψεκασμό.....	36
Λυοφιλίωση.....	36

Προσδιορισμός χρώματος.....	37
Προσδιορισμός σύστασης.....	37
Προσδιορισμός αρωματικών ουσιών.....	37
Αποτελέσματα.....	38
Προσδιορισμός χρώματος.....	38
Προσδιορισμός σύστασης.....	39
Προσδιορισμός αρωματικών ουσιών.....	42
Συμπεράσματα.....	46
Βιβλιογραφία.....	47

## Εισαγωγή

Η πρόοδος της μηχανικής τροφίμων σε συνδυασμό με τη συνεχή ζήτηση για ποικιλία και νέα διατροφικά προϊόντα έχουν οδηγήσει σε σημαντική αύξηση των εμπορικών διατροφικών συστατικών. Τα περισσότερα συστατικά παρέχονται σε μορφή σκόνης και για αυτό το λόγο η τεχνολογία παραγωγής σκόνης είναι ένα όλο και πιο σημαντικό ζήτημα για τους παραγωγούς τροφίμων. Τα δύο κύρια στοιχεία που καθιστούν τις σκόνες τροφίμων τόσο σημαντικές είναι η βιολογική τους προέλευση και το γεγονός ότι τελικά καταναλώνονται από ανθρώπους και ζώα. Οι κύριοι λόγοι για την παραγωγή σε μορφή σκόνης είναι απλοί. Πρώτον, για να επεκταθεί ο χρόνος ζωής του συστατικού μέσω της μείωσης του νερού σε αυτό, εναλλακτικά το συστατικό αυτό θα υποβαθμιστεί. Δεύτερον, με την απώλεια του υγρού μειώνεται ο όγκος του συστατικού και κατά συνέπεια και ο χώρος αποθήκευσης. Συνοπτικά, δηλαδή, η σημαντική λειτουργία της μετατροπής σε σκόνη είναι η ικανότητα να διατηρεί τη σταθερότητα της λειτουργικότητας του συστατικού μέχρι αυτό να χρησιμοποιηθεί, συνήθως σε ανάμειξη με υγρό.

Οι λόγοι χρησιμοποίησης συστατικών σε σκόνη στη βιομηχανία τροφίμων είναι αρκετοί και διάφοροι και μπορούν να διακριθούν σε πρόσδωση ιδιοτήτων φυσικών/ χημικών (π.χ. βελτίωση πήξης, άφρηση, έλεγχος οξύτητας), θρεπτικών (π.χ. αύξηση πρωτεΐνης, βιταμινών) και οργανοληπτικών (π.χ. χρώμα, οσμή, γεύση).

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία από διατροφικά συστατικά διαθέσιμα σε μορφή σκόνης. Ένα από τα πιο συχνά προϊόντα που βρίσκεται σε μορφή σκόνης είναι το γάλα το οποίο είναι και από τα αρχαιότερα που παρήχθησαν σε σκόνη. Η πρώτη σύγχρονη διαδικασία παραγωγής για ξήρανση γάλακτος εφευρέθηκε από τον Ρώσο Φυσικό Osip Krichevsky, ενώ η πρώτη εμπορική παραγωγή οργανώθηκε από το επίσης Ρώσο φυσικό M. Dirchoff το 1832.

Επειδή από τη φύση τους τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι ευπαθή κατά τη διάρκεια του χρόνου, υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα χάρη στη μετατροπή σε σκόνη, δεδομένου ότι σε αυτή τη μορφή αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους και δημιουργεί τη δυνατότητα για αποθήκευση για εκτεταμένο χρονικό διάστημα χωρίς μεγάλη απώλεια στα συστατικά του, ακόμα και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Οι σκόνες γαλακτοκομικών προϊόντων δεν χρησιμοποιούνται μόνο για επανασύσταση, αλλά επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις εγγενείς λειτουργικές τους ιδιότητες για εφαρμογή σαν διατροφικό συστατικό σε διάφορα “ενισχυμένα” τρόφιμα σε κλάδους όπως ζαχαροπλαστική, αρτοποιία, και βιομηχανία αλλαντικών. Με τη πάροδο του χρόνου γνώση και η κατανόηση γύρω από τις βασικές ιδιότητες του γάλακτος και της σκόνης του δίνει τη δυνατότητα στους παρασκευαστές τροφίμων να δημιουργήσουν νέες και πιο βελτιωμένες σκόνες γάλακτος.

Παρόλα αυτά, τα τρόφιμα που παράγονται από σκόνες τροφίμων συχνά θεωρούνται χαμηλότερης ποιότητας, και κατά συνέπεια χαμηλότερης αξίας, σε σχέση με τα φρέσκα ή τα καταψυγμένα προϊόντα. Για αυτό το λόγο το τελευταίο διάστημα έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην πρόσθεση αξίας στις σκόνες, και κατά συνέπεια γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια από την παραγωγική και ερευνητική κοινότητα στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Ο κύριος όγκος μελέτης και ενασχόλησης με την σκόνη γάλακτος, τις χρήσεις και τα παράγωγα παγκοσμίως της έχει να κάνει με το αγελαδινό γάλα σαν πρώτη ύλη. Αντίθετα η εργασία αυτή αφιερώθηκε στη μελέτη της σκόνης προερχόμενη από αίγιο (γίδινο) γάλα, για το οποίο η Ελλάδα αποτελεί πρωτοπόρο σε παραγωγή. Οι μέθοδοι παρασκευής και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της σκόνης αυτής θα παρουσιαστούν σε αυτή την εργασία.

## **Λειτουργικές ιδιότητες της σκόνης γάλακτος**

Οι σκόνες γάλακτος συνήθως χρησιμοποιούνται για λόγους διευκόλυνσης σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν μεταφορά, επεξεργασία, μεταποίηση και ανάπτυξη προϊόντων. Οι σκόνες διαθέτουν φυσικές και λειτουργικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων της δομής της σκόνης, το μέγεθος σωματιδίων, την πυκνότητα της σκόνης, τη φαινομενική πυκνότητα, την πυκνότητα σωματιδίων, τον απεφραγμένο αέρα, τον ενδιάμεσο αέρα, τη ρευστότητα, την επανεφυδάτωση (διαβρεξιμότητα, ικανότητα βύθισης, ικανότητα διασποράς, διαλυτότητα), την υδροσκοπικότητα, τη θερμική σταθερότητα, τις γαλακτοματοποιητικές ιδιότητες, τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, την ενεργότητα του νερού, την ικανότητα προσκόλλησης, την πηκτικότητα, ακόμα και το κατεστραμμένα (καμένα) σωματίδια. Κάποιες από τις λειτουργικές ιδιότητες οι οποίες έχουν ιδιαίτερη σημασία για τις σκόνες γάλακτος και τις σκόνες με βάση το γάλα θα αναλυθούν παρακάτω.

### **Σχήμα των σωματιδίων της σκόνης**

Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, τα σταγονίδια του γάλακτος μετατρέπονται σε στερεά σωματίδια με ξεχωριστές επιφάνειες. Γενικά ένα σωματίδιο της σκόνης αποτελείται από μια συνεχή μάζα άμορφης λακτόζης και άλλων συστατικών μέσα στην οποία ενσωματώνονται σωματίδια λίπους, μικκύλια καζεΐνης και πρωτεΐνες του ορού. Επίσης περιλαμβάνει κενά με απεφραγμένο αέρα όπου οι επιφάνειες των σωματιδίων δεν έρχονται σε επαφή. Τρεις μηχανισμοί έχουν προταθεί για το σχηματισμό της επιφάνειας των σωματιδίων της σκόνης, ο σχηματισμός φλοιού κατά την ξήρανση (Charlesworth et al, 1960), ο διαχωρισμός της διαλυμένης στερεάς ουσίας κατά την ξήρανση (Kim et al, 2003), και η απορρόφηση της πρωτεΐνης στη διεπιφάνεια αέρα και υγρού κατά τη διαδικασία της κονιοποίησης (Faldt, Bergenstahl, 1995). Το σχήμα των σωματιδίων της σκόνης εξαρτάται από το τύπο του αρχικού προϊόντος, το βαθμό της θερμικής επεξεργασίας, και άλλες παραμέτρους επεξεργασίας ή σύνθεσης του προϊόντος. Ένα σωματίδιο σκόνης άπαχου γάλακτος έχει στερεό εσωτερικό με πτυχές στην επιφάνεια, ενώ ένα σωματίδιο σκόνης πλήρους γάλακτος έχει μεγάλα κενά, με μικρά σωματίδια να εγκλωβίζονται στην πορώδη του δομή (Kim et al, 2003; Nijdam, Langrish, 2006). Το λίπος στα σωματίδια σκόνης πλήρους και άπαχου γάλακτος παραγμένο μέσω spray-drying καλύπτει την μεγαλύτερη εξωτερική επιφάνεια σε μορφή στρώσεων, και κάτω από αυτό υπάρχουν πρωτεΐνες ή πρωτεΐνες συσσωματωμένες με λίπος.

### **Μέγεθος σωματιδίων**

Το μέγεθος σωματιδίων της σκόνης γάλακτος σχετίζεται με την εμφάνιση, την ικανότητα επανεφυδάτωσης και τα χαρακτηριστικά ρευστότητας. Επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά του αρχικού γάλακτος, τις συνθήκες επεξεργασίας, και τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται και τη διαδικασία ξήρανσης. Τα σωματίδια της



σκόνης παραγμένης με μέθοδο spray-drying είναι συνήθως σφαιρικά με διάμετρο που κυμαίνεται ανάμεσα σε 10 και 250  $\mu\text{m}$ . Τα σωματίδια της σκόνης συμπυκνωμένου γάλακτος είναι μεγαλύτερα και πιο ακανόνιστα σε σχήμα (Caric, 1994). Οι σκόνες με μεγαλύτερο μέγεθος σωματιδίων έχουν μεγαλύτερη ικανότητα διασποράς. Η ικανότητα διασποράς μειώνεται όσο το ποσοστό των λεπτών σωματιδίων ( $<90 \mu\text{m}$ ) αυξάνεται (Singh, Newstead, 1992). Το μέσο μέγεθος σωματιδίων κυμαίνεται από 85  $\mu\text{m}$  για τη συνήθη σκόνη άπαχου γάλακτος μέχρι 230 με 250 για σκόνες που περιέχουν λίπος (Tuohy, 1989).

*Πυκνότητα και πορώδες της σκόνης.* Η φαινομενική πυκνότητα της σκόνης γάλακτος είναι οικονομικά, εμπορικά, και λειτουργικά σημαντικός παράγοντες. Όταν οι σκόνες αποστέλλονται σε μακριές αποστάσεις, είναι σημαντικό να έχουν μεγάλη φαινομενική πυκνότητα για να μειωθεί ο όγκος. Μεγάλη φαινομενική πυκνότητα αφαιρεί αρκετά υλικό συσκευασίας. Γενικά πυκνότητα μιας σκόνης επίσης ορίζει τις απαιτήσεις σε υλικά συσκευασίας και τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό για τη διαχείριση της.

*Εμφανής πυκνότητα σωματιδίων.* Η εμφανής πυκνότητα σωματιδίων ορίζεται ως η μάζα προς το όγκο του σωματιδίου, εξαιρώντας τους ανοιχτούς πόρους αλλά συμπεριλαμβάνοντας τους κλειστούς πόρους. Μέθοδοι όπως η αέρια ή η υγρή πυκνομετρία χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εμφανούς πυκνότητας σωματιδίων.

*Πραγματική πυκνότητα σωματιδίων.* Η πραγματική πυκνότητα σωματιδίων είναι ο λόγος της μάζας του σωματιδίου προς τον όγκο του σωματιδίου, εξαιρώντας τους ανοιχτούς και κλειστούς πόρους.

*Φαινομενική πυκνότητα.* Η φαινομενική πυκνότητα είναι το μέγεθος της μάζας της σκόνης που καταλαμβάνει ένα σταθερό χώρο. Εξαρτάται από την πυκνότητα των σωματιδίων, το εσωτερικό τους πορώδες και την διάταξη των σωματιδίων στο χώρο αυτό. Συμπεριλαμβάνει τον όγκο στερεού και υγρού, και ανοιχτών και κλειστών πόρων.

*Πορώδες σωματιδίων.* Ορίζεται ως το κλάσμα του αέρα ή του κενού χώρου προς το συνολικό όγκο. Επηρεάζεται από παράγοντες όπως η μηχανική συμπύκνωση, το μέγεθος σωματιδίων, η υγρασία, η θερμοκρασία, η χημική σύσταση του κάθε συστατικού, οι συνθήκες επεξεργασίας και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Οι αλλαγές δημιουργούνται εξαιτίας στην αύξηση των συγκολλήσεων, παραλλαγές στη μάζα εξαιτίας της ρόφησης ή της εξάτμισης νερού, ή εξαιτίας της αλλαγής φάσης των λιπαρών συστατικών λόγω της θερμοκρασίας (Barbosa-Canovas, Juliano, 2005).

## **Ρευστότητα**

Η ρευστότητα της σκόνης αναφέρεται στην ευκολία με την οποία τα σωματίδια της σκόνης κινούνται σε σχέση με τα υπόλοιπα σωματίδια, δηλαδή η αντίσταση στη ροή (Royal, Carson, 1991; Kim et al, 2005). Αυτή η ιδιότητα είναι το μέγεθος του χαρακτηριστικού της ελεύθερης ροής της σκόνης. Η τυπική ροή της σκόνης γάλακτος είναι σημαντική για τον παρασκευαστή και τον χρήστη σε ότι αφορά την τυπική συσκευασία, τη διακίνηση και τη διαχείριση. Στη

γαλακτοβιομηχανία, η ρευστότητα είναι κρίσιμο μέγεθος κατά το γέμισμα και άδειασμα των αποθηκευτικών χώρων, την αποθήκευση σε σιλό και στη δοσολογία σε συγκεκριμένες ποσότητες (Pari, 2002). Είναι επίσης καθοριστικός παράγοντας για το σχεδιασμό του μηχανικού εξοπλισμού που να εξασφαλίζει την κατάλληλη ροή της σκόνης και να αποφευχθεί η πιθανότητα βουλωμάτων (Prescott, Barnum, 2000). Γενικά, οι σκόνες με καλές ιδιότητες ροής είναι αυτές με συσσωματώματα.

Το λίπος σταματάει την κίνηση των σωματιδίων σε υψηλότερες θερμοκρασίες καθώς λιώνοντας μετατρέπεται σε ένα κολλώδες και παχύρευστο υγρό. Έτσι, οι σκόνες με υψηλή περιεκτικότητα λίπους έχουν μικρότερη ρευστότητα από σε σχέση με σκόνες που περιέχουν λιγότερο λίπος. Το κλάσμα του λίπους με χαμηλό σημείο τήξης μπορεί να αφαιρεθεί ύστερα από κρυσταλοποίηση έτσι ώστε να δημιουργηθεί σκόνη που περιέχει λίπος με υψηλό σημείο τήξης, που έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ρευστότητα (Pari, Loisel, 1991).

### **Ιδιότητες ανάμειξης**

Οι συμπυκνωμένες σκόνες γάλακτος παράγονται έτσι ώστε να έχουν βελτιωμένες ιδιότητες όπως ρευστότητα, ικανότητα διασποράς και μειωμένη φαινομενική πυκνότητα. Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των προϊόντων σκόνης είναι ότι διαλύονται στιγμιαία κατά την προσθήκη σε νερό. Οι ιδιότητες ανάμειξης μίας σκόνης γάλακτος εξαρτώνται από τις παρακάτω παραμέτρους: διαβρεξιμότητα, ικανότητα βύθισης, ικανότητα διασποράς και διαλυτότητα.

*Διαβρεξιμότητα (wetability).* Είναι ένα μέγεθος της ικανότητας της σκόνης να απορροφά νερό στην επιφάνεια, να έρχεται σε υγρή μορφή και να εισχωρεί στην επιφάνεια του στάσιμου νερού. Οι γωνίες επαφής υποδεικνύουν το βαθμό διάβρεξης όταν ένα στερεό και ένα υγρό έρχονται σε επαφή. Όσο πιο χαμηλή η γωνία τόσο πιο μεγάλος ο βαθμός διάβρεξης. Γενικά υποδεικνύει την προοπτική της σκόνης να λάβει υγρασία και να απορροφήσει νερό σε μία ορισμένη θερμοκρασία. Εξαρτάται από το μέγεθος σωματιδίων της σκόνης, την πυκνότητα, το πορώδες, την περιοχή της επιφάνειας και τη δραστηριότητα στην επιφάνεια των σωματιδίων. Η κάλυψη της επιφάνειας με υδροσκοπικά συστατικά (όπως η λακτόζη) επιφέρει θετικές ιδιότητες διάβρεξης εξαιτίας της μικρής γωνίας επαφής (Faldt, Bergenstahl, 1996; Kim et al, 2002). Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει τη διαβρεξιμότητα είναι η θερμοκρασία του νερού που χρησιμοποιείται. Οι σκόνες γάλακτος οι οποίες διαβρέχονται εύκολα και γρήγορα συνήθως κατηγοριοποιούνται ως "στιγμιαίες" σκόνες γάλακτος. Μία σκόνη άπαχου γάλακτος που διαβρέχεται σε λιγότερο από 15 δευτερόλεπτα μπορεί να θεωρηθεί "στιγμιαία". Δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη προδιαγραφή για τη σκόνη πλήρους γάλακτος, αλλά θεωρείται ευνοϊκό μια τέτοια σκόνη να διαβρέχεται σε ένα διάστημα 30 με 60 δευτερολέπτων (Kelly, others, 2003). Η γρήγορη διάβρεξη επίσης ευνοείται από την ύπαρξη μεγάλων σωματιδίων με μεγάλο πορώδες. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η συμπύκνωση των σωματιδίων σε μεγαλύτερες μονάδες και προσθήκη φυσικών επιφανειοδραστικών ουσιών (όπως η λεκιθίνη της σόγιας) στις σκόνες συνήθως χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την διαβρεξιμότητα στις σκόνες γάλακτος (Schubert, 1993). Η σύσταση της επιφάνειας της σκόνης επίσης έχει μεγάλο ρόλο στη διαδικασία της διάβρεξης. Η διόγκωση των σωματιδίων έχει πάντα ως αποτέλεσμα τον μικρότερο βαθμό διάβρεξης, κάτι που μπορεί να φτάσει το μηδέν, όπως στην περίπτωση του συμπυκνώματος ορού γάλακτος (Kim, 2002).

*Ικανότητα βύθισης (sinkability).* Είναι η ικανότητα των σωματιδίων της σκόνης να ξεπερνούν την επιφανειακή τάση του νερού και να βυθίζονται μέσα στο νερό, αφού περάσουν μέσα από την επιφάνεια. Εκφράζεται ως τα mg σκόνης που βυθίζονται ανά λεπτό ανά cm<sup>2</sup> επιφάνειας (Schober, Fitzpatrick, 2005).

*Ικανότητα διασποράς (dispersibility).* Η ικανότητα της σκόνης να διαχωρίζεται σε ξεχωριστά σωματίδια ότι διασπείρεται στο νερό με απαλή ανάδευση λαμβάνεται σοβαρά υπ'όψη στο βιομηχανικό περιβάλλον. Η ικανότητα διασποράς είναι η ευκολία με την οποία οι σβώλοι και τα συσσωματώματα της σκόνης διαλύονται μέσα στο νερό. Εκφράζεται ως το ποσοστό των στερεών που έχουν διαλυθεί. Η ικανότητα διασποράς στη σκόνη άπαχου γάλακτος (>90%) είναι μεγαλύτερη από αυτή της σκόνης πλήρους γάλακτος (>85%) (Tamime, 2009). Σκόνες με μεγάλη ικανότητα διασποράς συνήθως εμφανίζουν καλή διαβρεξιμότητα και συσσωματώνονται, με απουσία λεπτών σωματιδίων.

*Διαλυτότητα (solubility).* Η διαλυτότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στις σκόνες γάλακτος. Σκόνες με κακή διαλυτότητα μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα στις διεργασίες και να αποφέρουν οικονομικές απώλειες. Η διαλυτότητα είναι μέτρο της τελικής κατάστασης στην οποία τα συστατικά της σκόνης έρχονται σε διάλυμα. Η διαλυτότητα εξαρτάται κυρίως από τη χημική σύσταση της σκόνης και τη φυσική της μορφή. Μερικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη μη διαλυτότητα της σκόνης γάλακτος είναι (1) η παρουσία γαλακτικού οξέος στο γάλα, (2) η θερμική επεξεργασία του γάλακτος, (3) ο τρόπος της ξήρανσης, (4) ο βαθμός των ιόντων άλατος στις πρωτεΐνες της σκόνης, και (5) οι ουσίες για θερμική σταθερότητα που έχουν προστεθεί στο γάλα πριν την παρασκευή (Singh, Newstead, 1992).

Ο μηχανισμός για τη μη διαλυτότητα σχετίζεται με το άνοιγμα της αλυσίδας της β-γαλακτογλοβουλίνης, ύστερα από τη συσσωμάτωση της με την καζεΐνη. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το δείκτη μη διαλυτότητας είναι η θερμοκρασία των σωματιδίων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης όταν η περιεκτικότητα της υγρασίας είναι ανάμεσα σε 10% και 30%. Ένα κινητικό μοντέλο που προβλέπει το δείκτη μη διαλυτότητας σαν λειτουργία της θερμοκρασίας και της διαμέτρου σωματιδίων αναπτύχθηκε από τους (Straatsma et al, 1999).

### **Ιδιότητες άφρησης**

Ο σχηματισμός αφρού είναι σημαντικός στην ανάπτυξη της υφής τροφίμων όπως το παγωτό. Ενώ όμως οι περισσότεροι αφροί σχηματίζονται σε χαμηλή θερμοκρασία, υπάρχει επίσης ενδιαφέρον στις ιδιότητες άφρησης του γάλακτος σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι πρωτεΐνες έχουν σημαντικό ρόλο στη σταθεροποίηση των γαλάτων που αφρίζουν μέσω του θερμού ατμού. Οι σκόνες γάλακτος που περιέχουν κιτρικά άλατα μπορούν να επαυξήσουν τις ιδιότητες άφρησης των γαλάτων σε χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη 0.1 mol ανά kg ΣΥΑΛ σε ένα συμπύκνωμα γάλακτος, κατά τη παρασκευή της σκόνης, έχει δείξει ότι επαυξάνει τις ιδιότητες άφρησης μέσω ατμού του γάλακτος. Οι βελτιωμένες ιδιότητες των ενισχυμένων με κιτρικά σκονών αποδίδονται στην επίδραση των επιπρόσθετων κιτρικών στην αποσύνδεση των μικκυλίων καζεΐνης (Augustin, Clarke, 2008).

## **Θερμική σταθερότητα του αποξηραμένου γάλακτος**

Η θερμική σταθερότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για τις σκόνες γάλακτος οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή διαφόρων σκευασμάτων αλλά κυρίως την παρασκευή προϊόντα επανασυσταμένου γάλακτος, όπως το συμπυκνωμένο γάλα. Η σκόνη γάλακτος η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή επανασυσταμένου συμπυκνωμένου γάλακτος το οποίο θα πρέπει να αντέξει σε θερμοκρασίες αποστείρωσης, απαιτεί ικανοποιητική θερμική σταθερότητα, αλλιώς η πρωτεΐνη κατακρημνίζεται κατά τη διάρκεια της αποστείρωσης. Η θερμική σταθερότητα του γάλακτος είναι κυρίως μία λειτουργία της σταθερότητας των πρωτεϊνών του (Singh, 2004) και μπορεί να επηρεαστεί από την περιεκτικότητα του σε πρωτεΐνες, και έτσι, η τυποποίηση των πρωτεϊνών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτευχθεί πιο συμπαγές περιεχόμενο σε πρωτεΐνη στα γαλακτοκομικά προϊόντα και ενδεχομένως βελτίωση της θερμικής σταθερότητας. Έχει παρατηρηθεί επίσης ότι ο εμπλουτισμός με ασβέστιο στη σκόνη άπαχου γάλακτος με προσθήκη κιτρικών και ανθρακικών αλάτων βελτιώνει τη θερμική σταθερότητα (Vyas, Ton, 2005).

## **Παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργικές ιδιότητες της σκόνης γάλακτος**

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά της σκόνης γάλακτος εξαρτώνται από τη σύσταση και την τυποποίηση του αρχικού γάλακτος, και τα χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος πριν από την ξήρανση (σύσταση, φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ιξώδες, θερμική ευαισθησία), όπως επίσης και των παραμέτρων της ξήρανσης (τύπος ξηραντήρα, πίεση και θερμοδυναμικές συνθήκες στον αέρα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα)), αλλά και το ποια θα είναι η χρήση της σκόνης σε ένα συγκεκριμένο σύστημα παραγωγής (Oldfield, Singh, 2005). Η προετοιμασία της σκόνης περιλαμβάνει πολλές κρίσιμες παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν τις λειτουργικές ιδιότητες. Αυτές περιλαμβάνουν:

### **Τύπος της τροφοδοσίας**

Υψηλότερος αριθμός ολικών στερεών στην τροφοδοσία απαιτεί λιγότερη θερμική επεξεργασία για να αφαιρεθεί η υγρασία. Το άπαχο γάλα, το βουτυρόγαλα και ο ορός γάλακτος έχουν χαμηλότερο αριθμό ολικών στερεών (8% με 9%) σε σχέση με το πλήρες γάλα (περίπου 13%) και έτσι στην περίπτωση των πρώτων απαιτείται μεγαλύτερη θερμοκρασία ξήρανσης (200°C έναντι 190°C για το πλήρες γάλα).

### **Πρόσθετα**

Πρόσθετα όπως κιτρικά βελτιώνουν της σταθερότητα της άφρησης στο άπαχη σκόνη γάλακτος (Augustin, Clarke, 2008). Η λεκιθίνη χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τις ιδιότητες ανάμειξης των σκονών γάλακτος. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη διάλυση της λεκιθίνης σε έλαια και ψεκασμό τους πάνω στη συσσωματωμένη σκόνη εσωτερικά ή εξωτερικά του ξηραντήρα (Pisecky, 1997).

## **Ολικά στερεά του συμπυκνώματος του γάλακτος**

Οι εξατημηστές περιορίζονται στη συμπύκνωση του γάλακτος μέχρι και το 50% των συνολικών τους στερεών. Συμπυκνώματα με υψηλότερες ποσότητες ολικών στερεών παράγουν σκόνες με χειρότερες λειτουργικές ιδιότητες (Caric, 1994).

## **Θέρμανση του συμπυκνώματος**

Πριν τη διαδικασία της ξήρανσης, το συμπύκνωμα του γάλακτος θερμαίνεται σε θερμοκρασία που κυμαίνεται ανάμεσα σε 65°C και 80°C έτσι ώστε να μειωθεί το ιξώδες του. Αυτό γίνεται για να βελτιστοποιηθεί ο διαχωρισμός του μέσα στο ξηραντήρα, έτσι ώστε να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της ξήρανσης και οι ιδιότητες της σκόνης (όπως ο δείκτης διαλυτότητας) (Baldwin et al, 1980; Oldfield et al, 2000). Επίσης οποιοδήποτε θερμοευαίσθητοι μικροοργανισμοί είναι παρόντες καταστρέφονται κατά τη θέρμανση.

## **Θερμοκρασία κατά τη συμπύκνωση**

Η θέρμανση υπό κενό απαιτεί χαμηλή θερμοκρασία ξήρανσης. Όσο η θερμοκρασία ξήρανσης χαμηλώνει, υπάρχει αύξηση στη διαλυτότητα και μείωση στην περιεκτικότητα στο ελεύθερο λίπος της σκόνης γάλακτος. Η φαινομενική πυκνότητα της σκόνης γάλακτος μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας συμπύκνωσης (Tamime, 2009).

## **Προθέρμανση και ομογενοποίηση του συμπυκνώματος**

Ένας συνδυασμός υψηλής πίεσης ομογενοποίησης και υψηλής θερμικής επεξεργασίας του συμπυκνώματος πριν την ξήρανση προσδίδει βελτιωμένες ιδιότητες ανασύστασης, ειδικά όταν η θέρμανση εκτελείται μετά την ομογενοποίηση (Singh, Aiqian, 2010). Η ομογενοποίηση του συμπυκνώματος του γάλακτος πριν από την ξήρανση βοηθά στη μείωση της παρουσίας του ελεύθερου λίπους στη σκόνη.

## **Τύπος ξηραντήρα**

Η συμβατική ξήρανση μίας φάσης πλέον έχει αντικατασταθεί από την ξήρανση δύο ή τριών φάσεων στη βιομηχανία γάλακτος. Πέρα από το θέμα της οικονομίας, το γεγονός αυτό έχει βελτιώσει τις ιδιότητες συσσωμάτωσης και ανάμειξης, κάτι που οδηγεί σε βελτιωμένες λειτουργικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα η ρευστότητα. Γενικά οι ξηραντήρες δύο ή πολλαπλών φάσεων είναι πιο οικονομικοί και λιγότερο ζημιογόνοι στις ιδιότητες της σκόνης γάλακτος, από τους ξηραντήρες μίας φάσης (Masters, 1991). Τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας ξήρανσης με spray-drier είναι: (1) τα χαρακτηριστικά της σκόνης μένουν σταθερά μέσα στον ξηραντήρα όσο οι συνθήκες ξήρανσης μένουν σταθερές, (2) είναι μια συνεχής και εύκολη διαδικασία που είναι ευπροσάρμοστη σε πλήρη αυτόματο έλεγχο, (3) υπάρχει μεγάλο εύρος ξηραντήρων που μπορούν να προσαρμοστούν σε μία ποικιλία εφαρμογών, και ειδικότερα για αφυδάτωση θερμοευαίσθητων υλών (Vega-Mercado et al, 2001).

### **Θερμοκρασία εισόδου**

Για τις σκόνες που παράγονται με μέθοδο spray-drying, η αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου οδηγεί στην γρήγορη απομάκρυνση της υγρασίας και σαν συνέπεια στην σκλήρυνση της επιφάνειας των σωματιδίων της σκόνης. Σκλήρυνση της επιφάνειας των σωματιδίων της σκόνης ευνοεί τη διαφυγή του παγιδευμένου αέρα οδηγώντας σε μικρότερη φαινομενική πυκνότητα (Nijdam, Langrish, 2006).

### **Θερμοκρασία εξόδου**

Για μία σκόνη παραγμένη με τη μέθοδο spray-drying, μία αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου δημιουργεί ρωγμές στην επιφάνεια των σωματιδίων της σκόνης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη διαφυγή του λίπους (Nijdam, Langrish, 2006). Χαμηλή θερμοκρασία εξόδου γενικά ευνοεί την ξήρανση των σταγονιδίων, ελεγχόμενη συρρίκνωση των σωματιδίων και τη βελτίωση της φαινομενικής πυκνότητας (De Vilder et al, 1976).

### **Συσσωμάτωση μετά την ξήρανση**

Οι παρασκευαστές σκόνης επιδιώκουν τη δημιουργία σκόνης με καλή ροή και όχι πάρα πολύ λεπτής, έτσι ώστε να διευκολύνεται ο μετακίνηση και ο χειρισμός της. Αυτές οι παράμετροι επιτυγχάνονται με την εφαρμογή διαδικασίας συσσωμάτωσης στις σκόνες. Η συσσωμάτωση, γενικά, μπορεί να οριστεί ως η διεργασία όπου τα κύρια σωματίδια συγκολλούνται με αποτέλεσμα να σχηματίζονται μεγαλύτερα πορώδη σωματίδια. Η επανενυδάτωση και επανασύσταση είναι σημαντικές ιδιότητες των σκονών οι οποίες ορίζουν το βαθμό οικιακής και βιομηχανικής χρήσης. Η συσσωμάτωση βελτιώνει την ικανότητα διασποράς των παρασκευασμένων προϊόντων όταν αυτά έρθουν σε επαφή με υγρασία, κατά την προσθήκη σε ζεστό ή κρύο νερό (Dhanalakshmi et al, 2011). Επίσης η συσσωμάτωση της σκόνης μετά την ξήρανση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μεγαλύτερων σωματιδίων (από 50 με 80 μm σε συμβατικές σκόνες σε 250 με 500 μm σε συσσωματωμένες σκόνες) για να βελτιώσει τη ρευστότητα και μεταβάλλει τη δομή των σωματιδίων (πορώδες) ώστε να επιτευχθούν καλές ιδιότητες ανάμειξης. Η συσσωμάτωση της σκόνης παραγμένης μέσω spray-drier γίνεται συνήθως έξω από το θάλαμο ξήρανσης, σε μία ρευστή κλίση όπου η επιφάνεια των σωματιδίων έρχεται σε επαφή με ψεκασμένο νερό (ή κάποιο άλλο συγκολλητικό υγρό) (Gianfrancesco et al, 2008).

### **Σταθερότητα κατά την αποθήκευση**

Η μέθοδος ξήρανσης μέσω spray-drying είναι μια γρήγορη διεργασία που παράγει αποξηραμένα στερεά που υπάρχουν συνήθως σε άμορφη κατάσταση. Το γεγονός αυτό προσδίδει θερμοπλαστικές και υδροσκοπικές ιδιότητες στα προϊόντα που αποξηραίνονται, και ως αποτέλεσμα, (1) δημιουργείται η τάση η σκόνη να κολλάει στα τοιχώματα του ξηραντήρα κατά τη διεργασία και (2) εμφανίζεται μεγάλη ευαισθησία στην υγρασία κατά την αποθήκευση. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει γενικά σε ύλες που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους (Bhandari et al, 1997; Bhandari, Howes, 1999). Η επιδείνωση της κατάστασης κατά την αποθήκευση σε υψηλές θερμοκρασίες ή/και σε σχετικές υγρασίες, αναφερόμενοι σε προϊόντα που περιλαμβάνουν σάκχαρα, έχει συσχετιστεί

με τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Aguilera et al, 1995; Christensen et al, 2002; Vega et al, 2005).

## **Ιδιότητες της σκόνης γάλακτος.**

Οι λειτουργικές ιδιότητες της σκόνης γάλακτος έχουν ιδιαίτερη σημασία όταν οι σκόνες αυτές χρησιμοποιούνται για ανασύσταση ή για την παρασκευή διαφόρων προϊόντων διατροφής. Αυτές οι λειτουργικές ιδιότητες περιλαμβάνουν τη γαλακτωματοποίηση, τον αφρισμό, την απορρόφηση νερού, το ιξώδες, τη ζελατινοποίηση, και τη θερμική σταθερότητα, οι οποίες είναι ουσιαστικά οι εκδηλώσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του γάλακτος.

### **Περιεκτικότητα σε υγρασία**

Οι σκόνες γάλακτος παράγονται με συγκεκριμένες προδιαγραφές σχετικά με τη μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία: η υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία ευνοεί τη μη ενζυματική καστανίωση (non-enzymatic browning) της σκόνης γάλακτος. Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα έναν αυξημένο ρυθμό οξειδωσης του λιπιδιακού περιεχομένου (Labuza, 1971, Van Mil, Jans. 1991). Σε ξηραντήρες δύο ή τριών σταδίων, εκτός από την τελική περιεκτικότητα της σκόνης σε υγρασία, είναι επίσης σημαντικό το ποσοστό υγρασίας της σκόνης που εξέρχονται από το πρώτο στάδιο του θαλάμου ξήρανσης (Masters, 1991). Ένας συνδυασμός παραγόντων που αφορούν τις ιδιότητες της τροφοδοσίας (συνολικά στερεά, θερμοκρασία), τις συνθήκες ψεκασμού, και τις συνθήκες του αέρα ξήρανσης (θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θαλάμου ξήρανσης / ρευστής κλίνης) επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε υγρασία της προκύπτουσας σκόνης (Straatsma et al., 1991).

### **Υγροσκοπικότητα**

Πρόκειται για ένα μέτρο της απορροφητικότητας νερού από μια σκόνη. Συχνά μετριέται με τη διέλευση αέρα γνωστής υγρασίας (συνήθως 80% στους 20°C) από τη σκόνη μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία, ακολουθούμενη από μέτρηση της αύξηση του βάρους της σκόνης. Σκόνες που απορροφούν πολύ υγρασία μπορεί να σχηματίσουν συσσωματώματα κατά την αποθήκευση (Tamime 2009).

### **Επίπεδα ελεύθερου λίπους**

Τυχόν αυξήσεις στα επίπεδα ελεύθερου λίπους μπορεί να καταστήσουν τη σκόνη επιρρεπή στην οξειδωση και, έτσι, η σκόνη θα έχει κακές ιδιότητες επαναδιαβροχής, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ρευστότητά της. Η ομογενοποίηση του συμπυκνώματος βοηθά στην μείωση των ελεύθερων λιπαρών. Αύξηση στη θερμοκρασία εξόδου του αέρα στον ξηραντήρα ψεκασμού οδηγεί σε υψηλά επίπεδα ελεύθερων λιπαρών. Στις σκόνες αυτές, υπάρχει μικρή καμπυλόγραμμική σχέση μεταξύ του ελεύθερου λίπους και του συνολικού λιπιδιακού περιεχομένου (Kelly et al. 2002). Υψηλότερης πίεσης ψεκαστήρας είχε ως

αποτέλεσμα χαμηλότερο ιξώδες, πιθανότατα λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε ελεύθερα λιπαρά. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τα επίπεδα του ελεύθερου λίπους είναι ο βαθμός κρυσταλλικότητας της λακτόζης (Haylock 1995, Twomey, Keogh, 1998), καθώς η κρυσταλλική λακτόζη (σε αντίθεση με την άμορφη λακτόζη) προκαλεί την ύπαρξη απελευθερωμένου λίπους στο σταγονίδιο.

### **Συσσωμάτωση και χρήση λεκιθίνης**

Αυτή η διαδικασία βελτιώνει την ικανότητα διαβροχής αλλά έχει μικρότερη επίδραση στην πυκνότητα της σκόνης γάλακτος. Μια τέτοια διαδικασία υιοθετείται στη βιομηχανία ξήρανσης για την επίτευξη καλύτερων ιδιοτήτων ανασύστασης (Masters, 2002; Dhanalakshmi et al., 2011). Η λεκιθίνη χρησιμοποιείται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της στιγμιαίας σκόνης γάλακτος (Pisecky, 1997).

Το κολλώδες της επιφάνειας των σωματιδίων της σκόνης εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας κατά την ξήρανση, την περιεκτικότητα σε νερό και τη σύνθεσή τους (υδατάνθρακες, λίπη). Όταν η επιφάνεια φθάνει στην κολλώδη κατάσταση, οι συγκρούσεις με άλλα σωματίδια μπορεί να οδηγήσουν σε συσσωμάτωση ανάλογα με την ταχύτητα, τη δύναμη, τη γωνία, και το χρόνο επαφής μεταξύ των σωματιδίων σκόνης (Huntington, 2004). Η συσσωμάτωση οδηγεί σε μεγαλύτερη ενσωμάτωση του αέρα μεταξύ των σωματιδίων σκόνης. Κατά την ανασύσταση, αυτός ο αέρας αντικαθίσταται από το νερό και έτσι τα συσσωματώματα διασπείρονται εύκολα και διαλύονται γρήγορα (Caric, 1994).

Η ρευστότητα όλων των τύπων σκόνης εξαρτάται από την συνδυασμένη επίδραση της πρωτογενούς και δευτερογενούς δομής (διασπορά και συσσωμάτωση, αντίστοιχα). Σκόνη στην οποία έχει προστεθεί λεκιθίνη έχει καλές ιδιότητες ανάμειξης, αλλά έχει χαμηλότερη ρευστότητα. Επιπρόσθετα, για να έχει μια σκόνη καλές ιδιότητες ρευστότητας απαιτείται η σχετική ομοιογένεια των συσσωματωμάτων ως προς το μέγεθος (Pari, Loisel, 1991; Gharemann et al., 1994).

### **Κατεστραμμένα (καμένα) σωματίδια**

Αυτά συχνά παρατηρούνται ως αντιαισθητικές, αποχρωματισμένες κηλίδες στο γάλα σε σκόνη. Είναι συχνά το αποτέλεσμα της εναπόθεσης σκόνης στο σύστημα ξήρανσης με ψεκάσμο. Με χαμηλή ενεργότητα νερού και την έκθεση σε θερμό αέρα, οι εναποθέσεις σκόνης γάλακτος σκουραίνουν μέσω της αντίδρασης Maillard και μπορούν να εκληφθούν ως ιζήματα ή σωματίδια ρύπων. Ωστόσο, κατά την ανασύσταση τα σωματίδια αυτά διαλύονται και το ελάττωμα αυτό της σκόνης τις πιο πολλές φορές εξαφανίζεται αλλά υπάρχουν και φορές όπου παραμένουν ως ιζήματα στον πυθμένα. Για τις δοκιμές σε αποξηραμένη με ψεκάσμο και στιγμιαία σκόνη γάλακτος συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος δίσκου νερού (water disc). Το τεστ χρησιμοποιεί μια διαδικασία που περιλαμβάνει φιλτράρισμα ενός ενυδατωμένου διαλύματος γάλακτος σε σκόνη μέσα από ένα δίσκο, και συγκρίνοντας το χρώμα της μάζας επί ξηρού δίσκου με τυπικούς δίσκους (Tamime, 2009).



## **Τύποι σκόνης προερχόμενες από γαλακτοκομικά προϊόντα**

Το αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη (Skim Milk Powder - SMP) χρησιμοποιείται ευρέως ως συστατικό σε πολλά παρασκευάσματα τροφίμων. Οι σούπες, οι σάλτσες, και τα προϊόντα ζαχαροπλαστικής και αρτοποιίας επωφελούνται από τις λειτουργικές ιδιότητες που παρέχονται από το SMP. Η σκόνη μπορεί να προσαρμοστεί σε μία συγκεκριμένη τελική χρήση μέσω του χειρισμού των συνθηκών επεξεργασίας. Οι σκόνες γαλακτοκομικών περιλαμβάνουν συμβατικές σκόνες όπως το αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη, το πλήρες γάλα σε σκόνη (Whole Milk Powder - WMP) και το μερικώς αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη (partial SMP). Οι σκόνες προστιθέμενης αξίας περιλαμβάνουν σκόνες τυριού, χωρίς λακτόζη και σκόνες ορού γάλακτος, σκόνες από βουτυρόγαλα (buttermilk powder - BMP), και ούτω καθεξής. Τέλος, οι ειδικές ή "κατά παραγγελία" σκόνες όπως για παράδειγμα κρέμα καφέ σε σκόνη. Οι λεπτομέρειες κάποιων από τις προαναφερθείσες σκόνες δίνονται παρακάτω.

### **Σκόνες γάλακτος ταξινομημένες με βάση τη θερμική τους επεξεργασία (Heat-classified milk powders)**

Με βάση την θερμική επεξεργασία που εφαρμόζεται με σκοπό να παραχθεί αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη (SMP), ουσιαστικά παράγονται 3 κατηγορίες SMP: χαμηλής θερμότητας, μεσαίας θερμότητας και υψηλής θερμότητας. Ο δείκτης περιεκτικότητας αζώτου της πρωτεΐνης ορού γάλακτος (Whey Protein Nitrogen Index - WPNI) είναι το αποτέλεσμα του προσδιορισμού των μη μετουσιωμένων πρωτεϊνών ορού γάλακτος σε άπαχο γάλα σε σκόνη (Nonfat Driedmilk - NFDm) που αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Ινστιτούτο Γαλακτοκομικών Προϊόντων. Η παράμετρος αυτή είναι σημαντική από την άποψη των λειτουργικών ιδιοτήτων και ιδιαίτερα σε ότι αφορά τη χρήση των σκονών γάλακτος για την παρασκευή ορισμένων ανασυσταμένων γαλακτοκομικών προϊόντων. Το τεστ μετρά την ποσότητα της διαλυτής πρωτεΐνης ορού γάλακτος στο αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη. Προκύπτει, λοιπόν, μια ένδειξη της θερμικής επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε στο γάλα πριν από την ξήρανση (Jana and Thakar, 1996; Sikand et al., 2008).

### **Θερμικά ευσταθείς σκόνες (Heat stable powders)**

Η θερμική σταθεροποίηση του αποβουτυρωμένου γάλακτος πραγματοποιείται κατά την εξάτμιση και την ξήρανση μέσω της προ-επεξεργασίας του γάλακτος με προθέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία. Με αυτό τον τρόπο, μετουσιώνεται η πρωτεΐνη ορού γάλακτος και σχηματίζει ένα θερμικά επαγόμενο σύμπλοκο μεταξύ κ-καζεΐνης και β-γαλακτογλοβουλίνης. Η παρουσία της φυσικής μη μετουσιωμένης πρωτεΐνης ορού γάλακτος στο συμπυκνωμένο γάλα έχει αποδειχθεί ότι επιδρά δυσμενώς επί της σταθερότητας.

Θερμική σταθερότητα είναι η ικανότητα μιας ουσίας να αντέχει σε συνθήκες αποστείρωσης ή άλλου είδους επεξεργασίες υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην κατασκευή προϊόντων ανασυσταμένου γάλακτος εβαπορέ (Recombined Evaporated Milk - REM) ή σε άλλες εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας, όπως πρόσθετα για ζεστά ροφήματα, σούπες, και σάλτσες. Η θερμική σταθερότητα του γάλακτος σε σκόνη επηρεάζεται από την σύσταση του αρχικού γάλακτος από το οποίο παράχθηκε η σκόνη, τις συνθήκες επεξεργασίας, τις πρόσθετες ουσίες, και τη σύσταση των τροφίμων στα οποία χρησιμοποιείται η σκόνη (Teehan et al., 1997).

### **Σκόνη γάλακτος, υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη, παραγόμενη από υπερφιλτραρισμένα κατακρατήματα**

Μια υψηλής πρωτεΐνης σκόνη γάλακτος (High-Milk-Protein Powder - HMPP) χωρίς λακτόζη, που ονομάζεται επίσης συμπύκνωμα πρωτεΐνης γάλακτος (Milk Protein Concentrate - MPC), έχει παραχθεί από αποβουτυρωμένο γάλα μέσω υπερδιήθησης (ultrafiltration - UF) και διαδιήθηση (diafiltration - DF) με σκοπό να ληφθεί κατακράτημα που έχει 19,0% πρωτεΐνη και 0,08% λακτόζη. Το κατακράτημα της υπερδιήθησης (21,0% συνολικά στερεά) στη συνέχεια ξηραίνεται με ψεκασμό (θερμοκρασία αέρα, εισόδου και εξόδου 125°C και 80°C, αντίστοιχα) για να παραχθεί σκόνη που έχει 5,33% υγρασία, 2,27% λίπη, 88,0% συνολική πρωτεΐνη, 0,74% λακτόζη και 7,05% τέφρα (Mistry, Hassan 1991a, b; Mistry 2002). Η επιφάνεια της σκόνης γίνεται ομαλότερη μειώνοντας την περιεκτικότητα σε λακτόζη. Η συσσωμάτωση της σκόνης μειώνεται επίσης, προσδίδοντας καλή ρευστότητα. Τέτοιου είδους σκόνες έχουν υψηλότερη ικανότητα αφρισμού σε pH 10 (Mistry 2002). Το χρώμα της HMPP είναι γκριζωπό-λευκό, σε σχέση με το κιτρινωπό-λευκό χρώμα της SMP. Επιπλέον, η ικανότητα γαλακτωματοποίησης μειώθηκε όταν το pH του γάλακτος αυξήθηκε στο 7.0 πριν από την ξήρανση (El-Samragy et al., 1993). Η απουσία λακτόζης στην HMPP την καθιστά ένα χρήσιμο συστατικό για παραγωγή άπαχου γιαουρτιού, παγωτού, και τυριού (Mistry, 2002). Οι λειτουργικές ιδιότητες (αφρισμός και θερμική σταθερότητα) του κλασικά λυοφιλιωμένου, ή του ξηραμένου με ψεκασμό κατακρατήματος υπερδιηθημένου αποβουτυρωμένου γάλακτος βρέθηκαν να είναι ικανοποιητικές (Jimenez-Flores, Kosikowski, 1986).

Τα συμπυκνώματα πρωτεΐνης γάλακτος (MPC) συνήθως προστίθενται στα σκευάσματα γάλακτος ή τυριού για την ενίσχυση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και/ή της απόδοσης του τελικού προϊόντος. Χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν τα χαρακτηριστικά υφής των γιαουρτιών. Η χρήση των MPC σε θεραπευτικά ποτά όλο και αυξάνεται. Σε αυτές τις εφαρμογές, το MPC παρέχει τόσο την καζεΐνη όσο και τις πρωτεΐνες ορού γάλακτος στην αναλογία στην οποία υπάρχουν στο γάλα, αλλά χωρίς υψηλή περιεκτικότητα σε λακτόζη (Baldwin and Pearce, 2005). Όταν το συμπύκνωμα αυτό προστίθεται για την παραγωγή άπαχου γιαουρτιού, χρησιμεύει τόσο ως σταθεροποιητής όσο και για τη βελτίωση της υφής του (Mistry, 2002).

## **Σκόνη βουτυρογάλακτος (Buttermilk Powder – BMP)**

Από το βουτυρόγαλα μπορεί να παραχθεί μία σκόνη υψηλής προστιθέμενης αξίας (BMP), πλούσια σε λεκιθίνη, με σκοπό τη χρήση ως μια φθηνότερη στερεά πηγή γάλακτος με λειτουργικά οφέλη στη βιομηχανία τροφίμων. Καθώς η δριμύτητα της θερμικής επεξεργασίας παρατηρείται επίσης αύξηση των ελεύθερων σουλφυδρυλομάδων η οποία οδηγεί σε μειωμένη διαλυτότητα της πρωτεΐνης. Η ικανότητα αφρισμού και η σταθερότητα εξαρτάται από το μέγεθος, την έκταση της μετουσίωσης πρωτεϊνών και τη διαλυτότητα των πρωτεϊνών. Η σκόνη βουτυρογάλακτος έδειξε περιορισμένη ικανότητα συγκράτησης νερού (0.75 g νερού g<sup>-1</sup> πρωτεΐνης), περιορισμένη ικανότητα απορρόφησης λίπους (1.2 g ελαίου g<sup>-1</sup> πρωτεΐνης), χαμηλή δυνατότητα αφρισμού (0.5 mL αφρού mL<sup>-1</sup> διαλύματος), καθώς και περιορισμένη ευστάθεια: η ικανότητα γαλακτωματοποίησης και ευστάθειας ήταν παρόμοια με αυτά της σκόνης αποβουτυρωμένου γάλακτος. Τέλος, η μετουσίωση της πρωτεΐνης ορίστηκε ως κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τη λειτουργικότητα του BMP (Wong , Kitts, 2003).

## **Σκόνη ορού γάλακτος και οι παραλλαγές του**

Η σκόνη ορού γάλακτος είναι μια άλλη φθηνή πηγή στερεού γάλακτος με εφαρμογές στη γαλακτοκομεία καθώς και τη βιομηχανία τροφίμων. Η σκόνη ορού γάλακτος στη φυσική της μορφή έχει περιορισμένη δυνατότητα εφαρμογής στα τρόφιμα, καθώς λόγω της υγροσκοπικότητάς της προσδίδει "αλμυρή" γεύση, αφού χαρακτηρίζεται από υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα. Ως εκ τούτου, η τροποποίηση της διεργασίας είναι απαραίτητη έτσι ώστε οι σκόνες ορού γάλακτος να είναι πιο συμβατές για να χρησιμοποιηθούν στα τρόφιμα. Στην περίπτωση του γλυκού ορού γάλακτος σε σκόνη, ιδιότητες αφρισμού έδειξαν θετική συσχέτιση με το μέγεθος των σωματιδίων και αρνητική συσχέτιση με το λιπιδιακό περιεχόμενο. Η διαλυτότητα της πρωτεΐνης έδειξε θετική συσχέτιση με περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και αρνητική συσχέτιση με τη θολερότητα του δείγματος (Banavara et al., 2003).

Η πλήρης κρυστάλλωση της λακτόζης από το συμπυκνωμένο ορό γάλακτος, ακολουθούμενη από ξήρανση με ψεκασμό είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή μιας «μη υγροσκοπικής» σκόνης ορού γάλακτος ("nonhygroscopic" whey powder - NHWP). Σκόνη ορού γάλακτος χωρίς λακτόζη και ανόργανα άλατα μπορεί να παραχθεί κρυσταλλώνοντας ένα μέρος από τη λακτόζη και κατόπιν υποβάλλοντας το μητρικό υγρό σε αφαλάτωση για να απομακρυνθεί το 70% με 90% των ανόργανων αλάτων. Η προκύπτουσα σκόνη βρίσκει εφαρμογή σε παιδικές τροφές, σκευάσματα συμπληρωμάτων διατροφής και άλλα (Fox et al., 2000). Η παρουσία άμορφης λακτόζης αποδείχθηκε ότι επηρεάζει την ρόφηση της υγρασίας και τις ιδιότητες συσσωμάτωσης της ξηραμένης με ψεκασμό σκόνης γάλακτος. Η σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος απορροφά περισσότερη υγρασία και σχηματίζει σκληρότερα συσσωματώματα, σε λιγότερο χρόνο απ'ότι το NHWP (Listiohadhi et al., 2005).

## **Σκόνες για τον καφέ**

Σκόνες γαλακτοκομικών όπως λευκαντικά ή κρέμες/υποκατάστατα κρέμας έχουν πλέον ζωτικό ρόλο στη βιομηχανία καφέ. Τα πιο δημοφιλή πρόσθετα καφέ είναι τα αποξηραμένα συμπυκνώματα γάλακτος, το γάλα εβαπορέ, η κρέμα καφέ, το γάλα σε υγρή μορφή, και λευκαντικά καφέ. Οι πρωτεΐνες του γάλακτος αντιδρούν με τις τανίνες και δίνουν στον καφέ ευχάριστη, ελαφρώς κρεμώδη γεύση. Η όξινη/στυφή γεύση του καφέ, η οποία προκύπτει από την παρουσία των τανινών, θεωρείται ανεπιθύμητη και δυσάρεστη από ορισμένους καταναλωτές (Kelly et al., 1999). Πλούσια γεύση και αφρός είναι οι λειτουργικές ιδιότητες που προσδίδονται από τις σκόνες γαλακτοκομικών. Εκτός από την ευστάθεια του καφέ, η σκόνη γάλακτος πρέπει να έχει λευκαντική ικανότητα, και να μεταδίδει μια πλούσια, κρεμώδη γεύση γαλακτοκομικών (Oldfield and Singh, 2005).

Οι σκόνες γάλακτος κατά τη διάλυσή τους σε διάλυμα καφέ θα πρέπει να παραμείνουν ευσταθείς (να μη δείχνουν ορατή καθίζηση). Η ευστάθεια της πρωτεΐνης γάλακτος επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες, το χαμηλό pH (όπως το pH του καφέ), τη σκληρότητα του νερού (υψηλά επίπεδα Ca, Mg), και άλλους παράγοντες. Άλλοι παράγοντες όπως η σύνθεση του γάλακτος σε πρωτεΐνες, το προφίλ αμινοξέων, και το συνολικό επίπεδο πρωτεΐνης επηρεάζουν επίσης τη σταθερότητα. Η σταθερότητα αυτών των σκονών μπορεί να βελτιωθεί με την απομάκρυνση του ασβεστίου μέσω νανοδιήθησης (Mc Kinnon et al., 2000; Refstrup, 2000).

## **Σκόνη βουτύρου**

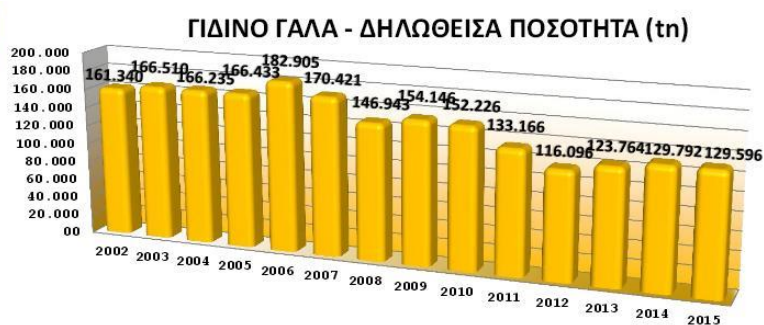
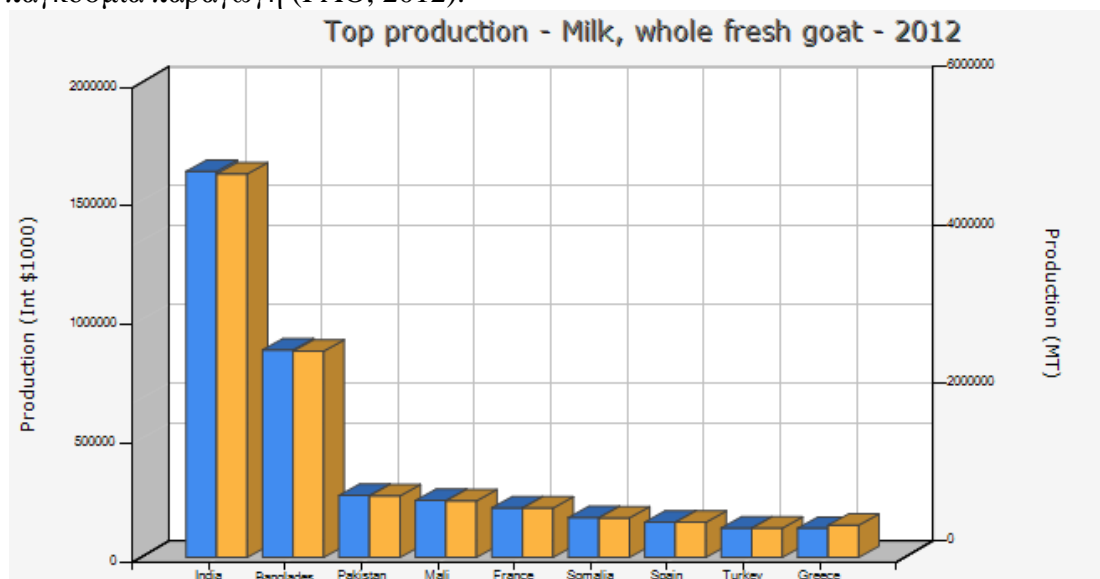
Ρέουσα σκόνη βουτύρου παράγεται από ώριμη/μη ώριμη κρέμα γάλακτος ή από βούτυρο, χρησιμοποιώντας SMP ή/και καζεϊνικό νάτριο ως υλικό εγκλεισμού. Το καζεϊνικό νάτριο σταθεροποιεί τα σφαιρίδια λίπους στη σκόνη βουτύρου στο μεγαλύτερο βαθμό, ακολουθούμενο από τα WPC, MPC, και SMP (Patel et al., 1987). Η ευστάθεια (αντίσταση στην συσσωμάτωση) της σκόνης βουτύρου βελτιώθηκε 4 φορές χρησιμοποιώντας καζεϊνικό νάτριο αντί για SMP ως φορέα πρωτεΐνης μαζί με κιτρικό τρινάτριο (Frede et al., 1987).

## **Σκόνη τυριού**

Η σκόνη τυριού χρησιμοποιείται κυρίως για να προσθέσει γεύση σε προϊόντα αρτοποιίας, μπισκότα ή σνακ, όπως για παράδειγμα τα πατατάκια. Η σκόνη τυριού μπορεί να αποθηκευθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε αντίθεση με το φυσικό τυρί για το οποίο απαιτείται αποθήκευση υπό ψύξη. Η σκόνη τυριού μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα σε αλμυρά τρόφιμα. Ο πολτός τυριού συμπυκνώνεται σε 35% έως 45% συνολικά στερεά, και ακολουθεί η ομογενοποίηση και η ξήρανση με ψεκασμό. Οι κύριες δυσκολίες της επεξεργασίας της σκόνης τυριού είναι ο χειρισμός των πρώτων υλών στο βήμα της σύνθεσης της τροφοδοσίας καθώς και ο σχηματισμός ιζημάτων στο θάλαμο ψεκασμού και το σύστημα συλλογής (Kumar, Tewari, 1991).

## Το αίγιο γάλα και ο ρόλος του στη διατροφή του ανθρώπου

Η εκτροφή γαλακτοπαραγωγών αιγών είναι σημαντικό κομμάτι της εθνικής οικονομίας πολλών χωρών, ειδικά των χωρών της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής (FAO, 2016), και είναι πολύ οργανωμένη στη Γαλλία, την Ιταλία, την Ισπανία και φυσικά την Ελλάδα. Ειδικότερα για την Ελλάδα αποτελεί σημαντικό της κομμάτι της γαλακτοβιομηχανίας, και αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι η Ελλάδα βρίσκεται πολύ ψηλά στην παραγωγή αίγειου γάλακτος σε σχέση με την παγκόσμια παραγωγή (FAO, 2012).



ΕΤΟΣ	ΔΗΛΩΘΕΙΣΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (tn)
2002	161.340
2003	166.510
2004	166.235
2005	166.433
2006	182.905
2007	170.421
2008	146.943
2009	154.146
2010	152.226
2011	133.166
2012	116.096
2013	123.764
2014	129.792
2015	129.596

Η πληροφόρηση για τη σύσταση και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του αίγειου γάλακτος είναι σημαντικό στοιχείο για την επιτυχή ανάπτυξη της βιομηχανίας αίγειου γάλακτος όπως επίσης και για την προώθηση των παράγωγων προϊόντων. Γενικά υπάρχουν διακριτές διαφορές στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά ανάμεσα στο αίγιο, το αγελαδινό και το πρόβειο γάλα. Ενώ η σύσταση του αγελαδινού γάλα διαφοροποιείται ελαφριά κατά τη διάρκεια του χρόνου, το ίδιο δε ισχύει για το αίγιο γάλα το οποίο παράγεται κυρίως κατά την εποχιακή ανατροφή των νεογνών. Έτσι, η σύσταση του αίγειου γάλακτος δεν παραμένει σταθερή όλη τη χρονιά, καθώς κατά το τέλος της γαλακτικής περιόδου, το λίπος, η πρωτεΐνη, η περιεκτικότητα σε στερεά και

μέταλλα αυξάνονται ενώ η λακτόζη μειώνεται (Brozos et al., 1998; Haenlein, 2001,2004).

Το αίγιο γάλα διαφέρει από το αγελαδινό και το ανθρώπινο γάλα στο γεγονός ότι έχει καλύτερη αφομοίωση, αλκαλικότητα, ρυθμιστική ικανότητα, και αρκετές θεραπευτικές ιδιότητες στη διατροφή του ανθρώπου. Τέλος τα λιπαρά στο αίγιο γάλα έχουν καλύτερο φυσικά χαρακτηριστικά από το αγελαδινό γάλα (Haenlein and Caccese, 1984; Park and Chukwu, 1989; Park, 1994).

Average composition of basic nutrients in goat, sheep, cow and human milk

Composition	Goat	Sheep <sup>a</sup>	Cow	Human
Fat (%)	3.8	7.9	3.6	4.0
Solids-not-fat (%)	8.9	12.0	9.0	8.9
Lactose (%)	4.1	4.9	4.7	6.9
Protein (%)	3.4	6.2	3.2	1.2
Casein (%)	2.4	4.2	2.6	0.4
Albumin, globulin (%)	0.6	1.0	0.6	0.7
Non-protein N (%)	0.4	0.8	0.2	0.5
Ash (%)	0.8	0.9	0.7	0.3
Calories/100 ml	70	105	69	68

Data from Posati and Orr (1976), Jenness (1980), Larson and Smith (1974) and Haenlein and Caccese (1984).

<sup>a</sup> Anifantakis et al. (1980).

Οι συστάσεις του αίγιου, του αγελαδινού, του πρόβειου και του ανθρώπινου γάλακτος είναι διαφορετικές, και μπορεί να διαφοροποιηθούν ακόμα ανάλογα με τη διατροφή, τη φυλή, την ατομικότητα, την περίοδο μέσα στη χρονιά, τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες, το στάδιο της γαλακτοπαραγωγής και την υγεία του ζώου.

### Η πρωτεΐνη του αίγιου γάλακτος

Οι πρωτεΐνες του αίγιου γάλακτος είναι παρόμοιες με αυτές του αγελαδινού γάλακτος, με τη γενική τους ταξινόμηση σε α-,β-,κ-καζεΐνης, β-γαλακτογλοβουλίνη, α-λακταλβουμίνη, όμως διαφέρουν στο γενετικό τους πολυμορφισμό και τις συχνότητες τους στο πληθυσμό των αιγών (Martin, 1993; Grosclaude, 1995; Jordana et al., 1996). Στο αίγιο γάλα η αs1-καζεΐνη έχει βρεθεί σε έξι διαφορετικούς τύπους, και ανάλογα με την παρουσία ή απουσία κάποιων κλασμάτων έχουμε πληροφορίες για την αφομοίωση και τις ιδιότητες τυροκόμησης του γάλακτος (Remeuf, 1993). Οι διαφοροποιήσεις στους γενετικούς τύπους εξαιτίας στις εναλλαγές των αμινοξέων στις αλυσίδες της πρωτεΐνης, κάτι το οποίο με τη σειρά του είναι υπεύθυνο για τις διαφοροποιήσεις στην αφομοίωση, τις ιδιότητες τυροκόμησης και τη γεύση των προϊόντων αίγιου γάλακτος (Rystad et al., 1990), όπως επίσης οι διαφοροποιήσεις στη σύσταση των αμινοξέων μπορούν να είναι δείκτης νοθείας με αγελαδινό γάλα (Aschaffenburg and Dance, 1968; Amigo et al., 1989). Επίσης τα πεπτίδια που σχηματίζονται από καζεΐνες πρόβειου γάλακτος (εξαιτίας πρωτεασών) έχουν λιγότερο πικρή γεύση σε σχέση με αυτές που προέρχονται από καζεΐνης αγελαδινού γάλακτος

(Pelissier and Manchon, 1976). Τα μικκύλια της καζεΐνης επίσης διαφέρουν αισθητά σε σχέση με το αγελαδινό γάλα, καθώς επιδεικνύουν ελλειπή δείκτη ιζηματοποίησης, καλύτερη διαλυτοποίηση της α-καζεΐνης, μικρότερο μέγεθος μικκυλίου, περισσότερο ασβέστιο και φώσφορο και χαμηλότερη θερμική σταθερότητα (Jenness, 1980).

Average amino acid composition (g/100 g milk) in proteins of goat and cow milk (Posati and Orr, 1976)

	Goat milk	Cow milk	Difference (%) for goat milk
<b>Essential amino acids</b>			
Tryptophan	0.044	0.046	
Threonine	<b>0.163</b>	<b>0.149</b>	+9
Isoleucine	<b>0.207</b>	<b>0.199</b>	+4
Leucine	0.314	0.322	
Lysine	<b>0.290</b>	<b>0.261</b>	+11
Methionine	0.080	0.083	
Cystine	<b>0.046</b>	<b>0.030</b>	+53
Phenylalanine	0.155	0.159	
Tyrosine	<b>0.179</b>	<b>0.159</b>	+13
Valine	<b>0.240</b>	<b>0.220</b>	+9
<b>Non-essential amino acids</b>			
Arginine	0.119	0.119	
Histidine	0.089	0.089	
Alanine	0.118	0.113	
Aspartic acid	0.210	0.250	
Glutamic acid	0.626	0.689	
Glycine	0.050	0.070	
Proline	0.368	0.319	
Serine	0.181	0.179	

Η μέση σύσταση σε αμινοξέα στο αίγιο και το αγελαδινό γάλα δείχνει υψηλότερα επίπεδα σε 6 από τα 10 βασικά αμινοξέα στο αίγιο γάλα (θρεονίνη, ισολευκίνη, λυσίνη, κυστεΐνη, τυροσίνη και βαλίνη). Οι μεταβολικές τους επιδράσεις δεν έχουν μελετηθεί αρκετά στο αίγιο γάλα, ωστόσο το γεγονός αυτό μπορεί να ενισχύσει την αντίληψη για μερικές από τις θετικές επιδράσεις του αίγιου γάλακτος που έχουν παρατηρηθεί εμπειρικά στη διατροφή του ανθρώπου. Συνολικά, οι προτεινόμενες ποσότητες σε έναν ενήλικο άνθρωπο σε βασικά αμινοξέα μπορούν να καλυφθούν κατά την κατανάλωση μισού λίτρου αίγιου γάλακτος, ή ακόμα και να ξεπεραστούν (συγκριτικά με το αγελαδινό γάλα) (NRC, 1968).

## Το λίπος του αίγιου γάλακτος

Το λίπος είναι ένα αρκετά μελετημένο συστατικό στο αίγιο γάλα. Το μέσο αίγιο λίπος διαφοροποιείται σημαντικά ως προς τα λιπαρά του οξέα σε σχέση με το μέσο αγελαδινό λίπος (Jenness, 1980), καθώς περιέχει αρκετά μεγαλύτερες ποσότητες σε βουτυρικό (C4:0), καπροϊκό (C6:0), καπρυλικό (C8:0), καπρικό (C10:0), λορικό (C12:0), μυριστικό (C14:0), παλμιτικό (C16:0), και λινολεϊκό οξύ (C18:2). Ωστόσο έχει μικρότερη ποσότητα στεραικού (C18:0) και ολεϊκού οξέος (C18:1). Τρία από τα τριγλυκερίδια μέσης αλύσου (MCT) πήραν το όνομα τους από τις αίγες, χάρη στη στην υπεροχή τους στο αίγιο γάλα.

Average fatty acid<sup>a</sup> composition (g/100 g milk) in lipids of goat and cow milk (Posati and Orr, 1976)

	Goat milk	Cow milk	Difference (%) for goat milk
C4:0 butyric	0.13	0.11	
C6:0 caproic	0.09	0.06	
C8:0 caprylic	0.10	0.04	
C10:0 capric	0.26	0.08	
C12:0 lauric	0.12	0.09	
C14:0 myristic	0.32	0.34	
C16:0 palmitic	0.91	0.88	
C18:0 stearic	0.44	0.40	
C6-14 total MCT	0.89	0.61	+46
C4-18 total SAFA	2.67	2.08	+28
C16:1 palmitoleic	0.08	0.08	
C18:1 oleic	0.98	0.84	
C16:1-22:1 total MUFA	1.11	0.96	+16
C18:2 linoleic	0.11	0.08	
C18:3 linolenic	0.04	0.05	
C18:2-18:3 total PUFA	0.15	0.12	+25

<sup>a</sup> MCT: medium chain triglycerides; SAFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids.

Το αίγιο γάλα ξεπερνάει το αγελαδινό γάλα σε μονοακόρεστα (MUFA), πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (PUFA) και τριγλυκερίδια μέσης αλύσου (MCT), τα οποία έχουν αναγνωριστεί ότι έχουν θετική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, ειδικά για καρδιοαγγειακές παθήσεις. Το αίγιο γάλα επίσης έχει αναγνωριστεί και ως πηγή συζευγμένου λινολεϊκού οξέος (CLA), το οποίο έχει αναγνωριστεί για την αντικαρκινική του δράση (Hinders, 1999), ωστόσο δεν έχει γίνει εκτενής έρευνα στο αίγιο γάλα.

Το αίγιο γάλα επίσης περιέχει λιπαρά οξέα διακλαδισμένη αλυσίδα τα οποία δίνουν χαρακτηριστική γεύση στα γαλακτοκομικά προϊόντα. Από αυτά ξεχωρίζει το 4-αιθυλ-οκτανικό οξύ το οποίο βρίσκεται σε ποσότητα 0.227 mg/g συνολικών



λιπαρών οξέων, και ξεχωρίζει ανάμεσα σε 31 λιπαρά οξέα διακλαδισμένης αλυσού. Αυτό οδηγεί στην υπόθεση ότι αυτή είναι η ουσία που δίνει τη χαρακτηριστική μυρωδιά και γεύση σε αίγιο γάλα. Επιπρόσθετα, άλλες ουσίες που έχουν παρατηρηθεί να προσδίδουν ιδιαίτερο άρωμα και γεύση στο αίγιο γάλα είναι το 4-μεθυλ-οκτανοϊκό οξύ, το οκτανοϊκό (καπρυλικό), το εξανοϊκό (καπροϊκό), το και τα 4-μεθυλ-νανοϊκά οξέα. Μικρότερη συμβολή επίσης έχουν τα νοναϊκό και δεκανοϊκό (καπρικό) οξέα. Συγκριτικά με το αγελαδινό γάλα, το αίγιο γάλα έχει μεγαλύτερο αριθμό λιπαρών οξέων διακλαδισμένης αλυσίδας (Ha and Lindsay, 1993; Alonso et al., 1999; Skjeldal, 1979).

Τέλος, η σύσταση των λιπαρών οξέων στο λίπος του αίγιου γάλακτος μπορεί να αλλάξει, μετατρέποντας τα λιπαρά οξέα σε πιο ωφέλιμα με τροποποίηση της διαίτας στις αίγες ( Alonso et al., 1999; Sanz Sampelayo et al., 2002).

### **Λοιπά συστατικά του αίγιου γάλακτος**

*Λακτόζη:* Ο κύριος υδατάνθρακας στο αίγιο (και γενικά) γάλα είναι η λακτόζη. Συντίθεται από τη γλυκόζη στο μαστικό αδένα με την απαιτούμενη ενεργή συμμετοχή της α-λακταλβουμίνης (Larson and Smith, 1974). Η λακτόζη είναι ένα σημαντικό θρεπτικό συστατικό, επειδή συμβάλει στην εντερική απορρόφηση του ασβεστίου, του μαγνησίου και του φωσφόρου, αλλά και στην αξιοποίηση της Βιταμίνης D (Campbell and Marshall, 1975). Η ποσότητα της λακτόζης στο αίγιο γάλα είναι περίπου 0,2-0,5% μικρότερη από αυτή του αγελαδινού. Επίσης η λακτόζη είναι ένας δισακχαρίτης που αποτελείται από μόρια γλυκόζης και γαλακτόζης, τα οποία μπορεί να βρεθούν σε μικρές ποσότητες (Park, 2006). Άλλοι υδατάνθρακες πέρα από τη λακτόζη που βρίσκονται στο αίγιο γάλα είναι οι ολιγοσακχαρίτες, τα γλυκοπεπτίδια, οι γλυκοπρωτεΐνες, και νουκλεοτιδικά σάκχαρα, όλα σε μικρές ποσότητες (Larson and Smith, 1974).

*Βιταμίνες:* Το αίγιο γάλα παρέχει επαρκής ποσότητες Βιταμίνης Α και Νιασίνης, και μεγάλες ποσότητες Θιαμίνης, Ριβοφλαβίνης και Πανθοθενικού οξέος (Ford et al., 1972). Το αίγιο γάλα έχει μεγαλύτερες ποσότητες σε Βιταμίνη Α από το αγελαδινό γάλα, καθώς μετατρέπει όλο το β-καροτένιο σε Βιταμίνη Α, κάνοντας το πιο λευκό από το αγελαδινό γάλα. Ωστόσο σε σύγκριση με το αγελαδινό γάλα, το αίγιο έχει έλλειψη σε φολικό οξύ και Βιταμίνη Β12. (Jenness, 1980). Κατά τη διάρκεια της παστερίωσης (HTST) του αίγιου γάλακτος σημειώνονται απώλειες σε Θιαμίνη, Ριβοφλαβίνη και Βιταμίνη C (Lavigne et al. 1989).

*Μέταλλα:* Οι ποσότητες των μετάλλων στο αίγιο γάλα είναι αρκετά μεγαλύτερες από αυτές στο ανθρώπινο γάλα. Το αίγιο γάλα περιέχει περίπου 134 mg ασβεστίου (Ca) και 121 mg φωσφόρο (P)/100 g, ενώ το ανθρώπινο γάλα έχει μόνο το ένα τέταρτο και το ένα έκτο αντίστοιχα των ποσοτήτων αυτών των μετάλλων. Συνολικά, το αίγιο γάλα έχει μεγαλύτερες ποσότητες σε ασβέστιο (Ca), φωσφόρο (P), κάλιο (K), μαγνήσιο (Mg) και χλώριο (Cl) και μικρότερες σε νάτριο (Na) και θείο (S) (Park and Chukwu, 1988). Επίσης στο αίγιο γάλα εμφανίζονται και άλλα μέταλλα όπως σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn) και ψευδάργυρος (Zn).

Mineral and vitamin contents (amount in 100 g) of goat, sheep and cow milk as compared with human milk

Constituents	Goat	Sheep	Cow	Human
<b>Mineral</b>				
Ca (mg)	134	193	122	33
P (mg)	121	158	119	43
Mg (mg)	16	18	12	4
K (mg)	181	136	152	55
Na (mg)	41	44	58	15
Cl (mg)	150	160	100	60
S (mg)	28	29	32	14
Fe (mg)	0.07	0.08	0.08	0.20
Cu (mg)	0.05	0.04	0.06	0.06
Mn (mg)	0.032	0.007	0.02	0.07
Zn (mg)	0.56	0.57	0.53	0.38
I (mg)	0.022	0.020	0.021	0.007
Se (μg)	1.33	1.00	0.96	1.52
Al (mg)	n.a.	0.05–0.18	n.a.	0.06
<b>Vitamin</b>				
Vitamin A (IU)	185	146	126	190
Vitamin D (IU)	2.3	0.18 μg	2.0	1.4
Thiamine (mg)	0.068	0.08	0.045	0.017
Riboflavin (mg)	0.21	0.376	0.16	0.02
Niacin (mg)	0.27	0.416	0.08	0.17
Pantothenic acid (mg)	0.31	0.408	0.32	0.20
Vitamin B <sub>6</sub> (mg)	0.046	0.08	0.042	0.011
Folic acid (μg)	1.0	5.0	5.0	5.5
Biotin (μg)	1.5	0.93	2.0	0.4
Vitamin B <sub>12</sub> (μg)	0.065	0.712	0.357	0.03
Vitamin C (mg)	1.29	4.16	0.94	5.00

Data from Posati and Orr (1976), Park and Chukwu (1988,1989), Jenness (1980), Haenlein and Caccese (1984), Debski et al. (1987), Coni et al. (1999), Gebhardt and Matthews (1991) and Park (2006a).

### Προϊόντα αίγειου γάλακτος

Το αίγειο γάλα, πέρα από το γεγονός ότι είναι πολύ μικρότερο σε παραγωγή παγκοσμίως σε σχέση με το αγελαδινό γάλα, δεν είναι διαδεδομένο στο ευρύ αγοραστικό κοινό. Ωστόσο λόγω της υψηλής του ποιότητας και των λειτουργικών του ιδιοτήτων επιτυγχάνεται η εκμετάλλευση μέσω δημιουργίας προϊόντων που αναδεικνύουν τα χαρακτηριστικά του.

- Συσκευασμένο γάλα: το προϊόν με τη λιγότερη επεξεργασία, κυκλοφορεί σε συσκευασία ύστερα από απλή ή υψηλή παστερίωση (αποθηκεύεται σε ψύξη), ή

αποστείρωση (δεν απαιτεί ψύξη) και έχει συγκεκριμένη διάρκεια ζωής ανάλογα με τη θερμική επεξεργασία που έχει υποστεί

- Συμπυκνωμένο γάλα: προϊόν που παράγεται συνήθως σε συνθήκες μειωμένης πίεσης, έτσι ώστε να επιτραπεί ο βρασμός σε χαμηλότερη θερμοκρασία και να αποφευχθεί η υποβάθμιση του λόγω θέρμανσης
- Τυροκομία: υπάρχουν πολλά είδη τυριών που παράγονται από αίγαιο γάλα, παστεριωμένο ή μη. Τα τυριά αυτά έχουν ιδιαίτερη γεύση. Αυτό έχει να κάνει με την πρωτεόλυση και τη λιπόλυση που λαμβάνει χώρα κατά την ωρίμαση, που με τη σειρά τους έχουν να κάνουν με τις πρωτεάσες και τα λιπολυτικά ένζυμα αλλά και μια σειρά άλλων παραγόντων που εντοπίζονται στο αίγαιο γάλα, ή/και στον τρόπο διεργασίας του.
- Προϊόντα ζύμωσης: η ζύμωση είναι αποτέλεσμα της μετατροπής των αρχικών προϊόντων σε νέα με διαφορετικά χαρακτηριστικά χάρη στο φαινόμενο της ανάπτυξης μικροοργανισμών στο γάλα και της δράσης τους σε αυτό. Ως αποτέλεσμα παίρνουμε προϊόντα γιαουρτιού ή τύπου γιαουρτιού, ή ζυμωμένα γάλατα όπως το κεφίρ.
- Ζαχαροπλαστική: το αίγαιο γάλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παρασκευή παραδοσιακών γλυκών και γενικότερα για ζαχαροπλαστική. Επίσης χρησιμοποιείται και στην παρασκευή παγωτού.
- Προϊόντα βουτύρου: όπως και στο αγελαδινό γάλα, με αποκορύφωση λαμβάνεται το λίπος του αίγειου γάλακτος, το οποίο στην συνέχεια βουτυροποιείται. Λόγω της σύστασης του λίπους του προτιμάτε για λόγους υγείας έναντι του αγελαδινού. Παραπροϊόν της βουτυροποίησης αποτελεί το βουτυρόγαλα.
- Προϊόντα περιποίησης: με το πέρασμα του χρόνου όλο και πιο πολλά προϊόντα περιποίησης παράγονται από αίγαιο γάλα (σαπούνια, κρέμες, σαμπουάν, κρέμες ξυρίσματος κλπ.).

### **Σκόνη αίγειου γάλακτος**

Τα προϊόντα σε μορφή σκόνης αποτελούνται από τη σκόνη πλήρους γάλακτος, τη σκόνη άπαχου γάλακτος, τη σκόνη ορού γάλακτος αλλά και πιο σύνθετα προϊόντα όπως παιδικές τροφές. Η βιβλιογραφία για τη σκόνη του αίγειου γάλακτος είναι περιορισμένη καθώς δεν υπάρχει ιδιαίτερη τάση για παραγωγή της, κυρίως λόγω του ότι η παραγωγή του αίγειου γάλακτος είναι αρκετά μικρή ώστε να υπάρχει περίσσειμα για τέτοιες διεργασίες όπως επίσης και το γεγονός ότι η σκόνη του αγελαδινού γάλακτος κυριαρχούν στο εμπόριο. Ωστόσο για τις σκόνες που παράγονται οι κύριες μέθοδοι που ακολουθούνται είναι η ξήρανση με ψεκασμό (spray-drying) και η λυοφιλίωση (freeze-drying).

## Μέθοδοι ξήρανσης

Η ξήρανση είναι μία από τις παλαιότερες, και πλέον πιο διαδεδομένες μεθόδους που έχει χρησιμοποιηθεί από τους ανθρώπους για την συντήρηση των τροφίμων. Η ακριβείς χρονολογία για το πότε ξεκίνησε η εφαρμογή της δεν είναι γνωστή, όμως η ύπαρξη των πρώτων αποξηραμένων λαχανικών χρονολογείται κοντά στο 1700. Κατά τη διεργασία της ξήρανσης, το νερό μέσα στα τρόφιμα μειώνεται σε βαθμό όπου η αύξηση αλλοιωγόνων μικροοργανισμών, όπως επίσης και η διενέργεια χημικών αντιδράσεων, σταματάνε οι τουλάχιστον επιβραδύνονται. Επίσης πέρα από τη συντήρηση, επιτυγχάνεται και η μείωση της μάζας και του όγκου των προϊόντων και συνολικά η σταθερότητα κατά την παραμονή τους σε αποθήκευση. Όλοι αυτοί οι παράγοντες οδηγούν στην μείωση του κόστους και των δυσκολιών συσκευασίας, διακίνησης, αποθήκευσης και διαχείρισης. Υπάρχουν πολλοί τύποι ξήρανσης όπως η ξήρανση στον ήλιο, σε κλίβανο, με χρήση μικροκυμάτων, με ψεκασμό (spray drying) και η λυοφιλίωση (freeze drying), ενώ προς το παρών τα κύρια τρόφιμα που χρησιμοποιούνται για ξήρανση είναι τα φρούτα, το γάλα, ο ορός γάλακτος και τα παρασκευάσματα.

### Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying)

Η ξήρανση με ψεκασμό ορίζεται ως η μετατροπή της υγρής φάσης της παροχής σε μορφή αποξηραμένων σωματιδίων. Η παροχή ψεκάζεται σε μέσο υψηλής ξήρανσης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την απομάκρυνση της υγρασίας. Η παροχή μπορεί να είναι είτε σε μορφή διαλύματος είτε σε μορφή πάστας και το τελικό προϊόν είναι σε μορφή σκόνης, κόκκων ή συγκολλημάτων. Η πρώτη πατέντα για ξηραντήρα ψεκασμού παρουσιάστηκε το 1872 από τον Samuel Percy, ενώ η βιομηχανική εφαρμογή στο γάλα έλαβε χώρα τη δεκαετία το 1920. Η ξήρανση με ψεκασμό ευδοκίμησε κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου και έκτοτε ακολουθεί συνεχή ανάπτυξη. Η ξήρανση με ψεκασμό επίσης εφαρμόζεται εκτενώς σε πολλές βιομηχανίες όπως αυτή της παραγωγής χημικών, φαρμάκων και παρασιτοκτόνων.

Η διεργασία ξήρανσης με ψεκασμό μπορεί να παράξει ελεύθερα σωματίδια με σφαιρικό σχήμα και ορισμένο μέγεθος σωματιδίων. Επίσης, ο σύντομος χρόνος ξήρανσης, σε σύγκριση με άλλες διεργασίες ξήρανσης, την καθιστά κατάλληλη για ξήρανση θερμοευαίσθητων υλών. Οι λόγοι, λοιπόν για τους οποίους η ξήρανση με ψεκασμό είναι τόσο ευρέως χρησιμοποιημένη στη βιομηχανία τροφίμων είναι επειδή πολλά τρόφιμα είναι ευαίσθητα στη θέρμανση, καθώς και το γεγονός ότι τα προϊόντα σε μορφή σκόνης είναι ελκυστικά στους καταναλωτές. Από τα αποξηραμένα προϊόντα που έχουν παραχθεί με μέθοδο spray drying, τα πιο δημοφιλή είναι τα γαλακτοκομικά προϊόντα όπως το πλήρες γάλα, το άπαχο γάλα και ο ορός γάλακτος. Επίσης η μέθοδος εφαρμόζεται σε προϊόντα όπως καφές, αυγά, ένζυμα και τροφές για μωρά.

Η διαδικασία ξήρανσης ξεκινάει με άντληση της ροής σε ένα κονιοποιητή-ψεκαστή, ο οποίος διασπείρει τη ροή σε ένα σύννεφο από σταγονίδια και την εξάγει σε ένα θάλαμο ξήρανσης. Το νέφος έρχεται σε επαφή με ένα θερμό μέσο ξήρανσης (συνήθως αέρα), επιτρέποντας στην υγρασία να εξατμιστεί και τα σταγονίδια να μετασχηματίζονται σε ξηρά σωματίδια τα οποία έχουν παρόμοιο σχήμα και μέγεθος. Τελικά, τα αποξηραμένα σωματίδια ξεχωρίζονται από το μέσο ξήρανσης και

συλλέγονται ως τελικά προϊόντα. Το μέσο ξήρανσης καθαρίζεται μέσω ενός κυκλώνα και απομακρύνεται στο περιβάλλον ή, σε κάποιες περιπτώσεις επαναδιαχέεται στο θάλαμο ξήρανσης.

Τα πλεονεκτήματα της ξήρανσης με ψεκασμό είναι τα εξής: (1) είναι δυνατό να διατηρηθούν ομοιόμορφα χαρακτηριστικά της σκόνης όταν οι συνθήκες ξήρανσης παραμένουν σταθερές, (2) είναι μια γρήγορη και συνεχής διαδικασία, (3) είναι ευπροσάρμοστη στον αυτόματο έλεγχο, (4) υπάρχει μεγάλο εύρος ξηραντήρων, οι οποίοι μπορούν να εξυπηρετήσουν σε εξειδικευμένες χρήσεις. Τα βασικά μειονεκτήματα των ξηραντήρων ψεκασμού είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης, η χαμηλή θερμική απόδοση και η απώλεια ενέργειας.

### **Συμπύκνωση πριν την ξήρανση**

Δεδομένης της υψηλής θερμοκρασίας εξάτμισης του νερού, πριν την διεργασία της ξήρανσης, επιλέγεται να γίνει συμπύκνωση της ξηράς ουσίας στο υλικό, έτσι ώστε να μειωθεί το ενεργειακό κόστος της διεργασίας. Η συμπύκνωση αυτή μπορεί να γίνει με φιλτράρισμα ή με εξάτμιση. Στην περίπτωση του φιλτράρισματος με αντίστροφη όσμωση το νερό αφαιρείται χωρίς αλλαγή φάσης, περνώντας το προϊόν μέσα από μια μεμβράνη με τη βοήθεια της πίεσης. Αυτή η διεργασία μειώνει το κόστος της εξάλειψης του νερού, ωστόσο αυξάνονται το ιξώδες και η οσμωτική πίεση. Με αυτά τα δεδομένα, γενικά δεν είναι δυνατή η συμπύκνωση πέρα από το 25% (w/w) επί της ξηράς ουσίας. Για αυτό το λόγο προτιμάτε η συμπύκνωση με εξάτμιση.

Η συμπύκνωση με εξάτμιση περιλαμβάνει την έκθεση του υγρού σε συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης έτσι ώστε να επιτραπεί η εξάτμιση του διαλύτη. Η διαδικασία αυτή διευκολύνει τη συμπύκνωση τη συγκέντρωση των μη πτητικών στοιχείων στο προϊόν. Σημαντικό στοιχείο της τεχνικής αυτής είναι του ενεργειακού της κόστος, δεδομένου ότι το νερό αφαιρείται με αλλαγή φάσης (από υγρό σε αέριο), σε αντίθεση με της τεχνικές διαχωρισμού. Γενικά η συμπύκνωση με εξάτμιση έχει χαμηλή αποδοτικότητα και για αυτό το λόγο οι περισσότερες προσπάθειες για ανάπτυξη στοχεύουν την βελτίωση της.

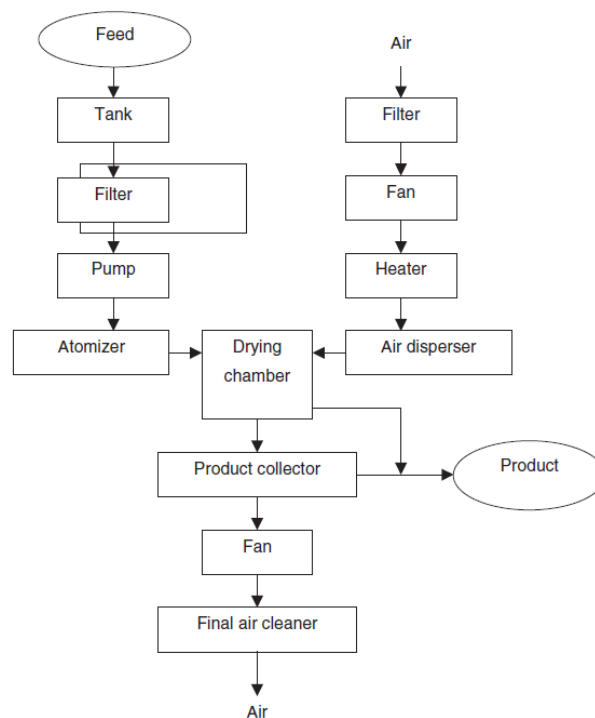
Επιπλέον, επειδή τα περισσότερα τρόφιμα είναι ευαίσθητα στη θέρμανση η συμπύκνωση γίνεται σε μερικό κενό έτσι ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία επεξεργασία στους 45 με 80°C. Αυτή η διεργασία μειώνει τον βιοχημική μεταουσίωση των συστατικών στο ελάχιστο, ωστόσο το κέρδος ενεργειακά είναι μικρό. Τα χαρακτηριστικά του συμπυκνώματος εξαρτώνται από τη θερμοκρασία της διεργασίας, και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες και την ποιότητα της τελικής σκόνης.

### **Διάταξη διεργασίας ξήρανσης**

Η ξήρανση με ψεκασμό είναι μία ιδιαίτερη διεργασία όπου τα σωματίδια σχηματίζονται την ίδια στιγμή που αποξηραίνονται. Πολλά σχέδια από ξηραντήρες ψεκασμού είναι διαθέσιμα έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στο μεγάλο εύρος προϊόντων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Αν και τα σχέδια των ξηραντήρων διαφοροποιούνται, όλοι διαθέτουν εξοπλισμό με προδιαγραφές που χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες:

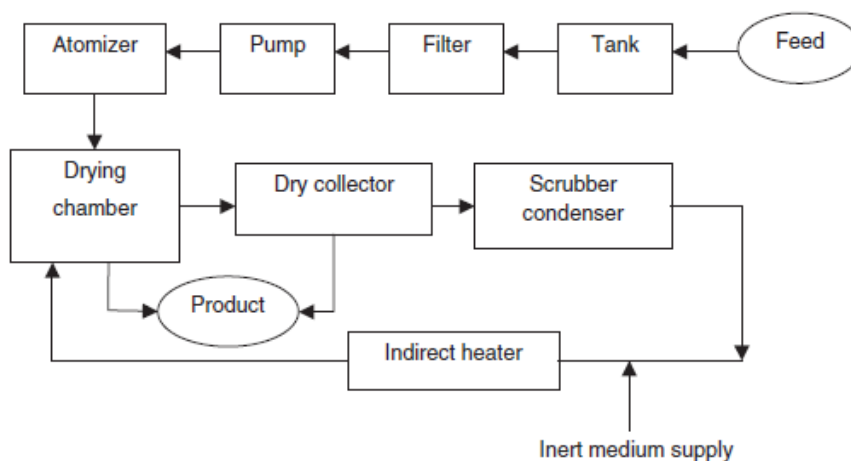
1. *Μηχανισμούς θέρμανσης του αέρα*, οι οποίοι θερμαίνουν τον αέρα που χρησιμοποιείται για ξήρανση, μέσω ανεμιστήρων, φίλτρων, αποσβεστήρες και αγωγούς
2. *Ψεκαστήρες*, οι οποίοι συνδέονται με το σύστημα τροφοδοσίας (αντλίες, δεξαμενές) και μετατρέπουν την τροφοδοσία σε νέφος υγρών σωματιδίων
3. *Θάλαμος ξήρανσης*, όπου ο αέρας έρχεται σε επαφή με την ψεκασμένη τροφοδοσία και την αποξηραίνει. Ο θάλαμος ξήρανσης έχει συστήματα διασποράς του αέρα και εξόδους για τα αποξηραμένα προϊόντα και τον χρησιμοποιημένο αέρα
4. *Εξοπλισμός για την αποδέσμευση, μεταφορά, συσκευασία του τελικού προϊόντος και εξάτμιση του αέρα*, ο οποίος παρέχει ανάκτηση των τελικών προϊόντων και καθαρισμό του αέρα.

Διάφορα σχέδια ξηραντήρων μπορούν να ομαδοποιηθούν βάσει τη διάταξης της διεργασίας που εκτελούν. Ανάμεσα σε αυτές μπορούν να αναφερθούν συστήματα ανοιχτού κύκλου, κλειστού κύκλου, ημίκλειστου κύκλου, πολλαπλών φάσεων, ή ειδικών διατάξεων όπως ασηπτικά συστήματα. Η διάταξη ανοιχτού κύκλου είναι το τυπικό σύστημα και το πιο διαδεδομένο. Σε αυτή τη διάταξη ο αέρας δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα, θερμαίνεται, χρησιμοποιείται μία φορά ως μέσο ξήρανσης μέσα στον θάλαμο ξήρανσης, καθαρίζεται μέσα στον κυκλώνα και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Αυτός ο τύπος διάταξης καταναλώνει πολύ ενέργεια, η οποία χρειάζεται στη θέρμανση του αέρα, επειδή ο αέρας απελευθερώνεται χωρίς ανακύκλωση. Ο όλη διαδικασία λαμβάνει χώρα υπό ελαφρύ κενό.



Διάταξη ανοιχτού κύκλου

Η διάταξη κλειστού κύκλου περιλαμβάνει την ανακύκλωση και επανάχρηση του αέριου μέσου, το οποίο μπορεί να είναι αέρας ή αδρανές αέριο όπως το άζωτο. Αυτό το σχέδιο έχει κλειστό σύστημα παροχής αέρα και λειτουργεί σε ελαφριά πίεση για αποφυγή εσωτερικής διαρροής αέρα. Αυτή η διάταξη καθιστά δυνατή την παραγωγή νέων προϊόντων και βοηθά την επίλυση προβλημάτων σχετιζόμενα με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής. Σαν σχέδιο κλειστού κύκλου συνήθως επιλέγεται σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες: (1) η παροχή μπορεί να περιέχει εύφλεκτους οργανικούς διαλύτες, (2) η πλήρης ανάκτηση των διαλυτών είναι απαραίτητη, (3) μόλυνση του αέρα από δυσωδία, αέριο διαλύτη, ή έκκριση από σωματίδια απαγορεύεται, (4) ανάμειξη σκόνης/αέρα είναι εκρηκτική, (5) κίνδυνος φωτιάς πρέπει να αποφευχθεί και (6) το αδρανές αέριο χρησιμοποιείται για αποφυγή οξειδωσης των προϊόντων. Η αποδοτικότητα σε αυτό τον τύπο διάταξης είναι υψηλότερη από αυτόν στον σύστημα ανοιχτού κύκλου. Επιπλέον, είναι πιο φιλικό στο περιβάλλον καθώς η έξοδος αποτελείται μόνο από ξηρά προϊόντα.

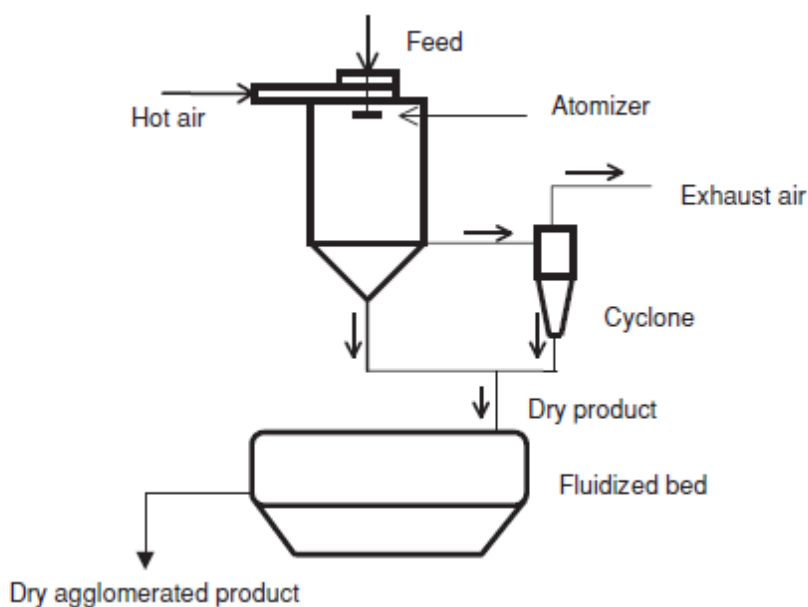


Διάταξη κλειστού κύκλου

Οι διατάξεις ημίκλειστου κύκλου αναπτύχθηκαν για να βελτιώσουν την αποδοτικότητα σε θερμική ενέργεια, με τη χρησιμοποίηση τη θερμότητας στον αέρα που αποβάλλεται, επιτρέποντας το χειρισμό υλικών με ενεργά, δυσώδη ή εκρηκτικά χαρακτηριστικά. Μπορούν να ταξινομηθούν περεταίρω με βάση το αν το μέσο ξήρανσης ανακυκλώνεται μερικώς ή ολικώς. Ο ανακυκλωμένος αέρας μπορεί να θερμανθεί ξανά άμεσα ή έμμεσα πριν ξαναεισέλθει στο θάλαμο ξήρανσης. Όταν το μέσο ξήρανσης θερμαίνεται άμεσα, λάδι ή άλλα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όμως όταν ο ξηραντήρας χρησιμοποιείται για να επεξεργαστεί τρόφιμα όπως το γάλα και ο καφές, δε χρησιμοποιείται άμεσα θέρμανση επειδή αμίνες, όπως επίσης και άλλα συστατικά που περιέχουν άζωτο, μπορεί να σχηματιστούν, έχοντας ως αποτέλεσμα ανεπιθύμητες επιμολύνσεις των τροφίμων.

Όλες οι διατάξεις που αναφέρθηκαν είναι διατάξεις μίας φάσης και εκπροσωπούν την πλειοψηφία των ξηραντήρων ψεκάσμου. Αν και είναι ικανοί για παραγωγή αποξηραμένων προϊόντων που ανταποκρίνονται στα ζητούμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά, η συνεχής ανάγκη για βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και υψηλότερη θερμική αποδοτικότητα, έχουν οδηγήσει στην ιδέα για ανάπτυξη

συστήματος ξήρανσης δύο ή περισσότερων φάσεων. Στη διάταξη δύο φάσεων, οι ξηραντήρες ψεκασμού δρουν όπως οι και ξηραντήρες μίας φάσης με τη διαφορά ότι πλέον συνδυάζονται με μία εφυδατωμένη κλίνη, που δρα ως συσσωματοποιητής, δευτερεύον ξηραντήρας ή ψύκτης. Αυτός ο τύπος διάταξης συνήθως χρησιμοποιείται όπου υπάρχει αναγκαιότητα για (1) επίτευξη πολύ χαμηλής υγρασίας στο τελικό προϊόν, (2) βελτίωση της θερμικής αποδοτικότητας, (3) μείωση της θερμοκρασίας της σκόνης που εξέρχεται από τον ξηραντήρα, (4) βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων της σκόνης με συσσωμάτωση.



Διάταξη δύο φάσεων

Η διάταξη δύο φάσεων χρησιμοποιείται ευρέως στη γαλακτοβιομηχανία για να παραχθούν προϊόντα με καλές ιδιότητες ανάμειξης. Η συσσωμάτωση των λεπτών σωματιδίων έρχεται εις πέρας με την λειτουργία του ξηραντήρα ψεκασμού με τέτοιο τρόπο ώστε η σκόνη να είναι ελαφρώς υγρή καθώς βγαίνει από το θάλαμο ξήρανσης. Τότε η συσσωμάτωση προάγεται από της δυνάμεις αυτοσυγκόλλησης των σωματιδίων λόγω των συνεχών συγκρούσεων τους μέσα στην κλίνη.



Buschi mini spray dryer B-290



Η υγρασία της σκόνης αποδεσμεύεται από την κωνική βάση του θαλάμου, και στη συνέχεια ξηραίνεται πλήρως και ψύχεται σε μία υγρή κλίση. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό αυτής της διάταξης είναι ο αυξημένος χρόνος παραμονής του υλικού σε σύγκριση με αυτόν την διάταξης μίας φάσης. Με αυτό τον τρόπο η διεργασία μπορεί να καθοδηγηθεί έτσι ώστε να προσδοθούν νέες ιδιότητες στο προϊόν με χαρακτηριστική αυτή της κρυστάλλωσης. Το τελικό προϊόν έχει τραχιά επιφάνεια σωματιδίων και υψηλό βαθμό ρευστότητας, διαβρεξιμότητας και ικανότητας διασποράς. Η διάταξη αυτή με ορισμένες παραμετροποιήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενός μεγάλου εύρους σκονών τροφίμων.

### **Λυοφιλίωση (Freeze drying)**

Το freeze-drying, ή αλλιώς η λυοφιλίωση, χρησιμοποιήθηκαν πρώτη φορά από τον Altmann το 1890 για την προετοιμασία δειγμάτων ιστού και οργάνων για την εξέταση τους σε μικροσκόπιο. Τη δεκαετία του 1940, η μέθοδος εντάχθηκε στην παραγωγή προϊόντων από ξηρό πλάσμα σε μεγαλύτερη κλίμακα. Σήμερα το λυοφιλιωμένο πλάσμα είναι κοινώς αποδεκτό, ακόμα και ως καλύτερο από το αποθηκευμένο υγρό πλάσμα.

Στη βιομηχανία των τροφίμων, η λυοφιλίωση άρχισε να εφαρμόζεται το 1954, ακολουθούμενο από την συνηθισμένη ξήρανση εν κενό για τα ψάρια. Ο λυοφιλιωμένος καφές εισήχθη στην αγορά το 1964 με μεγάλη επιτυχία. Γενικότερα, τα τελευταία χρόνια η λυοφιλίωση έχει επιφέρει σημαντικό αντίκτυπο στον κλάδο της συντήρησης τροφίμων και φαίνεται ως μία ελκυστική μέθοδος για την επέκταση του χρόνου ζωής των τροφίμων.

Τα λυοφιλιωμένα προϊόντα είναι αποξηραμένα. Ελαφριά και πόρωση, και σχεδόν διατηρούν το αρχικό τους μέγεθος και σχήμα. Τα σωστά συσκευασμένα λυοφιλιωμένα προϊόντα μπορούν να αποθηκευτούν για περισσότερο από ένα χρόνο και να διατηρήσουν τις περισσότερες από τις φυσικές, χημικές βιολογικές και οργανοληπτικές τους ιδιότητες που διέθεταν στην αρχική τους κατάσταση. Φαρμακευτικά, βιολογικά υλικά και τρόφιμα είναι τρεις χαρακτηριστικές κατηγορίες στις οποίες η μέθοδος της λυοφιλίωσης εφαρμόζεται συνήθως, ειδικά σε περιπτώσεις όπου κάποια υλικά δεν πρέπει να θερμανθούν πάνω από συγκεκριμένες θερμοκρασίες, γεγονός που θα καθιστούσε άλλες μεθόδους ξήρανσης απαγορευτικές.

Η διαδικασία της λυοφιλίωσης αποτελείται κυρίως από δύο βήματα: (1) την ψύξη του προϊόντος και (2) το προϊόν αποξηραίνεται καθώς ο πάγος εξαχνώνεται υπό συνθήκες μειωμένης πίεσης. Όντας μία ψυχρή διεργασία, η λυοφιλίωση είναι πολύ χρήσιμη για ξήρανση θερμοευαίσθητων τροφίμων, όπως ο καφές και τα εκχυλίσματα τσαγιού, όπου τα πτητικά συστατικά, στα οποία οφείλονται το άρωμα και η γεύση, χάνονται εύκολα κατά τις τυπικές διεργασίες ξήρανσης. Γενικά γίνονται εύκολα αντιληπτές, από το καταναλωτικό κοινό, οι διαφορές στη γεύση μεταξύ των λυοφιλιωμένων και των αποξηραμένων με ψεκασμό στιγμιαίων προϊόντων καφέ που υπάρχουν στην αγορά. Οι χαμηλές θερμοκρασίες ξήρανσης που χρησιμοποιούνται στη διεργασία μειώνουν τις αντιδράσεις υποβάθμισης που συνήθως λαμβάνουν χώρα κατά τις συνήθεις μεθόδους ξήρανσης.

Το προφανές πλεονέκτημα της λυοφιλίωσης είναι ότι η παγωμένη δομή στο προϊόν ελαχιστοποιεί την συρρίκνωση του κατά την διεργασία και έτσι προάγει τη

γρήγορη και πλήρη επανενυδάτωση τους. Για αυτό το λόγο, είναι πολύ χρήσιμο για την ξήρανση κάποιων τροφίμων (όπως λαχανικά και φρούτα) που χρησιμοποιούνται σε στιγμιαία τρόφιμα, όπως μείγματα σούπας, των οποίων οι ιδιότητες ανασύστασης είναι πολύ θεμιτές. Οι καλές ιδιότητες επανασύστασης τους επιτρέπουν να επανακτήσουν το αρχικό τους σχήμα και δομή γρήγορα με την προσθήκη υγρού, και να παρουσιάζουν χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα των φρέσκων προϊόντων. Ωστόσο, με εξαίρεση τον στιγμιαίο καφέ και τα μείγματα σούπας, τα περισσότερα εμπορικά λυοφιλωμένα προϊόντα χρησιμοποιούνται κυρίως για στρατιωτικές προμήθειες.

Οι παραδοσιακές διεργασίες αφυδάτωσης συνήθως προκαλούν φυσικοχημικές και δομικές αλλαγές στα αποξηραμένα προϊόντα εξαιτίας της εφαρμογής θερμότητας. Ανάμεσα σε αυτές τις αλλαγές, μερικά συνήθη παραδείγματα είναι, η συρρίκνωση των κυψελίδων, η απώλεια της ιδιότητας επανενυδάτωσης και της διαβρεξιμότητας, την απώλεια στερεών, τη σκλήρυνση της επιφάνειας, και η απώλεια των πτητικών συστατικών αρώματος και γεύσης. Γενικά φαινόμενα όπως ο αποχρωματισμός, η απώλεια της υφής και του σχήματος, η απώλεια γευστικών χαρακτηριστικών, και η κακή επανενυδάτωση είναι εύκολο να αποτυπωθούν στη μνήμη του καταναλωτικού κοινού.

Γενικά η λυοφιλίωση είναι δημοφιλής σε διεργασίες που περιλαμβάνουν την δημιουργία σκόνης τροφίμων των οποίων η αρχική φάση ήταν υγρή. Η πορώδης δομή του τελικού προϊόντος, η οποία δημιουργείται χάρη στην εξάχνωση του πάγου, προσδίδει εξαιρετικές ιδιότητες ανάμειξης στη σκόνη. Για λόγους διευκόλυνσης, άλλα και εμπορικούς (όπως για παράδειγμα η εξαγωγή του εμπορικού προϊόντος), έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον για χρήση της λυοφιλίωσης για δημιουργία στιγμιαίας σκόνης με υψηλή ποιότητα, με χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτά του καφέ και του τσαγιού. Άλλα παραδείγματα λυοφιλωμένων προϊόντων είναι οι χυμοί φρούτων, αυγά, συμπυκνώματα βελτιωτικών γεύσης, και πιο σπάνια γάλα.

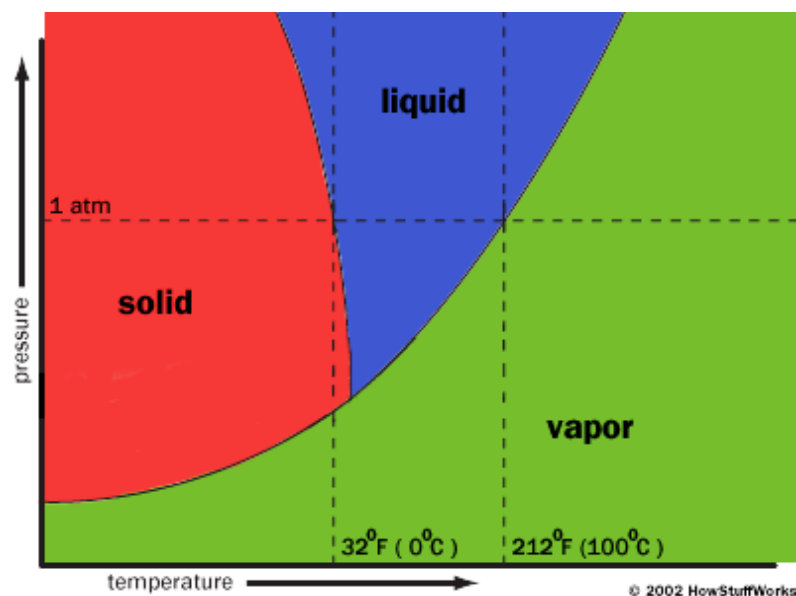
Γενικά, η λυοφιλίωση αναγνωρίζεται ως η καλύτερη μέθοδος για παραγωγή αποξηραμένων τροφίμων υψηλής ποιότητας. Παρόλα αυτά είναι πολύ ακριβή επειδή απαιτεί μεγάλο χρόνο ξήρανσης και δημιουργία κενού. Το ενεργειακό κόστος είναι υψηλό επειδή το υλικό πρέπει να είναι παγωμένο αρχικά, και στη συνέχεια να τροφοδοτηθεί θερμικά έτσι ώστε να εξαχνωθεί ο πάγος. Ο μεγάλος χρόνος ξήρανσης δημιουργείται εξαιτίας της αντίστασης στη μεταφορά μάζας και θερμότητας, αλλά και άλλους παράγοντες. Επίσης είναι δύσκολο να ρυθμιστεί ένα σύστημα απομάκρυνσης θερμότητας που να μπορεί να δημιουργήσει ομογενή κατανομή παγωμένου κρυστάλλου καθ'όλη τη μάζα του παγωμένου, γεγονός που δημιουργεί αναστολές στη εκτεταμένη χρήση της μεθόδου.

### **Αρχή λειτουργίας της μεθόδου**

Η βασική αρχή λειτουργίας της λυοφιλίωσης είναι η εξάχνωση, δηλαδή η αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό. Όπως και η συμπύκνωση, η εξάχνωση συμβαίνει όταν ένα μόριο αποκτήσει ενέργεια αρκετή για να αποσπαστεί από τα μόρια γύρω του. Το νερό θα εξαχνωθεί από στερεό (πάγος) σε αέριο όταν τα μόρια του θα έχουν αρκετή ενέργεια να αποσπαστούν όμως οι συνθήκες για σχηματισμό υγρού δεν είναι κατάλληλες. Υπάρχουν δύο κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη φάση (στερεά, υγρή, αέρια) στην οποία θα έρθει το συστατικό : θερμοκρασία και πίεση. Για να έρθει

ένα συστατικό σε μία συγκεκριμένη φάση, η θερμοκρασία και η πίεση πρέπει να είναι σε μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Χωρίς τις συνθήκες αυτές, η φάση του στοιχείου αυτού δε μπορεί να υπάρξει. Το διάγραμμα μας δείχνει τις αναγκαίες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας των διαφορετικών φάσεων του νερού.

Παρατηρείται ότι το νερό παίρνει υγρή μορφή σε 1 ατμόσφαιρα αν η θερμοκρασία είναι κάπου ανάμεσα στο σημείο πήξης ( $0^{\circ}\text{C}$ ) και το σημείο τήξης ( $100^{\circ}\text{C}$ ). Αν όμως η θερμοκρασία αυξηθεί πάνω από τους  $100^{\circ}\text{C}$  κρατώντας την πίεση κάτω από τις 0.06 ατμόσφαιρες, το νερό είναι αρκετά θερμό για να λιώσει, όμως δεν υπάρχει αρκετή πίεση για να σχηματιστεί υγρό, και έτσι γίνεται αέριο.



Διάγραμμα φάσεων νερού

### Διαδικασία λυοφιλίωσης

Υπάρχουν 5 φάσεις κατά την διεργασία της λυοφιλίωσης:

(1) *Προετοιμασία και προεργασία*: τα υλικά συνήθως τεμαχίζονται, αλέθονται, προψήνονται ή συμπυκνώνονται στην αρχή της διεργασίας. Τα εκχυλίσματα των τροφίμων, τα οποία αποκτούνται ύστερα από πίεση, άντληση ή κάποια άλλη μέθοδο, καθώς και τα τρόφιμα σε υγρή μορφή, έχουν συγκέντρωση σε ολικά στερεά 8-15%. για αυτό το λόγο, είναι επιθυμητή η αύξηση των ολικών στερεών σε 30-50%, μέσω της συμπύκνωσης κάτι που θα βελτίωνε τη οικονομία της διεργασίας.

(2) *Ψύξη*: η διαδικασία της ψύξης ουσιαστικά αποτελείται από την ψύξη του υλικού. Σε εργαστηριακό επίπεδο αυτή η διαδικασία γίνεται συνήθως τοποθετώντας το υλικό σε μία φιάλη η οποία τοποθετείται σε ψύξη μέσω μηχανικής κατάψυξης, ξηρό πάγο και μεθανόλη, ή υγρό άζωτο. Σε μεγαλύτερη κλίμακα, η ψύξη γίνεται με χρήση ειδικής για λυοφιλίωση μηχανής. Σε αυτό το βήμα, είναι σημαντικό το υλικό να ψυχθεί σε θερμοκρασία κάτω από το ευκτικό του σημείο, δηλαδή τη χαμηλότερη θερμοκρασία στη οποία οι στερεά και η υγρή φάση μπορούν να συνυπάρξουν. Το γεγονός αυτό διασφαλίζει ότι στα επόμενα στάδια θα λάβει χώρα η εξάχνωση και όχι τήξη.

Γενικά, μεγαλύτεροι κρύσταλλοι είναι πιο εύκολο να λυοφιλωθούν. Για να παραχθούν μεγαλύτεροι κρύσταλλοι, το προϊόν πρέπει να ψυχθεί αργά. Συνήθως οι θερμοκρασίες ψύξης κυμαίνονται από  $-50$  έως  $-80^{\circ}\text{C}$ . Τα άμορφα υλικά μπορεί να μην έχουν ευτικτικό σημείο, όμως έχουν κρίσιμο σημείο, κάτω από το οποίο το προϊόν πρέπει να διατηρηθεί έτσι ώστε να αποφευχθεί η τήξη κατά τη διάρκεια της κυρίως και της δευτερεύουσας ξήρανσης.

(3) *Κυρίως ξήρανση*: κατά τη διάρκεια της κυρίως ξήρανσης η πίεση μειώνεται (σε ένα εύρος μερικών mbar), και μια θερμοκρασία παρέχεται στο υλικό, έτσι ώστε το νερό να εξαχνωθεί. Η ποσότητα της απαιτούμενης θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας θερμοκρασία εξάχνωσης των προς εξάχνωση σωματιδίων. Σε αυτή την αρχική φάση της ξήρανσης, περίπου το 95% του νερού στο υλικό εξαχνώνεται. Η φάση αυτή μπορεί να είναι αργή (μέχρι και μερικές ημέρες για τη βιομηχανία), επειδή, αν προσδοθεί μεγάλη ποσότητα θερμότητας, η δομή του υλικού μπορεί να αλλοιωθεί. Στη φάση αυτή, η πίεση ελέγχεται μέσω της εφαρμογής μερικού κενού.

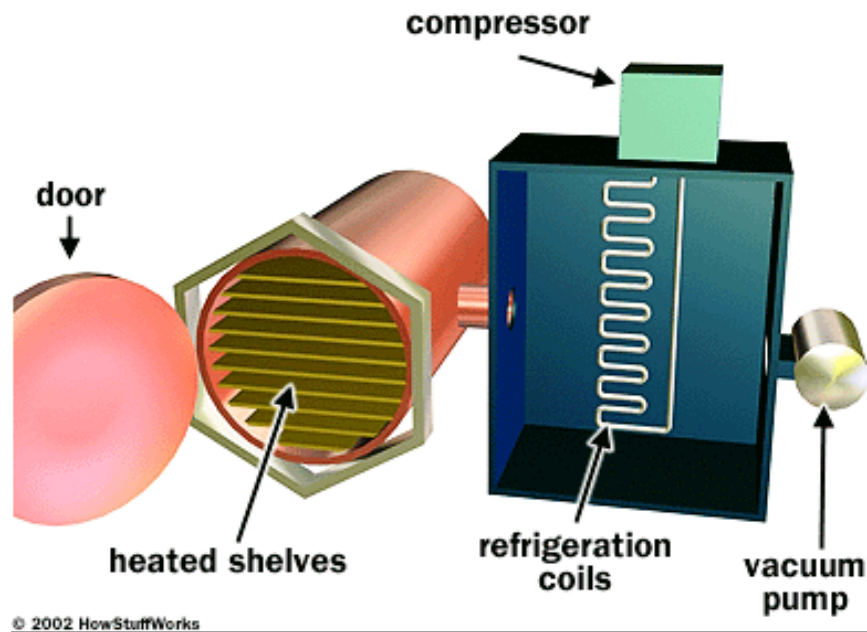
Το κενό επιταχύνει την εξάχνωση, καθιστώντας χρήσιμο παράγοντα κατά τη διεργασία ξήρανσης. Το κενό, επίσης είναι σημαντικό καθώς η απώλεια αέρα εμποδίζει την υποβάθμιση λόγω της οξειδωσης ή χημικής μετουσίωσης των προϊόντων κατά την ξήρανση. Επιπλέον, ένα ψυχρός θάλαμος συμπύκνωσης ή/και επιφάνειες συμπύκνωσης παρέχουν επιφάνειες πάνω στις οποίες το αέριο γίνεται ξανά στερεό. Οι συμπυκνωτές δεν παίζουν ρόλο στο να παραμείνει το υλικό παγωμένο, ωστόσο παρεμποδίζει το αέριο να φτάσει στην αντλία κενού, κάτι το οποίο μπορεί να υποβαθμίζει την απόδοση της αντλίας. Οι θερμοκρασίες των συμπυκνωτών είναι κάτω από τους  $-50^{\circ}\text{C}$ . Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί ότι σε αυτό το εύρος πίεσης, η θερμότητα κυρίως μεταφέρεται με αγωγή ή ακτινοβολία, καθώς η επίδραση της συναγωγής είναι αμελητέα.

(4) *Δευτερεύουσα ξήρανση*: η δευτερεύουσα ξήρανση κυρίως αποσκοπεί στην απώλεια των μη παγωμένων σωματιδίων του νερού, από τη στιγμή που ο πάγος έχει αφαιρεθεί κατά την φάση της κυρίως ξήρανσης. Αυτό το κομμάτι της διεργασίας της λυοφιλίωσης κυριαρχείται από ισοθερμικές καμπύλες απορρόφησης του υλικού. Σε αυτή τη φάση, η θερμοκρασία αυξάνεται περισσότερο σε σχέση με το κυρίως στάδιο και μπορεί να ξεπεράσει ακόμα και τους  $0^{\circ}\text{C}$ , ώστε να σπάσει τις φυσικοχημικές αλληλεπιδράσεις που έχουν σχηματιστεί ανάμεσα στα σωματίδια νερού και παγωμένου υλικού. Συνήθως, στο στάδιο αυτό η πίεση επίσης μειώνεται για να προαχθεί η εκρόφηση (συνήθως σε εύρος mbar). Ωστόσο, υπάρχουν προϊόντα τα οποία ευνοούνται από αυξημένη πίεση. Μετά το πέρας της διεργασίας λυοφιλίωσης, το κενό συνήθως διαλύεται με χρήση αδρανούς αερίου, όπως άζωτο. Στο τέλος της διεργασίας, η τελική συγκέντρωση υπάρχοντος νερού είναι πολύ χαμηλή, της τάξης του 1 έως 4%.

(5) *Συσκευασία*: Τα αποξηραμένα τρόφιμα πρέπει να αποθηκευτούν σωστά έτσι ώστε να αποφευχθεί η απορρόφηση υγρασίας ή αντιδράσεις οξειδωσης των λιπιδίων. Συνήθως η αποθήκευση γίνεται σε κονσέρβες ή περιτυλίγματα.

## Διάταξη διεργασίας λυοφιλίωσης

Η γενική διάταξη ενός λυοφιλιωτή αποτελείται από ένα θάλαμο λυοφιλίωσης με μερικά ράφια με τοποθετημένα σώματα θέρμανσης, ένα σώμα ψύξης συνδεδεμένο στον συμπιεστή του καταψύκτη, και μία αντλία κενού. Στις περισσότερες περιπτώσεις μηχανημάτων, το υλικό προς ξήρανση τοποθετείται στα ράφια όταν ακόμα δεν έχει παγώσει. Όταν ο θάλαμος κλείνει και ξεκινά η διεργασία, τα μηχανήματα ενεργοποιεί τους συμπιεστές για να μειώσει τη θερμοκρασία του θαλάμου. Όταν το υλικό παγώσει, το νερό διαχωρίζεται από οτιδήποτε γύρω του, σε μοριακό επίπεδο, ωστόσο υπάρχει ακόμα παρουσία νερού.



Τυπική διάταξη λυοφιλιωτή

Στη συνέχεια, το μηχάνημα ενεργοποιεί την αντλία κενού ώστε να μετακινήσει τον αέρα έξω από το θάλαμο, μειώνοντας την ατμοσφαιρική πίεση κάτω από 0.06 ατμόσφαιρες. Τα σώματα θέρμανσης ασκούν ένα μικρό ποσό θερμότητας στα ράφια, αναγκάζοντας τον πάγο να αλλάξει φάση. Από τη στιγμή που η πίεση είναι τόσο χαμηλά, ο πάγος μετατρέπεται απευθείας σε αέριο. Το αέριο ρέει έξω από το θάλαμο λυοφιλίωσης, στο σώμα ψύξης. Στη συνέχεια, το αέριο συμπυκνώνεται πάνω στο σώμα ψύξης σε στερεά μορφή πάγου.

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται για πολλές ώρες (ακόμα και ημέρες) καθώς το υλικό σταδιακά ξηραίνεται. Η διεργασία είναι τόσο χρονοβόρα επειδή τυχόν υπερθέρμανση του υλικού μπορεί να αλλάξει σημαντικά τη σύσταση και τη δομή του. Επιπλέον, η επιτάχυνση της εξάχνωσης μπορεί να παράξει περισσότερο αέριο στο διάστημα του χρόνου, από αυτό που το σύστημα άντλησης μπορεί να εξάγει από το θάλαμο. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει ενυδάτωση, μειώνοντας την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Όταν το υλικό ξηραθεί αρκετά, κλείνεται σε μία συσκευασία χωρίς υγρασία, συχνά με ένα υλικό που μπορεί να απορροφήσει το οξυγόνο. Όσο η συσκευασία είναι ασφαλής, το υλικό μπορεί να παραμείνει αποθηκευμένο για αρκετά χρόνια χωρίς να

υποβαθμίζεται, μέχρι να επανέλθει στην αρχική του μορφή με προσθήκη νερού. Μία πολύ μικρή ποσότητα νερού παραμένει και έτσι με το πέρας του χρόνου το υλικό κάποια στιγμή θα αλλοιωθεί. Ωστόσο, μετά την διεργασία αυτή το υλικό είναι ουσιαστικά σχεδόν άθικτο.

### **Επιτραπέζιος λυοφιλωτής πολλαπλών θέσεων**

Οι λυοφιλωτές πολλαπλών θέσεων συνήθως χρησιμοποιούνται όταν ζητείται ξήρανση μιας μεγάλης ποσότητας μικρότερων δοχείων και το προϊόν θα καταναλωθεί μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ένας λυοφιλωτής πολλαπλών θέσεων θα αποξηράνει το προϊόν σε λιγότερο από 5% υγρασία. Ωστόσο, χωρίς άσκηση θέρμανσης, μόνο η κυρίως ξήρανση μπορεί να επιτευχθεί.



Επιτραπέζιος λυοφιλωτής πολλαπλών θέσεων

## Υλικά και μέθοδοι

### Γάλα προς ξήρανση

Το γάλα συλλέχθηκε από 5 διαφορετικούς παραγωγούς σε 4 μέρη στην Ελλάδα. Παραλήφθηκε σε δοχεία ή σε μεγάλους φακέλους, κατεψυγμένο ή σε διαφορετική περίπτωση σε θερμοκρασία συντήρησης, το οποίο στη συνέχεια καταψύχθηκε. Το γάλα δεν είχε υποστεί θερμική επεξεργασία με εξαίρεση το συμπυκνωμένο γάλα. Για να χρησιμοποιηθεί το εκάστοτε δείγμα γάλακτος έπρεπε να αποψυχθεί μια ημέρα πριν χρησιμοποιηθεί. Οι διεργασίες έγιναν στην πλήρη και την άπαχη εκδοχή του κάθε γάλακτος, με εξαίρεση το συμπυκνωμένο. Για την παραγωγή άπαχου γάλακτος χρησιμοποιήθηκε κορυφολόγος.

	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΛΙΠΟΣ (%)	ΠΡΩΤΕΙΝΕΣ (%)	ΛΑΚΤΟΖΗ (%)	Σ.Υ.Α.Α. (%)	ΟΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ (%)
1	ΚΡΗΤΗ	5,14	4,15	4,52	9,18	14,32
2	ΑΜΦΙΛΟΧΙΑ	5,55	4,27	4,73	9,57	15,12
3	ΠΕΛΟΠΠΟΝΗΣΟΣ (ΒΕΛΤΙΩΜΕΝΗ ΦΥΛΗ)	4,21	3,94	4,43	8,72	12,93
4	ΠΕΛΟΠΠΟΝΗΣΟΣ (ΝΤΟΠΙΑ)	5,14	4,14	4,58	9,21	14,35

Πίνακας συστατικών του αίγιου γάλακτος που χρησιμοποιήθηκε

### Ξήρανση με ψεκασμό (spray drying)

Η ξήρανση με ψεκασμό πραγματοποιήθηκε με πιλοτικό ξηραντήρα ψεκασμού Buschi mini spray dryer B-290 (απεικονίζεται στο παραπάνω κεφάλαιο). κατά τη διεργασία αυτή το γάλα προς ξήρανση, χωρίς επιπλέον θερμική επεξεργασία, τοποθετήθηκε στην παροχή του ξηραντήρα (με συνεχή παροχή). Η παροχή του ξηραντήρα ορίστηκε στο 30%, ενώ η θερμοκρασία εισόδου ορίστηκε στους 160°C, και η θερμοκρασία εξόδου που προέκυψε ήταν 77°C. Η θερμοκρασία εξόδου εξαρτήθηκε από την θερμοκρασία εισόδου και το κατά πόσο η σκόνη μπορούσε να διαφύγει προς την έξοδο του συστήματος. Λόγω της κατασκευής και του μεγέθους του ξηραντήρα, και εξαιτίας της υδροσκοπικότητας και θερμοπλαστικότητας της σκόνης σε υψηλές θερμοκρασίες παρατηρήθηκε το φαινόμενο της σταδιακής φραγής της ροής της σκόνης, κάτι το οποίο ήταν οφθαλμοφανές αλλά αποδεικνυόταν και από τη μείωση της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό, η παραγωγή σκόνης έπρεπε να διακοπεί έτσι ώστε να καθαριστούν τα μέρη του ξηραντήρα. Έτσι η σκόνη συλλέχθηκε από τρία σημεία: 1) την τελική έξοδο, όπως προέβλεπε η διεργασία, 2) το εσωτερικού του κυκλώνα και 3) το εσωτερικό του κύριου θαλάμου ξήρανσης. Η μεγαλύτερη ποσότητα σκόνης συλλέχθηκε από τα δύο τελευταία σημεία και ουσιαστικά αποτελούσε τη σκόνη η οποία είχε κολλήσει στα τοιχώματα του ξηραντήρα.

### Λυοφιλίωση (freeze drying)

Η διεργασία της λυοφιλίωσης πραγματοποιήθηκε με τον επιτραπέζιο λυοφιλιωτή πολλαπλών θέσεων Thermo bench top freeze dryer. Το γάλα που

χρησιμοποιήθηκε προερχόταν από τις ίδιες παρτίδες που χρησιμοποιήθηκαν για την ξήρανση με ψεκασμό. Από την ποσότητα του κάθε δείγματος προς ξήρανση με ψεκασμό, αφαιρέθηκε μια ποσότητα η οποία ψύχθηκε μέσα σε συμβατικές παγοκύστες. Πριν τη διεργασία τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τις παγοκύστες και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε βαθεία ψύξη (-80 °C) μέσα στο ειδικά δοχεία του λυοφιλωτή. Ο λυοφιλωτής προετοιμάστηκε και ρυθμίστηκε σε αρχική θερμοκρασία -45°C και πίεση 1,2 mbar. Όλα τα δείγματα λυοφιλώθηκαν ταυτόχρονα χάρη στις πολλαπλές θέσεις του λυοφιλωτή, σε διάστημα 48 ωρών. Μετά το διάστημα αυτό τα αποξηραμένα υλικά συλλέχθηκαν και υπέστησαν μηχανική διαδικασία θραύσης, ώστε να λάβουν χαρακτηριστικά σκόνης.

## **Προσδιορισμός χαρακτηριστικών της σκόνης**

### **Προσδιορισμός χρώματος**

Το χρώμα μετρήθηκε χρησιμοποιώντας το χρωματόμετρο Miniscan XE (HunterLAB, Reston, USA), το οποίο ρυθμίστηκε σε σύστημα  $L^*, a^*, b^*$  (CIE 1976, Commission International de L'Eclairage). Το  $L^*$  αντιπροσωπεύει το απόλυτο μαύρο σε τιμή ίση με 0, και το πιο λαμπρό λευκό σε τιμή ίση με 100, το  $a^*$  και το  $b^*$  αντιπροσωπεύουν τα κόκκινο-πράσινα και γαλάζιο-κίτρινο μέρη του χρώματος, αντίστοιχα.

### **Προσδιορισμός χημικής σύστασης**

Ο προσδιορισμός της σύστασης της παραγόμενης σκόνης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση NIR (Near-InfraRed) φασματομετρίας με συσκευή \_\_\_\_\_ . Κατά τη διαδικασία αυτή επαρκής ποσότητα του δείγματος τοποθετείται σε ειδικό δοχείο το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται στη συσκευή, η οποία αξιοποιώντας τις φασματικές ιδιότητες του δείγματος μπορεί να ταχτοποιήσει τις ποσότητες διαφόρων συστατικών ταυτόχρονα. Οι τιμές που λάβαμε υπ' όψιν ήταν η υγρασία, η πρωτεΐνη, το λίπος, η λακτόζη και η τέφρα.

### **Προσδιορισμός πτητικών αρωματικών ουσιών**

Η παραλαβή των πτητικών αρωματικών ουσιών έγινε με τη μέθοδο HS-SPME (Head-space Solid Phase Microextraction). Ο διαχωρισμός και ο προσδιορισμός των πτητικών αρωματικών ουσιών έγινε με τη χρησιμοποίηση αερίου χρωματογράφου συνδεδεμένου με φασματογράφο μαζών (GC/MS- QP5050, Shimadzu, Columbia, USA).

Η ίνα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η 50/30 m DVB/Carboxen/PDMS (Supelco). υμπληρωματικά, χρησιμοποιήθηκαν με τον ίδιο τρόπο οι ίνες PDMS/DVB 65  $\mu\text{m}$  και CAR/PDMS 75  $\mu\text{m}$ . Η ίνα της SPME τοποθετείται στο στον εισαγωγέα (injector) του GC-MS.



Ο διαχωρισμός των αρωματικών έγινε με την βοήθεια της στήλης HP INNONAX (Agilent Technologies) μήκους 60 m, εσωτερικής διαμέτρου 0,25 mm και πάχους επίστρωσης (film thickness) 0,25 μm (film thickness).

Η θερμοκρασία εισαγωγέα (injector) ήταν 250 °C και η θερμοκρασία (interface) 250 °C. Ο χρόνος παραμονής της ίνας στη θύρα έγχυσης ήταν 5 min. Η λειτουργία της έγχυσης του φέροντος αερίου ρυθμίστηκε σε splitless. Το φέρον αέριο ήταν ήλιο, με πίεση στην είσοδο της στήλης (column inlet pressure) 88,7 kPa, ροή στη στήλη (column flow) με ρυθμό 0,8 ml/min, γραμμική ταχύτητα (linear velocity) 22,8 cm/sec, συνολική ροή (total flow) 12,2 ml/min. Η αναλογία διαχωρισμού (split ratio) ήταν 11.

Το πρόγραμμα των θερμοκρασιών που εφαρμόστηκε ήταν: 40 °C για διάστημα 3 min, αύξηση της θερμοκρασίας με ρυθμό ανύψωσης 7 °C/min έως τους 150 °C και παραμονή για διάστημα 20 min και αύξηση της θερμοκρασίας με ρυθμό 10 °C/min στους 220 °C και παραμονή για διάστημα 35 min. Η λειτουργία του φασματογράφου μάζας ρυθμίστηκε στην κλίμακα m/z 40 έως 450 (mass range) ενώ η θερμοκρασία διεπαφής του (interface temp) ήταν 250 °C.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων έγινε με το λογισμικό πρόγραμμα CLASS 5000. Η ταυτοποίηση των ουσιών έγινε με την βοήθεια των βιβλιοθηκών των χημικών ουσιών NIST05, NIST05s, NIST08, NIST08s, NIST21, NIST107, PMW\_TOX2, SZTERP και WILEY7.

## Αποτελέσματα

Κατά τη διαδικασία της προεργασίας των υλικών και της παραγωγής σκόνης, υπήρξαν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το κάθε δείγμα, που μπορεί να αφορούσαν τη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου στον ξηραντήρα, το χρόνο απόψυξης, το βαθμό αποκορύφωσης, τη τελική ποσότητα της σκόνης και το σημείο συλλογής. Όλοι αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν στη παραγωγή σκόνης η οποία επηρεαζόταν άμεσα από κάθε παράγοντα. Ειδικότερα, λόγω της κατασκευής του ξηραντήρα, δεν ήταν δυνατή η συλλογή όλου του δείγματος από την τελική έξοδο, με αποτέλεσμα η περισσότερη ποσότητα να συλλέγεται από το εσωτερικό του αποφραγμένου από την σκόνη κυκλώνα. Σε μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις η συλλογή έγινε πλήρως από το εσωτερικό του κυκλώνα. Για διευκόλυνση τα δείγματα που προέκυψαν από ξήρανση με ψεκασμό ονομάστηκαν με αριθμούς, ενώ προστέθηκαν και δείκτες για να υποδείξουν ότι η σκόνη προερχόταν από τον κυκλώνα (κ), ή από εναλλακτική μέθοδο με λυοφιλίωση (λ). Έτσι προκύψαν:

- 1: Σκόνη από γάλα Κρήτης
- 2: Σκόνη από γάλα Αμφιλοχίας
- 3: Σκόνη από γάλα Πελοποννήσου (βελτιωμένη φυλή)
- 4: Σκόνη από γάλα Πελοποννήσου (ντόπια φυλή)
- 5: Σκόνη από συμπυκνωμένο γάλα

## Προσδιορισμός χρώματος

Ο προσδιορισμός χρώματος πραγματοποιήθηκε για τα δείγματα τα οποία υπέστησαν ξήρανση με ψεκασμό, και συλλέχθηκαν από την τελική έξοδο ή κατά τον καθαρισμό του κυκλώνα. Κατά την μελέτη των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι υπήρχε μία σχετική ομοιογένεια μεταξύ των δεικτών φωτεινότητας, κόκκινου-πράσινου με σχετικές αποκλείσεις ενώ ο δείκτης κίτρινου-γαλάζιου παρουσίαζε μεγαλύτερες αποκλείσεις. Όπως αποδεικνύουν και τα αποτελέσματα η σκόνη ήταν εμφανώς λευκή με κύριες διαφοροποιήσεις την ένταση του κίτρινου χρώματος. Η ένδειξη αυτή φαίνεται πως επηρεάζεται από δύο παράγοντες: τον τύπο του γάλακτος (πλήρες- άπαχο) και το σημείο συλλογής (έξοδος-κυκλώνας). Παρόλα αυτά, όμως δε μπορούμε να εξάγουμε γενικό συμπέρασμα ειδικά από τη στιγμή που δεν μπορούμε να έχουμε τυποποιημένη και ομογενοποιημένη σύσταση γάλακτος, καθώς το κύριο κριτήριο για την απόχρωση του χρώματος του γάλακτος είναι η ποσότητα του λίπους και το μέγεθος των σωματιδίων του. Οι μετρήσεις που ακολούθησαν για το προσδιορισμό της σύστασης στις σκόνες (και ειδικότερα του λίπους) δε βοήθησαν στην εξαγωγή γενικού συμπεράσματος για τη σχέση του χρώματος της σκόνης με τα συγκέντρωση των συστατικών της. Από τη βιβλιογραφία επίσης παρατηρείται ότι οι δείκτες χρώματος του γάλακτος επηρεάζονται από επιπλέον δύο παράγοντες, την

θερμοκρασία εισόδου και την αρχική συμπύκνωση του γάλακτος, ωστόσο με μικρότερες αποκλείσεις (R.S. Reddy, 2014).

	L	a	b
1	92,87	0,29	16,35
2	96,66	-0,02	13,09
3	96,19	-0,8	7,04

	L	A	B
1κ	95,25	-1,06	9,33
2κ	95,67	-0,97	7,98
3κ	95,73	-0,94	8,56
4κ	94,79	-0,36	8,88
5κ	94,12	-1,11	10

Πίνακες δεικτών χρώματος για τη σκόνη πλήρους γάλακτος

	L	a	b
1	96,28	-0,7	9,83
2	94,15	-0,57	11,54
3	94,68	0,19	12,37
4	97,1	-1,01	5,43

	L	A	b
1κ	96,74	-1,41	8,77
2κ	97,11	-1,28	6,61
3κ	97,17	-0,95	6,19
4κ	96,98	-1,19	6,72

Πίνακες δεικτών χρώματος για τη σκόνη αποβουτυρωμένου γάλακτος

	L	a	B
WMP	95.6	-3.6	19.8
SMP	94.9	-1.7	11.3
Past. Milk	86.1	-2.1	7.8

Συγκριτικός πίνακας δεικτών χρώματος προϊόντων αγελαδινού γάλακτος (W Kneifel, 1992)

### Προσδιορισμός χημικής σύστασης

Για το πλήρες γάλα, από τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά το προσδιορισμό σύστασης παρατηρήθηκε ότι τα δείγματα έδειξαν μεγάλη ομοιογένεια στην περιεκτικότητα της πρωτεΐνης (με εξαίρεση το συμπυκνωμένο γάλα) και την τέφρα. Το ίδιο σε ένα μικρότερο βαθμό και για τη λακτόζη, όπου από τη φύση της η τιμή αυτή μπορεί να έχει μεγαλύτερη διακύμανση. Σε ότι αφορά το λίπος, παρατηρήθηκαν σημαντικές διακυμάνσεις, και μεταξύ των διαφορετικών δειγμάτων αλλά και μεταξύ των διαφορετικών εκδοχών του ίδιου δείγματος. Πιθανή εξήγηση για αυτή την παρατήρηση έχει να κάνει με την διαχείριση του δείγματος πριν την ξήρανση. Αρχικά τα δείγματα του γάλακτος δεν ήταν ομογενοποιημένα. Αυτό ο παράγοντας πιθανότατα επηρέασε την κατανομή του λίπους μέσα στο υγρό γάλα μετά την αποπάγωση, και δεδομένου ότι τα δείγματα ήρθαν σε θερμοκρασία πέραν της θερμοκρασίας δωματίου, ώστε να βελτιωθούν τα ρεολογικά του χαρακτηριστικά, δεν μπόρεσε να επιτευχθεί η ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων του λίπους μέσα στο υγρό προς ξήρανση. Η ίδια εξήγηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την περίπτωση

των λυοφιλιωμένων δειγμάτων, όπου το γάλα συλλεγόταν σε παγοκύστες από τα δοχεία και τους φακέλους όπου δεν υπήρχε δυνατότητα ανάδευσης, άρα και η ποσότητα του λίπους δε θα μπορούσε να είναι ομοιογενής. Τέλος η υγρασία που επιτυγχάνεται δείχνει να είναι ομοιόμορφη ανάλογα με την κάθε κατηγορία σκόνης. Μια εξαίρεση που παρατηρείται είναι στο συμπυκνωμένο γάλα, κάτι που εξηγείται εύκολα, καθώς έχοντας εξ αρχής χαμηλότερη υγρασία είναι επακόλουθο το τελικό προϊόν της ξήρανσης να έχει σημαντικά χαμηλότερη υγρασία από τις άλλες σκόνες. Επίσης τα δείγματα 1 και 2 έχουν μικρότερη υγρασία καθώς στο αρχικό στάδιο της εργασίας η θερμοκρασία εισόδου που εφαρμόστηκε ήταν 180°C αντί για 160°C που εφαρμόστηκε για τα υπόλοιπα δείγματα. Γενικά τα αποτελέσματα του προσδιορισμού σύστασης μπορεί να έχουν σημαντικές αποκλείσεις όπως αποδεικνύει και η βιβλιογραφία, ανάλογα με τη θερμοκρασία που εφαρμόστηκε αλλά και την ίδια την πρώτη ύλη. Ένα συμπέρασμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι όπως η σύσταση του αίγιου γάλακτος είναι παρόμοια με τα αγελαδινό, έτσι αποδεικνύεται και για τις αντίστοιχες σκόνες. Τα συνολικά αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	Υγρασία	Πρωτεΐνη	Λίπος	Τέφρα	Λακτόζη
1	2,97	23,76	26,32	5,91	38,22
2	2,20	25,94	25,94	5,85	36,65
3	4,20	25,30	24,16	5,85	39,09
1κ	4,08	24,64	27,92	5,58	36,76
2κ	3,64	25,45	32,10	5,29	33,26
3κ	4,10	23,91	28,39	5,57	36,65
4κ	4,14	23,61	35,61	4,95	31,10
5κ	1,88	36,20	44,40	4,15	10,84
2λ	3,62	23,45	30,07	5,55	33,62
3λ	3,61	18,74	27,74	5,83	40,16
4λ	3,99	23,14	32,99	5,33	32,91
5λ	2,25	35,40	44,80	4,18	10,47
Πηγή 1	2,00	24,70	31,80	6,30	37,30
Πηγή 2	4,08	25,48	26,85	6,60	36,99
Αγελαδινή σκόνη	2-4,5	26-28,5	24,5-27	5,5-6,5	36-38,5

Πηγή 1: C. R. Fonseca et al, 2013

Πηγή 2: R.S. Reddy et al., 2014

Σε ότι αφορά το άπαχο γάλα, τα συμπεράσματα είναι παρόμοια, με ορισμένες χαρακτηριστικές παρατηρήσεις. Αρχικά δεδομένης της απώλειας του λίπους, η συγκέντρωση των υπολοίπων συστατικών αυξάνεται. Ωστόσο και πάλι παρατηρούνται διαφορές στην ποσόστωση του λίπους. Στην περίπτωση του δείγματος 4 η πιθανή αιτία για τη διαφορά στο ποσόστημα του λίπους μπορεί να αποδοθεί σε μη πετυχημένη αποκορύφωση. Για τα δείγματα που προέρχονται από το εσωτερικό του κυκλώνα μπορεί να δοθεί η εξήγηση λόγω της κολλώδους φύσης του λίπους, τα σωματίδια του προσκολλούνται στα τοιχώματα του κυκλώνα, συγκρατώντας έτσι ακόμα περισσότερη ποσότητα σκόνης. Με παρόμοια λογική και η υγρασία στα δείγματα που συλλέχθηκαν από το εσωτερικό του κυκλώνα θα έχουν μικρότερη υγρασία καθώς παραμένουν για μεγαλύτερο διάστημα σε συνθήκες θέρμανσης. Και πάλι, συγκρίνοντας με τη σκόνη εμπορίου του αγελαδινού γάλακτος, η σύσταση έχει της σκόνης από αίγιο γάλα έχει αρκετές ομοιότητες. Ενδεχόμενη διαφορά στην υγρασία οφείλεται σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας, καθώς η σκόνη άπαχου γάλακτος συνήθως αποξηραίνεται σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες από αυτή που εφαρμόστηκε για την εργασία αυτή.

Δείγμα	Υγρασία	Πρωτεΐνη	Λίπος	Τέφρα	Λακτόζη
1	6,57	36,43	0,53	8,30	49,44
2	6,55	36,23	0,53	8,39	47,37
3	6,63	35,53	0,34	8,53	50,77
4	5,55	35,83	1,19	7,36	48,26
1κ	5,40	33,89	1,60	7,32	51,03
2κ	5,31	35,61	1,15	7,38	49,02
3κ	5,58	32,58	1,11	7,57	51,97
4κ	5,33	35,87	1,39	7,32	48,43
1λ	6,08	36,45	0,15	7,63	52,13
2λ	5,78	35,14	0,15	7,47	52,19
3λ	4,96	32,50	0,34	7,50	54,62
4λ	6,52	36,70	0,15	7,60	48,25
Αγελαδινή σκόνη	3-4,0	34-37,0	0,6-1,25	8,2-8,6	49,5-52,0

## Προσδιορισμός αρωματικών ουσιών

### Σκόνη πλήρους γάλακτος

Μετά την πραγματοποίηση του ποιοτικού ελέγχου, οι αρωματικές ουσίες που παρατηρήθηκαν παρατηρήθηκαν παραπέμπουν στο προφίλ του αίγειου γάλακτος (Park et al., 2006), όμως με σημαντικές διαφοροποιήσεις. Τα οξέα 4-αιθυλ-οκτανοϊκό, 4-μεθυλ-οκτανοϊκό και 4-μεθυλ-νανοϊκό δεν παρατηρήθηκαν στα δείγματα. Αντίθετα παρατηρήθηκαν τα οξέα καπροϊκό, καπρυλικό, νοναϊκό και καπρικό. Αυτή η διαφορά πιθανότατα να οφείλεται στις διεργασίες που υπέστη το γάλα μέχρι να έρθει τελικά σε μορφή σκόνης, όπως επίσης λιγότερο πιθανό και στην ενδεχόμενη αδυναμία των χρησιμοποιούμενων ινών να συλλάβουν όλες τις ουσίες με τη δεδομένη διάταξη. Ωστόσο με τα αυτά τα δεδομένα η οσμή της σκόνης δε μπορεί να αποδοθεί στο 4-αιθυλ-οκτανοϊκό οξύ όπως αποδίδεται από τη βιβλιογραφία στο αίγειο γάλα.

### Πίνακες αρωματικών ουσιών σκόνης πλήρους γάλακτος

Οξέα	Αλδευδες	Αλκοόλες
2,5-Pyridinedicarboxylic acid	Benzaldehyde	1-Decanol, 2-ethyl-
9-Decenoic acid	Butanal, 3-methyl-	1-Dodecanol, 3,7,11-trimethyl-
Acetic acid	Decanal	1-Eicosanol
Butanoic Acid	Dodecanal	1-Heptanol, 2-propyl-
Cyclopentaneundecanoic acid	Heptanal	1-Hexanol, 2-ethyl-
Decanoic acid	Hexadecanal, 2-methyl-	1-Hexyn-3-ol
Dodecanoic acid	Hexanal	1-Octanol, 2-butyl-
Heptanoic acid	Nonanal	1-Octanol, 3,7-dimethyl-
Hexadecanoic acid	Octanal	1-Tetradecanol
Hexanoic acid	Pentanal	2,2-Dimethyl-1-octanol
Nonanoic acid		2-Heptanol, 5-ethyl-
Octadecanoic acid	Αμίνες	2-Propyl-1-pentanol
Octanoic acid	1-Heptadecanamine	2-Undecanol
Pentadecanoic acid	1-Hexanamine, 3,5,5-trimethyl-	3-Hexanol, 2,4-dimethyl-
Peracetic Acid	1-Methyldecylamine	3-Pentanol, 2,4-dimethyl-
Propanedioic acid, propyl-	2-Heptanamine, 5-methyl-	Cyclobutanol
Tetradecanoic acid		Cyclopropyl carbinol
		Ethanol, 2-(2-propynyloxy)-
		Ethanol, 2-butoxy-

Εστέρες	Κετόνες
2-Propenoic acid, 1-methylundecyl ester	2H-Pyran-2-one, 6-heptyltetrahydro-
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester	2-Nonanone
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester	2-Pentanone, 3-methyl-
1,2-Benzenedicarboxylic acid, dicyclohexyl ester	2-Tridecanone
3-Methyl-2-butenic acid, dodecyl ester	3,5-Octadien-2-one,
Acetic acid, butyl ester	4-Octen-3-one
Isopropyl myristate	6-Dodecanone
Nitric acid, decyl ester	
Pentanoic acid, 4-methyl-, methyl ester	Φουράνια
Tetradecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester	2-Furancarboxaldehyde
Valeric acid, 4-pentadecyl ester	2-Furanmethanol

Υδρογονάνθρακες	
1-Decene, 8-methyl-	Hexadecane, 3-methyl-
1-Iodo-2-methylundecane	Isooctane, (ethenyloxy)-
2-Hexadecene, 2,6,10,14-tetramethyl-	Octadecane, 1-(ethenyloxy)-
2-Trifluoroacetoxydodecane	Octadecane, 6-methyl-
3-Trifluoroacetoxydodecane	Octane, 1-(1-ethoxyethoxy)-
3-Trifluoroacetoxypentadecane	Octane, 1,1'-oxybis-
Decane, 2,3,5,8-tetramethyl-	Oxetane, 2-propyl-
Dodecane	Oxirane, 2-butyl-3-methyl-, cis-
Dodecane, 2-methyl-8-propyl-	Pentacosane
Eicosane	Tetracosane, 12-decyl-12-nonyl-
Hentriacontane	Tetracosane, 3-ethyl-
Heptadecane	Tetradecane
Heptadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	Tetradecane, 2,6,10-trimethyl-
Heptane	Tridecane
Hexadecane	

## Σκόνη άπαχου γάλακτος

Για την περίπτωση του άπαχου γάλακτος τα συμπεράσματα είναι παρόμοια με το πλήρες, ωστόσο παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες διαφορές σε σχέση με το προφίλ αρωματικών ουσιών σε σχέση με τα αίγιο γάλα. Αυτό φυσικά οφείλεται στο γεγονός ότι τα γάλα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αποκορυφωμένο. Οι ουσίες που έχουν σχέση με την οσμή της σκόνης και παρατηρήθηκαν ήταν το καπρικό και το καπρυλικό οξύ.

Πίνακες αρωματικών ουσιών σκόνης άπαχου γάλακτος

Αλκοόλες	Οξέα	Αλδεΐδες
1-Heptanol, 2-propyl-	Acetic acid	Butanal, 3-hydroxy-
1-Hexanol, 2-ethyl-	Decanoic acid	Butanal, 3-methyl-
1-Hexyn-3-ol	Dodecanoic acid	Decanal
1-Octanol, 2-butyl-	Hexadecanoic acid	Dodecanal
3-Octyn-2-ol	Octanoic acid	Heptanal
	Undecanoic acid	Hexanal
Κετόνες		Nonanal
4-Octen-3-one		Octanal
Cyclohexanone, 3-hydroxy-		Pentanal

Εστέρες
Hexanedioic acid, diethyl ester
Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester
Pentanoic acid, 2-hydroxy-4-methyl-, methyl ester
Tetradecanoic acid, 12-methyl-, methyl ester
1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-methylpropyl) ester
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl octyl ester
1,2-Benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester
1,2-Benzenedicarboxylic acid, dicyclohexyl ester
DECANOIC ACID, 1-METHYLETHYL ESTER
Isopropyl myristate



Υδρογονάνθρακες	
Decane, 2,3,5,8-tetramethyl-	Octane, 1,1'-oxybis-
Dodecane	Oxetane, 2-propyl-
Eicosane	Pentadecane
Heptadecane	Pentane, 2,4-dimethyl-
Heptadecane, 2,6-dimethyl-	Pentane, 2-methyl-
Hexadecane	Tetradecane
Hexadecane, 2,6,11,15-tetramethyl-	Tetradecane, 2,6,10-trimethyl-
Hexadecane, 3-methyl-	Tridecane
Isooctane, (ethenyloxy)-	Tridecane , 4,8-dimethyl-
Octadecane	Tridecane, 3-methyl-
Octadecane, 6-methyl-	3-Trifluoroacetoxypentadecane

## Συμπεράσματα

Κάποια γενικά συμπεράσματα που εξήχθησαν είναι τα εξής:

- Το χρώμα της σκόνης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προεργασία του γάλακτος προς ξήρανση. Πιο συγκεκριμένα από το βαθμό αποκορύφωσης (ή μη), και τη θερμική επεξεργασία που ασκείται κατά την συμπύκνωση, καθώς ενδέχεται να προκληθούν αντιδράσεις (Maillard) που να επηρεάσουν το χρώμα του γάλακτος. Επίσης κάποιο ρόλο παίζει και η θερμοκρασία εισόδου κατά την ξήρανση.
- Σημαντικό ρόλο στην σύσταση της σκόνης έχει η ομογενοποίηση του λίπους, καθώς σε διαφορετική περίπτωση διαφορετική παρτίδα του ίδιου δείγματος σκόνης θα έχει και διαφορετική περιεκτικότητα σε λίπος, δεδομένης της ανομοιομορφίας των σωματιδίων και της διαφορετικής τους κατανομής. Η ομογενοποίηση επίσης έχει ρόλο και στις ιδιότητες ανάμειξης της σκόνης καθώς σε αντίθετη περίπτωση τα μεγάλα σωματίδια του λίπους εμποδίζουν το σχηματισμό συσσωμάτων.
- Η σκόνη αίγιου γάλακτος έχει σύσταση πολύ κοντινή σε αυτή του αγελαδινού γάλακτος, κάτι που καθιστά δυνατή ενδεχόμενη νοθεία, καθώς η σκόνη αγελαδινού γάλακτος είναι πολύ πιο οικονομική από την αντίστοιχη σκόνη αίγιου γάλακτος.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα η οσμή της σκόνης δε μπορεί να αποδοθεί στο 4-αιθυλ-οκτανοϊκό οξύ όπως προτείνει η βιβλιογραφία για το αίγιο γάλα, αλλά ούτε και στο 4-μεθυλ-οκτανοϊκό οξύ, καθώς κανένα από αυτά δε ανιχνεύθηκε κατά τις μετρήσεις. Αντίθετα παρατηρήθηκαν άλλες ενώσεις που μπορούν να προσδώσουν ιδιαίτερη οσμή, και πιο συγκεκριμένα τα καπρικό και το καπρυλικό οξέα στην άπαχη σκόνη και επιπρόσθετα σε αυτά τα καπροϊκό και νοναϊκό οξέα στην σκόνη πλήρους γάλακτος. Και πάλι όμως δε μπορεί να εξαχθεί γενικό συμπέρασμα.

## Βιβλιογραφία

- Aguilera JM, del Valle JM, Karel M. 1995. Caking phenomena in amorphous food powders. *Trends Food Sci Technol* 6:149–55.
- Alonso, L., Fontecha, J., Lozada, L., Fraga, M.J., Ju´arez, M., 1999. Fatty acid composition of caprine milk: major, branched chain and trans fatty acids. *J. Dairy Sci.* 82, 878–884.
- Amigo, L., Ibanez, I., Fernandez, C., Santamaria, G., Ramos, M., 1989. Comparison of an electrophoretic and immunological method for the determination of goat and cow milk in cheese. *Milchwissensch* 44, 215–218.
- Anifantakis, E.M., Rosakis, B., Ramou, C., 1980. *Travaux Scientifiques de l’Institut Technologique Superieur des Industries Alimentaires (Scientific work of the Technology Institut for Nutrition Industries)*. Plovdiv, Bulgaria, Tom, XXVII, CB1.
- Aschaffenburg, R., Dance, J.E., 1968. Detection of cow’s milk in goat’s milk by gel electrophoresis. *J. Dairy Res.* 35, 383.
- Augustin MA, Clarke PT. 2008. Skim milk powders with enhanced foaming and steam frothing properties. *Dairy Sci Technol* 88:149–61.
- Baldwin A, Pearce D. 2005. Milk powder. In: Onwulata C, editor. *Encapsulated and powdered foods*. New York, N.Y.: Taylor and Francis Group, LLC. p 387–434.
- Baldwin AJ, Baucke AG, Sanderson WB. 1980. The effect of concentrate viscosity on the properties of spray dried skim milk powder. *NZ J Dairy Sci Technol* 15:289–97.
- Banavara DS, Anupama D, Rankin SA. 2003. Studies on physico-chemical and functional properties of commercial sweet whey powders. *J Dairy Sci* 86:3866–75.
- Barbosa-Canovas GV, Juliano P. 2005. Physical and chemical properties of food powders. In: Onwulata C, editor. *Encapsulated and powdered foods*. New York, N.Y.: Taylor and Francis Group, LLC. p 39–71.
- Barbosa-Canovas G.V., Ortega-Rivas E., Juliano P., Hong Yan, *Food Powders, Physical Properties, Processing, and Functionality*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2005\*
- Bhandari BR, Howes T. 1999. Implications of glass transition for the drying and stability of dried foods. *J Food Eng* 40:71–9.
- Bhandari BR, Datta N, Crooks R, Howes T, Rogby S. 1997. A semi-empirical approach to optimize the quantity of drying aids required to

spray-dry sugar-rich foods. *Dry Technol* 15:2509–25.

Bhandari B., Bansal N., Zhang M., Schuck P., *Handbook of Food Powders, Processes and Properties*, Woodhead, 2013\*

Brozos, C., Saratsis, P., Boscós, C., Kyriakis, S.C., Tsakalof, P., 1998. Effects of long-term recombinant bovine somatotropin (bST) administration on milk yield, milk composition and mammary gland health of dairy ewes. *Small Rumin. Res.* 29, 113–120.

Campbell, J.R., Marshall, R.T., 1975. *The Science of Providing Milk for Man*. McGraw-Hill Book Co., New York, NY, 801 p.

Caric M, editor. 1994. *Milk powders. Concentrated and dried dairy products*. New York: VCH Publishers. p 156.

Charlesworth DH, Marshall WR Jr. 1960. Evaporation from drops containing dissolved solids. *AIChE J* 6:9–23.

Christensen KL, Pedersen GP, Kristensen HG. 2002. Physical stability of redispersible dry emulsions containing amorphous sucrose. *Eur J Pharm Biopharm* 53:147–53.

Coni, E., Bocca, B., Caroli, S., 1999. Minor and trace element content of two typical Italian sheep dairy products. *J. Dairy Res.* 66, 589–598.

De Vilder J, Martens R, Naudts M. 1976. Influence of process variables on some whole milk powder characteristics. *Milchwissenschaft* 31:396–401.

Debski, B., Picciano, M.F., Milner, J.A., 1987. Selenium content and distribution of human, cow and goat milk. *J. Nutr.* 117, 35–46.

Dewettinck K, De Moor H, Huyghebaert A. 1996. The free fat content of dried milk products and flow properties of milk chocolate. *Milchwissenschaft* 51:25–8.

Dhanalakshmi K, Ghosal S, Bhattacharya S. 2011. Agglomeration of food powder and applications. *Crit Rev Food Sci Nutr* 51:432–41.

Faldt P, Bergenstahl B. 1996. Spray-dried whey protein/lactose/soybean oil emulsions. 2. Redispersibility, wettability and particle structure. *Food Hydrocoll* 10:431–9.

Fonseca , Bordin, Fernandes, Rodrigues, Corassin, Cruz , Oliveira, 2013, Storage of refrigerated raw goat milk affecting the quality of whole milk powder, *J. Dairy Sci.* 96 :4716–4724

Ford, J.E., Knaggs, G.S., Salters, D.N., Scott, K.J., 1972. Folate nutrition in the kid. *Br. J. Nutr.* 27, 257.

- Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, Mc Sweeney PLH. 2000. Whey and whey products. In: Fox PF, Guinee TP, Cogan TM, Mc Sweeney PLH, editors. Fundamentals of cheese science. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers, Inc. p 516–610.
- Frede E, Patel AA, Buchheim W. 1987. The technology of powdered butter. *Molkerei-Zeitung Welt der Milch* 41:1567–9, 1572–3.
- García V., S. Rovira, K. Boutuial, M.B. López, 2014, Improvements in goat milk quality: A review, *Small Ruminant Research* 121 51–57
- Gebhardt, S.E., Matthews, R.H., 1991. Nutritive Value of Foods. USDA, Human Nutrition Information Service Publ., Washington, DC, USA, Home & Garden Bulletin 72, 72 p.
- Gharemann F, Ilari JL, Cantoni P, Boudier JF. 1994. Caract´erisation des poudres de concentres prot´eiques laitiers. *Rev ENIL* 176:25–31.
- Gianfrancesco A, Turchiuli C, Dumoulin E. 2008. Powder agglomeration during the spray-drying process: measurements of air properties. *Dairy Sci Technol* 88:53–64.
- Grosclaude, F., 1995. Genetic polymorphisms of milk proteins. In: Proceedings of the IDF Seminar on Implications of Genetic Polymorphism of Milk Proteins on Production and Processing of Milk, Zurich, Switzerland, vol. 3. Internat. Dairy Fed. Publ., Brussels, Belgium, pp. 28–29.
- Ha, J.K., Lindsay, R.C., 1991. Contribution of cow, sheep, and goat milks to characterizing branched-chain fatty acid and phenolic flavors in varietal cheeses. *J. Dairy Sci.* 74, 3267–3280.
- Haenlein, G.F.W., 2001. The nutritional value of sheep milk. *Int. J. Animal Sci.* 16, 253–268.
- Haenlein, G.F.W., 2004. Goat milk in human nutrition. *Small Rumin. Res.* 51, 154–163.
- Haenlein, G.F.W., Caccese, R., 1984. Goat milk versus cow milk. In: Haenlein, G.F.W., Ace, D.L. (Eds.), *Extension Goat Handbook*. USDA Publ., Washington, DC, p. 1, E-1.
- Haylock S. 1995. Dried dairy ingredients for confectionery. *Manuf Confect* 75:65–73.
- Hinders, R., 1999. Special rations for specialty milks: high conjugated linoleic acid milk fat. *Feedstuffs* 8, 10.
- Huntington DH. 2004. The influence of the spray-drying process on product

- properties. *Drying Technol* 22:1261–87.
- IDF. (1988). In determination of insolubility index, Standard 129A. Brussels: International Dairy Federation.
- Hussain R., Claire Gaiani, Joël Scher, 2012, From high milk protein powders to the rehydrated dispersions in variable ionic environments: A review, *Journal of Food Engineering* 113 486–503
- Ilari JL. 2002. Flow properties of industrial dairy powders. *Lait* 82:383–99.
- Ilari JL, Loisel C. 1991. La maîtrise de la fonctionnalité des poudres. *Process* 1063:39–43.
- Jana AH, Thakar PN. 1996. Recombined milk cheeses – a review. *Aust J Dairy Technol* 51:33–43.
- Jenness, R., 1980. Composition and characteristics of goat milk: review 1968–1979. *J. Dairy Sci.* 63, 1605–1630.
- Jimenez-Flores R, Kosikowski FV. 1986. Properties of ultrafiltered skim milk retentate powders. *J Dairy Sci* 69:329–39.
- Kelly AL, O’Connell JE, Fox PF. 2003. Manufacture and properties of milk powder. In: Fox PF, Mc Sweeney PLH, editors. *Advanced dairy chemistry*, vol. 1, proteins. New York: Kluwer Acad/Plenum Pub. p 1027–54.
- Kelly J, Kelly PM, Harrington D. 2002. Influence of processing variables on the physico-chemical properties of spray-dried fat-based milk powders. *Lait* 82:401–12.
- Kelly P, Oldfield D, O’Kennedy B. 1999. The thermostability of spray dried imitation coffee whiteners. *Int J Dairy Technol* 52:107–13.
- Kim EH, Chen XD, Pearce D. 2002. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloid Surface B* 26:197–212.
- Kim EHJ, Chen XD, Pearce D. 2003. On the mechanisms of surface formation and the surface compositions of industrial milk powders. *Drying Technol* 21:265–78.
- Kim EHJ, Chen XD, Pearce D. 2005. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. *Colloids Surf B Biointerfaces* 46:182–7.
- Kumar V, Tewari BD. 1991. Effect of processing variables on physico-chemical properties of cheese powder. *Jap J Dairy Food Sci* 41:A23–8.
- Labuza TP. 1971. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Crit Rev Food*

Technol 2:355–405.

- Larson, B.L., Smith, V.R. (Eds.), 1974. Lactation, vol. 4. Academic Press, New York, p. 1994.
- Lavigne, C., Zee, J.A., Simard, R.E., Beliveau, B., 1989. Effect of processing and storage conditions on the fate of Vitamins B1, B2, and C and on the shelf-life of goat's milk. *J. Food Sci.* 54, 30–34.
- Listiohadi YD, Hourigan JA, Sleigh RW, Steele RJ. 2005. An exploration of the caking of lactose in whey and skim milk powders. *Aust J Dairy Technol* 60:207–13.
- Martin, P., 1993. Polymorphisme genetique des lactoproteines caprines. *Lait* 73, 511–532.
- Masters K. 1991. Spray drying handbook. New York: Longman Scientific and Technical.
- Masters K. 2002. Perfecting the powder. *Dairy Ind Intl* 67:27–32.
- Mc Kinnon IR, Jackson EK, Fitzpatrick L. 2000. Instant whole milk powder micelles-stability in instant coffee. *Aust J Dairy Technol* 55:88–93.
- Mistry VV. 2002. Manufacture and application of high-milk-protein powder – review. *Lait* 82:515–22.
- Mistry VV, Hassan HN. 1991a. Delactosed, high-milk-protein powder. 1. Manufacture and composition. *J Dairy Sci* 74:1163–9.
- Mistry VV, Hassan HN. 1991b. Delactosed, high-milk-protein powder. 2. Physical and functional properties. *J Dairy Sci* 74:3716–23.
- Nijdam JJ, Langrish TAG. 2006. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. *J Food Engg* 77:919–25.
- NRC, 1968. Recommended daily dietary allowances, vol. 1694. Food & Nutr. Board, National Academy of Science Publishers.
- Oldfield D, Singh H. 2005. Functional properties of milk powder. In: Onwulata C, editor. Encapsulated and powdered foods. New York, N.Y.: CRC Press. p 365–86.
- Oldfield D, Teehan C, Kelly P. 2000. The effect of preheat treatment and other process parameters on the coffee stability of instant whole milk powder. *Int Dairy J* 10:659–67.
- Park, Y.W., Chukwu, H.I., 1988. Macro-mineral concentrations in milk of two goat breeds at different stages of lactation. *Small Rumin. Res.* 1, 157–165.

- Park, Y.W., Chukwu, H.I., 1989. Trace mineral concentrations in goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds during the first 5 months of lactation. *J. Food Compos. Anal.* 2, 161–169.
- Park, Y.W., 1994. Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. *Small Rumin. Res.* 14, 151–161.
- Park, Y.W., 2006. Goat milk—chemistry and nutrition. In: Park, Y.W., Haenlein, G.F.W. (Eds.), *Handbook of Milk of Non-bovine Mammals*. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, pp. 34–58.
- Park Y.W., M. Juarez, M. Ramos, G.F.W. Haenlein, 2007, Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk, *Small Ruminant Research* 68 88–113
- Patel AA, Frede E, Buchheim W. 1987. Physical and technological aspects of the manufacture of butter powder. 1. Effects of proteins, glycerol mono stearate and tri-sodium citrate on the structural stability. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* 39:191–202.
- Pelissier, J.-P., Manchon, P., 1976. Comparative study of the bitter taste of enzymic hydrolysates from cow, ewe and goat caseins. *J. Food Sci.* 41, 231.
- Pisecky J. 1997. *Handbook of milk powder manufacture*. Copenhagen: Niro A/S.
- Posati, L.P., Orr, M.L., 1976. *Composition of Foods, Dairy and Egg Products*, Agriculture Handbook No. 8-1. USDA-ARS, Consumer and Food Economics Institute Publishers, Washington, DC, pp. 77–109.
- Prescott JK, Barnum RA. 2000. On powder flowability. *Pharmaceutical Technol* 24:63–84.
- Reddy R.S. , Ramachandraa C.T., Sharanagouda Hiregoudara, Udaykumar Nidonia, Jagjiwan Ramb, Mouneshwari Kammarc, 2014, Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying, *Small Ruminant Research* 119 130–137
- Refstrup E. 2000. Evaporation and drying technology developments. *Int J Dairy Technol* 53:163–7.
- Remeuf, F., 1993. Influence du polymorphisme genetique de la caseine  $\alpha$ -s-1 caprine sur les caracteristiques physico-chimiques et technologiques du lait. *Lait* 73, 549–557.
- Ribeiro A.C., S.D.A. Ribeiro, 2010, Specialty products made from goat milk, *Small Ruminant Research* 89 225–233



- Royal TA, Carson JW. 1991. Fine powder flow phenomena in bins, hoppers and processing vessels. Presented at Bulk 2000: bulk material handling towards the year 2000. London: Institution of Mechanical Engineers. p 1–10.
- Rystad, G., Knutsen, W.J., Abrahamsen, R.K., 1990. Effect of threonine and glycine on the acetaldehyde formation in goat's milk yoghurt. *J. Dairy Res.* 57, 401–411.
- Sanz Sampelayo, M.R., Perez, L., Martin Alonso, J.J., Amigo, L., Boza, J., 2002. Effects of concentrates with different contents of protected fat rich in PUFAs on the performance lactating Granadina goats. Part II. Milk production and composition. *Small Rumin. Res.* 43, 141–148.
- Schober C, Fitzpatrick JJ. 2005. Effect of vortex formation on powder sinkability for reconstituting milk powders in water to high solids content in a stirred tank. *J. Food Eng* 71:1–8.
- Schuck P., Dolivet A., Jeantet R., *Analytical Methods for Food and Dairy Powders*, Wiley-Blackwell, 2012\*
- Sharma, Jana, Chavan. *Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications—A Review*
- Shukla S., *Freeze Drying Process: A Review*, *IJPSR*, 2011; Vol. 2(12): 3061-3068, 2011\*
- Sikand V, Tong PS, Walker J. 2008. Impact of protein standardization of milk powder with lactose or permeate on whey protein nitrogen index and heat classification. *Dairy Sci Technol* 88:105–20.
- Singh H. 2004. Heat stability of milk. *Int J Dairy Technol* 57:111–9.
- Singh H, Aiqian Y. 2010. Controlling milk protein interactions to enhance the reconstitution properties of whole milk powders – a mini review. *Dairy Sci Technol* 90:123–68.
- Singh H, Newstead DF. 1992. Aspects of proteins in milk powder manufacture. In: Fox PF, editor. *Advanced dairy chemistry*, vol. 1. Proteins. 2nd ed. New York: Elsevier Applied. Science Pub. p 735–65.
- Skjevdal T., *Flavour of goat's milk: A review of studies on the sources of its variations*. *Livestock Production Science.* 1979;6(4):397-405
- Straatsma J, van Houwelingen G, Meulman AP, Steenbergen AE. 1991. DrySPEC2: a computer model of a two-stage dryer. *J Soc Dairy Technol* 44:107–11.

- Straatsma J, van Houwelingen G, Steenbergen AE, De Jong P. 1999. Spray drying of food products: 2. Prediction of insolubility index. *J Food Eng* 42:73–7.
- Tamime AY, editor. 2009. Dried milk products. Dairy powders and concentrated milk products. Oxford, U.K.: Blackwell Pub. Ltd. p 231–45.
- Teehan CM, Kelly PM, Devery R, O’Toole A. 1997. Evaluation of test conditions during the measurement of coffee stability of instant whole milk powder. *Int J Dairy Technol* 50:113–21.
- Tuohy JJ. 1989. Some physical properties of milk powders. *Irish J Food Sci Technol* 13: 141–52.
- Twomey M, Keogh MK. 1998. Milk powder in chocolate. *Farm Food* 8:9–11.
- Van Mil PJJM, Jans JA. 1991. Storage stability of whole milk powder: effects of process and storage conditions on product properties. *Neth Milk Dairy J* 45:145–67.
- Vega C, Goff HD, Roos YH. 2005a. Spray-drying of high-sucrose dairy emulsions: feasibility and physicochemical properties. *J Food Sci* 30:244–51.
- Vega C, Kim EHJ, Chen XD, Roos YH. 2005b. Solid state characterization of spray-dried ice cream mixes. *Colloid Surf B* 45:66–75.
- Vega-Mercado H, Gongora-Nieto M, Barbosa-Canovas G. 2001. Advances in dehydration of foods. *J Food Eng* 49:271–89.
- Vyas HK, Ton PS. 2005. Impact of source and level of calcium fortification on the heat stability of reconstituted skim milk powder. *J Dairy Sci* 87:1177–80.
- Wong PYY, Kitts DD. 2003. A comparison of the buttermilk solids functional properties to nonfat dried milk, soy protein isolates, dried egg white and egg yolk powders. *J Dairy Sci* 86:746–54.

\*Αναφέρεται στη βιβλιογραφία του κεφαλαίου «Μέθοδοι Ξήρανσης»