

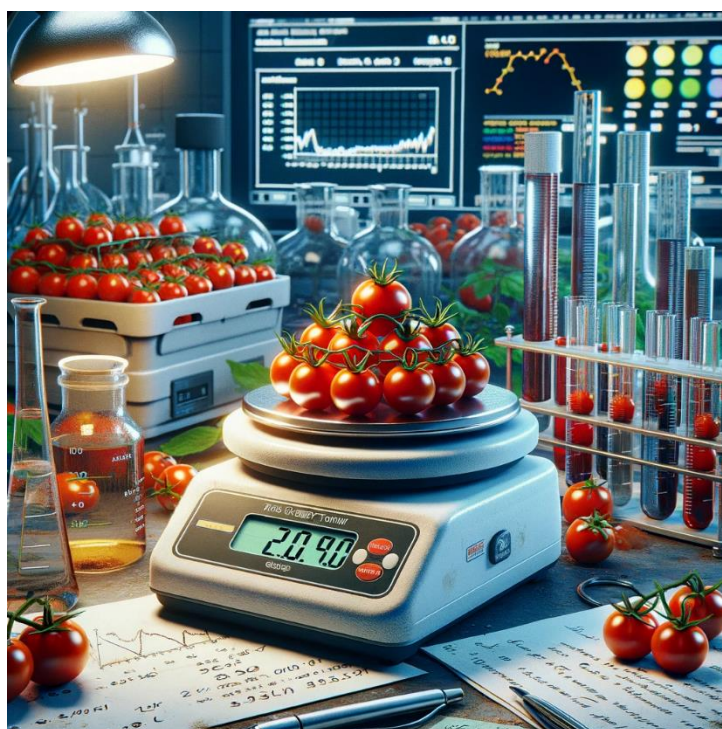


**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΟΜΕΙΣ ΑΙΧΜΗΣ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
& ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΠΩΡΟΚΗΠΕΥΤΙΚΩΝ & ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΩΝ ΕΙΔΩΝ**

Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία

Επίδραση ακτινοβολίας UV-C στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας (cv. Roma vf)



Αγγελική Σ. Νομικού

Επιβλέπων καθηγητής:

Γεώργιος Ξανθόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Αθήνα 2024

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Επίδραση ακτινοβολίας UV-C στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας (cv. ROMA vf)

Effect of UV-C radiation on the quality characteristics of chopped and whole small-sized tomatoes (cv. ROMA vf)

Αγγελική Σ. Νομικού

Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Ξανθόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Ελένη Τσαντίλη, Καθηγήτρια ΓΠΑ

Ιωάννης Καραπάνος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ

Επίδραση ακτινοβολίας UV-C στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας (cv. ROMA νf)

ΠΜΣ Τομείς Αιχμής & Καινοτόμες Εφαρμογές στην Παραγωγή & Συντήρηση Οπωροκηπευτικών & Ανθοκομικών Ειδών

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής

Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην επίδραση της ακτινοβολίας UV-C στην ποιότητα της τεμαχισμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας ποικιλίας Roma. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, χρησιμοποιώντας τομάτες τύπου cherry από τοπικό παραγωγό. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ακτινοβολία UV-C επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα των καρπών τομάτας, με τις μεγαλύτερες αλλαγές να παρατηρούνται στους τεμαχισμένους καρπούς. Από τις αναλύσεις φάνηκε ότι η διάρκεια συντήρησης, η έκθεση σε ακτινοβολία UV-C και οι χειρισμοί επηρέασαν σημαντικά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού, με τις απώλειες μάζας να αυξάνονται με την αύξηση της έκθεσης σε UV-C ακτινοβολία. Επιπλέον, από την μελέτη παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή αιθυλενίου, οι απώλειες νερού λόγω αναπνοής και ο ρυθμός αναπνοής αντίστοιχα επηρεάζονται σημαντικά από τους παραπάνω παράγοντες αλλά και από τον τεμαχισμό του καρπού. Τέλος, προκύπτουν σημαντικά στοιχεία για τη μετασυλλεκτική διατήρηση της ποιότητας και τη μείωση των απωλειών, υπογραμμίζοντας τη σημασία της διαχείρισης των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα των νωπών προϊόντων.

Επιστημονική περιοχή: Μετασυλλεκτική τεχνολογία

Λέξεις κλειδιά: Τεμαχισμένη τομάτα, ολόκληρη τομάτα, ακτινοβολία UV-C, οργανοληπτικά χαρακτηριστικά

Effect of UV-C radiation on the quality characteristics of chopped and whole small-sized tomatoes (cv. Roma vf)

MSc Top Sectors & Innovative Applications in Production & Maintenance of Fruit, Vegetable & Floricultural Species

Department of Crop Science

Laboratory of Farm machine systems

Abstract

This study investigates the effect of UV-C radiation on the quality of chopped and whole small-fruited Roma tomatoes. Cherry tomatoes from a local producer were used in the experiment, which was conducted at the Laboratory of Farm Machine Systems of the Agricultural University of Athens.. The results indicate that UV-C radiation has a significant effect on the quality of tomato fruits, with the most significant changes observed in chopped fruits. The analyses showed that fruit quality characteristics were significantly influenced by storage duration, exposure to UV-C radiation, and handling. Mass losses increased with higher UV-C exposure. The study also demonstrated that ethylene production, water losses, and respiration rate were significantly affected by these factors and by the management of preservation. Overall, important insights are provided for improving the quality and reduce losses in post-harvest handling of tomato fruit. It emphasizes the significance of managing factors that affect the quality of fresh produce.

Scientific area: Postharvest technology

Keywords: Fresh-cut tomato, tomato cherry UV-C radiation, quality characteristics

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Ξανθόπουλο για την στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια τόσο της πειραματικής, όσο και της συγγραφικής διαδικασίας.

Ευχαριστώ την κα. Τσαντίλη Ελένη καθώς και τον κ. Καραπάνο Ιωάννη για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Ιδιαίτερα θερμές ευχαριστίες και στην συνάδελφο και φίλη κα. Διαμάντω Λέτζου, για την αμέριστη βοήθεια και τις συμβουλές της, όπου και όποτε τις χρειάστηκα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου εντός και εκτός πανεπιστημίου, και ιδιαίτερα τον σύντροφό μου, που με στήριξαν σε αυτήν μου την προσπάθεια και με βοήθησαν να ολοκληρώσω με επιτυχία αυτόν τον κύκλο των σπουδών μου.

*Αφιερωμένο
σε όλους όσοι προσπάθησαν,
πίστεψαν, λύγισαν αλλά τελικά τα κατάφεραν*

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Τομάτα	9
1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	10
1.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού	11
1.4 Ωρίμαση του καρπού.....	11
1.5 Κριτήρια συγκομιδής	12
1.6 Συνθήκες αποθήκευσης.....	14
1.7 Αναπνοή και αιθυλένιο	14
1.8 Διαπνοή	17
1.9 Απώλεια μάζας – υγρασίας	17
1.10 Φυσιολογικές διαταραχές κατά την συντήρηση	17
1.11 Παθολογικές διαταραχές κατά τη συντήρηση.....	18
1.12 Χρώμα	18
1.13 Συνεκτικότητα καρπού-υφή	20
1.14 Οξύτητα-pH-Brix	23
1.15 Απολύμανση.....	24
2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	28
2.1 Σκοπός του πειράματος.....	28
2.2 Φυτικό υλικό	28
2.3 Χειρισμοί επεξεργασίας τομάτας.....	28
2.4 Πειραματική διαδικασία.....	29
2.5 Προσδιορισμός απώλειας μάζας	30
2.6 Εκτίμηση όγκου	31
2.7 Χρώμα καρπού	31
2.8 Προσδιορισμός υφής.....	32
2.9 Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού	34
2.10 Ολικά διαλυτά στερεά (Brix) – Οξύτητα – Δείκτης οξύτητας pH.....	37
2.11 Μέτρηση αιθυλενίου	38
2.12 Καταγραφή πειραματικών δεδομένων και στατιστική ανάλυση	39
2.13 Κατανομή Weibull	40

3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	41
3.1	Απώλεια μάζας.....	41
3.2	Χρώμα καρπού.....	45
3.3	Προσδιορισμός υφής.....	54
3.4	Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού.....	60
3.5	Ολικά διαλυτά στερεά (Brix) – Δείκτης οξύτητας pH– Οξύτητα.....	64
3.6	Παραγωγή Αιθυλενίου.....	71
3.7	Ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού λόγω διαπνοής και αναπνοής.....	74
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	77
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τομάτα

Η τομάτα ανήκει στην οικογένεια των σολανοδών (*Solanaceae*), όπως οι πατάτες, οι πιπεριές και οι μελιτζάνες. (Ολύμπιος, 2001) Πρόκειται κατά κανόνα για ένα ετήσιο φυτό, το οποίο είναι πολύ δημοφιλές και δεύτερο σε παραγωγή μετά την πατάτα. Το επιστημονικό όνομα της είναι *Lycopersicon esculentum* (Ολύμπιος, 2001; USDA, 2004). Ταξινομείται στο γένος *Solanum* και στο είδος *Lycopersicon*. Ο καρπός της, για τον οποίο καλλιεργείται, προορίζεται κυρίως για σάλτσες και σαλάτες αλλά μπορεί να καταναλωθεί με διάφορους τρόπους (ώριμος, νωπός, αποξηραμένος, ακέραιος ή σε πολτό).

Η τομάτα προέρχεται από περιοχές της Κεντρικής και Νοτίου Αμερικής, από το Μεξικό μέχρι το Περού. Οι τομάτες ήρθαν τον 10^ο αιώνα στην Ευρώπη από Ισπανούς ερευνητές στο Μεξικό. Το 1544 έγινε η πρώτη αναφορά στον καρπό της τομάτας, σε έρευνα του Ιταλού βοτανολόγου Matthioli ο οποίος περιέγραψε ένα κίτρινο καρπό, μικρόκαρπης ποικιλίας, την οποία καλούσε “*romodoro*” «χρυσάφενιο μήλο» (*golden apple*). Η τομάτα έγινε ευρέως αποδεκτή στις αρχές του 19^{ου} αιώνα (Λέντζου, 2013). Το 1753, ο Σουηδός βοτανολόγος Linnaeus ονόμασε την τομάτα *Solanum lycopersicon* αλλά 15 χρόνια αργότερα ο Miller ταξινόμησε την τομάτα στο νέο γένος *Lycopersicon* (*Lycopersicon esculentum*) (Χρηστάκη, 2012). Η τομάτα τύπου “*cherry*” (*Lycopersicon esculentum* Mill. var. *cerasiforme*) είναι σχεδόν βέβαιο ότι, αποτελεί τον άμεσο πρόγονο των σύγχρονων καλλιεργουμένων τύπων τομάτας, ενώ είναι και το μοναδικό άγριο είδος τομάτας που απαντάται και εκτός Νότιας Αμερικής (Μακρογιάννη, 2010).

Οι ποικιλίες και υβρίδια της τομάτας τύπου *cherry* που καλλιεργούνται σήμερα θεωρείται ότι εξελίχθηκαν από τον άγριο τύπο τομάτας *S. lycopersicon* var. *cerasiforme* (Λέντζου, 2013). Η τομάτα βοτανικά κατατάσσεται «στα φρούτα», καταναλώνεται όμως σαν «λαχανικό». Οι καρποί της απαντώνται σε χρώμα κόκκινο (*red*), ροζ (*pink*), πορτοκαλί ή κίτρινο, και από πλευρά σχήματος στρογγυλοί έως στενόμακροι (τύπου “*plump*”) (Εικόνα 1). Η γεύση διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία, και μπορεί να χαρακτηριστεί γλυκιά, ξινή ή ήπια. Οι τομάτες τείνουν να είναι μια εξαιρετική πηγή βιταμινών Α, C, E και Β. Αποτελούν καλή πηγή λυκοπενίου το οποίο κυριαρχεί στις κόκκινες ποικιλίες και έχει αντιοξειδωτικές και κατ’ επέκταση αντικαρκινικές ιδιότητες (Newberry, 2002). Πιο συγκεκριμένα, οι τομάτες τύπου *cherry* είναι πλούσιες σε μέταλλα, ασβέστιο, μαγγάνιο, φώσφορο και κάλιο. Έχουν επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε καροτενοειδή, ένα είδος αντιοξειδωτικού που συναντάται στα κόκκινα, πορτοκαλί και κίτρινα φρούτα και λαχανικά.



Εικόνα 1 Διαφορετικές ποικιλίες τομάτας (Πηγή: el.tomathouse.com)

Οι τομάτες είναι κλιμακτηριακοί καρποί επομένως κατά την διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου συντελούνται βιοχημικές αλλαγές τις οποίες ενεργοποιεί η παραγωγή αιθυλενίου, σηματοδοτώντας την μετάβαση του καρπού από την ανάπτυξη, στη γήρανση σε συνδυασμό με την αύξηση της αναπνοής. Για να επιτευχθεί μακρύτερη μετασυλλεκτική ζωή αλλά και αντοχή των καρπών, συνίσταται η συγκομιδή τους στο στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας (“Green”). Στη εποχή μας έχουν αναπτυχθεί ποικιλίες με αυξημένη μηχανική αντοχή στις μεταφορές μεσαίων και μεγάλων αποστάσεων. (Καπότης, 2016)

1.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η τομάτα είναι φυτό ποώδες, ετήσιο ή διετές, και σπάνια πολυετές. Αναπτύσσει μια ευδιάκριτη κεντρική ρίζα καθώς και αρκετά δευτερεύοντα ριζικά τριχίδια όταν ο σπόρος τοποθετείται εξ’ αρχής σε μόνιμη θέση, επειδή όμως η τομάτα κατά κανόνα μεταφυτεύεται πολλές φορές, και η κεντρική ρίζα κόβεται, το φυτό αρχίζει να παράγει με ευκολία δευτερεύουσες πλευρικές ρίζες. (Ολύμπιος 2015). Τα φυτά τομάτας τύπου cherry μπορούν να φτάσουν ύψος έως και 3.0-3.5 m. Ο βλαστός είναι κυλινδρικός, εσωτερικά πλήρης και σταδιακά γίνεται πιο σκληρός χωρίς όμως να ξυλοποιείται, καθιστώντας τον έτσι σχετικά εύθραυστο. Τα πραγματικά φύλλα της τομάτας είναι σύνθετα και διατάσσονται ελικοειδώς στον βλαστό. Συνήθως στις μεγαλόκαρπες ποικιλίες συναντώνται πιο μακριά και πλατιά φύλλα ενώ στις μικρόκαρπες είναι μικρότερα. Τα άνθη της εμφανίζονται σε ταξιανθίες, από 2-3 έως και 30 ή και περισσότερα στις μικρόκαρπες ποικιλίες όπως σε αυτές τύπου cherry. Ο μέσος επιθυμητός αριθμός ανθέων ανά ταξιανθία που θα εξελιχθεί σε καρπούς είναι 6-8 άνθη (Ολύμπιος, 2015)

Ο καρπός της τομάτας είναι πολύχωρος ράγα και συναντάται σε διάφορα σχήματα. Πιο συγκεκριμένα, για την cherry τομάτα, ο καρπός της είναι κόκκινος ή κίτρινος, με στρογγυλό ή απιοειδές σχήμα (Μακρογιάννη, 2010). Σήμερα υπάρχουν ποικιλίες που παράγουν καρπούς με

ιδιαίτερο χρώμα όπως μαύρο (Black cherry), καφέ (Brown berry, Chocolate cherry), πορτοκαλί (Orange cherry, Sun sugar), κρεμ (Snow white cherry), ροζ (Sweet treats). (Sun et al., 2006).

Ο σπόρος της τομάτας όσο βρίσκεται στον καρπό περιβάλλεται από το ζελατινώδες παρέγχυμα. Είναι ωοειδής, πεπλατυσμένος και έχει καφέ-κίτρινο έως και χρυσό χρώμα. Η επιφάνειά του καλύπτεται από τριχοειδής αποφύσεις οι οποίες του προσδίδουν μια μεταξωτή υφή. Το μέγεθός του είναι μικρό με διάμετρο μόλις 3-5 mm. Υπό κανονικές συνθήκες αποθήκευσης διατηρεί την βλαστικότητα του για τουλάχιστον 4 έτη, ενώ εάν αποθηκευτεί σε χαμηλή θερμοκρασία, μπορεί να τη διατηρήσει έως και 10 έτη. (Ολύμπιος, 2015) Η τομάτα είναι φυτό θερμής εποχής σχετικά ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία, αλλά ευπαθές σε χαμηλές, και παγετό. Η καλλιέργειά της μπορεί να επιτευχθεί σε ποικιλία εδαφών αλλά προτιμώνται τα εδάφη με καλή αποστράγγιση, υψηλό βαθμό υδατοϊκανότητας και pH 6-6.5.

Γενικά η τομάτα είναι ίσως το φυτό με τις περισσότερες ποικιλίες και υβρίδια, καθώς κατέχει εξέχουσα θέση στην παγκόσμια αγορά. Οι ποικιλίες/υβρίδια χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

α) ποικιλίες/υβρίδια που η ανάπτυξή τους σταματά από μόνη της όταν φθάσουν σε ένα συγκεκριμένο στάδιο (περιορισμένης ανάπτυξης, determinate)

β) ποικιλίες/υβρίδια που αναπτύσσονται συνέχεια όσο διαρκεί η καλλιέργεια (intedeterminate)

Στην Ελλάδα και στην Κύπρο καλλιεργούνται συνήθως φυτά που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία. (Ολύμπιος, 2016)

Οι περισσότερες ποικιλίες τύπου cherry, ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία, ενώ ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ξεκινώντας από την Καλιφόρνια των ΗΠΑ, εξαπλώθηκε η καλλιέργεια ποικιλιών cherry τομάτας οι οποίες διακρίνονται για την μεγάλη μετασυλλεκτική ζωή (long life) και τον μειωμένο ρυθμό ωρίμασης (Jimenez et al. 1996).

1.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπού

Υψηλής ποιότητας καρπός θεωρείται αυτός ο οποίος έχει καλά διαμορφωμένο σχήμα με σφαιρική ή πεπλατυσμένη μορφή, υγιή εμφάνιση, ομοιόμορφο και λαμπερό χρώμα, χωρίς μηχανικούς τραυματισμούς, ηλιακά εγκαύματα, νύξεις από έντομα κλπ. Όσον αφορά την υφή, ο καρπός συμπιεζόμενος ελαφρά με το χέρι, να μην καταγράφει παραμένουσα παραμόρφωση. (Isofruit, 2016) Κύριες αιτίες απωλειών μετά τη συγκομιδή είναι η αποσύνθεση (decay) λόγω γήρανσης ή παθολογικών ασθενειών, οι εξωτερικές ζημιές που συμβαίνουν κατά την συγκομιδή ή τους ακατάλληλους χειρισμούς καθώς και η συγκομιδή σε ακατάλληλο στάδιο ωριμότητας (USDA, 2004).

1.4 Ωρίμαση του καρπού

Η μετατροπή του χρώματος του καρπού της τομάτας από πλήρως πράσινο σε πλήρως κόκκινο, περιλαμβάνει σημαντικές αλλαγές στο χρώμα, στο άρωμα, στη γεύση στη σύνθεση και στη δομή του. Η ωρίμαση αποτελεί μια ιδιαίτερη διαδικασία που περιλαμβάνει αντιδράσεις σύνθεσης αλλά και αποδόμησης. Οι διάφορες όψεις της ωρίμασης φαίνεται να συντονίζονται

και να ρυθμίζονται από φυτικές ορμόνες αλλά μπορούν επίσης και να τροποποιηθούν από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. (Καπότης, 2016)

1.5 Κριτήρια συγκομιδής

Η συγκομιδή του καρπού μπορεί να γίνει σε διάφορα στάδια και πρέπει να αρχίζει το νωρίτερο μετά την έναρξη αλλαγής χρώματος από πράσινο σε ελαφρώς κόκκινο. Το ακριβές στάδιο ωριμότητας του καρπού κατά τη συγκομιδή καθορίζεται και από την αγορά για την οποία προορίζεται το προϊόν. (Ολύμπιος, 2015). Τα διάφορα στάδια ξεκινούν από τη φυσιολογική ωρίμαση (green) μέχρι το στάδιο της πλήρους ωριμότητας. Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η ολοκλήρωση της φυσιολογικής ωρίμασης. Όσο πιο προχωρημένο είναι το στάδιο ωριμότητας κατά τη συγκομιδή, τόσο οι καρποί θα ωριμάσουν σε καρπούς υψηλής ποιότητας, ενώ αυτοί που συγκομίζονται πολύ νωρίς σε στάδιο ωριμότητας, είτε θα ωριμάσουν σε μέτριας ποιότητας καρπούς, είτε σε καρπούς με μη αποδεκτά επίπεδα ποιότητας. (Λέντζου, 2013)

Τα στάδια ωριμότητας βασίζονται στη μεταβολή του εξωτερικού χρώματος, παρόλο που συντελούνται πολλές εσωτερικές αλλαγές κατά την ωρίμαση, καθώς οι καρποί από πλήρως πράσινοι, γίνονται κόκκινοι με την αποδόμηση της χλωροφύλλης και την σύνθεση λυκοπενίου. Τα στάδια φυσιολογικής ωριμότητας διαφέρουν μεταξύ τους, όσον αφορά το εσωτερικό των καρπών, και σύμφωνα με το USDA υπάρχουν τέσσερα στάδια διαφοροποίησης του εσωτερικού κατά τη φυσιολογική ωρίμαση των καρπών (Πίνακας 1) (Smith *et al.*, 2003; USDA, 2004; Λέντζου 2010). Αλλαγές που αφορούν το εσωτερικό των καρπών, αναφέρονται στους σπόρους και την ωριμότητά τους, καθώς και την ρευστοποίηση (liquefaction) του ζελατινώδους παρεγχύματος με το οποίο καλύπτονται οι σπόροι κατά την ωρίμαση, και το οποίο πληρώνει τις κοιλότητες της τομάτας (Saltveit, 2003).

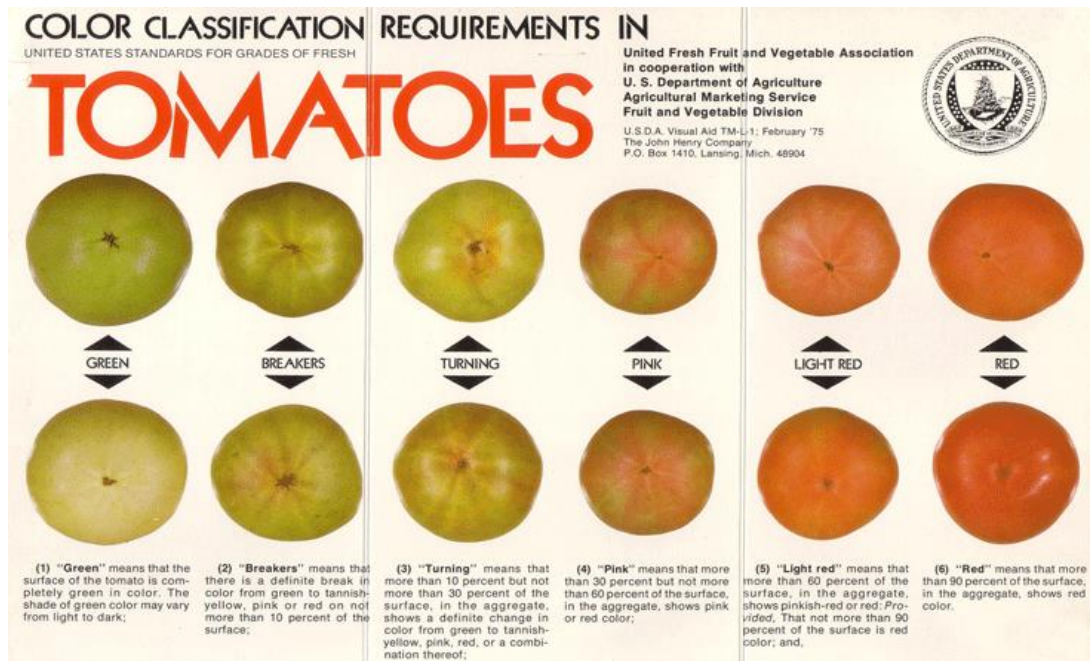
Πίνακας 1 Στάδια φυσιολογικής ωριμότητας και μεταβολές ως προς την εσωτερική εμφάνιση.

Στάδιο ωριμότητας	Εσωτερική εμφάνιση
MG-1	Σπόροι ανώριμοι (λευκοί), κόβονται με το μαχαίρι κατά την κοπή του καρπού, απουσία ζελατινώδους παρεγχύματος.
MG-2	Σπόροι ώριμοι, ύπαρξη ζελατινώδους παρεγχύματος σε κάποιες από τις κοιλότητες του καρπού.
MG-3	Όλες οι κοιλότητες έχουν καταληφθεί από ζελατινώδες παρέγχυμα, εσωτερικό χρώμα πράσινο.
MG-4	Ζελατινώδες παρέγχυμα κόκκινο χρώμα όπως και το περικάρπιο (pericarp tissue).

(Πηγή: Ολύμπιος, 2015)

Τα στάδια εμπορικής ωριμότητας σύμφωνα με την εξωτερική εμφάνιση ορίζονται με συγκεκριμένα πρότυπα (Εικόνα 2, Πίνακας 2). Οι χρωστικές μεταβάλλονται σε τρία διακριτά στάδια κατά την ωρίμαση. Η χλωροφύλλη κυριαρχεί από την αρχή της ανάπτυξης του καρπού

ως το στάδιο “green”. Από το στάδιο του “green” ως το “breaker” επέρχεται διάσπαση της χλωροφύλλης η οποία συνοδεύεται από αύξηση καροτενοειδών. Από το “breaker” ως το “red” (πλήρως κόκκινη τομάτα) υπάρχει αυξημένη σύνθεση λυκοπενίου και τα επίπεδα της χλωροφύλλης τείνουν στο μηδέν (Saltveit, 2003).



Εικόνα 2 Μεταβολή του εξωτερικού χρώματος κατά τα στάδια ωριμότητας της τομάτας (Πηγή: Ολύμπιος, 2015)

Πίνακας 2 Στάδια ωριμότητας και εξωτερική εμφάνιση του καρπού

Στάδιο ωρίμασης	Εξωτερικό χρώμα
Immature green	Επιφάνεια καρπού λευκό έως ανοιχτό πράσινο
Green (Mature green)	Επιφάνεια καρπού 100% πράσινη από ανοιχτό έως σκούρο πράσινο.
Breaker	≤ 10% της επιφάνειας γίνεται ροζ ή κόκκινο.
Turning	10-30% της επιφάνειας του καρπού είναι ροζ ή κόκκινο
Pink	30-60% είναι ροζ ή κόκκινο και δεν εμφανίζεται πράσινο
Light red	60-90% της επιφάνειας καρπού είναι κόκκινο
Red	Πάνω από 90% της επιφάνειας του καρπού έχει κόκκινο χρώμα

(Πηγή: Ολύμπιος, 2015)

1.6 Συνθήκες αποθήκευσης

Οι καρποί της τομάτας συγκομίζονται σε διάφορα στάδια ωριμότητας και οι συνθήκες αποθήκευσης διαφέρουν ανάλογα με το στάδιο συγκομιδής. Γενικά, δεν απαιτείται πρόψυξη μετά τη συγκομιδή, εκτός και εάν οι θερμοκρασίες κατά τη συγκομιδή ξεπερνούν τους 26-27 °C και απαιτείται επιπλέον καθυστέρηση της ωρίμασης. (Μακρογιάννη, 2010) Οι τροπικοί και υποτροπικοί καρποί όπως η μπανάνα, το μάγκο και η φυσιολογικά ώριμη τομάτα (στάδιο “Breaker”), δεν μπορούν να αποθηκευτούν σε θερμοκρασίες κάτω από 10 °C. (Κατσογιάννη, 2010)

Στο στάδιο του ώριμου πράσινου (mature green) οι συνιστώμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης κυμαίνονται από 13-18 °C και 85-90% σχετική υγρασία, στις συνθήκες αυτές παρατηρείται μια αργή βελτίωση στο χρώμα. Σε υψηλές θερμοκρασίες >18 °C η ωρίμαση επιταχύνεται. Σε θερμοκρασίες <13 °C, ο καρπός δεν θα αναπτύξει το επιθυμητό σκούρο κόκκινο χρώμα, ενώ αν οι θερμοκρασίες είναι <10 °C οι καρποί είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στις ασθένειες ψύχους (chilling injuries). Γενικά όσο πιο άγουρος είναι ο καρπός, τόσο πιο ευπαθής είναι σε ασθένειες ψύχους.

Πιο συγκεκριμένα, στο στάδιο του “γυρίσματος του χρώματος” (colour turning) οι καρποί μπορούν να αποθηκευτούν σε θερμοκρασία 10-13 °C για 4 ημέρες συνεχίζοντας την ωρίμασή τους. Στο στάδιο του “ροζ” (Pink) μπορούν να αποθηκευτούν στους 5 °C για 4 μέρες χωρίς προβλήματα και ύστερα να μεταφερθούν στους 13-15 °C και να συνεχίσουν την ωρίμασή τους για 1-4 μέρες. Στο στάδιο του “κόκκινου” (red) χρώματος οι καρποί μπορούν να αποθηκευτούν σε θερμοκρασίες 2-5 °C για μερικές μέρες χωρίς προβλήματα. Εάν οι πλήρως ώριμοι καρποί αποθηκευτούν σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες συνεχίζουν να ωριμάζουν με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητάς τους με μεγάλη ταχύτητα. Οι ώριμοι κόκκινοι καρποί μπορούν να αποθηκευτούν για 3 εβδομάδες σε θερμοκρασίες 0-1.5 °C σε αποδεκτή κατάσταση, θα πρέπει όμως να καταναλωθούν σε 1-2 ημέρες μετά την απομάκρυνσή τους από το ψυγείο, καθώς το άρωμα και η συνεκτικότητά τους υποβαθμίζονται σε σημαντικό βαθμό. (Ολύμπιος, 2015)

Η χρήση ελεγχόμενης ατμόσφαιρας (C.A.) για την αποθήκευση της τομάτας έχει μελετηθεί, με τα αποτελέσματα να αναφέρουν ότι οι καρποί παραμένουν σε πολύ καλή κατάσταση για 6 εβδομάδες όταν αποθηκεύονται σε ατμόσφαιρα με συγκέντρωση 2.5% O₂ και 2.5% CO₂ και θερμοκρασία 12 °C. (Ολύμπιος, 2015)

Αυξημένα ποσοστά CO₂, δηλαδή πάνω από 3-5%, μπορεί να αποδειχτούν ζημιογόνα για τις περισσότερες ποικιλίες προκαλώντας υποβάθμιση των καρπών. Χαμηλά ποσοστά O₂, πχ 1%, μπορεί να προκαλέσουν δυσάρεστες οσμές καθώς και άλλα ελαττώματα όπως η ενζυμική αμαύρωση (μετατροπή φαινολικών ενώσεων σε μελανοϊδίνες).

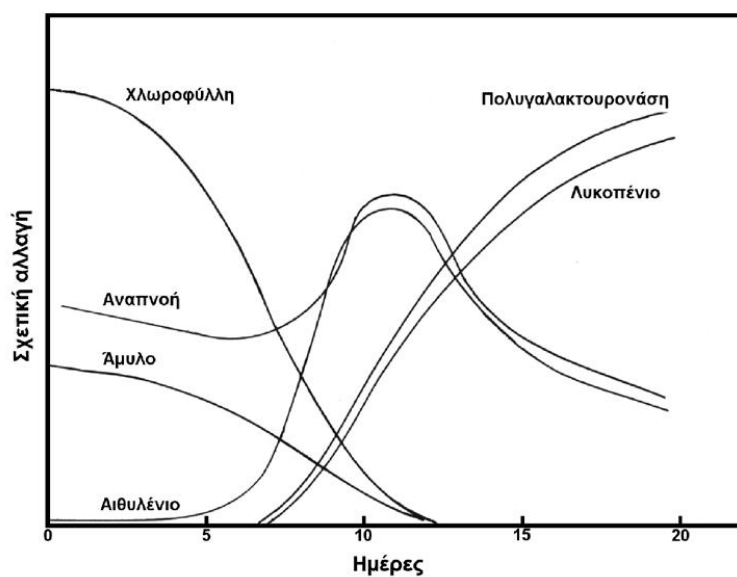
1.7 Αναπνοή και αιθυλένιο

Η αναπνοή είναι εκείνη η διεργασία με την οποία αποθηκευμένες οργανικές ουσίες (υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, οργανικά οξέα και λίπη) διασπώνται σε απλούστερες με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας (Σφακιωτάκης, 2004). Υπάρχουν δύο είδη αναπνοής η

αερόβια και η αναερόβια . Κατά την αερόβια λαμβάνει χώρα η οξειδωτική διάσπαση των οργανικών αποθεμάτων σε απλούστερα μόρια, συμπεριλαμβανομένου του CO₂ και του νερού, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας. Στην αναερόβια αναπνοή παράγεται αιθανόλη με αποκαρβοξυλίωση του πυροσταφυλικού άλατος σε CO₂ χωρίς κατανάλωση O₂ κατά τον μεταβολισμό της ζύμωσης. Η αναερόβια αναπνοή είναι ανεπιθύμητη κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των λαχανικών, επειδή οι μεγάλες ποσότητες αιθανόλης, ακεταλδεύδης και άλλων ουσιών που συσσωρεύονται παράγουν δυσάρεστη οσμή. Ο έλεγχος της αναπνοής είναι μια βασική διαδικασία για την μείωση των μετασυλλεκτικών απωλειών και της διατήρησης της ποιότητας (Fang and Wakisaka, 2021).

Ο ρυθμός αναπνοής αποτελεί δείκτη του ρυθμού μεταβολισμού, και υποδεικνύει τη δυνητική διάρκεια ζωής κατά την αποθήκευση, και τη σχετική ευπάθεια των νωπών καρπών ενώ αποτελεί και έναν οδηγό των συνιστώμενων αποθηκευτικών συνθηκών που θα έπρεπε να εφαρμόζονται μετασυλλεκτικά. Γενικά, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός αναπνοής, τόσο μικρότερη είναι η μετασυλλεκτική ζωή (Kader 2002).

Η τομάτα παρουσιάζει ένα τυπικό κλιμακτηριακό πρότυπο αναπνοής και αντίδρασης στο αιθυλένιο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1 Αλλαγές στο μεταβολισμό και τη σύσταση του καρπού της τομάτας κατά τη διάρκεια της ωρίμασης. (Πηγή: Πάσσαμ κ.α, 2015)

Κατά τη διάρκεια της προκλιμακτηριακής περιόδου, η αναπνοή μειώνεται σε ένα ελάχιστο. Με την έναρξη όμως της εμπορικής ωρίμασης και ανταποκρινόμενη στο ερέθισμα του ενδογενώς σχηματιζόμενου αιθυλενίου (ή σε μια εξωτερική πηγή αιθυλενίου, όπως στην περίπτωση της τεχνητά επαγόμενης ωρίμασης ή του αιθυλενισμού), η αναπνοή αυξάνεται γρήγορα σε ένα μέγιστο (κλιμακτηριακή αιχμή) και ακολούθως μειώνεται αργά. Η κλιμακτηριακή αιχμή της αναπνοής στην τομάτα δεν είναι τόσο έντονη όσο σε άλλα είδη καρπών όπως πχ στην μπανάνα. Ακολουθώντας την αύξηση της αναπνοής, ξεκινούν όλες οι άλλες μεταβολικές δραστηριότητες, οι οποίες οδηγούν στη χαρακτηριστική ωρίμαση του

καρπού (σύνθεση RNA, δραστηριότητα πολυγαλακτουρονάσης, αποδιοργάνωση κυτταρικού τοιχώματος, σύνθεση λυκοπενίου κ.ά.) (Πάσσαμ κ.α, 2015)

Η αναπνευστική κλιμακτήριος αιχμή της τομάτας, όπως και σε άλλους κλιμακτηριακούς καρπούς, έχει πολύ μεγάλη σημασία στη μετασυλλεκτική συμπεριφορά. Η έναρξη της κλιμακτηρίου, στην πραγματικότητα, σηματοδοτεί το τέλος της αποθηκευτικής ζωής του προϊόντος και την αρχή της μη αναστρέψιμης γήρανσης, που οδηγεί ταχέως στην εμπορική ωριμότητα και, πέρα από αυτό, σε υπερωρίμανση, τελική υποβάθμιση της ποιότητας και φθορά. (Πάσσαμ κ.α, 2015)

Σύμφωνα με δημοσιευμένες μελέτες (Burg and Burg, 1965; Abdel-Rahman, 1977) η αναπνοή και η παραγωγή αιθυλενίου κατά την ανάπτυξη, ωρίμανση και γήρανση καρπών τομάτας cherry, πάνω στο μητρικό φυτό, παρουσιάζουν ένα πρότυπο παρόμοιο, αλλά διαφορετικό σε μέγεθος, με άλλες ποικιλίες. Τα πολύ χαμηλά επίπεδα αιθυλενίου που παράγονται από τους ανώριμους καρπούς, οι οποίοι είναι ακόμα πράσινοι, μπορεί να οφείλονται στον τραυματισμό κατά την αποκοπή του καρπού, ενώ υπολογίσιμες ποσότητες αιθυλενίου παράγονται από τους ώριμους πράσινους καρπούς και αυξάνονται απότομα σ' ένα μέγιστο στους ρόδιους καρπούς. (Μακρογιάννη, 2010)

Όλοι οι καρποί κλιμακτηριακοί ή μη, παράγουν αιθυλένιο κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης. Οι συγκεντρώσεις αιθυλενίου που απαιτούνται για να επηρεαστεί η φυσιολογία του καρπού, ποικίλουν ανάλογα με το είδος και την ωριμότητα. Η συσσώρευση αιθυλενίου σχετίζεται με την εντονότερη γήρανση και μειωμένη μετασυλλεκτική ζωή. Στα περισσότερα είδη καρπών, η παραγωγή αιθυλενίου είναι μειωμένη στις χαμηλές θερμοκρασίες συντήρησης, ενώ αυξημένη παραγωγή αιθυλενίου έχουμε σε θερμοκρασίες διάθεσης, 18-25 °C. Σε γενικές γραμμές, η δράση του αιθυλενίου αυξάνεται με την αύξηση θερμοκρασίας, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες το αιθυλένιο είναι λιγότερο δραστικό. (Σφακιωτάκης, 2004)

Το αιθυλένιο είναι η απλούστερη οργανική ένωση, η οποία παράγεται από τους φυτικούς ιστούς και ασκεί τη φυσιολογική του δράση σε αέρια μορφή. Ως προϊόν του μεταβολισμού, παράγεται σχεδόν από όλους τους φυτικούς ιστούς και από ορισμένους μικροοργανισμούς (μύκητες). (Σφακιωτάκης, 2004)

Οι τομάτες παράγουν αιθυλένιο σε μέτριες ποσότητες από 1 έως 10 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ στους 20 °C για αυτό και δεν προτείνεται να αποθηκεύονται μαζί με ευαίσθητα στο αιθυλένιο προϊόντα, όπως το μαρούλι και τα αγγούρια ενώ και οι ίδιες εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία σε αυτό. Η έκθεση πράσινων καρπών τομάτας σε εξωγενές αιθυλένιο προκαλεί την έναρξη της ωρίμασής τους (αποπρασινισμός).

Η παρουσία του αιθυλενίου στο περιβάλλον αποθήκευσης, μπορεί να είναι επιθυμητή, όταν επιδιώκεται η προώθηση της ωρίμανσης καρπών που έχουν συγκομιστεί σε πρώιμο στάδιο ωρίμανσης. Έτσι, μπορεί να εφαρμοστεί αέριο αιθυλένιο όποτε απαιτείται η έναρξη της ωρίμανσης καρπών τομάτας που έχουν συγκομιστεί στο πράσινο φυσιολογικά ώριμο στάδιο. (Πάσσαμ κ.α, 2015)

Ακόμα και μικρές ποσότητες αιθυλενίου, π.χ. 0.5 $\mu\text{L L}^{-1}$ είναι ικανές να προκαλέσουν έναρξη της ωρίμανσης και άλλων μεταβολικών διαδικασιών. Για εμπορική ομοιόμορφη

ωρίμαση, οι πράσινες τομάτες πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασίες από 20 °C έως 21 °C με 90% σχετική υγρασία και σε συγκέντρωση αιθυλενίου 50 $\mu\text{L L}^{-1}$. Όταν οι τομάτες βρίσκονται στο στάδιο του «σπασίματος» του χρώματος (Breaker), παράγουν επαρκείς ποσότητες αιθυλενίου. (Κατσογιάννη, 2010)

1.8 Διαπνοή

Η διαπνοή είναι η δεύτερη σημαντικότερη φυσιολογική διεργασία, μετά την αναπνοή, στη μετασυλλεκτική ζωή των φρούτων και λαχανικών. Η διαπνοή αποτελεί λειτουργία απελευθέρωσης υδρατμών από την επιφάνεια των προϊόντων στην ατμόσφαιρα. (Σφακιωτάκης, 2004).

Οι καρποί και τα άλλα οπωροκηπευτικά προϊόντα, εφόσον είναι προσκολλημένα στο μητρικό φυτό αναπληρώνουν τις υδατικές απώλειες με τη μεταφορά νερού από τις ρίζες. Μετά τη συγκομιδή, τα προϊόντα αυτά συνεχίζουν να διαπνέουν και εφόσον δεν προσλαμβάνουν νερό από το μητρικό φυτό, οι απώλειες νερού με τη διαπνοή αποτελούν πραγματικές απώλειες βάρους (Σφακιωτάκης, 2004). Απομάκρυνση όμως υγρασίας (αφυδάτωση) από το προϊόν επιτυγχάνεται και με το φυσικό φαινόμενο της διάχυσης. Η κινητήρια δύναμη της διάχυσης είναι το έλλειμμα πίεσης υδρατμών (Water Vapor Pressure Deficit ή WVPD), δηλαδή η διαφορά στην πίεση υδρατμών μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του περιβάλλοντα αέρα (νόμος του Fick) (Κατσογιάννη, 2010).

1.9 Απώλεια μάζας - υγρασίας

Η απώλεια υγρασίας-μάζας μετασυλλεκτικά εξαρτάται από τη διαπνοή και την αναπνοή. Η απώλεια υγρασίας από το νωπό προϊόν συνεπάγεται την υποβάθμιση της ποιότητας κυρίως λόγω του μαρασμού. Η συσχέτιση της απώλειας νερού και της θερμοκρασίας είναι θετική, ενώ η συσχέτιση απώλειας νερού και σχετικής υγρασίας περιβάλλοντος είναι αρνητική. Η αύξηση της αναπνοής συσχετίζεται θετικά με τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση O_2 και αρνητικά με τη συγκέντρωση CO_2 (Μακρογιάννη, 2010).

Οι απώλειες μάζας των φρούτων και λαχανικών μειώνονται με τη μείωση της θερμοκρασίας συντήρησης. Οι συνιστώμενες συνθήκες συντήρησης για τομάτες στο στάδιο Mature Green είναι: θερμοκρασία από 13 °C έως 21 °C και σχετική υγρασία 85-90%. Σχετική υγρασία κάτω από 80% πρέπει να αποφεύγεται λόγω μεγάλων απωλειών υγρασίας, ενώ σχετικές υγρασίες πάνω από 95% δεν ενδείκνυνται, λόγω της αυξημένης πιθανότητας ανάπτυξης μυκητολογικών ασθενειών. Τέλος, δεδομένου ότι τόσο οι ρυθμοί αναπνοής και διαπνοής των τοματών όσο και το έλλειμμα πίεσης υδρατμών, μειώνονται με τον περιορισμό της θερμοκρασίας συντήρησης, προτιμώνται χαμηλές θερμοκρασίες αποθήκευσης ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες βάρους άρα και η υποβάθμιση της ποιότητας (Κατσογιάννη, 2010).

1.10 Φυσιολογικές διαταραχές κατά την συντήρηση

Οι τομάτες εμφανίζουν αυξημένη ευαισθησία στις χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των 8 °C) όπου εμφανίζουν συμπτώματα ασθενειών ψύχους και παγώματος. Οι ασθένειες ψύχους και παγώματος (chilling και freezing injuries) είναι από τις κυριότερες φυσιολογικές ασθένειες

(ανάλογα με τη σύνθεση της ατμόσφαιρας). Πάγωμα των καρπών συμβαίνει όταν εκτεθούν σε θερμοκρασίες μικρότερες του σημείου πήξης του κυτταρικού χυμού, ενώ ασθένειες ψύχους όταν εκτίθενται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από την κρίσιμη ή οριακή θερμοκρασία, κάτω από την οποία τα φυτικά όργανα εμφανίζουν ασθένειες ψύχους. Στην περίπτωση της τομάτας η κρίσιμη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ των 8-12 °C (Κατσογιάννη, 2010; Μανωλοπούλου 2006). Τα συμπτώματα των ασθενειών ψύχους που παρουσιάζονται, είναι οι κηλιδώσεις στην επιφάνειά τους, δευτερογενείς προσβολές από μύκητες *Alternaria* και ανομοιόμορφη ωρίμαση. Τα συμπτώματα παγώματος, περιλαμβάνουν εμφάνιση υαλώδους μορφής των καρπών, μαλάκωμα της σάρκας, και αφυδατωμένη εμφάνιση της ζελατινώδους ουσίας. (Κατσογιάννη, 2010).

1.11 Παθολογικές διαταραχές κατά τη συντήρηση

Οι παθολογικές ασθένειες αναπτύσσονται συνήθως κατά την ωρίμαση των καρπών και επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Εντοπίζονται σε πληγές, σε μωλωπισμένους ιστούς καθώς και σε άλλα προσβεβλημένα ή καταπονημένα μέρη των καρπών. Υγιείς τομάτες μπορεί να επιμολυνθούν από τα παθογόνα των προσβεβλημένων καρπών, μέσω του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για τη μηχανική συγκομιδή και μεταφορά των καρπών, καθώς και την έλλειψη απολύμανσης του νερού που χρησιμοποιείται για τους διάφορους χειρισμούς κατά τη διαλογή και συσκευασία τους. Οι πληθυσμοί των παθογόνων μπορούν να ελεγχθούν ικανοποιητικά με την τήρηση πρωτοκόλλων υγιεινής κατά τη διάρκεια των μετασυλλεκτικών χειρισμών. Οι παθολογικές προσβολές αποτελούν μια σημαντική αιτία μετασυλλεκτικών απωλειών. Συνήθως οι αλλοιώσεις ή επιφανειακές μολύνσεις στους καρπούς της τομάτας, προέρχονται από παθογόνους μύκητες του γένους *Alternaria* (Black Mold Rot), *Botrytis* (Gray Mold Rot), *Geotrichum* (Sour Rot), *Rhizopus* (Hairy Rot) *Fusarium* spp. (*Fusarium* rot), *Phytophthora* spp (*Phytophthora* rot) κ.α. (Κατσογιάννη, 2010)

Η βακτηριακή προσβολή “Soft Rot” που προκαλείται από το μύκητα *Erwinia* spp. μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πρόβλημα εάν δεν τηρούνται κανόνες υγιεινής κατά τους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Χειρισμοί όπως η έκθεση των καρπών σε θερμό αέρα ή εμβάπτισή τους σε ζεστό νερό (στους 55 °C για 0.5-1.0 min) είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην πρόληψη της επιφανειακής μούχλας. Άλλες βακτηριακές προσβολές περιλαμβάνουν αλλοιώσεις από βακτήρια του γένους *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Xanthomonas* και *Lactobacillus* spp. (Κατσογιάννη, 2010)

1.12 Χρώμα

Το χρώμα έχει μεγάλη σημασία για τον καθορισμό της ποιότητας του προϊόντος και σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί το πιο σημαντικό ποιοτικό κριτήριο, ειδικά όσον αφορά τον καταναλωτή. Το χρώμα του προϊόντος συχνά αντανακλά την φυσιολογική του κατάσταση. Γενικότερα, διαταραχές της φυσιολογίας του προϊόντος (π.χ. ανισόρροπη θρέψη), περιβαλλοντικοί παράγοντες (συνθήκες ανάπτυξης), καθώς και η παρουσία χρώματος, χημικών υπολειμμάτων, μετασυλλεκτικών τραυματισμών (ασθένειες ψύχους, μηχανικοί τραυματισμοί) και μολύνσεων, αποτελούν στο σύνολό τους παράγοντες που προκαλούν ανεπιθύμητες αλλαγές στο χρώμα και, συνεπώς οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος και μείωση της εμπορικής του αξίας. (Πάσσαμ κ.α, 2015)

Οι φυτικές χρωστικές που παρέχουν τη χημική βάση για το χρώμα είναι υδατοδιαλυτές όπως πχ. οι ανθοκυάνες (anthocyanins) οι οποίες είναι υπεύθυνες για το μπλε, κόκκινο και μωβ χρώμα στα λαχανικά, τα φρούτα και τα λουλούδια. Τα καροτενοειδή (carotenoids) αντιπροσωπεύουν μια οικογένεια λιποδιαλυτών (lipid-soluble) χρωστικών, παρέχοντας ευρύ φάσμα από το κίτρινο έως το πορτοκαλί και το κόκκινο (Shewfelt, 2003). Ακόμα, χρωματικές μεταβολές στα προϊόντα μπορεί να προκύψουν από αντιδράσεις σε μηχανικές, φυσικές, χημικές ή παθολογικές καταπονήσεις (stress). Η ωρίμαση οδηγεί σε σημαντικές χρωματικές αλλαγές στα προϊόντα που επηρεάζει στη συνέχεια την τελική ποιότητα του προϊόντος. Η φυσιολογική αλλαγή του χρώματος είναι αποτέλεσμα της μετατροπής του χλωροπλάστη σε χρωμοπλάστη. Ένα προϊόν μπορεί να μεταβάλει το χρώμα του σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μια πλήρως ανεπτυγμένη πρασινωπή τομάτα μπορεί να αλλάξει χρώμα από πράσινο σε λαμπερό κόκκινο μέσα σε μια εβδομάδα, ειδικά αν αυτό προκαλείται τεχνητός με προσθήκη αιθυλενίου σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία (συμπληρωματική ωρίμαση ή αποπρασινισμός). (Λέντζου, 2010)

Το χρώμα χαρακτηρίζεται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- **Χροιά (hue):** αναφέρεται στο βασικό χρώμα ενός αντικειμένου. Είναι το πρώτο κριτήριο διάκρισης του χρώματος.
- **Χρωματικό κορεσμό (chroma):** περιγράφει την καθαρότητα του χρώματος.
- **Φωτεινότητα ή λαμπρότητα (brightness):** όταν η χροιά μένει σταθερή και τα τρία στοιχεία του χρώματος (κόκκινο, πράσινο, μπλε) μειώνονται ταυτόχρονα διατηρώντας την αναλογία τους η λαμπρότητα του χρώματος μειώνεται. Όταν μειώνονται στο μηδέν το χρώμα γίνεται μαύρο (Λέντζου, 2010).

Υπάρχουν αρκετά χρωματικά συστήματα τα οποία μπορούν να περιγράψουν το χρώμα ενός αντικειμένου. Μερικά από τα πλέον εφαρμοζόμενα, είναι τα RGB (κόκκινο, πράσινο και μπλε), Hunter L a b, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) $L^* a^* b^*$, CIE XYZ, CIE $L^* u^* v^*$, CIE Yxy και CIE LCH κ.α. Το πιο διαδεδομένο είναι το CIEL*a*b* το οποίο παρουσιάστηκε από την CIE το 1976. Σε αυτό οι χρωματικοί παράγοντες L^* , a^* , b^* απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, όπου ο παράγοντας L^* (Lightness) αποθηκεύει την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) ενώ οι παράγοντες a^* και b^* την πληροφορία χρώματος χωρίς κάποια αριθμητικά όρια. (Λέντζου, 2010). Τιμές οι οποίες είναι θετικές για το a^* αντιπροσωπεύουν το κόκκινο, ενώ οι αρνητικές το πράσινο. Αντίστοιχα, τιμές για το b^* οι οποίες είναι θετικές, αντιπροσωπεύουν το κίτρινο ενώ αρνητικές το μπλε.

Το χρώμα, αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό ποιότητας στους καρπούς της τομάτας με τις καροτενοειδείς χρωστικές (και πιο σημαντική τη λυκοπίνη) να ευθύνονται για το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα του ώριμου καρπού. Το λυκοπένιο συμβάλλει και στη σύνθεση άλλων καροτενοειδών, όπως τα καροτίνη, οι λυκοπίνες και οι ξανθοφύλλες. Στην τομάτα το λυκοπένιο αντιπροσωπεύει το 90% των καροτενοειδών. Η λυκοπίνη εμφανίζεται αυξημένη σε θερμοκρασίες 21-24 °C ενώ θερμοκρασίες άνω των 30 °C παρεμποδίζουν την σύνθεση της λυκοπίνης και άλλων καροτινοειδών εκτός του β-καροτενίου, έτσι ώστε σε περιοχές με πολύ υψηλές θερμοκρασίες ο κόκκινος χρωματισμός της τομάτας να είναι ελλιπής.

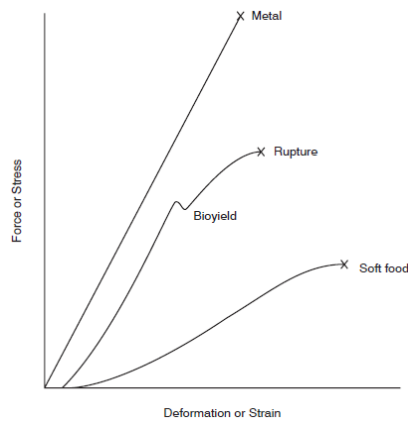
Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή β-καροτενίου, ενώ η σύνθεση της λυκοπίνης μειώνεται. (Μακρογιάννη, 2010)

1.13 Συνεκτικότητα καρπού-υφή

Εκτός από το χρώμα, η υφή αποτελεί ένα ακόμα χαρακτηριστικό το οποίο είναι σημαντικό για τους καταναλωτές. Με τον όρο «υφή» περιγράφονται οι δομικές, οργανοληπτικές και μηχανικές ιδιότητες ενός τρόφιμου. (Abbott and Harker, 2006). Οι περισσότεροι φυτικοί ιστοί που χρησιμοποιούνται ως τροφή, περιέχουν 75 έως και 95% νερό και η συμπεριφορά αυτού του συστατικού είναι ζωτικής σημασίας για τις επιπτώσεις της επεξεργασίας στη δομή και την υφή των τροφίμων. Η εξωτερική υφή του προϊόντος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι ο γονότυπος (ποικιλία), ο βαθμός ωριμότητας (κυρίως σε καρπούς), η φρεσκάδα και η περιεκτικότητα σε νερό (φυλλώδη λαχανικά, ρίζες, βολβοί και κόνδυλοι). (Πάσσαμ κ.α, 2015)

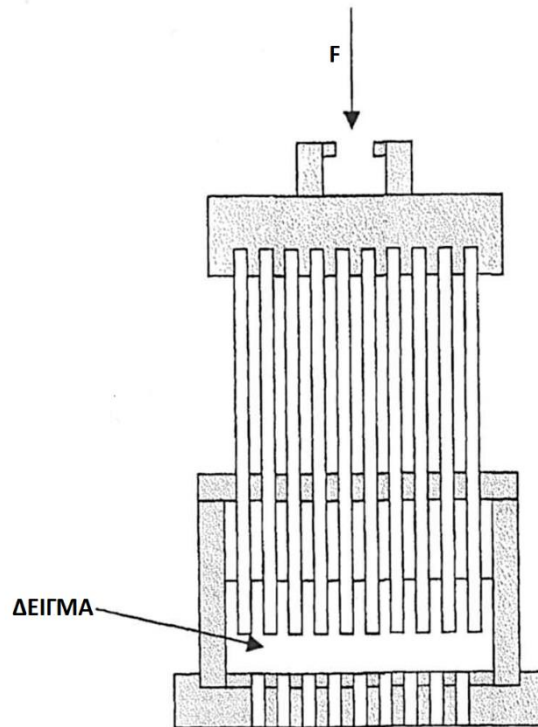
Ο βαθμός της συνεκτικότητας του καρπού έχει χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης της ποιότητάς του (Burton 1982) και τις περισσότερες φορές είναι καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή του καρπού από τον καταναλωτή. Η εσωτερική υφή χαρακτηρίζεται από τη σκληρότητα, το κολλώδες, την ελαστικότητα, το χυμώδες κ.ά. Σε γενικές γραμμές, η απώλεια νερού επιδρά καθοριστικά στην υποβάθμιση της ποιότητας των φυλλωδών λαχανικών λόγω της αλλαγής της εξωτερικής υφής τους, κάτι που είναι αποτέλεσμα της απώλειας της κυτταρικής σπαργής (μαρασμός). Το μαλάκωμα των καρπών, των ριζών, των κονδύλων και των βολβών, που προκαλεί υποβάθμιση της ποιότητάς τους, επηρεάζεται τόσο από την απώλεια νερού, όσο και από μεταβολικές αλλαγές που συντελούνται στα κυτταρικά τοιχώματα των ιστών. (Πάσσαμ κ.α, 2015). Σε γενικές γραμμές, η συνεκτικότητα των καρπών διατηρείται καλύτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες, από ότι σε υψηλές. Η υφή των φυτικών τροφών αποδίδεται κυρίως στη δομική ακεραιότητα του κυτταρικού τοιχώματος και του μεσοκυττάριου χώρου, καθώς και στην πίεση της σπαργής που αναπτύσσεται ενδοκυτταρικά. (Paciulli κ.ά., 2014)

Η μεταβολή της υφής εκτιμάται είτε με αντικειμενικές μετρήσεις (objective evaluations), είτε με οργανοληπτικούς ελέγχους (sensory evaluations) από επιτροπή κριτών – δοκιμαστών (sensory panels). Η πιο συνηθισμένη μέθοδος προσδιορισμού της υφής, είναι αυτή της συμπίεσης, η οποία μπορεί να διακριθεί σε μη καταστροφική (ελαστική συμπίεση) και καταστροφική θλίψη. (Λέντζου, 2010) Στη μη καταστροφική (non-destructive) συμπίεση, η δύναμη θλίψης είναι τόση, ώστε να μην προκαλείται θραύση (fracture), σπάσιμο (breaking) ή άλλη μη αντιστρεπτή καταπόνηση στο δοκίμιο Στην καταστροφική μέθοδο (destructive) καταγράφεται η θλιπτική δύναμη η οποία προκαλεί μη αντιστρεπτή θραύση στο δείγμα. (Bourne, 2002; Batu, 1996) Στο Σχήμα 2 εμφανίζονται τυπικές καμπύλες μονοαξονικής θλίψης, δύναμης-παραμόρφωσης, για τρία υλικά.



Σχήμα 2 Καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης σε μέταλλο, βιολογικό (bioyield) δείγμα και σε μαλακό τρόφιμο. (Πηγή: Luther et al., 2004)

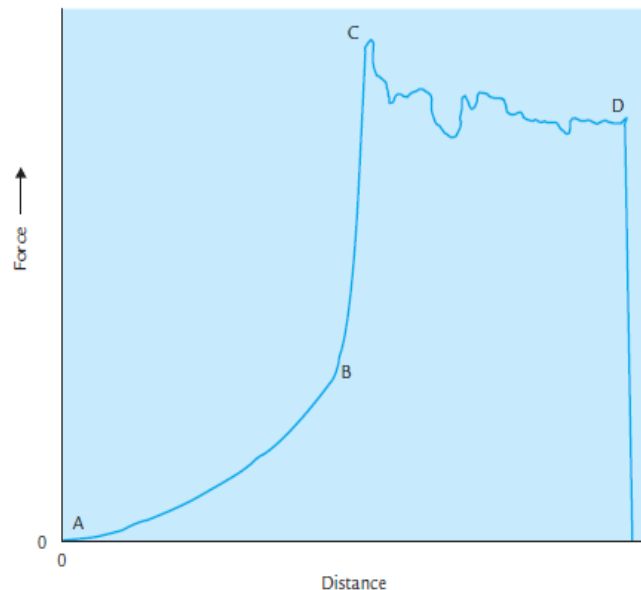
Σε κάθε κατηγορία (καταστροφική ή μη) υπάγονται διάφορες δοκιμές αρκετά διαδεδομένες στην τεχνολογία τροφίμων. Πολλές από τις δοκιμές αυτές είναι συχνά συνδυαστικές όσον αφορά τον τρόπο διεξαγωγής τους και τις αρχές στις οποίες βασίζονται, όπως είναι και η συμπίεση με «κελί Kramer». Η δοκιμή αυτή θεωρείται δοκιμή διάτμησης-κοπής του δείγματος (με πολλαπλές λεπίδες, Εικόνα 3), καθώς και η συνδυαστική δοκιμή συμπίεσης-εξώθησης. Η αρχή στην οποία βασίζεται η συγκεκριμένη δοκιμή είναι η εφαρμογή μιας κάθετης δύναμης για την διάτμηση του δείγματος. (Bourne, 2002; Truong & Daubert, 2003) Η μέγιστη δύναμη και η ενέργεια που απαιτούνται για τη διάτμηση (περιοχή κάτω από την καμπύλη) λαμβάνονται ως «δείκτης σκληρότητας», «τρυφερότητας» ή «ανθεκτικότητας» της ινώδους υφής των τροφίμων. Παρόλο που η δοκιμή αυτή θεωρείται διατμητική, εμφανίζονται επίσης δυνάμεις λόγω τριβής, συμπίεσης και “τάσης” (tension). Το μέγεθος αυτών των δυνάμεων εξαρτάται από τις δομικές ιδιότητες και τον μηχανισμό θραύσης των δοκιμαζόμενων υλικών και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Truong & Daubert, 2003).



Εικόνα 3 Διάταξη κελιού Kramer. (Πηγή: Truong & Daubert, 2003)

Το τυπικό κελί συμπίεσης Kramer (Kramer Shear Press Cell), θεωρείται μια μικτή δοκιμή συμπίεσης και εξώθησης, καθώς το μισό τρόφιμο εξωθείται προς τα εμπρός μέσω των σχισμών στη βάση του κελιού και το άλλο μισό εξωθείται προς τα πάνω μέσω των σχισμών μεταξύ των κατερχόμενων λεπίδων. Μια τυπική καμπύλη δύναμης-παραμόρφωσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 4. Από το σημείο A στο B, το δείγμα συμπιέζεται και παραμορφώνεται στο μειούμενο χώρο κάτω από το κατερχόμενο έμβολο χωρίς όμως να υφίσταται σχεδόν καμία θραύση αυτού. Στο σημείο B το δείγμα δεν μπορεί να συμπιεστεί άλλο, συμπεριφέρεται ως στερεό και τα υγρά που περιέχονται σε τρόφιμα υψηλής υγρασίας, όπως τα φρούτα και τα λαχανικά, αρχίζουν να γεμίζουν τα διάκενα στους ιστούς. Στο σημείο B, ή αμέσως μετά, το δείγμα θεωρείται πλήρως στερεό εκτός από μικρές ποσότητες εγκλωβισμένου αέρα, και η δύναμη αυξάνεται απότομα από το B στο C. Στο σημείο C το τρόφιμο αρχίζει να σπάει και εξωθείται προς τα πάνω ανάμεσα στις λεπίδες, και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το σημείο D, όπου η συμπίεση-διάτμηση σταματά και οι λεπίδες επανέρχονται στην αρχική τους θέση, οι λεπίδες υποχωρούν και απομακρύνονται από το δείγμα, ενώ η δύναμη μηδενίζεται. Το σημείο C αντιστοιχεί στη δύναμη που απαιτείται για την έναρξη της εξώθησης και η μεταβολή CD αντιστοιχεί στη δύναμη που καταγράφεται κατά την εξώθηση του δείγματος. Το τμήμα του διαγράμματος από το B στο C αντιπροσωπεύει την αυξανόμενη δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα σχεδόν ασυμπίεστο μείγμα στερεού και υγρού. Αυτός ο τύπος δοκιμής, χρησιμοποιείται σε παχύρρευστα υγρά, πηκτές, λίπη και φρέσκα και επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά καθώς η εξώθηση απαιτεί τη ροή του τροφίμου υπό πίεση. Χρησιμοποιείται σε τρόφιμα που ρέουν ανεμπόδιστα υπό εφαρμοζόμενη τάση.

Αντιθέτως δεν χρησιμοποιείται σε τρόφιμα που δεν ρέουν εύκολα, όπως το ψωμί, το κέικ, τα μπισκότα, τα δημητριακά πρωινού και τα γλυκά. (Bourne, 2002)



Εικόνα 4 Χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης παραμόρφωσης, σε δοκιμή με κελί Kramer. (Πηγή: Bourne, 2002)

1.14 Οξύτητα-pH-Brix

Τα βασικά οξέα της τομάτας είναι το κιτρικό και το μηλικό οξύ (9% και 4% της ξηράς ουσίας αντίστοιχα, του ώριμου κόκκινου καρπού,) με το κιτρικό να καθορίζει την όξινη γεύση του καρπού. Οι ώριμες cherry τομάτες έχουν υψηλότερη τιτλοδοτούμενη οξύτητα και περισσότερο κιτρικό οξύ από τις μεγαλόκαρπες ποικιλίες. Επίσης, η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο και η αντιοξειδωτική δράση της τομάτας είναι υψηλότερες στους καρπούς cherry ή σε μικρούς, κοκτέιλ καρπούς (Μακρογιάννη, 2010). Το pH του καρπού της τομάτας κυμαίνεται από 4.0 έως 4.7. Κατά την ωρίμαση και την μετατροπή του χρώματος από πράσινο σε κόκκινο, η οξύτητα αυξάνεται με σταθερούς ρυθμούς φθάνοντας στο μέγιστο με την εμφάνιση του κίτρινου χρώματος. Από το στάδιο αυτό και έπειτα ακολουθεί μια απότομη μείωση της συγκέντρωσής της. Περαιτέρω σημαντική μείωση της οξύτητας των καρπών προκαλείται με την αποθήκευσή τους σε θερμοκρασία δωματίου (Winsor *et al.* 1962; Davies and Hobson 1981).

Τα σάκχαρα του ώριμου κόκκινου καρπού της τομάτας αποτελούνται κυρίως από τη γλυκόζη και τη φρουκτόζη με ίχνη σακχαρόζης (Stevens, 1972). Η γλυκόζη και η φρουκτόζη βρίσκονται σε ίσες σχεδόν ποσότητες (22% και 25% της ξηράς ουσίας, αντίστοιχα), ενώ η σακχαρόζη βρίσκεται σε πολύ χαμηλή συγκέντρωση (<1% της ξηράς ουσίας) (Davies and Hobson 1981; Islam *et al.* 1996). Σύμφωνα με τους Gomez *et al.* (2009), κατά την αποθήκευση ώριμων καρπών cherry τομάτας στους 6 °C και 20 °C, τα επίπεδα των αναγωγικών σακχάρων

αυξήθηκαν και στις δύο θερμοκρασίες, με την τελική ποσότητα στους 20 °C να είναι υψηλότερη από εκείνη στους 6 °C.

1.15 Απολύμανση

Η ποιότητα του αέρα και ο κίνδυνος επιφανειακής μόλυνσης διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην επεξεργασία των τροφίμων, την παραγωγή, τη συσκευασία, καθώς και την καλλιέργεια και αποθήκευση φρούτων και λαχανικών. Σε πολλές περιπτώσεις, οι μικροοργανισμοί που παρατηρούνται στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά είναι παρόμοιοι με αυτούς που συναντώνται στον αγρό, επομένως μπορεί εύκολα να υπάρξει μικροβιακή αλλοίωση του προϊόντος (decay).

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η απολύμανση είναι ένα από τα κυριότερα στάδια επεξεργασίας και επηρεάζει όχι μόνο την ποιότητα, αλλά και την ασφάλεια και διάρκεια ζωής του προϊόντος. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος απολύμανσης των νωπών φρούτων και λαχανικών είναι η χρήση χλωρίου. Το χλώριο όμως, όχι μόνο δεν είναι αποτελεσματικό εναντίον όλων των ειδών των μικροβίων (απλά καθυστερεί την ανάπτυξή τους), αλλά έχει κατηγορηθεί ότι σχηματίζει καρκινογόνες ουσίες όπως τα τριαλομεθάνια (trihalomethanes). (Σαμιώτη, 2022)

Ο έλεγχος των μικροοργανισμών λαμβάνει χώρα μέσω των θερμικών και μη επεξεργασιών των τροφίμων. Στις θερμικές ανήκουν ο ζεστός ατμός, το ζεστό νερό καθώς και το ζεστό διάλυμα απολύμανσης. Αυτές εφαρμόζονται από κάποια δευτερόλεπτα έως και μερικά λεπτά, σε θερμοκρασίες από 60 έως 100 °C, οι οποίες εξαρτώνται από το προϊόν εφαρμογής. Η θερμική επεξεργασία έχει ιδιαίτερα αποτελέσματα στην μείωση της παραγωγής αιθυλενίου και αναπνοής του προϊόντος. επίσης, μπορεί να μειώσει την ενζυμική δραστηριότητα, η οποία συνήθως αυξάνεται κατά τις διαδικασίες της ωρίμασης, της γήρανσης και αποθήκευσης. Η θερμική επεξεργασία βέβαια είναι ακατάλληλη για τα φρέσκα οπωρολαχανικά καθώς προκαλείται υποβάθμιση της ποιότητάς τους. (Σαμιώτη, 2022)

Οι τεχνολογίες μη θερμικής επεξεργασίας διακρίνονται σε δύο υπό-κατηγορίες, τις φυσικές και τις χημικές. Στις φυσικές, ανήκουν η ακτινοβολία (irradiation), η υψηλή πίεση (high pressure), οι υπέρηχοι (ultrasound) και η υπεριώδης ακτινοβολία (ultraviolet radiation), τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (pulsed electric fields) αλλά και το παλμικό λευκό φως (pulsed white light). Από τις παραπάνω μεθόδους, υπάρχουν μερικές οι οποίες δεν εφαρμόζονται εμπορικά, όπως οι υψηλές πιέσεις, και τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία λόγω του υψηλού κόστους, ενώ η ακτινοβολία λόγω νομικών περιορισμένων. Οι χημικές τεχνολογίες χωρίζονται σε τεχνολογίες αέριας και υγρής φάσης, ανάλογα με τη φυσική κατάσταση της ουσίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, το όζον και το διοξείδιο του χλωρίου ανήκουν στις τεχνολογίες αέριας φάσης, ενώ το χλωριωμένο νερό στις τεχνολογίες υγρής φάσης. (Σαμιώτη, 2022)

Η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA) καθώς και το Κέντρο Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων (CDC), εκτιμούν ότι περίπου 48 εκατομμύρια άνθρωποι κάθε χρόνο αρρωσταίνουν από την κατανάλωση μολυσμένων τροφίμων. Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια εκδηλώθηκαν κρούσματα τροφιμογενών ασθενειών, λόγω διαφόρων βακτηρίων σε πεπόνια, μαρούλια, ντομάτες και σπανάκια. (CDC, 2019). Στην τομάτα συχνά παρατηρούνται

παθογόνα όπως *Alternaria Alternaria*, *Rhizopus spp*, *Penicilium expansum* κ.α. Η πιο συνήθης εμπορική πρακτική για τον έλεγχο των παθογόνων, αλλά και την παράταση της μετασυλλεκτικής ζωής των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών είναι η χρήση χλωρίου-χλωριωμένου νερού. Τα τελευταία χρόνια σε αρκετά κράτη της ΕΕ περιορίστηκε νομικά η εφαρμογή του χλωρίου λόγω των κινδύνων που προκαλεί στο περιβάλλον και την υγεία των καταναλωτών με συνέπεια την εμφάνιση ανάγκης για εναλλακτικές απολυμαντικές μεθόδους που να χρησιμοποιούνται στα φρέσκα λαχανικά όχι μόνο στον κλάδο των βιολογικών τροφίμων αλλά και των συμβατικών τροφίμων (Σαμιώτη, 2022). Έχει αποδειχτεί, ότι η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία (UV-C) τόσο του αέρα, όσο και της επιφάνειας του προϊόντος, και της συσκευασίας, μπορεί να μειώσει δραματικά τις πιθανότητες μόλυνσης και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής των προϊόντων μειώνοντας την συγκέντρωση και την παραγωγή αιθυλενίου το οποίο είναι υπεύθυνο για την γήρανση των προϊόντων.

Η υπεριώδης ακτινοβολία UV-C είναι μη ιονίζουσα με μήκη κύματος από 100-280 nm. Η ακτινοβολία αυτή χρησιμοποιείται για τη διατήρηση της μικροβιακής ποιότητας, την προστασία των υπερευαίσθητων ιστών, από την κασπάνωση και τον τραυματισμό των φρεσκοκομμένων προϊόντων (Ταρία κ.ά., 2015).

Η ακτινοβόληση των τροφίμων έχει τη δυνατότητα να διατηρήσει τα φρούτα και τα λαχανικά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σχεδόν σε φρέσκια κατάσταση. Το ισχύον όριο του FDA για την ακτινοβόληση φρέσκων προϊόντων είναι 1.0 kGy. Η υπεριώδης ακτινοβολία UV-C έχει χρησιμοποιηθεί για την παράταση της ζωής μετά τη συγκομιδή του φρέσκου επεξεργασμένου μαρουλιού. Η ακτινοβόληση μειώνει την αναπνοή καθώς και την παραγωγή αιθυλενίου στα προϊόντα. Μπορεί επίσης να καθυστερήσει την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης (Siddiqui κ.ά., 2011).

Η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C είναι μια μη θερμική επεξεργασία, η οποία έχει μελετηθεί εκτενώς για την επιφανειακή απολύμανση των φρούτων και των λαχανικών και θεωρείται μια εξαιρετικά αποτελεσματική, μη τοξική και φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος. Η ακτινοβολία UV-C παράγεται σε μήκη κύματος 250-280 nm και αναφέρεται πως διαταράσσει τη λειτουργικότητα και την ακεραιότητα του DNA των μικροοργανισμών, επιπλέον συνδέεται με τη δημιουργία αντιδραστικών ειδών οξυγόνου που ρυθμίζουν τις φυσιολογικές διεργασίες παραγωγής δευτερογενών μεταβολιτών. Η UV-C ακτινοβολία έχει διεισδυτική ικανότητα στην επιφάνεια των προϊόντων μερικά χιλιοστά. (Esua κ.ά., 2020)

Η χρήση της UV-C ακτινοβολίας για τη συντήρηση τροφίμων ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1930 και η πρώτη μελέτη στα φρούτα και λαχανικά καταγράφηκε το 1977. Τα τυπικά συστήματα για την έκθεση φρούτων και λαχανικών σε ακτινοβολία UV-C αποτελούνται από αυτόνομους θαλάμους με λαμπτήρες φθορισμού. Έχει αναφερθεί πως τροποποιήσεις στους συμβατικούς αυτόνομους ψυκτικούς θαλάμους επάγουν βελτιωμένες μικροβιακές μειώσεις και διατήρηση των ποιοτικών ιδιοτήτων ακόμη και σε χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας UV-C. Για παράδειγμα, χαμηλές δόσεις 0.1-0.3 kJ/m² από εξοπλισμό υπεριώδους ακτινοβολίας UV-C, που υποβοηθείται από νερό με χρήση ψεκαστήρων υπό πίεση, ήταν ικανές για να μειώσουν την αναπνοή, να διατηρήσουν την ποιότητα και να προκαλέσουν μείωση 0.9-2.0 logCFU/g της *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) και *Salmonella enterica* (*S. enterica*) σε μαρούλι και σπανάκι (Esua κ.ά., 2020). Δόσεις UV-C (0.5-

20 kJ/m) αναστέλλουν τη μικροβιακή ανάπτυξη προκαλώντας σχηματισμό διμερών πυριμιδίνης που παραμορφώνουν την έλικα του DNA και εμποδίζουν την αναπαραγωγή των μικροβιακών κυττάρων. (Siddiqui κ.ά., 2011). Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τους Wang κ.ά., 2019, αποδείχθηκε ότι ο πληθυσμός των συνολικών βακτηρίων και μούχλας στην τομάτα μειώθηκε σε ένα εύρος 0.42-1.04 logCFU/g και 0.41-0.93 logCFU/g, αντίστοιχα, με αυξανόμενη ένταση από 66.64 σε 145.74 W/L. Ομοίως, τα χαμηλότερα επίπεδα έντασης ανέστειλαν την παραγωγή αιθυλενίου και τον ρυθμό αναπνοής και διατήρησαν τη φρεσκάδα και τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες, ενώ η υψηλότερη ένταση είχε αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα της τομάτας, αποδεικνύοντας ότι η κατάλληλη ένταση μπορεί να αναστείλει την αποσύνθεση διατηρώντας τις θρεπτικές ιδιότητες και γεύση της τομάτας κατά την αποθήκευση (Esua κ.ά., 2020). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται ενδεικτικά η επίδραση των ποιοτικών χαρακτηριστικών ορισμένων φρούτων και λαχανικών σε διάφορους χειρισμούς ακτινοβολίας UV-C.

Η αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας UV-C φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία (μεταξύ 5 - 37 °C), αλλά εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας η οποία καθορίζεται από τη δομή και την μορφολογία της επιφάνειας του επεξεργασμένου προϊόντος, τη ροή ($J m^{-2}$) και τη θέση μεταξύ της πηγής και του δείγματος. Επιπλέον, η ακτινοβολία UV-C δρα έμμεσα κατά των μικροοργανισμών διεγείροντας τους αμυντικούς μηχανισμούς των επεξεργασμένων προϊόντων, καθυστερώντας την αποσύνθεση και τη γήρανση (Escalona κ.ά., 2010). Η απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία έχει πολλά πλεονεκτήματα καθώς δεν αφήνει υπολείμματα, δεν έχει νομικούς περιορισμούς, είναι εύκολη στην χρήση, είναι θανατηφόρος για τους περισσότερους τύπους μικροοργανισμών και δεν απαιτεί την εφαρμογή εκτεταμένου εξοπλισμού ασφαλείας. Έχει αναφερθεί ότι οι αβιοτικές καταπονήσεις, όπως αυτή από την ακτινοβολία UV-C, μπορούν να ενισχύσουν το θρεπτικό περιεχόμενο των φρέσκων φρούτων και λαχανικών. Θα επηρέαζε το δευτερογενή μεταβολισμό των νωπών προϊόντων και θα αύξανε τη σύνθεση φυτοχημικών ουσιών με θρεπτική δράση ή θα μείωνε τη σύνθεση ανεπιθύμητων ενώσεων (Artes κ.ά., 2008).

Πίνακας 3 Επίδραση της ακτινοβολίας UV-C σε ποιοτικά χαρακτηριστικά διαφόρων φρούτων και λαχανικών.

Προϊόν	Παράμετροι UV-C	Επίδραση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά
<i>Μαρούλι</i>	57.6 kJ/m ² , 3600s 24-72kJ/m ² , 1200-3600s 0.1-0.5 kJ/m ² , 60-300s	Διατήρηση συνολικών παραμέτρων ποιότητας Οξειδωτικός αποχρωματισμός, αύξηση αναπνοής
<i>Σταφύλι</i>	6 kJ/m ² , 0.5% χιτοζάνη	Αύξηση ρεσβερατόλης, μείωση αναπνοής, απώλεια βάρους
<i>Τομάτα</i>	5-40 kJ/m ² 0.97kJ/m ² , 180s 0.6-6.0 kJ/m ² , 10-100s 57.6 kJ/m ² , 3600s	- Μείωση απώλειας βάρους, βελτίωση φρεσκάδας και φαινολικού περιεχομένου Διατήρηση φρεσκάδας και χρώματος Αύξηση δείκτη χρώματος

	2 kJ/m ² ,500s, MAP	Αύξηση λυκοπένιου, διατήρηση χρώματος
	3.33 W/m ² , 4kJ/m ² ,120s	Μείωση απώλειας βάρους και ρυθμού αναπνοής, διατήρηση βιοενεργού και φυσικοχημικού περιεχομένου
	3 kJ/m ²	Αύξηση ολικών φαινολών και φρεσκάδας
<i>Φράουλα</i>	0.5 kJ/m ²	Αύξηση PAL και παραγωγής αιθυλενίου
	0.92-11.9 kJ/m ² ,60-840s 24-72	-
	kJ/m ² ,1200-3600s	-
	3.33 W/m ² , 4 kJ/m ²	Μείωση απώλειας βάρους και ρυθμού αναπνοής, αύξηση ανθοκυανίνων
	1.483 kJ/m ² , 120s	Βελτίωση φρεσκάδας, διατήρηση ανθοκυανίνων
<i>Δαμάσκηνο</i>	40kHz, 100W, 600s, 40mg/L ClO ₂	Μείωση ρυθμού αναπνοής, διατήρηση οξύτητας, φλαβονοειδών και ασκορβικού οξέος

(Πηγή: Esua κ.ά., 2020)

2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Σκοπός του πειράματος

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της ακτινοβολίας UV-C στα ποιοτικά χαρακτηριστικά (αναπνευστικό ρυθμό, ρυθμό διαπνοής, παραγωγή αιθυλενίου, απώλεια μάζας, χρώμα, υφή, ολικά διαλυτά στερεά συστατικά, pH και οξύτητα) κομμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας ποικιλίας Roma, συντηρούμενης σε θερμοκρασία 8.08 °C και σχετική υγρασία 81.71% για 5 ημέρες για κάθε χειρισμό. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές ροές πυκνότητας ακτινοβολίας UV-C, οι οποίες έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία ότι έχουν θετική επίδραση στην απολύμανση αλλά και στη συντήρηση μικρόκαρπης τομάτας.

2.2 Φυτικό υλικό

Στο παρόν πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν τομάτες τύπου cherry, οι οποίες προμηθεύτηκαν από τοπικό παραγωγό στο στάδιο της εμπορικής ωριμότητας. Οι τομάτες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου πλύθηκαν με νερό βρύσης για ένα λεπτό, ώστε να αφαιρεθούν υπολείμματα όπως χώμα, σκόνη κλπ. Η περίσσεια νερού απομακρύνθηκε με χαρτί οικιακής χρήσης. Μετά την ολοκλήρωση του πλυσίματος, σχηματίστηκαν δείγματα των 60 g περίπου το καθένα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στους εξεταζόμενους χειρισμούς. Στη συνέχεια, ένα από τα δείγματα που προορίζονταν να χειριστούν ως τεμαχισμένα, κόπηκαν με αποστειρωμένο μαχαίρι στη μέση, ενώ τα υπόλοιπα διατηρήθηκαν ολόκληρα.

2.3 Χειρισμοί επεξεργασίας τομάτας

Οι χειρισμοί πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασία 18 °C και σχετική υγρασία $\geq 80\%$, ενώ η ψυχρή αποθήκευση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 8.08 ± 0.1 °C και σχετική υγρασία $81.71 \pm 2.5\%$ για 5 ημέρες. Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ακτινοβολία UV-C. Για το σκοπό αυτό, ένα φορητό ισοθερμικό ψυγείο όγκου 40 λίτρων καλύφθηκε εσωτερικά με αλουμινόχαρτο για μεγιστοποίηση της ανάκλασης και στο κάλυμμά του τοποθετήθηκε εσωτερικά μια λάμπα UV-C (LADVANCE, MLs Co., Ltd, PRC) T8 ονομαστικής ισχύος 15 W (96 V) G13 και μήκος 436 mm (Εικόνα 3). Η ακτινοβολούμενη ισχύς του λαμπτήρα στα 254 nm είναι 12.6 W. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον πυθμένα του ψυγείου έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ των λαμπτήρων UV-C και της επιφάνειας των δειγμάτων να είναι 25 cm. Η ροή της ενέργειας ακτινοβόλησης των δειγμάτων (ενέργεια ακτινοβολίας που λαμβάνεται από μια επιφάνεια) υπολογίστηκε όπως περιγράφεται από τον Keitz (1971) 0.22 kJ/m^2 για εφαρμογή διάρκειας 38 s, 0.4 kJ/m^2 για εφαρμογή 60 s και 1.23 kJ/m^2 για εφαρμογή 185 s. Ο χειρισμός με ακτινοβολία UV-C πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία 5 °C.



Εικόνα 5 Ισοθερμικό ψυγείο που χρησιμοποιήθηκε για την ακτινοβολήση των δειγμάτων με UV-C.

2.4 Πειραματική διαδικασία

Τα δείγματα των καρπών τοποθετήθηκαν ασυσκευάστα σε θάλαμο συντήρησης σε θερμοκρασία 8.08 ± 0.132 °C και σχετική υγρασία $81.71 \pm 2.490\%$. Κατά τη διάρκεια της ψυχοσυντήρησης πραγματοποιούνταν καθημερινές μετρήσεις του αναπνευστικού ρυθμού (RR mLCO₂/100 g), του χρώματος και της μάζας των δειγμάτων. Επίσης, κάθε δεύτερη μέρα γινόταν μέτρηση αιθυλενίου για τον προσδιορισμό της παραγωγής του από τους καρπούς.

Στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς γινόταν ογκομέτρηση, απαραίτητη για τον υπολογισμό του αναπνευστικού ρυθμού και της παραγωγής αιθυλενίου. Κάθε μέτρηση από τις παραπάνω λάμβανε χώρα σε 9 δείγματα κομμένης τομάτας και σε 9 δείγματα ολόκληρης, καθένα από τα οποία ζύγιζε περίπου 60 g (Εικόνα 4). Στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς γινόταν καταστροφικός προσδιορισμός της υφής (μέγιστη δύναμη διάτμησης, βαθμός συνεκτικότητας και δαπανώμενο έργο) με τη χρήση κελιού Kramer, μετρούνταν ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως pH, brix και οξύτητα και, πραγματοποιούνταν παρατήρηση των δειγμάτων σε εργαστηριακό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 6. Δείγματα κομμένης και ολόκληρης τομάτας

2.5 Προσδιορισμός απώλειας μάζας

Η μέτρηση της μάζας πραγματοποιήθηκε με χρήση ηλεκτρονικού ζυγού KERN ακρίβειας $\pm 0.01\text{g}$ (μοντέλο PCB-440, Japan, Εικόνα 7). Οι ζυγίσεις για τον προσδιορισμό των απωλειών μάζας γίνονταν καθημερινά, μία φορά την ημέρα. Το ποσοστό των απωλειών μάζας (ML) (%) υπολογίστηκε από την Εξίσωση 1:

$$ML = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

όπου: m_0 η αρχική μάζα ($t = 0$) και m_t η υπολογιζόμενη μάζα την χρονική στιγμή t .



Εικόνα 7. Ζυγός που χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια του πειράματος.

Ο ρυθμός διαπνοής των δειγμάτων υπολογίστηκε μέσω της απώλειας μάζας και εκφράστηκε, ως προς την αρχική μάζα (g/kg h) για κάθε χειρισμό που πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά, όπως περιγράφεται παρακάτω.

$$TR_m = \frac{1}{t} \times \frac{M_i - M_t}{M_i} \times 1000 \quad (2)$$

όπου: TR_m είναι ο ρυθμός διαπνοής ανά μονάδα μάζας (g/kg h), M_i είναι το αρχικό βάρος του λαχανικού (g), M_t είναι το βάρος του λαχανικού τη χρονική στιγμή t (h).

2.6 Εκτίμηση όγκου

Ο όγκος των δειγμάτων υπολογίστηκε στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς. Η ογκομέτρηση έλαβε χώρα με τη μέθοδο της «εκτόπισης νερού» (Εικόνα 8). Αφού μετρήθηκε το βάρος των δειγμάτων, ζυγίστηκε ένας ογκομετρικός κύλινδρος και αφαιρέθηκε το απόβραό του. Ύστερα, τα δείγματα βυθίστηκαν ατομικά σε μια δεξαμενή, η οποία έφερε μια μικρή οπή στο ύψος της στάθμης του νερού για την υπερχειλίση του εκτοπισμένου νερού, το οποίο συλλέχθηκε με τον ογκομετρικό κύλινδρο και ζυγίστηκε. Από το βάρος του εκτοπισμένου νερού και την αντίστοιχη πυκνότητα του νερού, υπολογίστηκε ο όγκος. Η εκτίμηση του όγκου ήταν απαραίτητη για τον υπολογισμό του ρυθμού αναπνοής καθώς και της παραγωγής αιθυλενίου.



Εικόνα 8. Ογκομέτρηση δειγμάτων

2.7 Χρώμα καρπού

Οι μετρήσεις του χρώματος έγιναν με χρωματόμετρο MINOLTA CR-300 (Konica Minolta, Japan, Εικόνα 9). Πριν από κάθε μέτρηση, το όργανο βαθμονομούταν με τη βοήθεια

πλάκας βαθμονόμησης λευκού χρώματος ($Y=92.6$, $x=0.3135$, $y=0.3193$). Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση του χρώματος βασιζόταν στο χρωματικό χώρο CIEL*a*b* (Χατζής, 2007α). Οι μετρήσεις γίνονταν σε δυο σημεία της εξωτερικής πλευράς εκατέρωθεν του ισημερινού του άξονα για κάθε κομμάτι κομμένου καρπού, ενώ στα δείγματα ολόκληρων καρπών γίνονταν 4 μετρήσεις αντιδιαμετρικά με τον ίδιο τρόπο.



Εικόνα 9 Χρωματόμετρο Konica Minolta CR-300

Η μεταβολή του χρώματος στους καρπούς εκφράστηκε μέσω της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE (Total Colour Difference),

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

ενώ η μεταβολή του κόκκινου χρώματος εκφράστηκε από την μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* . Επιπλέον, υπολογίστηκαν η χροιά h (hue) και ο χρωματικός κορεσμός C (Chroma) υπολογίστηκαν από τις εξισώσεις αντίστοιχα.

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

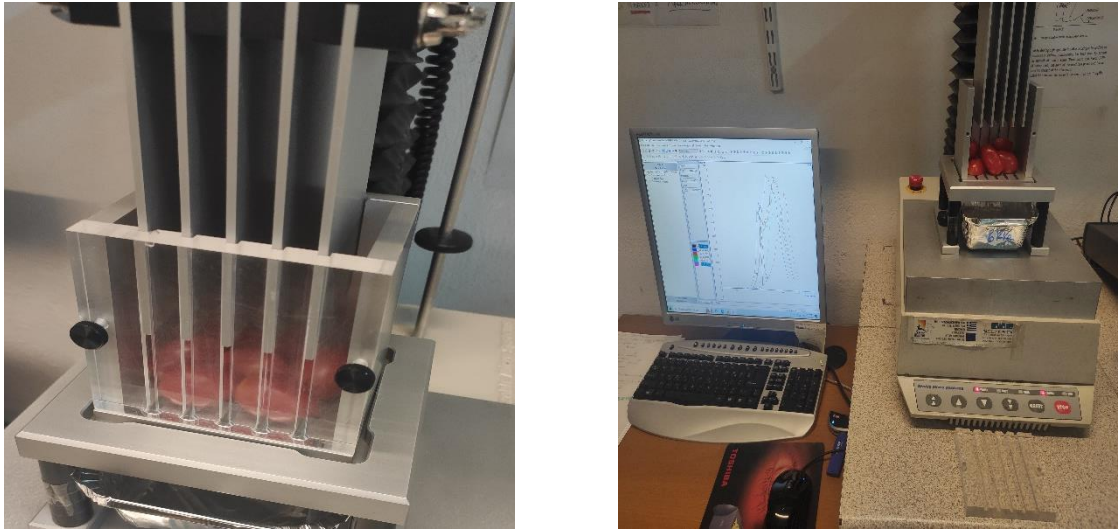
$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (5)$$

Οι Pathare κ.ά. 2013 ανέφεραν πως ο χρωματικός κορεσμός (C^*), θεωρείται ως ποσοτική ιδιότητα χρώματος και όσο υψηλότερες είναι οι τιμές C^* , τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ένταση χρώματος που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Επιπλέον, η χροιά (h^*), θεωρείται ποιοτική χρωματική ιδιότητα σύμφωνα με την οποία τα χρώματα ορίζονται ως κοκκινωπά, πρασινωπά κ.λπ.

2.8 Προσδιορισμός υφής

Ο προσδιορισμός της αντίστασης της τομάτας στη διάτμηση, μέσω καταστροφικής μεθόδου, έγινε με τον αναλυτή υφής Universal Texture Analyzer TA.XT2i (Stable Micro Systems Ltd., UK) εφοδιασμένο με κελί Kramer, με 5 κοπτικές λεπίδες, στο οποίο τοποθετήθηκαν περίπου 60 g δείγματος (Εικόνα 10) Η ταχύτητα των λεπίδων, αρχομένης της

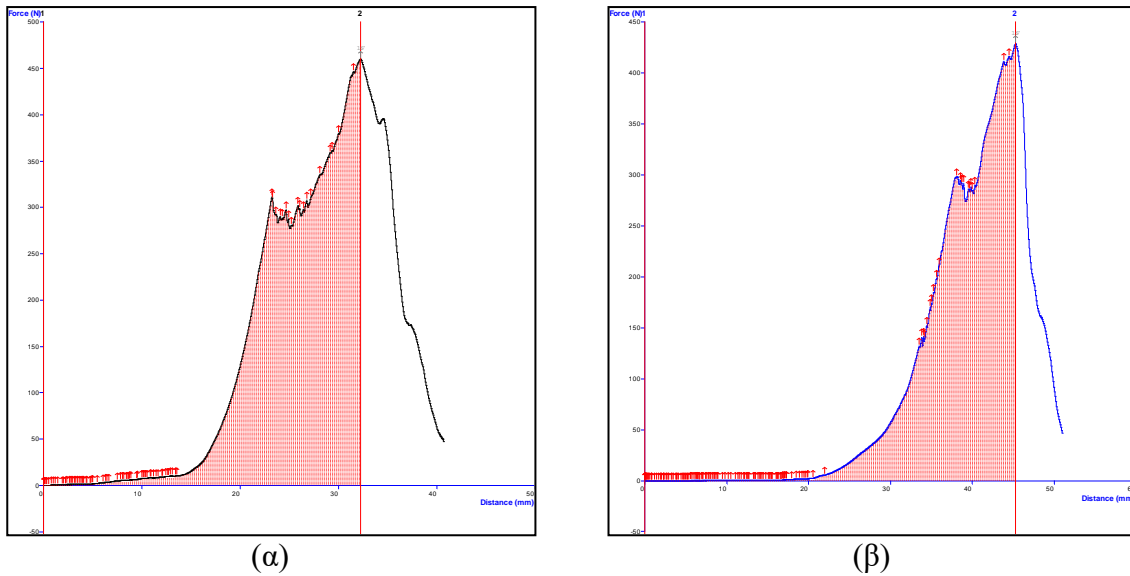
επαφής με το δείγμα, ρυθμίστηκε στη σταθερή ταχύτητα των 3.0 mm/min. Η δοκιμή διάτμησης Kramer πραγματοποιήθηκε σε δείγματα των 60 g στην αρχή και στο τέλος κάθε πειραματικής σειράς. Πριν την έναρξη της δοκιμής, τόσο οι ολόκληρες όσο και οι τεμαχισμένες τομάτες παρέμεναν εκτός των θαλάμων συντήρησης ώστε να αποκτήσουν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η επεξεργασία των δεδομένων υφής έγινε με το πρόγραμμα TEXTURE EXPONENT 32 (ver. 6.0.6.0) (Stable Micro Systems Ltd., UK).



Εικόνα 10 Αναλυτής υφής με κελί Kramer

Από τις καμπύλες δύναμης-παραμόρφωσης, προσδιορίστηκαν οι τιμές της μέγιστης δύναμης (FKMF), του έργου (FKW) και το πλήθος των κορυφών θετικής δύναμης-θραύσεων (FKPP) που απαιτούνται για τη διάτμηση των εξεταζόμενων δειγμάτων, που μετρήθηκαν και παρουσιάζονται στην Εικόνα 11. Αυτές οι «οδοντωτές-κορυφές» είναι τυπικές κατά τη δοκιμή της συμπίεσης στα τρόφιμα, καθώς πραγματοποιούνται σε διαφορετικά μικρά στάδια.

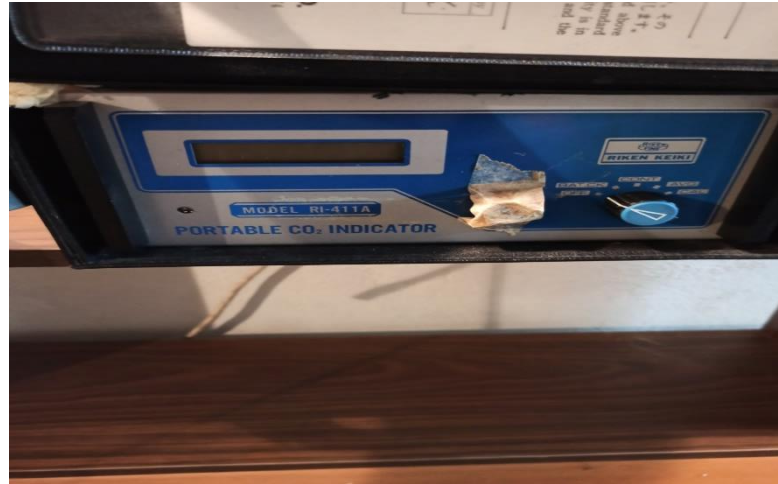
Ο βαθμός συνεκτικότητας των καμπυλών δύναμης-παραμόρφωσης εκτιμάται ποσοτικά μέσω του αριθμού των θραύσεων που καταγράφεται κατά τη διάρκεια της συμπίεσης (N) ως ο αριθμός των θετικών κορυφών (τοπικά μέγιστα) μέσα στο οδοντωτό τμήμα της καμπύλης δύναμης-παραμόρφωσης. Σύμφωνα με τους Alvarez κ.ά., (2020) κάθε δείγμα τροφίμου έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης-παραμόρφωσης που εξαρτάται από τα δομικά χαρακτηριστικά του, όπως η μεταβολή της θραυστότητάς του (fracturability).



Εικόνα 11 Χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης - παραμόρφωσης ολόκληρης (α) και κομμένης (β) μικρόκαρπης τομάτας κατά τη συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση

2.9 Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού

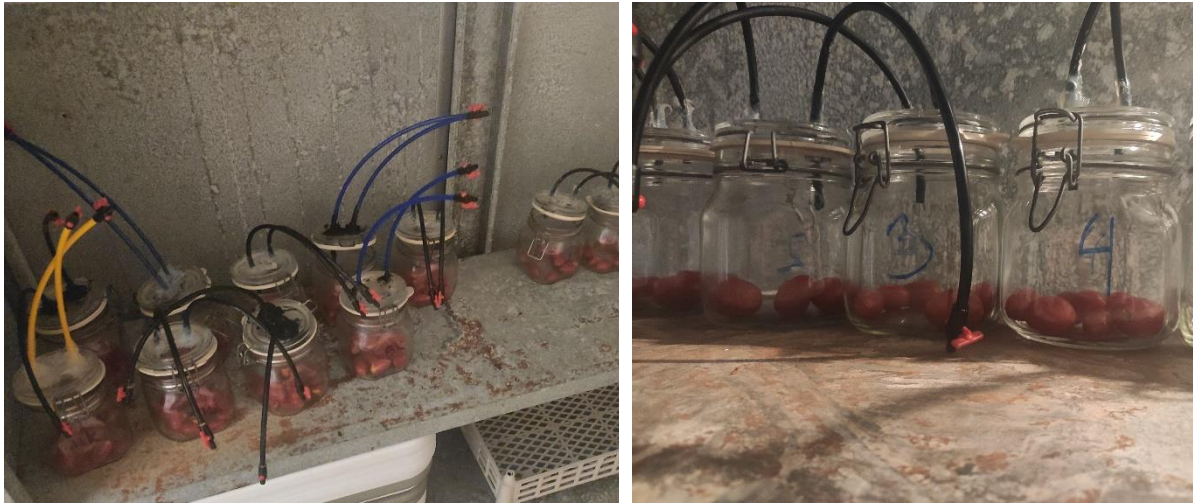
Ο ρυθμός αναπνοής ως προς την παραγωγή CO_2 εκτιμήθηκε με την κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας φορητή πειραματική διάταξη (RICKLOS) (Mitropoulos κ.ά., 2000). Το RICKLOS είναι ένα κλειστό-στατικό σύστημα αναπνοής στο οποίο το συσσωρευμένο CO_2 μετράται από ένα φορητό όργανο καταγραφής της συστασης του CO_2 στον αέρα RI-411A (Riken Keiki Co. Ltd., Tokyo, Japan, Εικόνα 12) με ακρίβεια $\pm 2\%$ και διακριτική ικανότητα 25 ppm. Η μέτρηση του ρυθμού αναπνοής πραγματοποιήθηκε σε τρία δείγματα (60 g το καθένα) ανά μεταχείριση σε αναπνευστικούς θαλάμους. Πραγματοποιήθηκαν τρεις επαναλήψεις ανά μεταχείριση (συνολικά εννέα δείγματα). Τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα δοχεία όπου φυλάσσονταν, σε προκαθορισμένους χρόνους και τοποθετήθηκαν στους αναπνευστικούς θαλάμους, οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι μέσω δικτύου πλαστικών σωλήνων με το Riken Keiki RI-411A. Ο μέσος χρόνος μέτρησης ήταν 4 ώρες, ώστε να διασφαλιστεί ότι είχε συσσωρευτεί ποσότητα CO_2 στους θαλάμους αναπνοής μεγαλύτερη της διακριτικής ικανότητας του Riken Keiki RI-411A.



Εικόνα 12 Φορητή συσκευή RIKCLOS για μέτρηση της αναπνοής νωπών αγροτικών προϊόντων

Τόσο τα δείγματα των τεμαχισμένων καρπών, όσο και τα δείγματα των ολόκληρων, τοποθετούνταν εντός του αναπνευστικού θαλάμου (Εικόνα 13) και ο θάλαμος έκλεινε ερμητικά για να καταγραφεί η αρχική ένδειξη. Ο θάλαμος έμεινε κλειστός για χρονικό διάστημα 4 ωρών όπως αναφέρθηκε. Μετά το απαραίτητο χρονικό διάστημα, ακολούθησε άνοιγμα των στροφιγγών για την καταγραφή της τελικής μέτρησης CO₂.





Εικόνα 13. Οι αναπνευστικοί θάλαμοι τοποθετημένοι στον θάλαμο συντήρησης.

Ο ρυθμός αναπνοής υπολογίστηκε βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$RR = \left(\frac{\Delta C}{\Delta t} \right) \times \left(\frac{V}{m} \right) \times 10^{-4} \quad (6)$$

όπου RR ο ρυθμός αναπνοής σε mlCO₂/h/100 g προϊόντος, ΔC η μεταβολή της συγκέντρωσης CO₂ σε ppm (ΔC = C_f – C_i, ΔC > 300 ppm), C_f η συγκέντρωση του CO₂ σε ppm στην τελική κατάσταση, C_i η συγκέντρωση CO₂ σε ppm στην αρχική κατάσταση, V η διαφορά μεταξύ του όγκου του κυκλώματος της συσκευής (V_c) και του όγκου του προϊόντος (V_{fr}) σε ml, t ο χρόνος σε h και m η μάζα του προϊόντος σε g.

Από τα προβλήματα της ποιοτικής υποβάθμισης κατά την ψυχοσυντήρηση των οπωρολαχανικών, είναι η απώλεια μάζας (με τη μορφή υδρατμών) ακόμη και σε σχεδόν μηδενικά ελλείμματα πίεσης υδρατμών (κορεσμός). Θεωρητικά σε αυτό το επίπεδο υγρασίας, ο ρυθμός της διαπνοής μηδενίζεται, οπότε οι απώλειες αυτές δεν μπορούν να δικαιολογηθούν πλήρως από αυτό το φαινόμενο. Αυτές οι απώλειες οφείλονται κυρίως στον αναπνευστικό ρυθμό των προϊόντων.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την βιβλιογραφία για τον υπολογισμό των σακχάρων που συμμετέχουν ενεργά στην αναπνοή, το άθροισμα των ποσοτήτων της γλυκόζης και της φρουκτόζης είναι 2.7 g/100g καρπού (1.4 g/100g καρπού φρουκτόζη και 1.3 g/100g καρπού γλυκόζη). Από την εξίσωση της πλήρους στοιχειομετρικής καύσης (Εξίσωση 7) προκύπτει ότι:



Συνεπώς για κάθε mole υποστρώματος που καταναλώνεται (180 g) παράγονται 6 moles νερού (108 g), 6 moles CO₂ (134.4 L) και 2,835 kJ με την μορφή θερμότητας. Από την στοιχειομετρία προκύπτει ότι απαιτούνται 1.34x10⁻³ g DML (απώλεια ξηράς ουσίας) για την παραγωγή 1.0 ml CO₂. Συνδυάζοντας τα δεδομένα από τη στοιχειομετρία με τη συγκέντρωση των σακχάρων προκύπτει ότι παράγονται 1.62 g νερού ανά 100 g νωπού καρπού. Ενσωματώνοντας τον αναπνευστικό ρυθμό, και με τις απαραίτητες μετατροπές μέσω της

περιεχόμενης υγρασίας ώστε να μετατραπούν τα g ξηράς ουσίας, σε g νωπού προϊόντος, προκύπτει η παρακάτω εξίσωση υπολογισμού της απώλειας υγρασίας μέσω της αναπνοής:

$$WL = 0.008036 \times RR \quad (8)$$

όπου WL η απώλεια νερού μέσω της διαπνοής σε g_{H₂O}/h/kg νωπού λαχανικού και RR ο αναπνευστικός ρυθμός σε mlCO₂/h 100g νωπού καρπού.

2.10 Ολικά διαλυτά στερεά (Brix) - Οξύτητα - Δείκτης οξύτητας pH

Τα ολικά διαλυτά στερεά μετρήθηκαν στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης κάθε πειραματικής ομάδας δειγμάτων (τεμαχισμένων και ολόκληρων). Για τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών στερεών εξαγόταν χυμός από τα δείγματα των καρπών σε κάθε περίπτωση. Για την λήψη του δείγματος χυμού, οι καρποί τεμαχίζονταν στον ισημερινό και τα δυο μέρη συμπιέζονταν ώστε να ληφθεί μείγμα χυμού από όλο τον καρπό και στη συνέχεια διηθούνταν. Η μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών γινόταν με διαθλασίμετρο σε δείγμα διηθημένου χυμού. Το διαθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ψηφιακό (HI96801, HANNA Instruments) διακριτικής ικανότητας ±0.1% Brix (Εικόνα 14). Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν στην έναρξη κάθε μέτρησης με απεσταγμένο νερό (0% Brix).

Η μέτρηση της οξύτητας πραγματοποιήθηκε με ψηφιακό οξύμετρο (μοντέλο GMK-708) (εικόνα 12) ακρίβειας ±0.05% και διακριτικής ικανότητας 0.01%. Με τη χρήση πιπέτας λαμβάνονταν τρεις σταγόνες χυμού από τον χυμό που εξαγόταν από τους καρπούς της τομάτας και αραιώνονταν στο ειδικό δοχείο που διαθέτει η συσκευή με απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια, δείγμα από τον αραιωμένο χυμό τοποθετούταν στην οπή του οξύμετρου για την έναρξη της μέτρησης. Η βαθμονόμηση του οργάνου γινόταν στην έναρξη των μετρήσεων με απιονισμένο νερό.

Η μέτρηση του pH έγινε με τη βοήθεια ψηφιακού πεχάμετρου (μοντέλο CyberScan pH 500, Eutech Instruments, Singapore) (Εικόνα 14) ακρίβειας ±0.01 και διακριτικής ικανότητας ±0.01 εφοδιασμένο με ηλεκτρόδιο ORP που περιείχε διάλυμα KCl 3.5M και στο άκρο έφερε σφαίρα υάλου. Το ηλεκτρόδιο εμβαπτιζόταν στο χυμό των καρπών, αφού είχε καθαριστεί πριν και μετά τη μέτρηση με αποσταγμένο νερό.



Εικόνα 14. Διαθλασίμετρο για την μέτρηση σακχάρων (κάτω δεξιά), ψηφιακό οξύμετρο (πάνω δεξιά) για την μέτρηση της οξύτητας και ψηφιακό πεχάμετρο για την μέτρηση δείκτη οξύτητας-pH (πάνω αριστερά).

2.11 Μέτρηση αιθυλενίου

Η μέτρηση αιθυλενίου έγινε με φορητό μετρητή αιθυλενίου Macview (EMS B.V, Netherlands, Εικόνα 15) διακριτικής ικανότητας ± 0.01 ppm και ακρίβειας $\pm 0.5\%$. Η μέτρηση της παραγωγής αιθυλενίου πραγματοποιήθηκε σε τρία δείγματα (60 g το καθένα) ανά μεταχείριση σε αναπνευστικούς θαλάμους. Τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα δοχεία όπου φυλάσσονταν σε προκαθορισμένους χρόνους και τοποθετήθηκαν σε αναπνευστικούς θαλάμους, οι οποίοι έκλειναν ερμητικά και ήταν συνδεδεμένοι μέσω δικτύου πλαστικών σωλήνων με τον μετρητή αιθυλενίου. Ο μέσος χρόνος μέτρησης ήταν 15 ώρες, ώστε να διασφαλιστεί ότι είχε συσσωρευτεί επαρκής ποσότητα αιθυλενίου στους θαλάμους σύμφωνα με την ευαισθησία μέτρησης του μετρητή.



Εικόνα 15. Φορητός μετρητής αιθυλενίου MACView.

Ο ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου υπολογίστηκε βάσει της Εξίσωσης 9:

$$ER=(C/\Delta t)*(V/m) \quad (9)$$

όπου ER ο ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου σε $\mu\text{L}/\text{kg h}$, C: η μέτρηση που καταγράφηκε από τον μετρητή σε ppm, Δt ο χρόνος που χρειάστηκε για την καταγραφή της συγκέντρωσης σε h, V η διαφορά μεταξύ του όγκου του κυκλώματος της συσκευής (V_c) και του όγκου του προϊόντος (V_{fr}) σε L και m η μάζα του προϊόντος σε kg.

2.12 Καταγραφή πειραματικών δεδομένων και στατιστική ανάλυση

Η θερμοκρασία και η υγρασία στον ψυκτικό θάλαμο, καταγράφονταν με αισθητήρες Hobo U12 (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA, Εικόνα 16) οι οποίοι συνδέονταν σε σταθμό αποθήκευσης δεδομένων Hobo Micro station (Onset Computer Corp. Massachusetts, USA). Οι αισθητήρες ήταν διακριτικής ικανότητας $0.4\text{ }^\circ\text{C}$, 0.5% και ακρίβειας $\pm 0.7\text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 3\%$ αντίστοιχα για θερμοκρασία και σχετική υγρασία.



Εικόνα 16. Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας Hobo U12

Η στατιστική ανάλυση έγινε με το στατιστικό πρόγραμμα Statgraphics Centurion XVI (Statpoint Technologies, Virginia, USA) σε επίπεδο σημαντικότητας $p \leq 0.05$. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων περιλάμβανε πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης (Multifactor ANOVA) καθώς και επιλογή της κατάλληλης κατανομής (κατανομή Weibull) και

προσδιορισμού των παραγόντων της κατανομής, για την περιγραφή της μεταβολής της χρωματικής έντασης.

2.13 Κατανομή Weibull

Η κατανομή η οποία μπορεί να περιγράψει την μεταβολή της χρωματικής έντασης στο χώρο αλλά και στο χρόνο δίνοντας ταυτόχρονα άμεση πληροφορία για τη γήρανση του φυτικού ιστού είναι η στατιστική κατανομή Weibull (Life Data Analysis). Συγκεκριμένα, αυτή η κατανομή χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός ζωντανού οργανισμού (η οποία μπορεί να έχει σχέση είτε με τη διαδικασία ανάπτυξης, είτε με τη διαδικασία γήρανσης) μέσω της προσαρμογής αντιπροσωπευτικών πειραματικών δεδομένων σε μια στατιστική κατανομή. Αυτή η παραμετρική κατανομή των δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλεφθούν σημαντικές φάσεις στη ζωή ενός οργανισμού όπως την αξιοπιστία ή αντίστοιχα την πιθανότητα αστοχίας σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, την μέση διάρκεια ζωής και το ποσοστό αποτυχίας.

Η επιλογή αυτή έγινε καθώς τα δεδομένα, όπως και στις περισσότερες περιπτώσεις, μελετών που αφορούν ζωντανούς οργανισμούς, δεν ακολουθούσαν κανονική κατανομή καθώς και ότι η κατανομή Weibull μπορεί να εφαρμοστεί με μια πληθώρα μορφών (είτε με έναν παράγοντα είτε ως πολυπαραγοντική). Επιπλέον, η κατανομή Weibull επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτίμηση τόσο της αναλογίας κινδύνου όσο και της αναλογίας του χρόνου εκδήλωσης μιας ιδιότητας, επιτρέποντας μια πιο ενδελεχή εξέταση της αναλογικότητας συνεπώς παρέχει ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο όχι μόνο προβλέπει την συμπεριφορά ενός ζωντανού δείγματος αλλά «ωριμάζει» τα δεδομένα ώστε να ανταπεξέρχονται καλύτερα σε βάθος χρόνου. (Αλειφέρης, 2016)

Η συνάρτηση της πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull περιγράφεται ως εξής (Rinne, 2009):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^\beta\right], & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

με $\alpha > 0$ και $\beta > 0$, όπου α η παράμετρος κλίμακας (scale parameter) ως σταθερά ρυθμού αντίδρασης (reaction rate constant), β η παράμετρος σχήματος (shape parameter) ως δείκτη συμπεριφοράς (behavior index) και γ τοπική παράμετρος (location parameter) που εντοπίζει την κατανομή κατά μήκος της τετμημένης.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1 Απώλεια μάζας

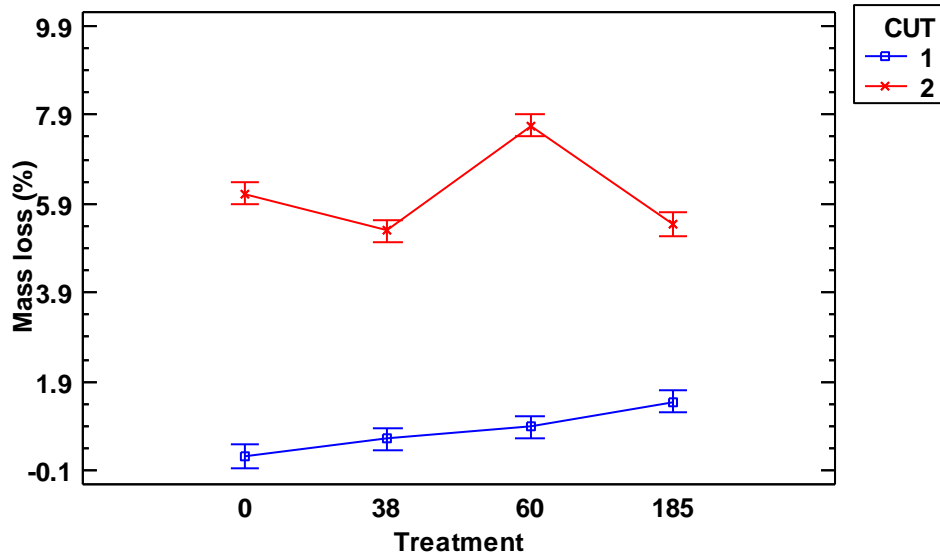
Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τα δεδομένα των απωλειών μάζας (Πίνακας 4) έδειξε ότι και οι τρεις παράγοντες που εξετάστηκαν είναι στατιστικά σημαντικοί ($P \leq 0.05$), με σημαντικότερο αυτό του τεμαχισμού (F -Ratio=1669.53). Επίσης, στατιστικά σημαντικές ήταν και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων όπως φαίνεται στον πίνακα εκτός αυτής μεταξύ χειρισμών και χρόνου συντήρησης. Βάσει του F -Ratio η αλληλεπίδραση μεταξύ τεμαχισμού και χρόνου συντήρησης είχε τη μεγαλύτερη τιμή.

Πίνακας 4 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την απώλεια μάζας

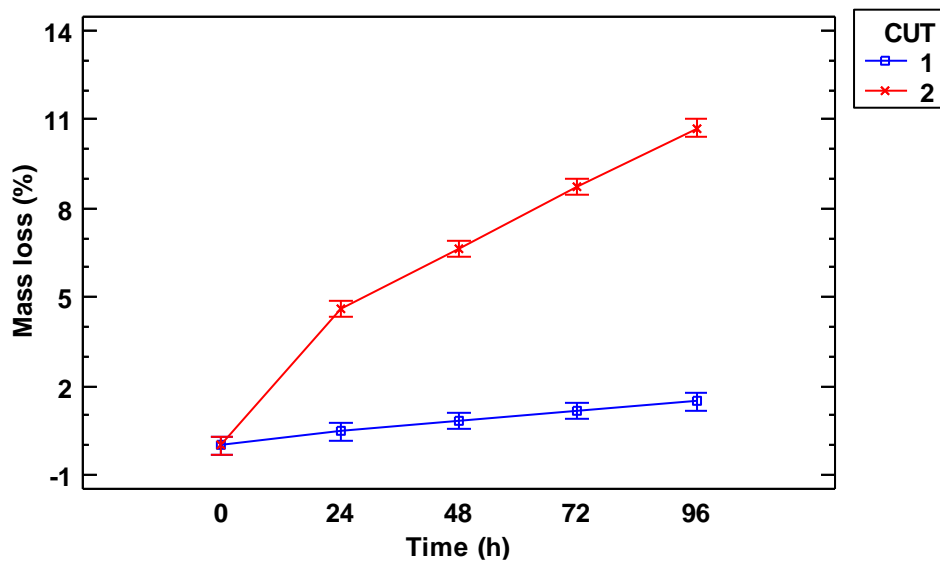
Παράγοντες	<i>df</i>	<i>F</i> -Ratio	<i>P</i> -Value
A: Χειρισμοί	3	19.54	$\leq 0.001^*$
B: Τεμαχισμός	1	1669.53	$\leq 0.001^*$
C: Χρόνος συντήρησης (h)	4	257.33	$\leq 0.001^*$
Αλληλεπίδραση			
A×B	3	22.55	$\leq 0.001^*$
A×C	12	1.29	0.2240 ^{NS}
B×C	4	146.96	$\leq 0.001^*$
A×B×C	12	2.06	0.0192*

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, *df*= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Στα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των απωλειών μάζας για τους δυο διαφορετικούς τρόπους κοπής συναρτήσει του χειρισμού με ακτινοβολία UV-C (Σχήμα 3) και του χρόνου συντήρησης (Σχήμα 4). Σε κάθε χειρισμό με ακτινοβολία αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης, η απώλεια μάζας στους τεμαχισμένους καρπούς ήταν μεγαλύτερη όπως ήταν αναμενόμενο.



Σχήμα 3 Μέση απώλεια μάζας για τους δυο τρόπους κοπής συναρτήσει του χειρισμού με ακτινοβολία UV-C. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).



Σχήμα 4 Μέση απώλεια μάζας για τους δυο τρόπους κοπής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Εξετάζοντας ξεχωριστά κάθε κοπή, μπορούν να εξαχθούν καλύτερα συμπεράσματα για την απώλεια μάζας ανά περίπτωση. Η ανάλυση διασποράς για τα δεδομένα των ολόκληρων καρπών όπως φαίνεται στον Πίνακα 5 έδειξε ότι ο χρόνος και η έκθεση σε ακτινοβολία UV-C καθώς και η αλληλεπίδραση των παραγόντων είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες για την απώλεια μάζας. Αντίστοιχα, για τους τεμαχισμένους καρπούς μόνο ο χρόνος συντήρησης και

ο χειρισμός με UV-C είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες, με σημαντικότερο τον χρόνο συντήρησης (F -Ratio=206.58) όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.

Πίνακας 5 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) της απώλειας μάζας με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ώρες) και χειρισμούς για ολόκληρους και τεμαχισμένους καρπούς τομάτας.

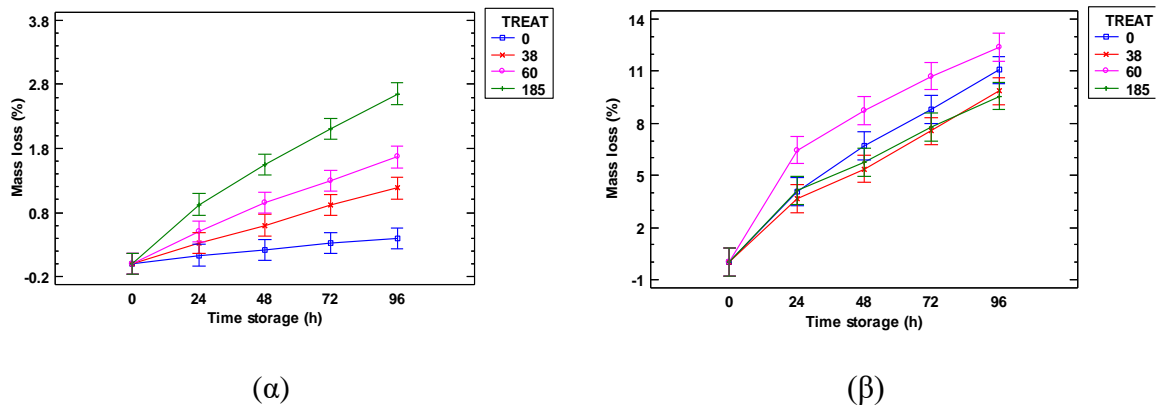
Παράγοντες	df	Απώλεια μάζας - ολόκληρες (%)		Απώλεια μάζας - τεμαχισμένες (%)	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος συντήρησης (h)	4	96.57	≤0.001*	206.58	≤0.001*
B: Χειρισμοί	3	97.20	≤0.001*	17.84	≤0.001*
Αλληλεπίδραση A×B	12	9.76	≤0.001*	1.33	0.2041 ^{NS}

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Στα Σχήματα 5α και 5β παρουσιάζονται οι απώλειες μάζας συναρτήσει του χρόνου συντήρησης. Επίσης, στα Σχήματα 5 από την στατιστική ανάλυση φαίνεται ότι, όσον αφορά τους ολόκληρους καρπούς οι χειρισμοί μεταξύ τους αλλά και με τον μάρτυρα (0 s) εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς, στατιστικά σημαντική διαφορά εμφανίστηκε μεταξύ του μάρτυρα (0 s) και των χειρισμών με έκθεση στην ακτινοβολία διάρκειας 38 s και 60 s ενώ δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά του μάρτυρα (0 s) με τον χειρισμό των 185 s. Μεταξύ των χειρισμών εμφανίστηκε στατιστικά σημαντική διάφορα μεταξύ των 38 s και 60 s καθώς και των 60 s και 185 s.

Από το Σχήμα 5α προκύπτει ότι στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών ο μάρτυρας (0 s) είχε πολύ μικρές απώλειες (0.4 %) ενώ οι άλλοι τρεις χειρισμοί παρουσίασαν αυξημένες απώλειες. Οι απώλειες αυτές αυξάνονταν με την αύξηση της έκθεσης στην ακτινοβολία UV-C. Επίσης, οι απώλειες δεν ξεπέρασαν το 3% για κανέναν από τους χειρισμούς με ακτινοβολία και η μέγιστη απώλεια μάζας (2.65%) εμφανίστηκε στον χειρισμό με την μεγαλύτερη διάρκεια έκθεσης στην ακτινοβολία UV-C (185 s). Εφόσον οι απώλειες δεν ξεπέρασαν το 3% του βάρους μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι καρποί της τομάτας διατήρησαν την εμπορευσιμότητά τους μέχρι το πέρας της συντήρησης, καθώς σύμφωνα με τους Yehoshua and Rodon, 2003 η τομάτα κρίνεται μη εμπορεύσιμη σε ποσοστό απωλειών 7%. Στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών, Σχήμα 5β, παρουσιάστηκε μεγαλύτερη απώλεια μάζας στον χειρισμό των 60 s (12.39%), ο οποίος εμφάνισε μεγαλύτερη απώλεια μάζας σε όλη τη διάρκεια της συντήρησης, ακολουθούμενος από τον μάρτυρα με μέγιστη απώλεια μάζας 11.06%, ενώ στους χειρισμούς 38 s και 185 s παρατηρήθηκαν παρόμοιες απώλειες, μικρότερες του μάρτυρα, με μέγιστη τιμή 9.85% και 9.56% αντίστοιχα. Στην περίπτωση των 38 s αυτό μπορεί να οφείλεται στη φυσιολογία των καρπών της τομάτας, ενώ στην περίπτωση των 185 s, μπορεί να οφείλεται στην μεγάλη διάρκεια έκθεσής τους στην ακτινοβολία UV-C, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε επιφανειακή σκλήρυνση και κλείσιμο των στοματίων του φλοιού και έτσι να εμποδίζεται η απομάκρυνση του νερού από το προϊόν με αποτέλεσμα να καθυστερεί η απώλεια υγρασίας. Τέλος, γίνεται αντιληπτό ότι οι κομμένοι καρποί δεν μπορούσαν να θεωρηθούν εμπορεύσιμοι στο πέρας της συντήρησης.

Τα περισσότερα λαχανικά καθίστανται μη εμπορεύσιμα όταν η απώλεια μάζας κυμαίνεται μεταξύ 5-10% του αρχικού τους βάρους (Robison κ.ά., 1975) Οι τομάτες παλούνται συνήθως με βάση το βάρος, η απώλεια βάρους επηρεάζει αρνητικά τις τιμές. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να εξεταστεί η επίδραση των τεχνολογιών μετά τη συγκομιδή στην απώλεια βάρους κατά την αποθήκευση. Η χρήση της ακτινοβολίας UV-C (Cote et al. 2013) έχει αναφερθεί ότι μειώνει σημαντικά την απώλεια βάρους της ντομάτας.



Σχήμα 5 Απώλειες μάζας (%), (α) για ολόκληρους και (β) για τεμαχισμένους καρπούς, για κάθε μεταχείριση συναρτήσει του χρόνου συντήρησης. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

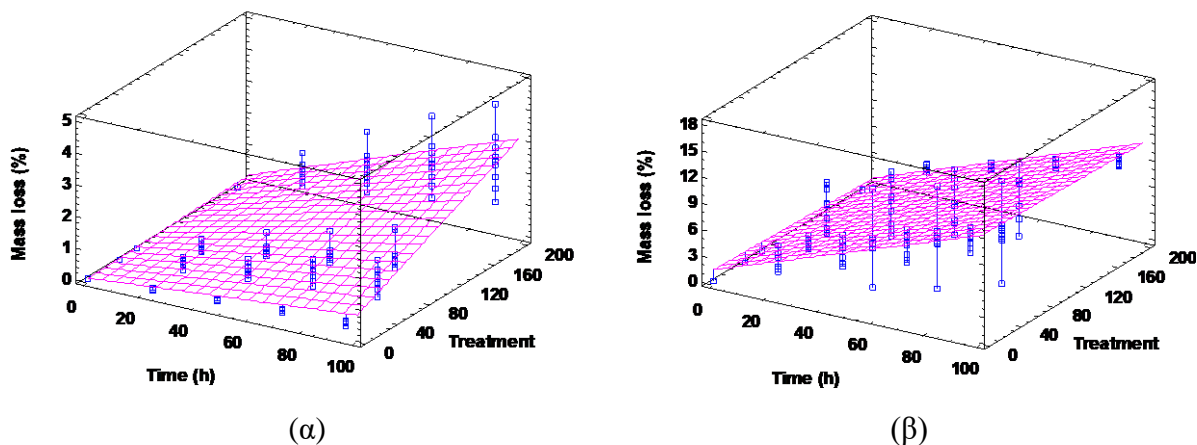
Η μεταβολή της απώλειας μάζας συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στην ακτινοβολία και του χρόνου συντήρησης μπορεί να περιγραφεί από μια επιφάνεια απόκρισης τόσο για τους ολόκληρους όσο και για τους τεμαχισμένους καρπούς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6. Η επιφάνεια και στις δυο περιπτώσεις έχει υψηλό συντελεστή προσδιορισμού ($R^2=79.99\%$ ολόκληροι και 75.58% κομμένοι καρποί) και μπορεί να περιγραφεί από μια γραμμική εξίσωση η οποία περιλαμβάνει δυο παράγοντες, το χρόνο συντήρησης ως X1 και τον χειρισμό ως X2 αλλά και την αλληλεπίδρασή τους στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών. Οι σχέσεις που μπορούν να περιγράψουν την κάθε μια επιφάνεια αντίστοιχα είναι:

Ολόκληροι καρποί:

$$Y=0.00578+0.00703 \times X1+0.00076 \times X2+0.00012 \times X1 \times X2 \quad (11)$$

Κομμένοι καρποί:

$$Y=1.27313+0.10644 \times X1-0.00351 \times X2 \quad (12)$$



Σχήμα 6 (α) επιφάνεια απόκρισης για ολόκληρους καρπούς και (β) επιφάνεια απόκρισης για τεμαχισμένους καρπούς.

3.2 Χρώμα καρπού

Η ανάλυση διασποράς των δεικτών του χρώματος (L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* , h^* και ΔE^*) όσον αφορά τον τεμαχισμό, τον χρόνο αποθήκευσης (ώρες, h) και τους χειρισμούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 6 από τον οποίο προκύπτει ότι όλοι οι χρωματικοί δείκτες επηρεάστηκαν σημαντικά και από τους τρεις παράγοντες, αλλά και από την αλληλεπίδρασή τους. Ο παράγοντας L^* παρουσίασε μεγαλύτερη τιμή για τους ολόκληρους καρπούς εμφανίζοντας μικρή μείωση κατά τη διάρκεια της συντήρησης η οποία ήταν ίση με 1.59% στο πέρας της συντήρησης. Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς ο παράγοντας L^* εμφάνισε μικρότερη τιμή και μεγαλύτερη μείωση η οποία στο τέλος της συντήρησης ήταν ίση με 6.30%. Αντίστοιχα, ο παράγοντας a^* εμφάνισε μεγαλύτερη τιμή για τους τεμαχισμένους καρπούς, όπου εμφάνισε και μεγαλύτερη μείωση ίση με 8.23% σε αντίθεση με τους ολόκληρους καρπούς στους οποίους η μείωση ήταν ίση με 2.18%. Ο παράγοντας b^* είχε μεγαλύτερη τιμή στους τεμαχισμένους καρπούς και μεγαλύτερη μείωση η οποία ήταν 16.92% στο τέλος της συντήρησης, ενώ οι ολόκληροι καρποί εμφάνισαν μείωση ίση με 8.45%. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή των χρωματικών παραγόντων ήταν εντονότερη στους τεμαχισμένους καρπούς το οποίο μπορεί να οφείλεται στην οξειδωτική καταπόνηση λόγω του τεμαχισμού.

Όσον αφορά του χειρισμούς με ακτινοβολία UV-C παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών για τους παράγοντες L^* , a^* και b^* . Συγκεκριμένα, για τον παράγοντα L^* όλοι οι χειρισμοί με ακτινοβολία εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά με τον μάρτυρα (0 s) ενώ μεταξύ των χειρισμών με ακτινοβολία εμφανίστηκαν διαφορές μεταξύ των 38 s και 60 s με τον χειρισμό των 185 s. Ο παράγοντας a^* εμφάνισε διαφορά για όλους τους χειρισμούς με ακτινοβολία με τον μάρτυρα και μεταξύ των 38 s με των 60 s καθώς και μεταξύ των 60 s με των 185 s. Τέλος ο παράγοντας b^* εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά τόσο για τον μάρτυρα σε σύγκριση με τους χειρισμούς με ακτινοβολία, όσο και για όλους τους χειρισμούς με ακτινοβολία.

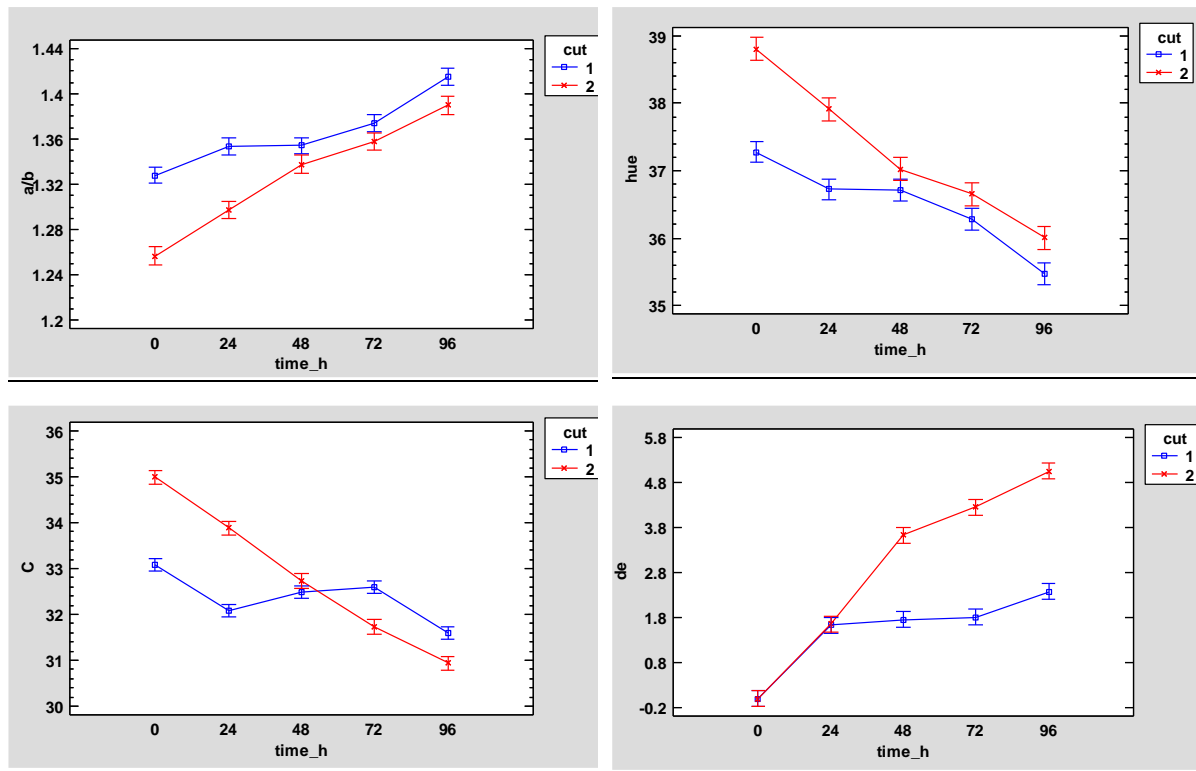
Πίνακας 6 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) των χρωματικών παραγόντων L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* , h^* και ΔE^* με τους παράγοντες τεμαχισμός, χρόνος αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμοί (διάρκεια UV)

		Παράγοντες			Αλληλεπίδραση			
		A: Τεμαχισμός	B: Χρόνος (h)	C: Χειρισμοί	A×B	A×C	B×C	A×B×C
	<i>df</i>	1	4	3	4	3	12	12
L^*	<i>F</i> -Ratio	20.65	234.53	195.86	71.69	131.25	4.87	6.41
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*
a^*	<i>F</i> -Ratio	8.84	54.01	136.69	41.46	4.76	6.1	6.88
	<i>P</i> -Value	0.0030*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	0.0026*	≤0.001*	≤0.001*
b^*	<i>F</i> -Ratio	85.2	244.33	344.47	79.48	42.63	20.2	15.93
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*
a^*/b^*	<i>F</i> -Ratio	17.82	125.23	710.28	54.45	49.32	49.9	39.48
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*
C^*	<i>F</i> -Ratio	49.79	160.48	119.99	69.33	17.74	6.38	7.18
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*
h^*	<i>F</i> -Ratio	34.78	109.36	537.35	35.4	33.56	28.04	21.98
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*
ΔE^*	<i>F</i> -Ratio	302.82	257.74	14.82	52.18	48.7	7.01	5.31
	<i>P</i> -Value	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*	≤0.001*

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, *df*= βαθμοί ελευθερίας

Στα διαγράμματα (Σχήμα 7 και Σχήμα 8) που ακολουθούν παρουσιάζεται ενδεικτικά η μέση μεταβολή των χρωματικών παραγόντων a^*/b^* , h^* , C^* και ΔE , για τους δυο τρόπους κοπής, τόσο ως προς τον χρόνο όσο και ως προς τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν. Ο λόγος a^*/b^* παρουσιάζει αύξηση με τον χρόνο και είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικός μεταξύ των ολόκληρων και τεμαχισμένων καρπών καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Η αύξηση για τους ολόκληρους καρπούς είναι 6.57% ενώ για τους τεμαχισμένους 10.64%. Η αύξηση του λόγου μπορεί να οφείλεται στην μεγάλη μείωση που παρουσίασε ο παράγοντας b^* . Η χροιά απεικονίζει το πραγματικό χρώμα και με τη μείωσή της αποδεικνύεται ότι με την πάροδο του χρόνου τα δείγματα των καρπών και στις δυο περιπτώσεις γίνονται πιο κόκκινα καθώς το καθαρό κόκκινο έχει χροιά 0° και το κίτρινο 90° . Στους τεμαχισμένους καρπούς η μείωση (7.20%) ήταν μεγαλύτερη όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7, σε σχέση με τους ολόκληρους καρπούς (4.85%). Ο κορεσμός του χρώματος C^* για τους τεμαχισμένους καρπούς μειώνεται αισθητά (11.56%) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7 με την πάροδο του χρόνου. Η μείωση του κορεσμού οδηγεί σε πιο «θαμπά» χρώματα, επομένως η λαμπρότητα και καθαρότητα του χρώματος των τεμαχισμένων δειγμάτων μειώθηκε αρκετά σε σχέση με την αρχική κατάσταση. Επίσης, η μεταβολή του κορεσμού στα δείγματα των τεμαχισμένων καρπών παρουσιάζει γραμμική μεταβολή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7. Τέλος, η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE , όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7 είναι μεγαλύτερη, όπως ήταν αναμενόμενο, από ότι η αντίστοιχη των ολόκληρων καρπών, ενώ από την αρχή του πειράματος μέχρι τις 24 h φαίνεται

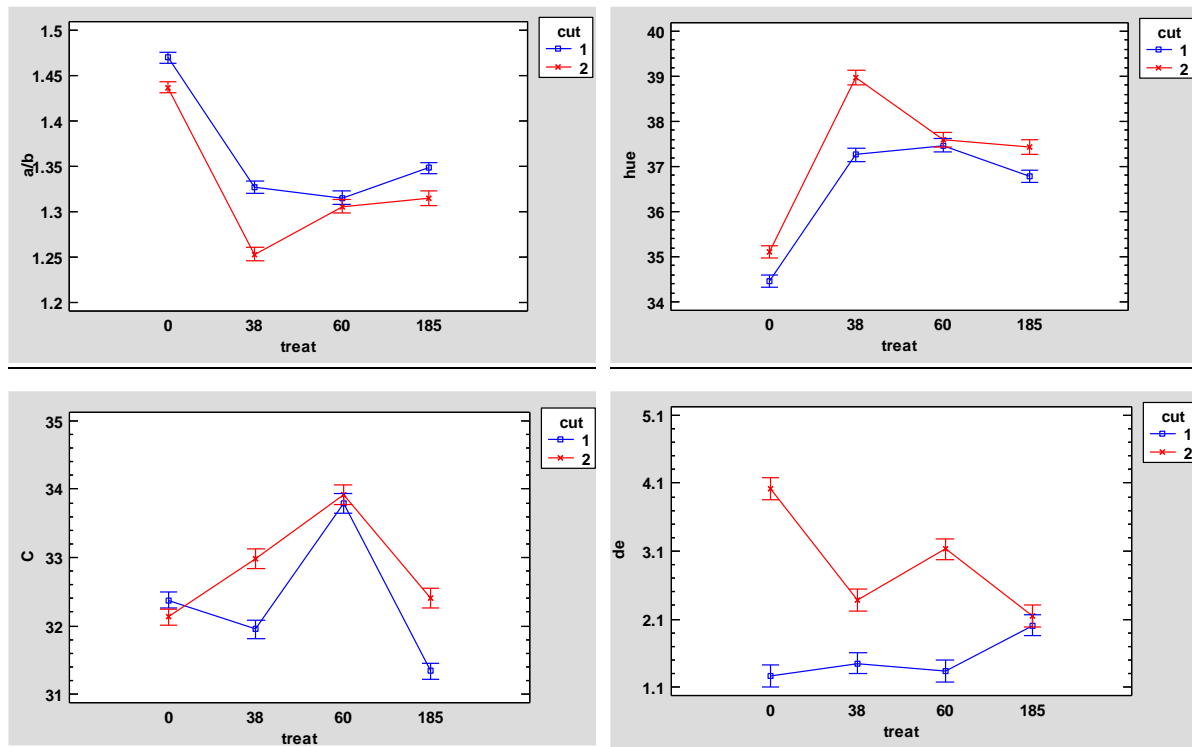
η μεταβολή να είναι ίδια και για τους δυο τρόπους κοπής από τις 24 h μέχρι το πέρας της συντήρησης η ολική μεταβολή του χρώματος διαφοροποιείται πλήρως για τους τεμαχισμένους καρπούς και αυξάνεται έντονα ενώ για τους ολόκληρους καρπούς φαίνεται να έχει μια σταθεροποιητική τάση. Η μεταβολή του χρώματος για τα τεμαχισμένα δείγματα (5.05) είναι διπλάσια από ότι στα ολόκληρα δείγματα καρπών (2.38).



Σχήμα 7 Μέση μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων a^*/b^* , h^* , C^* και ΔE για τους δυο τρόπους κοπής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης (cut 1: ολόκληρα δείγματα; cut 2: τεμαχισμένα δείγματα). Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Από τα διαγράμματα στο Σχήμα 8 γίνεται αντιληπτό ότι και η διάρκεια έκθεσης στην ακτινοβολία επηρέασε διαφορετικά τους τεμαχισμένους και τους ολόκληρους καρπούς όσον αφορά το χρώμα. Ο λόγος a^*/b^* εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές για τα ολόκληρα δείγματα σε σύγκριση με τα τεμαχισμένα. Η τιμή του λόγου για τον μάρτυρα (0 s), ήταν αυξημένη σε σχέση με τα δείγματα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία τόσο για τους τεμαχισμένους όσο και για τους ολόκληρους καρπούς. Επίσης, ο μάρτυρας είχε στατιστικά σημαντική διαφορά με τους χειρισμούς με ακτινοβολία και στις δυο κοπές. Ο χειρισμός των 60 s δεν εμφάνισε στατιστική διαφορά μεταξύ των τεμαχισμένων και των ολόκληρων δειγμάτων. Αντίθετα, η χροιά (hue) εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές στους τεμαχισμένους καρπούς σε σύγκριση με τους ολόκληρους. Όπως και με τον λόγο a^*/b^* ο χειρισμός των 60 s δεν εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ ολόκληρων και τεμαχισμένων καρπών. Όσον αφορά τον κορεσμό, τα τεμαχισμένα δείγματα εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές για τους χειρισμούς με ακτινοβολία, ενώ ο μάρτυρας

(0 s) είχε υψηλότερες τιμές στα ολόκληρα δείγματα και πάλι η ακτινοβόληση για 60 s δεν είχε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τεμαχισμένων και ολόκληρων καρπών. Τέλος, η ολική μεταβολή του χρώματος ήταν μεγαλύτερη για τα τεμαχισμένα δείγματα τόσο για τον μάρτυρα όσο και για τον χειρισμό με ακτινοβολία, με εξαίρεση τον χειρισμό των 185 s ο οποίος δεν είχε στατιστική διαφορά μεταξύ ολόκληρων και τεμαχισμένων δειγμάτων. Η μεγαλύτερη μεταβολή εμφανίστηκε στον μάρτυρα για τα τεμαχισμένα δείγματα, ενώ για τα ολόκληρα στον χειρισμό των 185 s.



Σχήμα 8 Μέση μεταβολή των χρωματικών παραμέτρων a^*/b^* , h^* , C^* και ΔE για τους δυο τρόπους κοπής συναρτήσει του χειρισμού με ακτινοβολία UV-C (cut 1: ολόκληρα δείγματα; cut 2: τεμαχισμένα δείγματα). Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Στη συνέχεια, διεξήχθη επεξεργασία των χρωματικών παραγόντων (L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* , h^* και ΔE^*) για κάθε κοπή ξεχωριστά. Η ανάλυση διασποράς των δεικτών του χρώματος όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (ώρες, h) και τους χειρισμούς για τους ολόκληρους και τους τεμαχισμένους καρπούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 7. Σύμφωνα με τον Πίνακα 7 όσον αφορά τους ολόκληρους καρπούς φαίνεται ότι όλοι οι δείκτες επηρεάστηκαν σημαντικά και από τους δυο παράγοντες αλλά και από την αλληλεπίδρασή τους. Αντίστοιχα, για τους τεμαχισμένους καρπούς όλοι οι χρωματικοί παράγοντες επηρεάστηκαν σημαντικά από τον χρόνο συντήρησης και τον χειρισμό με ακτινοβολία καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους εκτός από τη χροιά για την οποία η αλληλεπίδραση δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Από τους δυο παράγοντες που ήταν στατιστικά σημαντικοί για την μεταβολή της χροιάς σημαντικότερος

ήταν ο χειρισμός με ακτινοβολία (F -Ratio=242.32). Οι τιμές για τον παράγοντα L^* στους ολόκληρους καρπούς κυμάνθηκαν μεταξύ 36.69 ± 1.5 και 37.36 ± 1.7 και εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά για όλους τους χειρισμούς εκτός από τον μάρτυρα με τον χειρισμό των 38s. Ο παράγοντας a^* , ο οποίος δίνει και το χαρακτηριστικό του κόκκινου χρώματος, εμφάνισε τιμές μεταξύ 25.06 ± 2.7 και 26.78 ± 2.4 και είχε στατιστική σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των χειρισμών εκτός από τον μάρτυρα με 38s. Οι τιμές του παράγοντα b^* κυμάνθηκαν μεταξύ 18.30 ± 2.0 και 20.52 ± 2.1 και εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά για όλους τους χειρισμούς. Οι αντίστοιχες τιμές για τους τεμαχισμένους καρπούς για τον παράγοντα L^* κυμάνθηκαν μεταξύ 37.50 ± 1.8 και 35.46 ± 1.8 , εμφανίζοντας στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ όλων των χειρισμών εκτός από αυτόν των 60s με τον χειρισμό των 185s. Ο παράγοντας a^* κυμάνθηκε μεταξύ 25.55 ± 2.9 και 26.83 ± 2.7 και εμφάνισε στατιστική διαφορά για όλους τους χειρισμούς εκτός από τον 38s με τον 185s. Ο παράγοντας b^* κυμάνθηκε μεταξύ 18.47 ± 2.8 και 20.70 ± 2.9 και εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά για όλους τους χειρισμούς εκτός από τους χειρισμούς των 38s και 60s.

Πίνακας 7. Ανάλυση διασποράς (ANOVA) των χρωματικών παραγόντων L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* , h^* και ΔE^* με τους παράγοντες χρόνος αποθήκευσης (ώρες) και χειρισμοί (διάρκεια UV) για ολόκληρους και τεμαχισμένους καρπούς.

		Ολόκληροι Καρποί			Τεμαχισμένοι Καρποί		
		Παράγοντες		Αλληλεπίδραση	Παράγοντες		Αλληλεπίδραση
		A: Χρόνος (h)	B: Χειρισμοί	A×B	A: Χρόνος (h)	B: Χειρισμοί	A×B
<i>df</i>		4	3	12	4	3	12
L^*	<i>F</i> -Ratio	51.99	50.05	10.24	286.36	362.54	4.05
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$
a^*	<i>F</i> -Ratio	10.62	128.51	6.16	81.87	38.56	3.13
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$
b^*	<i>F</i> -Ratio	62.22	185.06	13.16	273.31	208.4	5.42
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$
a^*/b^*	<i>F</i> -Ratio	36.33	247.6	5.02	81	272.1	2.1
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	0.0139*
C^*	<i>F</i> -Ratio	31.83	125.83	11.03	204.15	64.96	5.09
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$
h^*	<i>F</i> -Ratio	37.14	222.59	4.87	76.3	242.32	1.72
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	0.0561 ^{NS}
ΔE^*	<i>F</i> -Ratio	50.71	9.05	2.3	253.39	53.2	9.8
	<i>P</i> -Value	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	0.0098*	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$	$\leq 0.001^*$

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, *df*= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό

Κατά τη διάρκεια συντήρησης της τομάτας λαμβάνει χώρα μετατροπή του πορτοκαλί χρώματος σε κόκκινο. Το χρονικό διάστημα αποθήκευσης των 4 ημερών θεωρείται σχετικά μικρό, και όπως ήταν αναμενόμενο, δεν παρατηρήθηκαν έντονες μεταβολές ειδικά στους

ολόκληρους καρπούς. Αντιθέτως, στα τεμαχισμένα δείγματα, παρατηρήθηκε μείωση της έντασης του κόκκινου χρώματος η οποία ήταν εντονότερη στον μάρτυρα και στον χειρισμό των 60 s (10.55% και 9.63% αντίστοιχα), σε σύγκριση με τους άλλους δυο χειρισμούς όπου η μείωση ήταν μικρότερη (5.87% χειρισμός 38 s και 6.18% χειρισμός 185 s). η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στην επίδραση της κοπής αλλά και της έκθεσης σε ακτινοβολία UV-C που οδηγούν σε καταπόνηση τους ιστούς αλλά επηρεάζουν ταυτόχρονα και φυσιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους καρπούς.

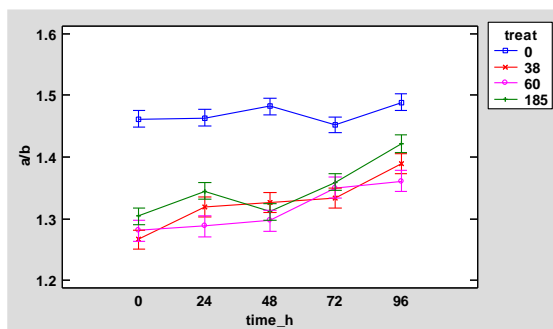
Οι περισσότερες μελέτες έχουν δείξει ότι η ακτινοβολία UV-C καθυστερεί σημαντικά την εμφάνιση του κόκκινου χρώματος στα φρούτα της ντομάτας. Οι Bu et al. (2013) απέδειξαν ότι η έκθεση τοματών Zhenzhu σε 4.2 kJ m^{-2} επιβράδυνε την ανάπτυξη του χρώματος κατά την αποθήκευσή τους στους $18 \text{ }^\circ\text{C}$ για 35 ημέρες. Οι Obande et al. (2011) ανέφεραν καθυστερημένο αποχρωματισμό σε τομάτες Mecano που εκτέθηκαν σε 3 και 8 kJ m^{-2} πριν από την αποθήκευση. Ωστόσο, μελέτες σε UV-B σε 1.1 kJ m^{-2} έδειξαν επιταχυνόμενη ανάπτυξη χρώματος κατά την αποθήκευση τοματών Tayfun F1 (Kasim and Kasim 2015). Σε πείραμα των Lu et al (2016) παρατηρήθηκε ότι η UV-C διατήρησε την ποιότητα του καρπού ως προς το χρώμα.

Στο Σχήμα 9 και στο Σχήμα 10 παρουσιάζονται οι παράμετροι a^*/b^* , χροιά (hue, h^*), κορεσμός (C^*) και ολική μεταβολή χρώματος (ΔE) τόσο για τους ολόκληρους όσο και τους τεμαχισμένους καρπούς. Οι χρωματικοί αυτοί παράγοντες αποτελούν ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του χρώματος δίνοντας ακριβέστερα στοιχεία για την καθαρότητά του και την απόχρωσή του καθώς και την εξέλιξη-μεταβολή του με τον χρόνο. Ο λόγος a^*/b^* χρησιμοποιείται συχνά ως δείκτης της ανάπτυξης του χρώματος και της κόκκινης απόχρωσης στις τομάτες. Τόσο στους ολόκληρους, όσο και στους τεμαχισμένους καρπούς (Σχήματα 9 & 10) ο μάρτυρας (0 s) εμφάνισε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τα δείγματα στους χειρισμούς με ακτινοβολία. Η μέση τιμή του a^*/b^* για τον μάρτυρα στους ολόκληρους καρπούς ήταν 1.47 ± 0.2 και για τους τεμαχισμένους 1.44 ± 0.2 ενώ για τους υπόλοιπους χειρισμούς στους ολόκληρους καρπούς κυμάνθηκε από 1.32 ± 0.2 έως 1.35 ± 0.2 και για τους τεμαχισμένους καρπούς από 1.25 ± 0.2 έως 1.31 ± 0.1 . Όπως γίνεται αντιληπτό οι τιμές για τους τεμαχισμένους καρπούς ήταν χαμηλότερες σε σύγκριση με τους ολόκληρους. Οι χειρισμοί των 38s και 60s δεν εμφάνισαν διαφορά για τους ολόκληρους καρπούς, ενώ για τους τεμαχισμένους, οι χειρισμοί των 60s και 185s οι υπόλοιποι χειρισμοί καθώς και ο μάρτυρας εμφάνισαν στατιστική διαφορά μεταξύ τους. Ο λόγος για τον μάρτυρα στους ολόκληρους καρπούς παρουσίασε μικρή αύξηση (1.87%) ενώ για τους τεμαχισμένους η αύξηση ήταν μεγαλύτερη (13.21%). Η διαφορά στην αύξηση του λόγου μπορεί να οφείλεται στην καταπόνηση που υπέστησαν οι καρποί με τον τεμαχισμό με αποτέλεσμα να επιταχυνθούν φυσιολογικές διεργασίες που επηρεάζουν το χρώμα. Η μικρότερη αύξηση εμφανίστηκε στον χειρισμό των 60s (6.27%) ενώ στους άλλους χειρισμούς με ακτινοβολία ήταν της τάξης του 9% για τους ολόκληρους καρπούς. Για τα τεμαχισμένα δείγματα η μικρότερη μεταβολή εμφανίστηκε στον χειρισμό των 185s (7.88%) ενώ στους υπόλοιπους η αύξηση ήταν της τάξης του 10%. Ο χειρισμός των 38 s για τους τεμαχισμένους καρπούς εμφάνισε μικρότερες τιμές καθ' όλη τη συντήρηση το οποίο μπορεί να οφείλεται τόσο στην πρώτη ύλη όσο και στον χειρισμό οποίος μπορεί να απενεργοποίησε ένζυμα υπεύθυνα για την μεταβολή του χρώματος.

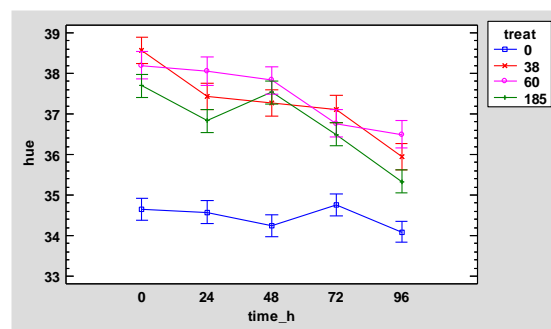
Όσον αφορά τη χροιά, στατιστικές διαφορές μεταξύ των χειρισμών και του μάρτυρα ήταν ίδιες με αυτές του λόγου a^*/b^* τόσο για τους τεμαχισμένους όσο και για τους ολόκληρους καρπούς. Όπως γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 9 και το Σχήμα 10, ο μάρτυρας και στους δυο τρόπους κοπής ήταν πιο κόκκινος από τους χειρισμούς καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Επίσης, όπως και για τον λόγο a^*/b^* έτσι και για τη χροιά, οι μεταβολές που σημειώθηκαν ήταν μεγαλύτερες για τους τεμαχισμένους καρπούς. Η μικρότερη μείωση για τους τεμαχισμένους καρπούς ήταν για τον χειρισμό των 185 s (5.39%) και η μεγαλύτερη, για τον μάρτυρα (9.44%), ενώ για τους ολόκληρους καρπούς, η μεγαλύτερη μείωση ήταν στον χειρισμό των 38 s (6.80%) και η μικρότερη στον μάρτυρα (1.59%).

Αντίστοιχα, για τον κορεσμό, όλοι οι χειρισμοί και ο μάρτυρας, τόσο στους τεμαχισμένους όσο και στους ολόκληρους καρπούς, εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά. Ο χειρισμός των 60 s εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές καθόλη την συντήρηση και για τις δυο κοπές. Η μείωση του κορεσμού ήταν για όλους τους χειρισμούς μεγαλύτερη για τους τεμαχισμένους καρπούς (8.78-14.68%) με τη μεγαλύτερη πτώση να την σημειώνει ο μάρτυρας, ενώ για τους ολόκληρους καρπούς η μείωση κυμάνθηκε από 1.50 έως 6.14% με τη μεγαλύτερη μείωση να σημειώνεται στον χειρισμό των 185s. Η μεγαλύτερη μείωση στους τεμαχισμένους καρπούς πέρα από την καταπόνηση που υπόκεινται τα δείγματα λόγω του τεμαχισμού, μπορεί να οφείλεται στις φυσιολογικές μεταβολές που επιταχύνονται λόγω της έκθεσης της σάρκας στον αέρα. Οι χειρισμοί με ακτινοβολία φαίνεται να επιβραδύνουν σχετικά τη μείωση αυτή καθώς εμφάνισαν μικρότερα ποσοστά (8.78-13.01%) ως προς τον μάρτυρα (14.68%).

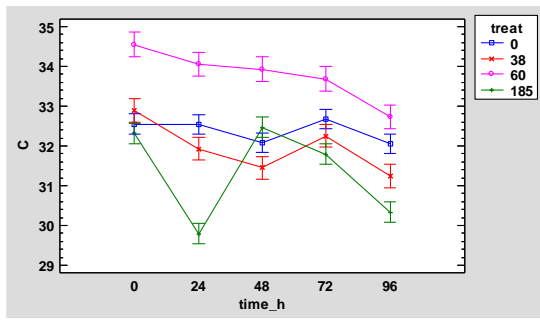
Τέλος, η ολική μεταβολή του χρώματος ήταν σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερη στους τεμαχισμένους καρπούς λαμβάνοντας τιμές από 4.06 έως 6.23 ενώ για τους ολόκληρους καρπούς, κυμάνθηκε από 1.73 έως 2.95. Η μικρότερη μεταβολή για τους τεμαχισμένους καρπούς εμφανίστηκε στον χειρισμό των 185 s ενώ η μεγαλύτερη στα δείγματα του μάρτυρα (0 s). Αντίθετα, στους ολόκληρους καρπούς, η μεταβολή ήταν μικρότερη στα δείγματα του μάρτυρα και μεγαλύτερη στον χειρισμό των 185 s. Με βάσει τα προηγούμενα, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι όσον αφορά την ολική μεταβολή του χρώματος, οι χειρισμοί με ακτινοβολία καθυστερούν τη μεταβολή του χρώματος στα τεμαχισμένα δείγματα. Όσον αφορά τους τεμαχισμένους καρπούς δεν εμφανίστηκε στατιστική διαφορά μεταξύ του χειρισμού των 38 και 185 s ενώ στους ολόκληρους καρπούς δεν εμφάνισαν στατιστική διαφορά ο μάρτυρας με τον χειρισμό των 38s και των 60s αλλά και αυτοί οι δυο χειρισμοί μεταξύ τους.



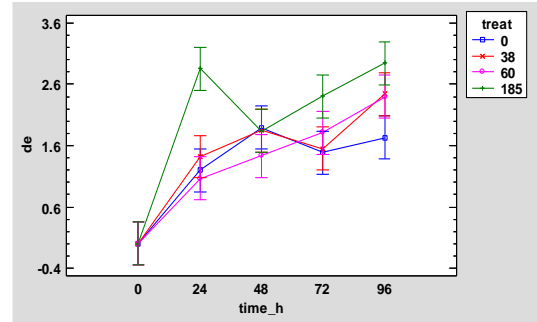
(α)



(β)

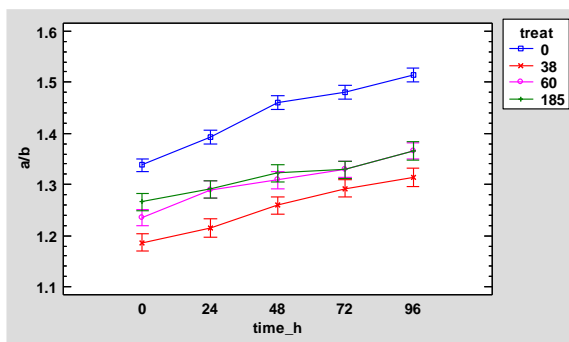


(γ)

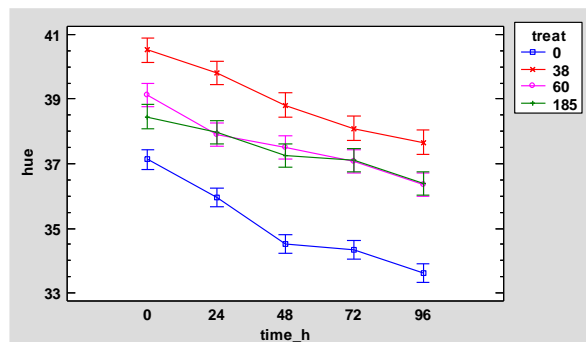


(δ)

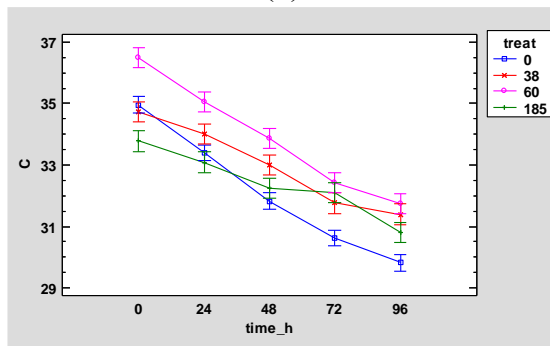
Σχήμα 9 Χρωματικές παράμετροι a^*/b^* , h^* , C^* και ΔE στα δείγματα ολόκληρων τοματών συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).



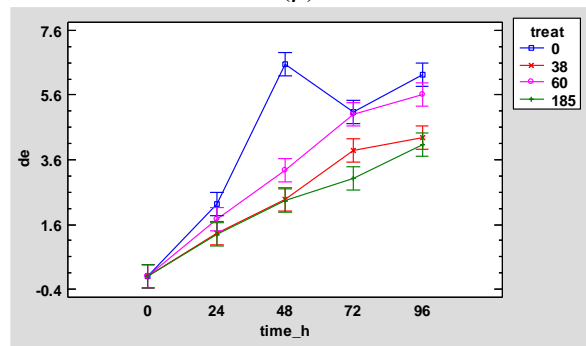
(α)



(β)



(γ)

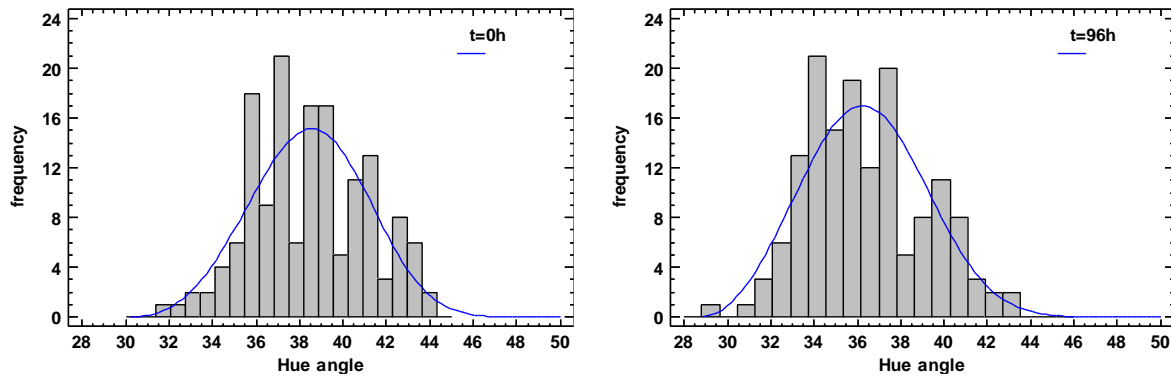


(δ)

Σχήμα 10 Χρωματικές παράμετροι a^*/b^* , h^* , C^* και ΔE στα δείγματα τεμαχισμένων τοματών συναρτήσει χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

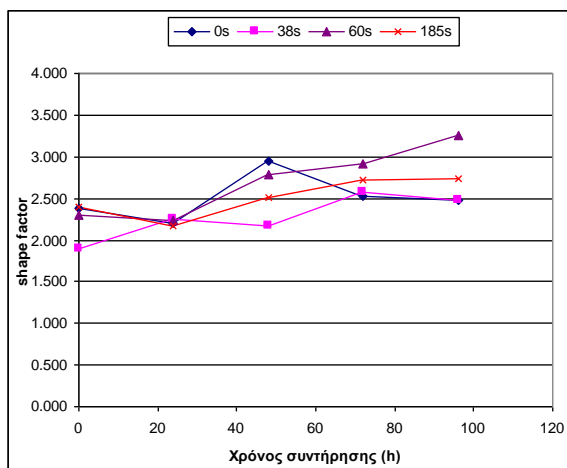
Η χροιά (h^*) αναλύθηκε περαιτέρω, τόσο στις ολόκληρες, όσο και στις τεμαχισμένες τομάτες, προσαρμόζοντας τις υπολογιζόμενες τιμές h^* (4 σημεία δειγματοληψίας για κάθε ολόκληρο τοματάκι και 2 σημεία για κάθε κομμένο, ανά ημέρα συντήρησης), κατά τη διάρκεια των 4 ημερών συντήρησης στην τριπαραμετρική κατανομή Weibull. Σε όλους τους εξεταζόμενους χειρισμούς, όσον αφορά την εφαρμογή ακτινοβολίας UV, οι δοκιμές προσαρμογής (goodness-of-fit tests) για τις τιμές h^* έδειξαν ότι η μικρότερη τιμή P-value μεταξύ των χειρισμών που πραγματοποιήθηκαν ήταν ≤ 0.05 , επομένως δεν μπορούσε να απορριφθεί η υπόθεση ότι η h^* προέρχεται από μια κατανομή Weibull σε επίπεδο

εμπιστοσύνης 95%. Στο Σχήμα 11 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα της τιμής της χροιάς h^* , όσον αφορά την επεξεργασία με UV-C διάρκειας 185 s, προσαρμοσμένα στην κατανομή Weibull στην αρχή ($t=0$ h) και στο τέλος ($t=96$ h) της συντήρησης των δειγμάτων. Παρόμοια ιστογράμματα χροιάς παράχθηκαν και για τους υπόλοιπους χειρισμούς.

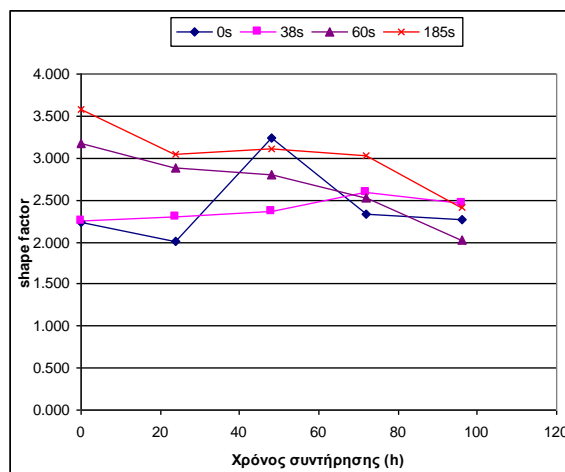


Σχήμα 11 Ιστογράμματα της εκτιμώμενης χροιάς h^* (hue angle) για τον χειρισμό UV 185 s σε δείγματα τεμαχισμένης τομάτας στην έναρξη (0h) και στο πέρας (96h) της συντήρησης.

Στο Σχήμα 12α, β, παρουσιάζεται η χρονική μεταβολή του παράγοντα σχήματος β για τους χειρισμούς και τις δυο κοπές. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο παράγοντας σχήματος ήταν μεγαλύτερος από τη μονάδα ($\beta \gg 1$). Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του παράγοντα β , τόσο ταχύτερη και η μεταβολή του χρώματος. Από το σχήμα γίνεται αντιληπτό ότι ο παράγοντας σχήματος μεταβλήθηκε με τον ίδιο τρόπο για τα δείγματα του μάρτυρα τόσο στους ολόκληρους όσο και στους τεμαχισμένους καρπούς παρουσιάζοντας μέγιστη τιμή στις 48 ώρες συντήρησης και στη συνέχεια πτωτική τάση μέχρι το τέλος της συντήρησης. Ο χειρισμός των 38 s παρουσίασε αυξητική τάση για τους ολόκληρους και τους τεμαχισμένους καρπούς με αντίστοιχο τρόπο. Η αύξηση στους ολόκληρους καρπούς ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με τους τεμαχισμένους, της τάξης του 30% ενώ στους τεμαχισμένους καρπούς η αύξηση ήταν 9.4%. Οι εναπομείναντες χειρισμοί (60 και 185 s) για τους ολόκληρους καρπούς εμφάνισαν αυξητική τάση ενώ στους τεμαχισμένους καρπούς εμφάνισαν μείωση για τον παράγοντα σχήματος. Συγκεκριμένα, ο χειρισμός των 60 s για τους ολόκληρους καρπούς εμφάνισε συνεχή αύξηση κατά τη συντήρηση που έφτασε στο τέλος το 41.96% ενώ στους τεμαχισμένους συνεχή μείωση της τάξης του 36.5%. Ο παράγοντας σχήματος για τον χειρισμό των 185 s για τους ολόκληρους καρπούς, εμφάνισε αύξηση μέχρι τις 72 ώρες και μέχρι το τέλος της συντήρησης είχε σταθεροποιητική τάση, με τη μεταβολή του παράγοντα σχήματος να σημειώνει στο τέλος της συντήρησης τιμή 14.69%. Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς, για τον ίδιο χειρισμό, εμφάνισε συνεχή μείωση ίση με 36.46%.



(α)



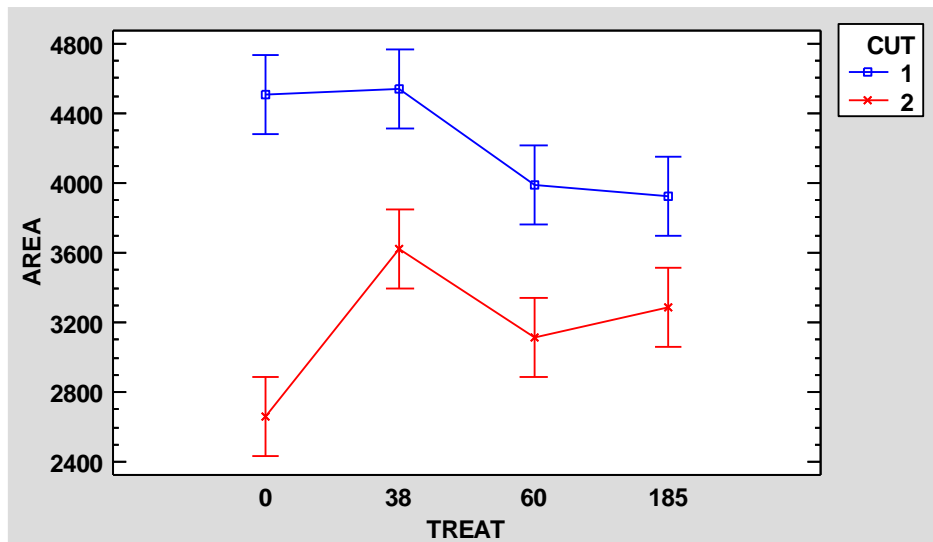
(β)

Σχήμα 12 (α) Χρονική μεταβολή του συντελεστή σχήματος Weibull όσον αφορά τη χροιά των ολόκληρων καρπών τομάτας και (β) χρονική μεταβολή του συντελεστή σχήματος Weibull όσον αφορά τη χροιά των τεμαχισμένων καρπών τομάτας που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με UV (0 s), UV (38 s), UV (60 s) και UV (185 s).

3.3 Προσδιορισμός υφής

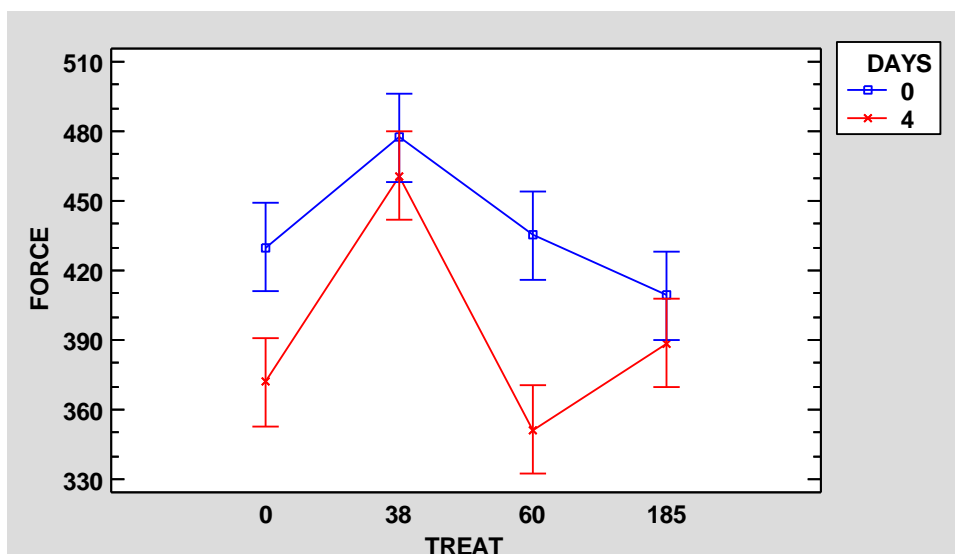
Η στατιστική επεξεργασία των ιδιοτήτων της υφής έδειξε ότι όσον αφορά το βαθμό συνεκτικότητας, κανένας παράγοντας δεν είχε στατιστικά σημαντική επίδραση στη μεταβολή τους ($P\text{-value} > 0.05$). Επομένως, ο βαθμός συνεκτικότητας δεν επηρεάστηκε σημαντικά κατά τη συντήρηση αλλά με την έκθεση των δειγμάτων σε ακτινοβολία UV-C τόσο στους τεμαχισμένους όσο και στους ολόκληρους καρπούς. Μόνο ο μάρτυρας 0 s, με τον χειρισμό των 185 s είχαν στατιστική διαφορά, εμφανίζοντας μείωση κατά 23.5%. Γενικά παρατηρήθηκε πτωτική τάση στο βαθμό συνεκτικότητας αλλά όπως αναφέρθηκε δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά. Οι τιμές των θετικών κορυφών για τους ολόκληρους καρπούς, κυμάνθηκαν μεταξύ 55-204, ενώ για τους τεμαχισμένους μεταξύ 64-152.

Η στατιστική επεξεργασία για το δαπανώμενο έργο, έδειξε ότι επηρεάστηκε από τους τρεις παράγοντες, τον χρόνο συντήρησης και έκθεσης στην ακτινοβολία, και την κοπή καθώς και από την αλληλεπίδρασή τους. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διενέργεια της δοκιμής με το κελί Kramer, εμφάνισε μείωση με τον χρόνο, μεγαλύτερη στους τεμαχισμένους καρπούς, καθώς και διαφορές μεταξύ των χειρισμών όπως φαίνεται, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές του δαπανώμενου έργου ήταν μικρότερες για τους τεμαχισμένους καρπούς όπως φαίνεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13 Μέση μεταβολή του δαπανώμενου έργου (N mm) για τους δυο τρόπους κοπής συναρτήσει του χειρισμού με ακτινοβολία UV-C. (cut 1: ολόκληρα δείγματα; cut 2: τεμαχισμένα δείγματα). Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

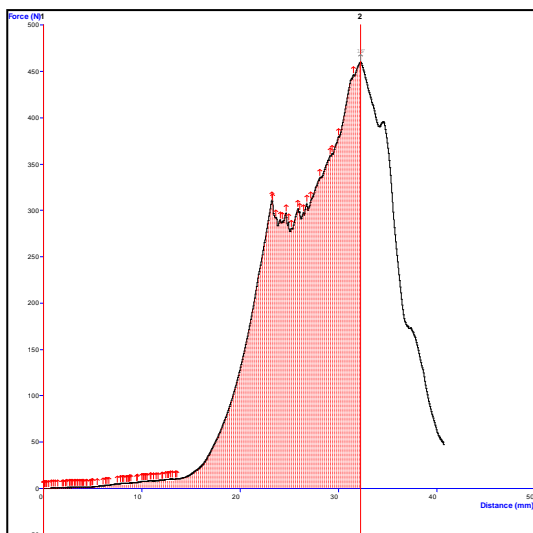
Αντίστοιχα, για την μέγιστη δύναμη, η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι επηρεάστηκε και από τους τρεις παράγοντες, αλλά και από την αλληλεπίδραση κοπής με τον χρόνο συντήρησης αλλά και του χρόνου συντήρησης με τον χρόνο έκθεσης στην ακτινοβολία. Η μέση μείωση της μέγιστης δύναμης για τους ολόκληρους καρπούς ήταν ίση με 0.99% με τον χρόνο, ενώ για τους τεμαχισμένους 19.26%. Η μεγαλύτερη μείωση, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 14 εμφανίστηκε στον χειρισμό για 60 s και ήταν ίση με 19.28%.



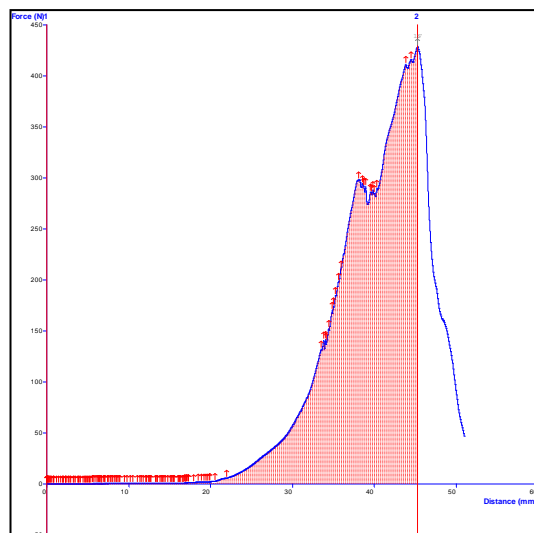
Σχήμα 14 Μέση μεταβολή της μέγιστης δύναμης (N) ανά ημέρα συναρτήσει του χειρισμού με ακτινοβολία UV-C. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζονται, ενδεικτικά, οι καμπύλες δύναμης - παραμόρφωσης σε ολόκληρη (α και γ) και τεμαχισμένη τομάτα (β και δ) μετά από έκθεση σε ακτινοβολία UV-C για 60 s κατά τη συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση, που αναπτύσσεται από ένα κελί Kramer 5 λεπίδων σε δύο ημερομηνίες (αρχή και τέλος) συντήρησης.

12/7/2023

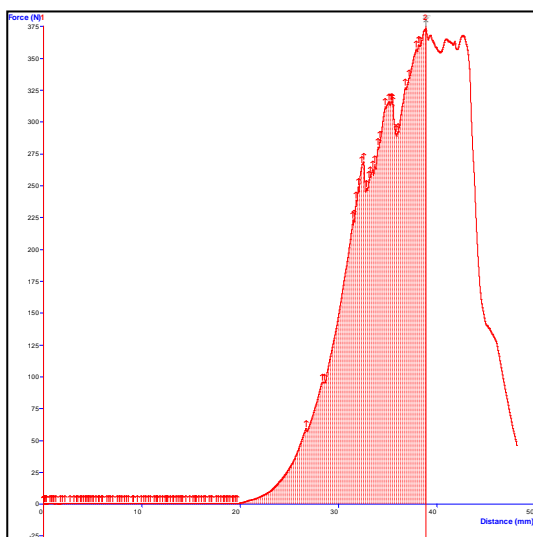


(α)

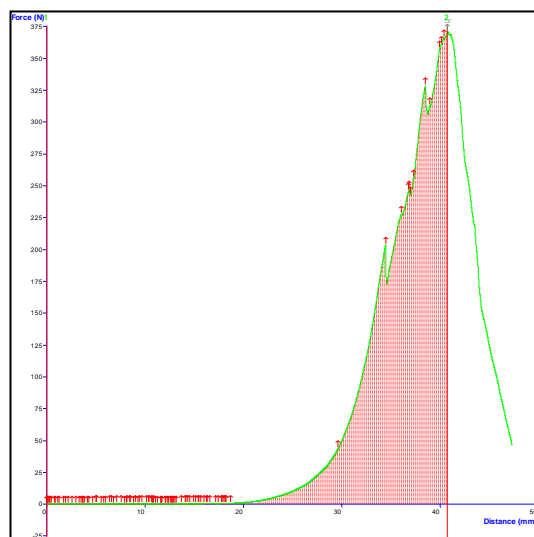


(β)

16/7/2023



(γ)



(δ)

Εικόνα 17 Χαρακτηριστική καμπύλη δύναμης - παραμόρφωσης ολόκληρης (α, γ) και τεμαχισμένης (β, δ) μικρόκαρπης τομάτας κατά τη συνδυασμένη συμπίεση και διάτμηση σε δύο ημερομηνίες για τον χειρισμό των 60s.

Αντίστοιχες ήταν και οι καμπύλες για τους υπόλοιπους χειρισμούς που εξετάστηκαν. Η πίεση των πέντε λεπίδων του κελιού Kramer στα δείγματα προκάλεσε μια αυξανόμενη συμπίεση των μικροδομών στα δείγματα μέχρι ενός σημείου στο οποίο οι 5 λεπίδες διαπέρασαν τελικά τα δείγματα, πριν περάσουν από τις σχισμές της βάσης του κελιού. Σε αυτές

τις δοκιμές, τα δείγματα τομάτας τεμαχίστηκαν σε μικρά κομμάτια, για να προσομοιαστεί όσο το δυνατόν η διεργασία της μύησης.

Η ανάλυση διασποράς των τριών ιδιοτήτων υφής (FKMF, FKW και FKPP) για τους ολόκληρους καρπούς τομάτας όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 έως 4 ημέρες) και τους τέσσερεις χειρισμούς (χρόνοι έκθεσης σε UV) παρουσιάζεται στον Πίνακα 8, όπου φαίνεται ότι η μέγιστη δύναμη επηρεάστηκε σημαντικά από τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν, και από την αλληλεπίδρασή αυτών με τον χρόνο συντήρησης. Το δαπανώμενο έργο επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και τους χειρισμούς. Τέλος ο βαθμός συνεκτικότητας δεν επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από τον χρόνο αποθήκευσης, ούτε από τους χειρισμούς αλλά ούτε και από την αλληλεπίδρασή τους.

Πίνακας 8 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τη Μέγιστη δύναμη (N), το Δαπανώμενο Έργο (N×mm) και το Βαθμό τραγανότητας με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των ολόκληρων τοματών

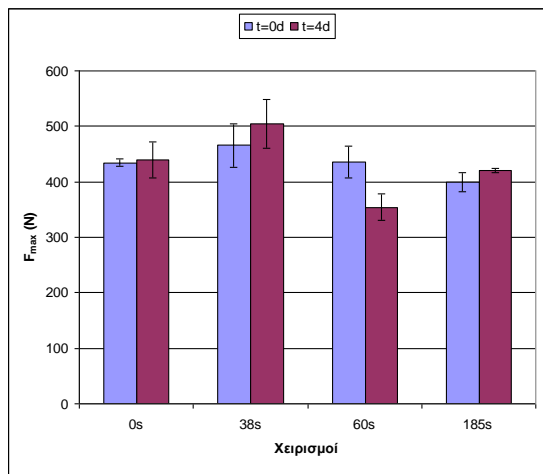
Παράγοντες	df	Μέγιστη δύναμη (N)		Δαπανώμενο έργο (N×mm)		Βαθμός συνεκτικότητας	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	0.14	0.7125 ^{NS}	7.97	0.0122*	0.26	0.6155 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	11.98	0.0002*	3.38	0.0445*	1.21	0.3397 ^{NS}
Αλληλεπίδραση A×B	3	5.40	0.0093*	1.99	0.1568 ^{NS}	0.46	0.7166 ^{NS}

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

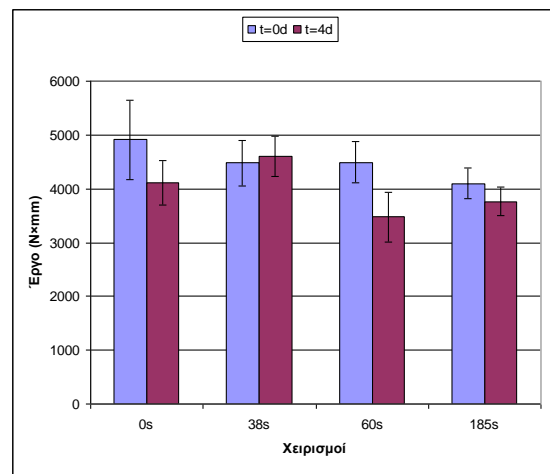
Στο Σχήμα 15 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της μέγιστης δύναμης (15α), του δαπανώμενου έργου (15β) και του βαθμού συνεκτικότητας (15γ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην αρχική και την τελική ημέρα συντήρησης στις ολόκληρες τομάτες. Και στις τρεις περιπτώσεις, επιβεβαιώνονται τα ευρήματα της ανάλυσης διασποράς. Επίσης, από το Σχήμα 15(α) παρατηρείται ότι η μέγιστη δύναμη παραμένει σχεδόν ίδια για κάθε χειρισμό στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης εκτός από τον χειρισμό των 60 s όπου μειώνεται αισθητά (18.69%) στο τέλος της πειραματικής διαδικασίας. Ακόμη, η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι ο μάρτυρας (0 s) εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά με δυο από τους τρεις χειρισμούς με ακτινοβολία εκτός από αυτόν των 185 s, ενώ μεταξύ των χειρισμών εμφανίστηκε διαφορά μόνο μεταξύ του χειρισμού των 38 s με τον χειρισμό των 60 και 185 s ενώ μεταξύ τους οι τελευταίοι δεν εμφάνισαν διαφορά.

Από το Σχήμα 15(β) γίνεται αντιληπτό ότι ο μάρτυρας εμφάνισε υψηλότερη τιμή ενώ οι χειρισμοί εμφάνισαν χαμηλότερες τιμές ειδικά ο χειρισμός με την μεγαλύτερη έκθεση στην ακτινοβολία, με τον οποίο ο μάρτυρας εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά σε αντίθεση με τους άλλους χειρισμούς που δεν εμφάνισε διαφορά. Μεταξύ των χειρισμών εμφανίστηκαν ίδιες διαφορές με την μέγιστη δύναμη. Μεγαλύτερη μεταβολή στο δαπανώμενο έργο

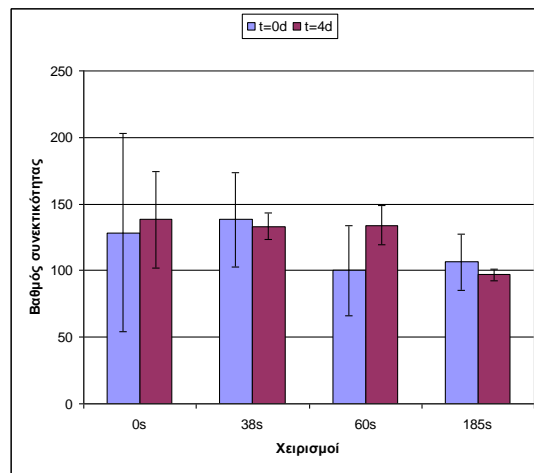
εμφανίστηκε στον μάρτυρα (μείωση 16.43%) και στον χειρισμό των 60 s (μείωση 22.49%) ενώ στους άλλους δυο χειρισμούς η μεταβολή ήταν πολύ μικρότερη.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 15 Μέση τιμή της μέγιστης δύναμης (α), του δαπανώμενου έργου (β) και του βαθμού συνεκτικότητας (γ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν, στην αρχή και στο τέλος της συντήρησης στις ολόκληρες τομάτες. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Η ανάλυση διασποράς των ιδίων χαρακτηριστικών της υφής, για τις τεμαχισμένες τομάτες όσον αφορά τους αντίστοιχους παράγοντες παρουσιάζεται στον Πίνακα 9, από όπου φαίνεται ότι η μέγιστη δύναμη στην περίπτωση αυτή, επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης και από τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν, ενώ η αλληλεπίδρασή αυτών δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά. Το έργο επηρεάστηκε σημαντικά από τον χρόνο αποθήκευσης, τους τρεις χειρισμούς αλλά και από την αλληλεπίδρασή τους. Τέλος, ο βαθμός συνεκτικότητας φαίνεται ότι δεν επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από τον χρόνο αποθήκευσης, ούτε από τους χειρισμούς αλλά ούτε και από την αλληλεπίδρασή τους.

Πίνακας 9 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τη Μέγιστη δύναμη (N), το Δαπανώμενο Έργο (N×mm) και το Βαθμό συνεκτικότητας με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών.

Παράγοντες	df	Μέγιστη δύναμη (N)		Δαπανώμενο έργο (N×mm)		Βαθμός συνεκτικότητας	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	33.75	≤0.001*	70.80	≤0.001*	0.88	0.9921 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	6.54	0.0043*	9.32	0.0008*	4.44	0.0765 ^{NS}
Αλληλεπίδραση A×B	3	0.80	0.5099 ^{NS}	3.31	0.0472*	0.54	0.2889 ^{NS}

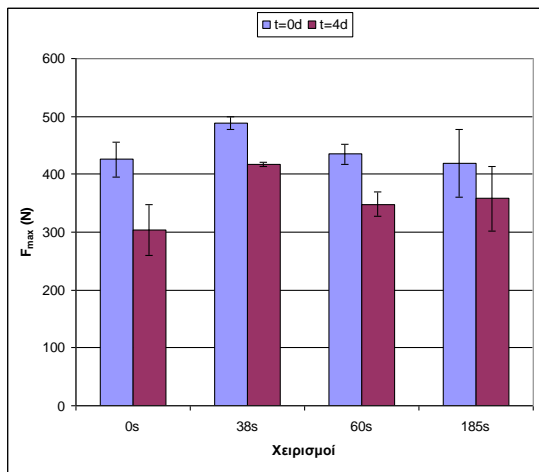
*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Στο Σχήμα 16 παρουσιάζονται η μέση τιμή της μέγιστης δύναμης (α), του δαπανώμενου έργου (β) και του βαθμού συνεκτικότητας (γ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην αρχική και τελική ημέρα συντήρησης στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Και στις τρεις περιπτώσεις επιβεβαιώνονται τα ευρήματα της ανάλυσης διασποράς.

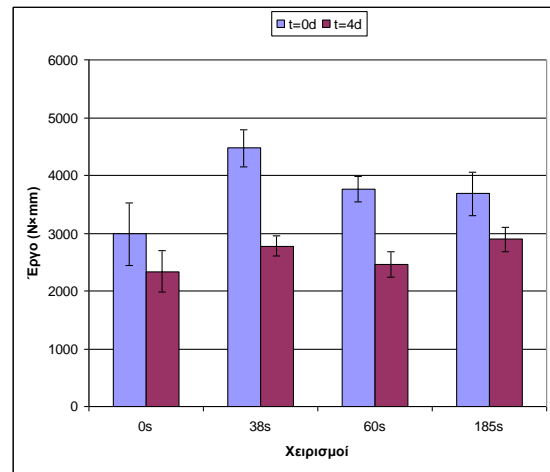
Από το Σχήμα 16(α) παρατηρείται ότι η μέγιστη δύναμη μειώθηκε για όλους τους χειρισμούς στο τέλος της συντήρησης. Η μεγαλύτερη μείωση εμφανίστηκε στον μάρτυρα (0 s) και ήταν ίση με 28.52 %, ακολουθεί ο χειρισμός των 60 s με μείωση 19.86% ενώ ο χειρισμός των 185 s εμφάνισε παρόμοια μείωση με τον χειρισμό των 38 s, ίση με 14.66% και 14.56% αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση στο τέλος της συντήρησης τα δείγματα που είχαν εκτεθεί σε ακτινοβολία UV-C απαιτούσαν περισσότερη δύναμη για τη διάτμησή τους σε σχέση με τον μάρτυρα. Επίσης, η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι μόνο ο χειρισμός των 38 s εμφάνισε στατιστικά σημαντική διαφορά με όλους τους χειρισμούς (0, 60 και 185 s), ενώ οι υπόλοιποι χειρισμοί δεν εμφάνισαν μεταξύ τους στατιστικά σημαντική διαφορά.

Από το Σχήμα 16(β) γίνεται αντιληπτό ότι τα δείγματα που εκτέθηκαν στην ακτινοβολία UV-C ειδικά στην έναρξη της συντήρησης απαιτούσαν περισσότερη ενέργεια για την διεξαγωγή της δοκιμής με κελί Kramer. Επίσης, η μείωση του έργου στο τέλος της συντήρησης ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της μέγιστης δύναμης. Η μεγαλύτερη τιμή καθώς και η μεγαλύτερη μείωση παρατηρήθηκε στον χειρισμό των 38 s. Η μείωση του δαπανώμενου έργου ήταν 37.80% για τον χειρισμό των 38 s και 34.43% για τα 60 s, ο μάρτυρας και ο χειρισμός των 185 s εμφάνισαν μείωση 21.73% και 21.46% αντίστοιχα.

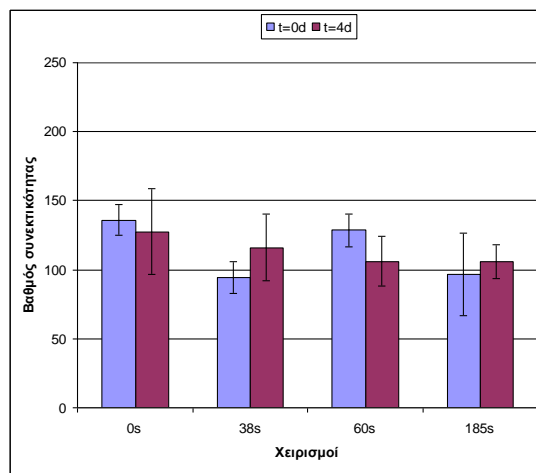
Η μέγιστη δύναμη καθώς και το δαπανώμενο έργο θεωρούνται σημαντικές ιδιότητες της υφής που πρέπει να αναλύονται σε δοκιμές με κελί Kramer. Οι μεταβολές των ιδιοτήτων αυτών τόσο στα ολόκληρα όσο και στα τεμαχισμένα δείγματα, σε μεγαλύτερο βαθμό, μπορεί να οφείλονται στην επίδραση της ακτινοβολίας στις φυσιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους καρπούς της τομάτας, αλλά και σε μεταβολές στους ιστούς και στα ένζυμα που ευθύνονται για την χαρακτηριστική υφή των προϊόντων.



(α)



(β)



(γ)

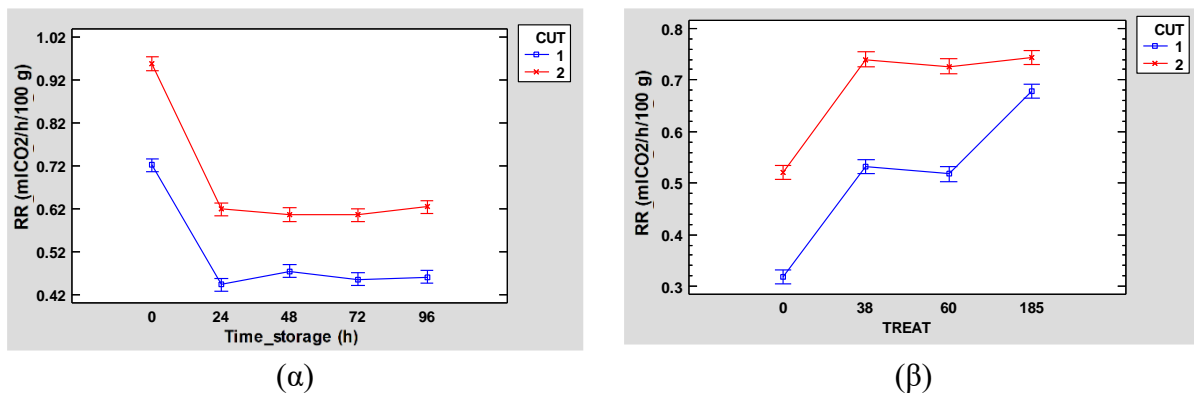
Σχήμα 16 Μέση τιμή της μέγιστης δύναμης (α), του έργου (β) και του βαθμού συνεκτικότητας (γ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν για την αρχή και το τέλος της συντήρησης στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Οι Bu et al. (2013) σύγκριναν τη σκληρότητα των τοματών που έχουν υποστεί χειρισμό με υπεριώδη ακτινοβολία και των μη ακτινοβολημένων τοματών και ανέφεραν καλύτερη διατήρηση της σκληρότητας στους καρπούς που είχαν υποστεί επεξεργασία με UV-C μετά από 35 ημέρες αποθήκευσης στους 18 °C. Ομοίως, έχει αναφερθεί υψηλότερη διατήρηση της σκληρότητας σε τομάτες Mecano που έχουν ακτινοβοληθεί με υπεριώδη ακτινοβολία (UV-C) (Obande et al. 2011). Σε πείραμα των Lu et.al (2016) παρατηρήθηκε ότι η UV-C διατήρησε την ποιότητα του καρπού ως προς τη σκληρότητα.

3.4 Υπολογισμός αναπνευστικού ρυθμού

Η επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας στον ρυθμό αναπνοής είναι σημαντική καθώς, η αναπνοή είναι ένας από τους μεταβολικούς παράγοντες που καθορίζουν την ποιότητα στις

αποθηκευμένες ντομάτες. Από τη στατιστική ανάλυση, παρατηρήθηκε ότι τόσο οι παράγοντες που εξετάστηκαν, όσο και η αλληλεπίδρασή τους, είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά όσον αφορά τον ρυθμό αναπνοής. Επίσης, οι ολόκληροι καρποί εμφάνισαν χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής σε σχέση με τους τεμαχισμένους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 17 τόσο συναρτήσει του χρόνου (α) όσο και συναρτήσει της έκθεσης στην ακτινοβολία UV-C (β). Συναρτήσει του χρόνου συντήρησης, ο ρυθμός αναπνοής αρχικά είναι υψηλός και στη συνέχεια μειώνεται και διατηρείται σχετικά σταθερός μέχρι το τέλος της συντήρησης. Όσον αφορά τη μεταβολή του ρυθμού αναπνοής συναρτήσει του χρόνου έκθεσης στην ακτινοβολία, ο ρυθμός αναπνοής ήταν αυξημένος για τα δείγματα που εκτέθηκαν σε ακτινοβολία σε σχέση με τον ρυθμό αναπνοής του μάρτυρα (0 s). Στους ολόκληρους καρπούς, εμφανίζει αύξηση χωρίς να παρατηρείται διαφορά μεταξύ των 38 s και 60 s ενώ ο χειρισμός των 185 s εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή. Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς δεν εμφανίζεται ιδιαίτερη διαφορά μεταξύ των χειρισμών παρά μόνο με τον μάρτυρα (0 s).



Σχήμα 17 Μέση μεταβολή του ρυθμού αναπνοής ($mL_{CO_2} h^{-1} 100g^{-1}$) (α) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης (h) και (β) συναρτήσει του χρόνου έκθεσης (s) στην ακτινοβολία UV-C. (cut 1: ολόκληρα δείγματα, cut 2: τεμαχισμένα δείγματα). Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) του αναπνευστικού ρυθμού όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 ως 96 ώρες), τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C) παρουσιάζεται στον Πίνακα 10. Προκύπτει, ότι όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν καθώς και η αλληλεπίδρασή τους επηρέασαν σημαντικά τον εκτιμώμενο ρυθμό αναπνοής ($P \leq 0.05$) τόσο στα ολόκληρα, όσο και στα τεμαχισμένα δείγματα.

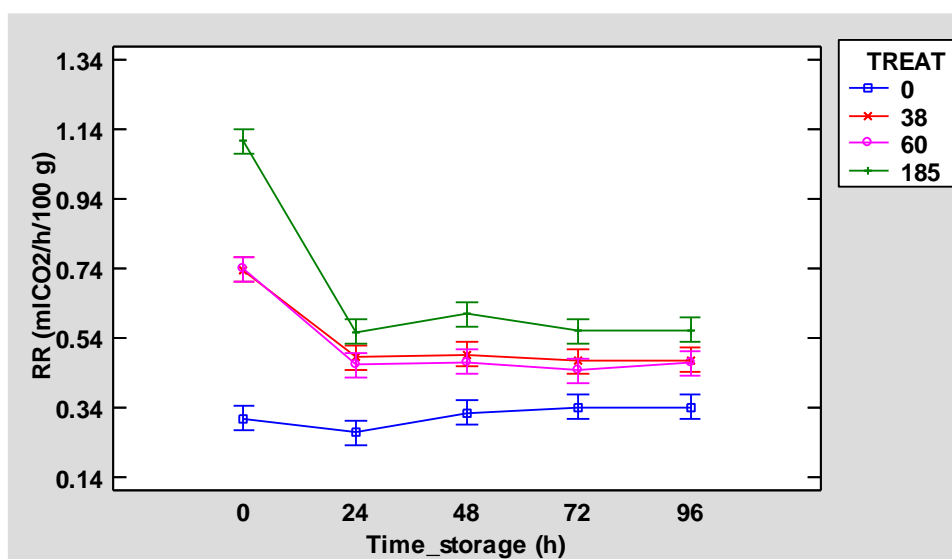
Πίνακας 10 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον αναπνευστικό ρυθμό με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ώρες) και χειρισμούς για ολόκληρες και τεμαχισμένες τομάτες.

Παράγοντες	df	RR ($mL_{CO_2} h^{-1} 100g^{-1}$) ολόκληρα δείγματα		RR ($mL_{CO_2} h^{-1} 100g^{-1}$) τεμαχισμένα δείγματα	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ώρες)	4	88.96	$\leq 0.001^*$	275.76	$\leq 0.001^*$
B: Χειρισμοί	3	175.44	$\leq 0.001^*$	170.85	$\leq 0.001^*$

Αλληλεπίδραση
AB 12 16.10 $\leq 0.001^*$ 24.17 $\leq 0.001^*$

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df = βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

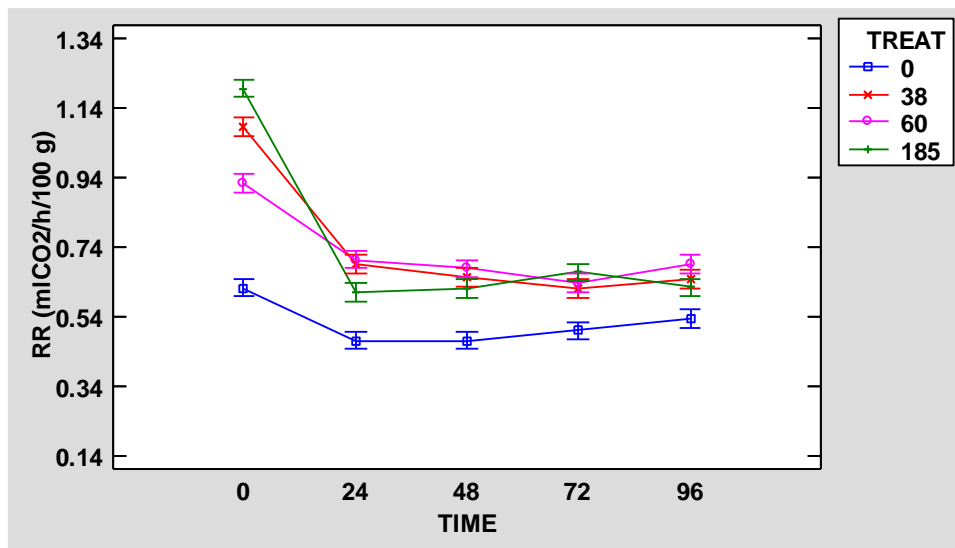
Στο Σχήμα 18 παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με το χρόνο για κάθε χειρισμό που εξετάστηκε στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών. Από το γράφημα γίνεται αντιληπτό ότι ο χειρισμός με ακτινοβολία UV-C για 185 s είχε τον υψηλότερο αναπνευστικό ρυθμό καθ' όλη τη διάρκεια της συντήρησης. Οι χειρισμοί UV-C για 38 s και 60 s παρουσίασαν παρόμοια μεταβολή μεταξύ τους και είχαν αυξημένο ρυθμό αναπνοής σε σχέση με τον μάρτυρα (0 s) κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Από τα παραπάνω, και το Σχήμα 18 γίνεται αντιληπτό ότι μόνο οι χειρισμοί UV-C για 38 s και 60 s δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ τους και όλοι οι χειρισμοί με ακτινοβολία είχαν σημαντική διαφορά ως προς τον μάρτυρα. Επίσης, από το Σχήμα 18 παρατηρείται μεγάλη διαφορά μεταξύ των πειραματικών σειρών στην έναρξη της συντήρησης ($t=0$ h). Ο ρυθμός αναπνοής των χειρισμών UV-C για 38 s και 60 s ήταν 2.37 φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τον αντίστοιχο του μάρτυρα (135% αύξηση) ενώ για τον χειρισμό UV-C για 185 s ο ρυθμός αναπνοής ήταν 3.6 φορές μεγαλύτερος (256% αύξηση) σε σχέση με τον μάρτυρα (0 s). Η διαφορά αυτή οφείλεται στην έκθεση των δειγμάτων στην ακτινοβολία UV-C και στις αλλαγές που μπορεί να προκάλεσε στους στις φυσιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους καρπούς καθώς και στην αλλαγή της συμπεριφοράς των κυτταρικών δομών στην επιφάνεια των καρπών.



Σχήμα 18 Ρυθμός αναπνοής συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στις ολόκληρες τομάτες. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Στο Σχήμα 19 παρουσιάζεται η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής με το χρόνο για κάθε χειρισμό που εξετάστηκε στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Από το γράφημα γίνεται αντιληπτό ότι ο χειρισμός με ακτινοβολία UV-C για 185 s είχε τον υψηλότερο αναπνευστικό ρυθμό στην αρχή της συντήρησης. Οι τρεις χειρισμοί UV-C παρουσίασαν

παρόμοια μεταβολή μεταξύ τους και είχαν αυξημένο ρυθμό αναπνοής σε σχέση με τον μάρτυρα κατά τη διάρκεια της συντήρησης με τον οποίο όλοι εμφάνισαν στατιστικά σημαντική διαφορά ενώ μεταξύ τους όχι, όπως γίνεται αντιληπτό και από το διάγραμμα. Όπως στα ολόκληρα δείγματα έτσι και στα τεμαχισμένα η αρχική τιμή του ρυθμού αναπνοής είναι αυξημένη. Στην περίπτωση αυτή δεν οφείλεται μόνο στην επίδραση της ακτινοβολίας αλλά και στην κοπή και την καταπόνηση που προκάλεσε στα δείγματα. Ο ρυθμός αναπνοής των χειρισμών με UV-C για 38 s και 60 s ήταν αυξημένος κατά 60% σε σχέση με τον αντίστοιχο του μάρτυρα (0 s) ενώ για τον χειρισμό 185 s αυξημένος κατά 92%. Συγκρίνοντας επίσης, τον αρχικό ρυθμό αναπνοής για τους μάρτυρες (0 s) των δυο σειρών εμφανίζεται αύξηση 100% δηλαδή διπλάσιος ρυθμός αναπνοής για τα τεμαχισμένα δείγματα σε σύγκριση με τα ολόκληρα. Από αυτή τη διαφορά, γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα της κοπής στον ρυθμό της αναπνοής.



Σχήμα 19 Ρυθμός αναπνοής συναρτήσει χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Από την ανάλυση που προηγήθηκε, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η επίδραση της ακτινοβολίας είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της φυσιολογίας και της μορφολογίας της εξωτερικής επιφάνειας των ολόκληρων τοματών και της εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας (σάρκας), που είναι εκτεθειμένη, στην περίπτωση των τεμαχισμένων δειγμάτων. Η κοπή, ακόμα και χωρίς συνδυασμό κάποιου άλλου παράγοντα όπως η ακτινοβολία, καταπονεί το προϊόν, καθώς «τραυματίζονται» οι ιστοί, με αποτέλεσμα να επιταχύνονται διεργασίες που οδηγούν στην εντονότερη υποβάθμιση της ποιότητας και στην επιτάχυνση της ωρίμασης των καρπών περιλαμβανομένης και της αύξησης της αναπνοής καθώς και του περιορισμού της απώλειας μάζας. Στην περίπτωση του μάρτυρα (0 s), αυτό δεν συνέβη καθώς δεν επηρεάστηκε η εξωτερική επιφάνεια, τα στομάτια παρέμεναν ανοικτά και είχαμε απώλεια μάζας από τους καρπούς.

Σε πείραμα των Lu et al (2016) παρατηρήθηκε ότι στους μάρτυρες η κοπή ή ο τραυματισμός καρπών τομάτας επιτάχυνε τη διαδικασία ωρίμασης των καρπών της τομάτας και οδήγησε σε υποβάθμιση της ποιότητας, μέσω της αύξησης του ρυθμού αναπνοής. Στην αντίθετη πλευρά, στις τομάτες οι οποίες εκτέθηκαν σε υπεριώδη ακτινοβολία καθυστέρησε η εμφάνιση του κρίσιμου σημείου παραγωγής αιθυλενίου και ο ρυθμός αναπνοής, επομένως καθυστέρησε η ωρίμαση των καρπών ως απόκριση στην κοπή (τραύμα). Η UV-C διατήρησε επίσης την ποιότητα του καρπού ως προς τη σκληρότητα, το χρώμα και την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη.

3.5 Ολικά διαλυτά στερεά (Brix) – Δείκτης οξύτητας pH- Οξύτητα

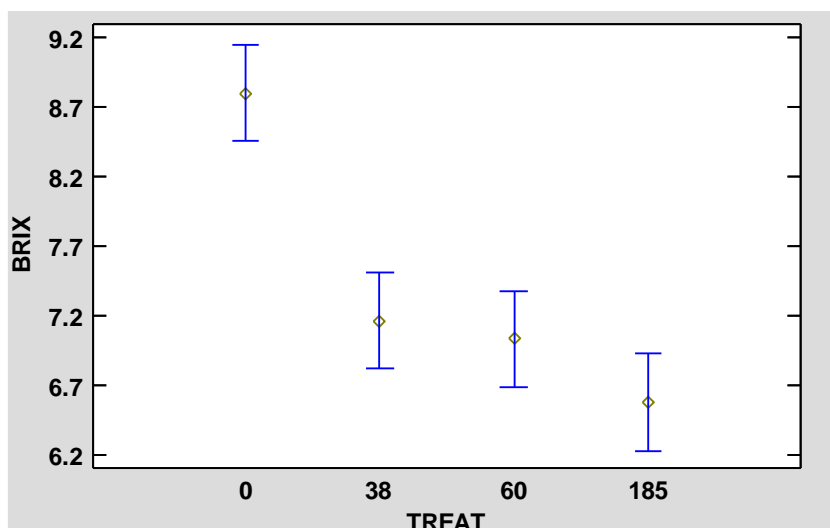
Ο Πίνακας 11 παρουσιάζει την ανάλυση διασποράς για τα ολικά διαλυτά στερεά (Brix) και του pH για τις ολόκληρες τομάτες όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 ως 4 ημέρες), τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C) και την αλληλεπίδρασή τους. Προκύπτει ότι μόνο οι διαφορετικοί χειρισμοί επηρέασαν σημαντικά τα ολικά διαλυτά στερεά, ενώ το pH φαίνεται να μην επηρεάστηκε σημαντικά από το χρόνο αποθήκευσης, τους χειρισμούς αλλά ούτε και από την μεταξύ των αλληλεπίδραση.

Πίνακας 11. Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τα Ολικά διαλυτά στερεά συστατικά (Brix) και το pH με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των ολόκληρων τοματών.

Παράγοντες	df	Ολικά διαλυτά στερεά συστατικά (Brix)		Δείκτης οξύτητας (pH)	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	3.88	0.066 ^{NS}	2.24	0.1536 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	17.33	≤0.001*	0.47	0.7050 ^{NS}
Αλληλεπίδραση A×B	3	1.16	0.3543 ^{NS}	0.49	0.6913 ^{NS}

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Στο Σχήμα 20 γίνεται αντιληπτό ότι όλοι οι χειρισμοί διέφεραν ως προς τον μάρτυρα (0 s) ενώ μεταξύ τους, δεν παρουσίασαν στατιστική διαφορά. Επίσης, όλοι οι χειρισμοί είχαν σημαντικά χαμηλότερη τιμή ως προς τον μάρτυρα, με μικρότερη αυτή του χειρισμού για 185 s, 25.2% μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του μάρτυρα.



Σχήμα 20 Μέση τιμή ολικών διαλυτών στερεών συστατικών ανά χειρισμό για τα ολόκληρα δείγματα καρπών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η ανάλυση διασποράς της οξύτητας, κιτρικό οξύ (citrus) και ασκορβικού μαζί με κιτρικού οξέος (orange), για τις ολόκληρες τομάτες όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 ως 4 ημέρες), τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C) και την αλληλεπίδρασή τους. Προκύπτει ότι η οξύτητα φαίνεται να μην επηρεάστηκε σημαντικά ούτε από το χρόνο αποθήκευσης, ούτε από τους χειρισμούς, αλλά ούτε και από την αλληλεπίδραση αυτών.

Πίνακας 12 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την Οξύτητα (Citrus και Orange) με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των ολόκληρων τοματών.

Παράγοντες	df	Οξύτητα (Citrus)		Οξύτητα (Orange)	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	0.29	0.5986 ^{NS}	0.18	0.6803 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	0.23	0.8716 ^{NS}	0.44	0.7289 ^{NS}
Αλληλεπίδραση AB	3	1.18	0.3502 ^{NS}	1.33	0.3007 ^{NS}

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Ο Πίνακας 13 παρουσιάζει την ανάλυση διασποράς για τα ολικά διαλυτά στερεά (Brix) και το pH για τις τεμαχισμένες τομάτες όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 ως 4 ημέρες), τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C) και την αλληλεπίδρασή τους. Προκύπτει ότι ο χρόνος αποθήκευσης και οι διαφορετικοί χειρισμοί επηρέασαν σημαντικά τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά ενώ το pH φαίνεται και πάλι να μην επηρεάστηκε σημαντικά

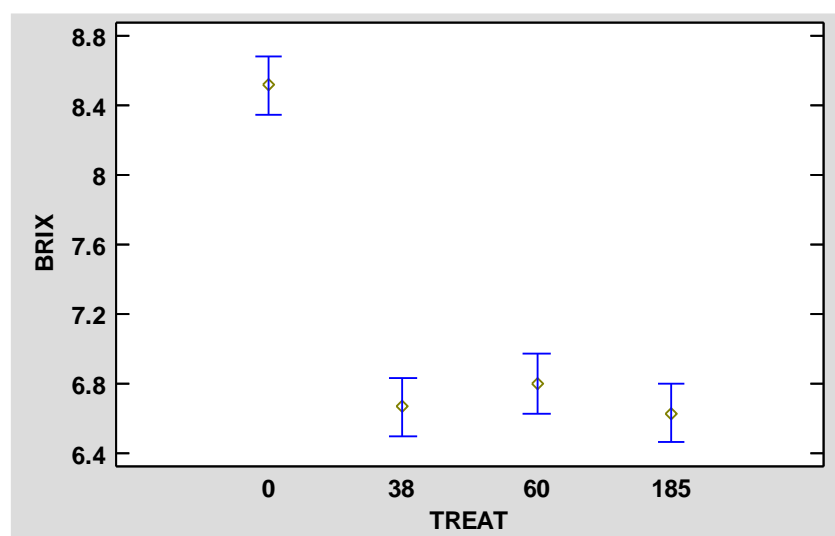
ούτε από το χρόνο αποθήκευσης, ούτε από τους χειρισμούς αλλά επηρεάστηκε μόνο από την αλληλεπίδραση αυτών.

Πίνακας 13 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τα Ολικά διαλυτά στερεά (Brix) και το Δείκτη οξύτητας (pH) με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών.

Παράγοντες	df	Ολικά διαλυτά στερεά συστατικά (Brix)		Δείκτης οξύτητας (pH)	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	20.45	0.0003*	1.08	0.3146 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	65.69	0.0000*	2.25	0.1214 ^{NS}
Αλληλεπίδραση AB	3	0.66	0.5857 ^{NS}	4.05	0.0256*

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Από το Σχήμα 21 γίνεται αντιληπτό ότι όλοι οι χειρισμοί διέφεραν με τον μάρτυρα(0 s) ενώ μεταξύ τους δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά, όπως και στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών. Επίσης, όλοι οι χειρισμοί είχαν χαμηλότερη μέση τιμή σε σύγκριση με τον μάρτυρα, με μικρότερη αυτή του χειρισμού για 185 s, συγκεκριμένα κατά 22.11% μικρότερη σε σχέση με την αντίστοιχη του μάρτυρα. Από το Σχήμα 21 και το Σχήμα 22 παρατηρείται ότι η μεταβολή των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών και στις δυο περιπτώσεις ήταν παρόμοια. Τέλος, στην περίπτωση των τεμαχισμένων καρπών στο τέλος της συντήρησης η μέση τιμή ήταν υψηλότερη σε σχέση με την αρχή, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην μεγάλη απώλεια μάζας.



Σχήμα 21 Μέση τιμή ολικών διαλυτών στερεών συστατικών ανά χειρισμό για τα τεμαχισμένα δείγματα καρπών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

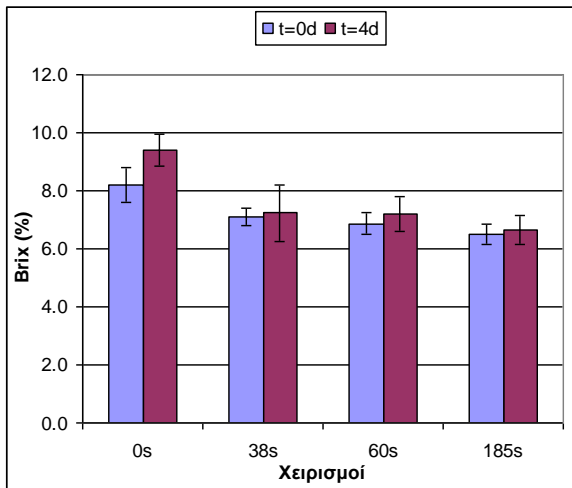
Ο Πίνακας 14 παρουσιάζει την ανάλυση διασποράς για την Οξύτητα (Citrus και Orange) για τις τεμαχισμένες τομάτες όσον αφορά τον χρόνο αποθήκευσης (0 ως 4 ημέρες), τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C) και την αλληλεπίδρασή τους. Προκύπτει ότι η περιεκτικότητα σε κιτρικό (citrus) και ασκορβικό μαζί με κιτρικό (orange) επηρεάστηκε σημαντικά από την αλληλεπίδραση του χρόνου αποθήκευσης και των διαφορετικών χειρισμών ακτινοβολίας UV-C.

Πίνακας 14 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την Οξύτητα (Citrus και Orange) με τους παράγοντες χρόνο αποθήκευσης (ημέρες) και χειρισμούς για την περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών.

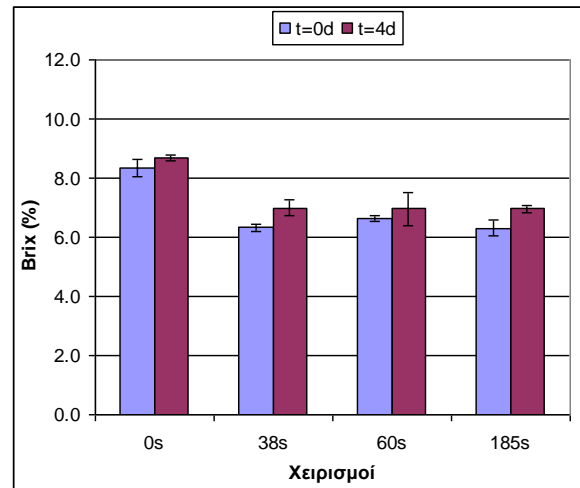
Παράγοντες	df	Οξύτητα (Citrus)		Οξύτητα (Orange)	
		F-Ratio	P-Value	F-Ratio	P-Value
A: Χρόνος (ημέρες)	1	2.44	0.1376 ^{NS}	3.28	0.0889 ^{NS}
B: Χειρισμοί	3	1.06	0.3921 ^{NS}	1.64	0.2205 ^{NS}
Αλληλεπίδραση AB	3	2.73	0.0780 ^{NS}	3.40	0.0434*

*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Στο Σχήμα 22 παρουσιάζεται η μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών διαλυτών στερεών για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) των τεμαχισμένων. Και στις δύο περιπτώσεις, επιβεβαιώνονται τα ευρήματα της ανάλυσης διασποράς μιας και παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών με τους χειρισμούς. Παρατηρείται ότι σε κάθε περίπτωση, η συγκέντρωση των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών εμφανιζόταν αυξημένη στο τέλος της συντήρησης. Στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών, μεγαλύτερη αύξηση εμφάνισαν τα δείγματα του μάρτυρα (14.6%) και τη μικρότερη τα δείγματα του χειρισμού των 38 s (1.9%) ενώ οι άλλοι δυο χειρισμοί εμφάνισαν αύξηση 4.9% (UV-C 60s) και 2.6 % (UV-V 185s). Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς, ο μάρτυρας εμφάνισε την μικρότερη αύξηση, με 4.4%, ακολουθώντας ο χειρισμός 60 s με 5%, και οι χειρισμοί 38s και 185s με 10.5% και 10.6% αντίστοιχα.



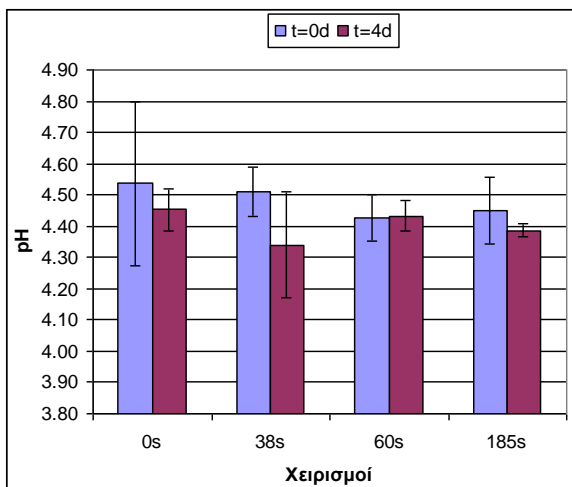
(α)



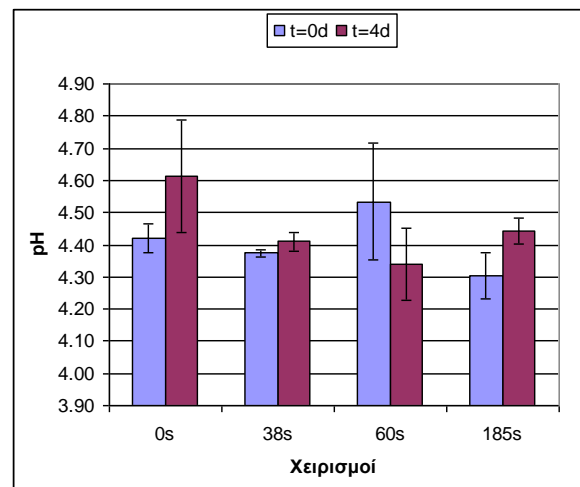
(β)

Σχήμα 22 Μεταβολή της συγκέντρωσης ολικών διαλυτών στερεών για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η μεταβολή του pH για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) στην περίπτωση των τεμαχισμένων. Και στις δύο περιπτώσεις επιβεβαιώνονται τα ευρήματα της ανάλυσης διασποράς μιας και παρατηρείται ότι η μεταβολή του pH δεν σχετίζεται ούτε με τους χειρισμούς, ούτε με τη διάρκεια της συντήρησης. Στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών, παρατηρείται μείωση με τον χρόνο χωρίς να είναι στατιστικά σημαντική όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η μείωση κυμάνθηκε μεταξύ 1.42-3.77% ενώ για τον χειρισμό των 60 s ο δείκτης οξύτητας παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητος (αύξηση 0.15%). Στην περίπτωση των τεμαχισμένων καρπών, οι χειρισμοί 0 s, 38 s και 185 s εμφάνισαν αύξηση η οποία κυμάνθηκε μεταξύ 0.84-4.37%, ενώ ο χειρισμός των 60 s εμφάνισε μείωση 4.26%.



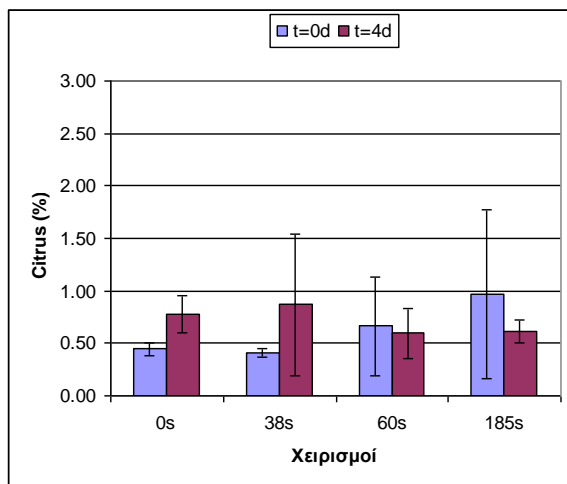
(α)



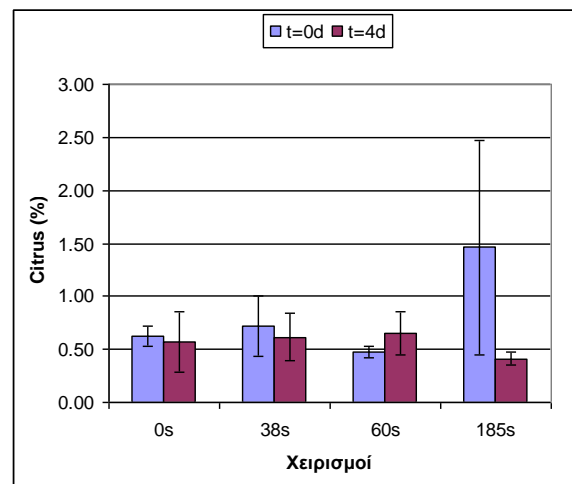
(β)

Σχήμα 23 Μεταβολή του pH για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

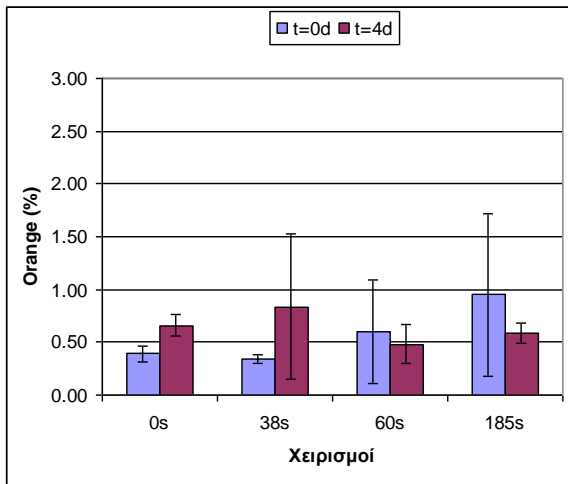
Στο Σχήμα 24 παρουσιάζεται η μεταβολή της οξύτητας για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης (Περίπτωση 1: κιτρικό οξύ) και (Περίπτωση 2: κιτρικό & ασκορβικό οξύ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Και στις δύο περιπτώσεις επιβεβαιώνονται τα ευρήματα της ανάλυσης διασποράς όπου παρατηρείται ότι η μεταβολή της οξύτητας δεν σχετίζεται ούτε με τους χειρισμούς, ούτε με τη διάρκεια της συντήρησης, παρά τις επιμέρους εντονότερες, όπως στον χειρισμό των 185 s, διαφοροποιήσεις οι οποίες μπορεί να οφείλονται στην πρώτη ύλη. Η οξύτητα μεταβλήθηκε με παρόμοιο τρόπο (περίπτωση 1 και περίπτωση 2) για τους ολόκληρους και για τους τεμαχισμένους καρπούς. Από το σχήμα, για τους ολόκληρους καρπούς, παρατηρείται ότι εμφανίστηκε αυξητική τάση στην τιμή του κιτρικού οξέος με την αύξηση στην έκθεση σε ακτινοβολία UV-C στην έναρξη της συντήρησης, ενώ στη λήξη, εμφανίστηκε αύξηση για τους χειρισμούς 0s και 38s ενώ για τους άλλους δυο χειρισμούς αντίστοιχα μείωση. Αντίθετα, στους τεμαχισμένους καρπούς, μόνο στον χειρισμό των 185 s παρουσιάζει σημαντική μεταβολή εμφανίζοντας την μεγαλύτερη αρχική τιμή και την μικρότερη τελική (71.75% μείωση). Αντίστοιχες μεταβολές εμφάνισε και η συγκέντρωση σε κιτρικό & ασκορβικό οξύ με τη διαφορά, ότι η μείωση για τον χειρισμό των 185 s ήταν μεγαλύτερη και ίση με 76.10%.



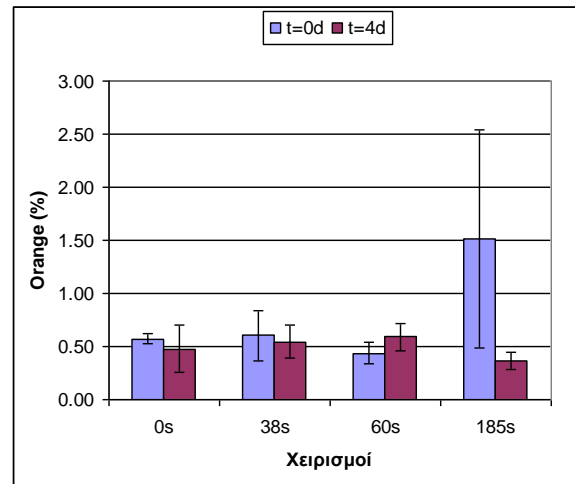
(α1)



(β1)



(α2)



(β2)

Σχήμα 24 Μεταβολή της οξύτητας για την αρχική και τελική ημέρα συντήρησης (Περίπτωση 1: κιτρικό οξύ) και (Περίπτωση 2: κιτρικό & ασκορβικό οξύ) για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν, (α) στην περίπτωση των ολόκληρων τοματών και (β) στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Σε πείραμα των Pinheiro et al. (2015) η τιτλοδοτούμενη οξύτητα, ως προς το κιτρικό οξύ, καρπών που είχαν υποστεί επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία ήταν χαμηλότερη από αυτή των καρπών που δεν είχαν υποστεί χειρισμό, με σημαντική διαφορά να παρατηρείται την 7η ημέρα μετά τον χειρισμό, ενώ σημειώθηκε σημαντική αύξηση στο pH στους καρπούς που είχαν υποστεί επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία από την 4η ημέρα έως το τέλος της περιόδου αποθήκευσης. Σε πείραμα των Shahbaz et al. (2018) η περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ μειώθηκε σημαντικά μετά από όλες τις επεμβάσεις με ακτινοβολία UV, σε σύγκριση με τον μάρτυρα. Τέλος, οι Charles et al. (2005), σε πείραμα που διεξήγαγαν παρατήρησαν μια αξιοσημείωτη αύξηση στην περιεκτικότητα των σακχάρων στον μάρτυρα μετά από 21 ημέρες συντήρησης, αλλά όχι στους καρπούς που είχαν υποστεί χειρισμό με υπεριώδη ακτινοβολία. Παρατηρήθηκε πολύ μικρή αλλαγή στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα στους καρπούς που είχαν υποστεί χειρισμό με υπεριώδη ακτινοβολία κατά την περίοδο αποθήκευσης, ενώ η οξύτητα των καρπών του μάρτυρα αυξήθηκε σταδιακά κατά την αποθήκευση. Σημαντική διαφορά στην οξύτητα των δύο ομάδων ήταν εμφανής μόνο μετά από 7 ημέρες αποθήκευσης. Οι τιμές του pH που καταγράφηκαν για τους καρπούς τομάτας που υποβλήθηκαν σε χειρισμό με υπεριώδη ακτινοβολία ήταν γενικά υψηλότερες από αυτές του μάρτυρα. Ωστόσο, δεν υπήρχε σημαντική διαφορά μεταξύ των καρπών που είχαν υποστεί υπεριώδη ακτινοβολία και των καρπών του μάρτυρα κατά τις πρώτες 4 ημέρες μετά την επεξεργασία με UV-C. Οι διαφορές της βιβλιογραφίας με το πείραμα που διεξήχθη στην παρούσα μελέτη μπορεί να οφείλονται στην διαφορά της ποικιλίας, καθώς και στην πρώτη ύλη, όπως το στάδιο ωριμότητας, καθώς διαφορετικές ποικιλίες τομάτας μπορεί να εμφανίσουν τελείως διαφορετική συμπεριφορά στην επεξεργασία και τη συντήρηση.

3.6 Παραγωγή Αιθυλενίου

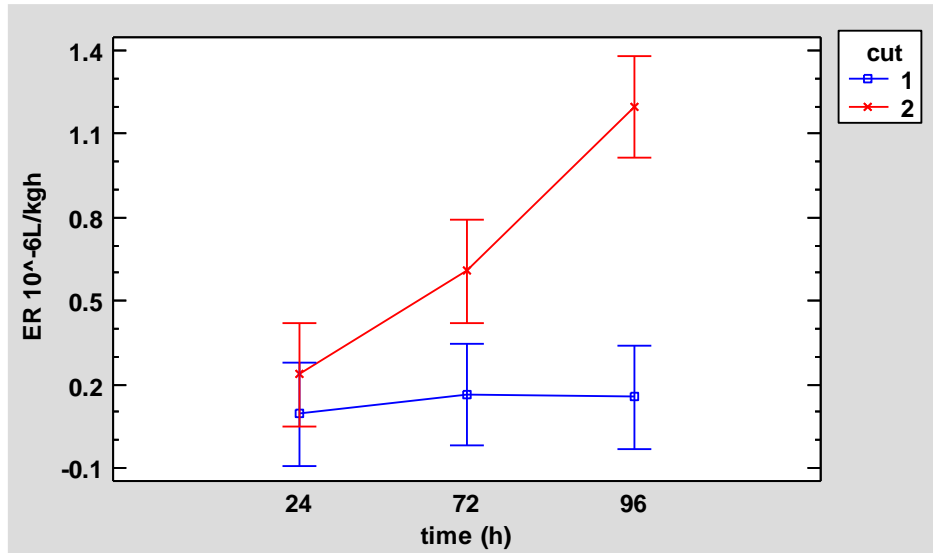
Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει την ανάλυση διασποράς για την παραγωγή αιθυλενίου όσον αφορά τους εξεταζόμενους χειρισμούς (χρόνος έκθεσης σε UV-C), τον τεμαχισμό των τοματών, τον χρόνο συντήρησης (ώρες) και την αλληλεπίδρασή τους. Προκύπτει ότι η παραγωγή αιθυλενίου επηρεάστηκε σημαντικά από τον τεμαχισμό και τον χρόνο συντήρησης καθώς και την αλληλεπίδρασή τους ενώ οι χειρισμοί ακτινοβολίας UV-C δεν την επηρέασαν σημαντικά.

Πίνακας 15 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την παραγωγή αιθυλενίου με τους παράγοντες χειρισμοί, κοπή και χρόνος συντήρησης.

Παράγοντες	df	F-Ratio	P-Value
A: Χειρισμοί	3	1.23	0.3088 ^{NS}
B: Τεμαχισμός	1	26.30	≤0.001*
C: Χρόνος συντήρησης (h)	4	7.83	0.0011*
Αλληλεπίδραση			
A×B	3	1.17	0.3317 ^{NS}
A×C	12	1.91	0.0990 ^{NS}
B×C	4	6.22	0.0040*
A×B×C	12	1.76	0.1284 ^{NS}

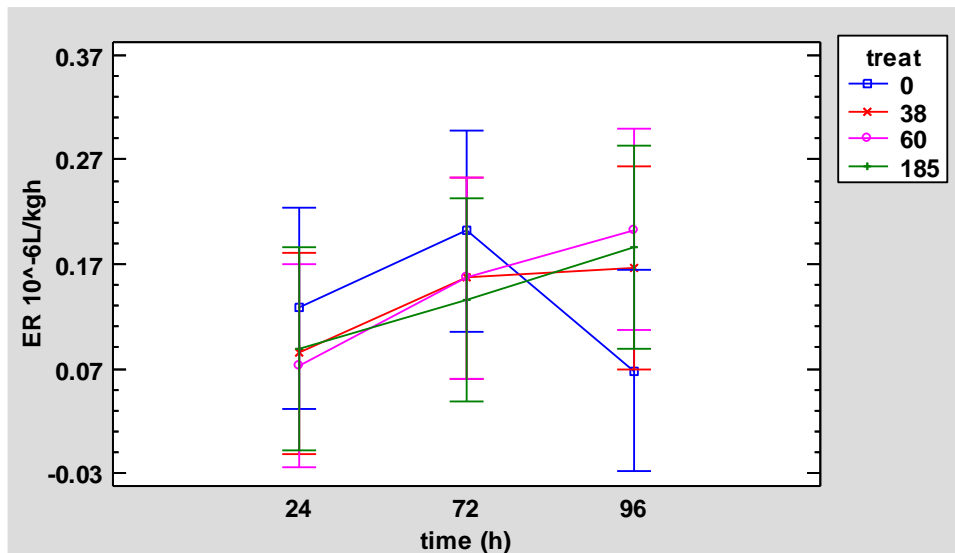
*= σημαντικότητα για $P \leq 0.05$, df= βαθμοί ελευθερίας, NS=μη σημαντικό.

Από το Σχήμα 25 γίνεται αντιληπτό ότι οι κομμένοι καρποί, εμφανίζουν υψηλότερες τιμές παραγωγής αιθυλενίου σε σύγκριση με τους ολόκληρους, ειδικά από τις 72 ώρες και μετά. Στις 24 ώρες δεν παρατηρείται στατιστική διαφορά στην παραγωγή αιθυλενίου, στις 72 ώρες η παραγωγή αιθυλενίου για τους τεμαχισμένους καρπούς (0.607 $\mu\text{L}/\text{kg h}$) είναι σχεδόν 4 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη των ολόκληρων καρπών (0.163 $\mu\text{L}/\text{kg h}$), και στο τέλος της συντήρησης, 96 ώρες, η παραγωγή αιθυλενίου των τεμαχισμένων καρπών (1.197 $\mu\text{L}/\text{kg h}$) είναι 7.68 φορές μεγαλύτερη από ότι στους ολόκληρους (0.156 $\mu\text{L}/\text{kg h}$). Επίσης, από το Σχήμα 25 παρατηρείται ότι η παραγωγή αιθυλενίου για τους ολόκληρους καρπούς παραμένει σχεδόν σταθερή ενώ στους τεμαχισμένους αυξάνεται με τον χρόνο.



Σχήμα 25 Παραγωγή αιθυλενίου για τους ολόκληρους (1, μπλε γραμμή) και τους τεμαχισμένους καρπούς (2, κόκκινη γραμμή) συναρτήσει του χρόνου συντήρησης. (cut 1: ολόκληρα δείγματα; cut 2: τεμαχισμένα δείγματα). Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

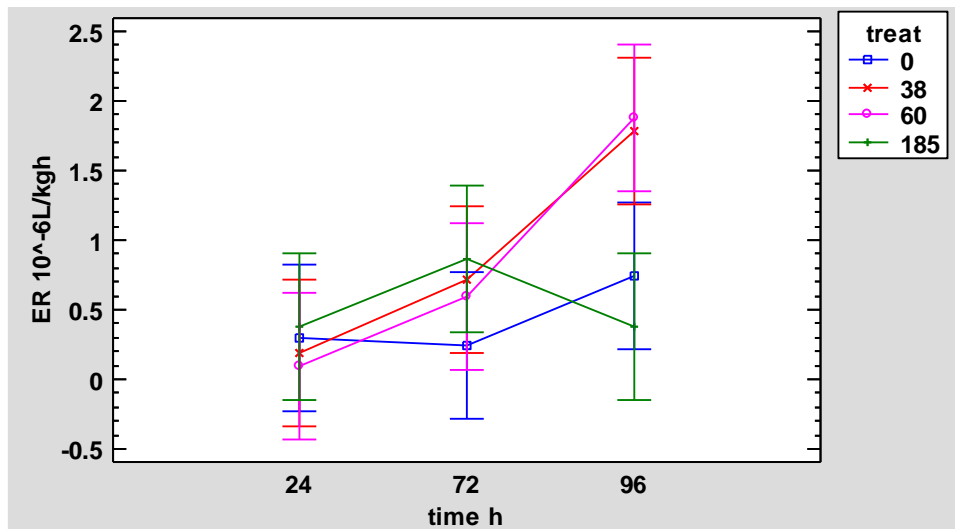
Η ανάλυση διασποράς για τα δεδομένα των ολόκληρων καρπών, για την παραγωγή αιθυλενίου, έδειξε ότι τόσο οι χειρισμοί όσο και ο χρόνος συντήρησης δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί ($P\text{-value} > 0.05$), κάτι το οποίο γίνεται αντιληπτό από το Σχήμα 25. Επίσης, ούτε και η αλληλεπίδραση των παραγόντων αυτών ήταν στατιστικά σημαντική. Στο Σχήμα 26 παρουσιάζεται η παραγωγή αιθυλενίου, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στις ολόκληρες τομάτες. Στην περίπτωση του μάρτυρα παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής αιθυλενίου κατά τη διάρκεια της συντήρησης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρουσία CO_2 εντός του αναπνευστικού θαλάμου, όπου γινόταν η μέτρηση του αιθυλενίου. Στην περίπτωση του χειρισμού των 38 s παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής αιθυλενίου κατά τη διάρκεια της συντήρησης, στο τέλος της συντήρησης ήταν σχεδόν διπλάσια σε σχέση με την αρχή, 1.9 φορές μεγαλύτερη όπως και για τον χειρισμό των 185 s, 2.09 φορές μεγαλύτερη. Στην περίπτωση των 60 s η αύξηση ήταν σχετικά εντονότερη, 2.78 φορές.



Σχήμα 26 Παραγωγή αιθυλενίου συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Η ανάλυση διασποράς για τα δεδομένα των τεμαχισμένων καρπών, για την παραγωγή αιθυλενίου, έδειξε ότι οι χειρισμοί δεν ήταν στατιστικά σημαντικός παράγοντας (P -value>0.05) ενώ ο χρόνος συντήρησης ήταν στατιστικά σημαντικός κάτι το οποίο γίνεται αντιληπτό και από το Σχήμα 26. Επίσης, ούτε και η αλληλεπίδραση των παραγόντων αυτών ήταν στατιστικά σημαντική.

Στο Σχήμα 27 παρουσιάζεται η παραγωγή αιθυλενίου, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Από την επεξεργασία των δεδομένων παρατηρήθηκε ότι η παραγωγή αιθυλενίου δεν παρουσιάζει διαφορά μεταξύ των 24 και 72 ωρών ενώ μεταξύ των υπολοίπων χρόνων όπου έγιναν μετρήσεις υπάρχει στατιστική διαφορά. Στις περιπτώσεις του μάρτυρα (0 s), των 38 s και των 60 s, παρατηρείται αύξηση της παραγωγής αιθυλενίου κατά τη διάρκεια της συντήρησης, 2.5, 9.6 και 20.6 φορές αντίστοιχα. Σε αντίθεση, στην περίπτωση των 185 s παρατηρήθηκε αρχικά αύξηση και μέγιστη παραγωγή στις 72 ώρες και έπειτα μείωση της παραγωγής αιθυλενίου με την παραγωγή να επιστρέφει σχεδόν στην αρχική τιμή. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στην μεταβολή της μορφολογίας των ιστών των καρπών λόγω της μεγάλης διάρκειας έκθεσης των καρπών στη UV-C ακτινοβολία.



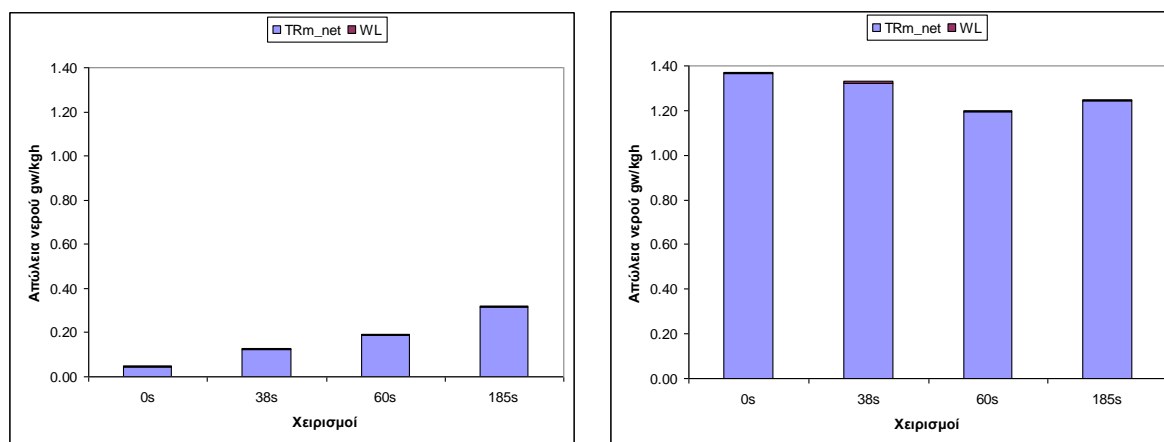
Σχήμα 27 Παραγωγή αιθυλενίου για τα τρία δείγματα, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης για τους χειρισμούς που εφαρμόστηκαν στην περίπτωση των τεμαχισμένων τοματών. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Οι Severo et al. (2015) σε πείραμα που διεξήγαγαν ανέφεραν ότι, αν και η ωρίμαση καθυστέρησε σημαντικά, η επεξεργασία με UV-C (3.7 kJ m^{-2}) μείωσε την παραγωγή αιθυλενίου στις ντομάτες MicroTom κατά τη διάρκεια αποθήκευσης 12 ημερών στους $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Σε πείραμα των Lu et al (2016) παρατηρήθηκε ότι σε τεμαχισμένες και τραυματισμένες τομάτες, οι οποίες εκτέθηκαν σε υπεριώδη ακτινοβολία, καθυστέρησε η εμφάνιση του κρίσιμου σημείου παραγωγής αιθυλενίου, επομένως καθυστέρησε η διαδικασία ωρίμασης των καρπών ως απόκριση στην κοπή-τραύμα.

3.7 Ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού λόγω διαπνοής και αναπνοής

Οι απώλειες νερού όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση τον ρυθμό διαπνοής ανά μονάδα μάζας (TR_m), περιέχουν τόσο το νερό που χάθηκε λόγω του ελλείμματος πίεσης υδρατμών όσο και αυτό λόγω της αναπνοής του προϊόντος. Ο διαχωρισμός αυτών των δύο απαιτεί τον υπολογισμό πρώτα του νερού που παράγεται κατά την αερόβια αναπνοή των προϊόντων όπως αυτή υπολογίζεται από την Εξίσωση 8. Από την αφαίρεση των αντίστοιχων ποσοτήτων νερού από τον ρυθμό διαπνοής $\text{TR}_{m|\text{net}} = \text{TR}_m - \text{WL}$ ($\text{g}_w \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση των απωλειών νερού λόγω του ελλείμματος πίεσης των υδρατμών και λόγω της αναπνοής. Στο Σχήμα 28 παρουσιάζονται οι επιμέρους απώλειες νερού για όλους τους χειρισμούς για τους ολόκληρους (α) και τους τεμαχισμένους καρπούς (β). Από το διάγραμμα αυτό είναι σαφές πως η συνεισφορά της αναπνοής στην απώλεια νερού ήταν πολύ μικρή συγκριτικά με την απώλεια λόγω διαπνοής. Οι απώλειες νερού λόγω αναπνοής για τους ολόκληρους καρπούς αντιστοιχούν στο 1.7-5.7% των απωλειών λόγω της διαπνοής, με το μικρότερο ποσοστό συνεισφοράς να αντιστοιχεί στον χειρισμό των 185s και το μεγαλύτερο σε αυτό του μάρτυρα, 0 s. Στην περίπτωση των τεμαχισμένων καρπών το ποσοστό απωλειών νερού που οφείλεται στην αναπνοή είναι ακόμα πιο μικρό και κυμάνθηκε μεταξύ 0.3-0.5% με την μικρότερη συνεισφορά να αντιστοιχεί στον μάρτυρα και την μεγαλύτερη στον χειρισμό των 185 s. Τέλος,

από το Σχήμα 26 αλλά και τον Πίνακα 16 γίνεται αντιληπτό ότι ο ρυθμός διαπνοής για τους τεμαχισμένους καρπούς ήταν πολύ μεγαλύτερος.



(α)

(β)

Σχήμα 28 Ιστόγραμμα των πειραματικών τιμών της καθαρής απώλειας νερού λόγω διαπνοής ($TR_{m/net}$) και της αντίστοιχης απώλειας νερού λόγω αναπνοής WL για τους ολόκληρους καρπούς (α) και για τους τεμαχισμένους (β).

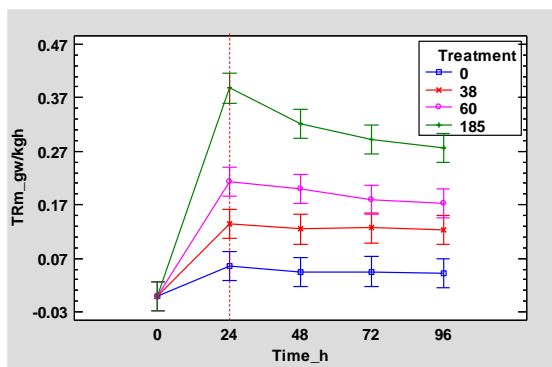
Από τον Πίνακα 16 γίνεται αντιληπτό ότι ο ρυθμός διαπνοής για τους ολόκληρους καρπούς αυξάνεται όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση στην ακτινοβολία UV, ενώ για τους τεμαχισμένους φαίνεται να μειώνεται με την έκθεση στην ακτινοβολία. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να οφείλονται στην αλλαγή της μορφολογίας της επιφάνειας των καρπών λόγω της ακτινοβολίας UV-C.

Πίνακας 16 Ρυθμός διαπνοής ($g_w kg^{-1} h^{-1}$) ανά χειρισμό για ολόκληρους και τεμαχισμένους καρπούς τομάτας.

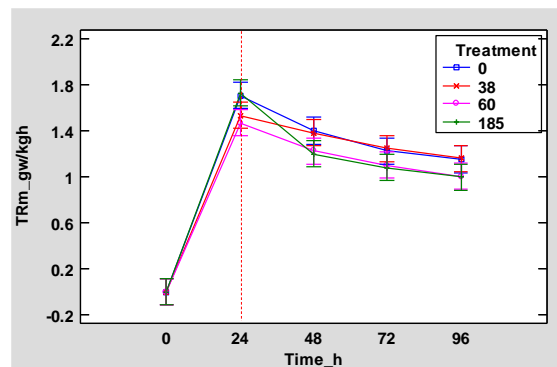
Χειρισμός	Ρυθμός διαπνοής, $TR_m(g_w kg^{-1} h^{-1})$	
	Ολόκληροι καρποί	Τεμαχισμένοι καρποί
UV 0 s (μάρτυρας)	0.047	1.370
UV 38 s	0.128	1.330
UV 60 s	0.191	1.198
UV 185 s	0.319	1.251

Από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων για τον ρυθμό διαπνοής αποδεικνύεται ότι ο χρόνος συντήρησης, η κοπή και οι χειρισμοί ήταν στατιστικά σημαντικοί ($P \leq 0.05$). Επίσης, και η αλληλεπίδραση του χρόνου συντήρησης με τη κοπή και των χειρισμών με την κοπή ήταν στατιστικά σημαντικές. Για τους ολόκληρους καρπούς ο ρυθμός διαπνοής

επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τον χρόνο συντήρησης, τους χειρισμούς και την αλληλεπίδρασή τους. Αντίθετα, για τους τεμαχισμένους καρπούς, ο χρόνος συντήρησης και οι χειρισμοί ήταν σημαντικοί, αλλά όχι η αλληλεπίδρασή τους. Όλα τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από το Σχήμα 29, από το οποίο παρατηρείται και ότι σε κάθε περίπτωση ο ρυθμός διαπνοής εμφανίζει μια φθίνουσα τάση από τις 24 ώρες συντήρησης και μετά όπως φαίνεται για τους τεμαχισμένους καρπούς και για τους χειρισμούς των 60 s και 185 s των ολόκληρων καρπών ή παραμένει σχετικά σταθερός όπως συμβαίνει στην περίπτωση των χειρισμών 38 s και 0 s για τους ολόκληρους καρπούς. Ο ρυθμός διαπνοής σε όλες τις περιπτώσεις έχει ως κινητήριο δύναμη το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών το οποίο τείνει να ισορροπήσει (η εσωτερική πίεση υδρατμών στον καρπό με την ατμοσφαιρική πίεση των υδρατμών) με συνέπεια η τάση αυτή να δικαιολογεί και την αντίστοιχη του $TR_{m|net}$.



(α)



(β)

Σχήμα 29 Ρυθμός διαπνοής για τους χειρισμούς συναρτήσει του χρόνου (α) για τους ολόκληρους καρπούς και (β) για τους τεμαχισμένους καρπούς. Οι γραμμές σφάλματος αντιστοιχούν στις ελάχιστες σημαντικές διαφορές (LSD).

Η διαφορά των μεταβολών του $TR_{m|net}$ με το χρόνο συντήρησης για κάθε έναν από τους χρόνους ακτινοβολήσεως μεταξύ ολόκληρων και τεμαχισμένων καρπών παρότι οι συνθήκες συντήρησης ήταν ίδιες είναι συνέπεια της ύπαρξης της φλούδας στην περίπτωση των ολόκληρων καρπών (Σχήμα 29α) και της απουσίας στην περίπτωση των τεμαχισμένων (Σχήμα 29β). Το φαινόμενο της απώλειας υγρασίας δεν εξαρτάται μόνο από το έλλειμμα πίεσης των υδρατμών (WVPD) αλλά και από το ρόλο του φλοιού που φέρει ή μη κάθε καρπός. Αυτός αποτελεί το τελευταίο εμπόδιο στην κίνηση των υδρατμών από το εσωτερικό του καρπού προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα. Βέβαια η ποσοτικοποίηση της αντίστασης αυτής του φλοιού στην κίνηση του υδρατμού δεν είναι εύκολη και απαιτεί επίλυση του αντίστροφου προβλήματος με υπολογιστικά μέσα μιας και η αντικειμενική εκτίμησης με όργανα μέτρησης είναι αδύνατη.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη ερευνήθηκε η επίδραση της ακτινοβολίας UV-C στην ποιότητα της τεμαχισμένης και ολόκληρης μικρόκαρπης τομάτας ποικιλίας Roma. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών χρησιμοποιώντας τομάτες τύπου cherry από τοπικό παραγωγό. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η ακτινοβολία UV-C επηρεάζει την ποιότητα των καρπών τομάτας, και ιδιαίτερα τους τεμαχισμένους καρπούς, στους οποίους παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες απώλειες μάζας. Η ανάλυση δεδομένων δείχνει ότι η διάρκεια συντήρησης, η έκθεση σε UV-C και οι χειρισμοί είναι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του καρπού. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι οι απώλειες μάζας τείνουν να αυξάνονται όσο αυξάνεται και η έκθεση των καρπών σε UV-C ακτινοβολία. Συνολικά, οι περισσότερες και μεγαλύτερες ποσοτικά αλλαγές παρατηρήθηκαν στους τεμαχισμένους καρπούς.

Η ανάλυση διασποράς των δεικτών του χρώματος έδειξε ότι ο τεμαχισμός, ο χρόνος αποθήκευσης και οι χειρισμοί επηρέασαν σημαντικά τα χρωματικά χαρακτηριστικά των καρπών, με τη μεγαλύτερη επίδραση να παρατηρείται στους τεμαχισμένους. Επίσης, οι χειρισμοί με ακτινοβολία UV-C προκάλεσαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους δείκτες του χρώματος, ενώ η διάρκεια έκθεσης των καρπών σε UV-C επηρέασε σε διαφορετικό βαθμό τους τεμαχισμένους από τους ολόκληρους. Οι παρατηρήσεις αυτές υποδεικνύουν την ανάγκη για προσεκτική εφαρμογή της ακτινοβολίας UV-C και της αποθήκευσης των καρπών τομάτας με απώτερο σκοπό την διατήρηση της ποιότητά τους και τον περιορισμό των απωλειών.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της υφής, η στατιστική ανάλυση δείχνει μικρή επίδραση στον βαθμό συνεκτικότητας, με μια γενική τάση προς τη μείωση αυτού. Η ανάλυση διασποράς έδειξε ότι η συντήρηση, ο χρόνος έκθεσης στην ακτινοβολία UV, η κοπή, αλλά και η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων, επηρέασαν σημαντικά το δαπανώμενο έργο. Η ενέργεια που απαιτείται για τη διενέργεια της δοκιμής με το κελί Kramer μειώθηκε με την πάροδο του χρόνου, ενώ ήταν περισσότερη για τους τεμαχισμένους καρπούς. Επιπλέον, από την ανάλυση διασποράς φαίνεται ότι οι παράγοντες που εξετάστηκαν επηρέασαν σημαντικά τον ρυθμό αναπνοής των καρπών τομάτας, με τους ολόκληρους να εμφανίζουν χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής σε σύγκριση με τους τεμαχισμένους. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητή η σημασία της προσεκτικής διαχείρισης της συντήρησης και της επεξεργασίας των καρπών τομάτας προκειμένου να διατηρηθούν οι επιθυμητές ιδιότητες και κατ' επέκταση η ποιότητά τους. Επιπροσθέτως, η μεταβολή του ρυθμού αναπνοής σε σχέση με τον χρόνο και την έκθεση στην ακτινοβολία UV-C υποδεικνύει την επίδραση αυτών των παραγόντων στη φυσιολογία και τη μορφολογία των καρπών.

Αναφορικά με την παραγωγή αιθυλενίου, τα δεδομένα δείχνουν ότι ο τρόπος τεμαχισμού και η διάρκεια συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή αιθυλενίου, ενώ οι χειρισμοί με ακτινοβολία UV-C δεν φαίνεται να έχουν σημαντική επίδραση. Επίσης, στους τεμαχισμένους καρπούς παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές παραγωγής αιθυλενίου σε σύγκριση με τους ολόκληρους, ειδικά μετά από μεγαλύτερη διάρκεια συντήρησης.

Όσον αφορά τις απώλειες νερού, φαίνεται να είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με τις απώλειες λόγω διαπνοής, ενώ οι τεμαχισμένοι καρποί εμφανίζουν ακόμα μικρότερες απώλειες

από τους ολόκληρους. Η ανάλυση διασποράς επιβεβαιώνει τη σημαντική επίδραση του χρόνου συντήρησης, της κοπής και των χειρισμών στο ρυθμό διαπνοής.

Η σύγκριση μεταξύ της παρούσας μελέτης και της βιβλιογραφίας αναδεικνύει τη σημασία πολλών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Η διαφορετική ποικιλία καρπού, η πρώτη ύλη, το στάδιο ωρίμασης και οι συνθήκες αποθήκευσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να αιτιολογήσουν διαφορές στα αποτελέσματα.

Συνολικά, η παρούσα μελέτη προσφέρει σημαντικά στοιχεία τα οποία μπορούν να βοηθήσουν στη βελτίωση της ποιότητας της παραγωγής καθώς και στη μείωση των απωλειών στην συντήρηση καρπών τομάτας, αναδεικνύοντας έτσι τη σημασία της διαχείρισης των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα και τη διατήρηση των επιθυμητών ιδιοτήτων των προϊόντων.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καπότης Γ., 2016 Σημειώσεις Λαχανοκομίας Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (Αδημοσίευτες).
2. Κατσογιάννη, Α. (2010): Μεταβολή φυσιολογικών, μηχανικών και λοιπών ποιοτικών χαρακτηριστικών συντηρούμενης τομάτας βιολογικής καλλιέργειας. Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
3. Λαχανικά Μακροχρόνια Συντήρηση (Τα μυστικά), 2016, Ειδικές εκδόσεις ISOFRUIT
4. Λέτζου Δ. (2013). Επίδραση των συνθηκών συντήρησης στην ποιότητα τοματινίων “Iron Lobello”. Πτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
5. Μακρογιάννη Δ. (2010): Συγκριτική μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της μετασυλλεκτικής συμπεριφοράς ένσπερμων και άσπερμων καρπών τομάτας τύπου «cherry». Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
6. Μανωλοπούλου Ε., 2006α. Θέματα Εφαρμοσμένης Μετασυλλεκτικής Φυσιολογίας. Παραδόσεις μεταπτυχιακού μαθήματος, Γ.Π.Α., Αθήνα (Αδημοσίευτες).
7. Ολύμπιος Χ. (2001): Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, σελ. 39-204.
8. Ολύμπιος Χ., 2015, Η Τεχνική της Καλλιέργειας των Υπαίθριων Κηπευτικών, Εκδόσεις: Σταμούλη
9. Πάσσαμ Χ., Τσαντίλη Ε., Χριστόπουλος Μ, Καυκαλέτου Μ., Αλεξόπουλος Α., Καραπάνος Ι., 2015, Μετασυλλεκτική μεταχείριση καρπών και λαχανικών, Εκδόσεις ΚΑΛΛΙΠΟΣ
10. Σαμιώτη Α., 2022, Επίδραση απολυμαντικών χειρισμών UV-C και όζοντος στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά κομμένου μαρουλιού, Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
11. Σφακιωτάκης, Ε. (2004). Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων, Εκδόσεις typo MAN, σελ. 45,191-192,198
12. Χρηστάκη Μ. (2012): Μελέτη της καρβοξυκινάσης του φωσφορο-ενολοπυροσταφυλικού οξέος (PEPCK) σε παρθενο-καρπικούς και ένσπερμους καρπούς τομάτας κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους, Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
13. Abbott J. A. and Harker F. R. 2006. Texture. The Commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks, Agriculture Handbook Number 66.
14. Abdel-Rahman, M. 1977. Patterns of hormones, respiration and ripening enzymes during development, maturation and ripening of cherry tomato fruits. *Physiologia Plantarum* 39: 115-118.
15. Artés, F., Gómez, P., Aguayo, E., Escalona, V., & Artés-Hernández, F. (2009). Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 287-296

16. Batu, A. (1998): Some affecting on determination and measurement of tomato firmness. Turkish journal of agriculture and forestry. 22: 411-418.
17. Bourne M.C. (2002): Food texture and viscosity. Elsevier Science & Technology Books, pp. 140-150.
18. Bravo Sergio, Javier García-Alonso, Gala Martín-Pozuelo, Victoria Gómez, Verónica García-Valverde, Inmaculada Navarro-González, María Jesús Periago, 2012, Effects of postharvest UV-C treatment on carotenoids and phenolic compounds of vine-ripe tomatoes
19. Bu Jianwen, Yucong Yu, Guzhanuer Aisikaer, Tiejin Ying. Postharvest UV-C irradiation inhibits the production of ethylene and the activity of cell wall-degrading enzymes during softening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit 2013, Postharvest Biology and Technology
20. Burton, W.G. 1982. Ripening and senescence of fruits. In Post-harvest physiology of food crops (W.G. Burton, ed), pp. 181-198. Logman Group Ltd.
21. CDC, 2019, Fruit and vegetable safety, <https://www.cdc.gov/foodsafety/communication/steps-healthy-fruits-veggies.html>
22. Charles M.T., S. Kalantari, R. Corcuff, J. Arulet al, 2005, POSTHARVEST QUALITY AND SENSORY EVALUATION OF UV-TREATED TOMATO FRUIT, ISHS Acta Horticulturae 682: V International Postharvest Symposium
23. Davies, J.N. & Hobson, G.E. 1981. The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 15: 205-280.
24. Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez-Hernández, G. B., & Artés, F. (2010). UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. Postharvest Biology and Technology, 56(3), 223-231.
25. Esua, O. J., Chin, N. L., Yusof, Y. A., & Sukor, R. (2020). A review on individual and combination technologies of UV-C radiation and ultrasound in postharvest handling of fruits and vegetables. Processes, 8(11), 1433.
26. Fang, Y., & Wakisaka, M. (2021). A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. Agriculture, 11(10), 992.
27. Gomez, P., Ferrer, M.A., Fernandez-Trujillo, J.P., Calderon, A., Artes, F., Egea-Cortines, M. & Weiss, J. 2009. Structural changes, chemical composition and antioxidant activity of cherry tomato fruits (cv. Micro-Tom) stored under optimal and chilling conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture 89: 1543-1551.
28. Islam, M.S., Matsui, T. & Yoshida, Y. 1996. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. Scientia Horticulturae 65: 137-149.
29. Jimenez, M., Trejo, E. & Cantwell, M. 1996. Cherry tomato storage and quality evaluations. (cetulare.ucdavis.edu/pubveg/che96.htm).

30. Kasim and kasim, Postharvest UV-B treatments increased fructose content of tomato (*Solanum lycopersicon* L. cv. Tayfun F1) harvested at different ripening stages 2015
31. Kader, A.A. 2002. Fruits in the global market. In *Fruit Quality and its Biological Basis* (M. Knee, ed), pp. 1-16. Sheffield Academic Press, Sheffield, UK.
32. Lu Hongyan, Li Li, Jarukitt Limwachiranon, Jing Xie, Zisheng Luo, 2016, Effect of UV-C on ripening of tomato fruits in response to wound, *Scientia Horticulturae*
33. Mitropoulos, D., Lamprinos, G. and Manolopoulou, H. (2000). A portable setup for fruit respiration measurement. In: Gil, M. and Artes, F.C. (Eds). *Improving postharvest technologies of fruits, vegetables and ornamentals*, 926-931. Murcia, Spain: International Institute of Refrigeration.
34. Newberry S.J. (2002): Tomato. *Encyclopedia of foods a guide to healthy nutrition*. Academic press, San Diego, California, pp.264.
35. Obande Matthew A., Gregory A. Tucker, Gilbert Shama, 2011 Effect of preharvest UV-C treatment of tomatoes (*Solanum lycopersicon* Mill.) on ripening and pathogen resistance, *Post Harvest Biology and Technology*
36. Paciulli, M., Ganino, T., Pellegrini, N., Rinaldi, M., Zaupa, M., Fabbri, A., & Chiavaro, E. (2015). Impact of the industrial freezing process on selected vegetables—Part I. Structure, texture and antioxidant capacity. *Food Research International*, 74, 329-337
37. Robinson J. E., Browne K. M., Burton W. G. et al, 1975, Storage characteristics of some vegetables and soft fruits, Wiley Online Library
38. Sandra Cote a, Luis Rodoni a, Elisa Miceli b, Analía Concellón a c, Pedro M. Civello d e, Ariel R. Vicente a b 2013 Severo J, Tiecher A, Pirrello J, Regad F, Latché A, Pech J, Bouzayen M, Rombaldi CV (2015) UV-C radiation modifies the ripening and accumulation of ethylene response factor (ERF) transcripts in tomato fruit. *Postharvest Biol Technol* 102:9–16
39. Saltveit M.E. (2003): Mature fruit vegetables. In: Bartz J., Brecht J (Eds) *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (2nd ed, ch. 27). Marcel Dekker Inc, New York.
40. Shahbaz Hafiz Muhammad, Sanghun Kim, Jeong Un Kim, Daseul Park, Mijin Lee, Dong-Un Lee & Jiyong Park, 2018, Inactivation of Salmonella Typhimurium in fresh cherry tomatoes using combined treatment of UV–TiO₂ photocatalysis and high hydrostatic pressure, *Food Science and Biotechnology*
41. Shewfelt R.L. (2003) : Color In: Bartz J., Brecht J (Eds) *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (2nd ed, ch. 11). Marcel Dekker Inc, New York.
42. Siddiqui, M. W., Chakraborty, I., Ayala-Zavala, J. F., & Dhua, R. S. (2011). Advances in minimal processing of fruits and vegetables: a review. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 70, 823-834.
43. Smith A.C., Waldron K.W., Maness N. and Perkins-Veazie P. (2003): Vegetable Texture: measurement and structural implications. In: Bartz J., Brecht J (Eds) *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (2nd ed, ch. 12). Marcel Dekker Inc, New York.

44. Stevens, M.A. 1972. Citrate and malate concentrations in tomato fruits: genetic control and maturational effects. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97: 655-658.
45. Sun, H.J., Uchii, S., Watanabe, S. & Ezura, H. 2006. A highly efficient transformation protocol for Micro-Tom, a model cultivar for tomato functional genomics. *Plant Cell Physiology* 47 (3): 426-431.
46. Tapia, M. R., Gutierrez-Pacheco, M. M., Vazquez-Armenta, F. J., González Aguilar, G. A., Ayala Zavala, J. F., Rahman, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Washing, peeling and cutting of fresh-cut fruits and vegetables. In: Siddiqui, M. W., & Rahman, M. S. (Eds.). *Minimally processed foods: Technologies for safety, quality, and convenience* (ch.4). Food Engineering Series.
47. Truong V. D. and Daubert C. R., 2003, *Rheological Methods for Assessment of Food Freshness and Stability*, Chapter 19, Department of Food Science, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7624
48. USDA (2004): Tomato, Agriculture handbook Number 66. Internet address: www.ba.ars.usda.gov/hb66/138tomato.pdf
49. Winsor, G.W., Davies, J.N. & Massey, D.M. 1962. Composition of tomato fruit III. – Juices from whole fruit and locules at different stages of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13: 108-115.
50. Yehoshua S.B. and Rodov V. (2003): Transpiration and water stress. In: Bartz J., Brecht J (Eds) *Postharvest physiology and pathology of vegetables* (2nd ed, ch. 5). Marcel Dekker Inc, New York.