

Μέθοδοι θερμικής επεξεργασίας νωπού γάλακτος

Δρ Ευθυμία Κονδύλη, Τακτική Ερευνήτρια

Δρ Ελένη Παππά, Γεωπόνος

Ινστιτούτο Γάλακτος Ιωαννίνων

Το γάλα από την προϊστορική εποχή αποτελεί βασικό στοιχείο της διατροφής του ανθρώπου τόσο στα πρώτα στάδια της ζωής του, όσο και μετέπειτα. Αποτελεί την πιο πλήρη, απλή, φυσική τροφή, επειδή περιέχει συστατικά όπως λίπος και λακτόζη, που δίνουν στον ανθρώπινο οργανισμό ενέργεια, πρωτεΐνες και ανόργανα άλατα, τα οποία συνεισφέρουν στα δομικά συστατικά του και επιπλέον περιέχει αρκετή ποσότητα βιταμινών και ιχνοστοιχείων για την πραγματοποίηση των απαραίτητων βιοχημικών διεργασιών του.

Όλα τα είδη θηλαστικών χρησιμοποιούν το γάλα τους για τροφή των νεογνών τους, κατά τα πρώτα στάδια της ζωής τους. Ο άνθρωπος χρησιμοποιεί και το γάλα άλλων θηλαστικών, όπως αγελάδων που είναι τα κύρια γαλακτοπαραγωγά ζώα σήμερα, αλλά και προβάτων, αιγών, βουβαλιών κ.λπ., και μάλιστα σε όλα τα στάδια της ζωής του. Το αγελαδινό πλήρες γάλα περιέχει κατά μέσο όρο 3,7% λίπος, 4,7% λακτόζη, 3,2% πρωτεΐνες (καζεΐνη και πρωτεΐνες του ορού) και 0,7% ανόργανα στοιχεία (κυρίως ασβέστιο και φώσφορο), συστατικά που κατά κύριο λόγο προσδιορίζουν τη θρεπτική του αξία, αποτελεί όμως και πολύ καλή πηγή ορισμένων βιταμινών, ιχνοστοιχείων και ενζύμων. Τελευταίες μελέτες δείχνουν, ότι ένα μεγάλο μέρος της βιολογικής αξίας του γάλακτος οφείλεται στο γεγονός ότι οι πρωτεΐνες του αποτελούν πηγή βιοενεργών πεπτιδίων, τα οποία παρουσιάζουν ειδική δράση (π.χ. αντιυπερτασική, αντιθρομβωτική, αντιοξειδωτική, υποχοληστερολική, κ.ά.). Επίσης, το λίπος του γάλακτος περιέχει συστατικά, όπως το συζευγμένο λινελαϊκό οξύ (CLA), τα οποία προστατεύουν έναντι χρόνιων ασθενειών.

Το γάλα όμως αποτελεί και ένα πλούσιο θρεπτικό υπόστρωμα για πολλούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι μπορούν να προκαλέσουν την αλλοίωσή του. Το γάλα, το οποίο προέρχεται από υγιή ζώα, κατά τη στιγμή της άμελης περιέχει μερικές εκατοντάδες μικρόβια ανά ml, αλλά με την απομάκρυνσή του από το μαστό αναπτύσσει μικροοργανισμούς που προέρχονται από το σώμα του ζώου, από το προσωπικό και τα σκεύη άμελης και γενικά το περιβάλλον του βουστασίου. Επίσης αναπτύσσει μικροοργανισμούς και κατά τη διακίνηση, επεξεργασία και συντήρησή του. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία, το αγελαδινό γάλα που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση ή μεταποίηση πρέπει να προέρχεται από υγιή ζώα, η ολική μικροβιακή του χλωρίδα να είναι <100.000 μικροοργανισμών ανά ml γάλακτος και η περιεκτικότητά του σε σωματικά κύτταρα να είναι <400.000 ανά ml γάλακτος (Κανονισμός (ΕΚ) 1662/2006). Οι μικροοργανισμοί του γάλακτος αν βρεθούν στις κατάλληλες συνθήκες πολλαπλασιάζονται, με αποτέλεσμα το γάλα να αλλοιωθεί (κυρίως αλλοιώνονται το λίπος, η λακτόζη και οι πρωτεΐνες). Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών του νωπού γάλακτος είναι η θερμοκρασία διατήρησής του έως τη στιγμή της επεξεργασίας του. Έχει βρεθεί ότι η διατήρηση του νωπού γάλακτος σε θερμοκρασία μικρότερη των 4°C επιβραδύνει τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών.

Το νωπό γάλα από τη στιγμή που φτάνει στη βιομηχανία και έως ότου αποδοθεί στον καταναλωτή, ως ένα προϊόν έτοιμο προς πόση, υφίσταται τις εξής διεργασίες:

- Καθαρισμό, ο οποίος γίνεται με διήθηση ή με την τεχνική της διαύγασης. Κατά τη διαύγαση το γάλα καθαρίζεται με φυγοκέντρηση και επιπλέον επιτυγχάνεται απόσπηση και απομάκρυνση των σωματικών κυττάρων.
- Τυποποίηση, ώστε τα κύρια συστατικά του (κυρίως το λίπος) να καλύπτουν τις προδιαγραφές της χημικής σύστασης, όπως αυτή ορίζεται από τη νομοθεσία (π.χ. γάλα άπαχο ή μειωμένης λιποπεριεκτικότητας).

- Ομογενοποίηση, ώστε το πόσιμο γάλα να έχει ομοιογενή εμφάνιση χωρίς διαχωρισμό λίπους στην επιφάνεια.
- Θερμική επεξεργασία, ώστε το γάλα που θα αποδοθεί στους καταναλωτές να είναι απαλλαγμένο από παθογόνους και αλλοιογόνους μικροοργανισμούς.

Εμπορικά η θερμική επεξεργασία του γάλακτος άρχισε να εφαρμόζεται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και ο κύριος σκοπός της ήταν η απενεργοποίηση του *Mycobacterium tuberculosis*, μικροοργανισμού υπεύθυνου για τη φυματίωση, ασθένεια μάστιγα για τους ανθρώπους την εποχή εκείνη. Στη συνέχεια, το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία που σχετίζονταν με την κατανάλωση του γάλακτος, είχε ως αποτέλεσμα η θερμική επεξεργασία (παστερίωση) του γάλακτος να υιοθετηθεί από όλες τις αναπτυγμένες χώρες μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (2009) «θερμικά επεξεργασμένο γάλα» χαρακτηρίζεται το γάλα που είναι κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση και παράγεται με θερμική επεξεργασία άμεσα και αποκλειστικά από νωπό γάλα και το οποίο έχει τη μορφή γάλακτος παστεριωμένου και γάλακτος μακράς διάρκειας (αποστεριωμένου ή υπερ-υψηλής θερμομανσης - Ultra High Temperature). «Θερμική επεξεργασία» νοείται κάθε επεξεργασία με θέρμανση που έχει ως αποτέλεσμα, αμέσως μετά την εφαρμογή της, αρνητική αντίδραση στη δοκιμασία φωσφατάσης.

Ανάλογα, λοιπόν, με τη θερμική επεξεργασία που εφαρμόζεται, το γάλα κατατάσσεται στις εξής κατηγορίες:

Παστεριωμένο γάλα, που είναι το γάλα στο οποίο έχει εφαρμοστεί η τεχνική της παστερίωσης.

Υπάρχουν δυο ισοδύναμοι τρόποι θερμικής επεξεργασίας για την παστερίωση του γάλακτος :

α) η εφαρμογή χαμηλής θερμοκρασίας (63°C) για μακρό χρονικό διάστημα (Low-Temperature Long-Time, LTLT) περίπου 30 λεπτών που γίνεται σε δεξαμενές με διπλά τοιχώματα, και

β) η εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας (71,7°C) για βραχύ χρονικό διάστημα περίπου 15 δευτερολέπτων (High-Temperature Short Time, HTST), που γίνεται συνήθως σε πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας. Τα εργοστάσια και οι μικρές βιοτεχνίες, που παράγουν παστεριωμένο γάλα, συνήθως επιλέγουν τη δεύτερη μέθοδο παστερίωσης αφού είναι εξοπλισμένα με τους πλακοειδείς εναλλάκτες, που απαιτούνται για την παστερίωση αυτή. Βέβαια, είναι δυνατόν να εφαρμοστεί και διαφορετικός συνδυασμός χρόνου και θερμοκρασίας για την παστερίωση του γάλακτος, θα πρέπει όμως να επιτευχθεί ισοδύναμο αποτέλεσμα.

Γενικά, με την παστερίωση όλοι οι μύκητες, οι ζύμες και η πλειοψηφία των αλλοιογόνων βακτηρίων θανατώνονται, και πολλά ενδογενή ένζυμα μετουσιώνονται. Οι θερμοκρασίες και οι χρόνοι παστερίωσης έχουν επιλεγεί, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν την καταστροφή και των θερμο-



αντόχων, μη σπορογόνων παθογόνων μικροοργανισμών κυρίως του *Mycobacterium tuberculosis* (βακτήριο της φυματίωσης) αλλά και των *Coxiella burnetii* (βακτήριο που προκαλεί τον πυρετό Q) και *Listeria monocytogenes* (προκαλεί λιστερίωση). Άλλα λιγότερο θερμοάντοχα παθογόνα, όπως είναι τα *Brucella*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Campylobacter* και *Escherichia coli O157:H7*, μπορεί να αδρανοποιηθούν και σε χαμηλότερες της παστερίωσης θερμοκρασίες. Όμως, κάποια θερμοάντοχα μη σπορογόνα (π.χ. *Lactobacillus* και *Streptococcus*) αλλά και κάποια σπορογόνα βακτήρια (π.χ. *Bacillus* και *Clostridium*) μπορεί να επιζήσουν της παστερίωσης.

Σε αυτές τις θερμοκρασίες, οι αλλαγές που εμφανίζουν τα συστατικά και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του γάλακτος, είναι πολύ μικρές. Είναι δυνατόν να υπάρξει με την παστερίωση μια μετουσίωση των πρωτεϊνών του ορού κατά 3-5%, όπως και μια μικρή απώλεια των βιταμινών (π.χ. η απώλεια των βιταμινών A και D είναι αμελητέα, ενώ η απώλεια των B₁, B₆, B₉, B₁₂ και C είναι της τάξης του 10%, 1-5%, 3-5%, 1-10% και 5-20%, αντίστοιχα).

Ωστόσο, το παστεριωμένο γάλα έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής (self life), γι' αυτό είναι αναγκαία η ταχεία ψύξη του σε χαμηλές θερμοκρασίες που δεν υπερβαίνουν τους 6°C κατά τη διακίνησή του και μέχρι την κατανάλωσή του. Η διάρκεια ζωής του εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα της πρώτης ύλης, δηλαδή τη μικροβιολογική (ολικό φορτίο και σωματικά κύτταρα) και τη χημική (κυρίως μέταλλα και ελεύθερα λιπαρά οξέα) ποιότητα του νωπού γάλακτος και από τον τρόπο επεξεργασίας της πρώτης ύλης (συλλογή, θερμική επεξεργασία, θερμοκρασία αποθήκευσης, έκθεση στο φως, είδος συσκευασίας, επιμολύνσεις μετά την παστερίωση από μέταλλα και μικροοργανισμούς, κ.ά.).



Η καλή ή κακή ποιότητα του παστεριωμένου γάλακτος γίνεται αντιληπτή από τους καταναλωτές, κυρίως μέσω των οργανοληπτικών του χαρακτηριστικών. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά βέβαια είναι άμεσα συνδεδεμένα με τη χημική και μικροβιολογική ποιότητα του γάλακτος. Χημικές και ενζυμικές αντιδράσεις δημιουργούν άσχημη οσμή –γεύση στο φρέσκο παστεριωμένο γάλα, το οποίο μετά από κάποιο χρόνο αποθήκευσης δεν είναι αποδεκτό από τον καταναλωτή. Για παράδειγμα, μπορεί να αναπτυχθεί «καμένη» ή «χάρτινη» γεύση λόγω αποικοδόμησης των θειούχων αμινοξέων των πρωτεϊνών του ορού γάλακτος ή της οξειδωσης του λίπους του γάλακτος αντίστοιχα, ή ανεπιθύμητη οσμή- γεύση λόγω αύξησης του μικροβιακού φορτίου (κυρίως ψυχρότροφα βακτήρια) του παστεριωμένου γάλακτος.

Από ερευνητικά αποτελέσματα του Ινστιτούτου Γάλακτος σε συνεργασία με το Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, σχετικά με την ποιότητα του φρέσκου παστεριωμένου (15 δευτερόλεπτα στους 72°C) γάλακτος, συσκευασμένου σε χαρτοκιτίο που παρέμεινε στους 4 ± 0,5°C για 7 ημέρες, φαίνεται ότι οι δείκτες ποιότητας του παστεριωμένου γάλακτος (πρωτεόλυση, λιπόλυση, οξειδωση λίπους, ψυχρότροφα και μεσόφιλα βακτήρια) αυξάνονταν με μικρό ρυθμό μετά την παστερίωση έως την 5^η ημέρα συντήρησης και με πολύ μεγαλύτερο από την 5^η έως την 7^η ημέρα.

Δυστυχώς, δεν έχουν θεσπιστεί όρια για τους παραπάνω δείκτες, ώστε να μπορεί εύκολα να καθορισθεί ο χρόνος

ζωής του παστεριωμένου γάλακτος και το σημαντικότερο κριτήριο παραμένει η αποδοχή του από τον καταναλωτή. Κάποιες χώρες έχουν θεσπίσει ως χρόνο ζωής του γάλακτος, το διάστημα κατά το οποίο το μικροβιακό του φορτίο θα φτάσει την τιμή των 20.000 μικροβίων/ml, όταν αυτό συντηρείται στην οριακή θερμοκρασία των 7°C.

Είναι δυνατόν να αυξηθεί ο χρόνος ζωής του παστεριωμένου γάλακτος, όταν εφαρμοστεί και η διαδικασία του βακτηριοκαθαρισμού μέσω φυγοκέντρωσης (bactofugation). Η τεχνική αυτή έχει ως σκοπό τη μηχανική απομάκρυνση, κυρίως των σπορίων και βακτηρίων από το γάλα, με τη χρήση ειδικά σχεδιασμένων φυγοκεντρικών διαχωριστήρων. Άλλη μια τεχνική που χρησιμοποιείται είναι η μικροδιήθηση (microfiltration) του γάλακτος. Η χρήση των μεθόδων αυτών μπορεί να επιμηκύνει το χρόνο ζωής του παστεριωμένου γάλακτος, αλλά μπορεί να παρουσιάσει αρνητική επίπτωση στη θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του. Πραγματικά, σε ερευνητική εργασία του Ινστιτούτου Γάλακτος σε συνεργασία με το Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, όπου μεταξύ άλλων μελετήθηκε η ποιότητα του παστεριωμένου γάλακτος, το οποίο είχε υποστεί και βακτηριοκαθαρισμό μέσω φυγοκέντρωσης (bactofugation), κατά τη συντήρησή του (13 ημέρες στους 4 ± 0,5°C), βρέθηκε ότι επιμηκύνθηκε ο χρόνος ζωής του γάλακτος και μειώθηκε η θρεπτική του αξία (όσον αφορά τις βιταμίνες A, E και B₂). Ο οργανοληπτικός έλεγχος έδειξε ότι το παστεριωμένο και βακτηριοκαθαρισμένο (bactofuged) γάλα στη συσκευασία του

χαρτοκυτίου ήταν αποδεκτό έως την 8^η ημέρα, αλλά τη 10^η ημέρα ανέπτυξε άσχημη οσμή και γεύση.

Επίσης, επιτρέπεται η παραγωγή παστεριωμένου γάλακτος, το οποίο στην ετικέτα του φέρει την ένδειξη «υψηλής παστερίωσης» (Κώδικας Τροφίμων και Ποτών, 2009). Το γάλα υψηλής παστερίωσης έχει γίνει γνωστό ως Παρατεταμένης Διάρκειας Ζωής (Extended Self Life- ESL) και συντηρείται στο ψυγείο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από το παστεριωμένο. Κατά τη θερμική επεξεργασία του εφαρμόζονται διαφορετικοί συνδυασμοί θερμοκρασίας και χρόνου θέρμανσης και συνήθως χρησιμοποιούνται θερμοκρασίες γύρω στους 100°C. Θανατώνονται όλοι οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί αλλά όχι τα σπόρια, ενώ μετουσιώνονται τα περισσότερα ένζυμα του γάλακτος. Υπάρχουν κάποιες επιδράσεις στα συστατικά του γάλακτος και πιο συγκεκριμένα, μέρος των πρωτεϊνών του ορού μετουσιώνονται, η θρεπτική του αξία (όσον αφορά κάποιες βιταμίνες) μειώνεται και κάποιες αλλαγές εμφανίζονται στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του, όπως π.χ. ελαφριά γεύση «βρασμένου».

Το γάλα μακράς διάρκειας υφίσταται θερμική επεξεργασία είτε με την κλασική μέθοδο αποστείρωσης (π.χ. 115-125°C για 20-30 λεπτά) ή με τη μέθοδο της υπερ-υψηλής θέρμανσης (Ultra High Temperature- UHT) και σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών (2009) η θέρμανσή του είναι στους 135°C (η ελάχιστη) επί 1 τουλάχιστον δευτερόλεπτο και έχει ως σκοπό την καταστροφή όλων των υπολειπόμενων μικροοργανισμών και των σπορίων τους. Το γάλα αυτό συσκευάζεται υπό ασηπτικές συνθήκες σε αδιαφανή δοχεία, κατά τρόπο όμως ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι χημικές, φυσικές και οργανοληπτικές μεταβολές. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από το παστεριωμένο γάλα. Οι παραπάνω συνδυασμοί θερμοκρασίας - χρόνου του γάλακτος προκαλούν τη θανάτωση όλων των μικροοργανισμών και των σπορίων τους, όμως επηρεάζουν και τη φυσικοχημική σταθερότητα, το χρώμα και τη γεύση του καθώς και τη θρεπτική αξία του. Κάποιες από τις αλλαγές είναι αντιστρεπτές και κάποιες όχι. Οι αλλαγές αυτές είναι ηπιότερες όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος UHT, γι' αυτό και προτιμάται έναντι της κλασικής αποστείρωσης.

Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες αλλαγές που παρουσιάζονται στα χαρακτηριστικά του μακράς διάρκειας γάλακτος: Σε υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούνται από το λίπος του γάλακτος λακτόνες και μεθυλοκετόνες που προσδίδουν στο γάλα έντονη γεύση «αποστειωμένου». Μετουσιώνονται οι πρωτεΐνες του ορού και αντιδρούν με τις καζεΐνες. Η β-λακτογλοβουλίνη συνδέεται με δισουλφιδικούς δεσμούς με την κ-καζεΐνη και επηρεάζονται οι ιδιότητες των καζεϊνικών μικκυλίων. Προκαλείται η αντίδραση Maillard (αντίδραση λακτόζης με αμινομάδες των πρωτεϊνών) και συμβαίνει καραμελοποίηση της λακτόζης,

με αποτέλεσμα το σκούρο χρωματισμό και τη δημιουργία «καμένης» γεύσης στο γάλα καθώς και τη μείωση της διατροφικής αξίας των πρωτεϊνών. Ελεύθερα αμινοξέα, όπως είναι η λυσίνη και η αλανίνη, αλληλεπιδρούν με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της βιολογικής αξίας των πρωτεϊνών του γάλακτος. Προκαλείται καταστροφή των θερμοευαίσθητων βιταμινών (C, B₂, E, B₁₂), οπότε μειώνεται η θρεπτική αξία του γάλακτος. Επίσης, προϊόντα οξείδωσης της βιταμίνης C ελαττώνουν τη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων αμινοξέων, όπως είναι η λυσίνη και η τρυπτοφάνη. Το γάλα αποκτά οσμή και γεύση «βρασμένου» εξαιτίας των ελεύθερων σουλφυδρυλικών ομάδων και μικρών ποσοτήτων H₂S που δημιουργούνται. Τα ενδογενή ένζυμα του γάλακτος αδρανοποιούνται, μπορεί όμως να ενεργοποιηθούν και πάλι όταν το UHT γάλα διατηρείται για πολύ χρόνο. Το κυριότερο ελάττωμα στο UHT γάλα είναι η αύξηση του ιξώδους (ζελατινοποίηση) ή ο σχηματισμός ιζήματος κατά την αποθήκευσή του, οπότε για την αποφυγή τους μπορεί να χρησιμοποιηθούν ενώσεις, όπως τα πολυφωσφορικά ή ορθοφωσφορικά άλατα.

Συμπερασματικά, λοιπόν, το γάλα καταναλώνεται σήμερα ευρύτατα σε παγκόσμια κλίμακα και περιλαμβάνεται στο καθημερινό διατολόγιο των περισσότερων καταναλωτών λόγω της θρεπτικής του αξίας. Κι αυτό γιατί περιέχει σε ισορροπη σχέση πρωτεΐνες, λίπη, άλατα και βιταμίνες και δεδομένου ότι βρίσκεται σε υγρή κατάσταση οι ουσίες αυτές είναι εύληπτες και εύπεπτες. Η ανάπτυξη και ο εκσυγχρονισμός των γαλακτοβιομηχανιών σε συνδυασμό με τη χρήση της παστερίωσης, ως της ελάχιστης θερμικής επεξεργασίας για τη διασφάλιση της υγείας, έχουν ως αποτέλεσμα να παρατηρείται ελάττωση των κινδύνων από τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η ποιότητα της πρώτης ύλης, δηλαδή του νωπού γάλακτος που θα χρησιμοποιηθεί, η εφαρμογή της κατάλληλης θερμικής επεξεργασίας αλλά και η σωστή διατήρηση μετά, καθορίζουν σημαντικά την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στην αγορά σήμερα κυκλοφορούν πολλά προϊόντα που παράγονται με διαφορετικό τρόπο θερμικής επεξεργασίας και όλα εμφανίζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κατά τη χρήση τους. Ο σωστός ενημερωμένος καταναλωτής, ανάλογα με τις ανάγκες και τις επιθυμίες του, μπορεί να επιλέξει το γάλα που του ταιριάζει.

Πληροφορίες:

Γενική Διεύθυνση Αγροτικής Έρευνας,
Ινστιτούτο Γάλακτος Ιωννίων,
Εθνικής Αντιστάσεως 3, Κατσικά, 452 21 Ιωάννινα,
τηλ.: 2651094780, e-mail:efikon.ig@nagref.gr