



9^ο

Πανελλήνιο Συνέδριο
Γεωργικής Μηχανικής

ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΗ - ΜΕΤΑΣΥΓΚΟΜΙΣΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ



ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΤΡΙΑ ΦΥΛΛΩΔΗ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

Γ. Ξανθόπουλος^{1,✉}, Ε. Μανωλοπούλου², Γ. Λαμπρινός¹

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Αγροτικής Παραγωγής Υποδομών και Περιβάλλοντος,
Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75-11855 Αθήνα, ✉ xanthopoulos@hua.gr

²ΤΕΙ Πελοποννήσου, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής,
Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Αντικάλαμος 24100, Καλαμάτα

Περίληψη

Η υποβάθμιση του χρώματος και της χλωροφύλλης σε μαρούλι, σπανάκι και ρόκα εκτιμήθηκαν στους 0, 5, 10 και 20 °C. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ένα μοντέλο κινητικής 1^{ης} τάξης για την περιγραφή της υποβάθμισης του χρώματος και της χλωροφύλλης. Το σπανάκι και η ρόκα παρουσίασαν παρόμοιο ρυθμό αποδόμησης της χλωροφύλλης, αλλά διαφορετικό από το μαρούλι. Το σπανάκι παρουσίασε αυξημένη ευαισθησία στην υποβάθμιση του χρώματος στους 20 °C συγκριτικά με τη ρόκα και το μαρούλι. Η ενέργεια ενεργοποίησης για την αποδόμηση της χλωροφύλλης ήταν της ιδίας τάξης μεγέθους για τη ρόκα και το σπανάκι ενώ για το μαρούλι ήταν 21% υψηλότερη. Η συσχέτιση της συνολικής χλωροφύλλης με τη χροιά έδωσε τρεις παράλληλες γραμμικές συσχετίσεις, μια για κάθε λαχανικό, η παράθεση των οποίων ακολουθεί την ίδια ταξινόμηση με το ρυθμό αναπνοής των τριών λαχανικών.

Λέξεις κλειδιά: Κινητική, Αποδόμηση χλωροφύλλης, Χροιά, Πολυπαραγοντική προτυποποίηση

COMPARATIVE KINETICS STUDY OF CHLOROPHYLL AND COLOUR DEGRADATION FOR THREE LEAFY VEGETABLES

G. Xanthopoulos^{1,✉}, H. Manolopoulou², Gr. Lambrinos¹

¹Agricultural University of Athens, School of Agricultural Production Infrastructure and Environment, Department of NRM and AE, 75 Iera Odos Str., Athens, Greece 11855, tel. +30 210 5294031, fax. +30 210 5294032, ✉ xanthopoulos@hua.gr

²Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology and Food Technology and Nutrition, Dep. of Agricultural Technology, Antikalamos, 24100 Kalamata

Abstract

The chlorophyll and colour degradation of lettuce, spinach and rocket were estimated at 0, 5, 10 and 20 °C. A first-order kinetics model was developed and tested to describe the chlorophyll and colour degradation of the three vegetables. The spinach and rocket exhibited similar chlorophyll degradation rate but different from lettuce. The energy of activation for the chlorophyll degradation was in the same order of magnitude for the rocket and spinach and 21% higher for the lettuce. The spinach exhibited increased sensitivity regarding colour degradation at 20 °C compared to rocket and lettuce. Analysis of the total chlorophyll with the hue angle generated three parallel linear plots, one for each vegetable, the apposition of which follows the same classification as that of the respiration rate of the three vegetables.

Key words: Kinetics, Chlorophyll degradation, Hue angle, Multiresponse modelling

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα σημαντικότερα και πιο αναγνωρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φρέσκων γεωργικών προϊόντων είναι το εξωτερικό τους χρώμα το οποίο επηρεάζει την αποδοχή τους από τους καταναλωτές. Το χρώμα συχνά χρησιμοποιείται ως δείκτης φρεσκάδας, ωριμότητας, γευστικότητας και θρεπτικής αξίας αν και αυτή η προσέγγιση μερικές φορές είναι παραπλανητική (Shewfelt, 2000). Το χρώμα επηρεάζεται σημαντικά από χημικές, βιοχημικές, μικροβιακές και φυσικές μεταβολές οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την ανάπτυξη, την ωρίμαση, τους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς και την επεξεργασία αυτών (Pankaj et al., 2011). Στα πράσινα λαχανικά διαμορφώνεται κυρίως από τις κυρίαρχες χλωροφύλλες α και β που υπάρχουν στα πράσινα φυτά συνήθως σε αναλογία 3:1 (Von Elbe, 1996). Η κύρια αιτία του αποχρωματισμού στα συντηρούμενα πράσινα λαχανικά (π.χ. μπρόκολο, σπανάκι, μαρούλι, ρόκα κ.α.) είναι η διάσπαση της χλωροφύλλης που μετατρέπει το χρώμα από ανοιχτό πράσινο σε αποχρώσεις του κίτρινου, του καφέ και του πορτοκαλί στους γηρασμένους ιστούς. Η διάσπαση της χλωροφύλλης στα αγγειώδη φυτά χαρακτηρίζεται από πολλά στάδια όπως και η σύνθεση της χλωροφύλλης, αλλά μπορεί να συνοψιστεί σε δυο βασικές ομάδες αντιδράσεων: η πρώτη παράγει πρασινωπές ενώσεις ενώ η δεύτερη άχρωμες. Η αποδόμηση της χλωροφύλλης στους γηρασμένους ιστούς παρακινείται από εξωτερικούς παράγοντες όπως το υδατικό στρες, ο ανεπαρκής φωτισμός (Okada et al., 1992), οι θερμοκρασιακές μεταβολές (Taylor and Craig, 1971), τα υψηλά επίπεδα αιθυλενίου (Thompson, 1988) ή άλλους παράγοντες ή και συνδυασμούς αυτών (Agüero et al., 2011). Η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια ζωής στο “ράφι” των νωπών λαχανικών λόγω του ρόλου της στο μεταβολισμό και την αναπνοή. Η μη τήρηση της θερμοκρασιακής συνέχειας στην ψυκτική αλυσίδα είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες της μείωσης της διάρκειας ζωής των συντηρούμενων λαχανικών με τις υψηλές θερμοκρασίες να επιταχύνουν το κιτρίνισμα των φυλλωδών λαχανικών. Πολλά πράσινα λαχανικά δεν καταναλώνονται νωπά και η επίδραση των μετασυλλεκτικών χειρισμών, του μαγειρέματος και της βιομηχανικής επεξεργασίας στην εμφάνιση και την αποδοχή τους από τον καταναλωτή έχει μελετηθεί με 1^{ης} τάξεως κινητικά μοντέλα αποδόμησης της χλωροφύλλης. Η υποβάθμιση του πράσινου χρώματος υπολογίζεται από χρωματικούς δείκτες στο σύστημα CIEL*a*b* το οποίο επίσης ακολουθεί κινητική 1^{ης} τάξης, με το ρυθμό να είναι θερμοκρασιακά εξαρτώμενος (Pankaj et al., 2011). Τα φυλλώδη λαχανικά όπως το μαρούλι, το σπανάκι, η ρόκα κ.α. χρησιμοποιούνται ευρέως στην Μεσογειακή διατροφή σε νωπές ή και σε ανάμεικτες σαλάτες είτε ως συνοδευτικά. Τα φυλλώδη λαχανικά είναι εύφθαρτα και χαρακτηρίζονται από μικρή διάρκεια ζωής και υψηλούς ρυθμούς διαπνοής λόγω της υψηλής αναλογίας επιφάνειας προς μάζα, γεγονός που συμβάλλει στην επιτάχυνση της γήρανσης και στην απώλεια χρώματος.

Ο σκοπός της μελέτης είναι: (i) η εκτίμηση μέσω της κινητικής θεωρίας, της υποβάθμισης της συνολικής χλωροφύλλης, (ii) η εκτίμηση μέσω της κινητικής θεωρίας, της υποβάθμισης του χρώματος (μεταβολή της χροιάς), (iii) η συσχέτιση της συνολικής μεταβολής της χλωροφύλλης με την αντίστοιχη μεταβολή της χροιάς και η χαρτογράφηση της σχετικής ευαισθησίας της συνολικής χλωροφύλλης με την αντίστοιχη υποβάθμιση της χροιάς.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Φυτικό υλικό και προετοιμασία των δειγμάτων

Μαρούλι (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), σπανάκι (*Spinacia oleracea*) και ρόκα (*Eruca sativa* Mill) καλλιεργήθηκαν σε πειραματικό αγρό του ΤΕΙ Καλαμάτας και συλλέχθηκαν στο στάδιο της εμπορικής τους ωριμότητας βάσει του αριθμού των φύλλων (μαρούλι) και του

μεγέθους αυτών (σπανάκι, ρόκα). Τα λαχανικά συλλέχθηκαν νωρίς το πρωί. Μετά τη διαλογή χρησιμοποιήθηκαν κεφαλές μαρουλιού παρόμοιου μεγέθους, ενώ αφαιρέθηκαν τα εξωτερικά φύλλα. Στο σπανάκι και στη ρόκα χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα υγιή φύλλα, παρόμοιου σταδίου ανάπτυξης. Μετά τη διαλογή τα λαχανικά πλύθηκαν με νερό βρύσης στους 5 °C και στη συνέχεια στεγνώθηκαν με απορροφητικό χαρτί.

2.2. Συνθήκες συντήρησης και δειγματοληψίας

Τα τρία λαχανικά συντήρηθηκαν ασυσκεύαστα σε σκοτάδι. Η συντήρηση στους 0, 5 και 10 °C διήρκησε 13 ημέρες για το σπανάκι και το μαρούλι και 10 ημέρες για τη ρόκα. Στους 20 °C συντήρήθηκαν το μαρούλι 10 ημέρες, το σπανάκι έξι και η ρόκα επτά. Η δειγματοληψία για τη μέτρηση του χρώματος και της χλωροφύλλης διεξήχθη την 0^η, 3^η, 8^η, 10^η και 13^η ημέρα για το μαρούλι, την 0^η, 3^η, 6^η, 10^η και 13^η ημέρα για το σπανάκι και 0^η, 3^η, 7^η, 10^η και 13^η ημέρα για τη ρόκα. Για κάθε ημέρα δειγματοληψίας, ελέγχθηκαν 6 κεφάλια μαρουλιού και 6 δείγματα σπανακιού και ρόκας (5 φύλλα ανά δείγμα, σύνολο 30 φύλλα) και θερμοκρασία συντήρησης. Η μέτρηση του χρώματος στις περιπτώσεις του σπανακιού και της ρόκας, διεξήχθη στα 1-2 cm από την άκρη των φύλλων. Στο μαρούλι, οι μετρήσεις διεξήχθηκαν στα 4 εξωτερικά φύλλα κάθε κεφαλιού (συνολικά 24 φύλλα), 1-2 cm από την κορυφή. Οι περιοχές των φύλλων που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις χρώματος στη συνέχεια κόπηκαν σε λεπτές λωρίδες και αναμίχθηκαν τυχαία για την εξαγωγή της χλωροφύλλης. Η μέτρηση της χλωροφύλλης διεξήχθη σε 6 δείγματα ανά ημέρα μέτρησης και θερμοκρασία συντήρησης. Όλα τα πειράματα επαναλήφθηκαν μία φορά.

2.3. Προσδιορισμός της φυλλικής επιφάνειας και της περιεχόμενης χλωροφύλλης

Το χρώμα των φύλλων μετρήθηκε με χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Minolta Corp., Japan) στο σύστημα CIE L*a*b* και εκφράστηκε ως χροιά (h_{ab}). Ο δείκτης ΔΕ* είναι σημαντικός όταν αξιολογείται η σχέση μεταξύ της οπτικής και της αριθμητικής ανάλυσης ενώ τα C_{ab}^* και h_{ab} αποτελούν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του χρώματος αντίστοιχα (Sant' Anna et al., 2013). Ανάλογα με τη μεθοδολογία δειγματοληψίας και την επιθυμητή ακρίβεια, οι δείκτες L*, a*, b*, h_{ab} , C_{ab}^* ή ο συνδυασμός τους, μπορούν να παρέχουν ικανοποιητική περιγραφή του χρώματος. Ο υπολογισμός του h_{ab} θα πρέπει να γίνεται κατόπιν διορθώσεως ώστε $h_{ab}>0$. Ο προσδιορισμός της χλωροφύλλης έγινε φασματοφωτομετρικά σύμφωνα με την μεθοδολογία των Hiscox and Israelstam (1979). Περίπου 100 mg φρέσκου φυτικού ιστού κόπηκαν σε λωρίδες πλάτους 2-5 mm και τοποθετήθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα που περιείχε 10 mL δικέθυλο σουλφοξείδιο (DMSO). Οι δοκιμαστικοί σωλήνες επωάσθηκαν στους 60 °C για 60 min. Οι προκαταρτικές δοκιμές έδειξαν ότι κατά την εκχύλιση χλωροφύλλης στους 60 °C για 40-50 min δεν υπάρχει απώλεια της στο θερμό DMSO στα πρώτα 60 min. Μετά την ψύξη, 3 mL του διαλύματος τοποθετήθηκαν σε κυψελίδα χαλαζία και λήφθηκαν μετρήσεις απορρόφησης στα 665 nm (A^{665}), και 648 nm (A^{648}) με φασματοφωτόμετρο διπλής ακτίνας U-2000 Hitachi (Hitachi High-Technologies Corp., Japan). Η συνολική χλωροφύλλη προσδιορίστηκε ως το άθροισμα της χλωροφύλλης a (Chl_a) και b (Chl_b), όπου $Chl_a=14.85\times A^{665}-5.14\times A^{648}$ και $Chl_b=25.48\times A^{648}-7.36\times A^{665}$ (Barnes et al., 1992).

2.4. Ανάλυση κινητικής χρώματος

Οι περισσότερες μελέτες που σχετίζονται με την κινητική της αποδόμησης χλωροφύλλης και της υποβάθμισης του χρώματος, είναι 0^{ης} ή 1^{ης} τάξης. Οι Xanthopoulos et al. (2014) σχολίασαν ότι η τάξη των αντιδράσεων μπορεί να μεταβληθεί κατά τη διάρκεια των

σταδίων της υποβάθμισης και επιπλέον η ίδια διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει συνεχείς ή παράλληλες αντιδράσεις όπως η διάσπαση της χλωροφύλλης όπως αναφέρουν οι Marquez and Sinnecker (2007b). Στην παρούσα μελέτη οι παρακάτω τροποποιημένες εξισώσεις κινητικής χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή της αποδόμησης της χλωροφύλλης και του χρώματος όπως αναπτύχθηκαν από τους Xanthopoulos et al. (2014).

$$n=0, A=A_o \pm k_r t^{m'} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (2a) \quad n=1, \ln(A) = \ln(A_o) \pm k_r t^{m'} \exp \left[-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (2b)$$

όπου n η τάξη της αντίδρασης, k_r ο συντελεστής συχνότητας, E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol), R ο συντελεστής των αερίων ($J/mol K$), T η απόλυτη θερμοκρασία (K), t ο χρόνος συντήρησης (h) και (+/-) υποδεικνύουν το σχηματισμό και τη διάσπαση της παραμέτρου που είναι ο λόγος C_t/C_o και h_{ab} για την υποβάθμιση της χλωροφύλλης και του χρώματος αντίστοιχα.

2.5. Πειραματικός σχεδιασμός και στατιστική ανάλυση

Το πείραμα διεξήχθη σύμφωνα με ένα πλήρη παραγοντικό σχεδιασμό (full factorial design) (θερμοκρασία συντήρησηςχείδος λαχανικούχχρόνος συντήρησης) και υποβλήθηκε σε ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) χρησιμοποιώντας το λογισμικό Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Inc, USA). Οι μέσες τιμές υποβλήθηκαν σε έλεγχο ελαχίστων σημαντικών διαφορών (LSD) με $P \leq 0.05$. Τα δεδομένα στα σχήματα και τους πίνακες είναι οι μέσες τιμές από δυο πειραματικές σειρές. Η εκτίμηση των σφαλμάτων έγινε από το μέσο

$$\text{τετραγωνικό σφάλμα } RMSE = \left[N^{-1} \sum_{t=0}^{t_f} (X_{\text{exp}} - X_{\text{pred}})^2 \right]^{1/2} \text{ όπου } t_f \text{ ο χρόνος συντήρησης, } N \text{ ο αριθμός των μετρήσεων, } X_{\text{exp}} \text{ πειραματική και } X_{\text{pred}} \text{ η αντίστοιχη εκτιμώμενη τιμή.}$$

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκτίμηση της χλωροφύλλης a και b στα τρία λαχανικά έδειξε ότι η μέση τιμή του λόγου Ch_a/Ch_b ισούται με 5.5 ± 1.0 , 2.3 ± 0.6 και 5.5 ± 1.0 αντίστοιχα. Οι Bohn et al. (2004) αναφέρουν τιμές Ch_a/Ch_b για μαρούλι, ρόκα και σπανάκι 4.3, 3.5 and 3.0 χωρίς να αναφέρουν άλλες πληροφορίες για τα λαχανικά και τις συνθήκες συντήρησης. Ο λόγος Ch_a/Ch_b ποικίλλει ανάλογα το προϊόν, τις συνθήκες ανάπτυξης, τις καλλιεργητικές πρακτικές, το στάδιο ανάπτυξης (Gross, 1987) ή συνδυασμό άλλων παραγόντων (υγρασία, τραυματισμένα φύλλα κ.α.). Κατά τη διάρκεια της συντήρησης ο λόγος Ch_a/Ch_b ποικίλλει λόγω της ταχύτερης αποδόμησης της Ch_a συγκριτικά με την Ch_b (Goodwin, 1965). Οι μελέτες για την αποδόμηση της χλωροφύλλης και την υποβάθμιση του πράσινου χρώματος στα συντηρούμενα νωπά προϊόντα είναι σπάνιες συγκριτικά με τα θερμικώς επεξεργασμένα προϊόντα σε μορφή πολτού (puree). Στα δείγματα πολτού η αξιολόγησή της αποδόμησης είναι απλοποιημένη λόγω ομογενοποίησης, ενώ στα ολόκληρα προϊόντα (π.χ. φυλλώδη λαχανικά) η δειγματοληψία είναι επίπονη λόγω των πολλαπλών δειγματοληψιών που απαιτούνται για την αντιμετώπιση της παραλλακτικότητας των αξιολογούμενων χλωροφυλλών και δεικτών χρώματος. Η ανάλυση μεταβλητότητας ANOVA (Πιν. 1) φανέρωσε τη σημασία του χρόνου και της θερμοκρασίας συντήρησης καθώς και του τύπου λαχανικού ($P \leq 0.05$) στην αποδόμηση της χλωροφύλλης. Οι τιμές F της θερμοκρασίας ($F\text{-ratio}=73.40$) και του χρόνου ($F\text{-ratio}=79.87$) συντήρησης υποδεικνύουν ότι και οι δυο μεταβλητές επηρεάζουν στον ίδιο βαθμό την αποδόμηση της χλωροφύλλης το οποίο και συμφωνεί με τη βιβλιογραφία, δηλαδή η ενζυματική δράση της αποδόμησης της χλωροφύλλης εξαρτάται από το ολοκλήρωμα της θερμοκρασίας και του χρόνου συντήρησης.

Πίνακας 1. ANOVA των παραγόντων που επηρεάζουν το Chl_t κατά τη συντήρηση των τριών λαχανικών

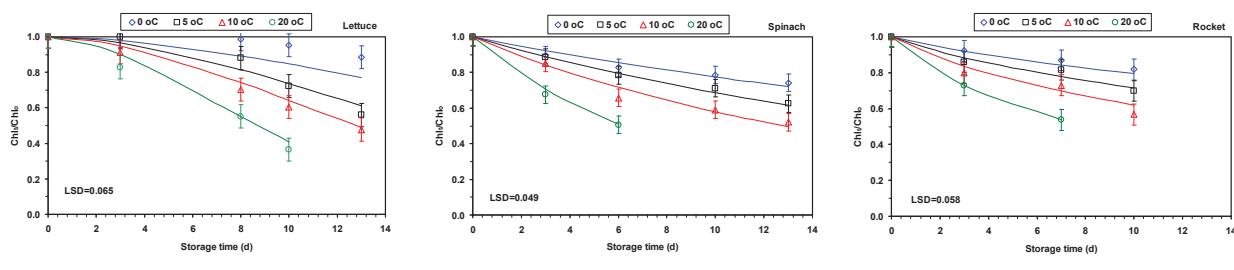
Πηγή	df	F-ratio	P-value
Κύριοι Παράγοντες			
A: Θερμοκρασία συντήρησης	3	73.40	≤0.001*
B: Χρόνος συντήρησης	6	79.87	≤0.001*
C: Επαναλήψεις	1	0.10	0.75
D: Είδος λαχανικού	2	46.56	≤0.001*
Residual	1043		
Total	1055		

*Σημαντικό σε P≤0.05

Η αποδόμηση της χλωροφύλλης εκφράστηκε ως Chl_t/Chl₀, όπου Chl₀ η αρχική ποσότητα της συνολικής χλωροφύλλης. Ο λόγος Chl_t/Chl₀ εκφράζει το εναπομείναν ποσοστό της αρχικής συνολικής χλωροφύλλης Chl₀. Στο τέλος της συντήρησης ο όρος Chl₀ μειώθηκε κατά 50% σε όλα τα λαχανικά που συντηρήθηκαν στους 10 και 20 °C. Ο λόγος Chl_t/Chl₀ ακολουθεί κινητική 1^{ης} τάξης, και περιγράφεται ικανοποιητικά από την Εξ. 2b όπως εμφανίζεται στο Σχήμα 1a-c, με R_{adj}²>90% SEE≤0.09 και RMSE<5.9% (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Εκτιμώμενες παράμετροι του log(Chl_t/Chl₀) (Εξ. 2b)

Προϊόν	k _r	E _a (J mol ⁻¹)	T _r (K)	n	R _{adj} ² (%)	SEE	RMSE (%)
Μαρούλι	0.004	57,954	281.15	1.89	90.02	0.09	5.9
Ρόκα	0.062	47,581	281.15	0.82	98.12	0.03	2.8
Σπανάκι	0.052	48,544	281.15	0.95	98.11	0.03	2.1



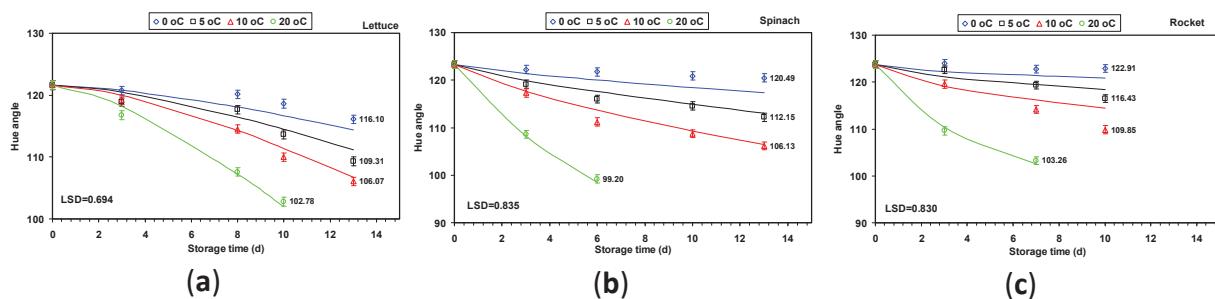
Σχήμα 1. Αποδόμηση της Chl_t κατά τη συντήρηση μαρουλιού (a), σπανακιού (b) και ρόκας (c) στους 0, 5, 10 and 20 °C. Πειραματικά τιμές=σημεία και προβλεπόμενες τιμές=γραμμές.

Τα προηγούμενα αποτελέσματα συμφωνούν με τη συγκριτική μελέτη των Marquez and Sinnecker (2007a) που συντείνει ότι στις περισσότερες μελέτες, η αποδόμηση της χλωροφύλλης ακολουθεί κινητική 1^{ης} τάξης. Η τιμή T_r που χρησιμοποιείται στην εξίσωση Εξ.

2b είναι 281.15 K και υπολογίσθηκε ως $T_r^{-1} = m^{-1} \sum_{i=1}^m T_i^{-1}$ για τις τέσσερις ισοθερμοκρασιακές συνθήκες (0, 5, 10 και 20 °C). Το σπανάκι (Σχ. 1b) και η ρόκα (Σχ. 1c) παρουσίασαν παρόμοιο ρυθμό αποδόμησης, ενώ το μαρούλι (Σχ. 1a) όχι. Πολλοί παράγοντες έχουν αναγνωριστεί ότι επηρεάζουν την αποδόμηση της χλωροφύλλης όπως το υδατικό stress (λόγω υψηλού ελλείμματος πίεσης υδρατμών), η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία συντήρησης, η υπερβολική συγκέντρωση αιθυλενίου και συνδυασμός παραγόντων (Agüero et al., 2011).

Από τους προηγούμενους παράγοντες, η θερμοκρασία θεωρείται ο σημαντικότερος, επηρεάζοντας σημαντικά την μετασυλλεκτική ποιότητα των φυλλώδων λαχανικών. Η μείωση της έντασης του πράσινου χρώματος στα πράσινα φυλλώδη λαχανικά συσχετίζεται με τη γήρανση των φυτικών ιστών, την απώλεια θρεπτικών συστατικών συνεπώς και την υποβάθμισης της ποιότητας γενικότερα (Cantwell and Kasmire, 2002). Ο ρυθμός υποβάθμισης των συγκομισμένων προϊόντων είναι γνωστό ότι σχετίζεται με τον αναπνευστικό ρυθμό. Έχουν αναφερθεί ρυθμοί αναπνοής (RR) για το μαρούλι (*Romaine*, ολόκληρο φύλλο) ως μέτριοι 24-35 mg_{CO₂}/kg^h και ως πολύ υψηλοί για το σπανάκι (φύλλο) 35-58 mg_{CO₂}/kg^h και για τη ρόκα 47-95 mg_{CO₂}/kg^h (Saltveit, 2004). Η προηγούμενη ταξινόμηση μπορεί να εξηγήσει το σχήμα της χλωροφύλλης και την υποβάθμιση της χροιάς σε σχέση με το χρόνο συντήρησης (Πιν. 1 και 2). Όσο υψηλότερος ο αναπνευστικός ρυθμός, τόσο ταχύτερος ο ρυθμός υποβάθμισης και αντίστοιχα μικρότερη η διάρκεια ζωής που εξηγεί και τη μικρότερη κατά 3 ημέρες διάρκεια ζωής της ρόκας (10 ημέρες) έναντι των 13 ημερών του σπανακιού και του μαρουλιού. Διαφορές στην ενέργεια ενεργοποίησης E_a (Πιν. 2) εντοπίστηκαν, όπου η ρόκα και το σπανάκι είχαν παρόμοιες τιμές E_a 47.6-48.5 kJ/mol ενώ στο μαρούλι ήταν κατά 21% υψηλότερες, 57.9 kJ/mol.

Η αποδόμηση της χλωροφύλλης στα όργανα των πράσινων φυτών εκφράζεται κυρίως ως υποβάθμιση του πράσινου χρώματος. Παρόλο που πολλοί τρόποι αξιολόγησης του χρώματος έχουν προταθεί (Pankaj et al., 2011), ο δείκτης h_{ab} ως ποιοτικό χαρακτηριστικό χρώματος (Sant' Anna et al., 2013) παρέχει άμεση εκτίμηση της μεταβολής του χρώματος. Στην παρούσα μελέτη, η υποβάθμιση του πράσινου χρώματος που πειραγράφεται βάσει του δείκτη h_{ab} ακολουθεί κινητική 1^{ης} τάξης. Τα πειραματικά και τα προβλεπόμενα δεδομένα (Εξ. 2b) h_{ab} παρουσιάζεται στο Σχ. 2a-c. Σε όλα τα εξεταζόμενα λαχανικά και τις θερμοκρασίες συντήρησης, το αρχικό h_{ab} δεν μειώθηκε πάνω από 16-20% γεγονός που αποδεικνύει ότι η αποδόμηση της χλωροφύλλης είχε προηγηθεί της αντίστοιχης του χρώματος. Οι παράμετροι της Εξ. 2b όπως υπολογίζονται από τη μη γραμμική παλινδρόμηση των πειραματικών τιμών του h_{ab} παρουσιάζονται στον Πιν. 3.



Σχήμα 2. Αποδόμηση της h_{ab} κατά τη συντήρηση μαρουλιού (a), σπανακιού (b) και ρόκας (c) στους 0, 5, 10 and 20 °C. Πειραματικά τιμές=σημεία και προβλεπόμενες τιμές=γραμμές.

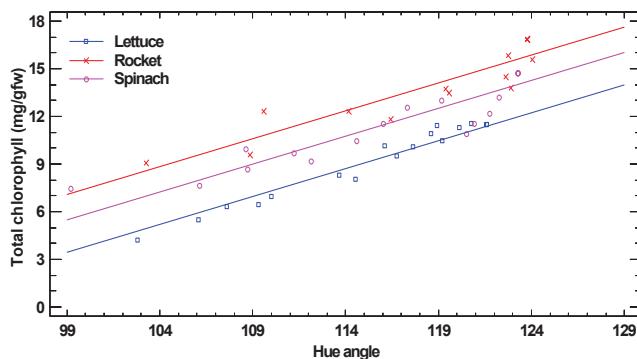
Πίνακας 3. Εκτιμώμενες παράμετροι του log(Hue) (Εξ. 2b)

Προϊόν	k _r	E _a (J/mol)	T _r (K)	n	R _{adj} ² (%)	SEE	RMSE (%)
Μαρούλι	0.002	48,302	281.15	1.52	95.75	0.01	1.0
Ρόκα	0.018	62,122	281.15	0.67	95.55	0.01	1.5
Σπανάκι	0.021	65,575	281.15	0.65	95.14	0.01	1.1

Οι υπολογισμένες παράμετροι παρουσιάζουν ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των πειραματικών και των προβλεπόμενων τιμών του h_{ab} με R_{adj}²>95%, SEE≤0.01 και RMSE<1.7%. Στην παρούσα μελέτη, η ανάλυση ANOVA πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη την Chl_t

ως απόκριση και τα h_{ab} και τύπο λαχανικού ως κύριους παράγοντες. Βάσει αυτής της επιλογής, εάν το h_{ab} είναι γνωστό, τότε η υποβάθμιση της Chl_t μπορεί να εκτιμηθεί δίχως την ανάγκη επίπονων χημικών αναλύσεων. Η παλινδρόμηση του h_{ab} με την Chl_t είχε ως αποτέλεσμα $R^2_{adj}=0.918$ και $SEE=0.876$. Οι υπολογισμένες τιμές P-values για τις κλίσεις ($P-value=0.135>0.05$) και τις τομές ($P-value\leq 0.001$) δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές για τα τρία εξεταζόμενα λαχανικά. Βάσει αυτής της ανάλυσης, το μοντέλο που προέκυψε είναι, $Chl_t=-31.285+0.351\times h_{ab}+3.636\times \text{Ρόκα}+2.013\times \text{Σπανάκι}$. Οι όροι Ρόκα και Σπανάκι είναι μεταβλητοί δείκτες που παίρνουν τιμή 1 εάν είναι αληθείς και 0 εάν είναι ψευδείς. Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτουν τρία παράλληλα διαγράμματα (Σχ. 4) ένα για κάθε εξεταζόμενο είδος λαχανικού.

Στην περίπτωση του μαρούλιού, το μοντέλο παίρνει την μορφή σε $Chl_t=-31.285+0.351\times h_{ab}$, στην περίπτωση της ρόκας το μοντέλο παίρνει την μορφή $Chl_t=-27.649+0.351\times h_{ab}$ και στην περίπτωση του σπανακιού το μοντέλο παίρνει την μορφή $Chl_t=-29.272+0.351\times h_{ab}$.



Σχήμα 3. Μεταβολή της χροιάς με την ολική χλωροφύλη σε μαρούλι, ρόκα και σπανάκι συντηρούμενα στους 0, 5, 10 και 20 °C.

Η ταξινόμηση του αναπνευστικού ρυθμού RR αυτών των λαχανικών

$$(RR_{ρόκα} > RR_{σπανάκι} > RR_{μαρούλι})$$

συμφωνεί με την απεικόνιση των τριών γραμμικών γραφημάτων στο Σχ. 3 όπου η ρόκα βρίσκεται υψηλότερα διαδοχικά από το σπανάκι και το μαρούλι. Μελλοντικές μελέτες μπορεί να επικεντρωθούν στην ύπαρξη παρόμοιων σχέσεων μεταξύ των Chl_t και h_{ab} για διαφορετικά είδη και ποικιλίες φυλλωδών λαχανικών, τα οποία συλλέγονται στο στάδιο της εμπορικής τους ωριμότητας και έχουν παρόμοιες συνθήκες συντήρησης, με στόχο να χαρτογραφηθεί η σχετική ευαισθησία του Chl_t ως προς τις αντίστοιχες μεταβολές του h_{ab} .

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι υψηλές τιμές των R^2_{adj} και οι αντίστοιχα χαμηλές των SEE και RMSE που προκύπτουν από την ανάλυση επιβεβαιώνουν ότι το μοντέλο κινητικής 1st τάξης περιγράφει ικανοποιητικά την υποβάθμιση του Chl_t και h_{ab} κατά τη συντήρηση των τριών λαχανικών. Το σπανάκι και η ρόκα παρουσιάζουν παρόμοιους ρυθμούς υποβάθμισης του χρώματος και της χλωροφύλης, ενώ το μαρούλι ακολουθεί διαφορετική τάση που συμφωνεί με την ταξινόμηση των αναπνευστικών ρυθμών των τριών λαχανικών. Αυτή η τάση εκδηλώνεται με παρόμοιες τιμές E_a για τη ρόκα και το σπανάκι και σημαντικά διαφορετικές για το μαρούλι. Η συσχέτιση της Chl_t ως εξαρτημένης μεταβλητής και των h_{ab} και τύπου λαχανικού ως ανεξάρτητες μεταβλητές έδωσε τρεις γραμμικές εξισώσεις σταθερής κλίσης. Η παράθεση των τριών γραμμικών γραφημάτων ακολουθεί την αντίστροφη ταξινόμηση της E_a όπως προκύπτει από τη μη γραμμική παλινδρόμηση της αποδόμησης της χλωροφύλης και συμφωνεί με την ταξινόμηση του αναπνευστικού ρυθμού RR των τριών λαχανικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Agüero, M.V., Ponce, A.G., Moreira, M.R. and Roura S.I., 2011. *Lettuce quality loss under condition that favours the wilting phenomenon*. Postharvest Biology and Technology, 59, 124-131.
- Barnes, J.D., Balaguer, L., Maurique, E., Elvira, S and Davison, W., 1992. *A reappraisal of the use of DMSO for the extraction and determination of chlorophyll a and b in lichens and higher plants*. Environmental and Experimental Botany, 32(2), 85-100.
- Bohn, T., Walczyk, T., Leisibach, S. and Hurrell, R.F., 2004. *Chlorophyll-bound magnesium in commonly consumed vegetables and fruits: relevance to magnesium nutrition*. Journal of Food Science, 69, S347-S350.
- Cantwell, M. and Kasmire, F.R., 2002. *Postharvest handling systems: flower, leafy and stem vegetables*. In: A. Kader(Editor), Postharvest Technology of Horticultural Crops, Agricultural and Natural Resources, University of California, Pub. 3311, 423-433.
- Goodwin, T.W., 1965. *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. Orlando, USA: Academic Press Inc.
- Gross, J., 1987. *Pigments in Fruits..* Academic Press Inc. Orlando, USA: Academic Press Inc. pp. 1-55.
- Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F., 1979. *A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration*. Canadian Journal of Botany, 57(12), 1332-1334.
- Marquez, U.M.L. and Sinnecker, P., 2007a. *Chlorophylls: Properties, biosynthesis, degradation and functions*. In: C. Socaciu (Editor) Food Colorants Chemical and Functional Properties, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 25-49.
- Marquez, U.M.L. and Sinnecker, P., 2007b. *Chlorophylls in foods: Sources and stability*. In: C. Socaciu (Editor) Food Colorants Chemical and Functional Properties, CRC Press, Taylor and Francis Group, Florida, 199-204.
- Okada, K., Inoue, Y., Satoh, K. and Katoh, S., 1992. *Effects of light on degradation of chlorophyll and proteins during senescence of detached rice leaves*. Plant and Cell Physiology, 33, 1183-1191.
- Pankaj, B.P., Umezuruike, L.O., Fahad, Al-JAI-S., 2011. *Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review*. Food and Bioprocess Technology, 6, 36-60.
- Saltveit, M.E., 2004. Lettuce. Agriculture Handbook No 66. *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Online reference included in article [Internet document] URL (www.ba.ars.usda.gov/hb66/083lettuce.pdf). Accessed 01/02/2014.
- Sant'Anna, V., Gurak, P.D., Marczak, L.D.F. and Tessaro, I.C., 2013. *Tracking bioactive compounds with colour changes in foods-A review*. Dyes and Pigments, 98, 601-608.
- Shewfelt, R.L., 2000. *Fruit and vegetable quality*. In: R.L. Shewfelt and B. Brückner (Editors), *Fruit and Vegetable Quality: An Integrated View*, Technomic Press, Lancaster, 144-157.
- Taylor, A.O. and Craig, A.S., 1971. *Plants under climatic stress, II. Low temperature, high light effects on chloroplast ultra structure*. Plant Physiology, 47(5), 719-725.
- Thompson, J.E., 1988. *The molecular basis for membrane deterioration during senescence*. In: L.D. Nooden and A.C. Leopold (Editors), *Senescence and Aging in Plants*, Academic Press, London, 52-84.
- Von Elbe, J.H. and Schwartz, S.J., 1996. *Colorants*. In: O.R. Fennema (Editor), *Food chemistry*, Marcel Dekker, NY, 651-722.
- Xanthopoulos, G., Nastas, C.V., Boudouvis, A.G. and Aravantinos-Karlatos, E., 2014. *Colour and mass transfer kinetics during air drying of pre-treated oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* spp.)*, Drying Technology, 32(1), 77-88.

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΝΕΑ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Ε. Χατζής¹, Ε. Μανωλοπούλου², Γ. Λαμπρινός^{1,✉}, Γ. Ξανθόπουλος¹,
Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος¹

¹Σχ. Αγρ. Παραγ. Υποδ. & Περιβαλ., Γ.Π.Α., Ιερά Οδός 75, 11155 Αθήνα, ✉ refrigerenergy@hua.gr

²Σχ. Τεχν. Γεωπ. και Τεχν. Τροφ. και Διατρ., ΤΕΙ Πελοποννήσου, Αντικάλαμος 24100, Καλαμάτα

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να εξετασθεί η συμπεριφορά και η αποτελεσματικότητα μίας νέας μεθόδου ανάλυσης ψηφιακών εικόνων που χρησιμοποιεί το χρωματικό μοντέλο CIE L*a*b*, συγκρίνοντάς την με το κλασικό χρωματόμετρο. Η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση του χρωματικού παράγοντα «ολική μεταβολή του χρώματος» ΔΕ* που εκτιμήθηκε σε τέσσερα προϊόντα (μαρούλι, μανιτάρι, τομάτα, τεμαχισμένο μήλο) με τις δύο μεθόδους (ψηφιακή ανάλυση εικόνας και χρωματόμετρο), έδωσαν τα εξής συγκριτικά αποτελέσματα: Τα όρια εμπιστοσύνης (CL) της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ* με τον χρόνο συντήρησης, (σ' όλα τα προϊόντα) είναι από 6 έως 28 φορές μικρότερα με τη νέα μέθοδο. Ανάλογες διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων προκύπτουν και σε ό,τι αφορά το τυπικό σφάλμα (SE) το οποίο είναι από 2 έως 10 φορές μικρότερο. Το γεγονός ότι οι δύο αυτές παράμετροι (CL, SE) αποτελούν βασικούς στατιστικούς δείκτες ευαισθησίας και αξιοπιστίας της προσδιοριζόμενης μέσης αριθμητικής τιμής, καταδεικνύει και την αυξημένη ευαισθησία και αξιοπιστία της νέας τεχνικής.

Λέξεις κλειδιά: Μέτρηση χρώματος, Ανάλυση εικόνας, Χρωματόμετρο

IMPROVING THE RELIABILITY OF COLOUR ASSESSMENT EMPLOYING A NEW DIGITAL IMAGE ANALYSIS PROTOCOL

Ε. Chatzis¹, E. Manolopoulou², G. Lambrinos^{1,✉}, G. Xanthopoulos¹, E. Aravantinos-Karlatos¹

¹School of Agricultural Production Infrastructure & Environment, Dep. of NRM & AE, A.U.A.,

75 Iera Odos Str., Athens, Greece 11855, ✉ refrigerenergy@hua.gr

²School of Agric. Technol. & Food Technol. and Nutr., TEI of Kalamata, Antikalamos, 24100 Kalamata

Abstract

Aim of this study is to investigate the functionality and efficacy of a new digital image analysis protocol employing the tristimulus chromatic model CIE L*a*b*, against the classic chromameter method. Statistical analysis of the Total Colour Change (ΔE^*) for the four tested products (lettuce, mushroom, tomato and minimal processed apple) by the digital image analysis and the chromameter revealed that the confidence limits (CL) of the ΔE^* with storage time is 6 to 28 times smaller regarding the new method. Similar differences between the two methods were identified regarding the standard error (SE) which is 2 to 10 times smaller. Since these two parameters (CL, SE) are basic statistical indicators of sensitivity and reliability of the estimated mean ΔE^* this highlights the increased sensitivity and reliability of the new method.

Keywords: colour measurement, image analysis, chromameter

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εκτίμηση της ποιότητας των νωπών φυτικών οργάνων χρησιμοποιούνται τεχνικές υποκειμενικές ή αντικειμενικές, καταστροφικές ή μη καταστροφικές. Οι υποκειμενικές μέθοδοι δεν μπορούν να δώσουν μεγάλη ακρίβεια, διότι εξαρτώνται από την προσωπική εκτίμηση του ατόμου, απαιτούν δε μεγάλο αριθμό εκτιμητών με μεγάλη εμπειρία. Οι καταστροφικές πάλι μέθοδοι προσδιορισμού της ποιότητας παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δεν επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση των μεταβολών στο ίδιο φυτικό όργανο με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πειραματικό σφάλμα λόγω της διαφορετικής ατομικότητας των μετρούμενων καρπών.

Οι σύγχρονες απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου κατευθύνονται προς την έρευνα και βελτιστοποίηση μη καταστροφικών αντικειμενικών μεθόδων (Studman, 2001). Λόγω των νέων απαιτήσεων, η χρήση της ψηφιακής κάμερας, με ταχεία ανάλυση ή και επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, στον ποιοτικό έλεγχο φυτικών οργάνων και γενικότερα τροφίμων, παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερο ενδιαφέρον (Du and Sun, 2004). Το χρώμα άλλωστε αποτελεί πάντοτε πολύ σημαντικό ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης του σταδίου ωριμότητας (ή γήρανσης), της κατάστασης και της φρεσκάδας των νωπών φυτικών προϊόντων (Abbott, 1999; Kays, 1999; Luzuriaga and Balaban, 2002; Χατζής et al. 2005) και χρησιμοποιείται ευρέως για την διαλογή πολλών προϊόντων σε εμπορική κλίμακα.

Τα πλεονεκτήματα της ποιοτικής αξιολόγησης φρούτων και λαχανικών με ανάλυση ψηφιακής εικόνας είναι η εξασφάλιση δεδομένων περιγραφής με ακρίβεια και ταχύτητα, η πιστότητα των αποτελεσμάτων, η αυτοματοποίηση των διαδικασιών, η δυνατότητα άμεσης καταγραφής και η περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων. Τα κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η απαίτηση κατάλληλου σταθερού τεχνητού φωτισμού και η δυσκολία ταυτοποίησης αντικειμένων που δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια (Χατζής κ.ά., 2009). Στα ελαφρώς επεξεργασμένα προϊόντα (έτοιμες σαλάτες φρούτων ή λαχανικών) ειδικά, τα οποία παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό ποιοτικής υποβάθμισης, με πρώτο υποβαθμιζόμενο παράγοντα το χρώμα λόγω οξείδωσης, ο συχνός και ακριβής έλεγχος του χρώματος καθίσταται επιβεβλημένος. Άλλωστε η καλή εμφάνιση επηρεάζει τον καταναλωτή περισσότερο από ότι η θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, χωρίς να υπάρχει πάντα συσχέτιση μεταξύ της εκτίμησης της ποιότητας που προέρχεται από την εμφάνιση και αυτής που προκύπτει από τα άλλα χαρακτηριστικά (Kays, 1999).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να δειχθεί η αξιοπιστία και η ευαισθησία μιας νέας διάταξης, μεθόδου και λογισμικού αξιολόγησης του χρώματος με ψηφιακή ανάλυση εικόνας μέσω πειραμάτων συντήρησης διαφόρων νωπών προϊόντων, όπως τομάτα, μαρούλι μανιτάρι και τεμαχισμένο μήλο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

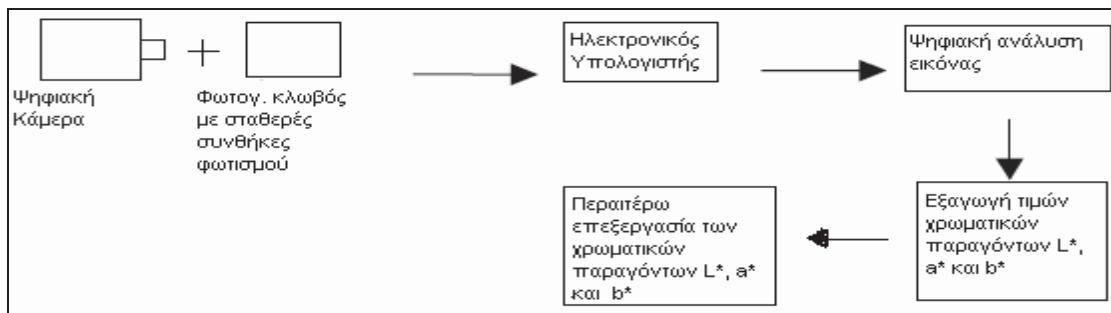
2.1. Μέτρηση του χρώματος

Η μεταβολή του χρώματος σε κάθε προϊόν προσδιορίστηκε με δύο μεθόδους, τη μέθοδο ανάλυσης ψηφιακών εικόνων (Chroma image analysis, IA.Cm) και με τη μέθοδο του χρωματομέτρου (CM). Οι μετρήσεις του χρώματος με τη νέα τεχνική της ανάλυσης ψηφιακών εικόνων επραγματοποιούντο πριν ακριβώς από τις μετρήσεις του χρωματομέτρου. Η σειρά αυτή επιλέχθηκε προς αποφυγή πιθανής καστάνωσης στα σημεία μέτρησης του χρώματος με το χρωματόμετρο, η οποία θα είχε πιθανώς ως συνέπεια αλλοίωση των μετρήσεων με την νέα τεχνική ψηφιακών εικόνων.

α) Μέθοδος μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Χρησιμοποιεί ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Konica Minolta Dimage Z6 με προεπιλεγμένες ρυθμίσεις σε ότι

αφορά στον χρόνο έκθεσης, στην φωτεινότητα του φακού, στο επίπεδο ποιότητας εικόνας και στην εστίαση (Χατζής, 2015).

Οι λήψεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση ειδικού φωτογραφικού κλωβού-στούντιο με λαμπτήρες πρότυπου συστήματος φωτισμού D65. Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικού σε περιβάλλον C. Από την ανάλυση των εικόνων προέκυψαν οι χρωματικοί παράγοντες L^* , a^* , b^* των δειγμάτων σύμφωνα με το χρωματικό μοντέλο CIE $L^*a^*b^*$ (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας προσδιορισμού των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^* , a^* και b^* με τη μέθοδο ψηφιακής ανάλυσης εικόνας.

Η μελετηθείσα κοινή χρωματομετρική παράμετρος σ' όλες τις περιπτώσεις και με τις δύο τεχνικές ήταν η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* , η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση (1).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

β) Μέθοδος μέτρησης του χρώματος με χρωματόμετρο. Η ανάλυση του χρώματος σε δεύτερο στάδιο γινόταν με χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε χρήση το χρωματόμετρο εβαθμονομείτο με χρήση της πρότυπης πλάκας CR-A43 (Yxy, χρωματικό μοντέλο) όπως προβλέπεται (Minolta, 1995). Οι μετρήσεις ελαμβάνοντο σε 4–6 διαφορετικά σημεία ανάλογα με το προϊόν, ανά θερμοκρασία συντήρησης και ανά δείγμα. Η λήψη των τεσσάρων ή έξι συνολικά μετρήσεων (σε κάθε μέτρηση μετράται το χρώμα επιφάνειας 50,24 mm² του δείγματος), επραγματοποιείτο με στόχο να αξιολογηθεί η κατά το δυνατό μεγαλύτερη επιφάνεια του δείγματος, χωρίς αλληλεπικαλύψεις και σε λογικό χρόνο που δεν θα επιβάρυνε ποιοτικά τα εκτός ψυγείου δείγματα (Χατζής κ.ά., 2009; Χατζής κ.ά., 2012; Χατζής, 2015). Από την ανάλυση του χρώματος των δειγμάτων προέκυψαν οι χρωματικοί παράγοντες L^* , a^* , b^* (χρωματικό μοντέλο CIE Lab) και απ' αυτούς η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* .

2.2. Πρώτη Ύλη

Ως πρώτη ύλη για την αξιολόγηση της μεταβολής του χρώματος κατά τη συντήρηση με ψύξη, χρησιμοποιήθηκε η τομάτα, το μαρούλι τύπου «γαλλικής σαλάτας», το μανιτάρι και το τεμαχισμένο μήλο.

Ως α' ύλη τομάτας χρησιμοποιήθηκαν, καρποί επιτραπέζιας βιολογικής τομάτας (υβρίδιο: Alma) σταδίου ωριμότητας 2 (Breaker) οι οποίοι καλλιεργήθηκαν υπό κάλυψη στην περιοχή Αγ. Στέφανου Αττικής. Οι τομάτες αμέσως μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκε διαλογή και η σχετική προετοιμασία (πρόπλυση, απολύμανση, ξέβγαλμα και στέγνωμα). Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά τελάρα και αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους με θερμοκρασίες 10°C, 15°C και 20°C και

σχετική υγρασία 85-95%. Οι μετρήσεις του χρώματος (με τις δύο τεχνικές), πραγματοποιήθηκαν κατά τη συντήρηση ανά 4 – 5 ημέρες. Το πείραμα περιελάμβανε τρεις επαναλήψεις (Χατζής κ.ά., 2005; Χατζής κ.ά., 2007; Χατζής, 2015).

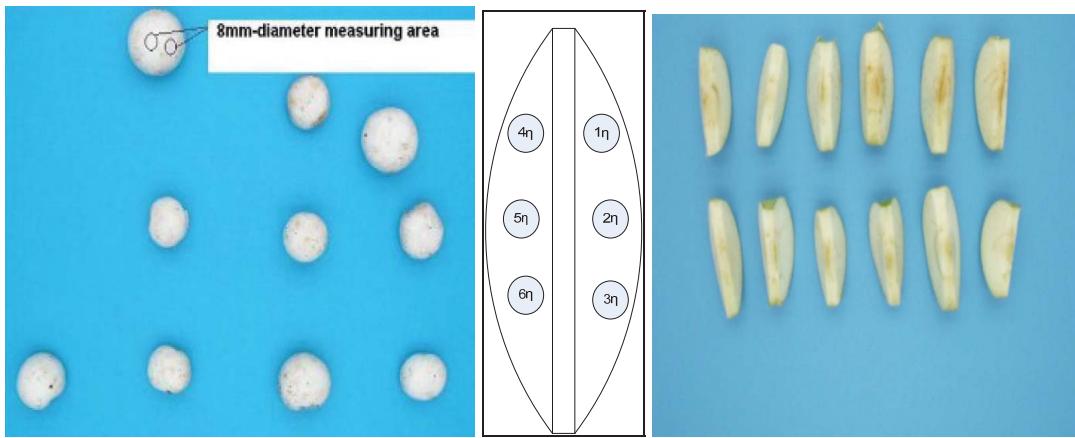
Τα μαρούλια που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν κεφαλωτού τύπου γνωστά ως 'γαλλική σαλάτα', η συγκομιδή δε αυτών έγινε στο στάδιο της «εμπορικής ωριμότητας» από καλλιέργεια στο Μαραθώνα Αττικής. Αμέσως μετά τη συγκομιδή και αφού υπέστησαν όλους τους απαραίτητους χειρισμούς (διαλογή, πρόπλυση, απολύμανση, ξέβγαλμα και στέγνωμα) τα φύλλα του μαρουλιού χωρίστηκαν σε ομάδες (δείγματα) των έξι φύλλων σε ταψάκια αλουμινίου και τοποθετήθηκαν έξι δείγματα σε κάθε θάλαμο θερμοκρασίας 0°C και 10°C και σχετικής υγρασίας 85 - 95% (Χατζής κ.ά., 2013; Χατζής, 2015). Καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης και στις δύο πειραματικές σειρές πραγματοποιήθηκαν τρείς εκτιμήσεις του χρώματος με τις δύο μεθόδους. Με το χρωματόμετρο έγιναν μετρήσεις σε τέσσερα σημεία σε κάθε φύλλο (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Διαγραμματική παρουσίαση μετρήσεων με το χρωματόμετρο στη τομάτα και στο μαρούλι.

Τα μανιτάρια (*Agaricus bisporus*, στέλεχος X-28, στάδιο 2) συλλέχθηκαν από τοπικό καλλιεργητή (Βασιλικά Ευβοίας), μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μέσα σε περιέκτες υπό ψύξη ($\theta < 5^{\circ}\text{C}$), μετά δε τη διαλογή τοποθετήθηκαν ανά δέκα σε δίσκους/ περιέκτες. Η αποθήκευση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες 0°C, 5°C, 10°C και 20°C ($85\% < \text{RH} < 95\%$). Σε κάθε θερμοκρασία δημιουργήθηκαν έξι δείγματα των δέκα μανιταριών, τα σημεία δε των μετρήσεων με το χρωματόμετρο ανά μανιτάρι ήσαν δύο (Σχήμα 3). Οι μετρήσεις του χρώματος με τις δύο μεθόδους πραγματοποιούντο ανά τέσσερες ημέρες, ενώ το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές (Χατζής, 2015).

Τα μήλα ποικιλίας *Golden Delicious* συγκομίστηκαν στο στάδιο φυσιολογικής ωριμότητας, από οπωρώνα της περιοχής Τεγέας (Ν. Αρκαδίας). Μετά από διαλογή αποθηκεύτηκαν σε ψυκτικό θάλαμο θερμοκρασίας 0°C και σχετική υγρασία 90%. Από την 1^η ημέρα αποθήκευσης των μήλων και κάθε 20 ημέρες έως και την 120^η ημέρα, προετοιμαζόταν δείγμα 27 φρούτων. Σε κάθε τέτοια πειραματική σειρά τα μήλα αφού πλύθηκαν, απολυμάνθηκαν, ξεβγάλθηκαν και σκουπίστηκαν με απορροφητικό χαρτί, τεμαχίστηκαν σε 8 ισομεγέθεις φέτες με ειδικό κοπτικό εργαλείο. Οι φέτες των μήλων εμβαπτίστηκαν σε νερό θερμοκρασίας 5°C και περιεκτικότητας 1% ασκορβικού οξέως, 1% CaCl_2 και 0,5% κιτρικού οξέως για 5 λεπτά (Gunes et al., 2001; Varela et al., 2007). Στη συνέχεια μετά από ελαφρύ στέγνωμα με απορροφητικό χαρτί, οι φέτες τοποθετήθηκαν σε συσκευασίες PET (τύπου clamshells) (6 φέτες/συσκευασία) για προστασία από την αφυδάτωση και πιθανή επιμόλυνση. Σε κάθε νέα



Σχήμα 3. Σχηματική παρουσίαση της αξιολογούμενης επιφάνειας δείγματος στο μανιτάρι (αριστερά) και στο τεμαχισμένο μήλο (δεξιά) με τις δύο μεθόδους.

πειραματική σειρά έξι ομάδες των έξι συσκευασιών συντηρήθηκαν στους 0°C και 5°C για 14 ημέρες (Χατζής, 2015).

Η μεταβολή του χρώματος προσδιορίστηκε και με τις δύο μεθόδους: Οι μετρήσεις με το χρωματόμετρο ελήφθησαν σε 6 διαφορετικά σημεία (3 σε κάθε πλευρά) ανά φέτα μήλου (Σχήμα 3).

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion με απλή συσχέτιση (Simple Regression) δύο παραγόντων και παραγοντική ανάλυση διασποράς. Η παράμετρος που εξετάζεται σ' όλες τις περιπτώσεις και με τις δύο τεχνικές είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* και κυρίως τα όρια εμπιστοσύνης CL και το σχετικό τυπικό σφάλμα $SE/\Delta E^*$.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει για τις δύο μεθόδους μέτρησης του χρώματος τις ακραίες τιμές των ορίων εμπιστοσύνης και το λόγο $SE_{max}/\Delta E^*$ από την στατιστική ανάλυση όλων των τιμών μεταβολής του ολικού χρώματος ΔE^* με το χρόνο συντήρησης του μαρουλιού (γαλλικής σαλάτας) στις δύο θερμοκρασίες (0°C και 10°C), για τις δύο πειραματικές σειρές.

Όπως είναι εμφανές από τον πίνακα 1, τόσο τα όρια εμπιστοσύνης όσο και το τυπικό σφάλμα, παρουσιάζουν πολύ μικρότερες τιμές στην περίπτωση εκτίμησης του χρώματος με ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

Πίνακας 1. Συγκριτική παρουσίαση των ακραίων ορίων εμπιστοσύνης και των μεγίστων τυπικών σφαλμάτων από την επεξεργασία των μεταβολών του ολικού χρώματος ΔE^* του μαρουλιού με τις δύο μεθόδους αξιολόγησης

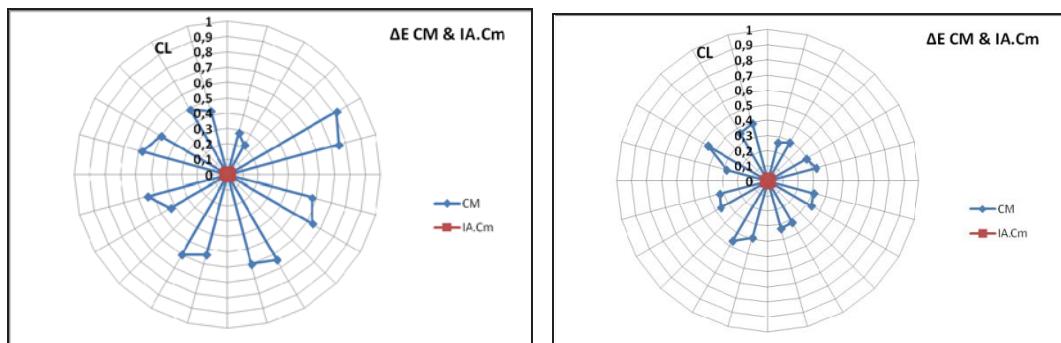
	$\Theta(^{\circ}C)$	Χρωματόμετρο CM			Ψηφ. Αναλ. Εικόνας IACm		
		CLmax	CLmin	SEmax/ ΔE	CLmax	CLmin	SEmax/ ΔE
Σειρά 1	0	0.28	0.22	0.30	0.02	0.01	0.023
	10	0.82	0.75	0.06	0.02	0.01	0.045
Σειρά 2	0	0.39	0.26	0.18	0.01	0.01	0.06
	10	0.48	0.29	0.12	0.02	0.02	0.035

Αυτό καθίσταται εμφανέστερο στο πολικό διάγραμμα τύπου «radar» του σχήματος 4 όπου συγκρίνονται (στους δακτυλίους) τα όρια εμπιστοσύνης των δύο μεθόδων εκτίμησης του ολικού χρώματος των φύλλων γαλλικής σαλάτας, ενώ η γωνιακή απόσταση μεταξύ των

σημειωμένων ακτίνων παριστά το χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων. Στην πρώτη σειρά τα όρια εμπιστοσύνης με τη δεύτερη μέθοδο (ψηφιακή ανάλυση εικόνας) είναι μικρότερα 11 έως 19 φορές, ενώ στη δεύτερη πειραματική σειρά 13 έως 24 φορές.

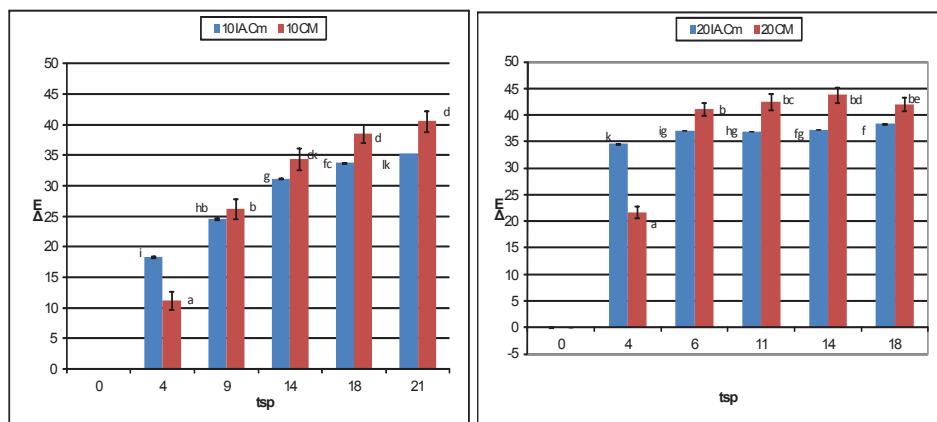
Κάνοντας ανάλογες συγκρίσεις των ορίων εμπιστοσύνης της ολικής μεταβολής χρώματος ΔΕ* των πειραμάτων της τομάτας (Σχήματα 5 και 6), διαπιστώνονται τα εξής:

Α) Μεγάλη διαφορά εκτίμησης της ολικής μεταβολής χρώματος στην αρχή του πειράματος μεταξύ των δύο μεθόδων, γεγονός το οποίο εξηγείται από τα επιλεγμένα σημεία μέτρησης της μεθόδου με το χρωματόμετρο (Σχ. 2), την πορεία ανάπτυξης του κόκκινου χρώματος στην τομάτα και φυσικά την δυνατότητα της μεθόδου ψηφιακής ανάλυσης εικόνας να βλέπει και να εκτιμά ολόκληρη την επιφάνεια της τομάτας, η οποία παραμένει ακόμη πράσινη, γι' αυτό και η αντίστοιχη τιμή ΔΕ* παραμένει μικρή. Οι διαφορές αυτές αμβλύνονται καθώς η τομάτα ωριμάζει και επικρατεί σ' όλη την επιφάνεια της το κόκκινο χρώμα. Η μέθοδος επομένως της ψηφιακής ανάλυσης εικόνας στη περίπτωση εγχώριων προϊόντων, όπως η τομάτα, μας δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

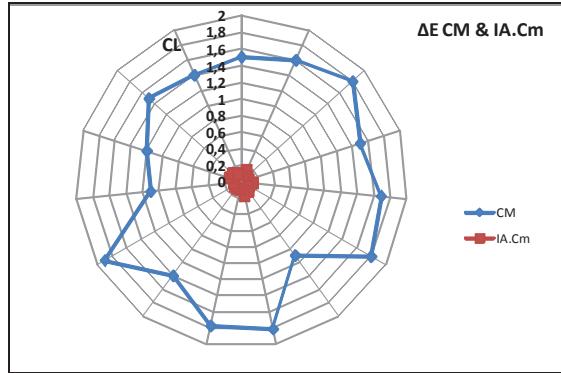


Σχήμα 4. Σύγκριση των ορίων εμπιστοσύνης ολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ* της μεθόδου με χρωματόμετρο(CM) και της μεθόδου ψηφιακής ανάλυσης εικόνας (IA.Cm), για τις δύο πειραματικές σειρές μαρουσιού σε πολικό διάγραμμα τύπου «radar».

Β) Όπως και στη περίπτωση του μαρουσιού, τα όρια εμπιστοσύνης με τη δεύτερη μέθοδο (ψηφιακή ανάλυση εικόνας) είναι μικρότερα 11 έως 19 φορές. Στο Σχήμα 7 συγκρίνονται τα όρια εμπιστοσύνης εκτίμησης του ολικού χρώματος ΔΕ* με τις δύο μεθόδους των μανιταριών και των τεμαχισμένων μήλων.

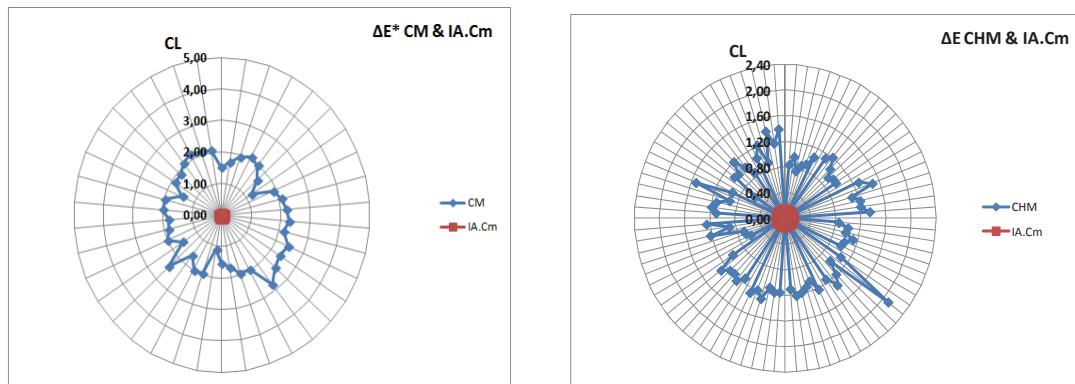


Σχήμα 5. Εξέλιξη της ολικής μεταβολής του χρώματος, όπως προέκυψε από τις μετρήσεις του χρώματος με τις δύο τεχνικές, χρωματόμετρο(CM) και ψηφιακή ανάλυση(IA.Cm) κατά τη συντήρηση τομάτας στους 10 °C (αριστερά) και 20 °C (δεξιά).



Σχήμα 6. Σύγκριση των ορίων εμπιστοσύνης ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* των δύο μεθόδων χρωματομέτρου(CM) και ψηφιακής ανάλυσης εικόνας(IACm), στην τομάτα.

Στο Σχήμα 7 (πολικό διάγραμμα τύπου «radar») συγκρίνονται τα όρια εμπιστοσύνης εκτίμησης του ολικού χρώματος ΔE^* με τις δύο μεθόδους των μανιταριών και των τεμαχισμένων μήλων. Όπως και στα προηγούμενα προϊόντα, τα όρια εμπιστοσύνης με τη δεύτερη μέθοδο (ψηφιακή ανάλυση εικόνας) είναι πολύ μικρότερα 15 έως 28 φορές στη περίπτωση του μανιταριού και 6 έως 15 φορές στη περίπτωση του τεμαχισμένου μήλου.



Σχήμα 7. Σύγκριση των ορίων εμπιστοσύνης ολικής μεταβολής ΔE^* των δύο μεθόδων χρωματομέτρου(CM) και ψηφιακής ανάλυσης εικόνας(IACm), στο μανιτάρι (αριστερά) και στο τεμαχισμένο μήλο (δεξιά) σε πολικό διάγραμμα τύπου «radar».

Τα πολύ μικρά όρια εμπιστοσύνης, σε συνδυασμό με το μικρότερο τυπικό σφάλμα δείχνουν την μεγαλύτερη αξιοπιστία της νέας προτεινόμενης τεχνικής εκτίμησης του χρώματος των προϊόντων με ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η νέα τεχνική εκτίμησης του χρώματος με ψηφιακή ανάλυση εικόνας πέραν των άλλων πλεονεκτημάτων (μικρού κόστους, μεγαλύτερης ταχύτητας ανάλυσης, ευχρηστίας σε μεγάλο εύρος μορφολογίας), που δεν αναπτύχθηκαν σ' αυτή την εργασία και του γεγονότος ότι είναι μη καταστρεπτική μέθοδος σε σύγκριση με το κλασσικό χρωματόμετρο, παρουσιάζει οπως έδειξαν τα τελευταία ερευνητικά αποτελέσματα και τα σημαντικότατα πλεονεκτήματα τόσο της εκτίμησης του χρώματος του συνόλου της ορατής επιφάνειας του προϊόντος όσο και της μεγαλύτερης ευαισθησίας και αξιοπιστίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbot, A. J., 1999. *Quality measurement of fruit and vegetables*. Postharvest Biology and Technology, 15 (3), 207-225.
- Du, C.J., & Sun, D.W., 2004. *Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation*. Trends in Food Science & Technology, 15 (5), 230-249.
- Gunes, G., Watkins, B. C. and Hotchkis, H. J., 2001. *Physiological responses of fresh-cut apple slices under high CO₂ and low O₂ partial pressures*. Postharvest Biology and Technology, 22, 197-204.
- Kays, S.J., 1999. *Preharvest factors affecting appearance*. Postharvest Biology and Technology, 15, 233-247.
- Lu, W., and Da-Wen, S., 2000. *Computer Vision Systems for Rapid Quality Inspection of Agricultural and Food Products*. Proceedings of ICETS 2000-Session 6: Technology Innovation and Sustainable Agriculture, 201-206.
- Luzuriaga, A.D., and Balaban, O.M., 2002. *Color Machine Vision System: An Alternative for Color Measurement*. Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Brasil, 93-100.
- Minolta, 1995. *Chroma Meter CR - 300*. Instruction Manual Minolta. Japan. p. 81.
- Studman, J.C., 2001. *Computers and electronics in postharvest technology-a review*. Computers and Electronics in Agriculture, 3D, 109-124.
- Varela, P., Salvador, A. and Fiszman, M.S., 2007. *The use of calcium chloride in minimally processed apples: A sensory approach*. European Food Research and Technology, 224, 461-467.
- Χατζής Ε., Ξανθόπουλος, Γ., Λαμπρινός, Γρ., και Κούρτης, Α., 2005. *Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας*. Πρακτικά 4^{ου} Πανελήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 6-8 Οκτωβρίου, Αθήνα, 580-587.
- Χατζής Ε., Ψυχογιού, Σ., Ξανθόπουλος, Γ., & Λαμπρινός, Γρ., 2007. *Μεταβολή του Χρώματος Συντηρούμενης Βιολογικής Τομάτας με Ανάλυση Ψηφιακής Εικόνας*. Πρακτικά 5^{ου} Πανελήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 18- 20 Οκτωβρίου, Λάρισα, 682-689.
- Χατζής, Γ. E., 2015. *Ανάπτυξη μεθόδου μέτρησης χρώματος νωπών αγροτικών προϊόντων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων*, Διδακτορική διατριβή, ΓΠΑ, 168 σελ.
- Χατζής, Γ. E., Μανωλοπούλου, Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος, Ε., Ξανθόπουλος Γ., & Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Μελέτη της μεταβολής του χρώματος ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων Golden delicious με ανάλυση ψηφιακών εικόνων*. Πρακτικά 6^{ου} Πανελήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 8-10 Οκτωβρίου, Θεσσαλονίκη, 787-794.
- Χατζής, Γ. E., Μανωλοπούλου, Ε., Ξανθόπουλος, Ε., Λαμπρινός, Γρ., 2013. *Μελέτη της Μεταβολής του Χρώματος Μαρουλιού με Ανάλυση Ψηφιακής Εικόνας*. Πρακτικά 8^{ου} Πανελήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 25- 26 Σεπτεμβρίου, Βόλος, 481-485.
- Χατζής, Ε., Μανωλοπούλου, Ε., Αραβαντινός, Ε., 2012. *Φορητή συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και τεχνική μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων στον αγρό*, Αριθμ. Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας: 1007542 (Ημ. απονομής: 28/02/2012) .
- Χατζής, Ε., Ξανθόπουλος, Γ., και Λαμπρινός, Γρ., 2009. *Συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και μέθοδος μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων*. Αριθμ. Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας: 1006553, (Ημ. απονομής 02/10/2009) .

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΜΑΖΑΣ ΓΑΛΛΙΚΗΣ ΣΑΛΑΤΑΣ

Γ. Λαμπρινός^{1,✉}, Ε. Μανωλοπούλου², Π. Δριμυλής¹

¹Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75-11155 Αθήνα, ✉ refrigerenergy@hua.gr

²ΤΕΙ Πελοποννήσου, Τμήμα Τ.Γ, 24100 Αντικάλαμος, Καλαμάτα

Περίληψη

Μετά από επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων αναπνοής και απωλειών μάζας, περιγράφεται ο μέσος ρυθμός ολικών απωλειών μάζας της σαλάτας συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών ΔΡν από εκθετικές σχέσεις με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($0.875 < R^2 < 0.965$). Αφαιρώντας από τις τιμές των ολικών απωλειών μάζας τις φυσιολογικές απώλειες μάζας (παραγωγή νερού+οξύδωση υποστρώματος), προκύπτουν οι φυσικές απώλειες μάζας, οι οποίες περιγράφονται από μία νέα εκθετική σχέση με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού. Οι συνολικές τελικά απώλειες μάζας συντηρούμενης σαλάτας εκφράζονται από τη σχέση $MLR_{physic} = e^{0.0032} + A(\theta)$, όπου $A(\theta)$ ο συντελεστής της αρχικής σχέσης που εκφράζει τις ολικές απώλειες. Με βάση την τελευταία σχέση είναι δυνατή η πρόβλεψη των συνολικών απωλειών μάζας συντηρούμενης σαλάτας, όταν είναι γνωστές από καταγραφές του χώρου συντήρησης η μέση θερμοκρασία και η μέση σχετική υγρασία.

Λέξεις κλειδιά: Γαλλική σαλάτα, Συντήρηση με ψύξη, Πρόβλεψη απωλειών μάζας

FRENCH SALAD MASS LOSS PREDICTION DURING COLD STORAGE

Γ. Lambrinos^{1,✉}, E. Manolopoulou², P. Drimilis¹

¹Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens ✉ refrigerenergy@hua.gr

²T.E.I. of Kalamata, Dept. of Crop Science, 24 100, Antikalamos, Kalamata

Abstract

The aim of this research is to study cold stored French salad in order to evaluate the mass losses due to, firstly, physiological and, secondly, physical phenomena. The data analysis showed that the total mass loss rate of the French salad varies exponentially with water-vapour pressure deficit ($0.875 < R^2 < 0.965$). The difference between the values of the previous relationship and the mass loss rate of the lettuce stored in vapour saturated conditions (physiological losses) corresponds only to the physical mass losses, which are also expressed via an exponential relationship ($R^2=0.789$). Finally, the total mass loss rate is expressed by the relationship $MLR_{physic} = e^{0.0032} + A(\theta)$, where $A(\theta)$ is the coefficient of the physiological loss relationship. This expression allows us to predict the overall mass losses during the cold storage of French salad, when we already know the average temperature and relative humidity of the cold store based on frequent readings.

Keywords: French salad, Cold storage, Mass loss prediction

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απώλεια μάζας κατά τη συντήρηση πέραν κάποιας συγκεκριμένης τιμής, οδηγεί το προϊόν σε εμπορική απαξίωση, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για νωπά προϊόντα, όπως το μαρούλι, που αφυδατώνονται εύκολα (Gorini et al., 1979; Kays, 1991). Έχουν αναπτυχθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα για την περιγραφή και εκτίμηση του φαινομένου της απώλειας μάζας και ειδικότερα της αφυδάτωσης (Sastry et al., 1978; Sastry and Buffington, 1982; Becker and Fricke, 1994; Whitelock et al, 1999), με επικρατέστερο μοντέλο αυτό που θεωρεί ότι το νερό εξατμίζεται διαμέσου της επιδερμίδας προς τον περιβάλλοντα αέρα. Τα μοντέλα αυτά ωστόσο, παρουσιάζουν σημαντικά σφάλματα εκτίμησης σε προϊόντα με έντονο ρυθμό αναπνοής ή σε συνθήκες με χαμηλό έλλειμμα πίεσης υδρατμών καθώς δεν μπορούν να διακρίνουν το φυσιολογικό από το φυσικό φαινόμενο. Τα τελευταία χρόνια διάφορες έρευνες (Ψυχογιού κ.ά., 2009; Λέντζου κ.ά., 2013; Σάββας κ.ά., 2013) έδειξαν ότι καθώς απομακρύνομαστε από τον κορεσμό, οι απώλειες μάζας εξαρτώνται κυρίως από το έλλειμμα πίεσης υδρατμών, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αφυδάτωσης λόγω φυσικών μόνο διεργασιών εκφράζεται μέσω μιας σχέσης του ελλείμματος πίεσης υδρατμών, ενώ το φυσιολογικό φαινόμενο μέσω μιας εκθετικής σχέσης της θερμοκρασίας συντήρησης.

Θεωρώντας ότι ο ρόλος των φυσιολογικών φαινομένων (αναπνοή–διαπνοή) είναι πολύ πιο σημαντικός απ' όσο εκτιμούν τα παλαιότερα μοντέλα σε υψηλές ειδικά υγρασίες, κρίθηκε σκόπιμο στη παρούσα εργασία να διακριθούν οι φυσιολογικές από τις φυσικές απώλειες στη γαλλική σαλάτα και να αναπτυχθούν κάποιες μαθηματικές σχέσεις πρόβλεψής τους.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μετά την διαλογή οι σαλάτες(ποικιλίας medusa) ταξινομήθηκαν κατά μέγεθος και ακολούθησε η ζύγιση και ο διαχωρισμός τους σε ομάδες των επτά τεμαχίων ανά χειρισμό. Σε ειδικά κελιά εντός των ψυκτικών θαλάμων (0°C , 10°C , και 20°C), δημιουργήθηκαν συγκεκριμένες συνθήκες σχετικής υγρασίας μέσω υπέρκορων διαλυμάτων αλάτων (ένυδρο MgCl_2 , KOH , και NaCl). Η θερμοκρασία και η υγρασία στους θαλάμους και στα κελιά καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων. Η ακρίβεια του συστήματος ήταν $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ για την καταγραφή της θερμοκρασίας και $\pm 2\%$ για την καταγραφή της σχετικής υγρασίας. Οι εκτιμήσεις της αναπνευστικής δραστηριότητας πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RICLOS (Λαμπρινός και Μητρόπουλος, 2004) μέτρησης CO_2 σε κλίμακα 0-5,000 ppm CO_2 , με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια $\pm 1\%$. Η μέτρηση της μάζας πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό AND ακρίβειας $\pm 0.01\text{ g}$. Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής και η καταγραφή της μάζας των προϊόντων γινόταν καθημερινά, σε κάθε συνθήκη συντήρησης (Δριμυλής κ.ά, 2015).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η υπόθεση εργασίας για την διαδικασία πρόβλεψης είναι ότι σε συνθήκες κορεσμού και εφ' όσον τα κύτταρα ευρίσκονται σε σπαργή, οι μετρούμενες απώλειες μάζας οφείλονται αποκλειστικά στο οξειδούμενο κατά την αναπνοή υπόστρωμα και στο παραγόμενο συγχρόνως νερό, το οποίο στη συνέχεια μέσω των στοματίων διαχέεται στη περιβάλλουσα ατμόσφαιρα.

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει για διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας συντήρησης της γαλλικής σαλάτας τον ρυθμό αναπνοής, το ρυθμό απωλειών μάζας, το

ρυθμό παραγωγής νερού, το ρυθμό οξείδωσης του υποστρώματος και το άθροισμα των δύο τελευταίων (νερού και υποστρώματος), από τα πειράματα συντήρησης σαλάτας (Δριμυλής κ.ά, 2015).

Πίνακας 1. Ρυθμός αναπνοής, απωλειών μάζας, παραγωγής νερού και καύσης υποστρώματος σε διάφορες συνθήκες συντήρησης γαλλικής σαλάτας

Θ (°C)	RH(%)	Έλλειμμα Πίεσης Υδρατμών ΔΡv(Pa)	Ρυθμός Απωλειών Υγρασίας (g/kg/day)	Ρυθμός Αναπνοής RRCO2 (g/kg/day)	Ρυθμός Παραγωγής Νερού (g/kg/day)	Ρυθμός καύσης Υποστρ (g/kg/day)	Ρυθμός Παραγωγής Νερού &Καύσης Υποστρ. (g/kg/day)
2.0	93.5	50	2.38	0.227	0.092	0.154	0.371
2.0	86.0	100	4.08	0.227	0.092	0.154	0.371
1.7	78.0	150	11.44	0.227	0.092	0.154	0.371
1.7	71.0	200	24.5	0.227	0.092	0.154	0.371
1.5	45.5	370	10.1	0.227	0.092	0.154	0.371
10.5	96.4	45	1.60	0.523	0.214	0.357	0.571
10.5	84.8	192	4.54	0.523	0.214	0.357	0.571
10.5	73.4	332	19.6	0.523	0.214	0.357	0.571
20.5	96.0	58	3.84	1.3	0.532	0.886	1.418
20.6	92.0	113	5.08	1.3	0.532	0.886	1.418
20.6	84.0	390	7.4	1.3	0.532	0.886	1.418
20.6	58.0	1021	21.1	1.3	0.532	0.886	1.418
21.0	51.0	1223	40.2	1.3	0.532	0.886	1.418
21.0	44.5	1380	62.4	1.3	0.532	0.886	1.418

Ο μέσος ρυθμός ολικών απωλειών μάζας της σαλάτας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης μπορεί να περιγραφεί για τις τρείς θερμοκρασίες (0 °C, 10 °C και 20 °C) του πειράματος συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών ΔΡv από εκθετικές σχέσεις (Σχέση 1, Σχήμα 1) με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($0.875 < R^2 < 0.965$) της μορφής:

$$MLR = Ae^{B \Delta Pv} \quad (1)$$

όπου MLR ο ρυθμός ολικών απωλειών μάζας σε ($g \cdot kg^{-1} \cdot day^{-1}$) και ΔΡv το έλλειμμα πίεσης υδρατμών σε (Pa).

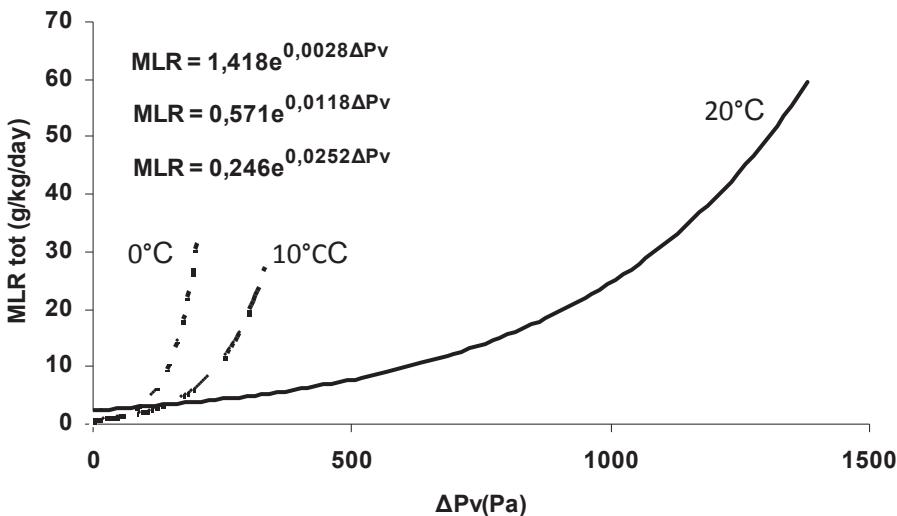
Εάν από τις τιμές των ολικών απωλειών μάζας αφαιρεθούν οι φυσιολογικές απώλειες μάζας (ρυθμός παραγωγής νερού + ρυθμός καύσης υποστρώματος), απώλειες οι οποίες καταγράφονται στην αντίστοιχη θερμοκρασία συντήρησης, προκύπτουν οι απώλειες μάζας που οφείλονται αποκλειστικά σε φυσικές διεργασίες, δηλ. διάχυση υδρατμών λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών στον αντίστοιχο χώρο συντήρησης.

Έτσι προκύπτει για κάθε θερμοκρασία μία εκθετική σχέση (σχέσεις 1α-1γ) του ρυθμού φυσικών απωλειών MLR_{physic} με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($0.858 < R^2 < 0.919$):

$$MLR_{physic}(0 \text{ oC}) = 0,15 e^{0.0283 \Delta Pv} \quad (R^2=0.866) \quad (1\alpha)$$

$$MLR_{physic}(10 \text{ oC}) = 0,1 e^{0.0181 \Delta Pv} \quad (R^2=0.919) \quad (1\beta)$$

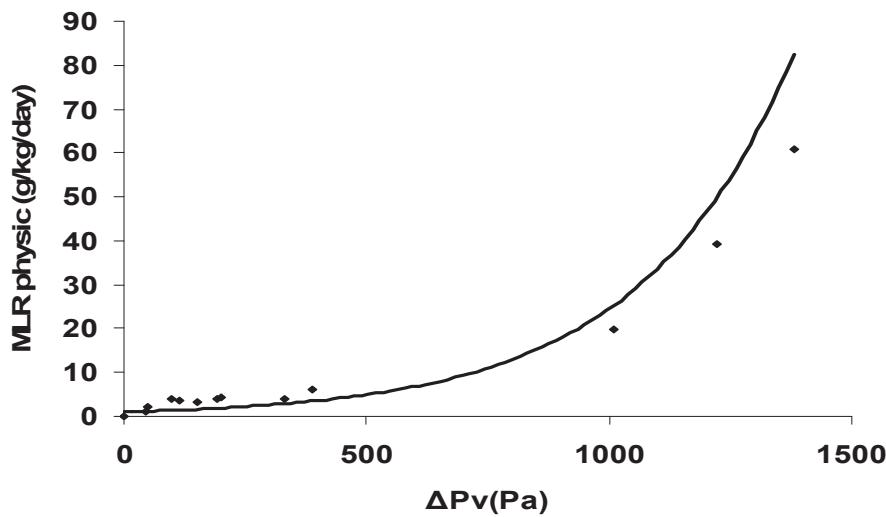
$$MLR_{physic}(20 \text{ oC}) = e^{0.0031 \Delta Pv} \quad (R^2=0.858) \quad (1\gamma)$$



Σχήμα 1. Μέσος ρυθμός ολικών απωλειών μάζας της σαλάτας συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών για τις θερμοκρασίες των 0 °C, 10 °C και 20 °C.

Εάν όλα τα ζεύγη τιμών και των τριών θερμοκρασιών που εκφράζουν τις φυσικές απώλειες τοποθετηθούν στο ίδιο διάγραμμα (Σχήμα 2), προκύπτει μία προσεγγιστική σχέση που δίδει το ρυθμό φυσικών απωλειών (σχέση 2) για τιμές $50 < \Delta Pv < 1400$:

$$MLR_{physic} = e^{0.0032} \quad (R^2 = 0.789) \quad (2)$$



Σχήμα 2. Μέσος ρυθμός φυσικών απωλειών μάζας της συντηρούμενης σαλάτας συναρτήσει του ελλείμματος πίεσης υδρατμών για θερμοκρασίες συντήρησης από 0 °C έως 20 °C και ΔPv μεταξύ 50 και 1400 Pa.

Είναι άξιο προσοχής (Σχήμα 1) το γεγονός ότι οι φυσιολογικές απώλειες στις χαμηλές θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες αποτελούν ένα σημαντικότατο ποσοστό που μπορεί να υπερβαίνει το 50% σε υψηλές σχετικές υγρασίες 85-95% ($\Delta Pv < 200$ Pa). Καθίσταται επίσης εμφανής (Σχήμα 2) η έντονη αύξηση των φυσικών απωλειών στις χαμηλές σχετικές υγρασίες, ιδιαίτερα στις χαμηλές θερμοκρασίες ($200 < \Delta Pv < 400$ Pa), όπου οι φυσιολογικές απώλειες είναι περιορισμένες.

Οι συνολικές επομένων απώλειες μάζας συντηρούμενης σαλάτας (σε $\text{g}^*\text{kg}^{-1}*\text{day}^{-1}$) εκφράζονται από τη σχέση :

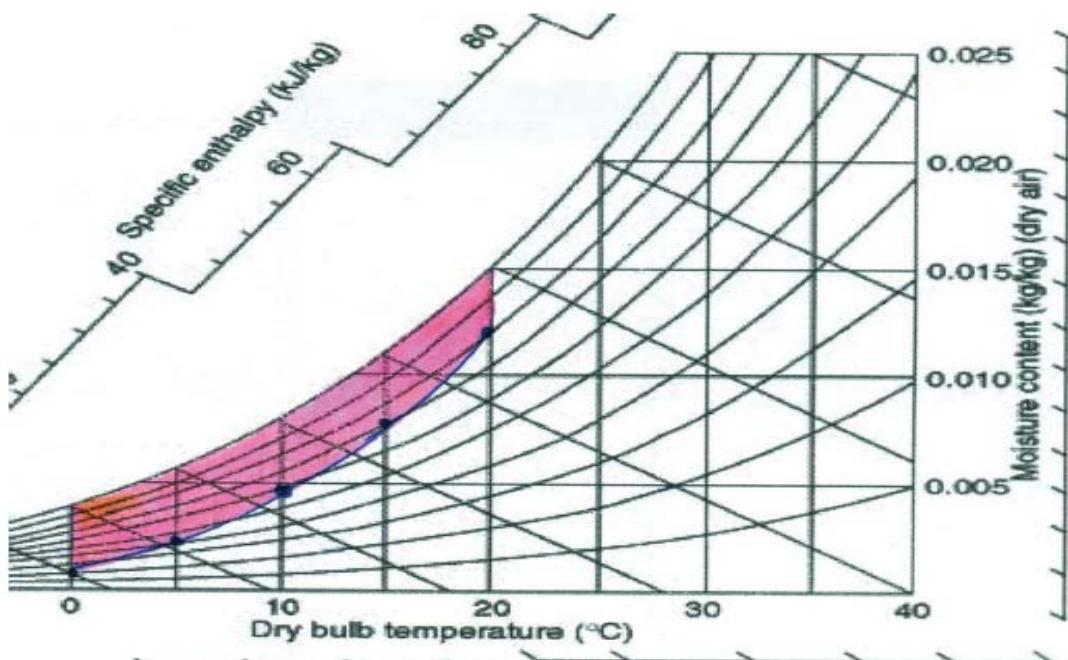
$$\text{MLR} = e^{0.0032} + A(\theta) \quad (3)$$

όπου $A(\theta)$ ο συντελεστής της αρχικής σχέσης που εκφράζει τις ολικές απώλειες και ο οποίος αντιστοιχεί στον ρυθμό παραγωγής νερού και οξείδωσης του υποστρώματος στην θερμοκρασία $\theta(^{\circ}\text{C})$, σε κορεσμένη ατμόσφαιρα. Έτσι για παράδειγμα στους $20\ ^{\circ}\text{C}$ συντήρησης η σχέση (3) λαμβάνει τη μορφή:

$$\text{MLR} = e^{0.0032} + 1.418 \quad (4)$$

Με βάση τη σχέση (4) είναι δυνατή η εκτίμηση των συνολικών απωλειών μάζας συντηρούμενης σαλάτας εφ' όσον είναι γνωστή από καταγραφή η μέση θερμοκρασία και η μέση σχετική υγρασία.

Επειδή η συντήρηση της σαλάτας δεν υπερβαίνει το δεκαήμερο, οι ημερήσιες απώλειες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα $5\ \text{g}^*\text{kg}^{-1}*\text{day}^{-1}(0.5\%)$. Αυτό επιτρέπει τη συντήρηση, χωρίς σημαντική υποβάθμιση λόγω απωλειών μάζας, σε συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας που περιλαμβάνονται στη σκιαγραφημένη περιοχή του ψυχρομετρικού διαγράμματος του σχήματος 3. Το διάγραμμα αυτό μπορεί να προσφέρει βοήθεια στη περίπτωση ελαττωματικού θαλάμου (χαμηλή σχ. υγρασία) ή στη περίπτωση συναποθήκευσης.



Σχήμα 3. Θερμοϋγρασιακή περιοχή συντήρησης της γαλλικής σαλάτας χωρίς σημαντικές απώλειες μάζας.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανάλυση και επεξεργασία των δεδομένων απώλειας μάζας του μαρουλιού (γαλλική σαλάτα) οδήγησε με υψηλή προσέγγιση ($0.893 \leq R^2 \leq 0.97$) σε συσχετίσεις του ρυθμού των ολικών, φυσιολογικών και φυσικών απωλειών μάζας.

Καταγράφοντας τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας ενός ψυκτικού θαλάμου και με βάση τις δύο σχέσεις φυσιολογικών και φυσικών απωλειών μάζας, είναι

δυνατόν να εκτιμηθούν (προβλεφθούν) οι συνολικές απώλειες του προϊόντος για συγκεκριμένο χρόνο συντήρησης, κάτι που καθίσταται αναγκαίο σε περιπτώσεις συναποθήκευσης.

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να λεχθεί ότι η μελέτη πρόβλεψης δεν αξίζει τον κόπο όταν πρόκειται για προϊόντα μικρού χρόνου συντήρησης, διαφορετικής συμπεριφοράς ανά εποχιακή καλλιέργεια, ή τέλος όταν αλλάζει συχνά η καλλιεργούμενη ποικιλία (ή υβρίδιο).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Becker B. R. and Fricke B. A., 1996. *Transpiration and respiration of fruits and vegetables*. Proceedings of the Int. Meeting "New Developments in Refrigeration", Lexington, 110–121.
- Δριμυλής Π., Μανωλοπούλου Ε., Λαμπρινός Γ. και Αραβαντινός-Καρλάτος Ε., 2015. Δυνατότητα πρόβλεψης των απωλειών μάζας γαλλικής σαλάτας Πρακτικά 9^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- Gorini F. L., Sozzi A., Rosati P. and Faedi W., 1979. *Weight losses of standard and spur clones of Golden Delicious apples during storage*. Proceedings of XVth Int. Congress of Refrigeration, Venice, Vol. III, 799–806.
- Kays S. J., 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Ed.Van Nostrand Reinhold, New York, 532 pp.
- Λαμπρινός Γ. και Μητρόπουλος Δ., 2004. Φορητή συσκευή και μέθοδος μέτρησης αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής ιδιοκτησίας (ΟΒΙ). Αρ. Ευρεσιτεχνίας 1004590/07–06–2004.
- Λέντζου Δ., Καρούσος Ι., Μανωλοπούλου Ε. και Λαμπρινός Γ., 2013. Πρόβλεψη των συνολικών απωλειών μάζας νωπής τομάτας "cherry" κατά τη συντήρηση τους με ψύξη. Πρακτικά Εθνικού Συνεδρίου ΕΓΜΕ, Βόλος, 263–267.
- Σάββας Μ., Μουζάκης Π., Ξανθόπουλος, Γ., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε. και Λαμπρινός Γ., 2013. Επίδραση των συνθηκών συντήρησης, στους ποιοτικούς χαρακτήρες τομάτας "Ελπίδα". Πρακτικά 8^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Βόλος, 252–256.
- Sastry S. K. and Buffington D.E., 1982. *Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes*, Transactions of ASHRAE, 88,159–184.
- Sastry S. K., Baird C. D. and Buffington D. E., 1978. *Transpiration rates of certain fruits and vegetables*. Transactions of ASHRAE, 84(1), 237–255.
- Whitelock D.P., Brusewitz G.H. and Ghajar A.J., 1999. *Thermal/Physical Properties Affect Predicted Weight Loss of Fresh Peaches*, American Society of Agricultural Engineers, 42(4), 1047–1053.
- Ψυχογιού Σ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ. Χαντζής Ε., και Λαμπρινός Γ., 2009. Εκτίμηση των Απωλειών Μάζας Νωπής Τομάτας Βιολογικής Καλλιέργειας κατά την συντήρηση της με ψύξη, Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, 841–848.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΚΩΝ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ «ΤΣΑΠΕΛΑΣ»

Ε. Μανωλοπούλου[✉], Β. Δημόπουλος, Ε. Τσιαβτάρη

ΤΕΙ Πελοποννήσου, Τμήμα Τ.Γ., Αντικάλαμος, 24100, Καλαμάτα, [✉]arte_lampr@yahoo.gr

Περίληψη

Η ξήρανση των γεωργικών προϊόντων μπορεί να γίνει με τον ήλιο, με θερμό αέρα, ή με κατάψυξη (λυοφιλίωση). Το σύκο (*Ficus carica* L.) είναι ιδιαίτερα ευπαθές στη συντήρηση και σχεδόν όλη η παγκόσμια παραγωγή διατηρείται σε αφυδατωμένη μορφή. Σύκα ποικιλίας «τσαπέλα» ξηράνθηκαν στον ήλιο, σε φούρνο (60°C και 20-22% RH) ή με κατάψυξη σε κενό με λυοφιλιωτή (-55°C). Η ξήρανση επηρέασε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Έτσι η λυοφιλίωση και η ξήρανση σε φούρνο μείωσαν ταχύτερα τη δραστικότητα του νερού, η αφυδάτωση στον ήλιο διατήρησε καλύτερα τη φωτεινότητα (L^*) και παρουσίασε τη μικρότερη ολική μεταβολή του χρώματος (ΔE), ενώ η θέρμανση στο φούρνο αύξησε το δείκτη καστάνωσης (BI). Τα λυοφιλιωμένα σύκα παρουσίασαν τη μικρότερη μεταβολή όγκου και το μεγαλύτερο ποσοστό επανυδάτωσης.

Λέξεις κλειδιά: Ξήρανση, Σύκα, Χρώμα

THE EFFECT OF DRYING TECHNIQUES ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF FIG FRUITS (FICUS CARICA L. CULTIVAR “TSAPELA”)

E. Manolopoulou[✉], V. Demopoulos, E. Tsavtari

TEI of Peloponnese, School of Agricultural Technology and Food Technology and Nutrition,
24 100 Antikalamos, Messinia, Greece, [✉]arte_lampr@yahoo.gr

Abstract

Agricultural products can be dried through different techniques such as sun-drying, hot-air drying, or freeze-drying (lyophilisation). As fresh figs are perishable, the vast majority of global fig production is preserved as dried. In the present study, figs (*Ficus carica* L. cultivar “Tsapela”) were sun-dried, oven-dried (60°C, 20-22% RH), or dried in a vacuum freeze-drier (-55°C). As it was observed, the drying technique affected the fruit quality characteristics. In particular, freeze-drying and oven-drying resulted in faster reduction of fruit water activity, sun-drying better maintained the fruits’ brightness (L^*) and presented the lowest overall colour change (ΔE), while oven-drying increased the fruits’ browning index (BI). Finally, freeze-drying showed the least change in fruit volume and the highest rehydration percentage.

Key words: Dehydration, Fig, Colour

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αφυδάτωση (ξήρανση) των γεωργικών προϊόντων είναι μία από τις παλαιότερες μεθόδους συντήρησης. Προσφέρει φυσικο-χημική σταθερότητα απομακρύνοντας μέρος της περιεχόμενης υγρασίας των ιστών, μειώνοντας τη μικροβιολογική δραστηριότητα και ελαχιστοποιώντας φυσικές και χημικές αλλαγές κατά την αποθήκευση. Λόγω της μείωσης βάρους και όγκου, ελαχιστοποιεί την απαιτούμενη συσκευασία, και το κόστος αποθήκευσης και μεταφοράς.

Η ξήρανση των φρούτων και λαχανικών μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ξήρανση υπό το άμεσο ηλιακό φως: Παραδοσιακός τρόπος συντήρησης. Το προϊόν ρυπαίνεται από τη σκόνη και μολύνεται από τα ζώα και τα μικρόβια. Ξήρανση με θερμό αέρα: Κοινή μέθοδος για αφυδάτωση τροφίμων. Υποβαθμίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φυτικών οργάνων, συρρικνώνει τον όγκο, μειώνει την ικανότητα επανυδάτωσης (Aw), και διευκολύνει τη μετανάστευση διαλυμένων ουσιών από το εσωτερικό του τροφίμου προς την επιφάνεια (Maskan, 2001). Η μέθοδος έχει πολλά πλεονεκτήματα όπως: (α) καλύτερες συνθήκες υγιεινής, (β) ρύθμιση των παραμέτρων ξήρανσης, (γ) μη εξάρτηση από τον καιρό, (δ) μικρότερος χρόνος αφυδάτωσης, (ε) χαμηλότερο κόστος εργασίας (Barbosa-Canoval & Vega-Mercado, 1996).

Λυοφιλίωση (ξήρανση με κατάψυξη/εξάχνωση): Είναι μια δαπανηρή διαδικασία κατάλληλη μόνο για προϊόντα υψηλής αξίας. Αποφεύγεται η υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των προϊόντων (Ratti, 2001), διατηρείται η δομή τους (Karathanos et al., 1996), η συρρίκνωση είναι μικρή, η επανυδάτωση καλή, παρουσιάζεται όμως συχνά γευστική υποβάθμιση λόγω απώλειας πτητικών ουσιών.

Το σύκο (*Ficus carica* L.) είναι ένα από τα πιο σημαντικά φρούτα της Μεσογείου. Είναι ιδιαίτερα ευπαθές, ακόμη και σε συνθήκες ψύξης και έτσι σχεδόν όλη η παγκόσμια παραγωγή διατηρείται σε αφυδατωμένη (ξηρά) μορφή. Η ξήρανση στον ήλιο είναι η πλέον συνήθης μέθοδος που χρησιμοποιείται, απαιτώντας χαμηλό κεφάλαιο, απλό εξοπλισμό και χαμηλές εισροές ενέργειας, το δε παραγόμενο προϊόν έχει καλές οργανοληπτικές ιδιότητες.

Επειδή οι μέθοδοι ξήρανσης επηρεάζουν την ποιότητα των αφυδατωμένων προϊόντων, σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης τριών τρόπων ξήρανσης (ήλιος, θερμός αέρας, λυοφιλίωση) στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (Aw, χρώμα, συρρίκνωση, επανυδάτωση) σύκων ποικιλίας «τσαπέλα».

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Φυτικό υλικό

Σύκα ποικιλίας «τσαπέλα» συγκομίστηκαν το Σεπτέμβριο (1-9-14 και 8-9-14) από έναν συκεώνα στην περιοχή «Αριστομένης» Μεσσηνίας. Τα σύκα συγκομίστηκαν στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας και αμέσως μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου έγινε διαλογή ως προς το μέγεθος και την ύπαρξη βλαβών.

2.2. Μέθοδοι ξήρανσης

Ξήρανση στον ήλιο: Τα σύκα τοποθετήθηκαν σε μία μόνο σειρά σε καλαμωτή (όπως στην πράξη). Η καλαμωτή το πρωί εκτίθετο στον ήλιο, με τη δύση του ήλιου μεταφερόταν μέσα στο εργαστήριο. Η μέση θερμοκρασία του αέρα ήταν 29°C (α! συγκομιδή), 31°C (β! συγκομιδή) και η σχετική υγρασία 42% και 30% αντίστοιχα. Ξήρανση με θερμό αέρα (φούρνο): Η ξήρανση έγινε σε ένα φούρνο LabTech (Daihan LabTech Co LTD). Τα σύκα τοποθετήθηκαν σε μία σειρά σε μεταλλικές σίτες. Οι συνθήκες ξήρανσης ήταν 60°C και 20-22% σχετική υγρασία. Η ξήρανση με κατάψυξη σε κενό (λυοφιλίωση) έγινε σε ένα λυοφιλιωτή TelStar (lyoquest) σε θερμοκρασία -55°C.

Κάθε πειραματική σειρά ξεκινούσε στις 8 π.μ. Οι μετρήσεις γινόντουσαν κάθε 4 ώρες μέχρι τις 20 μ.μ. Κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν εγίνοντο μετρήσεις. Η ξήρανση σταματούσε όταν η Aw των καρπών μειωνόταν κάτω από 0,65.

2.3. Παράμετροι που μελετήθηκαν

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν: η Aw, το χρώμα, η συρρίκνωση, και η ικανότητα επανυδάτωσης των ξηρών σύκων.

Η Aw προσδιορίσθηκε με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υγρομέτρου (Hygrolab 3, Rotronic) το οποίο ρυθμίστηκε στο εύρος 0,1-0,99 με τη βοήθεια διαλυμάτων γνωστής δραστικότητας. Το χρώμα μετρήθηκε με χρωματόμετρο Minolta CR-300 σε 4 μέρη του καρπού (επάνω, κάτω και δύο μετρήσεις στον ισημερινό). Η μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από τη φωτεινότητα L*, την ολική μεταβολή ΔΕ και το δείκτη καστάνωσης BI. (Medeni, 2006). Οι υπολογισμοί γινόντουσαν βάσει των παρακάτω σχέσεων (1), (2):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

$$BI = 100 \left[\frac{\left(\frac{a^* + 1,75 L^*}{5,645 L^* + a^* - 3,012 b^*} \right) - 0,31}{0,17} \right] \quad (2)$$

Για τη μείωση της παραλλακτικότητας στην αρχή του πειράματος επελέγησαν 10 καρποί /μέθοδο ξήρανσης, και οι μετρήσεις γινόντουσαν πάντα σε αυτούς.

Για τον προσδιορισμό της συρρίκνωσης των καρπών μετρήθηκε ο όγκος στην αρχή και στο τέλος του πειράματος και η συρρίκνωση υπολογίστηκε ως ο λόγος του όγκου του καρπού στο τέλος της συντήρησης προς τον αρχικό όγκο (S= V/V₀). Η μέτρηση του όγκου έγινε με τη μέθοδο εκτόπισης/ζύγισης νερού σε 10 μεμονωμένους καρπούς / χειρισμό.

Για τον προσδιορισμό της επανυδάτωσης των καρπών 10 ξηροί καρποί/μέθοδο ξήρανσης γνωστού βάρους εμβαπτίστηκαν σε νερό θερμοκρασίας 50°C για 50 λεπτά. Κάθε 10 λεπτά το πλεονάζον νερό από τον καρπό απομακρυνόταν και ο καρπός ζυγιζόταν. Η επανυδάτωση (%) υπολογίσθηκε βάσει του τύπου (Bt - Bd) / Bd)x100, όπου Bd = βάρος ξηρών δειγμάτων (g), Bt βάρος ενυδατωμένου δείγματος (g) σε κάθε δειγματοληψία (Maskan, 2001).

Οι μετρήσεις της Aw έγιναν σε 3 δείγματα/ μέθοδο ξήρανσης, ενώ οι μετρήσεις του χρώματος, της συρρίκνωσης και της επανυδάτωσης σε 10 δείγματα / μέθοδο ξήρανσης.

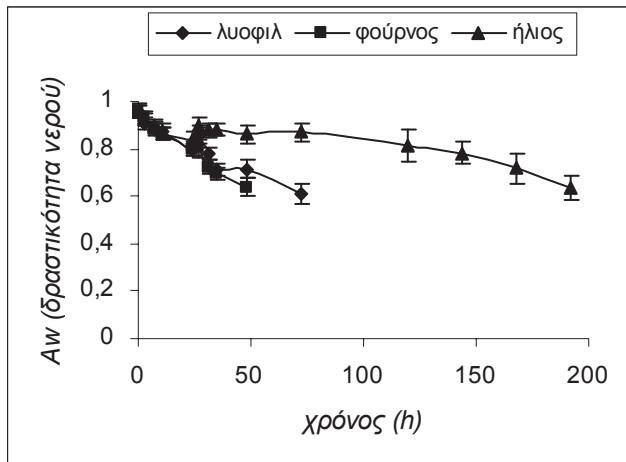
2.4. Στατιστική ανάλυση:

Η στατιστική ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγινε με το στατιστικό πακέτο Statgraphics Plus 5.1. Σαν στατιστικό κριτήριο χρησιμοποιήθηκε το LSD σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή της Aw σύκων, που αφυδατώθηκαν με τις τρεις μεθόδους ξήρανσης, συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης. Οι τιμές αυτές είναι ο Μ.Ο. των 2 επαναλήψεων λόγω μη ύπαρξης στατιστικά σημαντικής διαφοράς.

Από το σχήμα 1 προκύπτει ότι υπάρχει στατιστική σημαντική διαφορά όσον αφορά την Aw μεταξύ της ξήρανσης στον ήλιο και των άλλων δύο μεθόδων (θερμός αέρας, λυοφιλιωτής), οι οποίες όμως δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Η μεταβολή της Aw είναι πρακτικά γραμμική συνάρτηση του χρόνου ξήρανσης με συντελεστή προσδιορισμού R² κυμαινόμενο μεταξύ 0,87 (ήλιος) και 0,97 (θερμός αέρας).



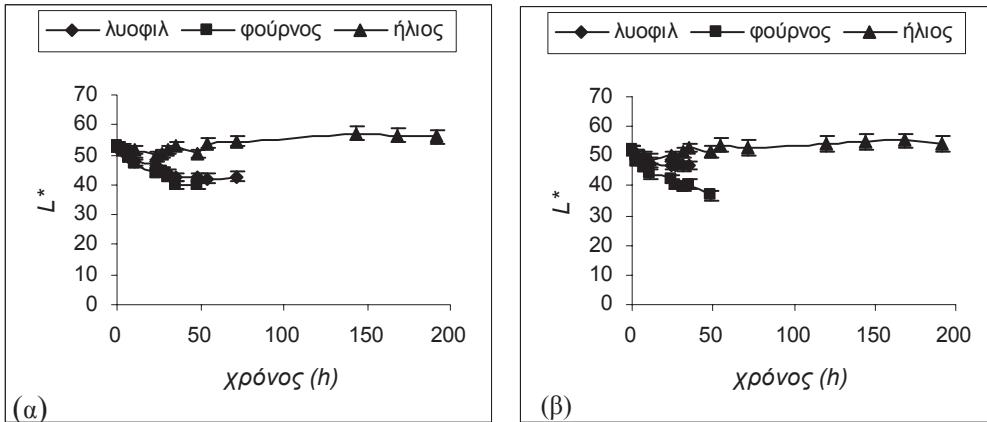
Σχήμα 1. Μεταβολή της δραστικότητας του νερού συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης σύκων ποικιλίας «τσαπέλα» που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνος) και ήλιο (M.O.± LSD, n=3 x 2 επαναλήψεις =6).

Στο τέλος της ξήρανσης η Aw στα λυοφιλιωμένα σύκα ήταν 0,61, στα αφυδατωμένα στο φούρνο 0,63 και 0,64 στα αφυδατωμένα στον ήλιο. Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές ήταν κάτω από το άριστο επίπεδο ανάπτυξης και σχηματισμού τοξινών από τους μύκητες *Aspergillus flavus* και *A. parasiticus* (Piga et al., 2004). Οι χαμηλές αυτές συγκεντρώσεις παρεμποδίζουν και πολλές χημικές και βιολογικές αντιδράσεις (Rahman et al., 1999). Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η μείωση της δραστικότητας του νερού επιταχύνεται σημαντικά στην περίπτωση της λυοφιλίωσης και της αφυδάτωσης με θερμό αέρα (φούρνος). Ο μέσος ρυθμός μείωσης της Aw, ο οποίος επηρεάζει την ανάπτυξη και την παραγωγή τοξινών από μύκητες, στην περίπτωση της λυοφιλίωσης είναι 0,004854/h, στο θερμό αέρα (φούρνο) 0,006628/h, ενώ στον ήλιο 0,001604/h.

Το χρώμα είναι το σπουδαιότερο ποιοτικό κριτήριο για τα αφυδατωμένα προϊόντα (Chua et al., 2000). Συνήθως κατά τη διάρκεια της ξήρανσης λαμβάνουν χώρα βιοχημικές αντιδράσεις που το επηρεάζουν. Η οξείδωση των φαινολικών ουσιών από τις πολυφαινολοξειδάσεις (PPO), οι αντιδράσεις Maillard, η καραμελοποίηση, καθώς και η οξείδωση του ασκορβικού οξέος είναι αντιδράσεις που επηρεάζουν το χρώμα των αφυδατωμένων προϊόντων (Perera and Baldwin, 2001).

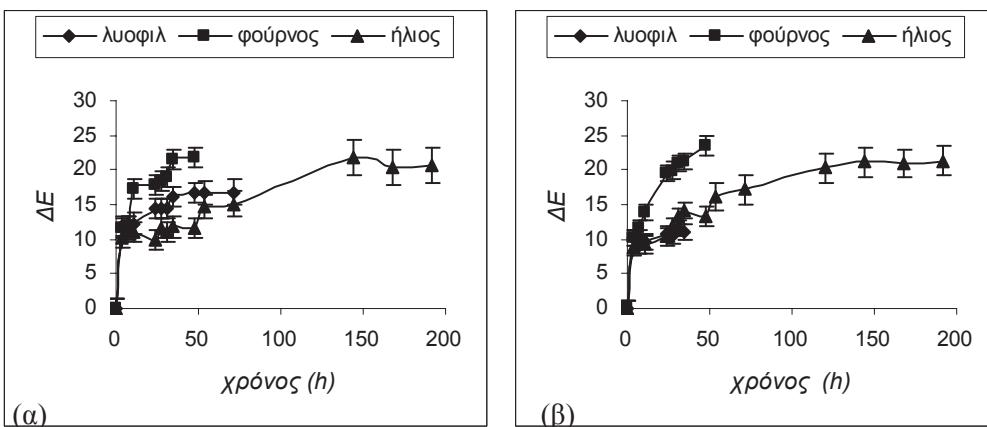
Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η μεταβολή της φωτεινότητας L* κατά τη διάρκεια της ξήρανσης και με τις τρεις μεθόδους. Επειδή από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) προέκυψε ότι οι δύο επαναλήψεις διαφέρουν στατιστικά ($p=0,05$) μεταξύ τους τα αποτελέσματα παρουσιάζονται χωριστά ανά επανάληψη.

Από το σχήμα 2 προκύπτει ότι η φωτεινότητα των καρπών επηρεάζεται από τον τρόπο ξήρανσης. Έτσι τη μεγαλύτερη μείωση της φωτεινότητας παρουσιάζουν οι καρποί που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα (φούρνο), ενώ τη μικρότερη αυτοί που αφυδατώθηκαν στον ήλιο. Προκειμένου να εξηγήσουμε πως ο τρόπος ξήρανσης επιδρά στη μεταβολή της φωτεινότητας L* μελετήσαμε τη μεταβολή του L* συναρτήσει της αδιάστατης υγρασίας MR (δεν παρουσιάζονται τα δεδομένα). Από τη μελέτη προέκυψε ότι η μεταβολή της φωτεινότητας L* είναι γραμμική συνάρτηση της μεταβολής της αδιάστατης υγρασίας MR με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0,93-0,97$. Από όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω προκύπτει ότι η φωτεινότητα L* των καρπών επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και την περιεχόμενη υγρασία γεγονός που συμφωνεί με άλλους ερευνητές (Σωτηριάδης κ.α., 2009).



Σχήμα 2. Μεταβολή της φωτεινότητας L^* συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης σύκων που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνο) και ήλιος.
 $(\alpha)=1^{\text{η}}$ επανάληψη, $(\beta)=2^{\text{η}}$ επανάληψη (M.O. \pm LSD, $n=10 \times 4$ σημεία /καρπό=40).

Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE ξεχωριστά ανά επανάληψη [$1^{\text{η}}$ (α) και $2^{\text{η}}$ (β)] λόγω στατιστικά σημαντικής διαφοράς.



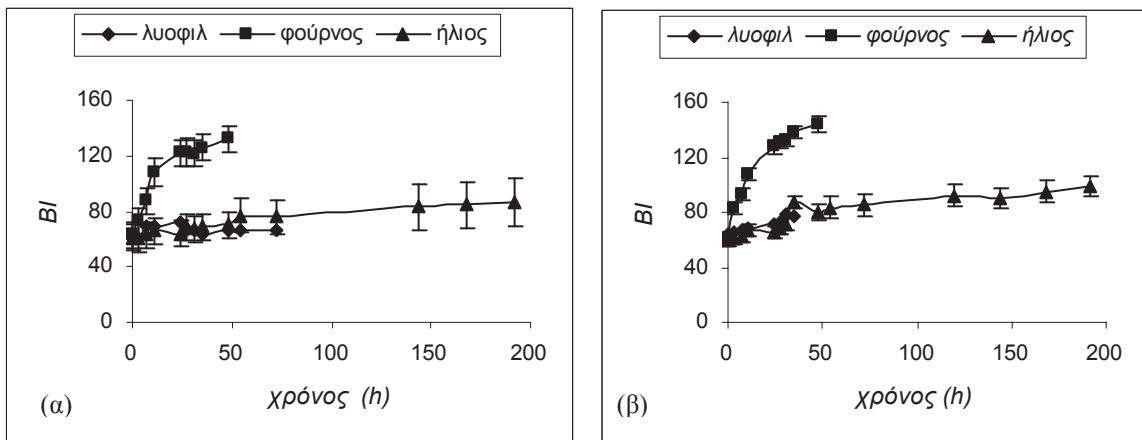
Σχήμα 3. Ολική μεταβολή του χρώματος (ΔE) συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης σύκων που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνο) και ήλιος
(M.O. \pm LSD, $n=10 \times 4$ σημεία /καρπό=40).

Από το σχήμα 3 προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη μεταβολή χρώματος παρουσίασαν τα σύκα που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα (φούρνο). Σε όλες τις περιπτώσεις η ολική μεταβολή του χρώματος αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Συγκρίνοντας τη μεταβολή ΔE με τη δραστικότητα του νερού προέκυψε ότι η ΔE αυξάνεται όσο μειώνεται η Aw.

Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη καστάνωσης (BI) των σύκων που αφυδατώθηκαν με τις τρείς μεθόδους συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης. Από το σχήμα 4 προκύπτει ότι ο δείκτης καστάνωσης παρουσιάζει μία απότομη αύξηση στα σύκα που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα (φούρνο) και στις δύο επαναλήψεις, ενώ η μεταβολή του δείκτη BI ήταν σημαντικά πιο χαμηλή στις άλλες δύο μεθόδους ξήρανσης.

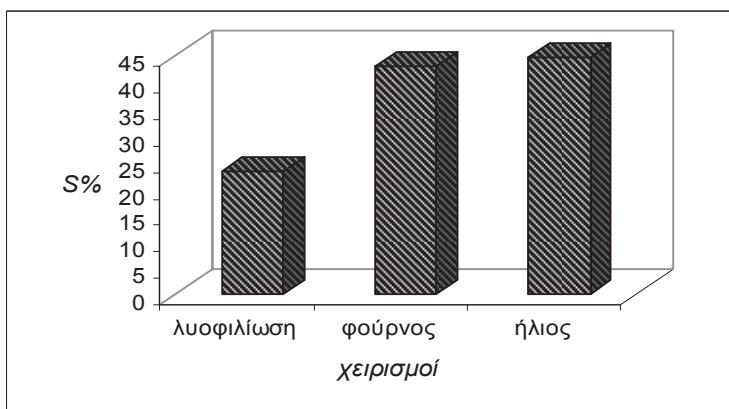
Η καστάνωση είναι σημαντική μεταβολή για τα αφυδατωμένα προϊόντα διότι επηρεάζει την εμφάνιση και ως εκ τούτου την ποιότητα και την εμπορική αξία τους. Συνήθως συνδέεται με αντιδράσεις Maillard (Baini and Langrish, 2009) και κυρίως στην περίπτωση αφυδατωμένων φρούτων που δεν έχουν υποστεί χειρισμούς για τη προστασία του

χρώματος (Krokida et al., 1998). Η αυξημένη τιμή του BI στην περίπτωση των σύκων που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα μπορεί να αποδοθεί στην υψηλή θερμοκρασία (60°C) που υποβλήθηκαν.



Σχήμα 4. Μεταβολή του BI συναρτήσει του χρόνου ξήρανσης σύκων που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνο), ήλιο κατά την 1^η (α) και 2^η (β) επανάληψη (Μ.Ο.± LSD, n=10 x 4 σημεία /καρπό=40).

Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται ο ΜΟ των 2 επαναλήψεων, λόγω μη ύπαρξης στατιστικά σημαντικής διαφοράς, της μεταβολής του όγκου (συρρίκνωση) των καρπών στο τέλος της αφυδάτωσης.



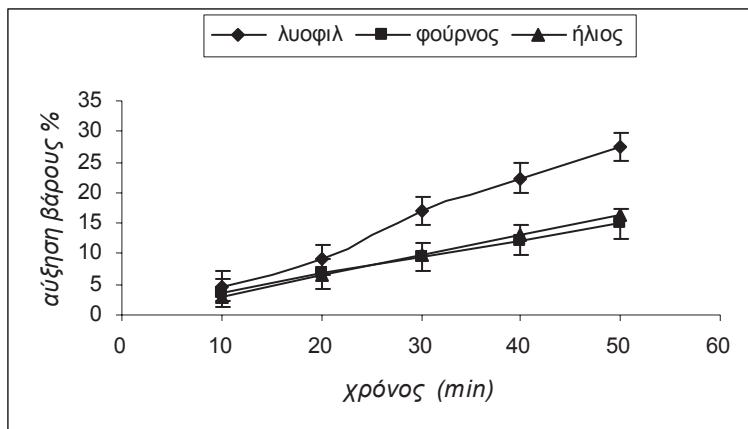
Σχήμα 5. Συγκριτική μελέτη της μεταβολής του όγκου (συρρίκνωση) σύκων που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνο) και ήλιο (Μ.Ο 2επαναλήψεων, n=10 X 2 =20).

Από το σχήμα 5 προκύπτει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της λυοφιλίωσης και των άλλων δύο μεθόδων οι οποίες δεν διαφέρουν μεταξύ τους. Τα λυοφιλιωμένα σύκα παρουσίασαν τη μικρότερη μεταβολή όγκου (23%), ενώ οι δύο άλλοι χειρισμοί παρουσίασαν διπλάσια μεταβολή (43% ο φούρνος, 45% ο ήλιος). Η συρρίκνωση των ιστών κατά την αφυδάτωση των φρούτων και των λαχανικών είναι αποτέλεσμα της κατάρρευσης των κυττάρων και των τριχοειδών κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης του νερού, επιδρά δε αρνητικά στην ποιότητα (Mayor & Sereno, 2004). Η συρρίκνωση, που οφείλεται στο stress από την απομάκρυνση του νερού (Mayor et al. 2005), προκαλεί αλλαγές στο σχήμα των καρπών, επηρεάζει δε την ικανότητα της επανυδάτωσης και την

υφή των καρπών (Genskow, 1998). Γενικά η συρρίκνωση εξαρτάται από τη δομή του φυτικού οργάνου και είναι γραμμική συνάρτηση της περιεχόμενης υγρασίας (Sjöholm & Gekas 1995).

Τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγάλη σημασία στην ικανότητα επανυδάτωσης των αφυδατωμένων προϊόντων (Ratti, 2001), ιδιότητα η οποία χρησιμοποιείται για την ποιοτική αξιολόγηση τους, καθώς αποτελεί κριτήριο εκτίμησης της βλάβης που προκλήθηκε στον φυτικό ιστό από την αφυδάτωση (Doymaz and Osman 2011).

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η ικανότητα επανυδάτωσης των σύκων που αφυδατώθηκαν με λυοφιλίωση, θερμό αέρα (φούρνο) ή ήλιο. Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι δεν υπήρχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο επαναλήψεων, γι' αυτό παρουσιάζεται ο Μ.Ο. αυτών.



Σχήμα 6. Μεταβολή του βάρους αφυδατωμένων σύκων λόγω επανυδάτωσης (Μ.Ο. 2 επαναλήψεων, $n=10 \times 2 = 20$).

Κατά την επανυδάτωση τα σύκα που λυοφιλώθηκαν παρουσίασαν το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης βάρους συγκριτικά με αυτά που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα (φούρνο) ή στον ήλιο, γεγονός που επισημαίνεται και από άλλους ερευνητές (Ratti, 2001). Η αργή ή μικρή επανυδάτωση μπορεί να αποδοθεί στην κατάρρευση της εσωτερικής δομής των ιστών (Al-Khuseibi et al., 2005). Τέλος η μεταβολή του βάρους των επανυδατωμένων σύκων είναι γραμμική συνάρτηση του χρόνου με συντελεστή προσδιορισμού R^2 0,99 σε όλες τις περιπτώσεις.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούμε να καταλήξουμε στα παρακάτω συμπεράσματα: η αφυδάτωση με λυοφιλίωση ή με θέρμανση είναι πολύ πιο σύντομη σχετικά με την αφυδάτωση στον ήλιο. Η δραστικότητα του νερού μειώνεται ταχύτερα κατά τη λυοφιλίωση και τη θέρμανση. Η αφυδάτωση στον ήλιο διατήρησε σε υψηλότερα επίπεδα τη φωτεινότητα του χρώματος των σύκων και παρουσίασε τη μικρότερη ολική μεταβολή του χρώματος (ΔE). Τα σύκα που αφυδατώθηκαν με θερμό αέρα (φούρνος) παρουσίασαν το μεγαλύτερο δείκτη καστάνωσης (ΒΙ). Τα λυοφιλιωμένα σύκα παρουσίασαν η μικρότερη μεταβολή όγκου και το μεγαλύτερο ποσοστό επανυδάτωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Khuseibi, M.K., Sablani, S.S. and Perera, C.O., 2005. *Comparison of water blanching and high hydrostatic pressure effects on drying kinetics and quality of potato*. Drying Technology, 23, 2449–2461.
- Baini, R. and Langrish, T., 2009. *Assessment of colour development in dried bananas-measurements and implications for modelling*. Journal of Food Engineering, 93(2), 177–182.
- Barbosa-Cánovas, G.V. and Vega-Mercado, H., 1996. *Other methods of dehydration of foods and packaging aspects*. In: G.V. Barbosa-Cánovas & H. Vega-Mercado (Editors), Dehydration of Foods, Chapman & Hall, New York, 289–320.
- Chua, K.J., Mujumdar, A.S., Chou, S.K., Hawlader, M.N.A. and Ho, J.C., 2000. *Convective drying of banana, guava and potato pieces: Effect of cyclical variations of air temperature on drying kinetics and color change*. Drying Technology, 18 (4/5), 907–936.
- Doymaz, I. and Osman, I., 2011. *Drying characteristics of sweet cherry*. Food and Bioproducts Processing, 89, 31–38.
- Genskow, L.R., 1998. *Considerations in drying consumer products*. Proceedings of the Fourth International Drying Symposium, Versailles, 39–46.
- Katathanos, V.T., Anglea, S.A. and Karel, M., 1996. *Structure collapse of plant materials during freeze-drying*. Journal of Thermal Analysis, 46, 1541–1551.
- Krokida, M., Tsami, E. and Maroulis, Z., 1998. *Kinetics on colour changes during drying of some fruits and vegetables*. Drying Technology, 16(3/5), 667–685.
- Maskan, M., 2001. *Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying*. Journal of Food Engineering, 48, 177–182.
- Mayor, L. and Sereno, A.M., 2004. *Modeling shrinkage during convective drying of food materials: A review*. Journal of Food Engineering, 61, 373–386.
- Mayor, L., Silva, M.A. and Sereno, A.M., 2005. *Microstructural changes during drying of apples slices*. Drying Technology, 23, 2261–2276.
- Medeni, M., 2006. *Effect of thermal processing on tristimulus changes of fruits*. Stewart Postharvest Review, 2(5), 1–8.
- Perera, C.O. and Baldwin, E.A., 2001. *Biochemistry of fruits and its implications on processing*. In: D. Arthey, P.R. Ashurst (Editors) Fruit Processing; Nutrition, Products and Quality Management, 2nd ed., Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, 19–36.
- Piga, A., Pinna, I., Özer, K., Agabbio, M. and Aksoy, U., 2004. *Hot air dehydration of figs (*Ficus carica L.*): drying kinetics and quality loss*. International Journal of Food Science and Technology, 39, 793–799.
- Rahman, M.S. and Labuza, T.P., 1999. *Water activity and food preservation*. In: M.S. Rahman, (Editor), Handbook of Food Preservation; Marcel Dekker, New York, 339–382.
- Ratti, C., 2001. *Hot air and freeze-drying of high values foods: a review*. Journal of Food Engineering 49: 311–319.
- Sjöholm, I. and Gekas, V., 1995. *Apple shrinkage upon drying*. Journal of Food Engineering, 25, 123–130.
- Σωτηριάδης, Θ., Αγγλογάλλος, Ε.Π., Ξανθόπουλος, Γ. και Λαμπτινός, Γρ., 2009. *Μελέτη της εξέλιξης των χρωματικών παραμέτρων κατά την ξήρανση με θερμό αέρα εδώδιμου μανιταριού*. Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, 771–778.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΦΛΟΙΟΥ ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΞΗΡΑΝΣΗ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ ΜΕ ΘΕΡΜΟ ΑΕΡΑ

Δ. Λέντζου, Γ. Ξανθόπουλος[✉], Ο. Γεωργιάδου, Χ. Τεμπλαλέξης, Ν-Π. Αλειφέρης
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11855, Αθήνα,
[✉]xanthopoulos@hua.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η αντίσταση του φλοιού στη μεταφορά μάζας σε ολόκληρα βερίκοκα (με και χωρίς φλοιό) κατά την ξήρανσή τους σε ρεύμα αέρα 55 και 65 °C και ταχύτητας 1.0 και 3.0 m/s. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκε ισοθερμοκρασιακό υπολογιστικό μοντέλο ξήρανσης πεπερασμένων στοιχείων το οποίο προσομοιώνει τη διάχυση των υδρατμών λαμβάνοντας υπόψη και τη συρρίκνωση του προϊόντος. Ο αντίστροφος ολικός συντελεστής μεταφοράς μάζας k_m αποτελεί την εξωτερική αντίσταση στη μεταφορά μάζας (r_{total}). Τα δεδομένα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με αντίστοιχα πειραματικά μέσω του σχετικού σφάλματος για την εκτίμηση του προτεινόμενου μοντέλου. Σε όλες τις περιπτώσεις το σφάλμα ήταν μικρότερο του 3.5%. Η τιμή του k_m και της εξωτερικής αντίστασης, αντίστοιχα, κυμάνθηκαν για τα μη αποφλοιωμένα βερίκοκα μεταξύ 1.33×10^{-7} έως 4.58×10^{-7} m/s και 21.8×10^5 έως 75.2×10^5 s/m ενώ για τα αποφλοιωμένα μεταξύ 4.78×10^{-7} έως 1.44×10^{-6} m/s και 6.9×10^5 έως 20.9×10^5 s/m.

Λέξεις κλειδιά: Ξήρανση βερίκοκου, Βελτιστοποίηση, Αντίσταση φλοιού, Μεταφορά μάζας

STUDY OF PEEL RESISTANCE TO MASS TRANSFER DURING DRYING OF APRICOT WITH HOT AIR

D. Lentzou, G. Xanthopoulos[✉], O. Georgiadou, C. Templalexis, N-P. Aleiferis
Agricultural University of Athens, Department NRM & Ag.Eng., Iera Odos 75, 11855, Athens,
[✉]xanthopoulos@hua.gr

Abstract

In this study the resistance of peel to mass transfer in whole apricots (peeled and unpeeled), during drying at 55 and 65 °C and 0.5, 1.0 and 3.0 m/s air velocity was investigated. An isothermal computational model of drying was developed employing finite elements to simulate water vapour diffusion considering apricot shrinkage during drying. The reverse total mass transfer coefficient is the external or surface resistance to mass transfer (r_{total}). Data from simulation compared with the corresponding experimental employing the relevant error for the evaluation of the proposed model. In all cases, the error was below 3.5%. The value of k_m for unpeeled apricots ranged between 1.33×10^{-7} έως 4.58×10^{-7} m/s whereas for peeled between 4.78×10^{-7} to 1.44×10^{-6} m/s. Similarly, the external or surface resistance ranged for unpeeled apricots between 21.8×10^5 to 75.2×10^5 s/m and in the case of peeled between 6.9×10^5 to 20.9×10^5 s/m.

Keywords: Drying apricots, Optimization, Peel resistance, Mass transfer

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αποξηραμένα φρούτα αποτελούν εκλεκτό έδεσμα λόγω της θρεπτικής αξίας και της μακράς διάρκειας ζωής τους. Στη σημερινή αγορά τροφίμων τα αποξηραμένα τρόφιμα παίζουν σημαντικό ρόλο στην εφοδιαστική αλυσίδα. (Grabowski et al., 2003). Για το λόγο αυτό οι ιδιότητές τους και ο τρόπος που επηρεάζονται από τις συνθήκες ξήρανσης αλλά και από διάφορους προ-χειρισμούς έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών (Sabarez, 2012) εκ των οποίων οι περισσότερες αφορούν τη διάχυση νερού-υδρατμών στα οπωρολαχανικά όπως μήλο (Quintero-Ramos et al., 1993), τομάτα (Xanthopoulos et al., 2012) και άλλα. Παρόλα αυτά η αντίσταση του φλοιού στη διάχυση κατά την ξήρανση δεν έχει μελετηθεί, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ενώ αντίθετα έχει μερικώς μελετηθεί σε ψυχροσυντηρούμενα προϊόντα. Η μελέτη της αντίστασης του φλοιού σύμφωνα με τους Pham et al., 2009 θεωρείται σημαντική καθώς αποτελεί το κυριότερο εμπόδιο στην ανταλλαγή αερίων. Σε μελέτες που έχουν γίνει η αντίσταση του φλοιού έχει μελετηθεί για την διάχυση αιθανίου (Pham et al., 2009) και νέον (Schotmans et al., 2002; Pham et al., 2009). Στις μελέτες αυτές η αντίσταση του φλοιού μελετήθηκε ως προσομοίωση ενός ηλεκτρικού κυκλώματος αντιστάσεων συνδεδεμένων εν σειρά (Van der Sman, 2003) θεωρώντας την αντίσταση του φλοιού ίση με το αντίστροφο του συντελεστή μεταφοράς μάζας (Pham et al., 2009).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της αντίστασης του φλοιού κατά την ξήρανση σε διαφορετικές θερμοκρασίες και ταχύτητες ρεύματος αέρα σύμφωνα με τη θεώρηση των παραπάνω μελετών.

2. ΘΕΩΡΙΑ

2.1. Διάχυση

Η διάχυση ακολουθεί το N. Fick, $J_{A_z} = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$, και συνδέει το ρυθμό της διάχυσης, J_{A_z} ($\text{mol}/(\text{m}^2\text{s})$), με τη βαθμίδα συγκέντρωσης ως προς τη διεύθυνση z (m), όπου D_{AB} ο συντελεστής διάχυσης του συστατικού A στο B (m^2/s) και c_A η συγκέντρωση του διαχεόμενου συστατικού (mol/m^3). Η ξήρανση περιλαμβάνει διαφορετικούς εσωτερικούς μηχανισμούς μεταφοράς μάζας όπως η διάχυση νερού και υδρατμού καθώς και τριχοειδή φαινόμενα. Οι μηχανισμοί αυτοί εναλλάσσονται ή και συνυπάρχουν γεγονός που καθιστά τη φυσική και μαθηματική περιγραφή τους εξαιρετικά περίπλοκη, για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης (D_{eff}) ο οποίος ενσωματώνει όλους αυτούς τους μηχανισμούς μεταφοράς μάζας (Xanthopoulos et al., 2014). Η θερμοκρασιακή εξάρτηση του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης περιγράφεται συνήθως μέσω μιας εξίσωσης τύπου Arrhenius, $D_{eff} = D_0 \exp(-E_a/RT)$ όπου E_a η ενέργεια ενεργοποίησης (J/mol), R η παγκόσμια σταθερά αερίων (J/Kmol), D_0 η προεκθετική παράμετρος (m^2/s) και T η θερμοκρασία (K). Για την ενσωμάτωση και της υγρασιακής εξάρτησης του D_{eff} έχουν προταθεί παραλλαγές της εξίσωσης Arrhenius (Xanthopoulos et al. 2009). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η σχέση $D_{eff}|_t = \exp(-E_a/RT + a/MR_t)$ όπου MR το αδιάστατο υγρασιακό πηλίκο (kg/kg) και a παράμετρος που υπολογίζεται από τη βελτιστοποίηση.

2.2. Συρρίκνωση

Η συρρίκνωση (S) είναι ένα φαινόμενο που συνοδεύει την ξήρανση των αγροτικών προϊόντων. Εξαιτίας αυτής μπορεί να προκληθούν σημαντικές δομικές μεταβολές στο αποξηραίνομενο προϊόν και στην τελική του ποιότητα (Mayor and Sereno, 2004). Έχει αποδειχθεί ότι η συρρίκνωση εξαρτάται μόνο από την περιεχόμενη υγρασία. Η συρρίκνωση εκφράζεται

μέσω της σχετικής μείωσης του όγκου του αποξηραινόμενου προϊόντος $S=V_t/V_0$ όπου V_t ο όγκος (m^3) τη χρονική στιγμή t (h) και V_0 ο αρχικός όγκος (m^3) για $t=0$ (Maskan, 2001).

3. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΙ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν ολόκληροι αποξηραινόμενοι καρποί βερίκοκου, ποικιλίας *Orange red*, αποφλοιωμένοι και μη. Έγινε διαλογή με βάση το μέγεθος και βάρος των δειγμάτων και η μέση αρχική περιεχόμενη υγρασία των καρπών κυμάνθηκε από 6.59 έως 8.55 kg_w/kg_{dm} ενώ η μέση διάμετρος από 19.0 έως 27.5 mm. Οι καρποί αποξηράθηκαν στις θερμοκρασίες των 55 και 65 °C και ταχύτητες 0.5, 1.0, και 3.0 m/s. Η ογκομέτρηση κατά την ξήρανση γινόταν με τη μέθοδο της εκτόπισης νερού. Με την αποφλοίωση των δειγμάτων οι καρποί (με και χωρίς φλοιό) ζυγίζονταν και τοποθετούνταν στο ξηραντήριο. Σε κάθε πειραματική σειρά (θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα) και χειρισμό (με και χωρίς φλοιό) χρησιμοποιήθηκαν 6 δείγματα 3 εκ των οποίων προορίζονταν για ζυγίσεις και 3 για ογκομέτρησεις. Οι ζυγίσεις λάμβαναν χώρα σε ωριαία διαστήματα ενώ οι ογκομετρήσεις 2 φορές την ημέρα. Τα πειράματα τερματίζονταν όταν δεν σημειωνόταν μεταβολή βάρους μεταξύ δύο διαδοχικών ζυγίσεων. Ο προσδιορισμός της ξηράς ουσίας λάμβανε χώρα σύμφωνα με το πρωτόκολλο AOAC (1997). Η ξήρανση των δειγμάτων διεξήχθη σε δύο πειραματικά ξηραντήρια τα οποία σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν στο "Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας" του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (Xanthopoulos et al., 2007). Η μέτρηση και καταγραφή των συνθηκών ξήρανσης γινόταν από θερμούγρασιακούς αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro station (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA) και είχαν διακριτική ικανότητα 0.4 °C και 0.5% και, ακρίβεια ±0.7, ±3% αντίστοιχα στη μέτρηση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Οι ζυγίσεις πραγματοποιούνταν σε ηλεκτρονικό ζυγό KERN (PCB-440, Japan) με ακρίβεια ±0.01 g. Ο έλεγχος της ταχύτητας του αέρα γινόταν με ανεμόμετρο θερμαινόμενου νήματος CLIMATHERM, με ακρίβεια ±0.044 m/s και διακριτικής ικανότητας 0.1 m/s. Η μέθοδος της μη-γραμμικής βελτιστοποίησης για τον υπολογισμό του φαινόμενου συντελεστή διάχυσης καθώς και του συντελεστή μεταφοράς μάζας έγιναν μέσω της προσομοίωσης της ισοθερμοκρασιακής ξήρανσης και συρρίκνωσης από το πρόγραμμα Comsol Multiphysics 4.3 (COMSOL, Inc.USA).

3.1. Μέτρηση περιεχόμενης υγρασίας, όγκου και ταχύτητας συρρίκνωσης

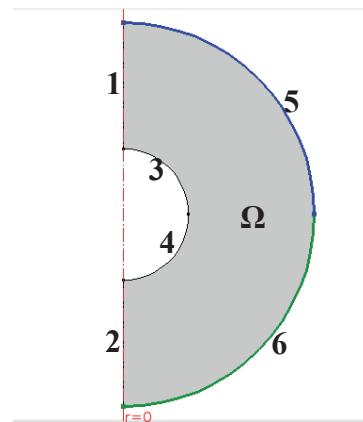
Η περιεχόμενη υγρασία υπολογίστηκε επί ξηράς ουσίας και ελήφθη ως ο μέσος όρος των αντίστοιχων αποξηραινόμενων δειγμάτων ανά περίπτωση ξήρανσης. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η αδιάστατη περιεχόμενη υγρασία $MR=MC_t/MC_0$ όπου MC_t η μέση περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων (kg_w/kg_{dm}) σε κάθε χρονική στιγμή και MC_0 η μέση αρχική περιεχόμενη υγρασία των δειγμάτων (kg_w/kg_{dm}). Οι υπολογισμοί έγιναν για τελική περιεχόμενη υγρασία $MR \geq 0.1$. Από τις ογκομετρήσεις υπολογίστηκε η φαινόμενη ακτίνα των καρπών καθώς και των πυρήνων (οι οποίοι εκτιμήθηκαν στο πέρας των πειραμάτων) θεωρώντας τα ως σφαίρες και μέσω αυτών το ποσοστό συρρίκνωσης, το οποίο κυμάνθηκε μεταξύ 48 και 62% και 48.5 και 65.6% για τα μη αποφλοιωμένα και αποφλοιωμένα δείγματα αντίστοιχα. Για την ακριβέστερη μαθηματική περιγραφή της συρρίκνωσης, θεωρήθηκε ότι η μείωση του όγκου των δειγμάτων κατά την ξήρανση είναι ίση με την ποσότητα του εξατμιζόμενου νερού (Sabarez, 2012). Βάσει της παραπάνω προσέγγισης η ταχύτητα συρρίκνωσης προσεγγίστηκε μέσω γραμμικής σχέσης, $R_t=a+bt$, όπου R_t η ακτίνα των δειγμάτων σε m, t ο χρόνος ξήρανσης σε s και b η κλίση της ευθείας σε m/s η οποία κλίση αντιστοιχεί στην ταχύτητα

συρρίκνωσης. Η ταχύτητα συρρίκνωσης κυμάνθηκε για τα μη αποφλοιωμένα μεταξύ 2.15×10^{-8} και $12.7 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ και για τα αποφλοιωμένα μεταξύ 6.34×10^{-8} και $31.7 \times 10^{-8} \text{ m/s}$.

3.2. Περιγραφή υπολογιστικού προβλήματος

Η προτυποποίηση του υπολογιστικού προβλήματος έγινε με τις παραδοχές ότι τα δείγματα είναι σφαίρες και ομοιογενή μέσα, η μεταφορά μάζας (νερού) εντός του προϊόντος γίνεται μέσω διάχυσης, δεν υφίσταται μεταφορά μάζας μεταξύ σάρκας και πυρήνα (no flux flow) και ότι η συρρίκνωση οφείλεται μόνο στην απώλεια υγρασίας. Η αναπαράσταση του υπολογιστικού χωρίου (Σχήμα 1) έγινε σε δύο διαστάσεις ως δύο ομόκεντροι κύκλοι ακτίνας ίσης με τη φαινόμενη ακτίνα των καρπών (εξωτερικός κύκλος) και την αντίστοιχη ακτίνα του πυρήνα (εσωτερικός κύκλος) για κάθε πειραματική σειρά. Για την ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου επελέγησαν στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics 4.3b το μοντέλο μεταφοράς μάζας μέσω διάχυσης νερού, το μοντέλο κινούμενου πλέγματος και το μοντέλο βελτιστοποίησης. Η θεμελιώδης εξίσωση διάχυσης, όπως ορίζεται στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics 4.3b από τη σχέση $\partial c_i / \partial t + \nabla \cdot (D_i \nabla c_i) = 0$, όπου D_i ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης (m^2/s), c_i η συγκέντρωση υγρασίας (mol/m^3) και t ο χρόνος ξήρανσης (s), επιλύθηκε στο υπολογιστικό χωρίο Ω .

Στις συνοριακές συνθήκες, boundary conditions, (Σχήμα 1) επελέγη αξονική συμμετρία, Axial Symmetry (όρια 1,2), αδιαπέρατη στη ροή μάζας των υδρατμών μεταξύ σάρκας και πυρήνα, No flux (όρια 3,4) και ροή μάζας των υδρατμών, Flux ($\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$) από το εσωτερικό των αποξηραινόμενων δειγμάτων προς τον περιβάλλοντα αέρα, εξωτερικά όρια 5 και 6 του χωρίου Ω (επιφάνεια δειγμάτων) σύμφωνα με το ισοζύγιο μάζας $-\mathbf{n} \cdot (\mathbf{D} \nabla c_i) = k_{c,j} (c_{b,j} - c_i)$ όπου \mathbf{n} το κάθετο διάνυσμα στην επιφάνεια του υπολογιστικού χωρίου Ω , $k_{c,j}$ ο συντελεστής μεταφοράς μάζας (m/s), $c_{b,j}$ η συγκέντρωση της υγρασίας στον εξωτερικό (περιβάλλοντα) αέρα (mol/m^3), c_i η συγκέντρωση υγρασίας στην επιφάνεια του δείγματος (mol/m^3). Ως 'επιφάνεια του δείγματος' θεωρήθηκε στα μη αποφλοιωμένα δείγματα ο φλοιός, ενώ στα αποφλοιωμένα η επιφάνεια της σάρκας του αποξηραινόμενου δείγματος. Στην επιφάνεια του δείγματος (όρια 5,6) ορίστηκε η ταχύτητα συρρίκνωσης, η σάρκα σε όρους υπολογιστικού χωρίου ορίστηκε να ακολουθεί τη μετατόπιση της επιφάνειας του υπολογιστικού χωρίου Ω , ενώ στη διεπιφάνεια πυρήνα-σάρκας η ταχύτητα συρρίκνωσης ισούται με μηδέν (όρια 3,4).



Σχήμα 1. Επιλογή αξονικής συμμετρίας (1,2), αδιαπέρατων (3,4) και περατών (5,6) ορίων στη μεταφορά υδρατμών από το εσωτερικό του δείγματος προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Για την προσομοίωση της συρρίκνωσης στο υπολογιστικό μοντέλο επελέγη η μέθοδος Moving Mesh (ALE) για τον υπολογισμό της μεταβολής του όγκου του συρρικνούμενου υπολογιστικού χωρίου Ω . Η διακριτοποίηση του χωρίου έγινε μέσω πλέγματος τριγωνικών πεπερασμένων στοιχείων (free triangular finite elements) ο αριθμός των οποίων ήταν περίπου 2,850 στοιχεία, επιλογή που βασίστηκε σε λύση ανεξάρτητη του πλέγματος (grid independent solution). Για τη βελτιστοποίηση του προβλήματος, επελέγη το μοντέλο Optimization και σε αυτό ορίστηκαν αρχείο με τις πειραματικές τιμές της περιεχόμενης υγρασίας επί ξηράς ουσίας και του αντίστοιχου χρόνου ξήρανσης (s) βάσει του οποίου λάμβανε χώρα η βελτιστοποίηση ενώ στη συνέχεια εισήχθησαν και οι αντίστοιχες παράμετροι βελτιστοποίησης (k_m , E_a , a) με τις αρχικές τους τιμές. Στη μέθοδο βελτιστοποίησης επελέγη το μοντέλο βελτιστοποίησης Levenberg-Marquardt ταχείας σύγκλισης για διακεκριμένες τιμές. Η μέθοδος βελτιστοποίησης Levenberg-Marquardt χρησιμοποιεί το κριτήριο σύγκλισης $\|\nabla F\|_\infty = \|x\|_\infty / |F|$ όπου F είναι η αντικειμενική συνάρτηση και x είναι οι μεταβλητές ελέγχου. Η βελτιστοποίηση του υπολογιστικού προβλήματος βασίστηκε στους παρακάτω τρείς περιορισμούς: 1) ο φαινόμενος συντελεστής διάχυσης $D_{eff} \in (10^{-11}-10^{-8}) \text{ m}^2/\text{s}$ (Sabarez, 2012), 2) η υπολογιζόμενη ακτίνα συρρίκνωσης να συμπύπτει με την αντίστοιχη πειραματική και 3) το μέσο σχετικό σφάλμα μεταξύ προβλεπόμενης και πειραματικής περιεχόμενης υγρασίας για κάθε πειραματική σειρά να είναι κάτω από το 3.5%.

3.3 Υπολογισμός αντίστασης φλοιού

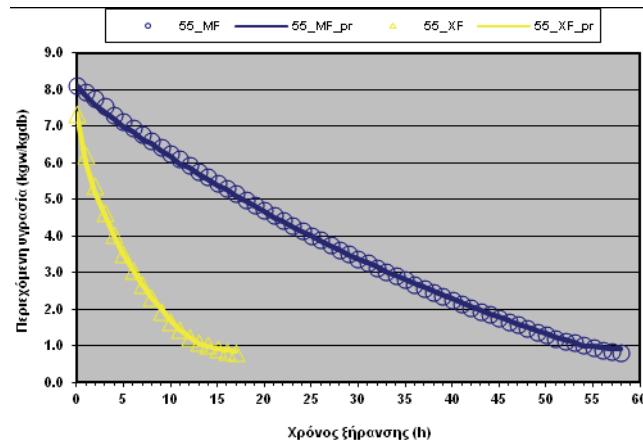
Ο αντίστροφος του συντελεστή μεταφοράς μάζας (k_m) στην επιφάνεια του προϊόντος αποτελεί την εξωτερική ή επιφανειακή αντίσταση στη μεταφορά μάζας (r_{total}) η οποία αποτελείται από την αντίσταση του φλοιού (r_{peel}) και αυτή του διαχυτικού οριακού στρώματος σε επαφή με το φλοιό του προϊόντος (r_{dbl}). Η επιφανειακή αντίσταση υπολογίστηκε ως δυο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά ($r_{total} = r_{peel} + r_{dbl}$), σύμφωνα με τον Van der Sman (2003).

Από τον υπολογισμό της αντίστασης στη μεταφορά μάζας (r_{dbl}) γύρω από σφαίρα διαμέτρου $2R$ βρέθηκε ότι αντιστοιχεί στο εύρος $6.0-7.0 \times 10^2 \text{ s/m}$ για θερμοκρασίες $55-65^\circ\text{C}$ τιμή κατά τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερη από αυτή της υπολογισθείσας αντίστασης του φλοιού (r_{peel}) και για αυτό θεωρήθηκε ότι η επιφανειακή αντίσταση στη μεταφορά μάζας οφείλεται εξ' ολοκλήρου στην αντίσταση του φλοιού $r_{total} = r_{peel}$. Έτσι η επιφανειακή αντίσταση στη μεταφορά μάζας υπολογίζεται από την σχέση $r_{total} = r_{peel} = 1/k_m$ όπου r_{peel} η αντίσταση στην εξωτερική επιφάνεια του προϊόντος σε (s/m) και k_m ο συντελεστής μεταφοράς μάζας όπως αυτός υπολογίζεται από τη μέθοδο βελτιστοποίησης σε (m/s).

4. Αποτελέσματα

Σε όλες τις πειραματικές περιπτώσεις που εξετάστηκαν, το ΜΣΣ δεν ξεπέρασε το 3.5%. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 οι προβλεπόμενες τιμές συμφωνούν αρκετά καλά με τις αντίστοιχες πειραματικές. Οι υπολογισθείσες τιμές του E_a κυμάνθηκαν στο εύρος $66.0-72.0 \text{ kJ/mol}$ για τα αποφλοιωμένα βερίκοκα και $82.5-86.5 \text{ kJ/mol}$ για τα μη αποφλοιωμένα, τάση που παρατηρήθηκε σε αντίστοιχα πείραμα ξήρανσης σε αποφλοιωμένο και μη τοματάκι από τους Xanthopoulos et al. (2012) καθώς και σε πείραμα ξήρανσης σε αποφλοιωμένο και μη σύκο από την Λέντζου (2015), δηλαδή χαμηλότερες τιμές του E_a στα αποφλοιωμένα προϊόντα που συνεπάγεται αντίστοιχα χαμηλότερη απαιτούμενη ενέργεια για τη πραγματοποίηση της διάχυσης της υγρασίας στο προϊόν. Αντίστοιχα οι τιμές των k_m και a κυμάνθηκαν για τα αποφλοιωμένα από 4.78×10^{-7} έως $1.44 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ και από 0.65 έως 1.0 kg/kg και για τα μη αποφλοιωμένα από 1.33×10^{-7} έως $4.58 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ και από 1.53 έως 1.63 kg/kg ενώ ο

μέσος συντελεστής διάχυσης (\bar{D}_{eff}) κυμάνθηκε μεταξύ 3.95×10^{-9} έως $6.94 \times 10^{-9} m^2/s$ για τα μη αποφλοιωμένα και μεταξύ 9.08×10^{-9} έως $1.90 \times 10^{-8} m^2/s$ για τα αποφλοιωμένα. Σε όλες τις πειραματικές περιπτώσεις οι τιμές του μέσου συντελεστή διάχυσης για τα αποφλοιωμένα δείγματα ήταν μεγαλύτερη όπως αναμενόταν από την αντίστοιχη τιμή των μη αποφλοιωμένων. Οι τιμές των μέσων \bar{D}_{eff} ανήκουν στο εύρος των αντιστοίχων τιμών αποξηραινόμενων αγροτικών προϊόντων (10^{-11} - $10^{-8} m^2/s$). Οι τιμές των E_a και ακαθώς και του k_m εξαρτώνται από μια σειρά παραμέτρων που αφορούν τόσο το προϊόν (ύπαρξη φλοιού ή όχι, αποξηρανση ολόκληρου ή σε τεμάχια) όσο και τις συνθήκες ξήρανσης (ταχύτητα, θερμοκρασία και κατεύθυνση του αέρα ξήρανσης, ηλιακή ή τεχνητή ξήρανση) οπότε η υιοθέτηση των τιμών αυτών για τις ποικιλίες βερίκοκων που προορίζονται για ξήρανση αλλά και τις διάφορες συνθήκες ξήρανσης θα πρέπει να γίνεται με προσοχή μετά από πειραματικές και *in silico* μελέτες οι οποίες θα καλύπτουν το εύρος των παραπάνω περιπτώσεων.



Σχήμα 2. Πειραματικές και προβλεπόμενες (pr) τιμές μη αποφλοιωμένων (MF) και αποφλοιωμένων (XF) βερίκοκων στους $55^{\circ}C$ και ταχύτητα αέρα 1.0 (m/s).

Ο αντίστροφος του συντελεστή μεταφοράς μάζας (k_m) όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί την εξωτερική (στα αποφλοιωμένα δείγματα) ή επιφανειακή (μη αποφλοιωμένα δείγματα) αντίσταση (r_{surf} και r_{peel} αντίστοιχα) στη μεταφορά μάζας. Οι τιμές του συντελεστή k_m και αυτές της επιφανειακής αντίστασης r_{peel} και r_{surf} παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

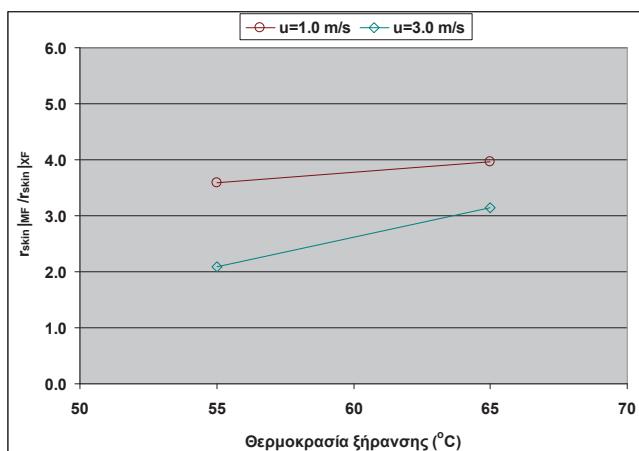
Πίνακας 1. Συντελεστής μεταφοράς μάζας (k_m) και η επιφανειακή αντίσταση (r_{surf} και r_{peel}) σε αποφλοιωμένα και μη βερίκοκα

Θερμοκρασία (°C)	Ταχύτητα αέρα (m/s)	ΧΩΡΙΣ ΦΛΟΙΟ		ΜΕ ΦΛΟΙΟ			$r_{peel} _{MF}/r_{surf} _{XF}$
		k_m (m/s)	$r_{surf} \times 10^5$ (s/m)	k_m (m/s)	$r_{peel} \times 10^5$ (s/m)	$r_{peel} _{MF}/r_{surf} _{XF}$	
55	1.0	4.78×10^{-7}	20.9	1.33×10^{-7}	75.2	3.60	
55	3.0	5.38×10^{-7}	18.6	2.58×10^{-7}	38.8	2.09	
65	1.0	1.29×10^{-6}	7.8	3.24×10^{-7}	30.8	3.97	
65	3.0	1.44×10^{-6}	6.9	4.58×10^{-7}	21.8	3.14	

Αν και αντίστοιχες εργασίες που να υπολογίζουν την επιφανειακή αντίσταση στην κίνηση του νερού κατά την ξήρανση δεν βρέθηκαν στη βιβλιογραφία, η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε βάσει αντίστοιχων αποτελεσμάτων των Pham et al., 2009 για την κίνηση αερίων (μίγμα αέρα-αιθανίου) σε μήλα 'Jonica' κατά την ψυχροσυντήρησή τους η οποία αποσκο-

πούσε στη μελέτη της αντίστασης του φλοιού στην κίνηση των αναπνευστικών αερίων O_2 και CO_2 . Αν και τα αποτελέσματά τους δεν μπορούν να θεωρηθούν άμεσα συγκρίσιμα, η τάξη μεγέθους του συντελεστή k_m είναι ίδια με τον αντίστοιχο συντελεστή που υπολόγισαν οι Pham et al. (2009) στο εύρος $5.0-20.0 \times 10^{-7}$ m/s ενώ στην παρούσα εργασία κυμάνθηκε μεταξύ $4.78-14.4 \times 10^{-7}$ m/s. Αντίστοιχες τιμές σημειώθηκαν και για την επιφανειακή αντίσταση που στην παρούσα εργασία κυμάνθηκαν μεταξύ $21.8 \times 10^5-75.2 \times 10^5$ s/m για τα βερίκοκα με φλοιό ενώ στα αποφλοιωμένα η επιφανειακή αντίσταση, όπως αναμενόταν, ήταν αρκετά μικρότερη και κυμάνθηκε μεταξύ $6.9-20.9 \times 10^5$ s/m. Αν και ως απόλυτα μεγέθη, οι τιμές της επιφανειακής αντίστασης δεν μπορούν να δώσουν κάποιο φυσικό νόημα, το πηλίκο $r_{peel}|_{MF/r_{surf}|_{XF}}$ όπως αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 3 δείχνει ότι και στις δυο περιπτώσεις μεταξύ των 55 και 65 °C παρουσιάστηκε αύξηση της σχετικής αντίστασης.

Η αύξηση της σχετικής αυτής αντίστασης ήταν κατά 10% (η σχετική επιφανειακή αντίσταση των μη αποφλοιωμένων βερίκοκων από 3.6 φορές μεγαλύτερη των αποφλοιωμένων έγινε σχεδόν 4-πλασια) στην περίπτωση του 1.0 m/s και αντίστοιχα 50% στην περίπτωση των 3.0 m/s (η σχετική επιφανειακή αντίσταση των μη αποφλοιωμένων βερίκοκων από περίπου 2-πλάσια των αποφλοιωμένων έγινε σχεδόν 3-πλασια). Η αύξηση της σχετικής αντίστασης και στις δύο ταχύτητες βαίνει μειούμενη γεγονός που υποδηλώνει ότι η μείωση της αντίστασης στο φλοιό μέσω ειδικών χειρισμών έχει νόημα σε ηπιότερες θερμοκρασίες ξήρανσης <65 °C ενώ στην αντίθετη περίπτωση η μείωση της αντίστασης της φλούδας σε υψηλές θερμοκρασίες >65 °C δεν έχει σημαντική επίδραση και αυξάνει το κόστος παραγωγής. Βέβαια για να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και μικροσκοπικές παρατηρήσεις για να επιβεβαιωθούν και οπτικά οι δομικές μεταβολές του φλοιού οι οποίες οδηγούν σε αντίστοιχες μεταβολές της επιφανειακής αντίστασης.



Σχήμα 3. Σχετική μεταβολή της αντίστασης μεταξύ αποφλοιωμένων και μη συναρτήσει της θερμοκρασίας ξήρανσης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το προτεινόμενο υπολογιστικό μοντέλο έχει τη δυνατότητα να εκτιμά αρκετά καλά τα πειραματικά δεδομένα ξήρανσης εφόσον το υπολογιζόμενο ΜΣΣ σε όλες τις περιπτώσεις δεν ξεπέρασε το 3.5%. Ο υπολογιζόμενος μέσος συντελεστής διάχυσης κυμάνθηκε μεταξύ $9.08 \times 10^{-9}-1.90 \times 10^{-8}$ (m²/s) για τα αποφλοιωμένα βερίκοκα και $3.95 \times 10^{-9}-6.94 \times 10^{-9}$ m²/s για τα μη αποφλοιωμένα βερίκοκα. Ο υπολογισμός του λόγου $r_{peel}|_{MF}/r_{surf}|_{XF}$ έδειξε ότι μεταξύ των 55 και 65 °C παρουσιάστηκε αύξηση της σχετικής αντίστασης. Η αύξηση της σχετικής αντίστασης ήταν κατά 10% στην περίπτωση των 1.0 m/s και αντίστοιχα 50% στην περίπτωση των 3.0 m/s. Η αύξηση της σχετικής αντίστασης και στις

δύο ταχύτητες τείνει να μειωθεί γεγονός που υποδεικνύει ότι η μείωση της αντίστασης στο φλοιό μέσω ειδικών χειρισμών έχει νόημα σε ηπιότερες θερμοκρασίες ξήρανσης <65 °C ενώ στην αντίθετη περίπτωση η μείωση της αντίστασης της φλούδας σε υψηλές θερμοκρασίες >65 °C δεν έχει σημαντική επίδραση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AOAC, 1997. *Official Methods of Analysis*, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Grabowski, S.G., Marcotte, M and Ramaswamy, S.H., 2003. *Drying of fruits, vegetables and spices*. In: A. Chakraverty, A.S. Mujumdar, G.S.V. Raghavan and H.S. Ramaswamy (eds), *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea and spices*. Marcel Dekker, Inc. New York, 653-695.
- Λέντζου Δ., 2015. *Μελέτη της αντίστασης του φλοιού νωπών σύκων στο ρυθμό ξήρανσης με ρεύμα θερμού αέρα*. Μεταπτυχιακή εργασία, Γ.Π.Α., 80 σελ. (αδημοσίευτη).
- Maskan, M., 2001. *Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying*. Journal of Food Engineering, 48(2), 169-175.
- Mayor L. and Sereno A.M., 2004. *Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review*. Journal of food engineering, 61, 373-386
- Pham, Q.T., Bulens, I., Ho, T.Q., Verlinde, B.E., Verboven, P. and Nicolai, B., 2009. *Simultaneous measurement of ethane diffusivity and skin resistance of 'Jonica' apples by efflux experiment*. Journal of food engineering, 95, 471-478.
- Quintero-Ramos, A., De La Veja, C., Hernandez, E., and Anzaldua- Morales, A., 1993. *Effect of conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices*. Aiche Symposium Series, 89, 108–113.
- Sabarez, H.T., 2012. *Computational modeling of the transport phenomena occurring during convective drying of prune*. Journal of food engineering, 111, 279-288.
- Schotmans, W., Verlinden, B.E., Lammertyn, J., Peirs, A., Janksok, P.T., Scheerlink, N., Nicolai, B.M., 2002. *Factors affecting skin resistance measurements in pipfruit*. Postharvest Biology and Technology, 25, 169–179.
- Van der Sman, R.G.M., 2003. *Simple model for estimating heat and mass transfer in regular-shaped foods*. Journal of food engineering, 60, 383-390.
- Xanthopoulos G., Lambrinos Gr., and Manolopoulou H. (2007): *Evaluation of thin layer Models for mushroom (*Agaricus Bisporus*) Drying*. Drying technology, 25: 1471-1481.
- Xanthopoulos G., Yanniotis S., and Lambrinos Gr., 2009. *Water diffusivity and drying kinetics of air drying of figs*. Drying Technology, 27(3), 502-512.
- Xanthopoulos, G., Yanniotis, S. and Boudouvis, A.G., 2012. *Numerical simulation of variable water diffusivity during drying of peeled and unpeeled tomato*. Journal of food science, 77(10), E287-E296.
- Xanthopoulos G., Nastas C.V., Boudouvis A.G. and Aravantinos-Karlatos E., 2014. *Color and Mass Transfer kinetics during air drying of pretreated oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus* spp)*. Drying Technology: An International Journal, 32 (1), 77-88.

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΓΑΛΛΙΚΗΣ ΣΑΛΑΤΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΨΥΧΡΟΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Π. Δριμιλής¹, Ε. Μανωλοπούλου², Γ. Λαμπρίνος^{1,✉}, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος¹

¹Γ.Π.Α., Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75-11155 Αθήνα, ✉ refrigerenergy@hua.gr

²ΤΕΙ Πελοποννήσου, Τμήμα Τ.Γ, 24100 Αντικάλαμος, Καλαμάτα

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της φυσιολογικής συμπεριφοράς μαρουλιού τύπου "γαλλικής σαλάτας (cv. Medusa) σε διαφορετικές θερμοκρασίες (0°C , 10°C και 20°C) και σε διαφορετικές σχετικές υγρασίες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμοκρασία συντήρησης και η σχετική υγρασία διαφοροποιούν σημαντικά την αναπνευστική δραστηριότητα της σαλάτας. Ωστόσο κάτω από ίδιες θερμοκρασιακές συνθήκες οι χαμηλές σχετικές υγρασίες οδηγούν σε αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, παράλληλα με την αύξηση των απωλειών. Οι δύο σειρές από διαδοχικές εποχιακά καλλιέργειες εμφάνισαν σημαντικές στατιστικά διαφορές, γεγονός που πρέπει να προβληματίζει για τη μετασυλλεκτική συμπεριφορά ευαίσθητων προϊόντων που προέρχονται από διαφορετική εποχή καλλιέργειας ή διαφορετικό χέρι συλλογής.

Λέξεις κλειδιά: Γαλλική σαλάτα, Ψυχροσυντήρηση, Αναπνευστική δραστηριότητα, Απώλεια μάζας

THE BEHAVIOUR OF FRENCH SALAD AT VARIOUS COLD STORAGE CONDITIONS

P. Drimilis¹, H. Manolopoulou², G. Lamprinos^{1,✉}, E. Aravantinos-Karlatos¹

¹Agricultural University of Athens, Department of Natural Resources Development & Agricultural Engineering, 75 Iera Odos Str., 118 55, Athens, Greece, ✉ refrigerenergy@hua.gr

²Technological Educational Institute of Peloponnisos, Antikalamos, 24 100 Kalamata,

Abstract

The aim of this paper is the study of the physiological behaviour of French salad (cv. Medusa) stored in three different temperatures (0°C , 10°C and 20°C) and three different relative humidities. The results indicate that storage temperature and relative humidity significantly affect the respiratory activity of French salad. It was observed that under the same temperature, low humidity levels can lead to a stress-induced increase in respiratory activity, as well as mass loss. The considerable statistical differences between the results of the two experimental series suggest that we need to take into consideration the postharvest behaviour of sensitive off-season or different-harvest fruits and vegetables.

Key words: French salad, Cold storage, Respiration, Mass loss

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα νωπά φρούτα και λαχανικά χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Η μείωση της θερμοκρασίας αποσκοπεί στη μείωση της βιολογικής δραστηριότητας, στον περιορισμό των απωλειών μάζας (κυρίως υγρασίας) και τελικά στη διατήρηση της ποιότητας και στην αύξηση του χρόνου συντήρησης (Lutz and Hardenburg, 1968 ; Woods, 1990).

Οι απώλειες που οφείλονται στις φυσιολογικές διεργασίες των φρούτων και λαχανικών δεν μπορούν να εξαλειφθούν. Οι απώλειες όμως που οφείλονται στους περιβαλλοντικούς παράγοντες μπορούν να ελεγχθούν.

Στο μαρούλι καθώς και σε άλλα λαχανικά, όπως τα μανιτάρια, παρατηρήθηκε ότι η υψηλή υγρασία στο θάλαμο συντήρησης, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τον περιορισμό των απωλειών μάζας του προϊόντος (Saltveit, 1997). Οι φυσιολογικοί παράγοντες απώλειας μάζας, διαπνοή του παραγόμενου νερού συν οξειδούμενο υπόστρωμα, σχετίζονται με την αναπνευστική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Οι φυσικές απώλειες νερού με διάχυση αφορούν την αφυδάτωσή του καρπού λόγω ελλείμματος πίεσης υδρατμών, μέγεθος που εξαρτάται τόσο από την θερμοκρασία όσο και από την υγρασία του θαλάμου. Σε όλα τα μετασυλλεκτικά στάδια η σχετική υγρασία θα πρέπει να είναι υψηλή για μείωση της απώλειας νερού (Ryall 1979 ; Kays, 1991).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς μαρουλιού τύπου "γαλλικής σαλάτας" (ποικιλία Medusa) κατά τη συντήρησή του σε θερμοκρασίες 0°C, 10°C και 20°C και σε διαφορετικές σχετικές υγρασίες. Εξετάστηκαν η επίδραση της θερμοκρασίας, και της σχετικής υγρασίας στην απώλεια μάζας, και στο ρυθμό αναπνοής.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την εργασία χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια, τύπου "γαλλικής σαλάτας", ποικιλίας Medusa, από δύο διαδοχικές καλλιεργητικά πειραματικές σειρές (χειμερινή και πρώιμη εαρινή). Μετά την διαλογή τα μαρούλια ταξινομήθηκαν κατά μέγεθος και ακολούθησε η ζύγιση και ο διαχωρισμός τους σε ομάδες των επτά ανά θερμοκρασία συντήρησης (0°C, 10°C και 20°C)και ανά υγρασιακό χειρισμό (αέρας, διάλυμα, νερό). Για τη δημιουργία μέσων και υψηλών υγρασιών σε κάθε θάλαμο, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά στεγανά κελιά, μέσα στα οποία δημιουργήθηκαν συγκεκριμένες σχετικές υγρασίες με τη βοήθεια υπέρκορων διαλυμάτων αλάτων (ένυδρο MgCl₂, KOH, NaOH και NaCl).

Η θερμοκρασία και η υγρασία στους θαλάμους και στα κελιά καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo 8H (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων. Η ακρίβεια του συστήματος ήταν ±0.35°C για την καταγραφή της θερμοκρασίας και ± 2% για την καταγραφή της σχετικής υγρασίας.

Οι εκτιμήσεις της αναπνευστικής δραστηριότητας πραγματοποιήθηκαν με τη φορητή διάταξη RICLOS (Λαμπρινός & Μητρόπουλος, 2004; Λαμπρινός & Μητρόπουλος, 2006) μέτρησης CO₂ σε κλίμακα 0-5,000 ppm CO₂, με διακριτική ικανότητα 25 ppm και ακρίβεια ± 0,5%. Η μέτρηση της μάζας πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό AND ακριβείας ±0.01 g. Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής και η καταγραφή της μάζας των προϊόντων γινόταν καθημερινά, σε κάθε συνθήκη συντήρησης.

Μετά το τέλος κάθε πειραματικής σειράς, έγινε στατιστική επεξεργασία με το πρόγραμμα STATGRAPHICS Centurion XVI σε επίπεδο σημαντικότητας P≤0.05.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

3.1. Αναπνοή

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αναπνευστικής δραστηριότητας της γαλλικής σαλάτας σε διαφορετικές θερμοκρασιακές και υγρασιακές συνθήκες για τις δύο πειραματικές σειρές παρουσιάζονται στους Πίνακες 1 και 2.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα αναπνευστικής δραστηριότητας 1^{ης} σειράς για την μέση καταγεγραμμένη θερμοκρασία και υγρασία ανά χειρισμό

Θ°C	RH %	RR _{CO2} (ml/100g/h)		
		RR max	RRmin	RR mean
1.8	73	2.51	0.3	0.86
1.3	81	2.46	0.44	0.833
2.1	92	0.795	0.425	0.473
10.3	61	1.345	0.9	1.12
10.4	85	1.156	0.924	1.048
10.4	91	1.252	0.835	1.1
21.2	44	2.221	2.066	2.146
21	84.2	4.038	1.962	3.179
20.4	95.1	2.192	1.412	1.711

Πίνακας 2. Αποτελέσματα αναπνευστικής δραστηριότητας 2^{ης} σειράς για την μέση καταγεγραμμένη θερμοκρασία και υγρασία ανά χειρισμό

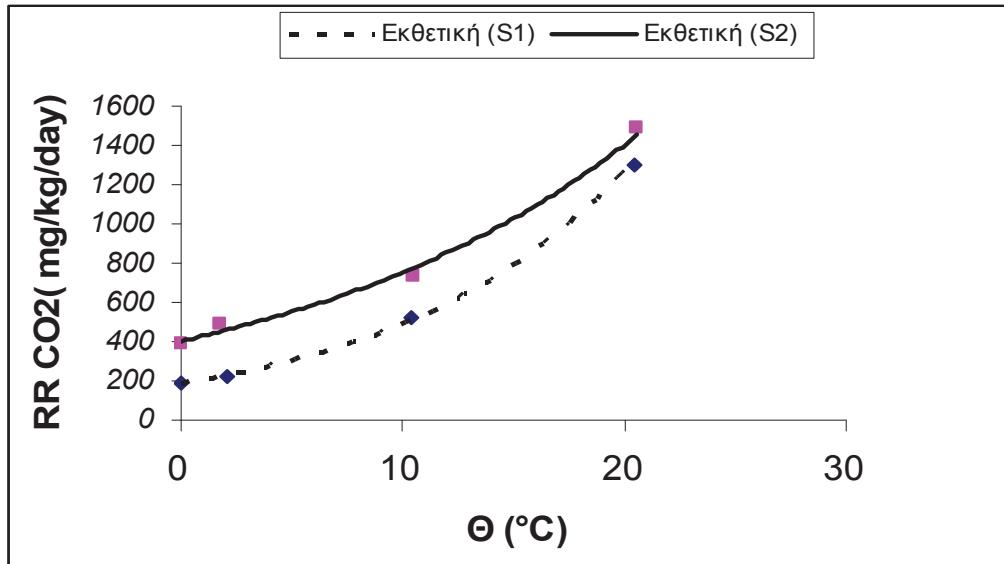
Θ°C	RH %	RR _{CO2} (ml/100g/h)		
		RR max	RRmin	RR mean
1.3	71	1.748	0.93	1.1
1.7	78.2	4.6	1.09	1.013
2	95.02	1.748	0.89	1.009
10.2	73.3	2.576	0.625	1.475
10.4	82.2	2.5	1.08	1.255
10.5	96.4	2.58	0.93	1.128
20.9	54	3.581	3.02	3.226
20.6	75.25	2.699	2.161	2.44
20.6	96.6	3.534	2.61	3.102

Παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση του ρυθμού αναπνοής με τη θερμοκρασία συντήρησης, κάτι το οποίο επιβεβαιώνει και η στατιστική επεξεργασία. Τα αποτελέσματα της αναπνευστικής δραστηριότητας στις υψηλές μόνο υγρασίες (91.0%<RH<96.6%), οδηγούν σε εκθετική συσχέτιση αναπνοής και θερμοκρασίας, με υψηλό συντελεστή προσδιορισμού και για τις δύο σειρές, σχέσεις (1), (2), αντίστοιχα:

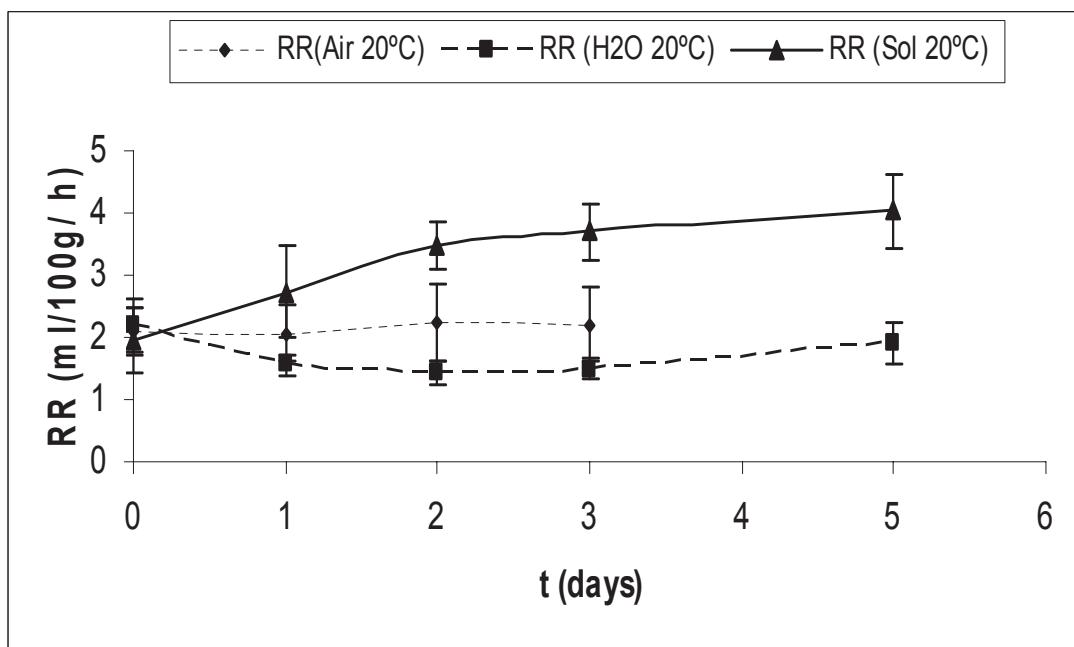
$$RR_{CO2}(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}) = 188.82 e^{0.0952\theta} \quad (R^2=0.999) \quad (1)$$

$$RR_{CO2}(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}) = 389.92 e^{0.0605\theta} \quad (R^2=0.915) \quad (2)$$

Οι αντίστοιχες καμπύλες (Σχήμα 1) έχουν διαφορετική αφετηρία ($\theta=0^\circ\text{C}$), συγκλίνουν δε καθώς η θερμοκρασία αυξάνει.



Σχήμα 1. Η μεταβολή της αναπνευστικής δραστηριότητας γαλλικής σαλάτας με τη θερμοκρασία συντήρησης ($S1=1^{\circ}$ και $S2=2^{\circ}$ πειραματική σειρά).



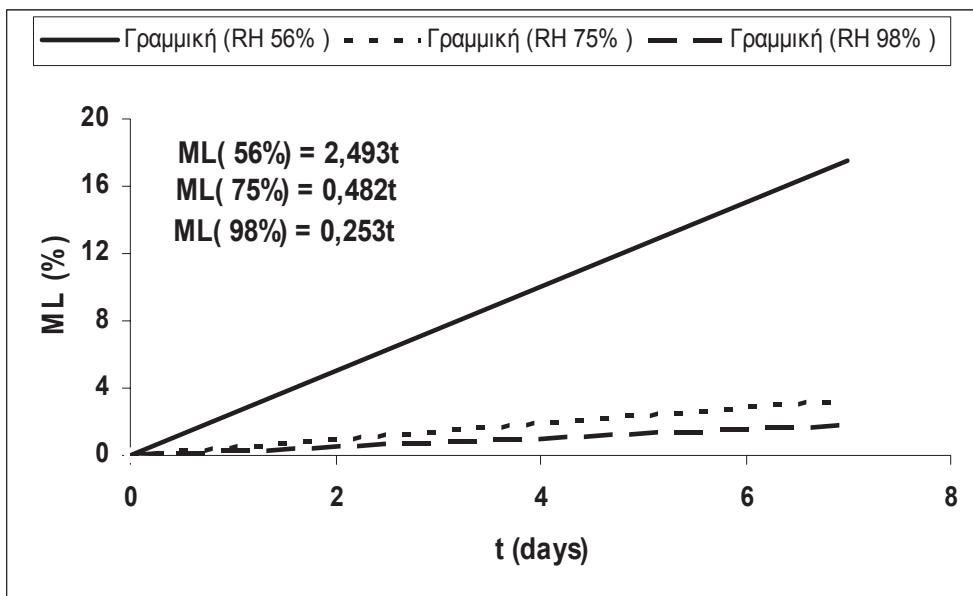
Σχήμα 2. Η διαφοροποίηση της αναπνευστικής δραστηριότητας σαλάτας με την υγρασία σε θερμοκρασία 20°C (1° πειραματική σειρά).

Ο δεύτερος παράγων ο οποίος επηρεάζει το ρυθμό αναπνοής της σαλάτας είναι η υγρασία όπως έδειξε και η στατιστική ανάλυση. Η χαμηλή υγρασία εντείνει την αναπνευστική δραστηριότητα φαινόμενο πιο εμφανές στις υψηλές θερμοκρασίες συντήρησης (Σχήμα 2).

3.1. Απώλειες μάζας

Οι απώλειες μάζας ML (%) σ' όλες τις συνθήκες (Σχήμα 3) παρουσιάζονται ως μία γραμμική μεταβολή με τον χρόνο t (days) με πολύ υψηλούς συντελεστές προσδιορισμού ($0,879 < R^2 < 0,999$). Τα αποτελέσματα αυτά των απωλειών μάζας της γαλλικής σαλάτας σε διαφορε-

τικές θερμοκρασιακές και υγρασιακές συνθήκες για τις δύο σειρές πειραμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.



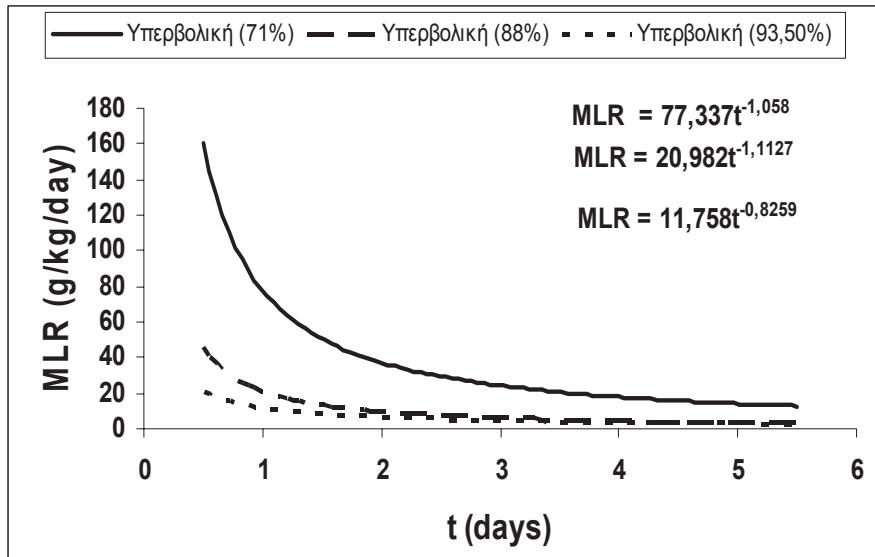
Σχήμα 3. Μεταβολή των απωλειών μάζας γαλλικής σαλάτας (2^η σειρά) συντηρούμενης στους 20°C σε τρεις διαφορετικές σχετικές υγρασίες.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα απωλειών μάζας της γαλλικής σαλάτας 1^{ης} και 2^{ης} σειράς για τη μέση καταγεγραμμένη θερμοκρασία και υγρασία ανά χειρισμό

ΣΕΙΡΑ 1				ΣΕΙΡΑ 2			
Θ°C	RH %	A	R ²	Θ°C	RH %	A	R ²
1.8	73	2.146	0.9587	1.3	71	1.256	0.9588
1.3	81	0.916	0.9144	1.7	78.2	0.978	0.9327
2.1	92	0.774	0.9523	2	95.02	0.373	0.9539
10.3	61	2.586	0.9552	10.2	73.3	1.344	0.9548
10.4	85	1.228.	0.8788	10.4	82.2	1.264	0.9658
10.4	91	0.856	0.9599	10.5	96.4	0.446	0.9398
21.2	44	5.043	0.9766	20.9	54	2.494	0.9963
21	84.2	1.99	0.9294	20.6	75.25	0.482	0.9993
20.4	95.1	0.999	0.9449	20.6	96.6	0.253	0.9985

Για κάθε χειρισμό παρουσιάζεται ο συντελεστής A και ο συντελεστής προσδιορισμού R² της σχέσης ML=A τ που εκφράζει τις απώλειες. Ο ρυθμός απωλειών μάζας κατά τη συντήρηση βαίνει μειούμενος με το χρόνο συντήρησης με υπερβολική (γεωμετρική) μορφή (Σχήμα 4) τείνοντας προς μία ασύμπτωτη τιμή.

Από τη στατιστική ανάλυση (ANOVA) προέκυψε ότι οι παράγοντες που επηρέασαν τις απώλειες μάζας ήταν η θερμοκρασία και η υγρασία του χώρου συντήρησης, όπως άλλωστε αναμενόταν, αφού οι δύο αυτοί παράγοντες καθορίζουν το έλλειμμα πίεσης υδρατμών. Η ανάλυση διασποράς έδειξε επίσης διαφορές μεταξύ των πειραματικών σειρών.



Σχήμα 4. Μεταβολή του ρυθμού απωλειών μάζας γαλλικής σαλάτας (1^η σειρά) συντηρούμενης στους 0°C σε τρεις διαφορετικές σχετικές υγρασίες.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θερμοκρασία συντήρησης διαφοροποιεί την αναπνευστική δραστηριότητα της σαλάτας. Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο περιορίζεται ο ρυθμός αναπνοής όπως και οι απώλειες. Οι χαμηλές σχετικές υγρασίες συντήρησης, οδηγούν σε αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας της γαλλικής σαλάτας.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την απώλεια βάρους είναι η θερμοκρασία και η υγρασία. Οι απώλειες μάζας αυξάνονται γραμμικά με το χρόνο συντήρησης σε κάθε περίπτωση (διαφορετικές σχετικές υγρασίες και θερμοκρασίες). Ο ρυθμός όμως απώλειας μάζας μειώνεται με το χρόνο συντήρησης υπερβολικά τείνοντας προς μία σταθερή τιμή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kays, S.J., 1991. *Postharvest physiology of perishable plant products*. Ed.Van Nostrand Reinhold, New York, 532pp.
- Λαμπρινός, Γ. και Μητρόπουλος, Δ., 2004. *Φορητή συσκευή και μέθοδος Μέτρησης του ρυθμού αναπνοής καρπών. Οργανισμός Βιομηχανικής Ιδιοκτησίας (OBI)*. Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας Αριθμ. 1004590/2004.
- Λαμπρινός, Γ., Μανωλοπούλου, Ε. και Μητρόπουλος, Δ., 2006. *Αναπνευστικός θάλαμος, Φορητή συσκευή και Μέθοδος Μέτρησης του Ρυθμού Αναπνοής Καρπών*, ΔΕ αριθ. 1005205 / 02-05-2006.
- Lutz, J.M. and Hardenburg, R.E., 1968. *The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery crops*. USDAgr. Handbook 66, 94pp.
- Ryall, A.A., 1979. *Handling, transportation and storage of fruits and vegetables*. Vol. 1. Vegetables and melons. AVI, Westport, 610pp.
- Saltveit, M.E., 1997. *A summary of A and MA recommendations for harvested vegetables*. In: M.E. Saltveit (ed) *Vegetables and ornamentals. Postharvest Hort. Series No 18*, Univ. Calif. Davis CA, CA'97Proc. 4, 98-117.
- Woods J. I., 1990. *Moisture loss from fruits and vegetables*. Postharvest News and Information, 1(3), 195-199.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΑΡΠΟΥΖΙΟΥ

**Σ. Αποστολίδη¹, Δ. Λέντζου¹, Ε. Μανωλοπούλου², Γ. Λαμπρινός^{1,✉}, Σ. Φουντάς¹,
Γ. Ξανθόπουλος¹, Ε. Αραβαντινός-Καρλάτος¹**

¹Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Αγροτικής Παραγωγής Υποδομών & Περιβάλλοντος,
Τμήμα ΑΦΠ-ΓΜ, Ιερά Οδός 75, 11155 Αθήνα, refrigerenergy@hua.gr

²ΤΕΙ Πελοποννήσου, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων και Διατροφής,
Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Αντικάλαμος 24100, Καλαμάτα

Σκοπός της εργασίας ήταν να μελετηθεί η μεταβολή των ποιοτικών χαρακτηριστικών καρπουζιών Μεσσηνιακής προέλευσης, κατά τη διάρκεια δύο καλλιεργητικών περιόδων σε δύο εδαφολογικά γειτονικούς αγρούς (αμμώδης αργιλοπηλός και αμμώδης πηλός) κατά τη ψυχροσυντήρησή τους στους 10 και 20 °C. Η επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξαν ότι η υφή της σάρκας επηρεάστηκε σημαντικά από την εδαφική σύσταση ενώ η υφή του περικαρπίου επηρεάστηκε σημαντικά από τη θερμοκρασία συντήρησης. Η χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης (10 °C) συνέτεινε στη διατήρηση του χρώματος της σάρκας ενώ στους 20 °C ο χρωματικός παράγοντας b* αυξήθηκε γρήγορα προσδίδοντας στη σάρκα του καρπουζιού κοκκινοκίτρινο χρώμα.

Λέξεις κλειδιά: Καρπούζι, Εδαφική σύσταση, Ψυχροσυντήρηση, Ποιοτικά χαρακτηριστικά

EFFECT OF THE SOIL CONSISTENCY IN THE COLD STORAGE OF WATERMELON

**S. Apostolidi¹, D. Lentzou¹, E. Manolopoulou², G. Lamprinos^{1,✉}, S. Fountas¹,
G. Xanthopoulos¹, E. Aravantinos-Karlatos¹**

¹Agricultural University of Athens, School of Agricultural Production Infrastructure & Environment,
Dep. of NRM & AE, 75 Iera Odos Str., Athens, Greece 11855, tel. +30 210 5294031,
fax. +30 210 5294032, refrigerenergy@hua.gr

²Technological Educational Institute of Kalamata, School of Agricultural Technology & Food
Technology and Nutrition, Dep. of Agricultural Technology, Antikalamos, 24100 Kalamata

Aim of this study was to investigate the change in quality characteristics of watermelons, of Messinian origin, during two growing seasons in two adjacent soil fields (sandy clay loam and sandy loam) during cold storage at 10 and 20 °C. Analysis of the results showed that the flesh texture was significantly affected by the soil consistency while pericarp texture by the storage temperature. The low storage temperature (10 °C) maintain the colour of the flesh while at 20 °C the chromatic factor b * increased rapidly giving in watermelon flesh a red-yellowish colour.

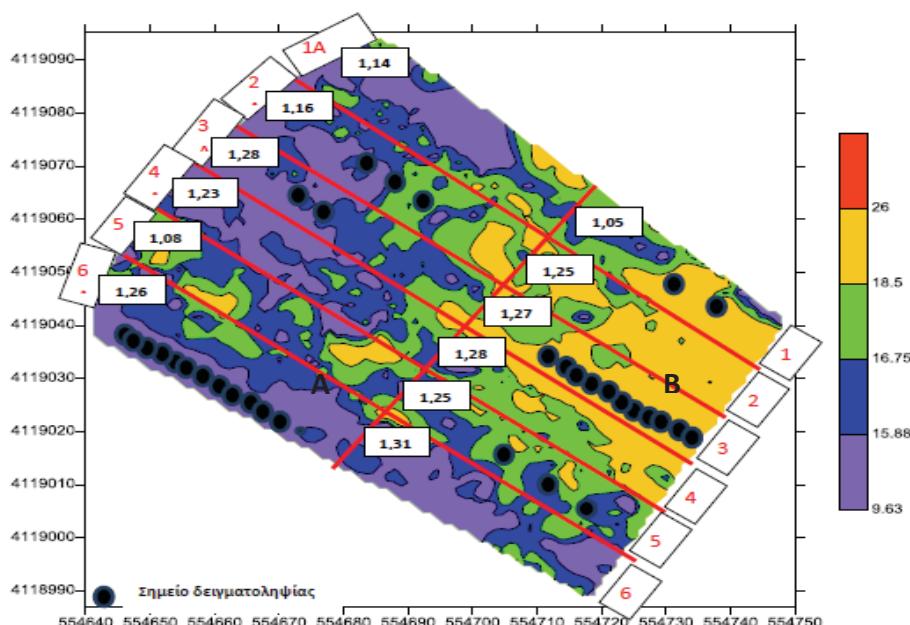
Keywords: Watermelon, Soil consistency, Cold storage, Quality characteristics

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εγχώρια μεταφορά και εμπορία του καρπουζιού συνήθως γίνεται χωρίς ψύξη. Η ψύξη του καρπού αυτού απαντάται μόνο κατά τις εξαγωγές. Η συντήρηση πάντως με ψύξη μπορεί να παρατείνει σημαντικά την εμπορική ζωή του καρπουζιού (Radulović, et al 2005; Petrou et al., 2013). Με τις συνθήκες συντήρησης του φρούτου αυτού ασχολήθηκε η βιβλιογραφία αρκετά πριν σαράντα με πενήντα περίπου χρόνια (Showalter, 1960; Leupeschen, 1961; Dow et al., 1978; Chisholm and Picha, 1986; Hardenburg et al., 1986). Τις τελευταίες δεκαετίες η έρευνα που αφορά στη συντήρηση του καρπουζιού έχει απονήσει (Risse et al., 1990). Οι ερευνητές ασχολούνται τα τελευταία χρόνια περισσότερο με τις χρωστικές (Perkins-Veazie and Collins 2003, 2006), τις μη καταστροφικές μεθόδους ελέγχου της ποιότητας (Muramatsu et al, 1999) και την έτοιμη σαλάτα καρπουζιού(Gil et al, 2006; Artés-Hernández et al, 2010; Petrou et al., 2013). Σκοπός της ερευνητικής αυτής εργασίας είναι να διερευνηθεί ο ρόλος της σύστασης του εδάφους στη συντηρησιμότητα του καρπουζιού.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

Καρποί καρπουζιού (*Citrullus vulgaris*, cv Crisby) μέσου βάρους 8-10 kg συλλέχθηκαν στα μέσα Μαΐου του 2013 και του 2014 στα Φιλιατρά Μεσσηνίας από δύο καλλιεργητικά τεμάχια του ιδίου αγρού αλλά διαφορετικής εδαφολογικής σύστασης (Σχήμα 1). Από το αγροτεμάχιο A του οποίου η σύσταση χαρακτηρίζεται ως αιμμώδης αργιλοπηλός (SCL), με περιεκτικότητα σε άμμο 52% και άργιλο 22% και με μέση αγωγιμότητα 10 ECa και από το αγροτεμάχιο B του οποίου η σύσταση χαρακτηρίζεται ως αιμμώδης πηλός (SL), με περιεκτικότητα σε άμμο 70% και άργιλο 14% και με μέση αγωγιμότητα 20 ECa. Η σπορά του καρπουζιού στο χωράφι έγινε και τις δύο χρονιές το τελευταίο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου και η συγκομιδή το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουνίου. Η άρδευση και η λίπανση έγιναν με υδρολίπανση και ήταν ίδιες και στα δύο τεμάχια. Το μέσο βάρος των καρπουζιών στο τεμάχιο A ήταν 6,69 κιλά, ενώ στο τεμάχιο B 6,59. Το εύρος των υπό εξέταση καρπών κυμάνθηκε μεταξύ 5,67 και 8,32 κιλά. (Fountas et al., 2015; Αποστολίδη κ.α., 2015).



Σχήμα 1. Τα δύο αγροτεμάχια A και B από τα οποία συλλέχθηκαν τα δείγματα.

Κάθε χρονιά 50 καρποί από κάθε πειραματικό τεμάχιο, συλλεχθέντες τυχαία, μεταφέρθηκαν στην εργαστηριακή μονάδα Μετασυγ/κών & Μετασυλ/κών Χειρισμών του Τμήματος ΑΦΠ-ΓΜ του Γ.Π.Α., όπου μετά από έλεγχο διαστάσεων και βάρους τοποθετήθηκαν ανά 25 από κάθε κατηγορία σε ψυκτικούς θαλάμους 10 °C και 20 °C.

Σε 5 καρπούς ανά κατηγορία και θερμοκρασία γινόταν ανά εβδομάδα αφενός μεν ανάλυση χρώματος, σακχάρων και υφής της σάρκας (στο κέντρο και πλησίον του περικαρπίου), αφετέρου δε ανάλυση χρώματος και υφής του περικαρπίου.

Το χρώμα (εσωτερικό και εξωτερικό) μετρήθηκε στο σύστημα CIE L*a*b* με χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε μέτρηση γινόταν βαθμονόμηση του οργάνου με τη βοήθεια πλάκας βαθμονόμησης λευκού χρώματος ($Y=92.6$, $x=0.3135$, $y=0.3193$).

Η μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών γινόταν με επιτραπέζιο διαθλασίμετρο με δείγμα από το διηθημένο χυμό. Το διαθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ψηφιακό (SR-400) με ακρίβεια ± 0.25 Brix. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν στην έναρξη κάθε μέτρησης με απεσταγμένο νερό (0% Brix).

Η υφή της σάρκας εκτιμήθηκε με αναλυτή υφής TA-XT2i χρησιμοποιώντας κελί Kramer 5 κοπτικών λεπίδων. Η ταχύτητα του οργάνου ορίστηκε σε 1 mm s⁻¹. Τα δείγματα ελήφθησαν από δύο σημεία του καρπού: ένα στο κέντρο και ένα κοντά στο περικάρπιο(φλούδα). Τέλος η υφή του περικαρπίου εκτιμήθηκε ως αντίσταση στη διείσδυση με τον ίδιο εργαστηριακό αναλυτή, έμβολο διείσδυσης διαμέτρου 11 mm και ταχύτητα διείσδυσης 1 mm s⁻¹.

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με το πρόγραμμα Statgraphics. Σαν στατιστικό κριτήριο χρησιμοποιήθηκε το LSD σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (Πίνακας 1), έδειξε ότι ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται και από τους τέσσερις παράγοντες, (θερμοκρασία θ, χρόνο συντήρησης t, έδαφος και πειραματική σειρά), αυτός δε είναι και ο λόγος που προτάσ-

Πίνακας 1. Παράγοντες που επηρέασαν στατιστικά σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπουζιού

Χρωμ. Παράγοντες	θ (°C)	Χρόνος συντ.	Έδαφος	Πειραμ. Χρονιά
Χρώμα εξωτ.				
L*	-	+	-	-
a*	+	+	+	-
b*	+	+	-	-
Χρώμα σάρκας				
L*	-	-	-	-
a*	+	+	+	-
b*	-	+	-	-
Υφή				
Σάρκα (κέντρο)	-	-	+	+
Σάρκα (πλ. περικ)	-	-	+	+
Περικάρπιο	+	+	-	+
Ολικά Διαλυτά Στ.				
Πλησίον περικ.	+	+	-	-
κέντρο	-	-	-	-

σονται τα στατιστικά, ώστε να εξηγηθεί και γιατί κάποια ποιοτικά χαρακτηριστικά δεν αναλύονται στη συνέχεια.

Από τον πίνακα 1 συνάγεται ότι η πειραματική σειρά επηρέασε μόνο την υφή. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τα αποτελέσματα (στην έναρξη και στο τέλος της συντήρησης) των βασικών χαρακτηριστικών (μέγιστη αντίσταση στη διείσδυση και απαιτούμενο έργο) της υφής του περικαρπίου.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα (έναρξη και τέλος συντήρησης) της μέγιστης αντίστασης και του απαιτούμενου έργου διείσδυσης στο περικάρπιο του καρπουζιού

Κατηγ. Εδάφους	Θ(°C)	Χαρακτ/κό Υφής	'Έτος 2013		'Έτος 2014	
			Αρχή πειρ.	Τέλος πειρ.	Αρχή πειρ.	Τέλος πειρ.
A	10	F max (N)	151.2	136.7	290.73	319.93
		'Έργο (N.mm)	711.82	513.04	537.99	921.23
	20	F max (N)	151.2	137.15	290.73	347.33
		'Έργο (N.mm)	711.82	436.58	537.99	1431.34
B	10	F max (N)	141.36	148.23	394.08	354.12
		'Έργο (N.mm)	655.98	558.55	1757.14	1894.25
	20	F max (N)	141.36	130.5	394.08	340.68
		'Έργο (N.mm)	655.98	440.1	1757.14	1493.75
Μέγιστη τιμή Sd για Fmax και 'Έργο αντίστοιχα			3,265 & 24,597		6,44 & 82,77	

Από τον πίνακα 2 προκύπτει ότι τα δεδομένα της υφής διαφέρουν μεταξύ των δύο πειραματικών σειρών 2013 και 2014, με τα καρπούζια της 2^{ης} χρονιάς να παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές. Η υποβάθμιση της υφής με το χρόνο συντήρησης είναι σαφής μόνο κατά την πρώτη πειραματική χρονιά (2013).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα (έναρξη και τέλος συντήρησης) της μέγιστης αντίστασης και του απαιτούμενου έργου δοκιμής Kramer της κεντρικής σάρκας του καρπουζιού

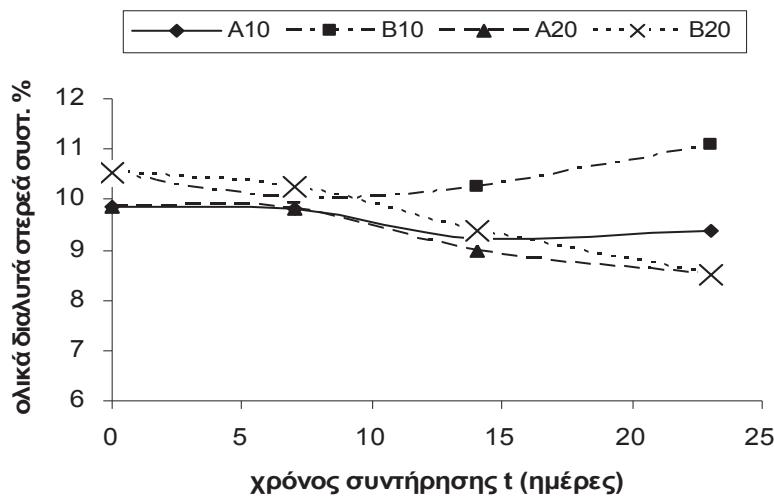
Κατηγ. Εδάφους	Θ(°C)	Χαρακτ/κό Υφής	'Έτος 2013		'Έτος 2014	
			Αρχή πειρ.	Τέλος πειρ.	Αρχή πειρ.	Τέλος πειρ.
A	10	F max (N)	137.9	137.7	195.7	168.8
		'Έργο (N.mm)	2918.4	2370.9	2759.1	2803.0
	20	F max (N)	137.9	130.2	195.7	144.6
		'Έργο (N.mm)	2918.4	2408.9	2759.1	4305.7
B	10	F max (N)	119.6	142.8	186.8	173.2
		'Έργο (N.mm)	2753.4	1759.7	2874.5	2870.4
	20	F max (N)	119.6	144.2	186.8	195.1
		'Έργο (N.mm)	2753.4	2398.4	2874.5	3391.4
Μέγιστη τιμή Sd για Fmax και 'Έργο αντίστοιχα			3,02 & 148,7		1,86 & 167,87	

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα (στην έναρξη και στο τέλος της συντήρησης) της υφής της σάρκας του κέντρου του καρπουζιού σε δοκιμές με κελί Kramer. Τόσο οι τιμές όσο και η συμπεριφορά των καρπών της δεύτερης χρονιάς παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές.

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι τιμές των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών ($^{\circ}$ brix) όλων των χειρισμών και για τις δύο καλλιεργητικές χρονιές. Η μείωση των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών με το χρόνο συντήρησης είναι εντονότερη στους 20°C . Κατά τη δεύτερη χρονιά (2014) τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά στη θερμοκρασία των 10°C διατήρησαν τη τιμή τους πρακτικά αμετάβλητη επί τέσσερες εβδομάδες (Σχήμα 1) επαληθεύοντας τα αποτελέσματα των Radulovic et al., (2005) που παρατήρησε σημαντικές απώλειες σακχάρων μετά από μία εβδομάδα συντήρησης στους 20°C .

Πίνακας 4. Μεταβολή των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών της σάρκας του καρπουζιού κατά τους διάφορους χειρισμούς

Κατηγ. εδάφους	Θ($^{\circ}\text{C}$)	Σημείο Δειγμ/ίας	'Έτος 2013		'Έτος 2014	
			Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος
A	10	Κέντρο (K)	9.5	8.8	9.85	9.38
		Πλησίον περικ.	6.5	5.8	6.98	7.43
	20	Κέντρο	9.5	8.3	9.85	8.5
		Πλησίον περικ.	6.5	5.1	6.98	6.25
B	10	Κέντρο	9.4	9.2	10.53	11.1
		Πλησίον περικ.	6.2	6.3	7.13	7.86
	20	Κέντρο	9.4	8.7	10.53	8.52
		Πλησίον περικ.	6.2	5.4	7.13	5.52
Μέγιστη τιμή Sd για Κέντρο και Πλησίον περικαρπίου αντίστοιχα			0,066 & 0,087		0,072 & 0,092	



Σχήμα 1. Μεταβολή των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών της σάρκας των καρπών καρπουζιού της 2^{ης} πειραματικής χρονιάς.

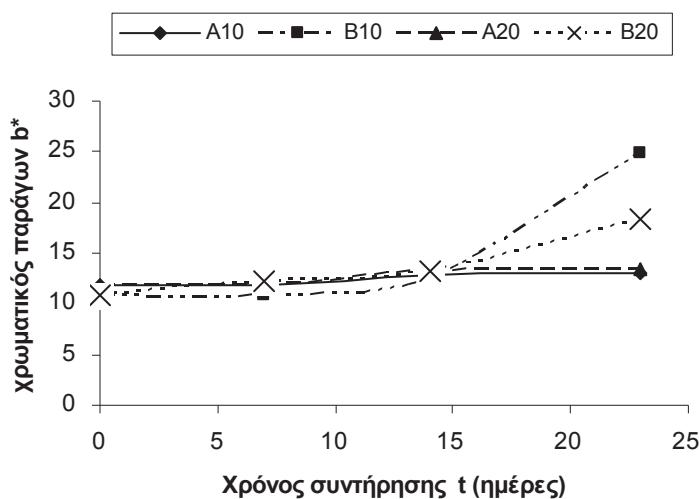
Οι Πίνακες 5 και 6 που ακολουθούν παρουσιάζουν τα αποτελέσματα (στην έναρξη και στο τέλος της συντήρησης) των δύο πλέον ενδιαφερόντων χρωματικών παραγόντων L^* και ΔE^* της σάρκας και του περικαρπίου (εξωτερικό χρώμα) αντίστοιχα του καρπουζιού.

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές μεταβολές των παραγόντων L^* και ΔE^* της σάρκας κατά τη συντήρηση του καρπουζιού. Ωστόσο, ο χρωματικός παράγων b^* (κιτρίνισμα) των καρπουζιών του αγροτεμαχίου B της 2^{ης} πειραματικής σειράς, παρουσίασε σημαντική αύξηση κατά τη συντήρηση στους 20°C (Σχήμα 2). Αυτό μπορεί να συνδεθεί εν μέρει με τα

αποτελέσματα των Perkins-Veazie και Collins (2006) οι οποίοι συμπέραναν ότι ενώ στη θερμοκρασία των 13°C οι διαφορές σε καροτινοειδή δεν είναι σημαντικές, στους 21°C υπάρχει μικρή (10-30%) αύξηση σε λυκοπίνιο και μεγάλη (50-130%) σε καρωτίνιο (β -καρωτίνιο), που είναι υπεύθυνο για το κίτρινο χρώμα.

Πίνακας 5. Μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L^* και ΔE^* της σάρκας του καρπουζιού

Κατηγ. εδάφους	Θ($^{\circ}\text{C}$)	Χρωματικός παράγων	'Έτος 2013		'Έτος 2014	
			Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος
A	10	L^*	43.39	42.81	44.451	44.954
		ΔE^*	0	4.156	0	4.145
	20	L^*	43.39	42.75	44.451	43.753
		ΔE^*	0	2.152	0	3.326
B	10	L^*	41.39	42.5	47.264	47.651
		ΔE^*	0	4.095	0	39.448
	20	L^*	41.39	45.06	47.264	43.616
		ΔE^*	0	5.106	0	35.25
Μέγιστη τιμή Sd για L^* και ΔE^* αντίστοιχα			0,743 & 0,45		0,66 & 1,12	



Σχήμα 2. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* με το χρόνο συντήρησης καρπουζιών της $2^{\text{η}}$ πειραματικής χρονιάς.

Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί στο χρώμα του περικαρπίου είναι η μείωση της φωτεινότητας L^* με το χρόνο συντήρησης την 1^η πειραματική χρονιά κατά την οποία παρατηρήθηκαν και οι μεγαλύτερες απώλειες μάζας στα συντηρηθέντα καρπούζια.

Οι μεταβολές των σημαντικότερων ποιοτικών χαρακτήρων του συντηρούμενου καρπουζιού που μέχρι στιγμής έχουν αναφερθεί (χρώμα, ολικά διαλυτά στερεά, μέγιστη αντίσταση δοκιμής Kramer), οδηγούν και στα συμπεράσματα των Risse et al., (1990), ο οποίος σε πειράματα συντήρησης άσπερμων καρπουζιών, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό εμπορεύσιμων καρπών μετά από 10 ημέρες ψυχροσυντήρησης παρατηρείται σε θερμοκρασία 10°C . Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται φυσιολογικές ασθένειες ψύχους, ενώ στις υψηλές (20°C) παρατηρείται ποιοτική υποβάθμιση.

Πίνακας 6. Μεταβολή των χρωματικών παραγόντων L^* και ΔE^* του περικαρπίου του καρπουζιού

Κατηγ. εδάφους	Θ(°C)	Χρωματικός παράγων	'Έτος 2013		'Έτος 2014	
			Αρχή	Τέλος	Αρχή	Τέλος
A	10	L^*	41.04	34.2	41.187	47.538
		ΔE^*	0	8.93	0	12.06
B	20	L^*	41.04	33.09	41.187	45.939
		ΔE^*	0	14.39	0	3.264
B	10	L^*	44.75	34.85	41.195	47.651
		ΔE^*	0	11.34	0	7.265
	20	L^*	44.75	36.73	41.195	43.616
		ΔE^*	0	12.03	0	2.92
Μέγιστη τιμή Sd για L^* και ΔE^* αντίστοιχα			0,97 & 1,19		0,79 & 0,76	

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υφή της σάρκας επηρεάζεται σημαντικά από τον παράγοντα «έδαφος». Η μέγιστη αντίσταση στη συμπίεση/διάτμηση (δοκιμή Kramer), της σάρκας των καρπών που προέρχονταν από την 1^η κατηγορία εδάφους (αμμώδης αργιλοπηλός) διατηρήθηκε καθ' όλη την περίοδο της συντήρησης των 23 ημερών τόσο στους 10°C όσο και στους 20°C. Αντίθετα η υφή της σάρκας των καρπών της καλλιέργειας στον αμμώδη πηλό (2^η κατηγορία εδάφους) παρουσίασε υποβάθμιση μετά τη 2^η εβδομάδα συντήρησης.

Ο παράγων που επηρέασε σημαντικά την υφή του περικαρπίου ήταν η θερμοκρασία συντήρησης. Η μέγιστη τιμή αντίστασης στη διείσδυση στο περικάρπιο διατηρείται πολύ καλά επί 3 εβδομάδες και για τις δύο κατηγορίες καρπών όταν αυτοί συντηρούνται στους 10°C. Η θερμοκρασία αυτή ευνοεί και τη διατήρηση των σακχάρων του καρπουζιού.

Τέλος η χαμηλή θερμοκρασία συντήρησης (10°C) αποτελεί βασικό παράγοντα διατήρησης του χρώματος της σάρκας. Στους 20°C ο χρωματικός παράγοντας b^* αυξάνει γρίγορα προσδίδοντας στη σάρκα του καρπουζιού χρώμα κοκκινοκίτρινο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αποστολίδη, Σ., Φουντάς, Σ., Αναστασίου, Ε., Ξανθόπουλος, Γ., Λαμπρινός, Γ., Μανωλόπούλου, Ε., Λέντζου, Δ., Τσιρόπουλος, Ζ., 2015. Μέτρηση Παραγωγής και Ποιότητας Καρπουζιών με τη Χρήση Γεωργίας Ακριβείας. Πρακτικά 9^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- Artés-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, P. A., Tomás-Callejas, A., and Artés, F., 2010. *Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon*. Postharvest Biology and Technology, 55(2), 114-120.
- Chisholm, D.N. and Picha, D.H., 1986. *Effect of storage on sugar and organic acid contents of watermelons*. HortScience 21, 1031- 1033.
- Dow, A. T., Segall, R. H., Hopkins, D. L. and Elmstrom, G. W., 1978. *Effects of storage temperature and field fungicide treatments on decay of Florida watermelons*. Proceedings of Fla. State Hortic. Soc, Vol. 91, 149-150.
- Fountas, S., Anastasiou, E., Xanthopoulos, G., Lambrinos, G., Manolopoulou, E., Apostolidou, S., Lentzou, D., Tsiropoulos, Z., 2015. *Precision agriculture in watermelons*. In: Proceedings of the 10th European Conference on Precision Agriculture (10ECPA), Edited by J.V.

- Stafford (Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands). July 12-16, 2015, Volcani Center, Israel.
- Gil, M. I., Aguayo, E., and Kader, A. A., 2006. *Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage*. Journal of Agricultural and Food chemistry, 54(12), 4284-4296.
- Hardenburg, R.E., Watada, A.E. and Wang, C.Y., 1986. *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks*. USDA Agr. Hdbk. 66.
- Leupschen, N.S. 1961. *The development of Mycosphaerella black rot and Pellicularia rolfsii rot of watermelons at various temperatures*. Plant Dis. Rptr. 45,557-559.
- Muramatsu, N., Sakurai, N., Wada, N., Yamamoto, R., Tanaka, K., Asakura, T., and Nevins, D. J., 2000. *Remote sensing of fruit textural changes with a laser Doppler vibrometer*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 125(1), 120-127.
- Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K., 2003. *Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon*. Postharvest Biology and Technology, 31(2), 159-166.
- Perkins-Veazie, P. and Collins, J. K., 2006. *Carotenoid changes of intact watermelons after storage*. Journal of agricultural and food chemistry, 54(16), 5868-5874.
- Petrou, P., Soteriou, G., Schouten, R. E., and Kyriacou, M. C., 2013. *Effects of rind removal on physicochemical quality characteristics of fresh-cut watermelon [Citrullus lanatus (Thunb) Matsum & Nakai] during cold storage*. International Journal of Food Science & Technology, 48(2), 357-362.
- Radulović, M., Ban, D., Sladonja, B. and Lusetić-Bursić, V., 2005. *Changes of quality parameters in watermelon during storage*. III International Symposium on Cucurbits Acta Horticulturae 731, 451-456.
- Risse, L. A. and Maynard, D. N., 1990. *Evaluation of selected seedless watermelon cultivars during storage*. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, Vol. 103, 288-291.
- Showalter, R. K., 1960. *Watermelon color as affected by maturity and storage*. Proc. Fla. State Hort. Soc. 73, 289-293.