



**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση της ενεργής συσκευασίας στην ποιότητα και τον χρόνο ζωής  
στο φρέσκο τοματάκι

**Ισμήνη-Μαρία Α. Πατσοπούλου**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Τσιρώνη Θεοφάνια, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

**ΑΘΗΝΑ 2022**

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

Επίδραση της ενεργής συσκευασίας στην ποιότητα και τον χρόνο ζωής  
στο φρέσκο τοματάκι

“Effect of active packaging on the quality and shelf life of fresh cherry tomato”

**Ισμήνη-Μαρία Α. Πατσοπούλου**

Εξεταστική Επιτροπή:

Τσιρώνη Θεοφανία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)

Στοφόρος Νικόλαος, Καθηγητής ΓΠΑ

Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

## **Επίδραση της ενεργής συσκευασίας στην ποιότητα και τον χρόνο ζωής στο φρέσκο τοματάκι**

*ΠΜΣ Επιστήμη & Τεχνολογία Τροφίμων, Επεξεργασία & Συντήρηση Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του Ανθρώπου  
Εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων*

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η εκτίμηση του οικολογικού τρόπου προσέγγισης της ενεργής συσκευασίας, με τη χρήση φυσικών πρόσθετων ως βιοενεργά συστατικά για τη συντήρηση κλιμακτηριακών φρούτων, ωφελώντας έτσι τόσο τον καταναλωτή, όσο και το περιβάλλον. Ειδικότερα, διερευνήθηκαν δύο εναλλακτικοί τύποι ενεργής συσκευασίας σε φρέσκο τοματάκι (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*): i) εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (2% w/v) με αιθέριο έλαιο βασιλικού (EOb 0.5% w/v) σε ανοιχτό περιέκτη και ii) προσθήκη ενεργού επιθέματος (Active Pad, AP), εμποτισμένου με διάλυμα αιθανόλης με EOb (16.67% w/v), σε κλειστή συσκευασία με μεμβράνη περιτύλιξης πολυβινυλοχλωριδίου. Με στόχο την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών μεθόδων, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης των φρούτων στους  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  και 60% σχετική υγρασία για 42 ημέρες, εξετάστηκε η μεταβολή σε ιδιότητες αυτών, όπως η απώλεια βάρους, η συνεκτικότητα και το χρώμα.

Η προσθήκη ενεργού επιθέματος απελευθέρωσης EOb (16.67% w/v) σε φρέσκια τοματάκια συνετέλεσε στην επιβράδυνση της απώλειας βάρους, τη διατήρηση της συνεκτικότητας και του χρώματος των καρπών, έχοντας την αποτελεσματικότερη διατήρηση ποιότητας και επέκταση διάρκειας ζωής. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας επιβεβαιώνουν ότι η εφαρμογή AP απελευθέρωσης EOb, δύναται να βελτιώσει την ποιότητα σε συσκευασμένα φρέσκα τοματάκια.

**Επιστημονική περιοχή:** Ενεργή συσκευασία σε φρέσκο τοματάκι

**Λέξεις κλειδιά:** Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, Εδώδιμη επικάλυψη, Ενεργό επίθεμα, Αιθέριο έλαιο βασιλικού, Τοματάκι, Μετασυλλεκτική ποιότητα

## **Effect of active packaging on the quality and shelf life of fresh cherry tomato**

*MSc Food Science and Technology, Food Processing & Preservation*

*Department of Food Science and Human Nutrition*

*Laboratory of Food Process Engineering*

### **ABSTRACT**

The aim of the present thesis is to employ an ecologically friendly way of approaching active packaging, using natural additives as bio-active ingredients for the preservation of climacteric fruits, in order to avail both consumer and environment. Particularly, were investigated two alternative types of active packaging in fresh cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*): i) application of an edible coating based on carboxymethylcellulose (CMC 2% w/v) with basil essential oil (EOb 0.5% w/v) and (ii) addition of an active pad (Active Pad, AP), impregnated with ethanol solution and EOb (16.67% w/v), in a sealed container with polyvinyl chloride (PVC) wrapping film. The effectiveness of alternative methods was evaluated by measuring weight loss, firmness and color during fruits' storage at  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  and 60% RH for 42 days.

The addition of EOb release active pad (16.67% w/v) to fresh cherry tomatoes was found very effective in decreasing weight loss, maintaining firmness and color of the fruit. Results of this study confirm that the EOb release active pad can be used to improve the quality and shelf life of packed fresh cherry tomatoes.

**Scientific area:** Active packaging on fresh cherry tomato

**Keywords:** Carboxymethyl cellulose, Edible coating, Active pad, Basil essential oil, Cherry tomato, Postharvest quality

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων στο ισόγειο του Κτηρίου Χασιώτη του Τομέα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών τη χρονική περίοδο από τον Ιούνιο έως τον Οκτώβριο του 2021.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επίκουρη καθηγήτρια του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, κ. Τσιρώνη Θεοφάνια, για την καθοδήγησή της, τις συμβουλές της και την υπομονή της κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά την κ. Γεωργιάδου Μαρία και τον διδακτορικό φοιτητή Χατζηδάκη Στυλιανό για τη συνεργασία, την αδιάλειπτη παρουσία τους καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων και τις συμβουλές τους σε κάθε πιθανή δυσκολία.

Θα ήταν σημαντική παράλειψη να μη συμπεριλάβω στις ευχαριστίες μου τους συναδέλφους (προπτυχιακούς, μεταπτυχιακούς και διδακτορικούς) του εργαστηρίου Μηχανικής και Επεξεργασίας Τροφίμων, για την άριστη συνεργασία και τη φιλική ατμόσφαιρα που αναπτύχθηκε καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για τη συνεχή και κομβικής σημασίας στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Ιανουάριος 2022

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>II</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>1</b>
<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<b>3</b>
<b>Βιβλιογραφική ανασκόπηση</b> .....	<b>3</b>
2.1 Τομάτα & προϊόντα τομάτας.....	3
2.1.1 Φυσιολογία τομάτας και αλλαγές κατά την ωρίμανση .....	5
2.1.1.1 Αναπνευστική δραστηριότητα-παραγωγή αιθυλενίου.....	6
2.1.1.2 Απώλεια χλωροφύλλης-σύνθεση λυκοπενίου .....	7
2.1.1.3 Μαλάκωμα καρπού.....	7
2.1.1.4 Αποικοδόμηση αμύλου-αλλαγή συγκέντρωσης σακχάρων.....	7
2.1.1.5 Αλλαγές στην κυτταρική μεμβράνη .....	8
2.1.2 Ποιότητα τομάτας.....	9
2.1.2.1 Μέγεθος & σχήμα καρπού.....	10
2.1.2.2 Υφή καρπού .....	10
2.1.2.3 Περιεκτικότητα σε σάκχαρα & οξέα .....	11
2.1.2.4 Άρωμα.....	12
2.1.2.5 Διατροφική αξία.....	13
2.1.3 Παράγοντες ποιότητας νωπής τομάτας .....	14
2.1.3.1 Προσυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας .....	15
2.1.3.2 Μετασυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας .....	18
2.1.4 Επεξεργασία τομάτας .....	23
2.2 Ενεργή συσκευασία.....	24
2.2.1 Μορφές και συστήματα ενεργής συσκευασίας .....	25
2.2.2 Εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις.....	30
2.2.2.1 Σύνθεση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων.....	32
2.2.2.2 Ιδιότητες εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων φυτικών προϊόντων.....	35
2.2.2.3 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε φυτικά προϊόντα .....	37
2.2.2.4 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε ποικιλίες νωπής τομάτας.....	40
2.2.3 Ενεργά επιθέματα (active pads) και φάκελοι (sachets) .....	43
2.2.3.1 Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε φυτικά προϊόντα .....	44
2.2.3.2 Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε ποικιλίες νωπής τομάτας .....	46
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<b>49</b>
<b>Υλικά και μέθοδοι</b> .....	<b>49</b>
3.1 Υλικά.....	49
3.2 Εφαρμογές διαφορετικών περιπτώσεων επεξεργασίας και συνθήκες αποθήκευσης.....	50
3.3 Προετοιμασία και εφαρμογή EC - CMC+EOb.....	50
3.4 Προετοιμασία και εφαρμογή AP - Ethanol+EOb .....	51
3.5 Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ποιότητας στο τοματάκι.....	51
3.5.1 Χρώμα .....	51

3.5.2 Απώλεια βάρους & συνεκτικότητα καρπού .....	52
3.6 Στατιστική ανάλυση δεδομένων .....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....</b>	<b>54</b>
<b>Αποτελέσματα και συζήτηση .....</b>	<b>54</b>
4.1 Απώλεια βάρους.....	54
4.2 Χρώμα .....	56
4.3 Συνεκτικότητα.....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....</b>	<b>61</b>
<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>61</b>
<b>ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>62</b>
<b>ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>79</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Διατροφική αξία νωπής πλήρως ώριμης σκληρής (red ripe) τομάτας (ανά 100 g) (Cruz-Carrillo et al., 2015; Rao & Agarwal, 2000; INCAP, 2012; Hernández Suárez et al., 2008; Pinela et al., 2012). .....	13
Πίνακας 2.2. Συνθήκες και διάρκεια συντήρησης τομάτας ανάλογα με το στάδιο ωριμότητας (Ντόγρας, 2004; Βασιλακάκης, 2014). .....	18
Πίνακας 2.3. Συστήματα ενεργής συσκευασίας (Yildirim et al., 2018; Μπλούκας, 2004). .....	28
Πίνακας 2.4. Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε φυτικά προϊόντα. ....	39
Πίνακας 2.5. Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε ποικιλίες νωπής τομάτας. ....	41
Πίνακας 2.6. Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε φυτικά προϊόντα. ....	45
Πίνακας 2.7. Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε ποικιλίες νωπής τομάτας. ....	47

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Εγκάρσια τομή ώριμου καρπού τομάτας. ....	4
Εικόνα 2.2. Συνολική παραγωγή φρέσκιας (αριστερά) & προς επεξεργασία (δεξιά) τομάτας στην Ε.Ε. (European Commission, 2020). .....	5
Εικόνα 2.3. Στάδια ωρίμανσης τομάτας (Huang et al., 2017). .....	8
Εικόνα 2.4. Μορφές σχεδιασμού συστημάτων ενεργής συσκευασίας τροφίμων: i. Προσθήκη ενεργών φακέλων ή επιθεμάτων, ii. Επικάλυψη επιφάνειας πολυμερούς με δραστικές ενώσεις, iii. Ακινητοποίηση δραστικών ενώσεων στο πολυμερές, iv. Άμεση ενσωμάτωση δραστικών ενώσεων στο πολυμερές (Almasi et al., 2020). .....	26
Εικόνα 2.5. Τύποι εδώδιμων πολυμερών (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019). .....	33
Εικόνα 2.6. Αντιμικροβικά επιθέματα τροφίμων: (α) Κάτοψη, (β) Εφαρμογή σε κοτόπουλο, (γ) Δομή: 1-άνω στρώμα φιλμ, 2-κάτω στρώμα φιλμ, 4-μικροδιάτρητα πλαστικά, 3 επιθέματα κυτταρίνης + δραστικοί παράγοντες (Boni et al., 2018). ....	44
Εικόνα 3.1. Επιθέματα κυτταρίνης «Earthpad Resource» (Sirane Group, Telford, UK). ....	49
Εικόνα 3.2. Δείγματα στο χρόνο μηδέν από την κάθε επεξεργασία. Από αριστερά: Μάρτυρας, EC-CMC+EOB, AP-Ethanol+EOB. ....	51
Εικόνα 3.3. Χρωματόμετρο X-Rrite, i1PRO REV E, 1 113 597 (X-Rrite Asia Pasific Ltd., Hong Kong, China). ....	52
Εικόνα 3.4. i. Εξοπλισμός ανάλυσης υφής TX0258-model-H5KS (Hounsfield. Test Equipment Ltd., Surrey, UK), ii. Τα πέντε σημεία διάτρησης για την εκτίμηση της υφής. ....	53
Εικόνα 4.1. Διαφορά χρώματος δειγμάτων στο χρόνο μηδέν και στις ημέρες δειγματοληψίας. Από άνω: Μάρτυρας, EC-CMC+EOB, AP-Ethanol+EOB. ....	58

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4.1. Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στην απώλεια βάρους, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C). ....	55
Σχήμα 4.2. Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στον χρωματικό δείκτη (CI), κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C). ....	57
Σχήμα 4.3. Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στη συνεκτικότητα, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C). ....	59



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Ο παραδοσιακός ρόλος της συσκευασίας των τροφίμων συνεχίζει να εξελίσσεται ως απάντηση στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της αγοράς. Η ζήτηση των καταναλωτών για ασφαλέστερα, που προάγουν την υγεία, ιδανικά με μεγάλη διάρκεια ζωής προϊόντα, καθώς και η ζήτηση για εύκολες στη χρήση, διαφανείς συσκευασίες, προερχόμενες από βιώσιμα υλικά, οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών συσκευασίας, όπως η ενεργή συσκευασία που υπόσχεται και προσφέρει μια αειφόρο προσέγγιση στη μείωση της απώλειας τροφίμων και των αποβλήτων (Dong & Wang, 2017).

Το τοματάκι (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) αποτελεί εξαιρετική πηγή φυτοχημικών ενώσεων, όπως λυκοπένιο, β-καροτένιο, πολυφαινόλες και κερκετίνη, τα οποία έχουν αντιοξειδωτική ικανότητα και ισχυρά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία (Guerra et al., 2015; Álvarez et al., 2021). Ως κλιμακτηριακό φρούτο, έχει σχετικά σύντομη μετασυλλεκτική ζωή, επηρεαζόμενη από τον υψηλό ρυθμό αναπνοής, την ταχεία ωρίμανση και γήρανση και σε συνδυασμό με την ευαισθησία του καρπού σε ασθένειες προκαλούμενες από παθογόνους μύκητες, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες (Sousa et al., 2017; Álvarez et al., 2021). Η καινοτόμα τεχνολογία της ενεργής συσκευασίας έρχεται να ξεπεράσει τις παραπάνω προκλήσεις της βιομηχανίας, επιτρέποντας τη χρήση φυσικών προσθέτων με βιοδραστικά συστατικά για το συσκευασμένο προϊόν, τη μείωση ποσότητας πλαστικού και αποβλήτων και τη διατήρηση ποιότητας των κλιμακτηριακών καρπών.

Ένας τύπος ενεργής συσκευασίας είναι η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων, μια φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος επέκτασης διάρκειας ζωής των φρούτων, μειώνοντας την απώλεια υγρασίας και το ρυθμό αναπνοής, αποτρέποντας τη φυσική βλάβη και βελτιώνοντας την εμφάνιση του νωπού προϊόντος (Ncama et al., 2018). Επιπλέον μορφή ενεργής συσκευασίας αποτελεί η προσθήκη μικρών φακέλων και επιθεμάτων, που περιέχουν ενεργούς-δραστικούς παράγοντες στο εσωτερικό της συσκευασίας τροφίμων. Παραδείγματα αποτελούν οι προσροφητές οξυγόνου και υγρασίας, καθώς και συστήματα απελευθέρωσης αιθανόλης (Almasi et al., 2020).

Μια διευρυμένη ομάδα λειτουργικών συστατικών, μεταξύ αυτών και τα αιθέρια έλαια, δύνανται να προστεθούν, τόσο σε εδώδιμες επικαλύψεις (EC) όσο και σε ενεργά επιθέματα (AP), προς δημιουργία εναλλακτικών συστημάτων ενεργής συσκευασίας. Τα εκχυλιζόμενα, από φυτικά προϊόντα, αιθέρια έλαια (EOs) είναι γνωστά για την υψηλή αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική τους ικανότητα, ενώ δεν επηρεάζουν το τελικό προϊόν, εξαιτίας της πτητικής τους φύσης (Dong & Wang, 2017). Συγκεκριμένα, τα EOs διαφόρων ποικιλιών βασιλικού (*Ocimum basilicum* L.) (EOb) έχουν αποδειχθεί ότι διαθέτουν αντιφλεγμονώδεις, αντιβακτηριακές, ηπατοπροστατευτικές και ανοσοτροποποιητικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται συνήθως ως αντιοξειδωτικοί και αντιμικροβιακοί παράγοντες των τροφίμων ή ως συστατικό που επηρεάζει τη γεύση και το άρωμα διαφορετικών προϊόντων (Amor et al., 2021). Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ελάχιστες δημοσιευμένες εργασίες που σχετίζονται με το EOb ενσωματωμένο σε εδώδιμες επικαλύψεις και ενεργά επιθέματα, ενώ έως σήμερα δεν έχει γίνει καμία έρευνα για την προσθήκη EOb σε επικαλύψεις καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) (Amor et al., 2021; Hemalatha et al., 2017; Sun et al., 2021).

Η CMC είναι ένα παράγωγο κυτταρίνης και αναφέρεται επίσης ως NaCMC, με ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στη βιομηχανία τροφίμων. Παρ' όλο που η CMC υστερεί σε αντιμικροβιακές ιδιότητες και διακρίνεται από υψηλή διαπερατότητα υδρατμών, είναι δυνατή η βελτίωση του φραγμού υγρασίας και των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων, μέσω της ενσωμάτωσης υδρόφοβων ενώσεων, όπως τα αιθέρια έλαια που χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα μελέτη (Dong & Wang, 2017).

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν δύο εναλλακτικοί τύποι ενεργής συσκευασίας σε φρέσκο τοματάκι: i) με τη μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v) με αιθέριο έλαιο βασιλικού (EOb 0.5% w/v) και ii) με την προσθήκη ενεργού επιθέματος (Active Pad, AP), εμποτισμένου με διάλυμα αιθανόλης και EOb (16.67% w/v). Με στόχο την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών μεθόδων, αξιολογήθηκε η διατήρηση της ποιότητας και η επέκταση διάρκειας ζωής των φρούτων. Κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους στους  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  εξετάστηκε η μεταβολή σε ιδιότητες αυτών, όπως η απώλεια βάρους, η συνεκτικότητα και το χρώμα. Όπως διαπιστώθηκε, με την προσθήκη ενεργού επιθέματος απελευθέρωσης EOb σε φρέσκα τοματάκια επιτεύχθηκε επιβράδυνση της απώλειας βάρους, διατήρηση του χρώματος και της συνεκτικότητας των καρπών, συντελώντας τελικώς στην αποτελεσματικότερη επέκταση διάρκειας ζωής τους.

# Κεφάλαιο 2

## Βιβλιογραφική ανασκόπηση

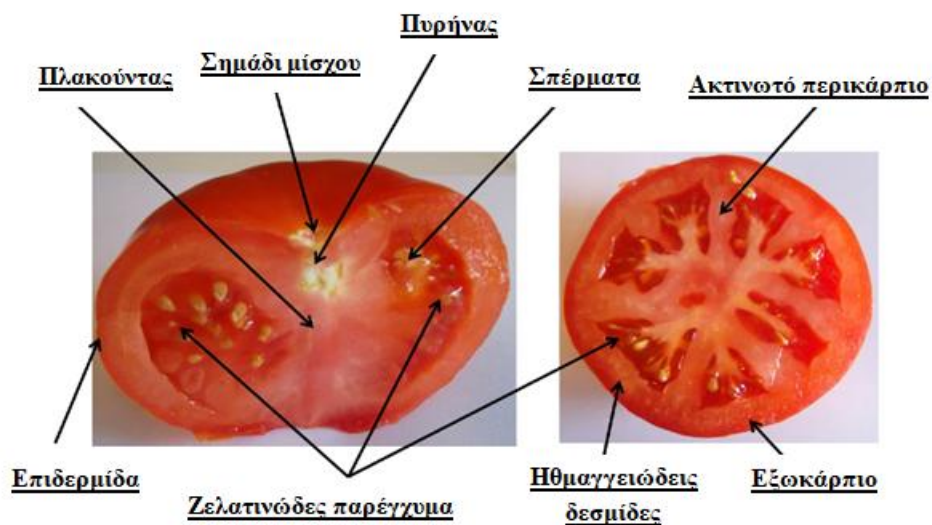
### 2.1 Τομάτα & προϊόντα τομάτας

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.) ανήκει στην οικογένεια των Σολανωδών (*Solanaceae*) και αποτελεί σημαντική καλλιέργεια κηπευτικών. Προέρχεται από τις Άνδεις της Ν. Αμερικής, όπου και σήμερα αυτοφύονται διάφορες παραλλαγές της άγριας τομάτας και μεταφέρθηκε, μάλλον, ως ζιζάνιο με σπόρους καλαμποκιού, στην Κεντρική Αμερική, κυρίως στο Μεξικό, όπου και άρχισε η καλλιέργεια και η χρήση της από τους Ινδιάνους. Άλλωστε και η ονομασία της προέρχεται από τη λέξη «*tómatl*» της γλώσσας Nahalt, που μιλούσαν οι αρχαίοι κάτοικοι του Μεξικού. Πιθανότατα, ο τύπος τομάτας που ανέπτυξαν οι Ινδιάνοι στην Κεντρική Αμερική ήταν η μικρόκαρπη, κερασόμορφη (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), η οποία θεωρείται και ο άμεσος πρόγονος της σημερινής καλλιεργούμενης τομάτας (Γούλα, 2004). Η τομάτα μεταφέρθηκε στην Ευρώπη από τους Ισπανούς εξερευνητές, τον 16<sup>ο</sup> αιώνα και αργότερα εισήχθη από την Ευρώπη, στη νότια και ανατολική Ασία, την Αφρική και τη Μέση Ανατολή (Dam et al., 2005).

Βοτανικά, η τομάτα είναι ένα σαρκώδες φρούτο, συγκεκριμένα μία ράγα ή αλλιώς μια διογκωμένη ωθήκη, τα τοιχώματα της οποίας περιβάλλουν και περικλείουν τα σπέρματα, συνιστώντας το σώμα του καρπού, γνωστό σαν περικάρπιο, αποτελούμενο από εξωτερικά, ενδιάμεσα και εσωτερικά τοιχώματα (Davies & Hobson, 1971; Pangaribuan, 2005). Η συνέχεια του περικαρπίου διακόπτεται από μικρές κοιλότητες, στις οποίες βρίσκονται τα σπέρματα μέσα σε έναν ζελατινώδες παρεγχυματικό ιστό. Ο αριθμός των κοιλότητων, ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κάθε ποικιλίας, ποικίλλει από δύο και πάνω. Η μέση εκατοστιαία σύσταση του καρπού της τομάτας είναι 97% χυμός, 2% σπόροι και 1% φλούδα (Gould, 1974). Η Εικόνα 2.1 παρουσιάζει την εγκάρσια τομή ενός ώριμου καρπού τομάτας, με τις διάφορες δομές και περιοχές.

Οι ποικιλίες τομάτας, που καλλιεργούνται σήμερα για νωπή και βιομηχανική χρήση, είναι πολλές και συνεχώς αναπτύσσονται νέες. Διαφέρουν μεταξύ τους κυρίως ως προς το σχήμα, το μέγεθος, το χρώμα, τη χρονική διάρκεια απόδοσης καρπών (σύγχρονη ή σταδιακή ωρίμανση), την εποχή συγκομιδής, το ύψος των φυτών, την πυκνότητα του φυλλώματος και την

ανθεκτικότητα στις ασθένειες. Γενικά μια ποικιλία τομάτας για βιομηχανική χρήση πρέπει να συγκεντρώνει τα εξής χαρακτηριστικά (Βασιλακάκης, 2014; Γούλα, 2004): υψηλή περιεκτικότητα σε σάκχαρα, χαμηλή οξύτητα, ζωηρό κόκκινο χρώμα, λεία επιφάνεια χωρίς πτυχώσεις, σταθερή σάρκα και λίγα σπέρματα, αντοχή στις μεταφορές και στις ασθένειες, ελάχιστα έως καθόλου εγκαύματα από τον ήλιο, δυνατότητα υψηλής παραγωγικότητας και υψηλό ποσοστό καρπών πρώτης κατηγορίας.

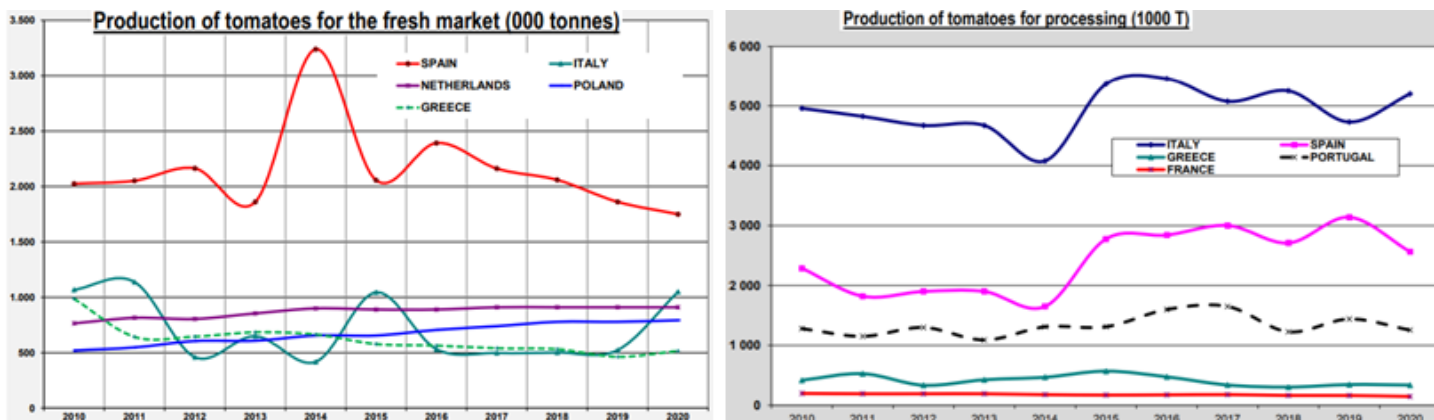


*Εικόνα 2.1. Εγκάρσια τομή ώριμου καρπού τομάτας.*

Η παγκόσμια παραγωγή τομάτας, το 2019, ήταν περίπου 180 εκατομμύρια τόνοι νωπών φρούτων από περίπου 50 εκατομμύρια στρέμματα (FAO, 2020). Δεδομένου ότι αποτελεί μια σχετικά μικρής διάρκειας καλλιέργεια, έχοντας παράλληλα υψηλή απόδοση, είναι οικονομικά ελκυστική, με αποτέλεσμα οι καλλιεργούμενες περιοχές να αυξάνονται καθημερινά (Dam et al., 2005). Όσον αφορά την Ελλάδα, συνιστά την 4<sup>η</sup> χώρα κατά σειρά στην Ευρώπη, μετά την Ιταλία, Ισπανία και Πορτογαλία, με τη μεγαλύτερη παραγωγή προς επεξεργασία τομάτας και την 5<sup>η</sup> κατά σειρά μετά την Ισπανία, Ιταλία, Ολλανδία και Πολωνία με τη μεγαλύτερη παραγωγή φρέσκιας τομάτας (Εικόνα 2.2) (European Commission, 2021).

Οι τομάτες συμβάλλουν σε μια υγιεινή, ισορροπημένη διατροφή, καθώς είναι πλούσια σε μέταλλα, βιταμίνες, απαραίτητα αμινοξέα, σάκχαρα και φυτικές ίνες, βιταμίνη Β, C (~20mg/100gr), σίδηρο και φώσφορο. Ειδικότερα, ο καρπός αποτελείται από 93-95% νερό, ενώ το 5-7,5% της περιεκτικότητάς της αποτελεί ξηρή ουσία, με περίπου 1% σε επιδερμίδα και σπέρματα και 4 έως 6% σε διαλυτά στερεά (Petro-Turza, 1986; Pangaribuan, 2005). Τα κύρια αναγωγικά σάκχαρα είναι η γλυκόζη και η φρουκτόζη, με ελαφρώς υψηλότερη περιεκτικότητα

σε φρουκτόζη. Από τα οργανικά οξέα, υπερτερεί το κιτρικό και μαζί με το μηλικό οξύ, αντιπροσωπεύουν το 12% ξηρής ουσίας, ενώ η επιθυμητή σχέση σακχάρων/οξέων κυμαίνεται, περίπου, 8.5% (Pangaribuan, 2005).



**Εικόνα 2.2.** Συνολική παραγωγή φρέσκιας (αριστερά) & προς επεξεργασία (δεξιά) τομάτας στην Ε.Ε. (European Commission, 2020).

### 2.1.1 Φυσιολογία τομάτας και αλλαγές κατά την ωρίμανση

Ο βιολογικός κύκλος των οπωροκηπευτικών προϊόντων αρχίζει με το φύτεμα των σπόρων (τομάτα, πιπεριά-ετήσια φυτά) ή με την άνθηση και τον σχηματισμό των καρπών (οπωροφόρα δένδρα) και τελειώνει με την πλήρη ανάπτυξη αναπαραγωγικών οργάνων και τον θάνατο του φυτού ή με την ωρίμανση των καρπών και την πτώση ή συγκομιδή. Αυτό που έχει σημασία για τη μετασυλλεκτική φυσιολογία δεν είναι όλος ο βιολογικός κύκλος του φυτού, αλλά τα στάδια εκείνα που τα οπωροκηπευτικά φυτά ή όργανα αυτών αποτελούν τρόφιμο για τον άνθρωπο (Βασιλακάκης, 2014).

Το κάθε οπωροκηπευτικό είδος αυξάνει σε μέγεθος και το πότε θα συγκομιστεί εξαρτάται από τη χρήση του προϊόντος, Για παράδειγμα, η τομάτα μπορεί να συγκομιστεί ως άγουρη για παρασκευή του τουρσιού, άγουρωπή για σαλάτα, ενώ τελείως ώριμη αν προορίζεται για παρασκευή τοματοπολτού (βιομηχανική τομάτα). Έτσι, για κάθε προϊόν υπάρχουν διάφορα στάδια ωρίμανσης, ένα είναι το φυσιολογικό στάδιο, ενώ το άλλο είναι το εμπορικό στάδιο ή στάδιο ωρίμανσης για συγκομιδή (Βασιλακάκης, 2014).

Η ωρίμανση των καρπών είναι το τελικό στάδιο αύξησης, στο οποίο λαμβάνει χώρα βραδεία και ελάχιστη αύξηση σε μέγεθος, ενώ παρατηρούνται πολλές βιοχημικές διεργασίες που οδηγούν τον καρπό στην ωρίμανση, δηλαδή τον καθιστούν κατάλληλο για βρώση. Οι αλλαγές που λαμβάνουν χώρα, αφορούν τόσο την εμφάνιση του καρπού (χρώμα), όσο και τη δομή του καρπού (σκληρότητα σάρκας) και φυσικά την χημική του σύσταση. Αυτές οι αλλαγές είναι

αποτέλεσμα βιοχημικών διεργασιών που παρατηρούνται σε κυτταρικό επίπεδο, όπως ενζυμική δραστηριότητα, αναπνευστική δραστηριότητα, παραγωγή αιθυλενίου και άλλες (Βασιλακάκης, 2014). Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης της τομάτας, από την «ώριμη-πράσινη» στην «πλήρως ώριμη» κατάσταση, το χρώμα, η γεύση, το άρωμα, η υφή των καρπών αλλάζει δραματικά, αλλά η ωρίμανση προκαλεί, επίσης, το γηρασμό και τη φθορά των φρούτων. Ειδικότερα, οι κύριες φυσιολογικές αλλαγές στην τομάτα σχετίζονται με τη βιοσύνθεση αιθυλενίου, τους ρυθμούς αναπνοής, την αλλαγή χρώματος, το μαλάκωμα των φρούτων, την αποικοδόμηση του αμύλου και τις αλλαγές στη συγκέντρωση των σακχάρων και στη διαπερατότητα των ιστών (Pangaribuan, 2005).

#### *2.1.1.1 Αναπνευστική δραστηριότητα-παραγωγή αιθυλενίου*

Η αναπνευστική δραστηριότητα των καρπών σταδιακά μειώνεται μέχρι την ωρίμανση, με μόνη εξαίρεση τους κλιμακτηριακούς καρπούς. Σ' αυτούς με την έναρξη της ωρίμανσης παρατηρείται μια έξαρση της αναπνευστικής δραστηριότητας, επιτυγχάνεται ένα μέγιστο (κλιμακτηριακό μέγιστο) και κατόπιν μειώνεται. Ταυτόχρονα με την αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας, πριν από το κλιμακτηριακό μέγιστο, παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας του προϊόντος σε οργανικά οξέα και αύξηση της περιεκτικότητας σε σάκχαρα, ενώ για ορισμένο διάστημα παράγεται σημαντική ποσότητα αιθυλενίου, το οποίο δρα ως επιταχυντής της ωρίμανσης (Μπλούκας, 2004). Αυτοί οι καρποί ονομάζονται κλιμακτηριακοί, στους οποίους συγκαταλέγεται και η τομάτα.

Έχει μεγάλη σημασία να είναι γνωστή η αναπνευστική δραστηριότητα του κάθε προϊόντος, διότι βάση αυτής θα καθοριστεί η όλη μεταχείρισή του. Προϊόντα με υψηλή αναπνευστική δραστηριότητα (20-60 mg CO<sub>2</sub>/kg/h) πρέπει να προψύχονται αμέσως μετά τη συγκομιδή, διαφορετικά η μετασυλλεκτική τους ζωή είναι πολύ σύντομη και οι απώλειες πολύ μεγάλες. Η τομάτα είναι ένα φρούτο με μέση αναπνευστική δραστηριότητα, με 10 έως 20 mg CO<sub>2</sub>/kg/h, ενώ η εσωτερική συγκέντρωση του αιθυλενίου κυμαίνεται στα 3,6 έως 29,5 ppm (Βασιλακάκης, 2014).

Οι κλιμακτηριακοί καρποί, όπως η τομάτα, παρουσιάζουν το φαινόμενο της αυτοκατάλυσης, δηλαδή παράγουν το δικό τους αιθυλένιο όταν εκτεθούν σε ελάχιστη συγκέντρωση αιθυλενίου. Το ένζυμο ACC-οξειδάση που οδηγεί στο σχηματισμό του αιθυλενίου, ενεργοποιείται από το CO<sub>2</sub> που σχηματίζεται με την αύξηση της αναπνευστικής δραστηριότητας και έτσι σχηματίζεται περισσότερο αιθυλένιο και ούτω καθεξής (Βασιλακάκης, 2014).

#### *2.1.1.2 Απόλεια χλωροφύλλης-σύνθεση λυκοπενίου*

Κατά την ωρίμανση των καρπών παρατηρείται απώλεια του πράσινου χρώματος, εξαιτίας της διάσπασης της χλωροφύλλης από το ένζυμο χλωροφυλλάση και έτσι εμφανίζονται τα καροτενοειδή και άλλες χρωστικές, που δίνουν το κίτρινο ή πορτοκαλί χρώμα των ώριμων καρπών, ενώ σε άλλες περιπτώσεις σχηματίζονται χρωστικές (ερυθρού, μπλε, μωβ χρώματος), όπως ανθοκυάνες που συμβάλλουν στο σχηματισμό του επιχρώματος των καρπών. Στην περίπτωση της τομάτας, ο ερυθρός χρωματισμός δεν οφείλεται στις ανθοκυάνες, αλλά στη χρωστική λυκοπένιο, το οποίο μαζί με τα α-, β-, γ-καροτένια και τις ξανθοφύλλες, εμφανίζονται όταν η χλωροφύλλη διασπάται κατά την ωρίμανση. Το λυκοπένιο σχηματίζεται και στο σκοτάδι, σε αντίθεση με το β-καροτένιο και η συγκέντρωσή του αυξάνει, καθώς ο καρπός ωριμάζει.

Ενώ η σύνθεση των καροτενοειδών είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία, η σύνθεση και η διάσπαση του λυκοπενίου επηρεάζονται από τη θερμοκρασία. Θερμοκρασίες μεταξύ 15.6 και 21.1°C είναι άριστες για τη σύνθεσή του, υψηλότερες των 29°C την αναστέλλουν, ενώ χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τη διάσπαση του λυκοπενίου. Απ' την άλλη πλευρά, η σύνθεση του β-καροτενίου συνεχίζεται μέχρι και στους 40°C, οπότε το χρώμα της τομάτας σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες γίνεται κίτρινο-πορτοκαλί (Βασιλακάκης, 2014; Pangaribuan, 2005).

#### *2.1.1.3 Μαλάκωμα καρπού*

Το μαλάκωμα συνδέεται γενικά με την ωρίμανση των σαρκωδών φρούτων και εξαρτάται από αλλαγές στη χημική δομή των συστατικών του κυτταρικού τοιχώματος, της πρωτεΐνης και των 3 υδατανθράκων της πηκτίνης, κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επιπλέον, σχετίζεται άμεσα με την αύξηση των διαλυτών πηκτινών. Η πηκτίνη είναι ένα κύριο συστατικό του μεσαίου ελάσματος, το οποίο δεσμεύει γειτονικά κύτταρα.

Επί προσθέτως, η παραγωγή ενζύμων, που συντελούν στην αποικοδόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων, επιταχύνεται σε μεγάλο βαθμό κατά την ωρίμανση της τομάτας. Στα πηκτινολυτικά ένζυμα της τομάτας, συγκαταλέγονται η πηκτινομεθυλεστεράση και η πολυγαλακτουρονάση. Η πρώτη καταλύει την υδρόλυση μεθυλεστερών σε μόρια πηκτίνης, ενώ παραμένει ενεργή καθ' όλη την ανάπτυξη και την ωρίμανση των φρούτων (Pangaribuan, 2005).

#### *2.1.1.4 Αποικοδόμηση αμύλου-αλλαγή συγκέντρωσης σακχάρων*

Τα σάκχαρα προέρχονται από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και αποτελούν αφομοιώσιμες ενώσεις αυτής. Οι καρποί της τομάτας συσσωρεύουν υδατάνθρακες, πριν από την έναρξη της ωρίμανσης, υπό μορφή αμύλου, ενώ αυτό συνεχίζεται μέχρι το «ώριμο-πράσινο»

στάδιο και μετά μειώνεται γρήγορα, καθώς ξεκινά η ωρίμανση (Εικόνα 2.3). Η διάσπαση του αμύλου σε γλυκόζη, φρουκτόζη ή σακχαρόζη σχετίζεται με την ενζυμική δραστηριότητα των α- και β-αμυλασών.

Γενικά, η περιεκτικότητα σακχάρων σε καρπούς τομάτας είναι συνάρτηση του σταδίου ωριμότητας. Συγκεκριμένα, αυξάνεται προοδευτικά από το «ώριμο-πράσινο» στάδιο για να φτάσει στη μέγιστη περιεκτικότητα, στο «κόκκινο ώριμο», αλλά μειώνεται όταν ο καρπός έχει αρχίσει να αποκτά το χρώμα του (Pangaribuan, 2005).



*Εικόνα 2.3. Στάδια ωρίμανσης τομάτας (Huang et al., 2017).*

#### 2.1.1.5 Αλλαγές στην κυτταρική μεμβράνη

Το σύστημα της κυτταρικής μεμβράνης είναι επιλεκτικά διαπερατό σε ενώσεις, εντός και μεταξύ των κυττάρων. Είναι γνωστό πως η κυτταρική μεμβράνη αποτελείται από διπλές στιβάδες που περιέχουν φωσφολιπίδια και πρωτεΐνες, ενώ έχει φανεί πως η περιεκτικότητα των φωσφολιπιδίων αυτών μειώνεται κατά την ωρίμανση των φρούτων τομάτας.

Ένα σημαντικό φαινόμενο, κατά το γηρασμό των καρπών της τομάτας, είναι η αλλαγή της ρευστότητας των μεμβρανών και η μετατροπή τους σε εύκαμπτες. Αυτή η αλλαγή μπορεί να αλλάξει την ενζυμική δραστηριότητα στη μεμβράνη και τη λειτουργία των υποδοχέων της. Μια άλλη φυσιολογική αλλαγή είναι η αυξημένη διαπερατότητα της μεμβράνης, που εκφράζεται ως αυξανόμενη διαρροή ιόντων (Côté et al., 1993; Pangaribuan, 2005). Αυτό υποδηλώνει ότι η μειωμένη ρευστότητα των μεμβρανών, μεταφράζεται σε διαρροή ιόντων και συνεπώς σε μειωμένη λειτουργικότητα αυτών (Marangoni et al., 1996). Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, η διατήρηση της ακεραιότητας και της λειτουργικότητας της κυτταρικής μεμβράνης θεωρείται ως η φυσιολογική βάση για τη διατήρηση των νωπών προϊόντων τομάτας (Pangaribuan, 2005).

Γίνεται αντιληπτό πως η ωρίμανση των κλιμακτηριακών φρούτων, όπως η τομάτα, διεγείρεται από την ύπαρξη αιθυλενίου. Καθοριστικά φυσιολογικά και βιοχημικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα στους καρπούς της τομάτας κατά την ωρίμανση, σχετιζόμενα με αλλαγές στην



παραγωγή αιθυλενίου, στην αναπνευστική και ενζυμική δραστηριότητα, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στις πρωτεΐνες των κυτταρικών τοιχωμάτων και μεμβρανών. Η ικανότητα, λοιπόν, ελέγχου της ωρίμανσής της ρυθμίζοντας, για παράδειγμα, τις αποκρίσεις του αιθυλενίου, θα μπορούσε να συμβάλει στη διατήρηση της ποιότητας και παράλληλα να επεκτείνει τη διάρκεια αποθήκευσης των φρέσκων τοματών.

### **2.1.2 Ποιότητα τομάτας**

Όσον αφορά τις καλλιέργειες κηπευτικών, προκύπτει μια δυσκολία λόγω έλλειψης καθολικού ορισμού της ποιότητας, που ενσωματώνει τα διάφορα συστατικά και ενδεχομένως του κενού που υπάρχει μεταξύ της ποιότητας, μετρούμενης με όργανα κατά τη συγκομιδή και της αντίστοιχης, που αντιλαμβάνεται ο καταναλωτής μετά την αγορά και την αποθήκευση (Kyriacou & Rouphael, 2017; Bertin & Génard, 2018). Η ποιότητα συνίσταται από πολλά χαρακτηριστικά, των οποίων η σχετική σημασία εξαρτάται από τα ενδιαφερόμενα μέρη.

Αρχικά, η εμπορική ποιότητα βασίζεται, κυρίως, στην εξωτερική εμφάνιση, δηλαδή, το χρώμα, τη μορφή, το μέγεθος, καθώς και στη σταθερότητα και στη διάρκεια ζωής. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, με τη σειρά τους και η ποιότητά τους, εξαρτώνται από φυσικά (υφή ή συνεκτικότητα) και βιοχημικά χαρακτηριστικά, κυρίως την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, οξέα και πτητικές ενώσεις, καθορίζοντας τη συνολική γεύση. Από την άλλη πλευρά, τα οφέλη για την υγεία βασίζονται στην ποσότητα των βιταμινών και των φυτοθεραπευτικών συστατικών, όπως το λυκοπένιο, β-καροτένιο, ασκορβικό και οι πολυφαινόλες, καθώς και των μετάλλων: κάλιο, ασβέστιο, φώσφορος, μαγνήσιο. Αναφερόμενοι στον υγειονομικό τομέα, η ποιότητα καθορίζεται από την απουσία υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων ή άλλων ενώσεων, όπως αλλεργιογόνα, μυκοτοξίνες, αντιβιοτικά, περιβαλλοντικοί ανθεκτικοί ρύποι και παθογόνοι μικροοργανισμοί (Bertin & Génard, 2018). Επί του παρόντος, η ποιότητα των φρούτων αξιολογείται κατά τη συγκομιδή, αλλά επεξεργάζεται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φρούτων, καθώς επηρεάζεται από πολλές αλληλεπιδρώντες διαδικασίες ανάπτυξης και μεταβολικές δραστηριότητες, αλλά και από περιβαλλοντικές συνθήκες (Ho, 1996).

Οι γευστικότερες ποικιλίες είναι τα τοματάκια (cherry/cocktail tomatoes - *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), συγκρινόμενες με τη γεύση των μεγάλων ποικιλιών τομάτας, που χαρακτηρίζεται ως φτωχή, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ανταγωνιστικών σχέσεων μεταξύ μεγέθους και γεύσης των φρούτων (Bertin & Génard, 2018). Η ζήτηση και η αποδοχή του καταναλωτή περιλαμβάνουν ένα μεγάλο εύρος ποιοτικών χαρακτηριστικών,

συμπεριλαμβανομένων περιβαλλοντικών, υγειονομικών, οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, καθώς και του συνεχούς ενδιαφέροντος για οφέλη στην υγεία και ως εκ τούτου, η βελτίωση όλων των διαφόρων πτυχών της ποιότητας των καρπών τομάτας γίνεται στόχος, προκειμένου να ικανοποιηθεί αυτή η ζήτηση.

#### *2.1.2.1 Μέγεθος & σχήμα καρπού*

Το μέγεθος και το σχήμα των φρούτων αποτελούν σημαντικά ποιοτικά χαρακτηριστικά για τους καταναλωτές. Το σχήμα καθορίζεται κυρίως από το γενότυπο και ποικίλλει κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγής. Η αύξηση του όγκου των φρούτων προκύπτει από την ανάπτυξη του περικαρπικού ιστού, η οποία επιτυγχάνεται μέσω δύο σημαντικών διαδικασιών (Ho, 1996): την παραγωγή νέων κυττάρων που σταματά περίπου 10-25 ημέρες μετά την άνθηση και την ανάπτυξη και επέκταση των κυττάρων έως ότου επέλθει η έναρξη της ωρίμανσης. Αν και το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης του όγκου των φρούτων συμβαίνει κατά τη διάρκεια της φάσης επέκτασης, πολλές έρευνες απέδειξαν ότι το τελικό μέγεθος συσχετίζεται, σε μεγάλο βαθμό, με τον αριθμό των κυττάρων (Bertin et al., 2003).

#### *2.1.2.2 Υφή καρπού*

Η υφή μπορεί να επηρεάσει την αξία τελικής χρήσης των φρούτων, προοριζόμενα είτε για αγορά ως φρέσκα, είτε για βιομηχανική μεταποίηση. Η συνεκτικότητα και η αντοχή της επιδερμίδας συνιστούν τις σημαντικότερες ιδιότητες του καρπού στον χαρακτηρισμό της ποιότητας των μεταποιημένων τοματών, ειδικά στη βιομηχανία συσκευασίας (Arazuri et al., 2007). Επηρεάζει έντονα την αγορά και την αποδοχή των καταναλωτών, ενώ παρεμβαίνει στην αντίληψη της γεύσης, του αρώματος και επιδρά σημαντικά στη διάρκεια ζωής και στη δυνατότητα μεταφοράς των φρούτων (Seymour et al., 2002; Bertin & Génard, 2018).

Οι μηχανισμοί στους οποίους βασίζεται η υφή των φρούτων είναι περίπλοκοι. Οι Toivonen και Brummell επικεντρώθηκαν στους μοριακούς και βιοχημικούς μηχανισμούς που οδηγούσαν στο μαλάκωμα των καρπών τομάτας, κατά την ωρίμανση, όταν η μείωση της σταθερότητας των φρούτων συνέπιπτε με τη διάλυση του μεσαίου ελάσματος, με αποτέλεσμα τη μείωση της ενδοκυτταρικής πρόσφυσης, τον αποπολυμερισμό και τη διαλυτοποίηση των ημικυτταρινών και των πηκτικών πολυσακχαριτών του κυτταρικού τοιχώματος (Toivonen & Brummell, 2008). Επιπλέον, ορισμένες έρευνες τόνισαν την ιδιαίτερη σημασία των ανατομικών χαρακτηριστικών, όπως το πάχος των διαφόρων ιστών και το μέγεθος των κυττάρων, καθώς και των βιοχημικών χαρακτηριστικών των φρούτων, όπως η περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία και σε

διαλυτά σάκχαρα, αναφορικά με την υφή (Bourne, 2002; Aurand et al., 2012). Μετά τη συγκομιδή, η υφή μεταβάλλεται ταχέως, ενώ η διάσπαση της μεμβράνης και του κυτταρικού τοιχώματος συμβαίνει σε σχέση με την απώλεια σπαργής ή πλασμόλυσης και της δράσης των κυτταρολυτικών ενζύμων, συμπεριλαμβανομένων των υδρολασών, των τρανσγλυκοζυλασών, των λυασών. Είναι ενδιαφέρον πως σε αντίθεση με άλλα φρούτα, όπως το μήλο, δεν υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ της συνεκτικότητας, μετρούμενης κατά τη συγκομιδή και της σχετικής απώλειας σταθερότητας κατά την αποθήκευση, στην περίπτωση της τομάτας (Page et al., 2010; Aurand et al., 2012).

Ο Batu μελετώντας την ελάχιστη αποδεκτή τιμή για τη συνεκτικότητα τομάτας, δύο ποικιλιών, *Liberto* και *Criterion*, πρότεινε δύο πιθανές τιμές για το ελάχιστο όριο συνεκτικότητας των καρπών: εμπορική τιμή, αναφερόμενη σε πολύ σταθερές τομάτες με τιμές συνεκτικότητας άνω των 1.45 N/mm και οι τομάτες κατάλληλες για κατανάλωση στο σπίτι, με τιμές συνεκτικότητας σταθερότητας μεγαλύτερες από 1,28 N/mm (Batu, 2004; Cruz-Carrillo et al., 2015).

### 2.1.2.3 Περιεκτικότητα σε σάκχαρα & οξέα

Τα διαλυτά σάκχαρα, γλυκόζη, φρουκτόζη, σακχαρόζη και τα οργανικά οξέα, κυρίως το μηλικό και κιτρικό οξύ, είναι σημαντικές οσμωτικές ενώσεις που συσσωρεύονται στους καρπούς της τομάτας. Τόσο οι απόλυτες ποσότητες, όσο και η ισορροπία μεταξύ σακχάρων και οξέων είναι υπεύθυνα για τη γλυκιά και όξινη γεύση των φρούτων, συμβάλλοντας στη συνολική τους γεύση (Davies & Hobson, 1971; Bertin & Génard, 2018). Η δομή των φρούτων και η αναλογία των διαφορετικών ιστών μπορεί να επηρεάσουν τη γεύση του, καθώς οι ιστοί του ζελατινώδους παρεγχύματος περιέχουν περισσότερα οξέα και λιγότερα σάκχαρα από τους αντίστοιχους του περικαρπίου. Οι μεταβολικές οδοί σύνθεσης σακχάρων και οξέων και η σύνδεση μεταξύ ενζυμικής δραστηριότητας και συσσώρευσης προϊόντων σε φρούτα, έχουν τεκμηριωθεί από την Etienne και την ομάδα της (Etienne et al., 2013) και τον Beckles και άλλους ερευνητές (Beckles et al., 2012) για οξέα και σάκχαρα, αντίστοιχα. Ο ρυθμός εισαγωγής σακχαρόζης διατηρείται κατά την ανάπτυξη από τη βαθμιαία διάχυσή της, που προκύπτει από την αποθήκευσή της στο χυμοτόπιο υπό διαφορετικές μορφές, όπως άμυλο, σακχαρόζη, γλυκόζη, φρουκτόζη και από την κατανομή της κατά την αναπνευστική δραστηριότητα, παρέχοντας ενέργεια για συντήρηση και δομική ανάπτυξη (Osorio et al., 2014).

Το μηλικό και το κιτρικό οξύ είναι τα κύρια οργανικά οξέα που συσσωρεύονται στους καρπούς της τομάτας. Προσδιορίζουν την οξύτητα των σαρκωδών φρούτων, όπως μετράται με την ογκομετρούμενη οξύτητα ή/και το pH. Το pH του χυμού τομάτας κυμαίνεται μεταξύ 3.9 και 4.9, αλλά δεν συσχετίζεται με την περιεκτικότητα σε οξύ που κυμαίνεται σε μεγαλύτερα εύρη. Η αντίληψη της οξύτητας των φρούτων οφείλεται κυρίως στο κιτρικό οξύ. Παρόλο που ορισμένα οργανικά οξέα παρέχονται από το χυμό, οι μεταβολές στην οξύτητα των φρούτων οφείλονται κυρίως στον μεταβολισμό του μηλικού και του κιτρικού στον ίδιο τον καρπό (Etienne et al., 2013). Ενώ η σύνθεση οξέων και οι μετατροπές μέσω διαφορετικών οδών συμβαίνουν σε διαφορετικά κυτταρικά διαμερίσματα, όπως κυτταρόπλασμα, μιτοχόνδρια και λυσοσώματα, μεγάλες ποσότητες οξέων συσσωρεύονται κυρίως στο χυμοτόπιο, ύστερα από τη μεταφορά διαμέσου του τονοπλάστη, η οποία εξαρτάται τόσο από το pH του χυμοτοπίου, όσο και από τη διαφορά δυναμικού στον τονοπλάστη. Στη συνέχεια, κατά την ωρίμανση των φρούτων, η κυτταροπλασματική αποικοδόμηση των οργανικών οξέων, μέσω της οδού γλυκονεογένεσης, προάγει τη συσσώρευση διαλυτών σακχάρων (Etienne et al., 2013; Bertin & Génard, 2018).

Ο Kader και η ομάδα του ανέφεραν ότι οι υψηλής ποιότητας τομάτες, χαρακτηρίζονται από περισσότερο από 0,32% ογκομετρούμενη οξύτητα και 3% διαλυτά στερεά και με αναλογία διαλυτών στερεών/ογκομετρούμενης οξύτητας μεγαλύτερη από 10 (Kader et al., 1978). Σύμφωνα με τους Hobson και Grierson, η παραπάνω αναλογία παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση και αξιολόγηση της γεύσης μιας τομάτας, ενώ προτιμώνται τα υψηλά επίπεδα σακχάρων και οξέων (Hobson & Grierson, 1993; Pangaribuan, 2005).

#### 2.1.2.4 Άρωμα

Η γεύση προκύπτει από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ σακχάρων, οξέων και αρωματικών πτητικών ενώσεων. Ως χυμώδη καρποί, οι τομάτες περιέχουν και απελευθερώνουν μια μεγάλη ποικιλία πτητικών οργανικών ενώσεων, που προσδίδουν τυπικό άρωμα, επηρεάζοντας την αντίληψη και την προτίμηση των καταναλωτών (Baldwin et al., 2008; Tieman et al., 2012). Πάνω από 400 πτητικές οργανικές ενώσεις έχουν εντοπιστεί σε φρέσκιες τομάτες, μεταξύ των οποίων μόνο 30 υπάρχουν σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες του 1 ppb και συμβάλλουν σημαντικά στην αισθητή γεύση (Buttery, 1993). Ωστόσο, το άρωμα της τομάτας δεν σχετίζεται άμεσα με την παρουσία ή την απουσία μίας ένωσης, αλλά από τη συνέργεια μεταξύ των συστατικών. Η (Z)-3-εξανάλη, η εξανάλη, η 1-οκτεν-3-όνη, η μεθιονάλη, η 1

πεντεν-3-όνη και η 3-μεθυλοβουτανάλη ανήκουν στις δραστικότερες, όσον αφορά την οσμή, πτητικές ενώσεις σε φρέσκιες τομάτες (Krumbein και Auerswald, 1998; Bertin & Génard, 2018).

#### 2.1.2.5 Διατροφική αξία

Οι τομάτες είναι σημαντικές για την ανθρώπινη υγεία και ευεξία, όντας πλούσιες πηγές βιταμινών και αντιοξειδωτικών, ιδίως ασκορβικού οξέος, λυκοπενίου, α- και β-καροτενίου (Πίνακας 2.1). Η διατήρηση της θρεπτικής αξίας κατά την αποθήκευση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν (Pangaribuan, 2005).

Στην τομάτα, η βιταμίνη C υπάρχει σε δύο υδατοδιαλυτές, βιολογικά ενεργές μορφές: το ασκορβικό και την οξειδωμένη του μορφή, το δεϋδροασκορβικό οξύ. Και οι δύο μορφές υπάρχουν σε όλα τα κυτταρικά διαμερίσματα των ιστών που υφίστανται ανάπτυξη, με τη συνολική ποσότητα της βιταμίνης C να κυμαίνεται από 8 έως 40 mg 100 g<sup>-1</sup> μεταξύ διαφόρων ειδών και ποικιλιών τομάτας (CTIFL, 2011; Bertin & Génard, 2018).

**Πίνακας 2.1.** Διατροφική αξία νωπής πλήρως ώριμης σκληρής (red ripe) τομάτας (ανά 100 g) (Cruz-Carrillo et al., 2015; Rao & Agarwal, 2000; INCAP, 2012; Hernández Suárez et al., 2008; Pinela et al., 2012).

Κατά προσέγγιση		Μέταλλα		Βιταμίνες	
<b>Φυτικές Ίνες (g)</b>	1,2-1,83	<b>Ασβέστιο (mg)</b>	7-10	<b>Βιταμίνη C (mg)</b>	13,7-23
<b>Σάκχαρα (g)</b>	0,85-4,6	<b>Μαγνήσιο (mg)</b>	0-11	<b>Χολίνη (mg)</b>	6,7
<b>Πρωτεΐνες (g)</b>	0,78-0,88	<b>Φώσφορος (mg)</b>	24	<b>Βιταμίνη A (μg)</b>	42
<b>Συνολικά λιπίδια (g)</b>	0,2-0,3	<b>Κάλιο (mg)</b>	237	<b>α-καροτένιο (μg)</b>	449
<b>Νερό (g)</b>	93,4-94,52	<b>Νάτριο (mg)</b>	5	<b>β-καροτένιο (μg)</b>	101-510
<b>Ενέργεια (kcal)</b>	18-34,67	<b>Φθόριο (μg)</b>	2,3	<b>Λυκοπένιο (μg)</b>	2573-9490
				<b>Βιταμίνη K (μg)</b>	7,9
				<b>Λουτεΐνη+Ζεαξανθίνη (μg)</b>	123

Τα καροτενοειδή παρέχουν το χρώμα τους στους ώριμους καρπούς της τομάτας και είναι αυτό που διεγείρει την αγορά του προϊόντος, ενώ ταυτόχρονα αποτελούν σημαντικά για την ανθρώπινη διατροφή, λόγω των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων τους (Dorais et al., 2008). Σε αφθονία βρίσκεται το λυκοπένιο, συνιστώντας το 80-90% των συνολικών καροτενοειδών σε ώριμες τομάτες, ακολουθούμενο από το φυτοένιο, φυτοφλουένιο, ζ-καροτένιο, γ-καροτένιο, β-καροτένιο ή προβιταμίνη A, νευροσπορένιο και λουτεΐνη. Στην τομάτα, η συνολική

συγκέντρωση καροτενοειδών αυξάνεται 10 έως και 50 φορές κατά την ωρίμανση των φρούτων, ενώ οι πιο εμφανείς εξωτερικές αλλαγές χρώματος, από πράσινο σε κόκκινο, σχετίζονται με την απώλεια χλωροφύλλης και τη συσσώρευση β-καροτενίου και λυκοπενίου (Fraser et al., 1994; Bertin & Génard, 2018). Οι αναφερόμενες περιεκτικότητες σε λυκοπένιο και β-καροτένιο κυμαίνονται από 28 έως 100  $\mu\text{g g}^{-1}$  νωπού βάρους και από 4 έως 12  $\mu\text{g g}^{-1}$  φρέσκου βάρους, αντίστοιχα (CTIFL, 2011).

Οι πολυφαινόλες είναι μια ευρεία οικογένεια φυτοχημικών με ποικίλες βιολογικές λειτουργίες στα φυτά, όπως για παράδειγμα ως απόκριση σε διάφορους βιοτικούς ή μη παράγοντες στρες (Bertin & Génard, 2018). Οι τομάτες είναι μια σημαντική πηγή φαινολικών ενώσεων, που προσδιορίζονται κυρίως στην επιδερμίδα τους (98%) και στον πλακούντα (Slimestad & Verheul, 2009). Οι ίδιοι ερευνητές, ανέφεραν περίπου 100 ενώσεις στην τομάτα, μεταξύ των οποίων τα φαινολικά οξέα, φαινυλοπροπανοειδή, κουμαρίνες και φλαβονοειδή, να διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στην ποιότητα των καρπών. Τα χλωρογενικά οξέα και τα φλαβονοειδή αποτελούν τις κύριες πολυφαινόλες στην τομάτα. Η συνολική περιεκτικότητα φλαβονοειδών, σε διαφορετικούς τύπους τομάτας, κυμαίνεται από 1 έως 300  $\text{mg kg}^{-1}$  φρέσκου βάρους, ενώ η ναργινίνη (45%) αναφέρεται ως το κύριο φλαβονοειδές, ακολουθούμενη από την κερκετίνη (39%), μυρικετίνη (10%) και καμφερόλη (5%) (Slimestad & Verheul, 2009; Bertin & Génard, 2018).

Συνοψίζοντας, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της φρέσκιας τομάτας συγκαταλέγονται το χρώμα, η σταθερότητα, τα διαλυτά στερεά, η γεύση και η θρεπτική αξία, σε συνδυασμό με το μέγεθος, το σχήμα και την απουσία ελαττωμάτων. Αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν να βελτιωθούν μετά τη συγκομιδή, αλλά πρέπει να διατηρηθούν κατά την αποθήκευσή τους. Είναι αναγκαίο να επιδιώκεται, συστηματικά, η διατήρηση των βέλτιστων επιπέδων ποιότητας σε νωπά φρούτα τομάτας, καθώς η ποιότητα των επεξεργασμένων ή/και μη προϊόντων τομάτας, επηρεάζεται άμεσα από την αντίστοιχη της πρώτης ύλης.

### **2.1.3 Παράγοντες ποιότητας νωπής τομάτας**

Η ποιότητα της νωπής τομάτας εξαρτάται και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί διακρίνονται σε προσυλλεκτικούς, όπως είναι οι γενετικοί (ποικιλία και υποκείμενο), οι εδαφοκλιματικές συνθήκες, το υψόμετρο, οι καλλιεργητικές φροντίδες, το στάδιο ωρίμανσης κατά τη συγκομιδή και σε μετασυλλεκτικούς παράγοντες, για παράδειγμα, οι συνθήκες επεξεργασίας και συντήρησης (Kyriacou & Roupael, 2017).

### 2.1.3.1 Προσυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας

#### i. Ποικιλία

Οι κυρίαρχες συνιστώσες της ποιότητας των καρπών τομάτας, όπως το μέγεθος, το χρώμα, η συνεκτικότητα, η δυνατότητα συντήρησης, η ευπάθεια σε φυσιολογικές ασθένειες και άρα η διάρκεια ζωής των φρούτων, αποτελούν ποσοτικά χαρακτηριστικά με συνεχείς διακυμάνσεις στο διαχωρισμό πληθυσμών (Causse et al., 2002). Οι γενετικοί παράγοντες, λοιπόν, έχουν άμεση επίδραση στην ποιότητα των τοματών και επομένως, η επιλογή ποικιλίας αποτελεί πρωταρχικής σημασίας για τον προσδιορισμό της τελικής ποιότητας ενός καρπού τομάτας.

Οι διάφορες ποικιλίες, βάσει της πρωιμότητάς τους, διακρίνονται σε πρώιμες, μέσης πρωιμότητας και όψιμες, ενώ κατατάσσονται, γενικά, σε δύο βασικές κατηγορίες, τις σφαιρικές (στρογγυλόκαρπες) και τις ελλειψοειδείς (μακρόκαρπες) (Βασιλακάκης, 2014). Οι σφαιρικές, με κύριο χαρακτηριστικό τους το έντονο χρώμα και άρωμα και τη χαμηλότερη, σε σχέση με τις ελλειψοειδείς, περιεκτικότητα σε κυτταρίνη, είναι καταλληλότερες για την παραγωγή χυμού και τοματοπολτού υψηλής συμπύκνωσης, ενώ οι μακρόκαρπες, έχοντας υψηλότερη περιεκτικότητα σε στερεά, χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή κονσερβοποιημένων αποφλοιωμένων καρπών (Γούλα, 2004).

Επιπλέον, είναι γνωστό πως η περιεκτικότητα σε θρεπτικά και βιολειτουργικά συστατικά, καθώς και η αντιοξειδωτική δράση της τομάτας διαφοροποιούνται, ανάλογα με την ποικιλία και τις συνθήκες καλλιέργειας (Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009; Cruz-Carrillo et al., 2015). Οι ερευνητές Guil-Guerrero και Reboloso-Fuentes μελέτησαν τη σύσταση και την αντιοξειδωτική δράση ώριμων καρπών από οκτώ ποικιλίες τομάτας, Cherry, Pera, Daniela Long Life, Lido, Pear, Bunch, Raf και Rambo, καλλιεργούμενες σε θερμοκήπιο και διαπίστωσαν ότι ποικίλλουν, κυρίως, στην περιεκτικότητα σε βιταμίνη C ως εξής: 39 mg/100g νωπού βάρους στην ποικιλία Cherry Pera και 263 mg/100g νωπού βάρους στην ποικιλία Rambo. Το μέγιστο ολικό περιεχόμενο σε καροτενοειδή, 583 mg/100g ξηρού βάρους, κατείχε η ποικιλία Cherry και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λυκοπένιο (350 mg/100g), από όλες τις ποικιλίες προς μελέτη. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές για το περιεχόμενο της υγρασίας, της ακατέργαστης πρωτεΐνης, των διαθέσιμων υδατανθράκων και των διαλυτών ινών ήταν παρόμοιες για τις διαφορετικές εμπορικές ποικιλίες τομάτας που μελετήθηκαν.

Σε άλλη έρευνα, εκτιμήθηκε ότι η ποικιλία άγριας τομάτας περιείχε πέντε φορές περισσότερο ασκορβικό οξύ από τις σύγχρονες ποικιλίες (Bergougnoux, 2013). Ακόμη, η

García-Valverde και η ερευνητική της ομάδα κατέληξαν πως σε τομάτες ποικιλίας Cherry Pera, υπήρχε ένας ισχυρός συσχετισμός μεταξύ του ολικού φαινολικού περιεχομένου και της βιταμίνης C ( $p < 0.01$ ,  $r = 0.872$ ), που δεν παρατηρήθηκε όμως στις υπόλοιπες τρεις ποικιλίες, Ronaldo, Zoco και Pera, με μικρότερο περιεχόμενο σε ολικά φαινολικά και βιταμίνη C (García-Valverde et al., 2013).

Τέλος, η συσσώρευση ανθοκυανινών στις μπλε-μωβ τομάτες, φάνηκε να προσδίδουν ανθεκτικότητα στον μύκητα *Botrytis cinerea*, μεταβάλλοντας την εξάπλωση των ελεύθερων ριζών κατά τη διάρκεια της μόλυνσης, με ταυτόχρονη επέκταση διάρκειας ζωής των νωπών προϊόντων (Zhang et al., 2013).

## ii. Καλλιεργητικές πρακτικές

Μεταξύ των αγρονομικών παραγόντων που επηρεάζουν τη σύσταση και το άρωμα της τομάτας είναι η διαθεσιμότητα νερού, η γονιμότητα του εδάφους, το κάλιο, ενώ αναφέρεται η ύπαρξη θετικής συσχέτισης διαθεσιμότητας αζώτου και περιεχομένων διαλυτών στερεών (Pangaribuan, 2005).

Η άρδευση και η λίπανση, λοιπόν, επηρεάζουν την απόδοση και την ποιότητα της τομάτας. Υπό συνθήκες θερμοκηπίου, η περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα, οργανικά οξέα, ασκορβικό και λυκοπένιο (με βάση το νωπό βάρος) τείνουν να μειώνονται, σε χαμηλά επίπεδα λιπάσματος και υψηλά επίπεδα άρδευσης (Wang & Xing, 2017). Η ορθή διαχείριση νερού δύναται να αυξήσει την περιεκτικότητα στερεών των φρούτων και η προσθήκη λιπασμάτων καλίου, αντίστοιχα, την περιεκτικότητα οξέος στους καρπούς τομάτας (Pangaribuan, 2005). Επιπλέον, το μέγεθος των καρπών σχετίζεται αντιστρόφως με την αλατοπεριεκτικότητα ή την έλλειψη νερού, ενώ η περιεκτικότητα, σε ξηρή ουσία, διαλυτών σακχάρων και οξέων αυξάνεται σε ένα εύρος που εξαρτάται από ποικιλίες, περιβαλλοντικούς παράγοντες και τη διαχείριση των καλλιεργειών (Ripoll et al., 2014). Η μέτρια έλλειψη νερού βρέθηκε να αυξάνει την περιεκτικότητα εξόζης και την αναλογία σακχάρων/οξέων σε αρκετές ποικιλίες τομάτας (Ripoll et al., 2016a, 2016b; Bertin & Génard, 2018). Σε άλλη έρευνα, η υψηλή προσφορά μαγνησίου ενίσχυσε τη σταθερότητα των καρπών τομάτας θερινής παραγωγής, εν αντιθέσει με την υψηλή προσφορά ασβεστίου (Hao & Papadopoulos, 2003).

Όπως προαναφέρθηκε, οι καλλιεργητικές συνθήκες επηρεάζουν, εξίσου, τη θρεπτική σύσταση και αντιοξειδωτική ικανότητα της τομάτας. Οι αναπτυσσόμενοι καρποί σε οργανικά υποστρώματα, που περιέχουν σημαντικά υψηλότερες περιεκτικότητες ασβεστίου και βιταμίνης



C, παρουσιάζουν λιγότερο σίδηρο συγκριτικά με καλλιεργούμενους καρπούς σε υδροπονικό μέσο, ενώ η περιεκτικότητα σε φώσφορο και κάλιο δεν διαφοροποιείται στις δύο μορφές καλλιέργειας (Guil-Guerrero & Reboloso-Fuentes, 2009). Σε συνέχεια της μελέτης οχτώ ποικιλιών τομάτας, των δύο προαναφερθέντων ερευνητών, συμπεραίνεται πως η περιεκτικότητα ιχνοστοιχείων διαφοροποιείται, όντας επηρεασμένη σε μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη των καρπών σε τεχνητό υπόστρωμα, εμφανίζοντας τελικά υψηλές ποσότητες ψευδαργύρου, σιδήρου και σεληνίου (Cruz-Carrillo et al., 2015). Τέλος, η Lee και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα αξιολόγησαν την επίδραση των συνθηκών ανάπτυξης του θερμοκηπίου και του ανοιχτού πεδίου, στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των τοματών, από οκτώ διαφορετικές ποικιλίες (Lee et al., 2020). Τα δύο διαφορετικά συστήματα παραγωγής, λοιπόν, επηρέασαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της τομάτας, το χρώμα της φλούδας και τα επίπεδα των καροτενοειδών. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν σημαντικά υψηλότερες περιεκτικότητες ολικών trans-β-καροτενίων, σε όλους τους εξεταζόμενους γονότυπους, καλλιεργούμενων σε ανοιχτό πεδίο, από τους αντίστοιχους σε θερμοκήπιο, ενώ υψηλότερα επίπεδα αδιάλυτων και ολικών διαιτητικών ινών περιεχομένων εντοπίστηκαν σε καλλιεργούμενες τομάτες ανοιχτού πεδίου.

### *iii. Στάδιο ωρίμανσης*

Η τομάτα μπορεί να συγκομιστεί σε ώριμο πράσινο στάδιο -όταν ο καρπός έχει γεμίσει εσωτερικά με πλακούντα-, ημίωριμος -διάφορο βαθμό ανάπτυξης ερυθρού χρώματος- ή τελείως ώριμος, ανάλογα με τις απαιτήσεις της αγοράς. Η τομάτα που πρόκειται να μεταφερθεί σε μακρινές αγορές, για νωπή χρήση, συγκομίζεται όταν αποκτήσει ικανοποιητικό μέγεθος, χαρακτηριστικό της ποικιλίας, στο στάδιο ώριμη πράσινη ή μόλις αρχίσει να σπάζει το πράσινο (ανοιχτό πράσινο) (Βασιλακάκης, 2014). Στο στάδιο αυτό η τομάτα αντέχει τις μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις και διατηρείται αρκετό χρονικό διάστημα σε θερμοκρασία δωματίου, χωρίς να υστερεί σε ποιότητα.

Το στάδιο ωρίμανσης του καρπού επηρεάζει σημαντικά τις συνθήκες και τη διάρκεια συντήρησης της τομάτας (Πίνακας 2.2). Η τομάτα στο στάδιο πράσινη-ώριμη όταν αποθηκεύεται σε θερμοκρασία μικρότερη των 10°C, υφίσταται βλάβες ψύχους από χαμηλές θερμοκρασίες και τα συμπτώματα είναι αδυναμία ωρίμανσης, ανομοιομορφία στην ωρίμανση, πρόωρο μαλάκωμα, νεκρωτικές κηλίδες, καφέτιασμα σπερμάτων, με αποτέλεσμα την αύξηση μικροβιακών προσβολών στους νεκρούς ιστούς, κυρίως από τον μύκητα *Alternaria alternata*. Αντίθετα, οι ώριμες τομάτες είναι λιγότερο ευαίσθητες, με συνιστώμενη θερμοκρασία

συντήρησης άνω των 8°C. Σε χαμηλότερη θερμοκρασία, υφίστανται βλάβες ψύχους και τα συμπτώματα είναι υπερβολικό μαλάκωμα, αλλοίωση της γεύσης, απώλεια αρώματος και σημαντικά μειωμένη ζωή στο ράφι. Οι πλήρως ώριμοι καρποί δύνανται να αποθηκευτούν ακόμη και στους 0-1.5°C μέχρι και 3 εβδομάδες, εφόσον όμως καταναλωθούν το πολύ 1-2 ημέρες μετά την εξαγωγή τους από το ψυγείο (Βασιλακάκης, 2014).

**Πίνακας 2.2.** Συνθήκες και διάρκεια συντήρησης τομάτας ανάλογα με το στάδιο ωριμότητας (Ντόγρας, 2004; Βασιλακάκης, 2014).

Στάδιο ωριμότητας	Θερμοκρασία (°C)	Σχ. Υγρασία (%)	Διάρκεια
<b>Ώριμο-πράσινο</b> 	13-18	90-95	1-2 εβδομάδες
<b>Ρόδινη κορυφή</b> 	12-15	90-95	4-8 ημέρες
<b>Πλήρως ώριμο</b> 	12-13	90-95	7 ημέρες
<b>Πλήρως ώριμο σκληρό</b> 	8-10	90-95	7-14 ημέρες

Ακόμη, η García-Valverde και η ερευνητική της ομάδα κατέληξαν πως τόσο η ποικιλία, όσο και το στάδιο ωρίμανσης επηρεάζουν τα περιεχόμενα σε καροτενοειδή, ολικά φαινολικά, καθώς και την αντιοξειδωτική δράση των φρέσκων καρπών τομάτας (García-Valverde et al., 2013). Η μέση περιεκτικότητα σε ολικό λυκοπένιο ήταν 0.63, 12.20, 26.76 και 116.66 mg/kg νωπού βάρους στα στάδια ώριμο-πράσινο, ανοιχτό πράσινο, ρόδινη κορυφή και πλήρως ώριμο, αντίστοιχα. Το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο αυξήθηκε κατά την ωρίμανση μόνο στην ποικιλία Cherry Pera, ενώ στις υπόλοιπες Ronaldo, Zoco, Pera, μειώθηκε ελαφρώς ή παρέμεινε αμετάβλητο. Τέλος, οι φαινολικές ενώσεις, όπως το χλωρογενικό, καφεϊκό, π-κουμαρικό οξύ, η ρουτίνη και η ναρινγκίνη, βαθμιαία αυξήθηκαν μεταξύ των σταδίων ώριμο-πράσινο και ρόδινης κορυφής, ενώ μειώθηκαν στο πλήρως ώριμο στάδιο.

#### 2.1.3.2 Μετασυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας

Η όλη προσπάθεια μετά τη συγκομιδή είναι η διατήρηση της ποιότητας. Η ποιότητα δεν βελτιώνεται σε καμία περίπτωση μετά τη συγκομιδή, αντίθετα υποβαθμίζεται συνεχώς και η σωστή μετασυλλεκτική μεταχείριση και συντήρηση αποβλέπει στην όσο το δυνατόν μικρότερη

ποιοτική υποβάθμιση. Πειράματα, που πραγματοποιήθηκαν στην πολιτεία Orissa της Ινδίας, για τον προσδιορισμό της έκτασης των μετασυλλεκτικών απωλειών, κατά τα διαφορετικά στάδια μεταχείρισης και μεταφοράς ευπαθών εμπορευμάτων, κατέδειξαν πως οι συνολικές απώλειες, στην περίπτωση της νωπής τομάτας, ήταν 30,3-39,6%, με τη μέγιστη ποσότητα απωλειών να σημειώνεται κατά τη μεταφορά από τον αγρό στις αστικές αγορές (Paul et al., 2002).

#### i. Μωλωπισμοί & ασθένειες

Κατά τη συγκομιδή, το άδειασμα ή τη μεταφορά τους, οι τομάτες είναι επιρρεπείς στον τραυματισμό. Τα νωπά οπωροκηπευτικά περιέχουν υψηλή συγκέντρωση νερού και ως εκ τούτου είναι ευπαθή και ευάλωτα τόσο στην αφυδάτωση, όσο και στους μωλωπισμούς και τραυματισμούς (Βασιλακάκης, 2014). Όταν ο καρπός της τομάτας υποστεί βλάβη, βιολογικές διεργασίες, όπως η αναπνοή και η παραγωγή αιθυλενίου, λαμβάνουν χώρα με πολύ γρήγορο ρυθμό, οδηγώντας σε ταχεία αλλοίωση. Η βλάβη δύναται να μην καταστεί εμφανής στο ώριμο-πράσινο στάδιο, αλλά ίσως γίνει διακριτή κατά τη διάρκεια της λιανικής πώλησης, ως σύνθλιψη/συμπίεση και αποχρωματισμός της σάρκας (FAO, 2018).

Οι τομάτες είναι, επίσης, επιρρεπείς στην προσβολή εντόμων και διαφόρων παθογόνων (μύκητες, ιούς, φυτοπλάσματα, βακτήρια), που προκαλούν τη αποσύνθεση του καρπού, οδηγώντας σε ταχύτερη αλλοίωσή του. Ορισμένοι μύκητες, που προσβάλουν και προκαλούν μετασυλλεκτικές ασθένειες στην τομάτα, είναι οι *Alternaria alternata*, *Coletotrichum cocodes*, *Botrytis cinerea*, *Geotrichum candidum*, *Rhizopus stolonifer* (Βασιλακάκης, 2014). Η μηχανική συγκομιδή ή οι έντονοι και απρόσεχτοι χειρισμοί μπορεί να δημιουργήσουν πληγές, που λειτουργούν ως σημεία εισόδου οργανισμών, προκαλώντας την αποσύνθεση του καρπού, ενώ παράλληλα οι βλάβες ενισχύουν περαιτέρω την απώλεια νερού και επιταχύνουν τη διαδικασία ωρίμανσης (FAO, 2018).

#### ii. Θερμοκρασία συντήρησης

Στα συγκομισμένα προϊόντα, η θερμοκρασία έχει τεράστια επίδραση στον ρυθμό μεταβολικών διεργασιών, όπως η αναπνοή. Ο Brecht διαπίστωσε ότι οι μεταβολικές αντιδράσεις στα φρούτα και τα λαχανικά μειώνονται 2-3 φορές για κάθε 10°C μείωση της θερμοκρασίας (Brecht, 1995; Pangaribuan, 2005). Οι χαμηλές θερμοκρασίες, υπό τους 20°C, είναι αποτελεσματικές στην ελαχιστοποίηση ορισμένων ανεπιθύμητων ενεργειών εξαιτίας τραυματισμών, στην αναστολή της αναπνοής, στη μείωση απώλειας νερού από το φυτικό ιστό, στη μείωση της συνολικής μεταβολικής δραστηριότητας, στην αναστολή μικροβιακής

ανάπτυξης και στη μείωση των μεταβολών της υφής, της διατροφικής αξίας, του αρώματος και της γεύσης (Arah et al., 2015). Γενικά, διαπιστώθηκε πως με μία ώρα καθυστέρηση μεταξύ της συγκομιδής της καλλιέργειας και της ψύξης, επέρχεται απώλεια μιας ημέρας στην διάρκεια ζωής των νωπών προϊόντων (Paul, 1999; Arah et al., 2015). Ωστόσο, η ψύξη καρπών τομάτας ενδέχεται να οδηγήσει σε αλλοίωση του αρώματος, μιας και οι σχετικές πτητικές ενώσεις είναι ευαίσθητες σε θερμοκρασίες κάτω των 12°C και η απώλεια τους μειώνει σημαντικά την ποιότητα του αρώματος και της γεύσης, συνολικά (Zhang et al., 2016).

Η Vinha και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα μελετώντας την επίδραση της θερμοκρασίας και διάρκειας αποθήκευσης τριών ποικιλιών τομάτας, συντηρούμενες υπό ψύξη στους 6°C, 12°C και 25°C με ελεγχόμενη σχετική υγρασία, μεταξύ 90-95%, κατέληξαν πως η ιδανική θερμοκρασία για τη διατήρηση των βέλτιστων φυσιολογικών, βιοχημικών και μικροβιολογικών χαρακτηριστικών αυτών είναι 12°C (Vinha et al., 2013). Για τον ίδιο χρόνο αποθήκευσης, παρατήρησαν ότι ο διπλασιασμός της θερμοκρασίας από 6°C σε 12°C, οδήγησε σε αύξηση των επιπέδων των διαφόρων μορίων, για παράδειγμα, οι τομάτες Cereja παρουσίασαν 1.5 φορές υψηλότερα επίπεδα λυκοπενίου στους 12°C, ενώ τα ποσά ολικών διαλυτών στερεών αυξήθηκαν στις θερμοκρασίες 12°C και 25°C και στις τρεις ποικιλίες τομάτας.

Σε άλλη έρευνα, αξιολογώντας την επίδραση δύο διαφορετικών θερμοκρασιών αποθήκευσης (10°C, 20°C) στην ποιότητα στο τοματάκι, διεξήχθη το συμπέρασμα πως στους 20°C οι τομάτες απέδειξαν μεγαλύτερη απώλεια σταθερότητας των καρπών, με την πάροδο του χρόνου (Distefano et al., 2020). Αντίθετα, με την αποθήκευσή τους υπό ήπιες συνθήκες στρες, 10°C, βελτιώθηκε η σταθερότητα των καρπομετρικών χαρακτηριστικών -βάρος καρπού, σταθερότητα, χρώμα- που έχουν εμπορική σημασία, χωρίς αλλοιώσεις των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την αντίληψη της γεύσης -περιεκτικότητα αναγωγικών σακχάρων, διαλυτά στερεά/ολική οξύτητα και pH-. Τέλος, η αποθήκευση στους 10°C ενίσχυσε τη συσσώρευση ολικών πολυφαινολών και τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα, τη συγκέντρωση τόσο του φυτοενίου όσο και του φυτοφλουενίου, πιθανώς αναστέλλοντας τον ενζυμικό τους αποκορεσμό, προς δημιουργία λυκοπενίου.

### *iii. Βλάβη λόγω ψύχους (Chilling injury)*

Η ποιότητα και η διάρκεια αποθήκευσης, μετά τη συγκομιδή των τοματών, μπορεί να περιοριστεί εξαιτίας κρυοτραυματισμού. Είναι εφικτό να λάβει χώρα σε διαφορετικά στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της μετακίνησης ή της διανομής στην αγορά, σε

ψυγεία λιανικής ή οικιακής χρήσης, ακόμη και στον αγρό κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης (Biswas et al., 2016). Η βλάβη λόγω ψύχους αναφέρεται σε μια μη αναστρέψιμη φυσιολογική διαταραχή, που παρατηρείται στον φυτικό ιστό, εκτιθέμενος σε θερμοκρασίες κάτω από ένα κρίσιμο όριο (Lyons & Breidenbach, 1987; Pangaribuan, 2005). Οι τομάτες, ανάλογα με το στάδιο ωριμότητας, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε κρυοτραυματισμούς, σε θερμοκρασίες κάτω από 12-13°C. Συγκεκριμένα, για τις ώριμες-πράσινες τομάτες αναφέρεται ως ελάχιστη θερμοκρασία αυτή των 13°C και «προβληματικό κοκκίνισμα» το είδος βλάβης, μόλις εκτεθούν κάτω από αυτήν, ενώ αντίστοιχα για τις πλήρως ώριμες, αυτή των 8°C και το έντονο μαλάκωμα ως το αποτέλεσμα έκθεσης κάτω από αυτήν (Biswas et al., 2016).

Είναι γνωστό πως ο κρυοτραυματισμός αναπτύσσεται σε δύο στάδια, αναφερόμενα ως πρωτογενή και δευτερεύοντα γεγονότα, με τα πρώτα να ξεκινούν όταν το προϊόν αποθηκεύεται υπό κρίσιμες θερμοκρασίες, που προκαλούν μεταβολική δυσλειτουργία, οδηγώντας τελικά σε εσωτερική βλάβη των κυττάρων. Συνέπεια των πρωτογενών, λοιπόν, είναι τα δευτερεύοντα γεγονότα, τα οποία οδηγούν σε κυτταρικό θάνατο και ορατά συμπτώματα (Raison & Orr, 1990; Biswas et al., 2016). Οι βλάβες που προκαλούνται από τη θερμοκρασία ψύξης, συνήθως, καθίστανται εμφανείς μόνο όταν οι καρποί εκτεθούν ξανά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Τα κύρια συμπτώματα είναι η άνιση ή μερική ωρίμανση, το μαλάκωμα των φρούτων, η αυξημένη ευαισθησία σε μετασυλλεκτικές ασθένειες από παθογόνους μύκητες, η υδαρής στιγματώση και η επιφανειακή κηλίδωση (Pangaribuan, 2005; Βασιλακάκης, 2014).

Ένας ιδιαίτερος τύπος βλάβης λόγω ψύχους στην τομάτα είναι η απώλεια αρωματικών ενώσεων (Kader et al., 1978; Farneti et al. 2015). Η ψύξη καρπών τομάτας στους 5°C για μία εβδομάδα, με επακόλουθη ωρίμανση στους 20°C, είχε σαν απόρροια τη μείωση του αρώματός τους, ενώ τομάτες που αποθηκεύτηκαν στους 2, 5, 10 ή 12,5°C κατείχαν λιγότερο άρωμα, συγκριτικά με τους συντηρούμενους καρπούς στους 20°C (Kader et al., 1978; Maul et al., 2000; Biswas et al., 2016).

#### *iv. Σχετική υγρασία*

Η σχετική υγρασία, κατά την αποθήκευση, είναι ένας άλλος καθοριστικός περιβαλλοντικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει άμεσα την απώλεια νερού. Οι καρποί τομάτας αποτελούνται κυρίως από νερό και όταν συγκομίζονται, σταματάει η παροχή νερού και ξεκινούν οι απώλειες (μάρανση), που οφείλονται στην εξάτμιση ή και στη διαπνοή (Βασιλακάκης, 2014). Η απώλεια νερού από τη συγκομιδή των φρούτων προκαλείται, κυρίως, από την ποσότητα

υγρασίας που υπάρχει στον αέρα του περιβάλλοντος, εκφραζόμενη ως σχετική υγρασία (Hong et al., 1999).

Συνθήκες, όπως η υψηλή θερμοκρασία και η χαμηλή σχετική υγρασία, έχουν ως αποτέλεσμα την απώλεια νερού, η οποία προκαλεί με τη σειρά της απώλεια βάρους και τελικά, την αλλοίωση, την αφυδάτωση των καρπών τομάτας και επομένως, τη μείωση της εμπορικής τους αξίας (FAO, 2018; Pangaribuan, 2005). Η απώλεια νερού από ένα φρούτο εξαρτάται, πρωτίστως, από τη διαφορά πίεσης υδρατμών μεταξύ καρπού και ατμόσφαιρας αποθήκευσης, καθώς και από το μέγεθος της αντίστασης στην κίνηση των υδρατμών μεταξύ καρπού και αέρα (Pangaribuan, 2005).

Σε πολύ υψηλή σχετική υγρασία, τα φρούτα που συλλέγονται διατηρούν τη θρεπτική τους αξία, την εμφάνιση, το βάρος και τη γεύση τους, μειώνοντας παράλληλα τον ρυθμό μεταβολικών διεργασιών, όπως είναι η μάρανση και το μαλάκωμα. Η πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε νερό καθιστά ευαίσθητους τους καρπούς της τομάτας στη συρρίκνωση, μετά τη συγκομιδή. Η μάρανση των φρούτων λαμβάνει χώρα, εμφανώς, με οποιοδήποτε μικρό ποσοστό απώλειας υγρασίας. Οι βέλτιστες τιμές σχετικής υγρασίας για πράσινες-ώριμες τομάτες κυμαίνονται από 85–95% (v/v), αλλά 90–95% (v/v) για τους σκληρούς ώριμους καρπούς (Suslow & Cantwell, 2009). Κάτω από το βέλτιστο εύρος, η εξατμισοδιαπνοή αυξάνεται, καταλήγοντας σε συρρικνωμένα φρούτα. Από την άλλη μεριά, θα πρέπει να αποφεύγεται η πλήρως κορεσμένη ατμόσφαιρα 100% σχετικής υγρασίας, καθώς η συμύκνωση υγρασίας στις επιφάνειες των φρούτων ενισχύει την ανάπτυξη ευρωτίασης και μυκήτων (Arah et al., 2015).

#### *v. Συνδυασμός αερίων*

Ο συνδυασμός διαφορετικών αερίων σε περιβάλλον αποθήκευσης είναι πολύ σημαντικός για την επέκταση της διάρκειας ζωής των καρπών τομάτας. Η βέλτιστη ατμόσφαιρα που απαιτείται για την αναστολή του γηρασμού σε πράσινα-ώριμα και ώριμα φρούτα τομάτας είναι 3-5% (v/v) οξυγόνου, αλλά για το διοξείδιο του άνθρακα είναι 1-3% (v/v) και 1–5% (v/v), αντιστοίχως, ενώ απαιτείται 94-96% (v/v) αζώτου (Sandhya, 2010; Arah et al., 2015). Η πολύ χαμηλή παροχή οξυγόνου μπορεί να έχει επιζήμια επίδραση στα φρούτα, προκαλώντας αναερόβια αναπνοή, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) έχει διερευνηθεί ως αέριο για τη θεραπεία φρούτων και έχει βρεθεί ότι επιταχύνει την ωρίμανση (Beckles, 2012). Είναι απαραίτητο, επομένως, να εξισορροπηθεί το μονοξείδιο του άνθρακα με το χαμηλό οξυγόνο, ώστε να καθυστερήσει ο γηρασμός στους καρπούς (Arah et al., 2015). Το μονοξείδιο του

άνθρακα επιβραδύνει τις μετασυλλεκτικές προσβολές παθογόνων, βελτιώνοντας παράλληλα ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τοματών. Για παράδειγμα, οι τομάτες που αποθηκεύτηκαν σε 5-10% (v/v) μονοξειδίου του άνθρακα και 4% (v/v) οξυγόνο, κατείχαν ανώτερα επίπεδα ολικών διαλυτών στερεών και ογκομετρούμενης οξύτητας, σε σύγκριση με τα δείγματα ελέγχου που αποθηκεύτηκαν στον αέρα (Kadder, 1983; Arah et al., 2015). Παρ' όλα αυτά, η χρήση μονοξειδίου του άνθρακα στη βιομηχανία τροφίμων είναι περίπλοκη, εξαιτίας των κινδύνων για την ανθρώπινη υγεία και ως εκ τούτου, πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή.

#### **2.1.4 Επεξεργασία τομάτας**

Η επεξεργασία της τομάτας ξεκίνησε το 1847 όταν ο Harrison Woodhull Crosby, επιστάτης των αγρών στο κολλέγιο Lafayette, ανέπτυξε μία χοντρική μέθοδο κονσερβοποίησης της. Πριν από το 1890 η κονσερβοποίηση της τομάτας γινόταν χειρονακτικά. Οι βιομηχανικές τεχνικές βελτιώθηκαν με την τεχνολογία κονσέρβας και ο τοματοχυμός εμφανίστηκε στην αγορά, μετά την ανάπτυξη συστήματος εκχύλισης χυμού, το 1920. Στα τέλη του 1960, η μηχανική συγκομιδή, όντας πλέον εφικτή, ώθησε τη βιομηχανία να βελτιστοποιήσει τις τεχνικές χειρισμού και επεξεργασίας τομάτας, παρέχοντας πληθώρα προϊόντα αυτής.

Τα συγκεκριμένα φρούτα καταναλώνονται νωπά, εντούτοις δύνανται να μεταποιηθούν σε πουρέ, πάστα ή τοματοπελτέ, συμπυκνωμένους χυμούς και κέτσαπ, ενώ οι κονσερβοποιημένες ξεφλουδισμένες ή μη, ακέραιες ή τεμαχισμένες και οι αφυδατωμένες τομάτες, υπό μορφή σκόνης ή νιφάδων είναι, οικονομικά, τα πιο σημαντικά επεξεργασμένα προϊόντα τομάτας (Dam et al., 2005).

Ο τοματοχυμός αφορά οποιονδήποτε χυμό τομάτας, που εγκυτιώνεται σε πλαστικά κουτιά ή φιάλες, ενώ το προϊόν που παρασκευάζεται από χυμό τομάτας και υπόκειται ελαφρά συμπύκνωση, ώστε τα στερεά συστατικά, προερχόμενα από το χυμό, να είναι τουλάχιστον 6%, λέγεται ελαφρώς συμπυκνωμένος χυμός τομάτας.

Ο τοματοπολτός ή πολτός τομάτας ονομάζεται το προϊόν συμπύκνωσης του σαρκώδους χυμού των νωπών καρπών της τομάτας, με αποβολή μέρους του νερού αυτών και ανάλογα με το βαθμό συμπύκνωσης, διακρίνεται σε διάφορους τύπους: ημισυμπυκνωμένος-16%, απλής συμπύκνωσης-22%, διπλής-28%, τριπλής-36%, πελτές τύπου Θήρας-40%.

Η πάστα τομάτας (*tomato paste*) παρασκευάζεται από καλά βρασμένες τομάτες, στραγγισμένες, που έχουν μετατραπεί σε πυκνό, υπόγλυκο συμπύκνωμα, ενώ η κέτσαπ

προέρχεται από τοματοπολτό με βαθμό συμπύκνωσης 30%, με την προσθήκη ζάχαρης, ξυδιού, αλατιού, σκόρδου ή κρεμμυδιού, διαφόρων καρυκευμάτων, αρωμάτων και κόκκινου πιπεριού.

## 2.2 Ενεργή συσκευασία

Ο παραδοσιακός ρόλος της συσκευασίας των τροφίμων συνεχίζει να εξελίσσεται ως απάντηση στις μεταβαλλόμενες ανάγκες της αγοράς. Η ζήτηση των καταναλωτών για ασφαλέστερα, που προάγουν την υγεία και υψηλής ποιότητας προϊόντα, ιδανικά με μεγάλη διάρκεια ζωής, καθώς και η ζήτηση για εύκολες στη χρήση, διαφανείς συσκευασίες, προερχόμενες από βιώσιμα υλικά, οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών συσκευασίας, όπως η ενεργή συσκευασία (Yildirim et al., 2018).

Παράλληλα, οι τελευταίες εκτιμήσεις των ετήσιων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, παγκοσμίως, προερχόμενων από απόβλητα τροφίμων (4.4 GtCO<sub>2</sub> eq) είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων εκπομπών από τους τομείς μεταφοράς (1.9 GtCO<sub>2</sub> eq) και ηλεκτρικής ενέργειας (1.8 GtCO<sub>2</sub> eq) μαζί, μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες (EPA, 2020). Η ενεργή συσκευασία, λοιπόν, υπόσχεται και προσφέρει μια νέα προσέγγιση στη μείωση των αποβλήτων και της απώλειας τροφίμων, σε μια εποχή όπου κυριαρχεί η μειωμένη επεξεργασία, η ελάχιστη χρήση προσθέτων και οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της αλυσίδας εφοδιασμού, διατηρώντας παράλληλα τα σύγχρονα συστήματα παραγωγής (Sand, 2020).

Όπως ορίζεται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 450/2009, η ενεργή συσκευασία περιλαμβάνει συστήματα συσκευασίας, που αλληλεπιδρούν με το τρόφιμο, κατά τρόπο ώστε να «ενσωματώνουν, σκοπίμως, συστατικά που θα απελευθερώνουν ή απορροφούν ουσίες μέσα ή από το συσκευασμένο προϊόν ή το περιβάλλον του». Ως εκ τούτου, τα υλικά ενεργής συσκευασίας «δύνανται να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής ή να διατηρήσουν την κατάσταση των συσκευασμένων προϊόντων» (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009; Yildirim et al., 2018). Αποτελεί, επομένως, ένα σύνολο από τεχνικές που δρουν συμπληρωματικά προς την κύρια συσκευασία ενός τροφίμου, συμβάλλοντας στη συντήρησή του με οποιονδήποτε τρόπο, εκτός από το να ενεργεί ως αδρανής φράκτης που απομονώνει το συσκευασμένο προϊόν από το περιβάλλον του (Μπλούκας, 2004).



### 2.2.1 Μορφές και συστήματα ενεργής συσκευασίας

Τα διαφορετικά συστήματα ενεργής συσκευασίας εφαρμόζονται υπό διάφορες μορφές (Εικόνα 2.4) (Gómez-Estaca et al., 2014; Almasi et al., 2020):

i. *Προσθήκη μικρών φακέλων ή επιθεμάτων, που περιέχουν ενεργούς-δραστικούς παράγοντες, στη συσκευασία:* Σε αυτά τα συστήματα, οι φάκελοι απελευθέρωσης ή απορρόφησης τοποθετούνται στο εσωτερικό της συσκευασίας τροφίμων. Παραδείγματα αποτελούν οι προσροφητές οξυγόνου και υγρασίας, καθώς και συστήματα απελευθέρωσης αιθανόλης.

ii. *Επικάλυψη ενεργών-δραστικών ενώσεων πάνω στην επιφάνεια του πολυμερούς.* Σε αυτόν τον τύπο ενεργής συσκευασίας, επικαλύπτεται ένα λεπτό στρώμα της δραστικής ένωσης στην εσωτερική επιφάνεια του πολυμερούς της συσκευασίας και είναι κατάλληλος για θερμοευαίσθητους ενεργούς-δραστικούς παράγοντες ή εκείνους που είναι μη αναμίξιμοι με τη μήτρα του πολυμερούς.

iii. *Ακινητοποίηση ενεργών-δραστικών ενώσεων σε πολυμερή μέσω ιοντικών ή ομοιοπολικών δεσμών:* Για τον συγκεκριμένο τύπο απαιτείται η παρουσία λειτουργικών ομάδων τόσο στον ενεργό-δραστικό παράγοντα όσο και στο πολυμερές. Η ισχυρή σύνδεση των δραστικών ενώσεων στα πολυμερή επιτρέπει την αργή τους απελευθέρωση στο προϊόν. Ωστόσο, πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η πιθανή μείωση της δραστικότητας των βιοενεργών ουσιών, εξαιτίας της ακινητοποίησης.

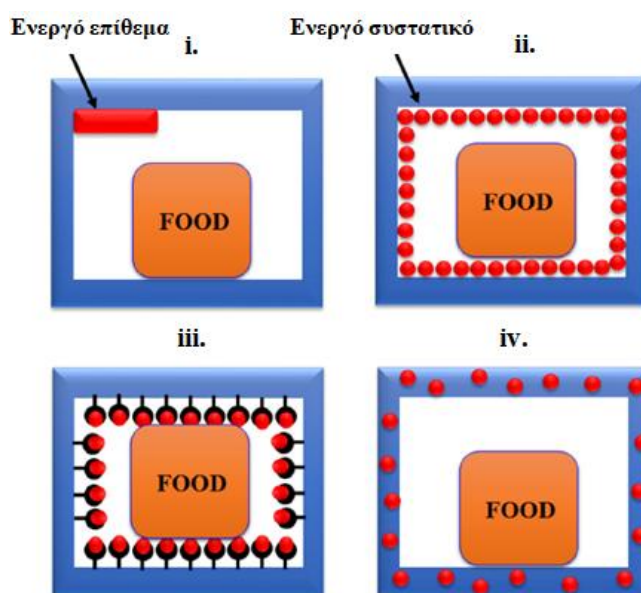
iv. *Άμεση ενσωμάτωση δραστικών ενώσεων σε πολυμερή:* Συνιστά τον πιο κοινό τύπο συστήματος ενεργής συσκευασίας τροφίμων, με κύρια χαρακτηριστικά την ομοιόμορφη κατανομή του δραστικού παράγοντα στη μήτρα του πολυμερούς, την υψηλή αντοχή στις συνθήκες επεξεργασίας του πολυμερούς, τη μη επιρροή των ιδιοτήτων του πολυμερούς και την αργή απελευθέρωση στα τρόφιμα.

v. *Χρήση εγγενώς βιοδραστικών πολυμερών:* Ορισμένα βιοπολυμερή, ιδίως η χιτοζάνη, είναι εγγενώς αντιμικροβιακά και δύνανται η χρήση τους ως αντιμικροβιακή συσκευασία προϊόντων. Σε αυτή την κατηγορία δεν υφίσταται άλλος τύπος δραστικών ενώσεων.

vi. *Χρήση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων:* Βιοδραστικές ενώσεις ενσωματώνονται σε βιοπολυμερή, προς δημιουργία εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων.

Στις υποενότητες 2.2.2 και 2.2.3 θα αναλυθούν περαιτέρω οι περιπτώσεις i και vi, όντας και αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής. Τα συστήματα ενεργής συσκευασίας ταξινομούνται σε συστήματα δέσμευσης (προσροφητές) και σε συστήματα

απελευθέρωσης (εκπομποί) και στον Πίνακα 2.3 συνοψίζονται οι σπουδαιότερες τεχνολογίες αυτών και των πιθανών οφελών τους σε εφαρμογές τροφίμων (Yildirim et al., 2018). Τα συστήματα δέσμευσης αφαιρούν ανεπιθύμητες ενώσεις από το προϊόν ή το περιβάλλον του, για παράδειγμα, υγρασία, διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο, αιθυλένιο ή δυσάρεστες οσμές, ενώ οι εκπομποί απελευθερώνουν ενώσεις στο συσκευασμένο τρόφιμο ή στον κενό χώρο άνωθεν του προϊόντος, όπως αντιμικροβιακές ενώσεις, διοξείδιο του άνθρακα, αντιοξειδωτικά, αρώματα, αιθυλένιο ή αιθανόλη. Επίσης, ορισμένες δραστικές ενώσεις μπορούν να έχουν διττό ρόλο, όπως είναι ορισμένα αιθέρια έλαια που αποτελούν τόσο αντιοξειδωτικά όσο και αντιμικροβιακούς παράγοντες (Vilela et al. 2018).



**Εικόνα 2.4.** Μορφές σχεδιασμού συστημάτων ενεργής συσκευασίας τροφίμων: i. Προσθήκη ενεργών φακέλων ή επιθεμάτων, ii. Επικάλυψη επιφάνειας πολυμερούς με δραστικές ενώσεις, iii. Ακίνητοποίηση δραστικών ενώσεων στο πολυμερές, iv. Άμεση ενσωμάτωση δραστικών ενώσεων στο πολυμερές (Almasi et al., 2020).

ο Οι προσροφητές οξυγόνου σταματούν την οξείδωση και αναστέλλουν την ανάπτυξη μικροβίων. Ο συνηθέστερος μηχανισμός είναι ο σίδηρος ακολουθούμενος από ασκορβικό οξύ, διθειονικό νάτριο, κατεχόλη, ενώ χρησιμοποιούνται και ένζυμα, συμπεριλαμβανομένης της οξειδάσης της γλυκόζης και της καταλάσης (Μπλούκας, 2004). Φάνηκε πως η προσθήκη προσροφητών οξυγόνου στο εσωτερικό του καπακιού της μύρας, δύναται να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μύρας κατά 15% (Sand, 2020). Η επιλογή του κατάλληλου προσροφητή οξυγόνου εξαρτάται από (Μπλούκας, 2004): τη φύση του προϊόντος (μέγεθος, σχήμα, βάρος), τη ενεργότητα νερού ( $a_w$ ) του τροφίμου, την ποσότητα οξυγόνου που είναι διαλυμένη στο τρόφιμο, την αρχική συγκέντρωση οξυγόνου στο ελεύθερο διάστημα της συσκευασίας, τη διαπερατότητα

του υλικού συσκευασίας σε οξυγόνο και την επιδιωκόμενη διάρκεια συντήρησης του προϊόντος. Τέλος, εφαρμόζονται στα τρόφιμα είτε τοποθετημένοι μέσα σε πλαστικό φάκελο (sachet), προσαρμοσμένο στο ελεύθερο διάστημα της συσκευασίας, είτε ενσωματωμένοι σε επιθέματα, που προσκολλώνται στο εσωτερικό της συσκευασίας ή εσωτερικά πολύφυλλων μεμβρανών, που αποτελούν μέρος της συσκευασίας του προϊόντος, όπως η οξειδάση της γλυκόζης (Μπλούκας, 2004).

- ο Οι δεσμευτές αιθυλενίου επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των προϊόντων, επιβραδύνοντας τη διαδικασία ωρίμανσης και γήρανσης. Μεταξύ των ουσιών που χρησιμοποιούνται για τη δέσμευση του αιθυλενίου είναι το υπερμαγγανικό κάλιο ( $\text{KMnO}_4$ ) σε ποσοστό 4-6%, ενσωματωμένο σε αδρανές υλικό, όπως η πηκτή πυριτικού οξέος. Το προαναφερθέν σύστημα τοποθετείται σε φακελάκι, ώστε να μην έλθει σε επαφή το υπερμαγγανικό κάλιο με το προϊόν, όντας τοξικό και εφαρμόζεται, κυρίως, σε συσκευασίες μπανάνας, ακτινιδίων, avocados, κ.ά. (Yildirim et al., 2018). Επίσης, μεταλλικοί καταλύτες με ενεργό άνθρακα και ορισμένα ορυκτά σε σκόνη, όπως ο ζεόλιθος, ενσωματωμένα στην πλαστική μεμβράνη από την οποία θα κατασκευαστεί η σακούλα συσκευασίας νωπών φρούτων και λαχανικών, χρησιμοποιούνται ως δεσμευτές αιθυλενίου (Janjarasskul & Suprakul, 2018).

- ο Τα συστήματα δέσμευσης υγρασίας ελέγχουν την υγρασία στον ελεύθερο χώρο μιας συσκευασίας και απορροφούν νερό, το οποίο είτε προέρχεται από την αναερόβια αναπνοή νωπών προϊόντων, είτε συνιστά μαζί με υδατοδιαλυτές ουσίες τον αποβαλλόμενο από από συσκευασμένο κρέας ή/και ψάρι, παρατείνοντας τελικά, τη διάρκεια ζωής τους. Για την περίπτωση του νωπού κρέατος, πουλερικών και αλιευμάτων χρησιμοποιούνται αποστειρωμένα επιθέματα, τοποθετημένες στη βάση της συσκευασίας, που περιέχουν οργανικές ουσίες, όπως πολυακρυλικά άλατα, καρβοξυ-μεθυλο-κυτταρίνη κ.ά., έχοντας την ικανότητα να απορροφούν ποσότητα νερού 500 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με το βάρος τους (Μπλούκας, 2004). Για την προσρόφηση υγρασίας από το εσωτερικό της συσκευασίας χρησιμοποιούνται, επίσης, προπυλενική γλυκόλη, πηκτή πυρριτίου, τοποθετημένα μέσα σε πλαστικά σακίδια, ώστε να μην έρχονται σε επαφή με το τρόφιμο (Yildirim et al., 2018).

**Πίνακας 2.3.** Συστήματα ενεργής συσκευασίας (Yildirim et al., 2018; Μπλούκας, 2004).

Συστήματα/Σπουδαιότεροι μηχανισμοί	Εφαρμογές σε τρόφιμα	Πιθανά οφέλη
<b>Συστήματα δέσμευσης</b>		
<b>1. Σύστημα δέσμευσης οξυγόνου</b> α. Σκόνη σιδήρου, διθειονικό νάτριο β. Ασκορβικό οξύ, ασκορβικά άλατα γ. Κατεχόλη δ. Οξειδάση της γλυκόζης / καταλάση	Ψωμί, κέικ, μπισκότα, πίτσα, ζυμαρικά, τυρί, προϊόντα κρέατος και ψαριών, καφές, αφυδατωμένα προϊόντα, αναψυκτικά, ξηροί καρποί, τηγανητά σνακς	Πρόληψη αποχρωματισμού & ανάπτυξης ευρωτίωσης, διατήρηση περιεκτικότητας βιταμίνης C, αποφυγή καφετιάσματος & ταγγίσματος
<b>2. Σύστημα δέσμευσης αιθυλενίου</b> α. Υπερμαγγανικό κάλιο β. Ενεργός άνθρακας, ορυκτά σε σκόνη	Κλιμακτηριακά φρούτα & λαχανικά, λοιπά οπωροκηπευτικά προϊόντα	Μείωση ωρίμανσης & γήρανσης, βελτίωση ποιότητας και επέκταση διάρκειας ζωής
<b>3. Σύστημα απορρόφησης υγρασίας</b> α. Επιθέματα κυτταρίνης β. Πηκτή πυριτίου κ.ά. γ. Προπυλενική γλυκόλη	Ψάρια, κρέατα, πουλερικά, σνακς, δημητριακά, σάντουιτς, φρούτα και λαχανικά	Διατήρηση ή μείωση περιεχόμενης υγρασίας, θετική επίδραση στην εμφάνιση, μείωση καφετιάσματος ή αποχρωματισμού
<b>4. Σύστημα απορρόφησης ουσιών με ανεπιθύμητη οσμή και γεύση</b> α. Τριοξική κυτταρίνη β. Άλατα σιδήρου & οργανικών οξέων γ. Αλουμινο-πυριτικός ζεόλιθος δ. Ενεργός άνθρακας/πηλός/ζεόλιθος	Φρούτα, χυμοί φρούτων, σνακς, τηγανισμένα, ψάρια, δημητριακά, πουλερικά, προϊόντα γάλακτος	Βελτίωση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τελικού προϊόντος & επέκταση διάρκειας ζωής του
<b>Συστήματα απελευθέρωσης</b>		
<b>1. Σύστημα απελευθέρωσης αντιοξειδωτικών</b> α. Εκχύλισμα βοτάνων, αιθέρια έλαια β. Αντιοξειδωτικά BHA, BHT, Βιταμίνη E γ. Χηλικοποιητές	Δημητριακά, κρέατα, ψάρια, ψωμί, τυρί, φρούτα, λαχανικά, snacks, πίτσα, κέικ, ψωμί, μπισκότα κ.ά.	Βελτίωση της οξειδωτικής σταθερότητας
<b>2. Σύστημα εκπομπής CO<sub>2</sub></b> α. Δικαρβονικό νάτριο β. Ανθρακικός σίδηρος/καταλύτης αλογόνου	Νωπά κρέατα και ψάρια, προϊόντα κρέατος, τυριά, προϊόντα αρτοποιίας	Επέκταση μικροβιολογικής διάρκειας ζωής, μείωση ελεύθερου χώρου συσκευασίας με τροποποιημένη ατμόσφαιρα
<b>3. Σύστημα αντιμικροβιακής συσκευασίας</b> α. Αιθανόλη, Σορβικά, Πτητικό ClO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> β. Εκχύλισμα βοτάνων, αιθέρια έλαια γ. Βακτηριοσίνες (νισίνη)	Αρτοσκευάσματα, πίτσα, ημι-αφυδατωμένα αλειύματα, πουλερικά, φρούτα-επιτραπέζια σταφύλια	Αναστολή ή καθυστέρηση βακτηριακής ανάπτυξης, παράταση διάρκειας ζωής

ο Σύστημα απορρόφησης ουσιών με ανεπιθύμητη οσμή και γεύση, αποτελεί η τριοξική κυτταρίνη, που ενσωματώνονται στην χάρτινη συσκευασία των χυμών, προσροφά τη λεμονίνη, το τετρατερπενοειδές που οφείλεται για την πικρή τους γεύση. Τα ψάρια, επίσης, περιέχουν σε μεγάλη ποσότητα αμίνες, που προκύπτουν από τη διάσπαση των πρωτεϊνών και προσδίδουν δυσάρεστες οσμές, υποβαθμίζοντας την ποιότητα του προϊόντος. Κατά την ενεργή συσκευασία των ψαριών, στην πολύφυλλη μεμβράνη του περιέκτη, ενσωματώνονται άλατα σιδήρου και οργανικών οξέων, όπως το κιτρικό και το ασκορβικό οξύ, τα οποία οξειδώνουν την αμίνη όταν αυτή προσροφηθεί στο πολυμέρες με το οποίο το προϊόν έρχεται σε επαφή (Μπλούκας, 2004).

ο Μια άλλη προσέγγιση ενεργής συσκευασίας αφορά τον περιορισμό της οξείδωσης, μέσω της συμπερίληψης φυσικών και συνθετικών αντιοξειδωτικών στο υλικό συσκευασίας. Τα αντιοξειδωτικά χρησιμοποιούνται για την αναστολή της οξείδωσης των λιπών, των θρεπτικών συστατικών και των χρωστικών στα τρόφιμα μέσω του τερματισμού των ελεύθερων ριζών, που σχηματίζονται υπό οξειδωτικές συνθήκες ή της απομάκρυνσης των προοξειδωτικών ενώσεων. Τα φυσικά αντιοξειδωτικά βρίσκονται σε μεγάλο βαθμό σε φρούτα, λαχανικά και βότανα ως πλούσιες σε ηλεκτρόνια βιταμίνες (βιταμίνη C και βιταμίνη E), χρωστικές ουσίες (καροτενοειδή, φλαβονοειδή και ανθοκυανίνες), καθώς και φυσικές φαινολικές ενώσεις (κατεχίνες και φαινολικά οξέα) που αποδέχονται εύκολα και σταθεροποιούν τις ελεύθερες ρίζες (Sand, 2020). Οι ηλικιωμένοι είναι μια άλλη κατηγορία αντιοξειδωτικών, που διερευνήθηκε πρόσφατα για τη χρήση τους στην ενεργή συσκευασία και εμποδίζει τον σχηματισμό ελεύθερων ριζών, δεσμεύοντας προοξειδωτικά είδη μετάλλων, εξαλείφοντας τελικά την ανάπτυξη ελεύθερων ριζών πριν από την οξειδωτική αποδόμηση (Herskovitz & Goddard 2020; Tian et al., 2013).

ο Τα συστήματα εκπομπής CO<sub>2</sub> εφαρμόζονται στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, όπου τα υψηλά επίπεδα του βακτηριοστατικού και μυκητοστατικού CO<sub>2</sub> (10-80%) χρησιμοποιούνται, συνήθως, για την επέκταση της φάσης προσαρμογής και τη μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, κατά την εκθετική φάση των μικροοργανισμών αλλοίωσης (αερόβια, Gram-, ψυχρότροφα βακτήρια) στις επιφάνειες νωπού κρέατος, πουλερικών, τυριών ή προϊόντων αρτοποιίας (Chaix et al., 2014). Ένα σύστημα εκπομπής CO<sub>2</sub> αποτελεί το δικαυγονικό νάτριο σε σακίδιο, το οποίο τοποθετείται στον πυθμένα της συσκευασίας λιπαρών ψαριών ή/και προϊόντων κρέατος, προστατεύεται από πορώδες υλικό και ενεργοποιείται από την επαφή του με τον από που εξέρχεται από το προϊόν και συγκεντρώνεται στον πυθμένα (Μπλούκας, 2004). Το δεύτερο

σύστημα, που περιέχει σε σακίδιο ανθρακικό σίδηρο και μεταλλικό καταλύτη, ενδείκνυται για την ενεργή συσκευασία, που αφενός δεσμεύει το οξυγόνο και ταυτόχρονα παράγει ίσο όγκο CO<sub>2</sub>, αποτρέποντας την παραμόρφωση του περιέκτη.

ο Η αντιμικροβιακή συσκευασία τροφίμων παρουσιάζει ένα σύστημα σχεδιασμένο να αναστέλλει την ανάπτυξη αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Συνήθως, στόχος είναι σταδιακή διάχυση των αντιμικροβιακών παραγόντων, όπως είναι τα αιθέρια έλαια, ένζυμα, οι βακτηριοσίνες, τα αντιμικροβιακά πολυμερή (χιτοζάνη), οργανικά οξέα, τα παράγωγά τους και άλλες οργανικές ενώσεις, επιτυγχάνοντάς τον είτε με την παρουσία ενός εκπομπού, είτε μέσω άμεσης επαφής με ακινητοποιημένες ουσίες σε μια επιφάνεια επαφής (Lee et al., 2015). Έχουν διερευνηθεί και άλλες προσεγγίσεις αντιμικροβιακών ενεργών συσκευασιών, συμπεριλαμβανομένης της προσθήκης μικρών φακέλων, της ανάμιξης αντιμικροβιακών παραγόντων στο υλικό συσκευασίας, της εσωτερικής επικάλυψης των υλικών συσκευασίας και της παραγωγής πτητικών αντιμικροβιακών παραγόντων εντός της συσκευασίας (Sand, 2020). Η επιλογή του παράγοντα εξαρτάται περισσότερο από το προϊόν, λαμβάνοντας υπόψη ότι ορισμένα αντιμικροβιακά είναι αποτελεσματικά μόνο σε συγκεκριμένα όρια pH και  $a_w$ . Οι κύριοι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί πρέπει, επίσης, να ληφθούν υπόψη (Lee et al., 2015; Liu et al., 2017). Για παράδειγμα, η υψηλή αντιμικροβιακή δραστηριότητα του διοξειδίου του χλωρίου, σε ουδέτερο pH, το καθιστά ιδανικό παράγοντα κατά των κοινών στελεχών της *Listeria monocytogenes* και επομένως για τη διατήρηση ωμών πουλερικών και θαλασσιών (Dehghani et al., 2018). Επιπλέον, πολλά οργανικά οξέα χρησιμοποιούνται στη συντήρηση θαλασσιών, σκοπεύοντας στη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων, με μεγάλη επιτυχία (Qiu et al., 2014). Τα οργανικά οξέα κυριαρχούν επίσης και στη βιομηχανία ποτών, ως μέρος των εσωτερικών επιφανειών των συσκευασιών χυμού, τόσο με αντιμικροβιακές όσο και με αντιοξειδωτικές ικανότητες (Lee et al., 2015).

### **2.2.2 Εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις**

Σήμερα, λόγω των περιβαλλοντικών ανησυχιών, τα συνθετικά και με βάση το πετρέλαιο υλικά, που εφαρμόζονται στη βιομηχανία συσκευασίας, αντικαθίστανται από φιλικά προς το περιβάλλον συστατικά, με τις σύγχρονες μεμβράνες και επικαλύψεις να διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας ενώσεις, οι οποίες λαμβάνονται από φυσικές πηγές (Hassan et al., 2018; Luangapai et al., 2019). Αποτέλεσμα είναι η χρήση εδώδιμων, βιοδιασπώμενων και

ανανεώσιμων υλικών για τη μερική ή ολική αντικατάσταση υλικών συσκευασίας με βάση το πετρέλαιο, αυξάνοντας το ενδιαφέρον της παγκόσμιας αγοράς για την εδώδιμη συσκευασία.

Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις είναι λεπτά στρώματα από εδώδιμα υλικά, με πάχος γενικά μικρότερο από 0.3 mm, που αποσκοπούν στην προστασία και τη βελτίωση της ποιότητας του τελικού προϊόντος και συγκαταλέγονται, συνήθως, ως αναπόσπαστο μέρος του (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019; Parreidt et al., 2018; Ribeiro et al., 2020). Αν και η λειτουργία τους στο τελικό προϊόν είναι η ίδια, οι μεμβράνες και οι επικαλύψεις παρουσιάζουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ενώ μια εδώδιμη επικάλυψη εφαρμόζεται και σχηματοποιείται, με τεχνικές ψεκασμού, εμβάπτισης ή επάλειψης/διασποράς, απευθείας στην επιφάνεια του τροφίμου, μια εδώδιμη μεμβράνη παράγεται ξεχωριστά, αρχικά με διαδικασίες μορφοποίησης με διαλύτη, με συμπίεση ή εξώθηση, αποτελώντας ανεξάρτητη σταθερή δομή, η οποία προστίθεται πάνω ή μεταξύ των συστατικών των τροφίμων (Dhumal & Sarkar, 2018; Murrieta-Martínez et al., 2018; Ribeiro et al., 2020). Οι επικαλύψεις εφαρμόζονται σε υγρή μορφή, συνήθως βυθίζοντας το προϊόν σε ένα διάλυμα, ενώ οι μεμβράνες μορφοποιούνται πρώτα ως στερεά φύλλα και μετά εφαρμόζονται ως περιτύλιγμα στο τελικό προϊόν (Ganiari et al. 2017).

Η εδώδιμη συσκευασία είναι μια αρχαία παλαιά τεχνολογία, που χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για την προστασία των τροφίμων και την αποφυγή της αλλοίωσης των συστατικών τους. Η πρώτη αναφορά χρονολογείται από το έτος 589 π.Χ., που σχετίζεται με την ανακάλυψη του λουκάνικου, όπου η εδώδιμη συσκευασία χρησιμοποιήθηκε για τη συντήρηση κρεάτων, όντας επικαλυμμένα με μικρά τμήματα του εντερικού τοιχώματος (Mcrobbie, 2016; Ribeiro et al., 2020). Κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, αυτή η βιομηχανία έχει υποστεί αξιοσημείωτη επέκταση, με την πρόληψη της απώλειας νερού και την προσθήκη λάμψης στα φρούτα και τα λαχανικά ως κύριες εφαρμογές της. Η συμβολή των εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων εξελίσσεται, συμπεριλαμβανομένων των κάτωθι (Montero-Calderón et al., 2016):

- ✓ Έλεγχος φαινομένων μεταφοράς μάζας
- ✓ Αναστολή μικροβιακής ανάπτυξης και καταστολή φυσιολογικών διαταραχών
- ✓ Μείωση των οξειδωτικών αντιδράσεων
- ✓ Διατήρηση της σταθερότητας
- ✓ Βελτίωση της εμφάνισης του προϊόντος
- ✓ Ενσωμάτωση λειτουργικών συστατικών

Όλα τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα συμβάλλουν στην επέκταση της διάρκειας ζωής φρούτων και λαχανικών (Rojas-Graü et al., 2011; Jianglian & Shaoying, 2013). Παρ' όλα αυτά, η κατανόηση του ρόλου της εδώδιμης συσκευασίας απαιτεί την εξέταση τόσο της σύνθεσής της, όσο και των χαρακτηριστικών του προϊόντος όπου πρέπει να επικαλυφθεί, καθώς και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του τροφίμου και του υλικού συσκευασίας (Montero-Calderón et al., 2016).

#### *2.2.2.1 Σύνθεση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων*

Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις παρασκευάζονται από διαλύματα που περιλαμβάνουν διαφορετικές ομάδες συστατικών (i) μια μήτρα που σχηματίζεται από ένα συνεκτικό δομημένο βιοπολυμερές, (ii) πρόσθετα όπως πλαστικοποιητές, διασταυρωτές, και επιφανειοδραστικά που ενισχύουν τις λειτουργικές και μηχανικές ιδιότητες της συσκευασίας και (iii) έναν διαλύτη, που εξαιτίας των τελικών απαιτήσεων του προϊόντος, σχετικά με τη διατροφή, μπορεί να είναι μόνο νερό ή αιθανόλη, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν και ως φορείς αρκετών δραστικών συστατικών, όπως χρωστικές, αρώματα, θρεπτικά συστατικά, αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ενώσεις, οι οποίες μπορούν να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής, να βελτιώσουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και να ενισχύσουν τη θρεπτική αξία του τελικού προϊόντος (Mkandawire & Aryee 2018; Ribeiro et al., 2020).

Τα υδροκολλοειδή -πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες- και τα λιπίδια είναι τα βιοπολυμερή που χρησιμοποιούνται συνήθως στη σύνθεση εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων, με τα σπουδαιότερα παραδείγματα αυτών να συνοψίζονται στην Εικόνα 2.5 (Luangapai et al. 2019). Τα υδροκολλοειδή αποτελούνται από μεγάλα μόρια με πολλές υδροξυλομάδες, γεγονός που τα καθιστά υδρόφιλα. Η παραπάνω χημική δομή δυσχεραίνει τον έλεγχο της μετανάστευσης υδρατμών, οδηγώντας στη χρήση μεμβρανών πολυσακχαριτών και πρωτεϊνών μόνο ως συμπληρωματικούς φραγμούς, όπου η μεταφορά των υδρατμών λαμβάνει χώρα στη συσκευασία αντί για την επιφάνεια του τροφίμου (Parreidt et al. 2018). Παρ' όλα αυτά, τα υδροκολλοειδή παρουσιάζουν πλεονεκτήματα όταν εφαρμόζονται σε μεμβράνες και επικαλύψεις, με τους πολυσακχαρίτες να λειτουργούν άριστα ως φραγμοί αερίου και τις πρωτεΐνες να βελτιώνουν τη μηχανική συνεκτικότητα αυτών και να δρουν ως φραγμοί οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα και πτητικών αρωματικών ενώσεων (Calva-Estrada et al., 2019; Luangapai et al. 2019). Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων υδροκολλοειδών σχετίζεται με τη σύνθεσή τους, καθώς οι πολυσακχαρίτες είναι ομοπολυμερή που σχηματίζονται από ένα μονομερές επαναλαμβανόμενων



μονάδων και οι πρωτεΐνες είναι ετεροπολυμερή αποτελούμενα από περισσότερα από 20 αμινοξέα.

Οι πρωτεΐνες μπορούν να ληφθούν από ζωικές ή φυτικές πηγές. Οι κύριες πρωτεΐνες που λαμβάνονται από ζωικές πηγές είναι πρωτεΐνες ορού γάλακτος, καζεΐνες, ζελατίνη και κολλαγόνο, ενώ από φυτικές πηγές είναι η ζελατίνη του αραβοσίτου, η γλουτένη σίτου και η πρωτεΐνη σόγιας, μεταξύ άλλων (Rojas-Graü et al., 2011; Montero-Calderón et al., 2016). Χρησιμοποιώντας ζεΐνη και διαφορετικούς συνδυασμούς φαινολικών οξέων, όπως γαλλικό, βανιλλικό και κινναμωμικό οξύ, αιθέρια έλαια, όπως καρβακρόλη, θυμόλη, ευγενόλη, κιτράλη και φαινολικά εκχυλίσματα από γαρίφαλο, ρίγανη και φλοιούς αγκινάρας και καρυδιών, οι Alkan και Yemencioğlu απέδειξαν ότι αυτές οι εδώδιμες μεμβράνες με βάση τις πρωτεΐνες δύνανται να ελέγξουν βακτηριακές μολύνσεις και αλλοιώσεις σε μολυσμένα στελέχη δέντρων, επιφάνειες εδάφους και εργαλεία αγρονομίας ή σε φρούτα και λαχανικά (Alkan & Yemencioğlu, 2016).



*Εικόνα 2.5. Τύποι εδώδιμων πολυμερών (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019).*

Οι πολυσακχαρίτες μπορεί να προέρχονται από φυτά, όπως η κυτταρίνη και τα παράγωγά της, η πηκτίνη και το άμυλο, εκχυλίσματα φυκιών, όπως το αλγινικό και η καρραγενάνη, εκχυλίσματα κελύφους καρκινοειδών, για παράδειγμα η χιτοζάνη και πολυσακχαρίτες που εκκρίνονται από βακτήρια, όπως η ζελλάνη (Rojas-Graü et al., 2011; Montero-Calderón et al., 2016). Οι επικαλύψεις πολυσακχαριτών, αν και ως φραγμοί υγρασίας είναι γενικά αδύνατες, δύνανται, εν μέρει, να ελέγξουν την απώλεια νερού. Ο Adetunji και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα μελέτησαν την επίδραση γέλης *Aloe vera* σε φρέσκο ανανά, σχετικά με την απώλεια

βάρους και τη συνεκτικότητά τους καθ' όλη τη διάρκεια αποθήκευσης στους  $27 \pm 2^\circ\text{C}$  και 50%-60% σχετική υγρασία (RH) (Adetunji et al., 2012). Η απώλεια βάρους μειώθηκε για τον επικαλυμμένο με γέλη *Aloe vera* ανανά, ενώ η συνεκτικότητα διατηρήθηκε καλύτερα, σε σύγκριση με τα μη επικαλυμμένα φρούτα. Οι επικαλύψεις και οι μεμβράνες χιτοζάνης εφαρμόζονται συνήθως σε αγγούρια, φράουλες, πιπεριές, μήλα, ροδάκινα, αχλάδια και δαμάσκηνα, λόγω της ικανότητάς τους να επιβραδύνουν την ωρίμανση σε φρούτα και λαχανικά (Hassan et al., 2018). Για παράδειγμα η χιτοζάνη εφαρμόστηκε με τη μορφή εκχυλίσματος ή ως νανοσωματίδια χιτοζάνης σε βιοενεργές επικαλύψεις με εκχύλισμα φλοιού ροδιού, για την προστασία των φρούτων από διαφορετικούς τύπους μυκήτων (Alotaibi et al., 2019).

Οι μεμβράνες και επικαλύψεις από λιπίδια είναι εξαιρετικά εύθραυστες και παχύτερες, λόγω της υδροφοβικότητάς τους (Riberio et al., 2020). Τα λιπίδια, παρόλο που δεν σχηματίζουν αυτό-υποστηριζόμενες δομές μεμβράνης, μπορούν να αποτελούν μέρος της σύνθεσης των μεμβρανών και επικαλύψεων, μειώνοντας τις εκπομπές υδρατμών (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019). Ο Fabra και οι συνεργάτες του, παρασκεύασαν διαφορετικές εδώδιμες μεμβράνες προσθέτοντας λιπίδια σε αλγινικά εκχυλίσματα (Fabra et al., 2018). Τα λιπιδικά διαλύματα, ελαϊκού οξέος και ελαίου σόγιας χρησιμοποιήθηκαν για τη βελτίωση της διαπερατότητας των υδρατμών των τελικών επικαλύψεων, όπως και επιτεύχθηκε εξαιτίας των μοριακών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών της μεμβράνης.

Όπως σημειώθηκε, όλα τα βιοπολυμερή που χρησιμοποιούνται στη συσκευασία τροφίμων παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα, που διέπουν τη χρήση τους στη σύνθεση μεμβράνης και επικάλυψης (Ribeiro et al., 2020). Η επίλυση του παραπάνω προβλήματος επέρχεται συνδυάζοντας όλες τις παραπάνω κατηγορίες ενώσεων, σε συγκεκριμένες ποσότητες και με καθορισμένους τύπους μακρομορίων, ώστε να σχηματίσουν σύνθετα υλικά, επωφελούμενα από τις ιδιότητες κάθε μεμονωμένου συστατικού και τη συνέργεια μεταξύ των (Ganiari et al. 2017). Όταν παρήχθησαν εδώδιμες επικαλύψεις με ανάμειξη αλγινικού και χιτοζάνης, διατηρήθηκαν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των φρέσκων σύκων, ενώ βελτιώθηκαν σημαντικά οι βιοδραστικές τους ιδιότητες, όπως οι ιδιότητες φραγής αερίων, το ολικό περιεχόμενο πολυφαινολών και η αντιοξειδωτική ικανότητα, γεγονός που αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα αυτών των προστατευτικών συσκευασιών (Reyes-Avalos et al. 2019). Σύνθετες μεμβράνες, συνδυάζοντας άμυλο και πρωτεΐνες σίτου, χρησιμοποιήθηκαν για τη διασφάλιση της ποιότητας των σταφυλιών, κατά την αποθήκευσή τους, με το ολικό περιεχόμενο

σε φαινορικά και καροτενοειδή, την ικανότητα δέσμευσης υγρασίας, τη διάρκεια ζωής και την ποιότητα των σταφυλιών να διατηρούνται για 13 ημέρες (Punia et al., 2019).

#### *2.2.2.2 Ιδιότητες εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων φυτικών προϊόντων*

Λόγω της άμεσης επαφής τους με τρόφιμα, οι μεμβράνες και οι επικαλύψεις πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις, συμπεριλαμβανομένων αποδεκτών οργανοληπτικών χαρακτηριστικών, επαρκή βιοχημική, φυσικοχημική και μικροβιακή σταθερότητα, απουσία τοξικών και ασφάλεια (Murrieta-Martínez et al., 2018). Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των υλικών εδώδιμης συσκευασίας εξαρτώνται από τη σύνθεσή τους και από την αλληλεπίδρασή τους με το επικαλυμμένο φρούτο, λαχανικό ή σύστημα τροφίμων. Η απόκριση στη μεμβράνη ή επικάλυψη μπορεί να ποικίλλει μεταξύ των προϊόντων, καθ' όλο το χειρισμό και την αποθήκευση, τόσο για φρέσκα όσο και για ελάχιστα επεξεργασμένα φρούτα και λαχανικά (Montero-Calderón et al., 2016).

Οι ιδιότητες της επιφάνειας και της μικροδομής σχετίζονται με την ανάπτυξη εφαρμογών μεμβράνης και επικάλυψης για προϊόντα φρούτων και λαχανικών (Ribeiro et al., 2007; Montero-Calderón et al., 2016). Η διαβρεξιμότητα καταδεικνύει πόσο καλά το διάλυμα της επικάλυψης-μεμβράνης διαβρέχει και καλύπτει ομοιόμορφα την επιφάνεια των φρούτων. Λαμβάνει υπόψη τη γωνία επαφής, την επιφανειακή τάση υγρού-ατμού και σχετίζεται με το πάχος και την ομοιομορφία του τελικού στρώματος. Η συνάφεια ή η προσκόλληση της επικάλυψης στον καρπό είναι επίσης κρίσιμη. Η προσκόλληση πρέπει να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερη, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί σε φρούτα και λαχανικά με διαφορετικά υλικά ως βάση, για παράδειγμα, αλγινικό και ζελλάνη για φρέσκα μήλα (Rojas-Graü et al., 2011). Εάν η προσκόλληση δεν είναι αρκετά υψηλή, θα επέλθει φθορά της επίστρωσης κατά το χειρισμό και την αποθήκευση. Η συνοχή, το αποτέλεσμα της αντοχής των δυνάμεων μεταξύ των μοριακών ενώσεων της επικάλυψης, θα καθορίσει επίσης, έντονα, τα χαρακτηριστικά του εδώδιμου στρώματος. Επιπλέον, το πάχος του στρώματος έχει άμεση σχέση με τις οπτικές ιδιότητες της μεμβράνης ή της επικάλυψης και εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες όπως η σύνθεση της επικάλυψης, το μέγεθος των σωματιδίων και η διαβρεξιμότητα (Rojas-Graü et al., 2009).

Απεναντίας, η μεταφορά μάζας μεταξύ του προϊόντος και του περιβάλλοντός του εξαρτάται από τη θερμοκρασία, καθώς και από τη διαφορά συγκέντρωσης μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής ατμόσφαιρας του προϊόντος και των ιδιοτήτων φραγμού των μεμβρανών ή επικαλύψεων. Επειδή τα φαινόμενα αναπνοής και διαπνοής είναι σημαντικά τόσο στα φρέσκα

όσο και στα φρεσκοκομμένα προϊόντα, η αντίσταση στη διάχυση υδρατμών και η διαπερατότητα σε O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> χρησιμοποιούνται συχνά ως κριτήρια επιλογής της βέλτιστης μεμβράνης ή επικάλυψης για ένα συγκεκριμένο προϊόν (Montero-Calderón et al., 2016). Η διαπερατότητα υδρατμών είναι μια σημαντική ιδιότητα που επηρεάζει, επίσης, τη διαπνοή και την απώλεια βάρους κατά την αποθήκευση. Η διαπερατότητα στο νερό των στρωμάτων βιοπολυμερούς είναι πολύ ευαίσθητη σε αλλαγές, κατά τη σύνθεση των επικαλύψεων. Για επικαλύψεις με βάση πολυσακχαρίτες, η διαπερατότητα είναι υψηλή και μπορεί να επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του πολυσακχαρίτη, καθώς και από άλλα συστατικά του σκευάσματος (Rojas-Graü et al., 2011). Επομένως, για τις επικαλύψεις πρωτεϊνών ή πολυσακχαριτών σε φρούτα και λαχανικά, είναι απαραίτητη η συμπερίληψη ενός λιπιδίου, για τη μείωση της υδρόφιλης φύσης της επικάλυψης, αυξάνοντας, έτσι, την αντίσταση υδρατμών της.

Η μικροδομή εδώδιμων μεμβρανών έχει σημαντική επίδραση τόσο στις μηχανικές ιδιότητες όσο και στις ιδιότητες φραγμού. Η σταθερότητα των γαλακτωμάτων και του μεγέθους των σωματιδίων λίπους μπορεί να έχει άμεση επίδραση στην προκύπτουσα επικάλυψη (Montero-Calderón et al., 2016). Οι Chiumarelli και Hubinger αξιολόγησαν εδώδιμες επικαλύψεις με άμυλο μανιόκας, κερύ carnauba και στεατικό οξύ και διαπίστωσαν ότι μικρότερα σωματίδια λιπιδίων, διαμέτρου μικρότερης των 1.2 μm, οδήγησαν σε πιο σταθερά γαλακτώματα και επικαλύψεις (Chiumarelli & Hubinger, 2012).

Οι οπτικές ιδιότητες είναι το αποτέλεσμα του ανακλώμενου, απορροφούμενου και μεταδιδόμενου φωτός μέσω ενός συγκεκριμένου στρώματος και επηρεάζονται τόσο από την εσωτερική, όσο και την επιφανειακή δομή του εδώδιμου υλικού, εξαρτώμενες σε μεγάλο βαθμό από τη δομή της μεμβράνης -μέγεθος σταγονιδίων και κατανομή της διασποράς σχηματισμού μεμβράνης-, τη σύνθεση -περιεκτικότητα σε λιπίδια και παρουσία επιφανειοδραστικών- και τις εξωτερικές συνθήκες, όπως η σχετική υγρασία και ο χρόνος αποθήκευσης (Fabra et al., 2009a; Montero-Calderón et al., 2016). Για μη αναμίξιμες ενώσεις, το μέγεθος σωματιδίων της φάσης διασποράς, η ετερογένεια της κατανομής τους, καθώς και οι διαφορές μεταξύ των δεικτών διάθλασης των διαφόρων φάσεων, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαφάνεια του εδώδιμου στρώματος. Η στιλπνότητα των εδώδιμων επικαλύψεων μειώνεται γενικά με τασιενεργές ουσίες και λιπίδια και όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα των επιφανειοδραστικών ουσιών, τόσο μειώνεται η στιλπνότητα της επικάλυψης (Fabra et al., 2009b). Η τραχύτητα της επιφάνειας αναφέρεται στο πόσο ομαλή είναι μια επιφάνεια και εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων,

τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός και τις αλλαγές στον δείκτη διάθλασης (Barco Hernandez et al. 2011; Montero-Calderón et al., 2016). Ο Villalobos και οι συνεργάτες του επεσήμαναν ότι η τραχύτητα της φλούδας μπανάνας, σχετίζεται αντιστρόφως με τη στιλπνότητά της (Villalobos et al., 2005). Τέλος, μελέτες με αρκετές μεμβράνες υδροκολλοειδών συμπεραίνουν ότι η στιλπνότητα αυξάνεται γραμμικά με τη συγκέντρωση του πολυμερούς (Montero-Calderón et al., 2016).

### 2.2.2.3 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε φυτικά προϊόντα

Η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων στα τρόφιμα εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα, οι μηχανικές, οπτικές και λειτουργικές ιδιότητες, οι ιδιότητες φραγμού, η αντίσταση της δομής, η οργανοληπτική αποδοχή του τελικού προϊόντος, που με τη σειρά τους επηρεάζονται από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί ως δομικό υπόστρωμα της μεμβράνης ή επικάλυψης, τις συνθήκες λειτουργίας τη διαδικασία παραγωγής, για παράδειγμα ξήρανση, τον τύπο και τη συγκέντρωση των προστιθέμενων δραστικών παραγόντων, συνθήκες που πρέπει να αναλυθούν προσεκτικά πριν από τη σύνθεση μίας εδώδιμης μεμβράνης και επικάλυψης (Ganiari et al., 2017; Ribeiro et al., 2020).

Στην περίπτωση φρούτων και λαχανικών, ο κύριος ρόλος τους είναι η μείωση απώλειας υγρασίας, διατηρώντας τη συνεκτικότητα, τις παραμέτρους υφής και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των φυτικών προϊόντων. Πιο συγκεκριμένα, οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις ελαχιστοποιούν τις μετασυλλεκτικές απώλειες αυτών, επιβραδύνοντας τον ρυθμό φυσικών, χημικών και ενζυμικών αλλαγών (Da Cruz, 2019). Στον Πίνακα 2.4 συνοψίζονται οι πιο πρόσφατες εφαρμογές τους σε νωπά φυτικά προϊόντα.

Ενεργές εδώδιμες επικαλύψεις από νανογαλάκτωμα πουλουλάνης-αιθέριων ελαίων κανέλας συνετέλεσαν στη μείωση απώλειας μάζας, του ποσοστού αποσύνθεσης, έχοντας και θετικά αποτελέσματα στη συνεκτικότητα, στα συνολικά διαλυτά στερεά και στην ογκομετρούμενη οξύτητα καρπών φράουλας, αποθηκευμένων σε θερμοκρασία δωματίου (Chu et al., 2020). Η Boyacı με τους συνεργάτες της κατέληξαν πως ανтимικροβιακές επικαλύψεις ζεϊνης (17.1% w/v), με διαφορετικά αιθέρια έλαια, καρβακρόλη, θυμόλη ( $\geq 2\%$  w/w), ευγενόλη ( $\geq 3\%$  w/w), δύνανται να αναστείλουν την ανάπτυξη *E. coli* και *L. innocua* σε πεπόνια (Boyacı et al., 2019). Εδώδιμες μεμβράνες από νανοσωματίδια χιτοζάνης-θυμόλης σε μύρτιλα και τοματάκια

απέδωσαν υψηλή αντιμικροβιακή δράση κατά των παθογόνων *L. innocua*, *S. Typhimurium*, *S. aureus* και ιδιότητες φραγής υδρατμών σε μύρτιλα και τοματάκια (Medina et al., 2019).

Σε άλλη έρευνα αναφέρθηκε πως οι επικαλύψεις κόμμεως χαρουπιού 0.5% w/v και χιτοζάνης 1% w/v, εμπλουτισμένες και οι δύο με εκχύλισμα φλοιών ροδιού (0.361 g./mL), αναστέλλουν την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό του *Penicillium digitatum* στα πορτοκάλια (Kharchoufi et al., 2018).

Ο Zhang και οι υπόλοιποι ερευνητές κατασκεύασαν μεμβράνες χιτοζάνης 2% w/w, εμπλουτισμένες με εκχύλισμα φλούδας μπανάνας 4% v/v, έχοντας λεία και συμπαγή δομή με εξαιρετική αντιοξειδωτική δράση, υψηλή αντοχή στον εφελκυσμό, αποδίδοντας βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες σε μήλα και δρώντας ως αποτελεσματικοί φραγμοί στην ανταλλαγή αερίων (Zhang et al., 2019). Η υψηλότερη αντοχή εφελκυσμού οφειλόταν στον υψηλότερο βαθμό σταθερών σταυροδεσμών μεταξύ των φαινολικών του φλοιού μπανάνας και του υποστρώματος χιτοζάνης, ενώ η μειωμένη διαπερατότητα υγρασίας και υδρατμών, στη δέσμευση ομάδων -OH και -CHO των φαινολικών ενώσεων στη μήτρα χιτοζάνης, μειώνοντας έτσι την αλληλεπίδρασή της με μόρια νερού (Nair et al., 2020; Zhang et al., 2019). Τα παραπάνω συνετέλεσαν στη μείωση του ρυθμού αναπνοής, στην επιβράδυνση απώλειας βάρους και στη διατήρηση των ολικών διαλυτών στερεών, της ογκομετρούμενης οξύτητας και του περιεχόμενου ασκορβικού οξέος κατά την αποθήκευση των μήλων σε θερμοκρασία δωματίου.

Επιπλέον, οι επικαλύψεις 10% αραβικού κόμμεως (GA) και 1% καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC), με 10% εκχύλισμα φύλλων *Moringa oleifera* απέδειξαν τη μέγιστη διατήρηση μάζας (3,66%) και συνεκτικότητας (62,37N) του αβοκάντο κατά την αποθήκευσή του, ενώ τα ενεργώς επικαλυμμένα αβοκάντο με 10% και 15% GA, με εκχύλισμα φύλλων *Moringa oleifera*, κατέστειλαν την ανάπτυξη των *C. gloeosporides* κατά 28 και 33%, αντίστοιχα, (Kubheka et al., 2020).

Σε άλλη έρευνα, βελτιώθηκε το ανασταλτικό αποτέλεσμα εδώδιμων επικαλύψεων με βάση τη χιτοζάνη (5 και 7.5 mg/mL), καθόσον εμπλουτίστηκαν με (0.15, 0.3, 0.6 και 1.25 μL/mL) αιθέρια έλαια μέντας (*M. piperita* L. ή *Mentha×villosa*), έναντι διαφορετικών στελεχών του *C. gloesporioides* και *C. brevisporum*. Επίσης, οι επικαλύψεις αποτελούμενες από 5 mg/mL χιτοζάνης και 0.6 ή 1.25 μL/mL *M. piperita* L. ή *Mentha×villosa* καθυστέρησαν την ανάπτυξη της μυκητιακής νόσου, ανθρακνόζης, στις επικαλυμμένες παπάγιες που αποθηκεύτηκαν για 10 ημέρες στους 25°C (dos Passos Braga et al., 2019).

**Πίνακας 2.4.** Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε φυτικά προϊόντα.

Βιοπολυμερές	Ενεργό συστατικό	Τρόφιμο	Αποτέλεσμα	Αναφορά
<i>Εδώδιμες επικαλύψεις</i>				
Αραβικό κόμμα και καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη	Εκχύλισμα φύλλων <i>Moringa oleifera</i>	Αβοκάντο	Μείωση απώλειας μάζας, διατήρηση υψηλής συνεκτικότητας, καταστολή ανάπτυξης <i>C. gloeosporioides</i>	Kubheka et al. (2020)
Πουλουλάνη	Νανογαλάκτωμα αιθέριων ελαίων κανέλας	Φράουλες	Μείωση απώλειας μάζας και ποσοστού αποσύνθεσης, διατήρηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών	Chu et al. (2020)
Ζεΐνη	Καρβακρόλη, θυμόλη, ευγενόλη	Πεπόνια	Αναστολή ανάπτυξης <i>E. coli</i> και <i>L. innocua</i>	Boyacı et al. (2019)
Άμυλο (jicama) και κ-καραγεννάνη	-	Σταφύλι ( <i>Vitis vinifera</i> L.)	Αύξηση ποσοστού βιταμίνης C, μείωση απώλειας βάρους	Wahjuningsih et al. (2019)
Χιτοζάνη	Αιθέρια έλαια μέντας	Παπάγια	Αναστολή ανάπτυξης <i>C. gloeosporioides</i> και <i>C. brevisporum</i> , επιβράδυνση εμφάνισης ανθρακνόςης	dos Passos Braga et al. (2019)
Κόμμα χαρουπιού και χιτοζάνη	Εκχύλισμα φλοιών ροδιού	Πορτοκάλια	Αναστολή ανάπτυξης και πολλαπλασιασμού <i>Penicillium digitatum</i>	Kharchoufi et al. (2018)
<i>Εδώδιμες Μεμβράνες</i>				
Άμυλο (cassava)	Αιθέριο έλαιο γαριφάλου	Μπανάνες	Μείωση απώλειας βάρους, βελτίωση ποιότητας, αύξηση διάρκειας ζωής	Sousa et al. (2019)
Χιτοζάνη-πρωτεΐνη κινόας	Νανοσωματίδια χιτοζάνης-θυμόλης	Μύρτιλα και τοματάκια	Υψηλή αντιμικροβιακή δράση κατά <i>L. innocua</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Aureus</i> , φραγμός υδρατμών	Medina et al. (2019)
Καραγεννάνες	Εκχύλισμα πράσινου τσαγιού	Μύρτιλα και σμέουρα	Αντικές μεμβράνες, παράταση διάρκειας ζωής φρούτων, διατήρηση συνεκτικότητας, βελτιστοποίηση εμφάνισης	Falcó et al. (2019b)
Χιτοζάνη	Εκχύλισμα φλοιών μπανάνας	Μήλα	Υψηλή αντιοξειδωτική ικανότητα, φραγμός υδρατμών, μείωση ρυθμού αναπνοής και απώλειας βάρους	Zhang et al. (2019)

Από την άλλη πλευρά, φρέσκο σπανάκι παρουσίασε σημαντική μείωση του ρυθμού αναπνοής (54-70%), αφού επικαλύφθηκε με ναοϊνώδη κυτταρίνη (NFC), βελτιώνοντας ταυτόχρονα τη διάρκεια ζωής του (Pasaphol et al., 2019). Συγκεκριμένα, τα επικαλυμμένα φύλλα σπανακιού με συγκεντρώσεις ναοκυτταρίνης 0,3 και 0,5% w/v απέδωσαν τη σημαντικότερη διατήρηση εμφάνισης, χλωροφύλλης, χρώματος και υγρασίας μετά από αποθήκευση 3 ημερών στους 25 °C.

#### 2.2.2.4 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε ποικιλίες νωπής τομάτας

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.), όντας κλιμακτηριακό φρούτο, έχει σχετικά μικρή διάρκεια μετά τη συγκομιδή, καθώς λαμβάνουν χώρα διεργασίες και διάφοροι παράγοντες, που προκαλούν την απώλεια ποιότητας, όπως η διαπνοή, οι μετασυλλεκτικές ασθένειες, η αυξημένη ωρίμανση και η γήρανση. Οι εδώδιμες επικαλύψεις δημιουργούν μια τροποποιημένη ατμόσφαιρα και καθίστανται ένας ημιπερατός φραγμός μεταφοράς O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, υγρασίας και διαλυτών συστατικών, μειώνοντας έτσι τους ρυθμούς απώλειας νερού, οξειδωτικών αντιδράσεων και της αναπνοής (Ali et al., 2010). Πρόσφατες εφαρμογές εδώδιμων επικαλύψεων και μεμβρανών σε διαφορετικές ποικιλίες νωπής τομάτας αναλύονται παρακάτω και συνοψίζονται στον Πίνακα 2.5.

Το 2020 η Firdous και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα διερεύνησαν την ανάπτυξη και βελτιστοποίηση εδώδιμης επικάλυψης με βάση τη γέλη *Aloe vera* και μελέτησαν την επίδρασή της στις φυσικοχημικές παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα και την ασφάλεια της τομάτας, κατά την αποθήκευσή της στους 9 ± 1°C για 30 ημέρες (Firdous et al., 2020). Οι τομάτες που επικαλύφθηκαν με διάλυμα αποτελούμενο από 80% γέλη *Aloe vera*, 3% καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC), 2% χλωριούχο ασβέστιο, 4% ασκορβικό οξύ και 2% γλυκερόλη, κατέδειξαν παρατεταμένη διάρκεια ζωής έως 35 ημέρες, εν αντιθέσει με την ταχεία επιδείνωση των μη επικαλυμμένων δειγμάτων, με εκτιμώμενο χρόνο ζωής τις 14 ημέρες. Συγκεκριμένα, το ποσοστό απώλειας βάρους, η αλλαγή μεγέθους, το ποσοστό αποσύνθεσης, η αλλαγή χρώματος και η μείωση συνεκτικότητας ήταν τα υψηλότερα 20, 13, 92, 31.69 και 37%, αντίστοιχα, για τα δείγματα-μάρτυρες, ενώ τις ελάχιστες τιμές αυτών 4, 0.4, 7.69, 19.73 και 11.46%, αντίστοιχα, εμφάνισαν οι επικαλυμμένες τομάτες.

Σύνθετες εδώδιμες επικαλύψεις από πηκτίνη, άλευρα καλαμποκιού και παντζαριού, με 50% w/v γλυκερόλη και 1% ταρταρικό οξύ ως αντιμικροβιακό παράγοντα, ελαχιστοποίησαν την αποσύνθεση μετά τη συγκομιδή, μείωσαν την ωρίμανση και βελτίωσαν την οργανοληπτική



αξιολόγηση νωπών τοματών, αποθηκευμένων στους 25°C και 80–85% σχετική υγρασία για 30 ημέρες (Sucheta et al., 2019b). Η επικάλυψη πηκτίνης και αλεύρου καλαμποκιού σε αναλογία 1:1 αποτέλεσε τη βέλτιστη εφαρμογή, ελαχιστοποιώντας την απώλεια βάρους και το ποσοστό αποσύνθεσης, επιβραδύνοντας την αναπνοή, διατηρώντας τα φαινολικά οξέα και την αντιοξειδωτική ικανότητα και τέλος, έχοντας μικρότερη αποδόμηση συστατικών κυτταρικού τοιχώματος στα τοματάκια όπου εφαρμόστηκαν.

**Πίνακας 2.5.** Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε ποικιλίες νωπής τομάτας.

Βιοπολυμερή	Ενεργά συστατικά	Ποικιλία	Αποτέλεσμα	Αναφορά
<i>Εδώδιμες επικαλύψεις</i>				
Γέλη <i>Aloe vera</i> - CMC	Ασκορβικό οξύ	Τομάτα (Aquila)	Επέκταση διάρκειας ζωής, μείωση ποσοστών μεταβολών φυσικοχημικών παραμέτρων	Firdous et al., 2020
Πηκτίνη	Ταρταρικό οξύ, άλευρα καλαμποκιού & πατζαριού	Τοματάκι	Μείωση απώλειας βάρους & ποσοστού αποσύνθεσης, επιβράδυνση αναπνοής, διατήρηση αντιοξειδωτικής ικανότητας	Sucheta et al., 2019b
Αλγινικό & Χιτοζάνη	Εκχύλισμα <i>Flourensia cernua</i>	Τομάτα	Μείωση ανταλλαγής αερίων & παραγωγής αιθυλενίου, αναστολή ωρίμανσης	Salas-Méndez et al., 2019
Χιτοζάνη	Εκχύλισμα σπόρων γκρέιπφρουτ	Τοματάκι (Koko)	Αναστολή μικροβιακής ανάπτυξης & μείωση απώλειας βάρους	Won et al., 2018
Κόμμι γκουάρ	-	Roma	Ελάττωση ρυθμού αναπνοής & διατήρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών	Ruelas- Chacon et al., 2017
<i>Εδώδιμες Μεμβράνες</i>				
Άμυλο κάνναβης-γέλη <i>Aloe vera</i>	Εκχύλισμα τζίντζερ & κουρκουμά	Τομάτα	Επιβράδυνση απώλειας βάρους & μεταβολής υφής, επέκταση διάρκειας ζωής	Sedyadi et al., 2019
Αγαρ	Χιτοζάνη & νανολιποσώματα ελαίου <i>Artemisia annua</i>	Τοματάκι	Αναστολή ανάπτυξης <i>Escherichia coli</i> O157:H7	Cui et al., 2017

Σε μελέτη που διεξήχθη το 2019, των Salas-Méndez και άλλων ερευνητών, παρήχθησαν νανοπολυστρωματικές επικαλύψεις διαλυμάτων πολυηλεκτρολυτών, αλγινικού και χιτοζάνης, εμπλουτισμένων με εκχύλισμα *Flourensia cernua* (ενδημικό φυτό των άνυδρων και ημιάνυδρων περιοχών του Μεξικού), 0.2% w/v και 0.6% w/v αντίστοιχα, στοχεύοντας στην επέκταση της διάρκειας ζωής της τομάτας (Salas-Méndez et al., 2019). Η συνεργιστική επίδραση της

πολυστρωματικής επικάλυψης και του εκχυλίσματος είχε ως αποτέλεσμα τη μειωμένη διαπερατότητα σε υγρασία και οξυγόνο των καρπών, κατά την αποθήκευσή τους στους 20°C και 85% σχετική υγρασία για 15 ημέρες, σε σύγκριση με τα μη επικαλυμμένα φρούτα. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι η παραπάνω εφαρμογή επιβράδυνε την απώλεια βάρους, διατήρησε τη συνεκτικότητα και το χρώμα, ενώ μείωσε την ανταλλαγή αερίων και την παραγωγή αιθυλενίου, τα οποία με τη σειρά τους ανέστειλαν την ωρίμανση στις επικαλυμμένες τομάτες, παρέχοντάς τους αντιμικροβιακή δράση κατά την αποθήκευση (Bernard et al., 2020; Salas-Méndez et al., 2019).

Ο Won και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα (Won et al., 2018) μελέτησαν την εφαρμογή εδώδιμης επικάλυψης με βάση τη χιτοζάνη σε τοματάκια, η οποία φάνηκε να επιδρά προστατευτικά για τα φρούτα έναντι της *Salmonella* και κατά συνέπεια να ενισχύει τη διάρκεια αποθήκευσής τους. Συγκεκριμένα, το μείγμα χιτοζάνης με την προσθήκη εκχυλίσματος σπόρων σταφυλιού σε διαφορετικές συγκεντρώσεις (0.5, 0.7, 1.0 και 1.2 (w/w)) ανέστειλε επιτυχώς την ανάπτυξη της *Salmonella* και της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε τοματάκια σε θερμοκρασία αποθήκευσης 25 °C, ενώ παράλληλα επιβράδυνε την απώλεια βάρους τους.

Ομοίως, οι επικαλύψεις κόμμεως γκουάρ 1.5%, με προσθήκη γλυκερόλης 30% επιβράδυναν τον ρυθμό αναπνοής, και διατήρησαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε τομάτες Roma, κατά την αποθήκευσή τους στους 22 ± 2°C και σχετική υγρασία 40%, για 20 ημέρες (Ruelas-Chacon et al., 2017).

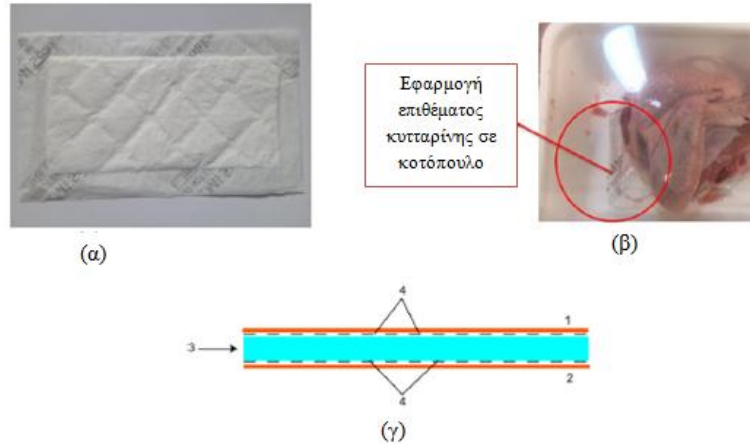
Τέλος, η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών από άμυλο κάνναβης και γέλη *Aloe vera* εμπλουτισμένων με 0.75% τόσο εκχύλισμα κουρκουμά, όσο και τζίντζερ, με τη μέθοδο επικάλυψης σε τομάτες, φάνηκε να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής τους (Sedyadi et al., 2019). Ειδικότερα, η προσθήκη εκχυλίσματος τζίντζερ συνετέλεσε στην υψηλότερη επιβράδυνση απώλειας βάρους, ενώ η προσθήκη εκχυλίσματος κουρκουμά στη μεγαλύτερη διατήρηση υφής. Παρομοίως, εδώδιμες μεμβράνες από άγαρ εμπλουτίστηκαν με χιτοζάνη, με νανολιποσώματα ελαίου *Artemisia annua*, αλλά και με το συνδυασμό των παραπάνω αντιβακτηριδιακών παραγόντων και εφαρμόστηκαν σε τοματάκια, προς μελέτη της επίδρασής τους έναντι της *Escherichia coli* O157:H7 (Cui et al., 2017). Συγκεκριμένα, η προσθήκη χιτοζάνης-νανολιποσωμάτων ελαίου *Artemisia annua* μείωσε την βακτηριακή ανάπτυξη, διατηρώντας παράλληλα την αρχική ποιότητα των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών στο τοματάκι.

### 2.2.3 Ενεργά επιθέματα (*active pads*) και φάκελοι (*sachets*)

Εκτός από την εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων, επιπλέον μορφή ενεργής συσκευασίας είναι η προσθήκη μικρών φακέλων και επιθεμάτων που περιέχουν ενεργούς-δραστικούς παράγοντες στο εσωτερικό της συσκευασίας τροφίμων, όπως αναφέρθηκε συνοπτικά και στην υποενότητα 2.2.1 (Almasi et al., 2020). Τα κυριότερα παραδείγματα αυτών αποτελούν οι προσροφητές οξυγόνου και υγρασίας, καθώς και τα συστήματα απελευθέρωσης αιθανόλης, διαδραματίζοντας αξιόλογο ρόλο στη συντήρηση των τροφίμων, ιδίως σε εμπορικό επίπεδο (Gómez-Estaca et al., 2014; Otoni et al., 2016).

Ένα από τα πρώτα παραγόμενα φακελάκια ήταν το Ageless®, ένας δεσμευτής οξυγόνου που κυκλοφόρησε από την ιαπωνική Mitsubishi Gas Chemical Company, κατά τη δεκαετία του 70 (Brody, Strupinsky, & Kline, 2001). Αργότερα, αρκετές διεθνείς εταιρείες ανέπτυξαν παρόμοιους φακέλους απορρόφησης οξυγόνου, που συνίστανται κυρίως στην αφαίρεση οξυγόνου εσωτερικά της συσκευασίας, μέσω οξείδωσης της έγκλειστης σιδηρούχας ένωσης (Otoni et al., 2016). Η χρήση τους επεκτάθηκε πρόσφατα σε άλλες λειτουργίες, όπως η αντιμικροβιακή δραστηριότητα, μέσω της ενσωμάτωσης και επακόλουθης απελευθέρωσης πτητικών ενώσεων με γνωστές αντιμικροβιακές δραστηριότητες κατά τροφιμογενών μικροοργανισμών (Marques et al., 2019). Οι αντιμικροβιακές ενώσεις που ενσωματώνονται σε φακελάκια περιλαμβάνουν αιθανόλη, διοξείδιο του χλωρίου και ποικιλία φυτικών αιθέριων ελαίων και τα κύρια ενεργά συστατικά τους.

Όμοια με τους ενεργούς φακέλους, έχουν παραχθεί και απορροφητικά επιθέματα για να συνδυάσουν την αντιμικροβιακή ικανότητα των δραστικών ενώσεων με την προσθήκη ενός απορροφητικού υλικού εντός της συσκευασίας, ευρέως χρησιμοποιούμενα για την απορρόφηση της ιδιαίτερα υψηλής υγρασίας, ειδικά σε προϊόντα κρέατος (Εικόνα 2.6) (Otoni et al., 2016). Η κυτταρίνη είναι το κύριο συστατικό στην δημιουργία επιθεμάτων, ιδίως των απορροφητικών, έχοντας παράλληλα χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές εφαρμογές, όπως τα επιθέματα-φίλτρα (*filter pad*), υδρογέλης και τα αντιμικροβιακά επιθέματα τροφίμων (Yang et al., 2010; Griebing 2013; Paig-Tran et al., 2013; Bovi et al. 2018). Τα συστατικά των επιθεμάτων συνδυάζονται τυπικά με άλλα πολυμερή, όπως η ναοκυτταρίνη ή η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη για τις βέλτιστες ιδιότητες υλικού (Adnan et al. 2018; Robbani, Fahma & Sugiarto, 2021).



**Εικόνα 2.6.** Αντιμικροβικά επιθέματα τροφίμων: (α) Κάτοψη, (β) Εφαρμογή σε κοτόπουλο, (γ) Δομή: 1-άνω στρώμα φιλμ, 2-κάτω στρώμα φιλμ, 4-μικροδιάτρητα πλαστικά, 3 επιθέματα κυτταρίνης + δραστικοί παράγοντες (Bovi et al., 2018).

### 2.2.3.1 Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε φυτικά προϊόντα

Η εφαρμογή ενεργών επιθεμάτων και μικρών φακέλων στη συσκευασία φρέσκων φρούτων και λαχανικών, ολόκληρων ή κομμένων, με στόχο την επέκταση του χρόνου διατήρησης των, είναι ευρέως διαδεδομένη, με ποικίλα παραδείγματα (Πίνακας 2.6). Ένα εξ' αυτών αποτελεί το νεοσύστατο σύστημα συσκευασίας «Life+», το οποίο επέκτεινε την έννοια της τροποποιημένης ατμόσφαιρας ισορροπίας (EMAP), εισάγοντας μεταξύ άλλων φυσικό αντιμικροβιακό επίθεμα σε γλυκά κεράσια (Ferrovina) και φράουλες (Marmolada), αποθηκευμένα για 15 και 10 ημέρες, αντίστοιχα, στους 6 °C και 90%-95% σχετική υγρασία (Chiabrande, Garavaglia & Giacalone, 2019). Η προσθήκη του επιθέματος, απέδειξε την ικανότητα μείωσης της μικροβιακής ανάπτυξης, γεγονός που τείνει να επιφέρει την ελαχιστοποίηση των μετασυλλεκτικών αποβλήτων.

Παρόμοια επίδραση είχε και η εισαγωγή ενεργού φακέλου απελευθέρωσης ατμών αιθανόλης σε συσκευασμένα μούρα (*Morus alba* L., cv. «Chiang Mai») σε σφραγισμένο πλαστικό περιέκτη (clamshell), αποθηκευμένα στους 10°C και 60-70% σχετική υγρασία (Choosung et al., 2019). Το υλικό του φακελίσκου ήταν μια πλαστική μεμβράνη με βάση το πολυαιθυλένιο, το μέγεθός του ήταν 10×12 cm (πλάτος×μήκος) και παρήχθη μέσω θερμικής συγκόλλησης στις 4 πλευρές, με περιεχόμενο διηθητικό χαρτί 8×10 cm, εμποτισμένο με 3 mL αιθανόλης 100%. Οι ερευνητές κατέληξαν πως η χρήση ατμών αιθανόλης μείωσε σημαντικά τις μετασυλλεκτικές ασθένειες, με την ελάχιστη συγκέντρωση αναστολής να είναι 252-265  $\mu\text{L L}^{-1}$ , επέκτεινε τη διάρκεια ζωής των μούρων κατά την έκθεσή τους στη λιανική πώληση από 3 ημέρες σε 6 και βελτίωσε τις πτητικές αρωματικές ενώσεις. Ομοίως, παλαιότερες μελέτες

κατέδειξαν πως ατμοί αιθανόλης, που απελευθερώνονται από αντίστοιχους φακέλους, δύνανται να μειώσουν τη μετασλλεκτική αποσύνθεση σε συσκευασμένα μούσμουλα και κρεμμύδια (shallot) (Wang et al., 2015; Utto et al., 2018).

**Πίνακας 2.6.** Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε φυτικά προϊόντα.

Σύστημα ενεργής συσκευασίας	Ενεργά συστατικά	Προϊόν/Ποικιλία	Αποτέλεσμα	Αναφορά
<i>Ενεργό επίθεμα</i>				
Αντιμικροβιακό & EMAP	Φυσικό αντιμικροβιακό	Γλυκά κεράσια ( <i>Ferrovia</i> ) & φράουλες ( <i>Marmolada</i> )	Μείωση μικροβιακής ανάπτυξης, ελαχιστοποίηση μετασλλεκτικών αποβλήτων	Chiabrande, Garavaglia, Giacalone, 2019
Απορρόφησης υγρασίας	Φρουκτόζη	Φράουλες	Απώλεια βάρους <0.9% & αύξηση διάρκεια ζωής από τις 3 στις 5 ημ.	Bovi et al., 2018
Απελευθέρωσης	Μεθυλκυκλοπροπένιο	Σταφύλια ( <i>Kyoh</i> )	Διατήρηση οργανοληπτικών χαρακτηριστικών & επέκταση χρόνου ζωής	Zhang et al., 2015
<i>Ενεργός φάκελος</i>				
Απελευθέρωσης	Αιθανόλη	Μούρα ( <i>Chiang Mai</i> )	Μείωση μετασλλεκτικής αποσύνθεσης, βελτίωση πτητικών αρωματικών ενώσεων	Choosung et al., 2019
Απελευθέρωσης	Αιθανόλη	<sup>1</sup> Μούσμουλα <sup>2</sup> Κρεμμύδια ( <i>Shallot</i> )	Μείωση μετασλλεκτικής αποσύνθεσης	<sup>1</sup> Wang et al., 2015 <sup>2</sup> Utto et al., 2018
Αντιμικροβιακό	Μικροενθλακωμένο αιθέριο έλαιο ρίγανης	Φρεσκοκομμένο μαρούλι <i>iceberg</i>	Αναστολή ανάπτυξης του <i>D. Chrysanthemi</i> , μείωση *ZM κατά 2.1 log CFU/5 τεμάχια & *OMX κατά 1.5 log CFU/5 τεμάχια	Chang et al., 2017

\*ZM=Ζύμες, μύκητες

\*OMX=Ολική μεσόφιλη χλωρίδα

Το βασικότερο συστατικό των ενεργών επιθεμάτων, η κυτταρίνη, χρησιμοποιήθηκε με προσθήκη διαφορετικών συγκεντρώσεων φρουκτόζης, 20% και 30%, προς παραγωγή απορροφητικών επιθεμάτων υγρασίας στη συσκευασία φράουλας (Bovi et al., 2018). Το ποσοστό απώλειας βάρους διατηρήθηκε σε μικρότερο από 0,9%, πολύ κάτω από το αποδεκτό όριο του 6% για τη φράουλα. Η εφαρμογή 30% φρουκτόζη κατέδειξε την υψηλότερη απορρόφηση νερού (0.94 g νερού/g επιθέματος) στους 20°C και σχετική υγρασία 100%,

αυξάνοντας έτσι τη διάρκεια αποθήκευσης των συσκευασμένων φραουλών, από τρεις ημέρες στις πέντε.

Σε μελέτη του 2017, ο Chang και οι υπόλοιποι ερευνητές, μελέτησαν την αποτελεσματικότητα αντιμικροβιακού φακέλου απελευθέρωσης ατμών αιθέριου ελαίου ρίγανης, εφαρμόζοντάς το σε φρεσκοκομμένο μαρούλι *iceberg*. (Chang et al., 2017). Η απελευθέρωση των μικροενθλακωμένων με πολυβινυλική αλκοόλη (PVA) αιθέριων ελαίων (EO) (3:5 EO:PVA w/w), μέσω ξήρανσης με ψεκασμό, ανέστειλε την ανάπτυξη του *Dickeya chrysanthemi*, με αποτέλεσμα τη μείωση 3,9 log CFU/5 τεμάχια, σε διάστημα πέντε ημερών με θερμοκρασία αποθήκευσης 20°C και 85% σχετική υγρασία, καθώς και των ζυμών-μυκήτων και της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας, κατά 2,1 log CFU/5 τεμάχια και 1,5 log CFU/5 τεμάχια, αντίστοιχα.

Τέλος, σε παλαιότερη έρευνα αναφέρθηκε ότι τα επιθέματα απελευθέρωσης μεθυλοκυκλοπροπενίου (1-MCP), σε συνδυασμό με μικροβιοκτόνες σακούλες με διοξείδιο του θείου, δύνανται να διατηρήσουν με επιτυχία τα οργανοληπτικά, φυσικοχημικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά και να επεκτείνουν τη διάρκεια ζωής των σταφυλιών *Kyoho*, κατά την αποθήκευση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20-25 °C) (Zhang et al., 2015; Ebrahimi et al., 2021).

#### 2.2.3.2 Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε ποικιλίες νωπής τομάτας

Αντίστοιχες εφαρμογές επιθεμάτων και φακέλων αναφέρονται και στην ενεργή συσκευασία διαφορετικών ποικιλιών νωπής τομάτας, με την πλειονότητα αυτών να επικεντρώνεται στον έλεγχο της υγρασίας και του παραγόμενου αιθυλενίου (Πίνακας 2.7). Συγκεκριμένα, πρόσφατη έρευνα εξέτασε για πρώτη φορά τη δημιουργία συστήματος νανο-φακέλου από στρώσεις (nanofibers mats) νανοινών πολυγαλακτικού οξέους, που περιείχε υδρογέλη προς απορρόφηση υγρασίας και μία ταμπλέτα κεριού παραφίνης εμποτισμένη με υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO<sub>4</sub>) προς οξείδωση του εξωγενούς αιθυλενίου (ex-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), στοχεύοντας έτσι στην επιβράδυνση της ωρίμανσης καρπών τομάτας τύπου Ιταλίας (*Lycopersicon esculentum* Mill.) (Miranda et al., 2021). Το σύστημα νανο-φακέλου παρουσίασε αποτελεσματική ικανότητα στην απορρόφηση αιθυλενίου, καθώς και υγρασίας κατά την αποθήκευση των φρούτων σε κλειστούς γυάλινους περιέκτες στους 20°C και 80% σχετική υγρασία για 6 ημέρες, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της ποιότητάς τους μετά τη συγκομιδή.

**Πίνακας 2.7.** Εφαρμογές ενεργών επιθεμάτων και φακέλων σε ποικιλίες νωπής τομάτας.

Σύστημα ενεργής συσκευασίας	Ενεργά συστατικά	Ποικιλία	Αποτέλεσμα	Αναφορά
<i>Ενεργό επίθεμα</i>				
Δέσμευσης αιθυλενίου	Φλοιός ρυζιού & πολυβινυλική αλκοόλη	Τομάτα	Επιβράδυνση ποσοστού ωρίμανσης έως και 40%, επέκταση διάρκειας ζωής κατά 12 ημ.	Haider et al., 2020
Απελευθέρωσης	Μεθυλ-κυκλοπροπένιο	Τομάτα	Μείωση αποσύνθεσης & συσσώρευσης λυκοπενίου.	Ortiz et al., 2013
<i>Ενεργός φάκελος</i>				
Απορρόφησης υγρασίας & αιθυλενίου	Νανοίνες πολυγαλακτικού οξέους/υδρογέλη/κερί παραφίνης/KMnO <sub>4</sub>	Τομάτα τύπου Ιταλίας	Ικανοποιητική απορρόφηση υγρασίας & αιθυλενίου, διατήρηση ποιότητας	Miranda et al., 2021
Αντιμικροβιακό & δέσμευσης αιθυλενίου	Ενθυλακωμένη και μη θυμόλη/Σεπιόλιθος/ KMnO <sub>4</sub>	Τοματάκια	Αναστολή ανάπτυξης <i>Botrytis cinerea</i> , διατήρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών	Álvarez-Hernández et al., 2021
Απορρόφησης υγρασίας	Πολυακρυλικό νάτριο	Τομάτα- <i>Chonto</i>	Μείωση & πρόληψη συμπύκνωσης υγρασίας εσωτερικά της συσκευασίας	Agudelo-Rodríguez, Moncayo-Martínez, Castellanos, 2020
Δέσμευση αιθυλενίου	Ζεόλιθος/KMnO <sub>4</sub>	Τομάτα	Επιβράδυνση εμφάνισης μυκήτων	Dobrucka et al., 2017

Παρομοίως, η Dobrucka και η υπόλοιπη ερευνητική ομάδα αξιολόγησαν την εισαγωγή φακέλων που περιείχαν 1-2 g υπερμαγγανικό κάλιο, με ζεόλιθο ως φορέα, σε εμπορική συσκευασία πολυστυρολίου, ως προς την επέκταση διάρκειας ζωής φρέσκων τοματών σε θερμοκρασία δωματίου (Dobrucka et al., 2017; Ebrahimi et al., 2021). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρήθηκε το φαινόμενο ευρωτίασης την ένατη και την πεντηκοστή ημέρα πειράματος στις συσκευασμένες τομάτες απουσία και παρουσία δεσμευτή αιθυλενίου, αντίστοιχα, γεγονός που καθιστά τους ενεργούς αυτούς φακέλους μια επιθυμητή στρατηγική συντήρησης για τους καταναλωτές.

Σε άλλη μελέτη, μίγμα πολυακρυλικού νατρίου (SPA) και βαμβακιού χρησιμοποιήθηκε ως σύστημα απορρόφησης υγρασίας υπό μορφή φακέλων, με αναλογία 70% SPA (w/w), σε συσκευασμένες φρέσκιες τομάτες, ποικιλίας Chonto, σε διάτρητους περιέκτες πολυτερεφθαλικού αυθυλεστέρα (PET-clamshell), στους 10°C για 17 ημέρες (Agudelo-Rodríguez, Moncayo-Martínez, Castellanos, 2020). Σε αυτή την έρευνα, εφαρμόστηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης της ανταλλαγής υγρασίας σε ένα διάτρητο ενεργό σύστημα συσκευασίας για τη διατήρηση της φρέσκιας τομάτας, το οποίο τελικά, διαμορφώθηκε επιτυχώς προβλέποντας, εκ των προτέρων, την απαιτούμενη ποσότητα προσροφητικού υλικού για την πρόληψη συμπίκνωσης υγρασίας, εσωτερικά της συσκευασίας.

Σε πρόσφατη έρευνα του 2021, αναπτύχθηκαν ενεργοί φάκελοι που περιείχαν σεπίολιθο εμποτισμένο με  $\text{KMnO}_4$ , με ενθυλακωμένη και μη θυμόλη, και αξιολογήθηκε ως αντιμικροβιακό και δέσμευσης αιθυλενίου σύστημα συσκευασίας σε φρέσκα τοματάκια, αποθηκευμένα στους 11°C για 28 ημέρες και στους 22°C για 3 ημέρες (Álvarez-Hernández et al., 2021). Οι φάκελοι με ελεύθερη θυμόλη οδήγησαν στην υψηλότερη αναστολή του *Botrytis cinerea* ( $\geq 91\%$ ), ενώ και οι δύο φάκελοι μείωσαν την ανάπτυξη μυκήτων και διατήρησαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά στα συσκευασμένα τοματάκια.

Ο Haider και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν επιθέματα δέσμευσης αιθυλενίου χρησιμοποιώντας φλοιό ρυζιού και κέλυφος αυγού σε συσκευασμένες σε αεροστεγή πλαστικό περιέκτη τομάτες, αποθηκευμένες στους  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 2\%$  σχετική υγρασία για 20 ημέρες (Haider et al., 2020). Για την παραγωγή των επιθεμάτων, 30 mL διαλύματος πολυβινυλικής αλκοόλης 20% w/w αναμίχθηκε με τα άλευρα φλοιού ρυζιού (100 g) και κελύφους αυγού (1 g) προς δημιουργία μιας ζύμης, η οποία αφού τοποθετήθηκε σε ορθογώνιο καλούπι (7,5 x 13 x 0,5 cm), πιέστηκε μηχανικά και ξηράνθηκε σε φούρνο στους 60°C για 2 ημέρες. Το παραπάνω σύστημα δέσμευσης αιθυλενίου καθυστέρησε σημαντικά το ποσοστό ωρίμανσης έως και 40% και επέκτεινε τη διάρκεια ζωής των φρούτων τομάτας κατά 12 ημέρες.

Επιθέματα απελευθέρωσης μεθυλοκυκλοπροπενίου από πρωτεΐνη σόγιας φάνηκαν να επιβραδύνουν το μαλάκωμα των φρούτων και τη διαλυτοποίηση της πηκτίνης, καθώς και να επιφέρουν την ελάττωση της αποσύνθεσης και της συσσώρευσης λυκοπενίου σε τομάτες αποθηκευμένες υπό διαφορετικές συνθήκες (Ortiz et al., 2013).



# Κεφάλαιο 3

## Υλικά και μέθοδοι

### 3.1 Υλικά

Τοματάκια υδροπονικής καλλιέργειας, τύπου «ελιά» (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), χρησιμοποιήθηκαν για τη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, τα οποία προμηθεύτηκαν από την εταιρία Πρότυπες Υδροπονικές Καλλιέργειες (Μπούσι – Βαλτούλια Μεσολογίου). Μετά την παραλαβή, ακολούθησε η διαλογή των καρπών χωρίς ορατά σημάδια μηχανικής φθοράς και μικροβιακής αλλοίωσης, με την ταυτόχρονη απομάκρυνση ξένων υλών. Το στάδιο ωρίμανσης που επιλέχθηκε, καθορίστηκε βάσει των παραμέτρων της αγοράς και ήταν το «ανοιχτό κόκκινο», με ερυθρότητα (redness) ( $a^*/b^*$ ) μεταξύ 0.65 και 0.95, σύμφωνα με τον πρότυπο πίνακα ταξινόμησης χρώματος τομάτας (Batu, 2004). Ύστερα από την καταμέτρηση δέκα τυχαίων δειγμάτων, το μέσο βάρος βρέθηκε να είναι  $13.69 \pm 1,98$  g. Τα τοματάκια διατηρήθηκαν στους  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  και σχετική υγρασία 60%, σε ανοιχτό τελάρο έως τη χρησιμοποίησή τους.

Το αιθέριο έλαιο βασιλικού (*Ocimum basilicum*) (Basil Essential Oil, EOb) 100% βιολογικό, χωρίς προσμίξεις, προήλθε από την εταιρεία APIVITA Natural Cosmetics A.E.B.E.

Το επίθεμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν της σειράς «Earthpad Resource» από την εταιρεία Sirane Food Packaging (Sirane Group, Telford, UK), ένα απορροφητικό στρώμα κυτταρίνης, συνδεδεμένο με το κάτω στρώμα με βάση το χαρτί, ανακυκλώσιμο και 100% ελεύθερο από πλαστικό (Εικόνα 3.1)

Το υλικό του περιέκτη, για όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, ήταν πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (High-density polyethylene-HDPE).



**Εικόνα 3.1.** Επίθεμα κυτταρίνης «Earthpad Resource» (Sirane Group, Telford, UK).

### **3.2 Εφαρμογές διαφορετικών περιπτώσεων επεξεργασίας και συνθήκες αποθήκευσης**

Τα τοματάκια τέθηκαν υπό τρεις διαφορετικές περιπτώσεις συνθηκών μετασυλλεκτικής επεξεργασίας, με τις εξής κατηγορίες δειγμάτων: i) μη επικαλυμμένα τοματάκια (μάρτυρες) σε ανοιχτό περιέκτη, ii) τοματάκια με εδώδιμη επικάλυψη (Edible Coating, EC) καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) με αιθέριο έλαιο βασιλικού (EOb) σε ανοιχτό περιέκτη και iii) τοματάκια με ενεργό επίθεμα (Active Pad, AP), εμποτισμένο με EOb (16.67% w/v) και αιθανόλη (83.3% w/v), σε κλειστή συσκευασία με μεμβράνη περιτύλιξης πολυβινυλοχλωριδίου (PVC). Τα δείγματα όλων των περιπτώσεων αποθηκεύτηκαν σε επωαστικό θάλαμο ψύξης (SanyoMIR-154-PE, Panasonic, Healthcare Co., Ltd., Osaka, Japan.) στους  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  και σχετική υγρασία 60%, για 42 ημέρες. Κάθε περίπτωση αποτελούνταν από δώδεκα συσκευασίες, με έξι τοματάκια ανά συσκευασία, οι οποίες αντιστοιχούσαν στις δώδεκα ημέρες όπου πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες και οι μετρήσεις, κατά τις 42 ημέρες αποθήκευσης όλων των δειγμάτων.

### **3.3 Προετοιμασία και εφαρμογή EC - CMC+EOb**

Για την παρασκευή του διαλύματος της εδώδιμης επικάλυψης 2% w/w καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC, Sodium Salt, Low viscosity, 217277-250GM, EMD Milipore Corp., Billerica MA, USA) αναμίχθηκε με 2% v/v Tween 20 (LOT 140287, Fisher Scientific, Pittsburgh, USA) και 96 mL απιονισμένο νερό ( $60^{\circ}\text{C}$ ) σε μαγνητικό αναδευτήρα-θερμαντήρα (Model F60, Falc Instruments, Treviglio BG, Italy) έως την πλήρη ομογενοποίηση και ύστερα τέθηκε υπό ψύξη. Όταν η θερμοκρασία έφτασε κάτω από  $50^{\circ}\text{C}$ , προστέθηκαν 0.5% w/v EOb στο διάλυμα με παράλληλη ανάδευση. Τα τοματάκια εμβαπτίστηκαν στο διάλυμα, σε αναλογία βάρους δειγμάτων/όγκο διαλύματος: 246.4g/300mL, για πέντε λεπτά και ένα λεπτό τοποθετήθηκαν εκτός διαλύματος, επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία τρεις φορές. Υπολογίστηκε πως για κάθε έξι τοματάκια καταναλώθηκαν περίπου 5 mL διαλύματος, που περιείχαν 0.5% w/v EOb. Αφού τοποθετήθηκαν πάνω σε στατώ, αρχικά εισήχθησαν σε εργαστηριακό φούρνο (Plus Oven Programmable, Gallenkamp, Loughborough, UK) στους  $40^{\circ}\text{C}$  για 10 λεπτά και τέλος, για επιπλέον 10 λεπτά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, με εφαρμογή ανεμιστήρα, έως τη στράγγιση και το στέγνωμα του διαλύματος επάνω στους καρπούς.

### 3.4 Προετοιμασία και εφαρμογή AP - Ethanol+EOb

Τα επιθέματα κόπηκαν σε σχήμα τετραγώνου  $2 \times 2$  cm και εμποτίστηκαν με 0.15 mL διαλύματος αιθανόλης που περιείχαν EOb 16.67% w/v το κάθε ένα, με στόχο να υπάρξει ποσοστιαία συγκρίσιμη δράση του αιθέριου ελαίου με την περίπτωση της εδώδιμης επικάλυψης. Τα ενεργά επιθέματα τοποθετήθηκαν 7 cm πάνω από τον πυθμένα του πλαστικού περιέκτη και όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένα από τα περιεχόμενα τοματάκια. Τα παραπάνω δείγματα παρέμειναν επικαλυμμένα, στο άνω μέρος του περιέκτη, με διαφανή μεμβράνη περιτύλιξης πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), καθ' όλη τη διάρκεια αποθήκευσης και έως τη στιγμή της δειγματοληψίας τους.



*Εικόνα 3.2. Δείγματα στο χρόνο μηδέν από την κάθε επεξεργασία. Από αριστερά: Μάρτυρας, EC-CMC+EOb, AP-Ethanol+EOb.*

### 3.5 Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ποιότητας στο τοματάκι

Κατά την αποθήκευση στους  $10 \pm 1^\circ\text{C}$  και την εκτίμηση διάρκειας ζωής, τα τοματάκια αξιολογήθηκαν για διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων την απώλεια βάρους, τη συνεκτικότητα, το χρώμα.

#### 3.5.1 Χρώμα

Για τον χαρακτηρισμό του χρώματος του φλοιού των καρπών, χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο X-Rite, i1PRO REV E, 1 113 597 (X-Rite Asia Pasific Ltd., Hong Kong, China) το οποίο μετρά και αναλύει το ανακλώμενο φως (Εικόνα 3.3). Προσδιορίστηκαν οι παράμετροι  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $L^*$  κάθε δείγματος. Η τιμή  $L^*$  χαρακτηρίζει τη φωτεινότητα ή καθαρότητα του χρώματος σε κλίμακα 0-100, όπου το 100 αντιστοιχεί στη μέγιστη φωτεινότητα. Η τιμή  $a^*$  χαρακτηρίζει τη διαβάθμιση χρώματος από πράσινο ( $-a^*$ ) έως κόκκινο ( $+a^*$ ) και η τιμή  $b^*$  χαρακτηρίζει τη διαβάθμιση από κίτρινο ( $+b^*$ ) σε μπλε ( $-b^*$ ). Κάθε μέτρηση έγινε σε τέσσερα τυχαία σημεία για κάθε τοματάκι και πραγματοποιήθηκαν έξι επαναλήψεις για την κάθε δειγματοληψία, ανά επεξεργασία. Για την εκτίμηση της εξέλιξης του χρώματος του καρπού,

επιλέχθηκε η μεταβολή ενός συγκεκριμένου χρωματικού δείκτη (Εξ. 1), αναφερόμενος σε παλαιότερες έρευνες ως ο καταλληλότερος για την τομάτα (López-Camelo & Gómez 2004; Pathare et al. 2013; Buendía-Moreno et al., 2019):

Χρωματικός δείκτης (Colour Index,  $CI$ ) =  $\frac{2000 \times a^*}{L^* \times \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}}$  (1), όπου  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  οι χρωματικές παράμετροι CIELAB, που λαμβάνονται από τις μετρήσεις του χρωματόμετρου και εκφράστηκε ως η ποσοστιαία αύξηση του χρωματικού δείκτη τη χρονική στιγμή  $t$  της δειγματοληψίας ( $CI_t$ ), σε σχέση με την αρχική μέτρηση ( $CI_0$ ) στο χρόνο μηδέν, σύμφωνα με την Εξίσωση (2):

$$\text{Αύξηση } CI (\%) = \frac{CI_t - CI_0}{CI_0} \times 100 \quad (2)$$



**Εικόνα 3.3.** Χρωματόμετρο X-Rite, i1PRO REV E, 1 113 597 (X-Rite Asia Pasific Ltd., Hong Kong, China).

### 3.5.2 Απόλεια βάρους & συνεκτικότητα καρπού

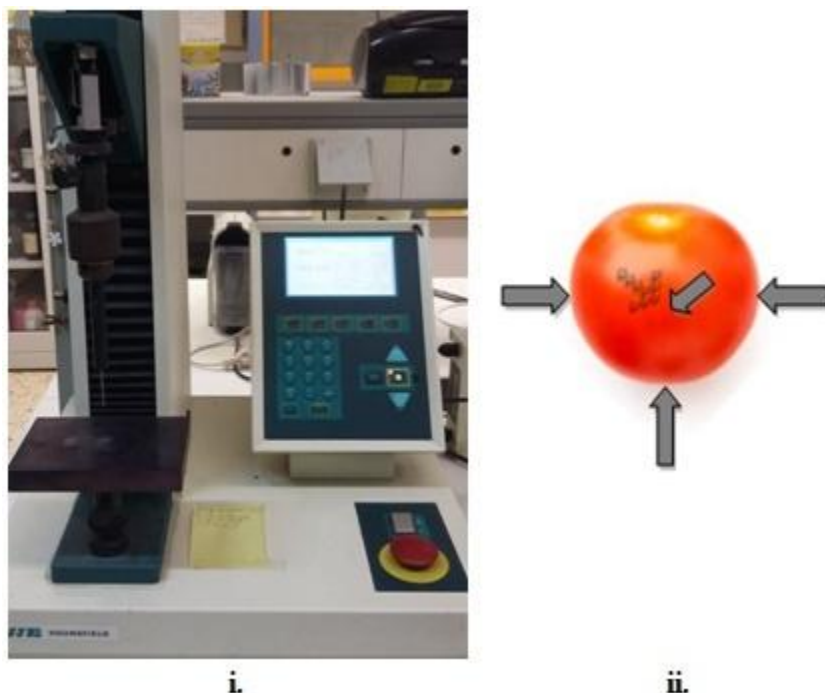
Κατά την έναρξη των πειραμάτων σημειώθηκαν τα μεικτά βάρη ( $MB = \text{περιέκτης} + \text{τοματάκια}$ ) των εννιά συσκευασιών, της κάθε περίπτωσης επεξεργασίας, ως το αρχικό μεικτό βάρος ( $MB_0$ ) αυτών, ξεχωριστά, με τη χρήση εργαστηριακού ζυγού (Mark Electronic balance, BEL Engineering, Monza, Italy). Η απόλεια προσδιορίστηκε ως η ποσοστιαία μείωση του βάρους, σε σχέση με το αρχικό ( $MB_0$ ) κάθε δείγματος. Η απόλεια βάρους (%) για τα διαφορετικά δείγματα υπολογίστηκε σύμφωνα με την Εξίσωση (3).

$$\text{Απόλεια βάρους } (\%) = \frac{MB_0 - MB_t}{MB_0} \times 100 \quad (3)$$

$MB_0$  (g): Μεικτό βάρος δειγμάτων τη μηδενική ημέρα

$MB_t$  (g): Μεικτό βάρος δειγμάτων τη χρονική στιγμή αποθήκευσης  $t$  της δειγματοληψίας

Η συνεκτικότητα στο τοματάκι ελέγχθηκε με εξοπλισμό ανάλυσης της υφής TX0258-model-H5KS (Hounsfield. Test Equipment Ltd., Surrey, UK), εφαρμόζοντας δοκιμή διείσδυσης με έμβολο, διαμέτρου 1.6 mm, σε τέσσερα αντιδιαμετρικά σημεία και ένα πέμπτο στο ανώτερο τμήμα του καρπού (Εικόνα 3.4). Το βάθος διείσδυσης ρυθμίστηκε στα 4 mm, ενώ η κινούμενη κεφαλή δύναμης 1000 N είχε ταχύτητα 200 mm/min. Η συνεκτικότητα εκφράστηκε ως η μέγιστη δύναμη  $F_{max}$  (N) που καταγράφηκε για την αντίστοιχη μέγιστη παραμόρφωση (4mm), με έξι επαναλήψεις (τοματάκια) για την κάθε δειγματοληψία, ανά επεξεργασία



**Εικόνα 3.4.** *i.* Εξοπλισμός ανάλυσης υφής TX0258-model-H5KS (Hounsfield. Test Equipment Ltd., Surrey, UK), *ii.* Τα πέντε σημεία διάτρησης για την εκτίμηση της υφής.

### 3.6 Στατιστική ανάλυση δεδομένων

Για τις μετρήσεις του χρώματος και της συνεκτικότητας του καρπού πραγματοποιήθηκαν έξι επαναλήψεις (τοματάκια) για την κάθε δειγματοληψία, ανά επεξεργασία και τα δεδομένα αναφέρθηκαν ως η μέση τιμή αυτών. Οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων αξιολογήθηκαν χρησιμοποιώντας την ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των μέσων προσδιορίστηκαν με την εφαρμογή Tukey test ( $P < 0.05$ ). Οι στατιστικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης Minitab 2016.

# Κεφάλαιο 4

## Αποτελέσματα και συζήτηση

### 4.1 Απώλεια βάρους

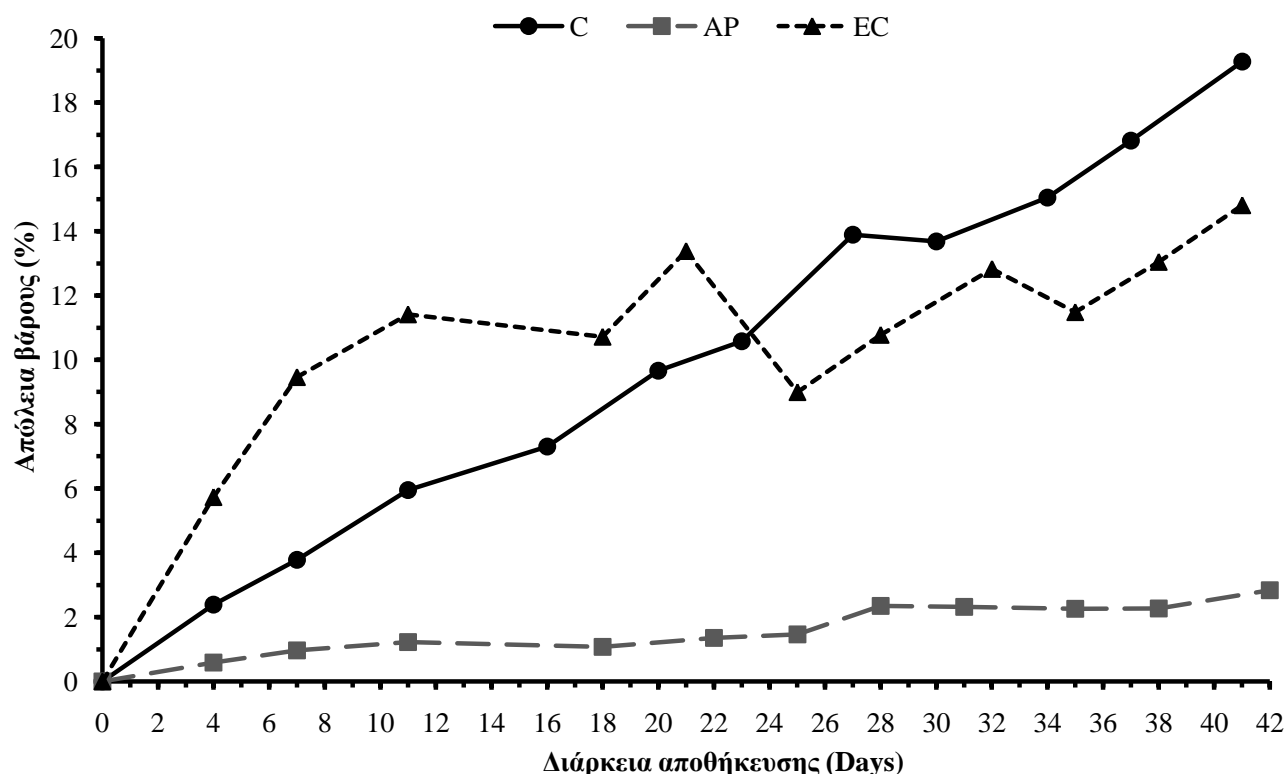
Το κυριότερο μειονέκτημα της τομάτας είναι η ταχεία απώλεια βάρους, κατά την αποθήκευση, η οποία οδηγεί στη μείωση της διάρκειας ζωής της. Συνεπώς, η απώλεια βάρους καταδεικνύει τη φρεσκάδα και την ποιότητα των φρούτων (Kumar & Saini, 2021).

Η απώλεια βάρους στα τοματάκια, σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, κατέδειξε σημαντική ( $p < 0.05$ ) αύξηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Την 41<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης τη μέγιστη απώλεια βάρους, 19.28%, εμφάνισε ο μάρτυρας, έχοντας μετά την 20<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (στο μέσο του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης) μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας και από τα επικαλυμμένα δείγματα με CMC και EOb, με 14.81% μέγιστο ποσοστό απώλειας, χωρίς όμως να διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Αντιθέτως, τη μικρότερη απώλεια βάρους, 2.83%, παρουσίασε το ενεργό επίθεμα (AP) απελευθέρωσης αιθανόλης+EOb, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά του στην επιβράδυνση της απώλειας βάρους, διαφέροντας σημαντικότερα ( $p < 0.05$ ) από τις υπόλοιπες περιπτώσεις επεξεργασίας.

Η απώλεια βάρους οφείλεται κυρίως στην απώλεια υδρατμών, μέσω της διαδικασίας της διαπνοής, καθώς και στη διαφορά πίεσης υδρατμών μεταξύ καρπού και ατμόσφαιρας αποθήκευσης (Won et al., 2017; Kumar & Saini, 2021). Ειδικότερα, στην προκειμένη περίπτωση εφαρμογής του ενεργού επιθέματος, τόσο η ύπαρξη ημιπερατής μεμβράνης PVC στο άνω μέρος του περιέκτη, όσο και η σταδιακή απελευθέρωση ενός συστατικού λιπιδικής φύσεως (EOb) στα τοματάκια, φαίνεται πως λειτούργησαν ταυτόχρονα ως φραγμοί έναντι της μεταφοράς  $O_2$ ,  $CO_2$ , υγρασίας, μειώνοντας την αναπνοή, τον ρυθμό απώλειας νερού και αντιδράσεων οξείδωσης και εμφανίζοντας, εν τέλει, τη μέγιστη επιβράδυνση στην απώλεια βάρους.

Όσον αφορά τα επικαλυμμένα τοματάκια, έως και την 20<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης εμφάνισαν μεγαλύτερη απώλεια και από τα μη επικαλυμμένα δείγματα, όπως καταγράφηκε και από την Bhatia και τους συνεργάτες της, οι οποίοι μελετώντας την επίδραση εδώδιμων επικαλύψεων διαφορετικών πολυσακχαριτών στη μετασυλλεκτική ποιότητα της τομάτας, συμπέραναν πως οι επικαλύψεις καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC, 1.5% w/w), όχι μόνο δε μείωσαν την απώλεια βάρους, αλλά οδήγησαν σε μεγαλύτερη απώλεια και από τις τομάτες-μάρτυρες (Bhatia et al., 2014). Ερμήνευσαν το παραπάνω αποτέλεσμα τονίζοντας την

υδροφιλική φύση και το υψηλό μοριακό βάρος της CMC, που την καθιστούν διαπερατή σε O<sub>2</sub> και υδρατμούς, ενώ μελετητές σε αντίστοιχες, παλαιότερες εφαρμογές μεθυλοκυτταρίνης σε διάφορα φρούτα, απέδωσαν μερικώς την αύξηση διαπερατότητας υδροφιλικής φύσεως επικαλύψεων στην υψηλή σχετική υγρασία (Olivas, Rodriguez, Barbosa-Cánovas, 2003). Στην παρούσα ερευνητική διατριβή, παρ' ότι επήλθε και η διαδικασία της στράγγισης, παρατηρήθηκε η παραμονή μικροποσότητας υγρού διαλύματος στην επιφάνεια του καρπού, κυρίως στην επιφάνεια επαφής του με τα τοιχώματα συσκευασίας.



**Σχήμα 4.1.** Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στην απώλεια βάρους, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C).

Πράγματι, οι επικαλύψεις με βάση τη CMC παρουσιάζουν υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού και προσρόφησης υγρασίας, λόγω των άφθονων υδροξυλικών και καρβοξυλικών ομάδων στη δομή της, γι αυτό και η προσθήκη αιθέριου ελαίου σκόρδου (2% v/v) σε διάλυμα επικάλυψης CMC (1% w/v), αποτέλεσε στη δημιουργία σταυροδεσμών και άρα τη μείωση των διαθέσιμων OH<sup>-</sup> που θα αντιδρούσαν με μόρια νερού, παράγοντας τελικώς επικαλυμμένες φράουλες με χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς (Dong & Wang, 2017; Panahirad et al., 2021). Απ' την άλλη πλευρά, μετά την 20<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης, δημιουργήθηκε ένα ημιπερατό στρώμα καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης στην επιφάνεια των φρούτων, το οποίο δρώντας



συνεργιστικά με το προστιθέμενο αιθέριο έλαιο βασιλικού, εμπόδισε την ανταλλαγή αερίων, διατηρώντας την απώλεια βάρους μικρότερη από εκείνη των μη επικαλυμμένων καρπών, όπως και σε αντίστοιχες εφαρμογές επικαλύψεων πηκτίνης και CMC σε τοματάκια και διάφορα φρούτα (Panahirad et al., 2021; Álvarez et al., 2021).

#### 4.2 Χρώμα

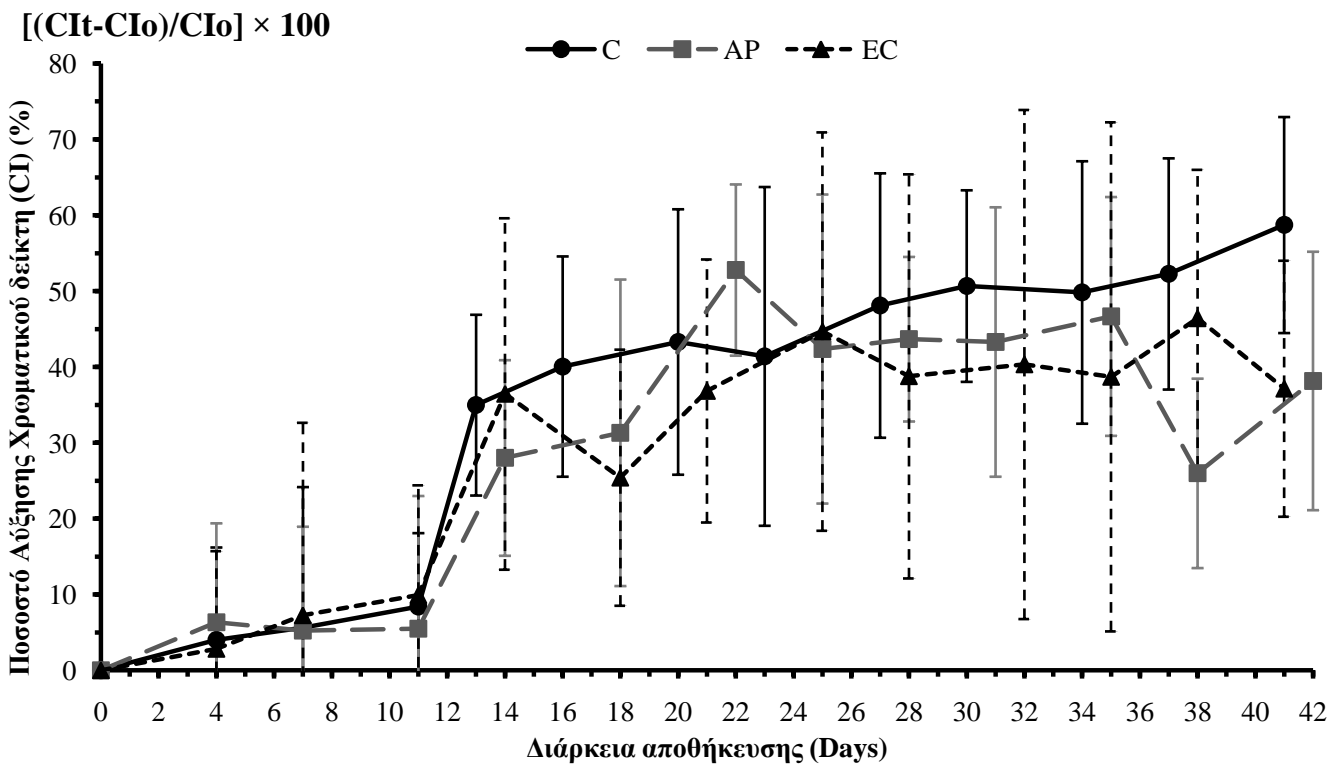
Τα τοματάκια κατέδειξαν αρχικές  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  τιμές, 24.31, 9.84, 18.72 αντίστοιχα, αποτελώντας παρόμοια δεδομένα με προηγούμενες μελέτες (Buendía-Moreno et al., 2019; Derossi et al., 2015). Σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, ο χρωματικός δείκτης (CI) αυξήθηκε σημαντικά ( $p < 0.05$ ), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Μελετώντας το ποσοστό αύξησης του CI, καθ' όλη τη διάρκεια αποθήκευσης, δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων επεξεργασίας, γεγονός που απορρέει παρατηρώντας και την Εικόνα 4.1. Στο τέλος της διάρκειας αποθήκευσης, ο μάρτυρας εμφάνισε το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης 58.73%, παρουσιάζοντας, κυρίως, μετά την 20<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης (στο μέσο του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης), στατιστικά σημαντικές διαφορές ( $p < 0.05$ ) με τις άλλες δύο περιπτώσεις επεξεργασίας. Ομοίως και στα επικαλυμμένα με CMC+EOb τοματάκια παρατηρήθηκε αύξηση του CI, με ποσοστό 37.14% την 41<sup>η</sup> ημέρα, χωρίς να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα δείγματα με το ενεργό επίθεμα (AP) απελευθέρωσης αιθανόλης+EOb, τα οποία κατέδειξαν ποσοστό 38.17% αντίστοιχα.

Κατά την ωρίμανση της τομάτας συνυπάρχουν ταυτόχρονα διαφορετικά χρώματα, καθώς η χλωροφύλλη αποικοδομείται από πράσινη σε άχρωμες ενώσεις, την ίδια στιγμή που τα καροτενοειδή συντίθενται από την άχρωμη και πρόδρομη ένωση, φυτοένιο, σε καροτένιο (ωχροκίτρινο), λυκοπένιο (κόκκινο), β-καροτένιο (πορτοκαλί), ξανθοφύλλες και υδροξυλιωμένα καροτενοειδή (κίτρινο) (Fagundes et al., 2015). Από την άλλη πλευρά, σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από 12°C), η χλωροφύλλη δεν αποικοδομείται και δεν πραγματοποιείται συσσώρευση λυκοπενίου, υποδηλώνοντας ότι υπό διαφορετικές από τις κανονικές συνθήκες ωρίμανσης, οι αλλαγές στις τιμές  $b^*$  μπορεί να αντισταθμίσουν ή να υπερβάλουν τα μεγέθη  $a^*$ , ανάλογα με τη μαθηματική τους σχέση, οδηγώντας σε παραπλανητικά αποτελέσματα (López Camelo & Gómez, 2003).

Στην παρούσα ερευνητική διατριβή, η επιβράδυνση της αύξησης της τιμής  $a^*$  και άρα του χρωματικού δείκτη (CI) και κατ' επέκταση του σχηματισμού κόκκινου χρώματος τόσο των επικαλυμμένων φρούτων, όσο και εκείνων με το ενεργό επίθεμα, φαίνεται να σχετίζεται με την



τροποποίηση της ατμόσφαιρας του καρπού, όπως διαπιστώθηκε και σε επικαλυμμένα με ξανθάνη-πρωτεΐνη ορού γάλακτος και έλαιο γαρύφαλλου τοματάκια (Kumar & Saini, 2021). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της σταδιακής απελευθέρωσης των αντιοξειδωτικών EOb, μέσω του AP-αιθανόλης+EOb και σε συνδυασμό με τον κλειστό περιέκτη με ημιπερατή μεμβράνη PVC, φραγμό στην ανταλλαγή αερίων με το εξωτερικό περιβάλλον, ίσως δημιουργείται μια εσωτερική ατμόσφαιρα που παράγει υψηλά επίπεδα CO<sub>2</sub> και χαμηλά O<sub>2</sub>, με αποτέλεσμα την επιβράδυνση της διαδικασίας ωρίμανσης (Bhatia et al., 2014). Τελικά, αυτή η αύξηση του CO<sub>2</sub> αναστέλλει τη βιοσύνθεση του αιθυλενίου, η οποία συνοδεύεται από μειωμένη ανάπτυξη λυκοπενίου και αντίστοιχα ερυθρότητας (Sucheta et al., 2019b). Ομοίως, λειτούργησε και η ημιπερατή μεμβράνη επικάλυψης CMC-EOb, ως ένας φραγμός στην ανταλλαγή αερίων, επηρεάζοντας παράλληλα και την τιμή L\*, συνεπώς και τον χρωματικό δείκτη, συγκριτικά με τα μη επικαλυμμένα τοματάκια, εξαιτίας της στυλπνότητας, όπως αποδόθηκε και σε προηγούμενες εφαρμογές εδώδιμων επικαλύψεων χιτοζάνης σε τοματάκια (Won et al., 2017). Παρόμοια αποτελέσματα διεξήχθησαν και σε έρευνα της Firdous και της υπόλοιπης ερευνητικής ομάδας, κατά την εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων γέλης *Aloe vera* σε τομάτες (Firdous et al., 2020).



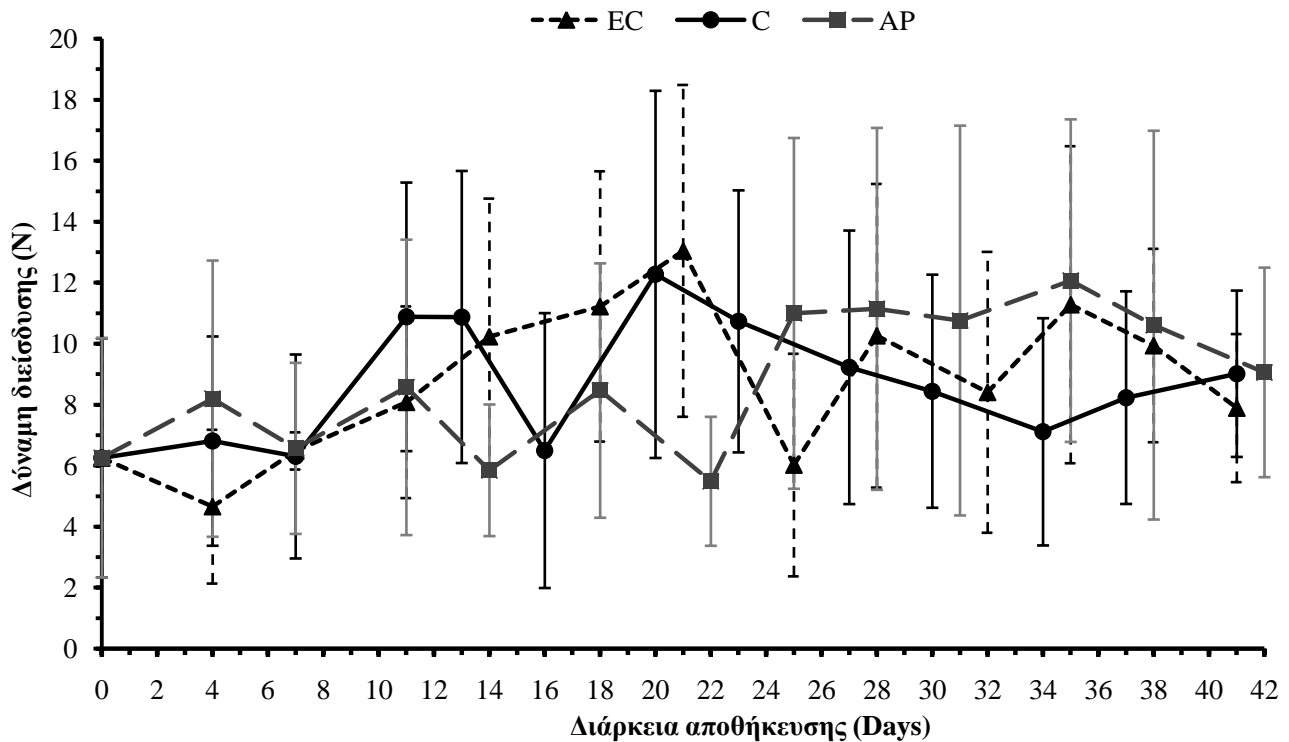
Σχήμα 4.2. Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στον χρωματικό δείκτη (CI), κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C).



**Εικόνα 4.1.** Διαφορά χρώματος δειγμάτων στο χρόνο μηδέν και στις ημέρες δειγματοληψίας. Από άνω: Μάρτυρας, EC-CMC+EOB, AP-Ethanol+EOB.

### 4.3 Συνεκτικότητα

Μελετώντας τη μεταβολή της συνεκτικότητας για τα φρέσκα τοματάκια, καθ' όλη τη διάρκεια αποθήκευσής τους στους  $10\pm 1^\circ\text{C}$ , συμπεραίνεται πως δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων επεξεργασίας (Σχήμα 4.3). Η αρχική τιμή που αποδόθηκε στο χρόνο μηδέν ήταν  $6.25\pm 3.92$  N, παρόμοια με προηγούμενες έρευνες σε φρέσκα τοματάκια (Álvarez et al., 2021). Έως και την 20<sup>η</sup> ημέρα παρατηρήθηκε μία αστάθεια στις καταγραφόμενες τιμές συνεκτικότητας, σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, η οποία οφείλεται, πιθανώς, στην ύπαρξη μεταβλητότητας εντός των δειγμάτων. Κατά το υπόλοιπο χρονικό διάστημα αποθήκευσης, φάνηκε μια μείωση σε όλες τις περιπτώσεις, κατά 4.04 N, 1.93 N και 5.16 N για τον μάρτυρα (C), την εφαρμογή ενεργού επιθέματος (AP-Ethanol+EOb) και τα επικαλυμμένα τοματάκια (EC-CMC+EOb), αντίστοιχα, έως το τέλος διάρκειας αποθήκευσης. Ειδικά, η προσθήκη επιθέματος απελευθέρωσης EOb κατέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές, μετά το μέσο του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης, συγκριτικά με το μάρτυρα.



Σχήμα 4.3. Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης (EC) και ενεργού επιθέματος (AP) στη συνεκτικότητα, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (C).

Η μεταβολή της υφής είναι ένας σημαντικός δείκτης του σταδίου ωρίμανσης και της συνολικής αποδοχής των φρούτων. Κατά την αναπνοή, η αποικοδόμηση της πηκτίνης οδηγεί σε αλλαγή του κυτταρικού τοιχώματος, η οποία μαζί με την αλλοίωση της κυτταρικής δομής και

των διαφορετικών ενδοκυτταρικών υλικών, προκαλεί το μαλάκωμα του καρπού (Yun et al., 2019; Mohammed, Azzazy, Badawe, 2021). Συγκεκριμένα, τα κυτταρολυτικά ένζυμα πηκτινομεθυλεστεράση και η πολυγαλακτουρονάση είναι, κυρίως, υπεύθυνα για τις προαναφερθείσες δομικές αλλοιώσεις. Στην παρούσα ερευνητική εργασία, η μικρότερη παρατηρούμενη μείωση συνεκτικότητας στα τοματάκια με το ενεργό επίθεμα, μπορεί να αποδοθεί στην ανασταλτική δράση του EOb έναντι των ενζύμων (Sarikurcu et al., 2016; Moreno et al., 2019). Παρομοίως σε παλαιότερες μελέτες, η δράση της πηκτινομεθυλεστεράσης μειώθηκε με την προσθήκη αιθέριων ελαίων κανέλας σε τροπικό φρούτο γκουάβα και κατά συνέπεια, η συνεκτικότητα και οι δομές των φυτικών κυττάρων διατηρήθηκαν καλύτερα κατά την αποθήκευση (Botelho, et al., 2016). Η ίδια προστατευτική δράση αιθέριων ελαίων έναντι του μαλακώματος των καρπών παρατηρήθηκε και σε άλλα φυτικά προϊόντα, όπως το γλυκό κεράσι (Serrano et al., 2005; Moreno et al., 2019). Η διατήρηση της συνεκτικότητας έχει, επίσης, συσχετιστεί με την ικανότητα ελέγχου της απώλειας βάρους, κάτι που είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα, καθώς τόσο τα επικαλυμμένα όσο και τα μη εμφάνισαν υψηλότερη απώλεια βάρους από τα δείγματα με το επίθεμα απελευθέρωσης αιθανόλης+EOb (Álvarez et al., 2021).

# Κεφάλαιο 5

## Συμπεράσματα

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η εφαρμογή δύο εναλλακτικών τύπων ενεργής συσκευασίας σε φρέσκο τοματάκι: i) με τη μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v) με αιθέριο έλαιο βασιλικού (EOb 0.5% w/v) σε ανοιχτό περιέκτη και ii) με την προσθήκη ενεργού επιθέματος (Active Pad, AP), εμποτισμένου με διάλυμα αιθανόλης και EOb (16.67% w/v), σε κλειστή συσκευασία με μεμβράνη περιτύλιξης πολυβινυλοχλωριδίου (PVC). Με στόχο την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών μεθόδων, αξιολογήθηκε η διατήρηση της ποιότητας και η επέκταση διάρκειας ζωής των φρούτων. Κατά τη διάρκεια αποθήκευσής τους στους  $10\pm 1^{\circ}\text{C}$  εξετάστηκε η μεταβολή σε ιδιότητες αυτών, όπως η απώλεια βάρους, η συνεκτικότητα και το χρώμα.

Με την προσθήκη ενεργού επιθέματος απελευθέρωσης EOb σε φρέσκα τοματάκια επιτεύχθηκε η αποτελεσματικότερη διατήρηση ποιότητας και συγκεκριμένα:

- ✓ Επιβράδυνση της απώλειας βάρους.
- ✓ Διατήρηση του χρώματος.
- ✓ Διατήρηση της συνεκτικότητας.

Παράλληλα, με τον τρόπο αυτόν μπορεί να επιτευχθεί:

- Χρήση φυσικών προσθέτων με βιοδραστικά συστατικά για το συσκευασμένο προϊόν
- Μείωση απώλειας ποιότητας κλιμακτηριακών καρπών και ύπαρξης αποβλήτων
- Μείωση ποσότητας πλαστικού
- Προστασία του περιβάλλοντος

Μελλοντικά, προτείνεται η περαιτέρω μελέτη i) της σύστασης της εδώδιμης επικάλυψης CMC+EOb, με στόχο τον εντοπισμό βέλτιστης αναλογίας CMC:EOb, προς ενίσχυση της υδροφοβικότητας και ii) της διάρκειας στράγγισης των επικαλυμμένων καρπών.

## Ξένη Βιβλιογραφία

Adetunji, C. O., Fawole, O. B., Arowora K. A., Nwaubani, S. I., Ajayi, E. S., Oloke, J. K., Majolagbe, O. M., Ogundele, B. A., Aina, J. A., Adetuni, J. B. (2012). Effects of edible coatings from *Aloe vera* gel on quality and postharvest physiology of *Ananas comosus* (L.) fruit during ambient storage, *I2(5)*.

Adnan, S., Azhar, A. H., Jasmani, L., Samsudin, M. F. (2018). Properties of paper incorporated with nanocellulose extracted using microbial hydrolysis assisted shear process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 368.

Agudelo-Rodríguez, G., Moncayo-Martínez, D., Castellanos, D. A. (2020). Evaluation of a predictive model to configure an active packaging with moisture adsorption for fresh tomato. *Food Packaging and Shelf Life*, 23, 100458.

Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., Alderson, P. G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 58(1), 42–47.

Alkan, D., Yemenicioglu, A. (2016). Potential application of natural phenolic antimicrobials and edible film technology against bacterial plant pathogens. *Food Hydrocolloids*, 55, 1–10.

Almasi, H., Jahanbakhsh Oskouie, M., Saleh, A. (2020). A review on techniques utilized for design of controlled release food active packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(15), 2601-2621.

Alotaibi, M. A., Tayel, A. A., Zidan, N. S., & El Rabey, H. A. (2019). Bioactive coatings from nano-biopolymers/plant extract composites for complete protection from mycotoxigenic fungi in dates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9), 4338-4343.

Álvarez, A., Manjarres, J. J., Ramírez, C., & Bolívar, G. (2021). Use of an exopolysaccharide-based edible coating and lactic acid bacteria with antifungal activity to preserve the postharvest quality of cherry tomato. *LWT*, 151, 112225.

Álvarez-Hernández, M. H., Martínez-Hernández, G. B., Castillejo, N., Martínez, J. A., Artés-Hernández, F. (2021). Development of an antifungal active packaging containing thymol and an ethylene scavenger. Validation during storage of cherry tomatoes. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100734.

- Amor, G., Sabbah, M., Caputo, L., Idbella, M., De Feo, V., Porta, Mauriello, G. (2021). Basil Essential Oil: Composition, Antimicrobial Properties, and Microencapsulation to Produce Active Chitosan Films for Food Packaging. *Foods*, 10(1), 121.
- Arah, I. K., Amaglo, H., Kumah, E. K., Ofori, H. (2015). Preharvest and Postharvest Factors Affecting the Quality and Shelf Life of Harvested Tomatoes: A Mini Review. *International Journal of Agronomy*, 2015, 1–6.
- Arazuri, S., Jarén, C., Arana, J. I., Pérez de Ciriza, J. J. (2007). Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Journal of Food Engineering*. 80, 190–198.
- Athmaselvi, K.A., P. Sumitha and B. Revathy (2013). Development of *Aloe vera* based edible coating for tomato. *International Agrophysics*, 27, 369–375.
- Aurand, R., Faurobert, M., Page, D., Maingonnat, J. F., Brunel, B., Causse, M., Bertin, N. (2012). Anatomical and biochemical trait network underlying genetic variations in tomato fruit texture. *Euphytica*, 187, 99-116.
- Baldwin, E. A., Goodner, K., Plotto, A. J. (2008). Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. *Journal of Food Science*, 73(6), S294-307.
- Barco Hernandez, P. L., Burbano Delgado, A. C., Mosquera Sanchez, S. A., Villada Castillo, H. S., Navia Porras, D. (2011). Efecto del Recubrimiento a Base de Almidon de Yuca Modificado sobre la Maduracion del Tomate [Effect of the use of a cassava modified starch based coating on tomato ripening]. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 279-285.
- Batu, A. (2004). Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food Engineering*. 61, 471–475.
- Beckles, D. M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 129–140.
- Beckles, D. M., Hong, N., Stamova, L., Luengwilai, K. (2012). Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. *Fruits*, 67, 49-64.
- Bergougnoux, V. (2013). The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnology Advances*, 32(1), 170–189.



Bernard, M., Norhashila, H., Tawakkal, M. A., Syafinaz, I., Mohamed, M., Tengku, M. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 253-267.

Bertin, C., Yang, X. H., Weston, L. A. (2003). The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil*, 256, 67–83.

Bertin, N., Génard, M. (2018). Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 264–276.

Bhatia, S., Alam, Md S., Arora, M., Sehgal, V. (2014). Polysaccharide based edible coatings influence the biochemical characteristics and storage behaviour of tomato during ambient storage. *Indian Journal of Agricultural Biochemistry*, 27, 151-157.

Biswas, P., East, A. R., Hewett, E. W., Heyes, J. A. (2016). Chilling injury in tomato fruit. In J. Janick (Ed), *Horticultural Reviews* (pp. 229–278) Vol. 44. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Botelho, L. N. S., Rocha, D. A., Braga, M. A., Silva, A., de Abreu, C. M. P. (2016). Quality of guava cv. «Pedro Sato» treated with cassava starch and cinnamon essential oil *Scientia Horticulturae*, 209, 214-220.

Bourne. M. C. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2nd ed.) (pp. 427). New York: Academic Press San Diego.

Bovi, G. G., Caleb, O. J., Klaus, E., Tintchev, F., Rauh, C., Mahajan, P. V. (2018). Moisture absorption kinetics of FruitPad for packaging of fresh strawberry. *Journal of Food Engineering*, 223, 248-254.

Boyacı, D., Iorio, G., Sozbilen, G. S., Alkan, D., Trabattoni, S., Pucillo, F., et al. (2019). Development of flexible antimicrobial zein coatings with essential oils for the inhibition of critical pathogens on the surface of whole fruits: test of coatings on inoculated melons. *Food Packaging and Shelf Life*, 20, 1–10.

Brecht, J. K. (1995). Physiology of Lightly Processed Fruits and Vegetables. *Horticultural Sciences Department, University of Florida*, 30(1), 18-21.

Brody, A. L., Strupinsky, E. R., Kline, L. R. (2001). Oxygen scavenger systems. In A. L. Brody, E. R. Strupinsky, L. R. Kline (Eds.), *Active packaging for food applications*. Boca Raton: CRC Press.



Buendía-Moreno, L., Ros-Chumillas, M., Navarro-Segura, L., Sánchez-Martínez, M. J., Soto-Jover, S., Antolinos, V., Martínez-Hernández, G.B., López-Gómez, A. (2019). Effects of an Active Cardboard Box Using Encapsulated Essential Oils on the Tomato Shelf Life. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 1548–1558.

Buttery, R. G. (1993). Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetable and fruits. In T. E. Acree, R. Teranishi (Eds.), *Flavor Science: Sensible Principles and Techniques* (pp. 259-286). Washington, D. C.: ACS.

Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2019). Protein-based films: advances in the development of biomaterials applicable to food packaging. *Food Engineering Reviews*, 11, 78–92.

Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lecomte, L., Duffe, P., Rousselle, P., Buret, M., 2002. QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2089–2098.

Ch, M., Naz, S., Sharif, A., Akram, M., Saeed, M. (2015). Biological and Pharmacological Properties of the Sweet Basil (*Ocimum basilicum*). *British Journal of Pharmaceutical Research*. 7, 330–339.

Chaix, E., Guillaume, C., Guillard, V. (2014). Oxygen and carbon dioxide solubility and diffusivity in solid food matrices: A review of past and current knowledge. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 261–286.

Chang, Y., Choi, I., Cho, A.R., Han, J. (2017). Reduction of *Dickeya chrysanthemi* on fresh-cut iceberg lettuce using antimicrobial sachet containing microencapsulated oregano essential oil, *LWT - Food Science and Technology*, 82, 361–368.

Chiabrando, V., Garavaglia, L., Giacalone, G. (2019). The Postharvest Quality of Fresh Sweet Cherries and Strawberries with an Active Packaging System. *Foods*, 8(8), 335.

Chiumarelli, M., and Hubinger, M. D. (2012). Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch–carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food Hydrocolloids*, 28, 59–67.

Choosung, P., Utto, W., Boonyariththongchai, P., Wasusri, T., Wongs-Aree, C. (2019). Ethanol vapor releasing sachet reduces decay and improves aroma attributes in mulberry fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100398.

Chu, Y., Gao, C., Liu, X., Zhang, N., Xu, T., Feng, X., et al. (2020). Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion. *LWT*, 122, 109054.

Côté, F., Thompson, J. E., Willemot, C. (1993). Limitation to the use of electrolyte leakage for the measurement of chilling injury in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 3, 103-110.

Cruz-Carrillo, M. A., Garcia-Gutierrez, C., Arrieta-Baez, D., Armenta-Bojorquez, A. D., Montiel-Montoya, J., Jaramillo-Flores, M. E. (2015). Production and Handling of Tomato with High Nutrition Quality. In Y. H. Hui & E. Özgül Evranuz (Ed.), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing* (pp. 629-632). Boca Raton: CRC Press-Taylor & Francis Group.

Cui, H., Yuan, L., Li, W., Lin, L. (2017). Edible film incorporated with chitosan and *Artemisia annua* oil nanoliposomes for inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on cherry tomato. *International Journal of Food Science & Technology*, 52 (3), 687–698.

Da Cruz, R. M. (2019). *Food Packaging: Innovations and Shelf-Life*. New York: CRC Press.

Dam, B., Goffau, M., Lidth de Jeude, J., Naika, S. (2005).

Davies, J. N., Hobson, G. E. (1981). The Constituents of Tomato Fruit-The Influence of Environment, Nutrition and Genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, pp: 205-280.

Dehghani, S., S.V. Hosseini and J.M. Regenstein (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review, *Food Chem.*, 240: 505–513.

Dhumal, C. V. & Sarkar, P. (2018). Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4369–4383.

Distefano, M., Arena, E., Mauro, R. P., Brighina, S., Leonardi, C., Fallico, B., Giuffrida, F. (2020). Effects of Genotype, Storage Temperature and Time on Quality and Compositional Traits of Cherry Tomato. *Foods*, 9 (12), 1729.

Dobrucka R, Leonowicz A, Cierpiszewski R. (2017). Preparation of ethylene scavenger based on  $\text{KMnO}_4$  to the extension of the storage time of tomatoes. *Studia Oecon Posnan*, 5(7), 7-18.

Domínguez, E., Heredia-Guerrero, J. A., Heredia, A. (2011). The biophysical design of plant cuticles: An overview. *New Phytologist*, 189 (4), 938–949.

Dong, F., Wang, X. (2017). Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic essential oil composite coatings for improving quality of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 821-826.

Dorais, M., Ehret, D. L., Papadopoulos, A. P. (2008). Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 231-250.

dos Passos Braga, S., Lundgren, G. A., Macedo, S. A., Tavares, J. F., dos Santos Vieira, W. A., Câmara, M. P. S., de Souza, E. L. (2019). Application of coatings formed by chitosan and Mentha essential oils to control anthracnose caused by *Colletotrichum gloesporioides* and *C. brevisporum* in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139 (2019), 631-639.

Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., Farhoodi, M. (2021). Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A review. *International Journal of Environmental Science and Technolog.*

EPA. 2020. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2018.

Etienne, A., Genard, M., Lobit, P., Mbeguie-A-Mbeguie, D., Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 1451-1469.

European Commission - DG Agri.G2 - FV. (2021). The tomato market in the EU: Vol. 1: Production and area statistics. Διαθέσιμο από: [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/overviews/market-observatories/fruit-and-vegetables/tomatoes-statistics\\_en](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/farming/facts-and-figures/markets/overviews/market-observatories/fruit-and-vegetables/tomatoes-statistics_en). Τελευταία επίσκεψη: 25/11/2021

European Commission. (2009). EU Guidance to the Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into the contact with food (version1.0). Διαθέσιμο από: [https://ec.europa.eu/food/safety/chemical\\_safety/food\\_contact\\_materials\\_en](https://ec.europa.eu/food/safety/chemical_safety/food_contact_materials_en). Τελευταία επίσκεψη: 25/09/2020.

Fabra, M. J., Falcó, I., Randazzo, W., Sánchez, G., López-Rubio, A. (2018). Antiviral and antioxidant properties of active alginate edible films containing phenolic extracts. *Food Hydrocolloids*, 81, 96–103.

Fabra, M. J., Jimenez, A., Atares, L., Talens, P., and Chiralt, A. (2009b). Effect of fatty acids and beeswax addition on properties of sodium caseinate dispersions of films. *Biomacromolecules*, *10*, 1500–1507.

Fabra, M. J., Talens, P., and Chiralt, A. (2009a). Microstructure and optical properties of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. *Food Hydrocolloids*, *23*, 676–683.

Fagundes, C., Moraes, K., Perez-Gago, M. B., Palou, L., Maraschin, M., Monteiro, A. R. (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, *109*, 73–81.

Falcó, I., Randazzo, W., Sánchez, G., López-Rubio, A., Fabra, M. J. (2019b). On the use of carrageenan matrices for the development of antiviral edible coatings of interest in berries. *Food Hydrocolloids*, *92*, 74–85.

FAO. (2018). Post-harvest management of tomato for quality and safety assurance. Guidance for horticultural supply chain stakeholders. Διαθέσιμο από: <http://www.fao.org/3/I8236EN/i8236en.pdf>, τελευταία επίσκεψη 11/12/2020.

FAO. (2020). Top 10 Country Productions of Tomatoes. Διαθέσιμο από: [https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity), τελευταία επίσκεψη 15/12/2020.

Farneti, B., Alarcon, A. A., Papatotiriou, F. G., Samudrala, D., Cristescu, S. M., Costa, G., Harren, F. J. M., Woltering, E. J. (2015). Chilling-induced changes in aroma volatile profiles in tomato. *Food Bioprocess Technology*, *8*, 1442–1454.

Firdous, N., Khan, M. R., Butt, M. S., Shahid, M. (2020). Application of aloe vera gel based edible coating to maintain postharvest quality of tomatoes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. *57*(1), 245–249.

Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., Bramley, P. M. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development – evidence for tissue-specific gene expression. *Plant Physiology*, *105*, 405–413.

Ganiari, S., Choulitoudi, E., Oreopoulou, V. (2017). Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. *Trends in Food Science & Technology*, *68*, 70–82.

García-Valverde, Verónica; Navarro-González, Inmaculada; García-Alonso, Javier; Periago, María Jesús (2013). Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food and Bioprocess Technology*, 6 (2), 391–402.

Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., Gavara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35(1), 42–51.

Gómez-Estaca, J., López-de-Dicastillo, C., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., Gravara, R. (2014). Advances in antioxidant active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 25, 42–51.

Gould, W. A. (1974). *Tomato Production, Processing and Quality Evaluation*. AVI Publishing Company, Westport, Connecticut.

Griebing, T. L. (2013). Re: Efficacy of an improved absorbent pad on incontinence-associated dermatitis in older women: Cluster randomized controlled trial: Editorial comment. *Journal of Urology*, 189, 1819–1820.

Guerra, I. C. D., de Oliveira, P. D. L., de Souza Pontes, A. L., Lúcio, A. S. S. C., Tavares, J. F., Barbosa-Filho, J. M., Madruga, M. S., & de Souza, E. L. (2015). Coatings comprising chitosan and *Mentha piperita* L. or *Mentha villosa* Huds essential oils to prevent common postharvest mold infections and maintain the quality of cherry tomato fruit. *International Journal of Food Microbiology*, 214, 168–178.

Guil-Guerrero, J. L., Reboloso-Fuentes, M. M. (2009). Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 123–129.

Haider, Z., Nawab, A., Alam, F., Lutfi, Z., Hasnain, A. (2020). The effect of rice husk based ethylene scavengers on the postharvest quality of tomato fruits. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 17(4), 765-775.

Hao, X. M., Papadopoulos, A.P. (2003). Effects of calcium and magnesium on growth, fruit yield and quality in a fall greenhouse tomato crop grown on rockwool. *Canadian Journal of Plant Science*. 83, 903–912.

Hassan, B., Shahid Chatha, S.A., Hussain, A. I., Zia, K.M., Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095–1107.

- Hemalatha, T., UmaMaheswari, T., Senthil, R. et al. (2017). Efficacy of chitosan films with basil essential oil: perspectives in food packaging. *Food Measure*, *11*, 2160–2170.
- Hernández Suárez, M., Rodríguez, E. M., Díaz Romero, C. (2008). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Island. *Food Chemistry*. *106*, 1046–1056.
- Herskovitz, J., E. & Goddard, J., M. (2020). Reactive Extrusion of Nonmigratory Antioxidant Poly(lactic acid) Packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *68* (7), 2, 164–2, 173.
- Ho, L. C. (1996). The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. *Journal of Experimental Botany*, *47* (1996), 1239-1243.
- Hobson, G. & Grierson, D. (1993). Tomato. In: G. Seymour, J. Taylor, G. Tucker (Eds.). *Biochemistry of fruit ripening* (pp. 405–442). London UK: Chapman and Hall.
- Hobson, G. E., Davies, J. N. (1971). The tomato. In A. C. Hulme (Ed.). *The Biochemistry of Fruits and their Products* (pp. 437). London: Academic Press.
- Hong, M. N., Lee, B. C., Mendonca, S., Grossmann, M. V. E., Verhe, R. (1999). Effect of infiltrated calcium on ripening of tomato fruits. *LWT: Journal of Food Science*, *33*, 2–8.
- Huang, Y., Lu, R., Chen, K. (2017). Prediction of Firmness Parameters of Tomatoes by Portable Visible and Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Food Engineering*.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Pamanamá). (2012). Tabla de composición de alimentos de Centroamérica, M. T. Menchú & H. Méndez, (Ed.), (3<sup>a</sup> Reimpresión). Guatemala.
- Janjarasskul, T., & Suppakul, P. (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *58*(5), 808–831.
- Jeevahan, J., Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, *54*, 12290– 12318.
- Jianglian, D., Shaoying, Z. (2013). Application of chitosan-based coating in fruit and vegetable preservation: A review. *Journal of Food Processing and Technology*, *4*, 227–230.
- Kader, A. A. (1983). Physiological and biochemical effects of carbon monoxide added to controlled atmospheres on fruits. *Acta Horticulturae*, *138*, 221–226.

Kader, A. A., Morris, L. L., Stevens, M. A., Albright-Holton, M. (1978). Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 103, 6-13.

Kalateh Seifari, F., Ahari, H. (2020). Active edible films and coatings with enhanced properties using nanoemulsion and nanocrystals *Food & Health*, 3(1), 15-22.

Kharchoufi, S., Parafati, L., Licciardello, F., Muratore, G., Hamdi, M., Cirvilleri, G. et al. (2018). Edible coatings incorporating pomegranate peel extract and biocontrol yeast to reduce *Penicillium digitatum* postharvest decay of oranges *Food Microbiology*, 74, 107-112.

Krumbein, A. & Auerswald, H. (1998). Characterization of aroma volatiles in tomatoes by sensory analyses. *Nahrung*, 42(6), 395-399.

Kubheka, S. F., Tesfay, S. Z., Mditshwa, A., Magwaza, L. S. (2020). Evaluating the efficacy of edible coatings incorporated with moringa leaf extract on postharvest of “maluma” avocado fruit quality and its biofungicidal effect. *Hort Science*, 55(4), 410-415.

Kumar, A., Saini, C. S. (2021). Edible composite bi-layer coating based on whey protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes. *Measurement: Food*, 2, 100005.

Kyriacou C., Roupael Y. (2017). Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables, *Scientia Horticulturae*, 234, 463–469.

Lee, Jisun H. J.; Jayaprakasha, Guddadarangavvanahally K.; Avila, Carlos A.; Crosby, Kevin M.; Patil, Bhimanagouda S. (2020). Effects of genotype and production system on quality of tomato fruits and *in vitro* bile acids binding capacity. *Journal of Food Science*, 1-9.

Lee, S.Y., S.J. Lee, D.S. Choi and S.J. Hur (2015). Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods, *J. Sci. Food Agric.*, 95, 2799–2810.

Liu, B., H. Xu, H. Zhao, W. Liu, L. Zhao and Y. Li (2017). Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications, *Carbohydr. Polym.*, 157, 842–849.

López Camelo, A. F., Gómez, P. A. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*, 22(3), 534-537.

Luangapai, F., Peanparkdee, M., Iwamoto, S. (2019). Biopolymer films for food industries: properties, applications, and future aspects based on chitosan. *Reviews in Agricultural Science*, 7, 59–67.

Lyons, J. M. and Breidenbach, R. W. (1987). Chilling injury. In J. Weichmann, (Ed.), *Postharvest Physiology of Vegetables* (pp. 305-326), New York: Marcel Dekker.

Marangoni, A. G., Palma, T., Stanley, D. W. (1996). Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biology and Technology*, 7, 193-217.

Marques, C. S., Carvalho, S. G., Bertoli, L. D., Villanova, J. C. O., Pinheiro, P. F., dos Santos, D. C. M., Yoshida, M. I., de Freitas, J. C. C., Cipriano, D. F., Bernardes, P. C. (2019).  $\beta$ -Cyclodextrin inclusion complexes with essential oils: Obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application for food preservative sachets. *Food Research International*, 119, 499-509.

Maul, F., S.A. Sargent, C.A. Sims, E.A. Baldwin, M.O. Balaban, and D.J. Huber. 2000. Tomato flavour and aroma quality as affected by storage temperature. *Journal of Food Science*, 65, 1228–1237.

McRobbie, L. R. (2016). *The mysterious origins of a food that's always been funny: the sausage*.

Medina, E., Caro, N., Abugoch, L., Gamboa, A., Díaz-Dosque, M., Tapia, C. (2019). Chitosan thymol nanoparticles improve the antimicrobial effect and the water vapour barrier of chitosan-quinoa protein films. *Journal of Food Engineering*, 240, 191–198.

Miranda, K. W. E., Bresolin, J. D., Natarelli, C. V. L., Benevides, S. D., Bastos, M. do S. R., Mattoso, L. H. C., Oliveira, J. E. (2021). Potential use of poly(lactic acid) nanofibers mats as Nano-sachets in postharvest of climacteric fruits and vegetables. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(30), 50735.

Mkandawire, M. & Aryee, A. N. A. (2018). Resurfacing and modernization of edible packaging material technology. *Current Opinion in Food Science*, 19, 104–112.

Mkandawire, M., Aryee, A. N. A. (2018). Resurfacing and modernization of edible packaging material technology. *Current Opinion in Food Science*, 19, 104–112.

Mohammed, O., Azzazy, M., Badawe, S. (2021). Effect of some edible coating materials on quality and postharvest rots of cherry tomato fruits during cold storage. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 48, 37-54.

Montero-Calderón, M., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2016). Edible packaging for fruits and vegetables. In M. A. P. R. Cerqueira, R. N. C. Pereira, O. L. da S. Ramos, J. A. C.



Teixeira, A. A. Vicente (Eds.), *Edible food packaging: materials and processing technologies* (pp. 353–382). Boca Raton: CRC Press.

Murrieta-Martínez, C. L., Soto-Valdez, H., Pacheco-Aguilar, R., Torres-Arreola, W., Rodríguez-Felix, F., Márquez-Ríos, E. (2018). Edible protein films: sources and behavior. *Packaging Technology and Science*, 31, 113–122.

Nair, M. S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304–320.

Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. In , *Vol. 16. Food packaging and shelf life* (pp. 157–167). Elsevier Ltd.

Olivas, G. I., Rodriguez, J. J., Barbosa-Cánovas, G. V. (2003). Edible coatings composed of methylcellulose, steric acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27, 299–320.

Ortiz, C. M., Mauri, A. N., Vicente, A. R. (2013). Use of soy protein based 1-methylcyclopropene-releasing pads to extend the shelf life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 281–287.

Osorio, S., Ruan, Y. -L., Fernie, R. (2014). An update on source-to-sink carbon partitioning in tomato. *Frontiers in Plant Science*, 5, 516

Otoni, C. G., Espitia, P. J. P., Avena-Bustillos, R. J., McHugh, T. H. (2016). Trends in antimicrobial food packaging systems: Emitting sachets and absorbent pads. *Food Research International*, 83, 60–73.

Pacaphol, K., Seraypheap, K., & Aht-Ong, D. (2019). Development and application of nanofibrillated cellulose coating for shelf life extension of fresh-cut vegetable during postharvest storage. *Carbohydrate Polymers*, 224, 1–10.

Page, D., Gouble, B., Valot, B., Bouchet, J. P., Callot, C., Kretschmar, A., Causse, M., Renard, C. M. C. G, Faurobert, M. (2010). Protective proteins are differentially expressed in tomato genotypes differing for their tolerance to low-temperature storage. *Planta*, 232, 483–500.

Paig-Tran, E. W. M., Kleinteich, T., Summers, A. P. (2013). The filter pads and filtration mechanisms of the devil rays: Variation at macro and microscopic scales. *Journal of Morphology* 274, 1026–1043.

Pal, U. S., Khan, M. K., Sahoo, G. R. & Sahoo, N. R. (2002). Post-harvest losses on tomato, cabbage and cauliflower. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 33, 35-41.

Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambaroust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullon, B., Alirezalu, K. (2021). *Trends in Food Science and Technology*. 110, 663–673 (2021).

Pangaribuan, D. H. (2005). *Postharvest physiology of fresh-cut tomato slices*. PhD Thesis, School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland

Parreidt, T. S., Muller, K., & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7, 1–38.

Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 263–277.

Petro-Turza, M. (1986). Flavor of tomato and tomato products. *Food Reviews International*, 2 (3), pp: 309–351.

Pinela, J., Barros, L., Carvalho, A.M., Ferreira ICFR. (2012). Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food and Chemical Toxicology*. 50, 829–834.

Punia, S., Sandhu, K. S., Dhull, S. B., Kaur, M. (2019). Dynamic, shear and pasting behaviour of native and octenyl succinic anhydride (OSA) modified wheat starch and their utilization in preparation of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*.

Qiu, X., S. Chen, G. Liu and Q. Yang (2014). Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4°C by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract. *Food Chemistry*, 162, 156–160.

Rao, A.V., Agarwal S. (2000). Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*, 19, 563–569.

Reyes-Avalos, M. C., Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Contreras-Esquivel, J. C., Quintero-Ramos, A., Esparza-Rivera, J. R., Meza-Velásquez, J. A. (2019). Application of an alginate–chitosan edible film on figs (*Ficus carica*): effect on bioactive compounds and antioxidant capacity. *Food and Bioprocess Technology*, 12, 499–511.

Ribeiro, A. M., Estevinho, B. N., Rocha, F. (2020). Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. *Food and Bioprocess Technology*.

Ribeiro, C., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Progress in Polymer Science*, 44, 63–70.

Ripoll, J., Urban, J., Brunel, B., Bertin, N. (2016a). Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *Journal of Plant Physiology*. 190, 26–35.

Ripoll, J., Urban, L., Bertin, N. (2016b). The potential of the MAGIC TOM parental accessions to explore the genetic variability in tomato acclimation to repeated cycles of water deficit and recovery. *Frontiers in Plant Science*. 6, 1172.

Ripoll, J., Urban, L., Staudt, M., Lopez-Lauri, F., Bidel, L.P.R., Bertin, N. (2014). Water shortage and quality of fleshy fruits – making the most of the unavoidable. Review. *Journal of Experimental Botany*. 65(15), 4097–4117.

Robbani, S., Fahma, F., Sugiarto, S. (2021). Cellulosic pads as matrix sachet antimicrobial: A review. *Agrointek*, 15(2), 554-565.

Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., and Martín-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438–447.

Rojas-Graü, M. A., Soliva-Fortuny, R., Martín-Belloso, O. (2011). Use of edible coatings for fresh-cut fruits and vegetables. In O. Martín-Belloso, R. Soliva-Fortuny (Eds.), *Advances in Fresh-Cut Fruits and Vegetables Processing* (pp. 285–311). Boca Raton: CRC Press.

Ruelas-Chacon, X., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez, J., Aguilera-Carbo, A. F., Reyes-Vega, M. L., Peralta-Rodriguez, R. D., Sánchez-Brambila, G. (2017). Guar Gum as an Edible Coating for Enhancing Shelf-Life and Improving Postharvest Quality of Roma Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Food Quality*, 2017, 1–9.

Salas-Méndez, E. D. J., Vicente, A., Pinheiro, A. C., Ballesteros, L. F., Silva, P., Rodríguez-García, R. et al. (2019). Application of edible nanolaminate coatings with antimicrobial extract of *Flourensia cernua* to extend the shelf-life of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 150, 19-27.

Sand, C. K. (2020). Active and Intelligent Packaging = Longer Shelf Life. *Food Technology*, 74(4), 128–130.

Sandhya, Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs. *LWT—Food Science and Technology*, 43(3), 381–392.

Sarikurkcü, C., Uren, M. C., Kocak, M. S., Cengiz, M., Tepe, B. (2016). Chemical composition, antioxidant, and enzyme inhibitory activities of the essential oils of three *Phlomis* species as well as their fatty acid compositions. *Food Science and Biotechnology*, 25(3), 687-693

Sedyadi, E., Sulistyowati, A., Kusumawati, M., Nugraha, I., Prabawati, S. Y. (2019). Utilization of ginger extract (*Zingiber Officinale*) and turmeric extract (*Curcuma longa*) as edible tomato-packing film. *Journal of Physics: Conference Series*, 1277.

Serrano, M., Martínez-Romero, D., Castillo, S., Guillén, F., Valero, D. (2005). The use of natural antifungal compounds improves the beneficial effect of MAP in sweet cherry storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(1),115-123.

Seymour, G. B., Manning, K., Eriksson, E. M., Popovich, A. H., King, G. J. (2002). Genetic identification and genomic organization of factors affecting fruit texture. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2065-2071.

Slimestad, R. & Verheul, M. (2009). Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 1255-1270.

Sousa, A. R., Oliveira, J. C., Sousa-Gallagher, M. J. (2017). Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. *Journal of Food Engineering*, 206, 13–22

Sousa, H. A. d. F., Filho, J. G. d. O., Egea, M. B., da Silva, E. R., Macagnan, D., Pires, M., Peixoto, J. (2019). Active film incorporated with clove essential oil on storage of banana varieties. *Nutrition & Food Science*, 49, 911–924.

Sucheta, Chaturvedi, K., Sharma, N., Kumar, S. K. (2019b). Composite edible coatings from commercial pectin, corn flour and beetroot powder minimize post-harvest decay, reduces ripening and improves sensory liking of tomatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 284–293.

Sun, R., Song, G., Zhang, H., Zhang, H., Chi, Y., Ma, Zhang, X. (2021). Effect of basil essential oil and beeswax incorporation on the physical, structural, and antibacterial properties of chitosan emulsion based coating for eggs preservation. *LWT*, 150, 112020.

Suslow, T. V. & Cantwell, M. (2009). Tomato-recommendations for maintaining postharvest quality. In A. A. Kader (Ed.), *Produce Facts*. Davis, Calif, USA: Postharvest Technology Research & Information Center.

Tian, F., E. A. Decker, and J. M. Goddard. 2013. Controlling lipid oxidation of food by active packaging technologies. *Food & Function*, 4(5), 669–680.

Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L. M., Blandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A. Z., Rodríguez, G. R., van der Knaap, E., Taylor, M. G., Goulet, C., Mageroy, M. H., Snyder, D. J., Colquhoun, T., Moskowitz, H., Clark, D. G., Sims, C., Bartoshuk, L., Klee, H. J. (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology*, 22(11), 1035-1039.

Toivonen, P. M. A. & Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 1-14.

Utto, W., Preutikul, R., Malila, P., Noomhorm, A., Bronlund, J. (2018). Delaying microbial proliferation in freshly peeled shallots by active packaging incorporating ethanol vapour-controlled release sachets and low storage temperature. *Food Science and Technology International*, 24(2), 132-144.

Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M. D. C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M. K., Freire, C. S. (2018). A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 212–22.

Villalobos, R., Chanona, J., Hernández, P., Gutiérrez, G., Chiralt, A. (2005). Gloss and transparency of hydroxypropyl methylcellulose films containing surfactants as affected by their microstructure. *Food Hydrocolloids*, 19, 53–61.

Vinha, A. F., Barreira, S. V. P., Castro, A., Costa, A., Oliveira, M. B. P. P. (2013). Influence of the Storage Conditions on the Physicochemical Properties, Antioxidant Activity and Microbial Flora of Different Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Cultivars. *Journal of Agricultural Science*, 5(2), 118-128.

Wahjuningsih, S. B., Rohadi, Susanti, S., Setyanto, H. Y. (2019). The effect of K-carrageenan addition to the characteristics of jicama starch-based edible coating and its potential

application on the grapevine. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 9, 405–410.

Wang, K., Cao, S., Di, Y., Liao, Y., Zheng, Y. (2015). Effect of ethanol treatment on disease resistance against anthracnose rot in postharvest loquat fruit. *Scientia Horticulturae*, 188, 115-121.

Wang, X., Xing, Y. (2017). Evaluation of the effects of irrigation and fertilization on tomato fruit yield and quality: a principal component analysis. *Scientific Reports*. 7, 350.

Won, J. S., Lee, S. J., Park, H. H., Song, K. B., Min, S. C. (2017). Edible Coating Using a Chitosan-Based Colloid Incorporating Grapefruit Seed Extract for Cherry Tomato Safety and Preservation. *Journal of Food Science*. 83, 138–146.

Won, J. S., Lee, S. J., Park, H. H., Song, K. B., Min, S. C. (2018). Edible coating using a chitosan-based colloid incorporating grapefruit seed extract for cherry tomato safety and preservation. *Journal of Food Science*, 83(1), 138-146.

Yang, Z., Peng, H., Wang, W., Liu., T. (2010). Crystallization behavior of poly( $\epsilon$ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 2658-2667.

Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165–199.

Zam, W. (2019). Effect of alginate and chitosan edible coating enriched with olive leaves extract on the shelf life of sweet cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Food Quality*, 1–7.

Zhang, B., Tieman, D. M., Jiao, C., Xu, Y., Chen, K., Fei, Z., Giovannoni, J. J., Klee, H. J. (2016). Chilling-induced tomato flavor loss is associated with altered volatile synthesis and transient changes in DNA methylation. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 113 (44), 12580–12585.

Zhang, W., Li, X., Jiang, W. (2019). Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple. *International Journal of Biological Macromolecules*, 154, 1205-1214.

Zhang, Y., Butelli, E., De Stefano, R., Schoonbeek, H., Magusin, A., Pagliarani, C., Wellner, N., Hill, L., Orzaez, D., Granell, A., Jones, J. D. G. Martin, C. (2013). Anthocyanins

Double the Shelf Life of Tomatoes by Delaying Overripening and Reducing Susceptibility to Gray Mold. *Current Biology*, 23(12), 1094–1100.

Zhang, Z. L., Li, D. L., Xu, W. C., Duan, H. Y., Fu, Y. B. (2015). Analysis of the application of fungicide and ethylene absorbent for extended storage life of kyoho grapes at room temperature. *Applied Mechanics and Materials*, 731, 374–380.

## **Ελληνική βιβλιογραφία**

Βασιλακάκης, Μ. Δ. (2014). Μετασυλλεκτική Φυσιολογία - Μεταχείριση Οπωροκηπευτικών και Τεχνολογία (3<sup>η</sup> εκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γαρταγάνη.

Μπλούκας, Ι. Γ. (2004). *Συσκευασία Τροφίμων*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.

Ντόγρας, Κ. (2004-5). *Ειδική Λαχανοκομία Ι* (Μέρος Α) (σελ. 192). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΑΠΘ.