

Εφαρμογή του βελτιωμένου λογισμικού προγράμματος iCRiC σε βιομηχανικό θάλαμο ωρίμασης ελληνικής Γραβιέρας

Δρ Ιωάννης Σαμέλης, Τακτικός Ερευνητής
Τμήμα Γάλακτος Ιωαννίνων

Η ωρίμαση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια παραγωγής των τυριών. Πρόκειται γενικά για μια αργή και ακριβή διαδικασία που ακόμη και σήμερα δεν είναι πλήρως ελεγχόμενη ή προβλέψιμη, ενώ παραδοσιακά βασιζόταν στη σταθερότητα των συνθηκών αυτών σε φυσικά κλιματιζόμενους χώρους, όπως σπήλαια, κελάρια κ.λπ.

Η θερμοκρασία αποτελεί κρίσιμη παράμετρο που επενεργεί απευθείας στην ανάπτυξη και τη μεταβολική δραστηριότητα της μικροβιακής κλωρίδας των τυριών. Με την αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνεται η ωρίμαση, συνεπώς μειώνεται ο χρόνος ωρίμασης και το κόστος παραγωγής του τυριού. Η σχετική υγρασία (ΣΥ%) αποτελεί εξίσου κρίσιμη τεχνολογική παράμετρο, καθώς με αύξηση της ΣΥ επιτυγχάνεται μείωση της απώλειας βάρους, και συνεπώς αύξηση της απόδοσης σε τυρί, για ορισμένο χρόνο παραμονής των τυριών στο θάλαμο ωρίμασης. Η αύξηση της θερμοκρασίας και ΣΥ δεν μπορεί όμως να υπερβεί ορισμένα όρια, χωρίς να υπάρξει αρνητική επίδραση πάνω στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την ολική ποιότητα των τυριών. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί συστηματικές μελέτες, ώστε να επιτυγχάνονται σταθεροί συνδυασμοί θερμοκρασίας και ΣΥ στο θάλαμο ωρίμασης σε συνάρτηση με την κατάλληλη σύνθεση της αέριας ατμόσφαιρας. Επιτυγχάνεται πλήρης έλεγχος της θερμοκρασίας, ΣΥ και κίνησης του αέρα με μηχανολογικές παραμέτρους, όπως η ταχύτητα κυκλοφορίας και εναλλαγής του αέρα και ο ρυθμός απαγωγής ή παροχής υγρασίας στο θάλαμο. Άρα το πρόγραμμα ωρίμασης μπορεί να σταθεροποιηθεί με κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων αυτών. Ειδικότερα, με την περιοδική λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης/κυκλοφορίας του αέρα στο θάλαμο ωρίμασης μπορεί να επιτευχθεί σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και να μειωθεί το κόστος παραγωγής.

Μια πρώτη προσπάθεια αξιολόγησης βασικών τεχνολογικών και οικονομικών παραμέτρων ενός προγράμματος ωρίμασης κατάλληλου για τα ελληνικά παραδοσιακά σκληρά τυριά, πραγματοποιήθηκε σε πιλοτική κλίμακα στο πλαίσιο του κοινοτικού ερευνητικού προγράμματος TRUEFOOD, που υλοποιήθηκε στο Ινστιτούτο Γάλακτος σε συνεργασία με την ερευνητική μονάδα INRA-UMR Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires, Grignon, Γαλλία (Υπεύθυνος ερευνητής: Prof. Georges Corrieu) και το παραδοσιακό τυροκομείο Αφοί Παππά στη Φιλιππιάδα Πρεβέζης. Ως πρότυπο τυρί χρησιμοποιήθηκε η Γραβιέρα. Για τις ανάγκες της πιλοτικής έρευνας κατασκευάστηκε στο Ινστιτούτο Γάλακτος πιλοτικός θάλαμος 15 m³, στον οποίο έγινε εγκατάσταση του πρωτότυπου λογισμικού προγράμματος CRiC (Cheese Ripening Control) που έφερε αισθητήρες και ηλεκτρονικό ζυγό εντός του θαλάμου, και ειδικό καταγραφικό σύστημα Η/Υ εξωτερικά αυτού. Το σύστημα είχε τη δυνατότητα ακριβούς



ρύθμισης και διαρκούς παρακολούθησης και καταγραφής όλων των βασικών περιβαλλοντολογικών παραμέτρων της ωρίμασης. Επιπλέον, με τον ηλεκτρονικό ζυγό υπήρχε δυνατότητα συνεχούς καταγραφής της απώλειας βάρους από ένα τυρί αναφοράς από κάθε παρτίδα τυριών που τοποθετούταν πάνω στον ζυγό.

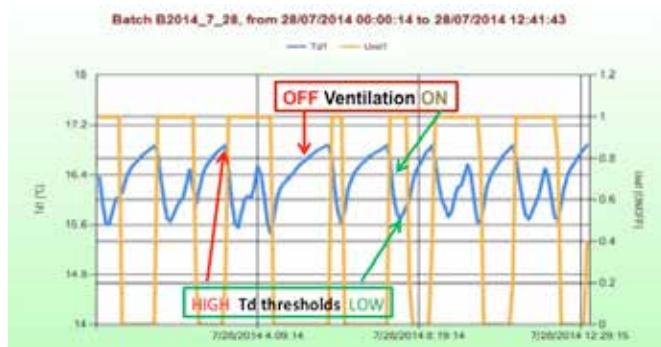
Τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας TRUEFOOD (περίληψη των οποίων έχει δημοσιευθεί στο περιοδικό του ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, Απρίλιος-Ιούνιος 2013, τεύχος 2, σελ. 13-16), υπήρξαν πολύ ενδιαφέροντα και ενθαρρυντικά για τη συνέχιση του συγκεκριμένου έργου σε εμπορική κλίμακα. Κατέδειξαν, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, ότι μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση της κατανάλωσης ενέργειας με παράλληλη αύξηση της απόδοσης σε τυρί, μέσω της εφαρμογής ενός προγράμματος ελέγχου της περιοδικής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης/κυκλοφορίας του αέρα σε θαλάμους ωρίμασης σκληρών τυριών τύπου Γραβιέρας.

Εφαρμογή του βελτιωμένου λογισμικού προγράμματος iCRiC σε βιομηχανικό θάλαμο ωρίμασης ελληνικής Γραβιέρας

Η αντίστοιχη έρευνα σε βιομηχανική κλίμακα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του κοινοτικού προγράμματος με τίτλο “New ripening room monitoring technology for improving the efficiency and sustainability of cheese ripening processes” (FP-7/KBBE-2013-2.6.-01 Grant No 613827), και ακρωνύμιο SMART-RIPE, δηλαδή «έξυπνη ωρίμαση». Η υλοποίηση του προγράμματος έγινε στο παραδοσιακό τυροκομείο Αφοί Παππά (Τεχνικά Υπεύθυνος: κ. Δημήτριος Παππάς) της εταιρείας ΣΚΑΡ-ΦΙ ΕΠΕ, σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Γάλακτος Ιωαννίνων (Υπεύθυνος ερευνητής: Δρ Ιωάννης Σαμέλης), την ερευνητική μονάδα INRA-GMPA, Grignon, Γαλλία (Υπεύθυνος ερευνητής: Dr Bruno Perret), την εταιρεία παροχής συμβουλών BIOVAL Process SAS, Γαλλία (Υπεύθυνος: Dr Georges Corrieu), και την κατασκευαστική εταιρεία βιομηχανικού εξοπλισμού C2AP SA, Γαλλία (Τεχνικά Υπεύθυνος: J.M. Dumontel).

Κατά τη διάρκεια της προηγηθείσας πιλοτικής έρευνας TRUEFOOD είχαν αναδειχθεί ορισμένα τεχνικά προβλήματα ή βασικές τεχνικές ελλείψεις, που απαιτούσαν τη βελτίωση του αρχικού λογισμικού προγράμματος CRiC:

- 1) Δεν υπήρχε δυνατότητα συνεχούς μέτρησης και καταγραφής της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία υπολογιζόταν θεωρητικώς μειωμένη κατά 60% λόγω σταθερής λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης/ψύξης κατά το 40% του συνολικού χρόνου ωρίμασης. Μια ακριβής, πιο αξιόπιστη μέτρηση της εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας με βάση την κατανάλωση σε kWh ήταν συνεπώς απαραίτητη.
- 2) Η περιοδική (διακεκομμένη) λειτουργία του συστήματος θέρμανσης/ψύξης με βάση τον ορισμένο σταθερό χρόνο (time-based SV60:40, 4 min ON – 6 min OFF) δεν ανταποκρινόταν εξίσου καλά στις εκάστοτε ασταθείς καιρικές συνθήκες. Ειδικά σε χειμερινές περιόδους με έντονο κρύο και υψηλή εξωτερική υγρασία ή θερινές περιόδους με έντονη ζέση και χαμηλή εξωτερική υγρασία, η ικανότητα ρύθμισης της εσωτερικής θερμοκρασίας και ΣΥ στον πιλοτικό θάλαμο παρουσίαζε σημαντικά προβλήματα, όπως έντονες διακυμάνσεις, περιόδους απορρύθμισης ή απαιτούσε επιπλέον αφύγρυνση.
- 3) Η μέτρηση της ΣΥ από το λογισμικό CRiC γινόταν από ειδικό αισθητήρα με ορισμένα προβλήματα λειτουργίας. Θεωρητικά όμως, είναι γνωστό ότι η ΣΥ ενός οποιουδήποτε χώρου μπορεί να υπολογισθεί έμμεσα από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ξηρού (Td) και υγρού (Tw) θερμομέτρου. Κατ' αντιστοιχία, η ρύθμιση της ΣΥ μπορεί να γίνει επίσης έμμεσα μέσω της θερμοκρασίας αν προ-ορισθεί το σταθερό εύρος διαφοράς (threshold) των δυο θερμοκρασιών, Td και Tw, πάνω ή κάτω από το οποίο το σύστημα λειτουργεί είτε για να θερμάνει (οπότε απάγει εσωτερική υγρασία) είτε για να ψύξει (οπότε προσθέτει υγρασία με ψεκασμό). Με τη μέθοδο αυτή εξασφαλίζεται τόσο καλύτερη ρύθμιση της ΣΥ, όσο κυρίως μια άλλου τύπου περιοδική (διακεκομμένη) λειτουργία/κυκλοφορία του αέρα στον θάλαμο «βάσει θερμοκρασίας» (temperature-based sequential



Temperature-based sequential ventilation (TSV): Αρχή λειτουργίας

ventilation, TSV). Η TSV ανταποκρίνεται πολύ καλύτερα στις συχνές απότομες εναλλαγές των εξωτερικών περιβαλλοντολογικών συνθηκών, εξασφαλίζοντας καλύτερη απόκριση και σταθερότητα λειτουργίας του CRiC.

Η ρύθμιση-βελτίωση όλων των παραπάνω τεχνικών ελλείψεων και προβλημάτων από την ερευνητική ομάδα του INRA οδήγησε στην κατασκευή του βελτιωμένου λογισμικού iCRiC (improved CRiC). Το εύρος της διαφοράς Td/Tw στο τυροκομείο της ΣΚΑΡΦΙ ΕΠΕ ορίσθηκε σε 0.8°C, ενώ το βελτιωμένο λογισμικό έφερε και ορισμένες συνδέσεις αισθητήρων νέας τεχνολογίας χωρίς καλωδίωση (wireless sensors).

Σε πρώτη φάση έγινε η εγκατάσταση και ρύθμιση του iCRiC επί του υπάρχοντος κλιματιστικού εξοπλισμού ενός βιομηχα-



Βιομηχανικός θάλαμος ωρίμασης Γραβιέρας με λογισμικό σύστημα iCRiC

νικού θαλάμου ωρίμασης της ΣΚΑΡΦΙ ΕΠΕ, χωρητικότητας 340 m³. Το λογισμικό (software) σύστημα περιείχε τη βελτιωμένη πρωτότυπη συσκευή, συνδεδεμένη με καλωδιωμένους ή μη αισθητήρες και τον ηλεκτρονικό ζυγό εντός του θαλάμου. Οι αισθητήρες, ένας εκ των οποίων συνδεόταν με θερμομέτρο ξηρού-υγρού, μετέφεραν on-line τις αντίστοιχες μετρήσεις μέσω καλωδίωσης ή ασύρματα στο ειδικό καταγραφικό σύστημα H/Y, που βρισκόταν σε ασφαλή χώρο-γραφείο του τυροκομείου.

Η έρευνα επικεντρώθηκε στη σωστή ρύθμιση και διατήρηση της επιθυμητής Td (16-17°C), της σταθερής διαφοράς Td/Tw (0.8°C), της επιθυμητής ΣΥ (91-92%), της άμεσης μεταστροφής του θαλάμου από συνεχή (CV) σε περιοδική (TSV) λειτουργία, καθώς επίσης της συνεχούς καταγραφής της απώλειας βάρους (g) από το τυρί αναφοράς πάνω στον ηλεκτρονικό ζυγό, και φυσικά της συνεχούς καταμέτρησης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (kWh) κατά την ωρίμαση. Ο πειραματικός χρόνος ωρίμασης ορίστηκε σε 30 ημέρες: σε πρώτη φάση δοκιμάστηκε η κανονική λειτουργία του λογισμικού iCRiC για εβδομαδιαία διαστήματα χωρίς να υπάρχουν τυριά στον θάλαμο.

Σε επόμενη φάση πραγματοποιήθηκαν 6 πειραματικές παρτίδες Γραβιέρας με εναλλαγή των συνθηκών ωρίμασης: οι πρώτες 3 με λειτουργία CV και ενδιάμεσα αυτών οι υπόλοιπες 3 με λειτουργία TSV. Όλες οι παρτίδες παρασκευάστηκαν και ωρίμασαν κατά το χρονικό διάστημα Νοέμβριος 2014 μέχρι Ιούλιος 2015, ώστε να καλυφθεί πειραματικά το χρονικό διάστημα μιας πλήρους γαλακτικής περιόδου προβάτων και αιγών στην περιοχή της Ηπείρου.

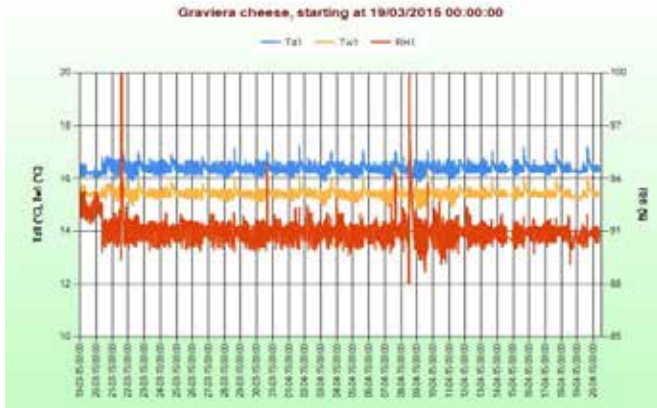


Πρωτότυπη βελτιωμένη ηλεκτρική συσκευή του λογισμικού συστήματος iCRiC

Τα αποτελέσματα έδειξαν συνοπτικά τα ακόλουθα:

Η ρύθμιση και διατήρηση της θερμοκρασίας ξηρού/υγρού και της ΣΥ% ήταν πολύ καλή κατά τη διάρκεια της μηνιαίας ωρίμασης σε όλες τις πειραματικές παρτίδες Γραβιέρας. Η μέση τιμή θερμοκρασίας και ΣΥ των τυριών που ωρίμασαν με εφαρμογή CV ήταν $16.2 \pm 0.3^\circ\text{C}$ και $91.0 \pm 2.0\%$, ενώ οι μέσες τιμές των τυριών που ωρίμασαν με εφαρμογή TSV ήταν $16.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$ και $91.5 \pm 1.5\%$, αντίστοιχα.

Η απώλεια βάρους από τα τυριά αναφοράς (balance) ήταν πανομοιότυπη και αρκετά ομοιόμορφη για όλες τις παρτίδες, με τον ρυθμό της απώλειας βάρους να είναι γενικά μεγαλύτερος μεταξύ του 1^{ου} και 2^{ου} δεκαημέρου της ωρίμασης.



Παράδειγμα παρτίδας τυριού Γραβιέρα που ωρίμασε με εφαρμογή προγράμματος περιοδικής (TSV) κυκλοφορίας αέρα καταγραφή θερμοκρασίας ξηρού/υγρού (Td/Tw) θερμομέτρου και σχετικής υγρασίας (RH%)

Η απώλεια βάρους (%) των τυριών αναφοράς (balance) κυμαίνονται σημαντικά τόσο μεταξύ των παρτίδων CV (από 3.63% μέχρι 5.06%) όσο και των παρτίδων TSV (από 3.58% μέχρι 4.24%), κάτι που αποδόθηκε σε κυρίως εποχικές ή άλλες ποιοτικές διαφορές του γάλακτος που τυροκομήθηκε, δεδομένου ότι η διαδικασία παραγωγής των τυριών ήταν σταθερή. Σε κάθε περίπτωση, η μέση απώλεια βάρους (%) των τυριών που ωρίμασαν με περιοδική κυκλοφορία του αέρα (TSV) ήταν 3.94%, δηλαδή περίπου 0.5% λιγότερη από τη μέση απώλεια βάρους (%) των τυριών που ωρίμασαν με συνεχή κυκλοφορία του αέρα (CV) που ήταν 4.42%.

Σε όλες τις πειραματικές παρτίδες Γραβιέρας, η απώλεια βάρους των τυριών αναφοράς (balance) ήταν σημαντικά μεγαλύτερη από τη μέση απώλεια βάρους 5 άλλων τυριών που είχαν τοποθετηθεί σε 5 συγκεκριμένες θέσεις στον θάλαμο και ζυγίζονταν (manual) μια φορά την ημέρα. Αυτό οφειλόταν στην τοποθέτηση του ζυγού πάνω σε τραπέζι, όπου το τυρί αναφοράς δεν καλυπτόταν από πάνω με ξύλινο ράφι και συνεπώς βρισκόταν διαρκώς εκτεθειμένο στο ρεύμα του αέρα που κυκλοφορούσε με μεγαλύτερη ένταση στους διαδρόμους του θαλάμου ωρίμασης. Αντίθετα τη μικρότερη μέση απώλεια βάρους είχαν τα τυριά που βρισκόταν διαρκώς κάτω από ξύλινο ράφι και ειδικά όσα ωρίμαζαν σε χαμηλές σειρές ραφιών πάνω από το δάπεδο.

Η συνολική μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μήνα ωρίμασης Γραβιέρας με εφαρμογή CV κάτω από τις παραπάνω συνθήκες θερμοκρασίας/ΣΥ ήταν 3.581 ± 170 kWh, δηλαδή 119.4 ± 5.0 kWh ημερησίως, ενώ η αντίστοιχη μέση μηνιαία κατανάλωση ενέργειας με εφαρμογή TSV ήταν μόλις 2.086 ± 165 kWh, δηλαδή 69.5 ± 6.0 kWh ημερησίως. Συνεπώς, η περιοδική λειτουργία του θαλάμου κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες επέφερε μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 42% και μείωση του χρόνου κυκλοφορίας του αέρα κατά 48%. Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου ή της άνοιξης, που οι καιρικές συνθήκες ήταν πιο ήπιες, η μέση κατανάλωση ενέργειας του ίδιου θαλάμου μετρημένη κατά περιοδικά εναλλασσόμενα εβδομαδιαία διαστήματα ήταν περίπου 2.500 kWh με εφαρμογή CV και

μόλις 1.800 kWh με εφαρμογή TSV. Οι τιμές αυτές μπορεί να αυξάνονταν από 30-50% τον χειμώνα ή το καλοκαίρι. Γενικά, η μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ήταν μικρότερη όσο μικρότερη ήταν η διαφορά της μέσης εξωτερικής θερμοκρασίας στη διάρκεια ενός 24ώρου από τη μέση επιθυμητή θερμοκρασία ($16-17^\circ\text{C}$) εντός του θαλάμου ωρίμασης.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι τα μικροβιολογικά, φυσικοχημικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των τυριών που ωρίμασαν με εφαρμογή TSV δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά των τυριών που ωρίμασαν με εφαρμογή CV, στον ίδιο βιομηχανικό θάλαμο. Ειδικά, όσον αφορά στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, υφή, γεύση, άρωμα), οι δοκιμαστές ανέδειξαν ότι η εποχή παραγωγής των τυριών Γραβιέρας επηρέαζε σε σημαντικό βαθμό την ολική ποιότητα των τυριών, ανεξάρτητα αν επρόκειτο για πειραματικές παρτίδες CV ή TSV, με την καλύτερη βαθμολογία να συγκεντρώνουν τα τυριά που παρήχθησαν κατά την άνοιξη.

Τα κύρια συμπεράσματα της έρευνας SMART-RIPE συνοψίζονται ως εξής:

- Η εγκατάσταση, ρύθμιση και λειτουργία του βελτιωμένου λογισμικού iCRiC σε βιομηχανικό θάλαμο ωρίμασης Γραβιέρας της ΣΚΑΡΦΙ ΕΠΕ και η συνακόλουθη εφαρμογή ενός κατάλληλου περιοδικού προγράμματος λειτουργίας του κλιματιστικού συστήματος θέρμανσης - ψύξης - κυκλοφορίας του αέρα (temperature-based sequential ventilation; TSV) κρίνεται απόλυτα επιτυχημένη.
- Η μέση αύξηση της απόδοσης σε τυρί Γραβιέρα κατά 1% περίπου λόγω μείωσης της μέσης απώλειας βάρους (υγρασίας) κατά την ωρίμαση μέσω της εφαρμογής προγράμματος TSV φαίνεται σχετικά μικρή, πλην όμως καθίσταται σημαντική επί της ετήσιας παραγωγής ενός τυροκομείου (περίπου 120 g/ώριμο κεφάλι τυριού).
- Η μέση εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά περίπου 50% μέσω της εφαρμογής του προγράμματος TSV κρίνεται πολύ μεγάλη και σημαντική, όσον αφορά στη μείωση του ολικού κόστους παραγωγής.
- Συνολικά, τα αποτελέσματα της έρευνας SMART-RIPE προωθούν την «έξυπνη ωρίμαση», η οποία μπορεί να συμβάλει αποφασιστικά στη μείωση του υψηλού κόστους της διαδικασίας, της τιμής κόστους παραγωγής του τελικού προϊόντος και στην αύξηση της κερδοφορίας μικρομεσαίων τυροκομικών επιχειρήσεων που παράγουν Γραβιέρα ή ανάλογα σκληρά παραδοσιακά τυριά. Η έρευνα SMART-RIPE έχει κατοχυρωθεί με σχετικό εμπορικό σήμα (trademark), που έχουν δικαίωμα να φέρουν επί των προϊόντων όσες επιχειρήσεις έχουν εγκαταστήσει το λογισμικό σύστημα iCRiC για την «έξυπνη ωρίμαση».

Πληροφορίες: Τμήμα Γάλακτος Ιωαννίνων, Ινστιτούτο Τεχνολογίας Γεωργικών Προϊόντων, Κατοικίας, 452 21 Ιωάννινα, **τηλ.:** 2651 094789, **fax:** 2651 092523, **e-mail:** jsam@otenet.gr