



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

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Επίδραση των εδώδιμων επικαλύψεων στην ποιότητα και τον χρόνο ζωής
στο φρέσκο τοματάκι**

Εμμανουέλα Σ. Χριστοφάκη

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Τσιρώνη Θεοφανία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ**

ΑΘΗΝΑ 2022

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

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Επίδραση των εδώδιμων επικαλύψεων στην ποιότητα και τον χρόνο ζωής
στο φρέσκο τοματάκι**

“Effect of edible coatings on quality and shelf life of fresh cherry tomato”

Εμμανουέλα Σ. Χριστοφάκη

Εξεταστική Επιτροπή:

Τσιρώνη Θεοφανία, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ (επιβλέπουσα)
Στοφόρος Νικόλαος, Καθηγητής ΓΠΑ
Ευαγγελίου Βασιλική, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΓΠΑ

Επίδραση των εδώδιμων επικαλύψεων 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

Η παρούσα διατριβή στοχεύει στην αποτίμηση του οικολογικού πλαισίου προσέγγισης της εδώδιμης συσκευασίας, με χρήση φυσικών πρόσθετων ως βιοενεργά συστατικά για την συντήρηση κλιμακτηριακών φρούτων, ωφελώντας έτσι τόσο τον καταναλωτή, όσο και το περιβάλλον. Ειδικότερα, διερευνήθηκαν δύο εναλλακτικοί τύποι συσκευασίας σε φρέσκο τοματάκι (*Solanum lycopersicum* var *cerasiforme*), (α) με τη μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v) και (β) με την μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v) με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr 0.5% w/v), και οι δύο σε ανοιχτό περιέκτη. Με στόχο την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των εναλλακτικών μεθόδων, κατά την διάρκεια της αποθήκευσής τους στους $10\pm1^{\circ}\text{C}$ και 60% σχετική υγρασία για 42 ημέρες, εξετάστηκε η μεταβολή σε ιδιότητες αυτών, όπως η απώλεια βάρους, το χρώμα και η συνεκτικότητα.

Η προσθήκη αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου (EOr 0.5% w/v) σε φρέσκα τοματάκια συνετέλεσε στην επιβράδυνση της απώλειας βάρους, τη διατήρηση της συνεκτικότητας και του χρώματος των καρπών, έχοντας την αποτελεσματικότερη διατήρηση ποιότητας και επέκταση της διάρκειας ζωής. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας επιβεβαιώνουν ότι η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη εμπλουτισμένη με αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου EOr, δύναται να βελτιώσει την ποιότητα σε συσκευασμένα φρέσκα τοματάκια.

Επιστημονική περιοχή: Εδώδιμες επικαλύψεις σε φρέσκο τοματάκι

Λέξεις κλειδιά: Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, Εδώδιμη επικάλυψη, Αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου, Τοματάκι, Μετασυλλεκτική ποιότητα

Effect of edible coatings on 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 approach of edible packaging, using natural additives as bio-active ingredients for the preservation of climacteric fruits, in order to avail both consumer and the environment. Particularly, two alternative types of packaging were investigated in fresh cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*): (i) application of an edible coating based on carboxymethylcellulose (CMC 2% w/v) and (ii) addition of an edible coating based on carboxymethylcellulose (CMC 2% w/v) with rosemary essential oil (EOr 0.5% w/v), both types in an open container. The effectiveness of alternative methods was evaluated by measuring weight loss, firmness and color during fruits' storage at 10±1°C and 60% RH for 42 days.

The addition of rosemary essential oil (EOr 0.5% w/v) to fresh cherry tomatoes was found very effective in decreasing weight loss, maintaining the firmness and color of the fruit. Results of this study confirm that the application of an edible coating based on carboxymethylcellulose, enriched with rosemary essential oil EOr, can improve the quality and shelf life of packaged fresh cherry tomatoes.

Scientific area: Edible coatings on fresh cherry tomato

Keywords: Carboxymethyl cellulose, Edible coating, Rosemary 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.

Η ολοκλήρωση της μεταπυχιακής αυτής εργασίας θα ήταν αδύνατη χωρίς την πολύτιμη υποστήριξη της επιβλέπουσας καθηγήτριας μου, επίκουρης καθηγήτριας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Κας Θεοφανίας Τσιρώνη. Θα ήθελα να της εκφράσω την εκ βαθέων ευγνωμοσύνη για την καθοδήγησή της, την αμέριστη βοήθειά της και την υπομονή της καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να δώσω θερμές ευχαριστίες στην Δρ. Γεωργιάδου Μαρία και στον διδακτορικό φοιτητή Χατζηδάκη Στυλιανό που ήταν στο πλευρό μου κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, προσφέροντας μου συμβουλές και γνώσεις σε κάθε πιθανή αντιξοότητα.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω την συμφοιτήτρια μου Πατσοπούλου Ισμήνη-Μαρία, για την υπέροχη συνεργασία, την συνεχή συμπαράσταση και αδιάλειπτη επικοινωνία που είχαμε καθ' όλη την διάρκεια της διατριβής.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, που δίχως την στήριξη και τις θυσίες τους δεν θα μπορούσα να κάνω τα όνειρά μου πραγματικότητα.

Αθήνα, Δεκέμβριος 2022

«Με την άδειά μου, η παρούσα εργασία ελέγχθηκε από την Εξεταστική Επιτροπή μέσα από λογισμικό ανίχνευσης λογοκλοπής που διαθέτει το ΓΠΑ και διασταυρώθηκε η εγκυρότητα και η πρωτοτυπία της»

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT	4
Κεφάλαιο 1.....	9
Βιβλιογραφική ανασκόπηση	9
1.1 Ιστορική αναδρομή	9
1.2 Ο καρπός της τομάτας	11
1.3 Σύσταση της τομάτας	12
1.4 Προϊόντα τομάτας	12
1.5 Παραγωγή τομάτας και οικονομικά στοιχεία.....	13
1.6 Διαιτητική αξία	13
1.7 Παράγοντες ποιότητας νωπής τομάτας.....	15
1.7.1 Προσυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας	15
1.7.2 Μετασυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας	18
Κεφάλαιο 2.....	28
Εδώδιμες μεμβράνες.....	28
2.1 Εισαγωγή...	28
2.2 Ιστορική θεώρηση των εδώδιμων επικαλύψεων	28
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα εδώδιμων μεμβρανών & επικαλύψεων	29
2.4 Απαιτήσεις από τις εδώδιμες μεμβράνες	30
2.5 Μέθοδοι εφαρμογής εδώδιμων επικαλύψεων	31
2.6 Σύνθεση των εδώδιμων επικαλύψεων	32
2.6.1 Εδώδιμες επικαλύψεις από Πολυσακχαρίτες.....	33
2.6.2 Εδώδιμες επικαλύψεις που βασίζονται στις πρωτεΐνες	37
2.6.3 Εδώδιμες επικαλύψεις που βασίζονται στα λιπίδια	40
2.6.4 Σύνθετες και πολυστρωματικές μεμβράνες	41
2.7 Ενσωμάτωση φυσικών αντιοξειδωτικών σε εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις.....	42
2.7.1 Λιθέρια έλαια	42
2.8 Εφαρμογές και μελλοντικές χρήσεις των εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων.....	43
2.9 Παραδείγματα εφαρμογής εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε νωπή τομάτα	45
Κεφάλαιο 3.....	51
Υλικά και μέθοδοι.....	51
3.1 Υλικά.....	51
3.2 Εφαρμογές διαφορετικών περιπτώσεων επεξεργασίας και συνθήκες αποθήκευσης.....	51

3.3 Προετοιμασία και εφαρμογή EC - CMC	51
3.4 Προετοιμασία και εφαρμογή EC - CMC+EOr	52
3.5 Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ποιότητας στο τοματάκι	52
3.5.1 Χρώμα.....	52
3.5.2 Απώλεια βάρους & συνεκτικότητα καρπού.....	53
3.6 Στατιστική ανάλυση δεδομένων.....	54
Κεφάλαιο 4.....	55
Αποτελέσματα και συζήτηση	55
4.1 Απώλεια βάρους	55
4.2 Χρώμα.....	57
4.3 Συνεκτικότητα.....	60
Κεφάλαιο 5.....	62
Συμπεράσματα.....	62
Ξένη Βιβλιογραφία.....	64
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. 1 Οι κυριότερες χώρες παραγωγής τομάτας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (χιλιάδες τόνοι) (Πηγή: Eurostat, 2022)	13
Πίνακας 1. 2 Η διατροφική αξία της ώριμης νωπής κόκκινης τομάτας (red ripe) ανά 100g προϊόντος (Πηγή: Rao and Agarwal, 2000; INCAP, 2012; Hernández et al., Food Chem, 2008; Pinela et al., 2012).....	14
Πίνακας 1. 3 Συνιστάμενες συνθήκες αποθήκευσης τομάτας με σχετική υγρασία (90-95) % συναρτήσει του σταδίου ωριμότητας. (Πηγή: Βασιλακάκης, 2014; Ντόγρας, 2004)	20
Πίνακας 1. 4 Ρυθμός αναπνοής τομάτας στον ατμοσφαιρικό αέρα (1 atm) σε διαφορετικές θερμοκρασίες. (Πηγή: Acedo and Thanh, 2006b).....	23

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. 1 Ο καρπός της τομάτας. (Πηγή: Ολύμπιος, 2015).....	11
Εικόνα 1. 2 Στάδια εμπορικής ωριμότητας της τομάτας κατά USDA (Πηγή από δεξιά προς αριστερά: Six Ripening Stages Of Tomatoes By The Fruit Surface Color, https://ofags.com/ripening-stages-of-tomatoes ; Passam et al., 2015).	17
Εικόνα 1. 3 Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος με βάση τους χρωματικοί χάρτες (δείκτη χρώματος CI) (Πηγή: Acedo and Thanh, 2006a).	18
Εικόνα 1. 4 Σχηματική απεικόνιση σταδίων ανάπτυξης, ωρίμανσης και γηρασμού κλιμακτηριακών και μη φρούτων. (Πηγή: Yang, 2018).....	21
Εικόνα 1. 5 Σχηματική απεικόνιση της κλιμακτηριακής αναπνευστικής κρίσης για καρπό που ωριμάζει εμπορικά.(Πηγή: Saltveit, 2004).....	22
Εικόνα 1. 6 Χρωματικός χώρος CIE L*a*b*. (Πηγή: Minolta, 1994).....	25

Εικόνα 2. 1 Η χρήση των λιπιδίων και των υδροκολλοειδών για την εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών (Πηγή : Tharanathan, 2003)	33
Εικόνα 3. 1 Δείγματα στο χρόνο μηδέν από την κάθε επεξεργασία. Από αριστερά: Μάρτυρας, EC-CMC, EC-CMC +EOr.....	52
Εικόνα 3. 2 Χρωματόμετρο X-Rrite, i1PRO REV E, 1 113 597 (X-Rite Asia Pasific Ltd., Hong Kong, China).	53
Εικόνα 3. 3 i) Εξοπλισμός ανάλυσης υφής TX0258-model-H5KS (Hounsfield. Test Equipment Ltd., Surrey, UK), ii) Τα πέντε σημεία διάτρησης για την εκτίμηση της υφής. ...	54
Εικόνα 4. 1 Διαφορά χρώματος δειγμάτων στο χρόνο μηδέν και στις ημέρες δειγματοληψίας. Από άνω: Μάρτυρας, EC-CMC, EC-CMC+EOr	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4. 1 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στην απώλεια βάρους, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).....	56
Σχήμα 4. 2 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στον χρωματικό δείκτη (CI), κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).....	58
Σχήμα 4. 3 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στη συνεκτικότητα, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).....	60

Κεφάλαιο 1

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.1 Ιστορική αναδρομή

Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα, πολλοί λαοί πίστευαν ότι ο καρπός της τομάτας (*Solanum lycopersicum* L.), όπως και όλοι οι καρποί των φυτών της οικογένειας των Σολανωδών (*Solanaceae*), ήταν επιβλαβής για την ανθρώπινη υγεία. Προέρχεται από τη Νότια Αμερική, ίσως από το Περού, όπου και σήμερα εξακολουθούν να αυτοφύονται διάφορες ποικιλίες άγριας τομάτας και μεταφέρθηκε πιθανόν ως ζιζάνιο με σπόρους καλαμποκιού, στην Κεντρική Αμερική, συγκεκριμένα στο Μεξικό όπου και ξεκίνησε η καλλιέργεια και η χρήση της τομάτας από τους Ινδιάνους (Denny, 1997). Άλλωστε και η προέλευση της ονομασίας ήταν από τη λέξη *tomatl* ή *xitomate* ή *zitotomate*, είτε *tomati* της γλώσσας Nahalt, που μιλούσαν οι αρχαίοι Μεξικάνοι. Ο τύπος τομάτας που αναπτύξαν οι Ινδιάνοι στην Κεντρική Αμερική ήταν η μικρόκαρπη τομάτα (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), η οποία λογίζεται και ως ο άμεσος πρόγονος της καλλιεργούμενης σημερινής τομάτας (Uyeshiro, 1977).

Στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, η τομάτα μεταφέρθηκε από το Μεξικό προς την Ευρώπη μέσω Ισπανών εξερευνητών που συμμετείχαν στην αποικιοποίηση όλης περίπου της Νότιας και Κεντρικής Αμερικής. Βιβλιογραφικά, η πρώτη καταγραφή της έγινε το 1554 στο βιβλίο Herbal του Ιταλού Piero Andrea Matthiolus με τα ονόματα *mala aurea* και *pomi d'oro* (χρυσός και χρυσό μήλο), απόρροια του κίτρινου χρώματος των καρπών των πρώτων φυτών της τομάτας. Μάλιστα, πίστευαν για περίπου δύο αιώνες ότι ήταν πολύ δηλητηριώδες είδος και έγινε ελάχιστη χρήση της κυρίως στην Ισπανία, την Ιταλία και την Γαλλία και μαθεύτηκε με το όνομα *romme d'amour* (μήλο της αγάπης), καθώς σε αυτήν απέδιδαν αφροδισιακές ιδιότητες. Οι Βόρειοι Ευρωπαίοι διαχειρίστηκαν την τομάτα με δυσπιστία. Ωστόσο, μετά τα μέσα του 18^{ου} αιώνα διαπιστώθηκε ότι η καλλιέργειά της χρησιμοποιήθηκε ευρέως (Leonī, 1993). Η τομάτα έγινε γνωστή μετά από το μακροχρόνιο ταξίδι της στον παγκόσμιο χάρτη και στην Ελλάδα το 1818 καλλιεργήθηκε ως κηπευτικό φυτό (Καραουλάνης, 1991).

Από βοτανικής άποψης, κυρίως στα φύλλα της τομάτας περιέχεται σολανίνη, η οποία είναι ένα δηλητηριώδες αλκαλοειδές για τον άνθρωπο και τα ζώα. Στα φύλλα ιδίως της πατάτας, του καπνού και άλλων φυτών της ίδιας οικογένειας συναντάται η

ίδια ποσότητα αυτής. Η ατροπίνη είναι υπεύθυνη για την τοξικότητα του φυτού αυτού, καθώς πολλοί λαοί γνώριζαν ότι περιέχεται σε όλα τα μέρη του και το συνέδεσαν με δηλητηριάσεις και διάφορες άλλες περίεργες παρενέργειες στον άνθρωπο. Παράλληλα, ο καρπός της τομάτας αντιμετωπίστηκε με καχυποψία λόγω των άγνωστων ιδιοτήτων ενός "εξωτικού" είδους αλλά η θεμελιώδης αιτία θεωρείται ότι ήταν η σημαντική ταύτισή της με το φυτό της ίδιας οικογένειας ονόματι *Atropus belladonna* (Ατροπος), διαδεδομένο από τα αρχαία χρόνια τόσο για τις φαρμακευτικές όσο και για τις δηλητηριώδεις ιδιότητές του. Συνεπώς, για σχεδόν τρεις αιώνες η εκμετάλλευση του φυτού περιορίστηκε λόγω της ομοιότητάς του με την Ατροπο. Ειδικότερα, στην Γερμανία της έδωσαν την ονομασία "ροδάκινο του λύκου" λόγω της καχυποψία που υπήρχε προς αυτήν, όπως καταγράφθηκε τον 18^ο αιώνα από τον Λινναίο, όταν την χαρακτήρισε με το επιστημονικό όνομα *Lycopersicon esculentum*, που μεταφράζεται ως εδώδιμο ροδάκινο του λύκου (Leoni, 1993).

Με την πάροδο των χρόνων στην Ευρώπη εισήλθαν πολλές ποικιλίες τομάτας, οι οποίες θεωρήθηκαν ως η αφετηρία για την σχηματισμό καλύτερων τύπων τομάτας με βέλτιστες ιδιότητες. Αυτό είχε ως συνέπεια να δημιουργηθούν τύποι τομάτας με διάφορα σχήματα, μεγέθη και χρώματα καρπού που ανταποκρίνονταν σε όλες τις επιθυμίες. Αρκετοί από αυτούς, καλλιεργήθηκαν πάνω από ένα αιώνα, ενώ άλλοι μέχρι και σήμερα καθώς είναι τύποι που οι γενυστικές τους ικανότητες ξεχώρισαν. Σημαντικό χαρακτηριστικό στην μεγάλη επιτυχία και στην διατήρηση αυτών των ποικιλιών αποτέλεσε η αυτογονιμοποίηση των ανθών της τομάτας διότι αυξάνοντας την ομοζυγωτία από γενιά σε γενιά αλλά και την ποικιλία εξασφαλίστηκε η μεγαλύτερη σταθερότητα των χαρακτηριστικών της.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ξεκίνησε η βιομηχανική επεξεργασία και η κονσερβοποίηση της τομάτας στις κυρίαρχες χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής. Μετέπειτα δόθηκε σημαντική ώθηση στην εξάπλωση της καλλιέργειας, σχηματίζοντας συνεχώς καινούριους τύπους και υβρίδια κατάλληλα για τη βιομηχανία αλλά και διάφορα προϊόντα βιομηχανικής επεξεργασίας, εφευρίσκοντας συνεχώς νέες χρήσεις της τομάτας. Παράλληλα, από διατροφικής άποψης, έγινε πλήρως κατανοητή η υψηλή αξία της τομάτας, καθώς φάνηκε ότι αποτελεί μία εξαιρετική πηγή βιταμινών και ιχνοστοιχείων για την κάλυψη των αναγκών του ανθρώπου.

1.2 Ο καρπός της τομάτας

Είναι ένα σαρκώδες φρούτο, ειδικότερα είναι μια πολύχωρος ράγα με ποικιλομορφία σχημάτων που καθορίζονται γενετικά, ενώ εξαρτάται λιγότερο από το περιβάλλον και τις καλλιεργητικές συνθήκες που επικρατούν. Επιπλέον, ο καρπός της (Σχήμα 1.1) θεωρείται ότι είναι μια διογκωμένη ωοθήκη συμφόνα με τους όρους της βοτανικής. Το σχήμα της επηρεάζεται κυρίως από την ποικιλία και είναι συνήθως σφαιρικό ή επίμηκες (Barrett, 1998). Το σώμα του καρπού χαρακτηρίζεται ως περικάρπιο και δημιουργείται από το τοίχωμα της ωοθήκης, η οποία περιβάλει τους σπόρους και απαρτίζεται από τοιχώματα τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά. Οι μικρές κοιλότητες διακόπτουν την συνέχεια του περικαρπίου, μέσα στις οποίες είναι εγκλεισμένοι οι σπόροι με την μορφή ζελατινώδους παρεγχυματικού ιστού. Η ποικιλομορφία του αριθμού των κοιλοτήτων κυμαίνεται από δύο και πάνω διότι αποτελεί ιδιαίτερο χαρακτηριστικό κάθε ποικιλίας (Hulme, 1971).



Εικόνα 1. 1 Ο καρπός της τομάτας. (Πηγή: Ολύμπιος, 2015).

Μια σειρά αλλαγών στην υφή, στο χρώμα, την σύσταση και στο άρωμα του καρπού λαμβάνουν χώρα κατά την ωρίμανση. Αρχικά, οι πρώτες αλλαγές του χρώματος παρατηρούνται στην περιοχή των κοιλοτήτων. Καθώς ο καρπός αναπνέει, χάνεται χλωροφύλλη, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιείται η σύνθεση των χρωστικών ουσιών όπως τα καροτενοειδή (Davies and Hobson, 1981). Παράλληλα τα κυτταρικά τοιχώματα διαλυτοποιούνται κατά την διάρκεια της ωρίμανσης και γίνονται τα πιο εύθραυστα τοιχώματα της υπερώριμης τομάτας. Επιπροσθέτως, δημιουργούνται συστατικά αρώματος και γεύσης σε αυτή την φάση, έχοντας ήδη ταυτοποιηθεί πάνω

από 200 πτητικές ουσίες. Στην γεύση αυτής παίζουν σημαντικό ρόλο τα σάκχαρα, κυρίως η φρουκτόζη και η γλυκόζη, που προκύπτουν από την αποικοδόμηση του αμύλου και την παρουσία οργανικών οξέων (Grierson and Kader, 1986).

1.3 Σύσταση της τομάτας

Ο καρπός της αποτελείται κυρίως από 97% χυμό, 2% σπέρματα και 1% φλοιό και, ειδικότερα, ο χυμός αυτής αποτελείται από 93-96 % νερό. Η τομάτα συμβάλλει στην ισορροπημένη και υγιεινή διατροφή καθώς είναι πλούσια σε λυκοπένιο, το οποίο είναι χρήσιμο στη μείωση της συχνότητας εμφάνισης ορισμένων χρόνιων ασθενειών, όπως τον καρκίνο και των καρδιαγγειακών ασθενειών, κυρίως του καρκίνου στον προστάτη (Campbell et al., 2004; Sesso et al., 2003). Επιπλέον, είναι εξαιρετική πηγή βιταμινών, ιδίως B και C (υπό την μορφή ασκορβικού οξέος, 23 mg/100g), αλλά και A (υπό την μορφή του β-καροτένιο), μετάλλων όπως νάτριο, σίδηρο, φώσφορο, κάλιο και μαγνήσιο, ασβέστιο, ψευδάργυρο, σακχάρων και φυτικών ινών. Το 50-65% των στερεών συνήθως αποτελούνται από αναγωγικά σάκχαρα, την φρουκτόζη και την γλυκόζη, με τη φρουκτόζη να απαντάται σε μεγαλύτερη ποσότητα (Gould, 1992). Το κιτρικό οξύ υπερτερεί από τα άλλα οργανικά οξέα και ακολουθεί το μηλικό οξύ, αντιπροσωπεύοντας το 12% ξηρής ουσίας, καθώς η επιθυμητή σχέση σακχάρων/οξέων είναι περίπου 8.5% (Belitz et al., 2006; Pangaribuan, 2005).

1.4 Προϊόντα τομάτας

Μέσω την διαδικασίας της σύνθλιψης και την συμπύκνωσης του καρπού της τομάτας παράγεται πληθώρα προϊόντων. Ο καρπός της μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε νωπός είτε αποφλοιωμένος είτε και τεμαχισμένος ύστερα από θερμική επεξεργασία σε κονσέρβες. Επιπροσθέτως, ο χυμός του καρπού αξιοποιείται από την διεργασία της σύνθλιψης για παραγωγή φρέσκου ή συμπυκνωμένου χυμού τομάτας. Μέσω των διαφόρων σταδίων συμπύκνωσης του καρπού μπορούν να προκύψουν τα διάφορα προϊόντα όπως τοματοπολτός, πούλπα, τοματόσουπα, και σάλτσα για ζυμαρικά ή πίτσες, αφυδατωμένη τομάτα και κέτσαπ.

Συγκεκριμένα, ο τοματοπολτός είναι το προϊόν με την μεγαλύτερη κατανάλωση παγκοσμίως και ορίζεται σύμφωνα με τον Κώδικα Τροφίμων και Ποτών το προϊόν συμπύκνωσης του σαρκώδους χυμού των νωπών καρπών τομάτας με αποβιολή 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%.

Ο χυμός τομάτας τοποθετείται σε πλαστικά κουτιά ή φιάλες. Ελαφρά συμπυκνωμένος χυμός τομάτας χαρακτηρίζεται το προϊόν που παράγεται από χυμό τομάτας και υπόκεινται ελαφρά συμπύκνωση έτσι ώστε τα στερεά συστατικά που προέρχονται από το χυμό να είναι τουλάχιστον 6%.

Η κέτσαπ προέρχεται από τοματοπολτό με βαθμό συμπύκνωσης 30% με προσθήκη ξυδιού, αλατιού, αρτυμάτων, μπαχαρικών και φυσικών γλυκαντικών υλών.

1.5 Παραγωγή τομάτας και οικονομικά στοιχεία

Από οικονομικής άποψης, ο καρπός της τομάτας στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα πολύτιμος για τον πρωτογενή τομέα της. Παράλληλα, σε παγκόσμιο επίπεδο η χώρα μας βρίσκεται ανάμεσα στους ισχυρότερους παραγωγούς με ένα σημαντικό ποσοστό της παραγωγής να εξάγεται προς τρίτες χώρες.

Τα τελευταία 5 χρόνια σύμφωνα με στοιχεία της Eurostat (Πίνακας 1.1), η Ελλάδα είναι 4^η στην σειρά κατάταξης ακολουθώντας τις Ιταλία, Ισπανία και Πορτογαλία. Επιπλέον, το 2021 καταγράφθηκε παραγωγή 908300 tн, κρατώντας την χώρα σταθερά στις πρώτες θέσεις παραγωγής τομάτας. Αξίζει να σημειωθεί ότι μεταξύ των δύο τελευταίων ετών στην Ελλάδα έχει παρουσιαστεί μείωση της παραγωγής της τομάτας κατά 11%.

Πίνακας 1. 1 Οι κυριότερες χώρες παραγωγής τομάτας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (χιλιάδες τόνοι) (Πηγή: Eurostat, 2022).

Χώρα/Έτος*	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ελλάδα	1039,3	878,8	835,9	808,7	908,3	808,3
Ισπανία	5233,5	5163,5	4768,6	5000,6	4312,9	4754,4
Ιταλία	5990,5	5573,3	5753,2	5252,7	6247,9	6644,8
Πορτογαλία	1693,9	1747,6	1329,8	1530,1	1399,2	1741,3
Ε.Ε.	18309	17751	16708	17040	16542	18099

*Τα δεδομένα αφορούν το σύνολο νωπής και βιομηχανικής παραγωγής τομάτας.

1.6 Διαιτητική αξία

Διαιτοφικά, η τομάτα παίζει κυρίαρχο ρόλο στην υγεία του ανθρώπου καθώς αποτελεί κορυφαία πηγή βιταμίνης A, ασκορβικού οξέος και ιχνοστοιχείων (Πίνακας

1. 2). Στις ημέρες μας, λογίζεται ότι είναι ο σπουδαιότερος καρπός στις δυτικές χώρες με τον τρόπο κατανάλωσής του (Jones, 1999).

Το λυκοπένιο είναι μια καροτενοειδής χρωστική που βρίσκεται σε αφθονία στην τομάτα και αποτέλεσε τον πρωταρχικό παράγοντα για την αύξηση της παραγωγής της. Επιπλέον, είναι υπεύθυνη για το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα του καρπού. Πέρα από την παραπάνω ιδιότητα, έχει αντιοξειδωτική δράση, ενάντια στις ελεύθερες ρίζες του οξυγόνου που συγκεντρώνονται στα κύτταρα του οργανισμού ύστερα από στρεσογόνες καταστάσεις, προκαλώντας σε αυτά βλάβες. Σε έρευνα διαπιστώθηκε ότι ο άνθρωπος λαμβάνει με την διατροφή του περίπου 85% λυκοπένιο, προερχόμενο μόνο από την τομάτα (Jones, 1999).

Συμπερασματικά, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της τομάτας συμπεριλαμβάνονται η σταθερότητα, η γεύση, η θρεπτική αξία και το χρώμα, τα διαλυτά στερεά, σε συνδυασμό με το μέγεθος, το σχήμα και την έλλειψη ελαττωμάτων. Τα παραπάνω ποιοτικά χαρακτηριστικά δεν μπορούν να βελτιωθούν μετά την συγκομιδή άρα θα πρέπει να διατηρηθούν κατά την αποθήκευσή τους. Συνεπώς, είναι σπουδαίο να επιζητείται η συστηματική διατήρηση των βέλτιστων επιπέδων ποιότητας της νωπής τομάτας, καθώς η ποιότητα των επεξεργασμένων και μη προϊόντων τομάτας, εξαρτάται άμεσα από την αντίστοιχη της πρώτης ύλης.

Πίνακας 1. 2 Η διατροφική αξία της ώριμης νωπής κόκκινης τομάτας (*red ripe*) ανά 100g προϊόντος (Πηγή: Rao and Agarwal, 2000; INCAP, 2012; Hernández et al., *Food Chem*, 2008; Pinela et al., 2012).

Κατά προσέγγιση	Μέταλλα	Βιταμίνες			
Φυτικές ίνες (g)	1.2-1.83	Ασβέστιο (mg)	7-10	Βιταμίνη C (mg)	13.7-23
Σάκχαρα (g)	0.85-4.6	Μαγνήσιο (mg)	0-11	Χολίνη (mg)	6.7
Πρωτεΐνες (g)	0.78-0.88	Φώσφορος (mg)	24	Βιταμίνη A (mg)	42
Συνολικά λιπίδια (g)	0.20-0.3	Κάλιο (mg)	237	α-καροτένιο (μg)	449
Νερό (g)	93.4-94.52	Νάτριο (mg)	5	β-καροτένιο (μg)	101-510
Θερμιδική αξία (kcal)	18-34.67	Φθόριο (μg)	2.3	Λυκοπένιο (μg)	2573-9490
				Βιταμίνη K (μg)	7.9
				Λουτεΐνη και Ζεαξανθίνη (μg)	123

1.7 Παράγοντες ποιότητας νωπής τομάτας

Συνοπτικά οι παράγοντες που εξαρτάται η ποιότητα της νωπής τομάτας διακρίνονται σε: i) προσυλλεκτικούς, όπως τους καλλιεργητικούς παράγοντες, διάφορους περιβαλλοντικούς, το γονότυπο, και σε ii) μετασυλλεκτικούς, όπως την αποφυγή τραυματισμών χειρισμού κατά την διάρκεια της συγκομιδής και μετέπειτα αυτής, προσβολών και βλαβών από φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς και εχθρούς, τους μετασυλλεκτικούς χειρισμούς, κρυοτραυματισμών όταν δεν επαρκεί ο έλεγχος της θερμοκρασίας, αλλά και την τεχνολογία της αποθήκευσης.

1.7.1 Προσυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας

Ποικιλία

Το γεγονός ότι η τομάτα καλλιεργείται σε ολόκληρο τον κόσμο την καθιστά το φυτό με τις περισσότερες ποικιλίες και υβρίδια. Εξαιτίας αυτού, τα οικονομικά οφέλη των σποροπαραγωγικών οίκων και των γενετιστών που συνεχώς προσπαθούν να βελτιώσουν την τομάτα για την δημιουργία μιας νέας ποικιλίας ή υβριδίου είναι ανυπολόγιστα αφού ο σπόρος θα πουληθεί σε μαζικές ποσότητες.

Οι σπουδαιότεροι δείκτες ποιότητας της τομάτας, όπως το μέγεθος, το χρώμα, η συνεκτικότητα, η δινατότητα σιντήρησης, η αντοχή στις ασθένειες και άρα η διάρκεια ζωής των φρούτων, αποτελούν τα ποσοτικά χαρακτηριστικά με συνεχείς διακυμάνσεις στον διαχωρισμό πληθυσμών. Κατά συνέπεια, οι γενετικοί παράγοντες έχουν άμεση επιρροή στην ποιότητα της τομάτας και επομένως, η επιλογή της ποικιλίας αποτελεί κυρίαρχη σημασία.

Στάδια ωριμότητας

Για τον χαρακτηρισμό της τομάτας ως υψηλής ποιότητας πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις: να έχει διαμορφωμένο, σταθερό σχήμα, να έχει φωτεινό και ομοιόμορφο χρώμα, αλλά και να μην έχει σημάδια από μηχανικά τραύματα ή άλλες αλλοιώσεις. Επίσης, η συγκομιδή της σε μη κατάλληλο στάδιο ωριμότητας και οι βλάβες εξωτερικά του καρπού κατά την συγκομιδή και των μετέπειτα χειρισμών είναι μια από τις κυριότερες αιτίες μετασυλλεκτικών απωλειών.

Η συγκομιδή της πραγματοποιείται όταν βρίσκεται μεταξύ φυσιολογικής ωριμότητας και πλήρης ωριμότητας, δεδομένου ότι εξαρτάται από την παραγωγή και τη ζήτηση της αγοράς. Όμως, δεν μπορεί να οριστεί με ακρίβεια η ολοκλήρωση της φυσιολογικής ωριμότητας. Εάν διενεργηθούν οι ιδανικοί χειρισμοί, η συγκομιδή που γίνεται στο πράσινο στάδιο φυσιολογικής ωριμότητας (MG-3 ή MG-4), θα

χαρακτηρίστεί ως εμπορική ωρίμαση υψηλής ποιότητας (Maul et al., 1998). Ενώ, μέτριας ποιότητας καρπούς θα παραχωρήσει η συγκομιδή που λαμβάνει χώρα στο στάδιο φυσιολογικής ωρίμασης (MG-2). Τέλος, μη αποδεκτά επίπεδα ποιότητας θα δώσουν οι τομάτες που συγκομίζονται στο στάδιο MG-1.

1.7.1.1 Στάδια Φυσιολογικής Ωριμότητας

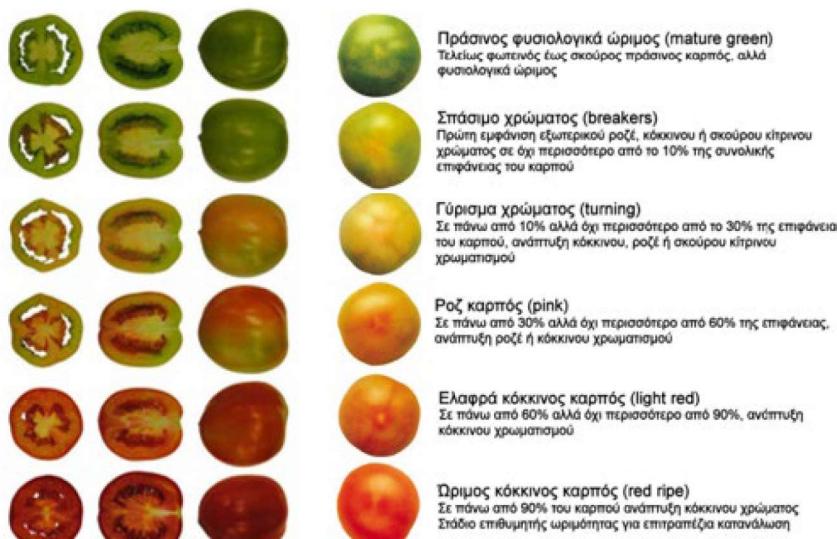
Τα στάδια φυσιολογικής ωριμότητας του καρπού της τομάτας με βάση την εσωτερική εμφάνιση του καρπού διακρίνονται σε : i) MG-1 όταν κατά τον τεμαχισμό της τομάτας σπόροι ανώριμοι και άσπροι κόβονται, χωρίς την δημιουργία ζελατινώδους ουσίας στις κοιλότητες, ii) MG-2 όταν στους ώριμους σπόρους υπάρχει ζελατινώδης ουσία σε τουλάχιστον δύο κοιλότητες, iii) MG-3 όταν οι σπόροι που παραμερίζονται κατά τον τεμαχισμό της τομάτας, ενώ το εσωτερικό χρώμα είναι ακόμα πράσινο και έχουν ζελατινώδη ουσία όλες οι κοιλότητες, iv) MG-4 όταν στη ζελατινώδη ουσία και στο περικάρπιο εμφανίζεται το κόκκινο χρώμα.

1.7.1.2 Στάδια Εμπορικής Ωριμότητας – Εξωτερικός χρωματισμός καρπού

Σύμφωνα με τα ακόλουθα πρότυπα καθορίστηκαν τα στάδια εμπορικής ωριμότητας (Εικόνα 1.2) για τις τομάτες με κόκκινο χρωματισμό από το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών (USDA, 1976):

0. “Ανώριμος (Immature)” χαρακτηρίζεται ο καρπός με ανεπαρκή ανάπτυξη για εμπορική ωρίμανση σε αποδεκτά επίπεδα ποιότητας, που με την πάροδο του χρόνου κάποιοι από αυτούς θα ωριμάσουν εμπορικά, αλλά θα προκύψουν χαμηλής ποιότητας προϊόντα.
1. “Πράσινος φυσιολογικά ώριμος (Mature Green)” χαρακτηρίζεται ο καρπός που θα ωριμάσει εμπορικά σε αποδεκτά επίπεδα ποιότητας, η επιφάνεια του θα είναι μόνο πράσινη, με τον χρωματισμό αυτός να κυμαίνεται μεταξύ τελείως φωτεινό πράσινο έως σκούρο πράσινο, χωρίς την ύπαρξη κόκκινου χρώματος, περιλαμβάνοντας όλα στάδια φυσιολογικής ωριμότητας.
2. “Σπάσιμο χρώματος (Breaker)” που θα εμφανίσει «σπάσιμο» στο χρώμα του, μετατρέποντας το από πράσινο σε σκούρο κίτρινο, ροζ ή κόκκινο σε μια περιοχή μικρότερη από το 10% της επιφάνειάς του.

3. “Γύρισμα χρώματος (Turning)” χαρακτηρίζεται ο καρπός όταν το 10% έως 30% της επιφάνειά του δεν είναι πράσινο και συνολικά, υπάρχει αντιπροσωπευτική αλλαγή από το πράσινο χρώμα σε καφέ-κίτρινο, ροζ, κόκκινο ή συνδυασμό αυτών.
4. “Ροζ (Pink)” χαρακτηρίζεται ο καρπός όταν το 30% με 60% της επιφάνειας του δεν είναι πράσινο και συνολικά, η επιφάνεια του εμφανίζει χρώμα ρόδινο ή κόκκινο.
5. “Ελαφρά κόκκινος (Light red)” χαρακτηρίζεται ο καρπός όταν το 60% με 90% της επιφάνειας δεν είναι πράσινο και συνολικά, εμφανίζει χρώμα ροζ-κόκκινο ή κόκκινο.
6. “Ωριμος κόκκινος (Red-ripe)” χαρακτηρίζεται ο καρπός όταν πάνω από το 90% της επιφάνειας του δεν είναι πράσινο. Συνολικά, ο καρπός έχει κόκκινο χρώμα. Αρχικά, η ποιότητα τους στηρίζεται στο ομοιόμορφο σχήμα και στην έλλειψη ατελειών που μπορεί να συμβούν καθώς αναπτύσσονται αλλά και κατά την διάρκεια των μετασυλλεκτικών χειρισμών. Αν και το μέγεθος δεν ανήκει στους δείκτες ποιότητας, μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά την εμπορική ποιότητα.



Εικόνα 1. 2 Στάδια εμπορικής ωριμότητας της τομάτας κατά USDA (Πηγή από δεξιά προς αριστερά: Six Ripening Stages Of Tomatoes By The Fruit Surface Color, <https://ofags.com/ripening-stages-of-tomatoes>; Passam et al., 2015).

Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τα στάδια ωριμότητας ο προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος (Εικόνα 1.3) μπορεί να μελετηθεί κάνοντας χρήση τους παρακάτω χρωματικούς χάρτες (δείκτης χρώματος (CI)). Συνοπτικά, CI-1 (πράσινος

καρπός), CI-2 (εμφανές «σπάσιμο» στο χρώμα <10% της επιφάνειας του καρπού), CI-3 (περισσότερο πράσινο από κόκκινο), CI-4 (περισσότερο κόκκινο από πράσινο), CI-5 (ίχνη πράσινου), CI-6 (πλήρες κόκκινο) (Acedo and Thanh, 2006a).



Εικόνα 1.3 Προσδιορισμός της μεταβολής του χρώματος με βάση τους χρωματικοί χάρτες (δείκτη χρώματος (CI)) (Πηγή: Acedo and Thanh, 2006a).

1.7.2 Μετασυλλεκτικοί παράγοντες ποιότητας

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Οι κυριότεροι περιβαλλοντικοί συντελεστές για τη διατήρηση της ποιότητας και της ελαχιστοποίηση βλαβών μετά τη συγκομιδή είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία. Η καθυστέρηση της ψύξης μετά την συγκομιδή των καρπών έχει ως αποτέλεσμα ποιοτικές απώλειες (απώλειες γεύσης και διατροφικής ποιότητας) αλλά και ποσοτικές απώλειες (λόγω απώλειας νερού και αποσύνθεσης). Επιπλέον, το μέγεθος των βλαβών επηρεάζεται τόσο από τη θερμοκρασία, που μπορεί να είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος όταν εκτίθεται το προϊόν σε άμεσο ηλιακό φως, όσο και από την φάση που βρίσκεται το προϊόν κατά τη συγκομιδή.

Παράλληλα, απαιτούνται υποχωρήσεις από τους χειριστές των αλυσίδων διανομής ως προς τις τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασία, αφού συνήθως δεν διατίθενται ειδικές εγκαταστάσεις για την αποθήκευση των προϊόντων στις

κατάλληλες συνθήκες, έχοντας ως απόρροια, το φυσιολογικό στρες και την μείωση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής του προϊόντος (Lamikanra, 2002).

1.7.2.1 Αριστες συνθήκες αποθήκευσης

Θερμοκρασία

Οι ιδανικές θερμοκρασίες αποθήκευσης είναι άμεσα συνδεδεμένες με το στάδιο ωριμότητας που βρίσκονται οι καρποί. Όταν αποθηκεύονται οι τομάτες άνω των 27 °C, επιφέρουν περιορισμό της έντασης του κόκκινου χρώματος, ενώ όταν συντηρούνται κάτω των 13 °C, επιβραδύνεται η ωρίμαση τους και αυτές κυρίως που βρίσκονται στο στάδιο του πρασίνου (mature green), πιθανόν να εμφανίσουν ασθένειες λόγω ψύχους. Εν αντιθέσει, οι ώριμες τομάτες συντηρούνται ικανοποιητικά στους 5° C για 4 ημέρες (McGlasson, 2003). Παράλληλα, οι κόκκινες τομάτες που συντηρούνται στους 10 °C, παρατηρήθηκε να υπολείπονται σε γεύση και άρωμα σε σύγκριση αυτές που συντηρούνται στους 13 °C (Maul et al., 1998).

Συμπερασματικά προκύπτει ότι οι πράσινες και οι μερικώς χρωματισμένες τομάτες πρέπει να γίνεται η συντήρησή τους σε θερμοκρασίες 13-22° C μέχρι να καταλήξουν στο επιθυμητό στάδιο ωρίμασης (McGlasson, 2003). Στους καρπούς που είναι στο αρχικό στάδιο ωριμότητας (mature green), μπορεί να γίνει η αποθήκευσή τους έως και 14 ημέρες πριν την ωρίμασή τους στους 12.5 °C, χωρίς να παρατηρείται αξιόλογη ελάττωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών. Όταν οι καρποί αποθηκεύονται για πάνω από 14 ημέρες στους 12.5 °C, πιθανόν να επιφέρουν αλλοιώσεις σε αυτούς. Μετέπειτα, η διάρκεια ζωής των καρπών στο ράφι είναι δυνατή για περίπου 8-10 ημέρες στη καλύτερη θερμοκρασία, αφού έχουν καταλήξει στο στάδιο του ώριμου κόκκινου καρπού (red-ripe). Επιπλέον, θερμοκρασίες σύντομης αποθήκευσης ή μεταφοράς μικρότερες από 7-10 °C χρησιμοποιούνται στο εμπόριο, έχοντας ως συνέπεια, οι καρποί να εμφανίσουν ασθένειες ψύχουν μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα αποθήκευσης τους (Acedo and Thanh, 2006b). Συνιστάμενες θερμοκρασίες αποθήκευσης της τομάτας για διαφορετικά στάδια ωρίμασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.3.

Για να ωριμάσουν γρήγορα οι καρποί της τομάτας χρειάζονται θερμοκρασίες από 12.5 έως 25°C, σχετική υγρασία 90-95% και συγκέντρωση αιθυλενίου περί τα 100 ppm. Ειδικότερα, σημειώνεται ότι για εμπορική ωρίμαση η βέλτιστη θερμοκρασία κυμαίνονται μεταξύ 19-21 °C. Παράλληλα, η συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα,

κυρίως πάνω από 1%, αποτελεί επιβραδυντικό παράγοντα της ωρίμανσης των καρπών της τομάτας, διότι παρεμποδίζεται η δράση του αιθυλενίου. Γι' αυτό τον λόγο, η καλή κυκλοφορία του αέρα έχει ύψιστη σημασία (Acedo and Thanh, 2006b).

Πίνακας 1. 3Συνιστάμενες συνθήκες αποθήκευσης τομάτας με σχετική υγρασία (90-95) % συναρτήσει των σταδίου ωριμότητας. (Πηγή: Βασιλακάκης, 2014; Ντόγρας, 2004).

Στάδιο ωριμότητας	Θερμοκρασία (°C)	Διάρκεια ζωής (ημέρες)
Πράσινος ώριμος	13-18	7-14
Ρόδινος	12-15	4-8
Πλήρως ώριμος	12-13	7
Πλήρως ώριμος σκληρός	8-10	7-14

Σχετική υγρασία

Η σύσταση όλων των φρέσκων φρούτων και λαχανικών αποτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους από νερό. Η απώλεια βάρους αντιστοιχεί σε απώλεια μάζας και οδηγεί σε εμπορικές απώλειες. Απώλεια μάζας που ισοδυναμεί με το ποσοστό 5%, προξενεί αρκετές βλάβες στις τομάτες και τους προκαλεί συσσώρευση και μαρασμό, μέχρι που τα προϊόντα αυτά δεν μπορούν να πουληθούν στο εμπόριο. Συγκεκριμένα, αυτό το ποσοστό απωλειών μπορεί να συμβεί σε μικρό χρονικό διάστημα κάτω από συνθήκες χαμηλής υγρασίας και υψηλών θερμοκρασιών. Επιπλέον, ευνοείται η μικροβιακή ανάπτυξη και οι μολύνσεις των καρπών όταν απελευθερώνεται υγρασία και συμπυκνώνεται το νερό. Ακατάλληλη προς πώληση θεωρείται η τομάτα όταν το ποσοστό απωλειών της είναι πάνω από 7% (Thanh, 2006).

Για την πρόληψη της αφυδάτωσης των καρπών της τομάτας και την βέλτιστη ποιότητα αυτών μετά την συγκομιδή απαιτείται σχετική υγρασία 90-95%. Ενώ, διευκολύνεται η ανάπτυξη μούχλας στην επιφάνεια της τομάτας όταν αυτή εκτίθεται μακροπρόθεσμα σε μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας (Acedo and Thanh, 2006b).

Βιολογικοί παράγοντες

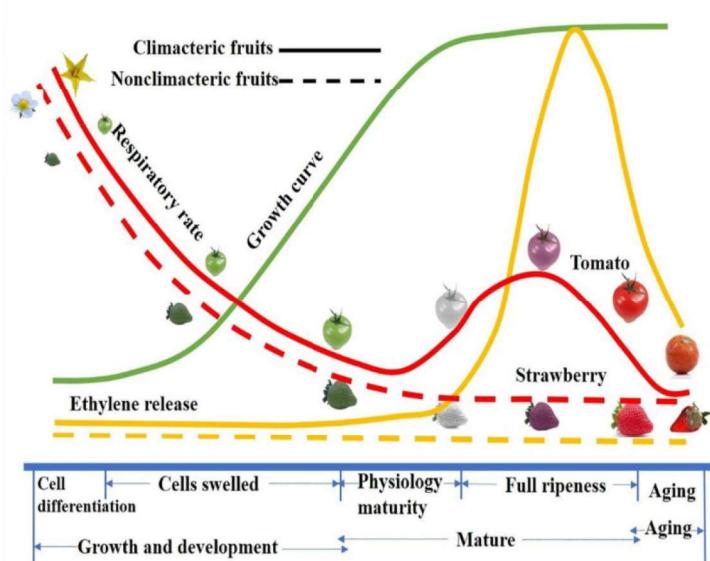
Τα λαχανικά και φρούτα τα χαρακτηρίζονται ως ευπαθή προϊόντα καθώς η απώλεια της ποιότητας τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από αυτούς είναι η υπερωρίμανση των καρπών ή οι μετασυλλεκτικοί χειρισμοί. Από την στιγμή που θα αποκοπεί από το μητρικό φυτό, ο καρπός χάνει την δεξαμενή άντλησης νερού και θρεπτικών συστατικών. Έχοντας ως αποτέλεσμα, οι φυσιολογικοί παράγοντες, όπως η αναπνοή και η διαπνοή, να οδηγήσουν το προϊόν τελικά στην απώλεια νερού

και την ποιοτική υποβάθμιση του προϊόντος. Παράλληλα, οι διάφορες μηχανικές καταπονήσεις ή η ανάπτυξη των παθογόνων μικροοργανισμών, θα προκαλέσουν άμεση απώλεια της ποιότητας του προϊόντος ιδιαίτερα στην εμφάνιση, αλλά και θα ευνοηθεί με την πάροδο του χρόνου και η συνολική υποβάθμιση της ποιότητάς του.

1.7.2.2 Αναπνοή

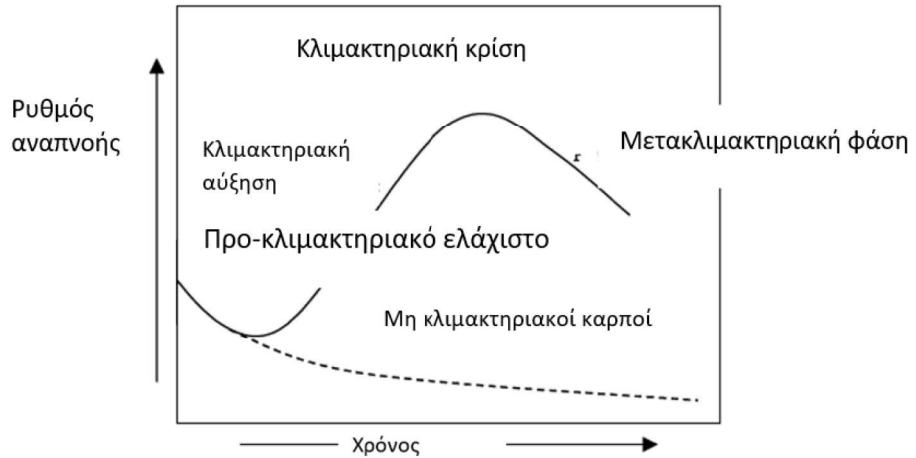
Ο ρυθμός αναπνοής των καρπών μειώνεται σταδιακά μέχρι την ωρίμανση, με μοναδική εξαίρεση τους κλιμακτηριακούς καρπούς στους οποίους συγκαταλέγεται και η τομάτα (Εικόνα 1.4). Η ταχεία ελάττωση οφείλεται κυρίως στη ελάττωση των αναπνευστικών υποστρωμάτων που είναι αρκετά χαμηλά σε τέτοιους ιστούς.

Με την έναρξη της ωρίμανσης σε αυτούς τους καρπούς παρατηρείται μια γρήγορη και μερικές φορές δραματική έξαρση του ρυθμού αναπνοής, επιτυγχάνεται ένα κλιμακτηριακό μέγιστο και στην συνέχεια μειώνεται. Παράλληλα, μαζί με την αύξηση του ρυθμού αναπνοής, πριν το κλιμακτηριακό μέγιστο, σημειώνεται μείωση της περιεκτικότητας του καρπού σε οργανικά οξέα και αύξηση της περιεκτικότητας σε σάκχαρα, ενώ για κάποιο διάστημα παράγεται σημαντική ποσότητα αιθυλενίου, το οποίο δρα ως επιταχυντής της ωρίμανσης (Μπλούκας, 2004).



Εικόνα 1.4 Σχηματική απεικόνιση σταδίων ανάπτυξης, ωρίμανσης και γηρασμού κλιμακτηριακών και μη φρούτων. (Πηγή: Yang, 2018).

Ειδικότερα αυτή η έξαρση διακρίνεται σε τέσσερις χρονικές περιόδους: i) το προ-κλιμακτηριακό ελάχιστο, ii) τη κλιμακτηριακή αύξηση, iii) το κλιμακτηριακό μέγιστο και iv) τη μετακλιμακτηριακή φάση (Πίνακας 1.5)(Saltveit, 2004).



Εικόνα 1. 5 Σχηματική απεικόνιση της κλιμακτηριακής αναπνευστικής κρίσης για καρπό που ωριμάζει εμπορικά. (Πηγή: Saltveit, 2004).

Από την πλευρά του εμπορίου, προϊόντα με υψηλή αναπνευστική δραστηριότητα τείνουν να έχουν μικρή διάρκεια ζωής σε σύγκριση με αυτά που έχουν χαμηλή. Φαίνεται ότι η διάρκεια της εμπορικής ζωής των προϊόντων μεταβάλεται αντιστρόφως ανάλογα από την αναπνευστική δραστηριότητα (Saltveit, 2004). Επιπλέον, οι κλιμακτηριακοί καρποί συγκομίζονται χωρίς να λάβουν τα βέλτιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά, έχοντας ως απαίτηση, την σωστή ρύθμιση των συνθηκών αποθήκευσης για την εξασφάλιση την ανάπτυξης και διατήρησης της βέλτιστης ποιότητας των καρπών.

Η βιοσύνθεση νέων ενώσεων σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι επιθυμητή, καθώς επιφέρει μείωση της ποιότητας διάφορων καρπών. Όμως στην περίπτωση της τομάτας, η σύνθεση πτητικών ουσιών και χρωστικών (λυκοπένιο), αλλά και η απώλεια χλωροφύλλης είναι αναγκαίες για να βελτιωθεί η ποιότητα του καρπού. Οι αντιδράσεις αυτές χρειάζονται ενέργεια και οργανικά υποστρώματα, που λαμβάνονται μέσω της αναπνοής (Saltveit, 2004).

Το χημικό και υδατικό στρες, οι ρυθμιστές αύξησης, οι προσβολές από παθογόνους μικροοργανισμούς και η ηλιακή ακτινοβολία είναι κάποιοι από τους διάφορους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην αναπνοή. Η θερμοκρασία, η σύσταση της ατμόσφαιρας, αλλά και το φυσικό στρες αποτελούν τους

σπουδαιότερους μετασυλλεκτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναπνοή (Saltveit, 2004).

Η θερμοκρασία είναι αναμφισβήτητα ο κυριότερος δείκτης που επηρεάζει την διάρκεια ζωής των καρπών μετά την συγκομιδή, το ρυθμό βιοσύνθεσης και τον ρυθμό αναπνευστικής δραστηριότητας αυτών. Η ταχύτητα μιας βιολογικής αντίδρασης αυξάνεται κατά 2-3 φορές για κάθε άνοδο της θερμοκρασίας κατά 10 °C. Επίσης, ο ρυθμός αναπνευστικής δραστηριότητας αυξάνεται εκθετικά με τη θερμοκρασία, που σημαίνει ότι εμφανίζουν χαμηλούς ρυθμούς αναπνευστικής δραστηριότητας όταν εκτεθούν σε χαμηλές θερμοκρασίες, μόνο εάν αυτές είναι υποφερτές από τα προϊόντα. Σε μερικούς καρπούς παρουσιάζονται ασθένειες ψύχουνς όταν συντηρούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες (Shewfelt and Prussia, 1993). Ειδικότερα, η φυσιολογικά ώριμη τομάτα, δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε θερμοκρασίες μικρότερες από 10 °C.

Επιπλέον, υψηλότεροι ρυθμοί αναπνοής προκύπτουν όταν τα προϊόντα συντηρούνται σε θερμοκρασίες πάνω από την βέλτιστη θερμοκρασία συντήρησης και οδηγούν σε γρήγορη ελάττωση της εμπορικής ζωής των προϊόντων. Η διατήρηση σταθερών θερμοκρασιών είναι αναγκαία καθώς οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μπορεί να οδηγήσουν και σε σημαντικές απώλειες βάρους (Salunkhe et al., 1991; Ψυχογιού κ. ά., 2009). Στον Πίνακα 1.4 δίνονται οι ρυθμοί αναπνοής της τομάτας για δύο στάδια ωριμότητας σε διάφορες θερμοκρασίες.

Πίνακας 1.4 Ρυθμός αναπνοής τομάτας στον ατμοσφαιρικό αέρα (1 atm) σε διαφορετικές θερμοκρασίες. (Πηγή: Acedo and Thanh, 2006b).

Ρυθμοί αναπνοής (mg CO ₂ /kg/ h)		
Θερμοκρασία (°C)	Mature Green	Ripening
5	3-4 *	-
10	6-9	7-8
15	8-14	12-15
20	14-20	12-22
25	18-26	15-26

* Δε συνιστάται η συντήρηση σε αυτή τη θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω της εμφάνισης ασθενειών ψύχουνς.

1.7.2.3 Παραγωγή αιθυλενίου και ευαίσθησία σε αυτό

Οι τομάτες είναι πολύ ευαίσθητες όταν εκτίθενται σε αιθυλένιο. Η ωρίμανση των πράσινων καρπών ξεκινά όταν εκτίθενται σε εξωγενές αιθυλένιο. Ακόμα και μια μικρή συγκέντρωση αιθυλενίου, 0.5 ppm μπορεί να είναι ικανή για να προκαλέσει την

έναρξη της ωρίμασης και άλλων μεταβολικών διαδικασιών (Abeles, et al., 1992). Οι πράσινες τομάτες για εμπορική ομοιόμορφη ωρίμαση, πρέπει να διατηρούνται σε θερμοκρασίες μεταξύ 20 °C και 21 °C με 90% σχετική υγρασία και περιεκτικότητα αιθυλενίου 50 ppm. Στο στάδιο «σπασίματος» του χρώματος, οι τομάτες παράγουν επαρκείς ποσότητες αιθυλενίου. Γενικά, οι καρποί της παράγουν μέτριες ποσότητες αιθυλενίου από 1 έως 10 ppm στους 20 °C, για τον λόγο αυτό και πρέπει να αποφεύγεται η συναποθήκευσή τους με ευαίσθητα προϊόντα (Kader, 1992).

1.7.2.4 Απώλεια μάζας

Η απώλεια υγρασίας λόγω διαπνοής και αφυδάτωσης επιφέρουν στα φρούτα και λαχανικά απώλειες βάρους, άρα και ποιοτικές απώλειες κατά τη συντήρηση με ψύξη, οι οποίες περιορίζονται με τη ελάττωση της θερμοκρασίας συντήρησης. Προτιμώνται μικρές θερμοκρασίες αποθήκευσης ώστε να γίνεται ελαχιστοποίηση της απώλειας βάρους, αφού επιβραδύνονται τόσο οι ρυθμοί αναπνοής και διαπνοής των καρπών όσο και το έλλειμμα πίεσης υδρατμών με τον περιορισμό της θερμοκρασίας συντήρησης,. Σχετική υγρασία μεγαλύτερη από 95% δεν συνίσταται λόγω της μεγάλης πιθανότητας ανάπτυξης μυκητολογικών ασθενειών, ενώ πρέπει να μην επιδιώκονται σχετικές υγρασίες μικρότερες από 80% λόγω μεγάλων απωλειών υγρασίας (Buffington and Sastry, 1983; Sastry and Buffington, 1983).

1.7.2.5 Χρώμα

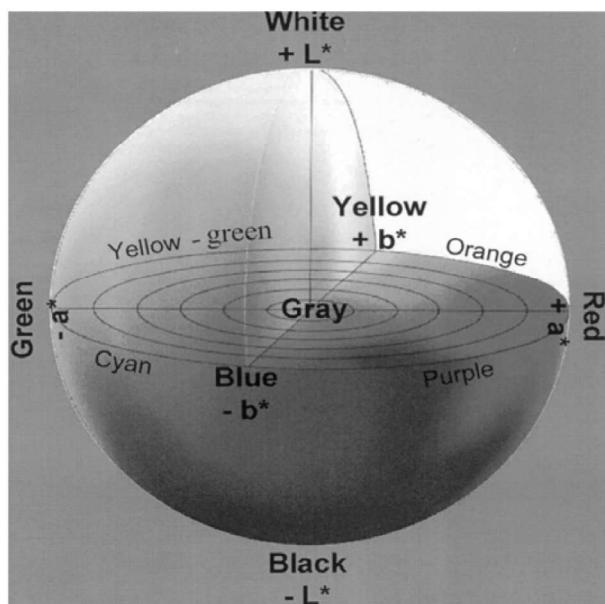
Ένας από τους σπουδαιότερους δείκτες προσδιορισμού του σταδίου ωριμότητας και της φρεσκάδας των καρπών αποτελεί το χρώμα καθώς σε εμπορική κλίμακα βρίσκει εφαρμογή στη διαλογή των νωπών φυτικών προϊόντων (Abbott, 1999; Χατζής et al., 2005). Ταυτόχρονα, η συγκέντρωση των χρωστικών ουσιών θεωρείται κριτήριο αξιολόγησης τόσο της ωριμότητας όσο και της ποιότητας, αφού συνδέεται άμεσα με την αντίληψη των καταναλωτών για την εμφάνιση ενός προϊόντος (Martí, 2003).

Τα καροτενοειδή αποτελούν τις κυριότερες χρωστικές που υπάρχουν στους καρπούς των φρούτων, συγκροτούν τους χρωματικούς παράγοντες αυτών και εμφανίζουν συνεργική δράση έναντι της φωτοσύνθεσης και των αντιοξειδωτικών στοιχείων, ως δεσμευτές φωτός και πρόδρομοι της βιταμίνης A αντίστοιχα. Το λυκοπένιο θεωρείται ότι συμβάλλει στη βιοσύνθεση άλλων καροτενοειδών και οι υψηλές συγκεντρώσεις αυτού (~30-100 mg/g νωπού βάρους), δίνουν στους καρπούς

το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα (Lewinsohn et al., 2005). Η συσσώρευση του λυκοπενίου στους καρπούς, επηρεάζεται από το στάδιο ωρίμασης αυτών και από τη περιεκτικότητα σε αιθυλένιο (Lewinsohn et al., 2005). Έτσι, καθώς ο καρπός αναπτύσσεται από το στάδιο του ώριμου πράσινου καρπού έως το στάδιο του πλήρως κόκκινου καρπού, η περιεκτικότητα σε λυκοπένιο αυξάνει σημαντικά (Dumas et al. 2003; Brandt et al. 2006; Helyes et al. 2006).

Το χρωματικό μοντέλο L^* , a^* , b^* ή CIELAB επινοήθηκε από την CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) το 1976 και μέσω αυτού μπορεί να απεικονιστεί το χρώμα ενός αντικειμένου. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο, ο οποίος προσεγγίζει καλύτερα την ανθρώπινη αντίληψη μεταξύ των διαφορών των χρωμάτων (Abbott, 1999). Τα χρώματα περιγράφονται από 3 χρωματικούς παράγοντες ή συντεταγμένες, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως L^* , a^* , b^* και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Εικόνα 1.6).

Η τιμή L^* (Lightness) τη φωτεινότητα του αντικειμένου σε κλίμακα από 0 έως 100, όπου το ελάχιστο αντιστοιχεί στο μαύρο και το μέγιστο στο λευκό. Οι τιμές a^* και b^* χαρακτηρίζουν το χρώμα χωρίς να έχουν αριθμητικά όρια. Οι αρνητικές τιμές του a^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου, ενώ οι θετικές τιμές του a^* του κόκκινου. Αντίστοιχα αρνητικές τιμές του b^* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε και θετικές, αποχρώσεις του κίτρινου (Abbott, 1999; Papadakis and Yam, 2000; Yam and Papadakis, 2004).



Εικόνα 1.6 Χρωματικός χώρος CIE $L^*a^*b^*$. (Πηγή: Minolta, 1994).

1.8.2.6 Υφή - Σκληρότητα

Η υφή είναι ένα σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό των φρούτων και των λαχανικών. Αν και ο όρος χρησιμοποιείται ευρέως, η υφή είναι μια ξεχωριστή και καλά καθορισμένη ιδιότητα. Είναι ένας γενικότερος όρος που περιλαμβάνει τις οργανοληπτικές (εμφάνιση, γεύση, υφή), μηχανικές και δομικές ιδιότητες των τροφίμων (Abbott and Harker, 2006). Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον καταναλωτή ως δείκτης ποιότητας και ωριμότητας (Barrett et al., 1998). Πέρα από τους καταναλωτές, η έννοια της υφής συχνά περιλαμβάνει μηχανικές ιδιότητες που είναι σημαντικές σε εμπορική κλίμακα, όπως η αντοχή του προϊόντος στη μηχανική καταπόνηση (Knee, 2002; Abbott and Harker, 2006).

Η μεταβολή της υφής μπορεί να εκτιμηθεί από ειδική επιτροπή δοκιμαστών με δύο μεθόδους, με αντικειμενικούς ή με οργανοληπτικούς ελέγχους. Για την εκτίμηση της αντίδρασης του καταναλωτή στην υφή μέσω αντικειμενικών ελέγχων, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός των μετρήσεων και των δύο μεθόδων (Bourne, 1979). Ωστόσο, οι αντικειμενικοί έλεγχοι ενδείκνυνται έναντι των οργανοληπτικών λόγω της πολυπλοκότητάς της υφής. Επίσης, είναι σύντομες και έχουν μικρό κόστος, ενώ δίνουν ακριβείς τιμές και ελαχιστοποιούν την απόκλιση των μετρήσεων λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Ιδιαίτερα, επιτυγχάνουν αντικειμενικές αποτελέσματα, προσφέροντας μια κοινή γλώσσα μεταξύ καταναλωτών και ερευνητών (Abbott and Harker, 2006). Όμως, οι συνεχείς μεταβολές στα ζωντανά κύτταρα, φυσιολογικές ή λόγω επεξεργασίας όπως το πάγωμα, δυσκολεύουν την αξιολόγηση της υφής των φυτικών ιστών και εξαρτώνται από το χρόνο (Rosenthal, 1999).

1.7.2.7 Ολικά διαλυτά στερεά συστατικά και οξύτητα

Η ποιότητα είναι ένας όρος που επινοήθηκε από τους ανθρώπους για να περιγράψει το επίπεδο καταλληλότητας κάποιου προϊόντος για συγκεκριμένη χρήση και περιέχει όχι μόνο το σχήμα, το χρώμα, την υφή, που ήδη έχουν αναφερθεί, αλλά και τη γεύση. Για τον εντοπισμό καρπών τομάτας με την επιθυμητή γλυκιά και ξινή γεύση γίνεται ευρεία χρήση των μετρήσεων ολικών διαλυτών στερεών συστατικών και περιεχόμενης οξύτητας (Baldwin et al., 1998). Επίσης, για τον καθορισμό των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των φρούτων και λαχανικών παίζει σημαντικό ρόλο

η περιεκτικότητα σε σάκχαρα, οργανικά οξέα και πτητικές ενώσεις (Azodanlou et al., 2003).

Τα ολικά διαλυτά στερεά συστατικά ή TSS (Total soluble solids) περιέχουν οξέα, σάκχαρα, πρωτεΐνες, άλατα και μέταλλα. Δεδομένου ότι τα σάκχαρα απαρτίζουν το σημαντικότερο συστατικό των TSS, μπορεί να λογιστεί ότι υψηλά επίπεδα των TSS συνεπάγονται υψηλή περιεκτικότητα σε περιεχόμενα σάκχαρα στο προϊόν, άρα αυξημένη γλυκύτητα. Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα σε TSS υπονοούν ταυτόχρονα και η υψηλή περιεκτικότητα σε περιεχόμενη ξηρά ουσία και αναπνευστικά υποστρώματα (Acedo and Thanh, 2006a). Στις τομάτες περιλαμβάνονται τα παρακάτω περιεχόμενα σάκχαρα, ιδίως η γλυκόζη και η φρουκτόζη (Gould, 1992).

Κατά την διάρκεια της ωρίμανση των φρούτων, τα μη πτητικά οργανικά οξέα είναι τα κυριότερα στοιχεία που υποβάλλονται σε αλλαγές. Τα σημαντικότερα οξέα που έχουν προσδιορισθεί στην τομάτα είναι το μηλικό και κιτρικό οξύ καθώς αντιστοιχούν στο 60% των συνολικών οξέων και η αναλογία του μηλικό οξέος προς το κιτρικό οξύ ελαχιστοποιείται κατά τη διάρκεια της ωρίμασης των καρπών (Βασιλακάκης, 2006).

Σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ότι όταν ενίσχυνται τα περιεχόμενα σάκχαρα και οξέα των νωπών προϊόντων, μπορούσαν να παρέμβουν έτσι και στη γεύση τους (ξινή-γλυκιά), κάνοντάς την πιο ευχάριστη ανάλογα με τις προτιμήσεις των καταναλωτών (Azodanlou et al., 2003).

Κεφάλαιο 2

Εδώδιμες μεμβράνες

2.1 Εισαγωγή

Έχει δοθεί ιδιαίτερη σημασία στη βρώσιμη συσκευασία των τροφίμων η οποία πρόκειται να αποτελέσει ένα αναπόσπαστο κομμάτι και να καταναλώνεται μαζί με το προϊόν. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον και η έρευνα στη βρώσιμη συσκευασία οφείλεται τόσο στην αυξανόμενη καταναλωτική ζήτηση για ασφαλή και σταθερά ποιοτικά τρόφιμα όσο και στην ευαισθητοποίηση σχετικά με τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μη βιοαποικοδομήσιμων απορριμμάτων συσκευασίας. Αν και οι όροι βρώσιμες μεμβράνες και βρώσιμες επικαλύψεις μερικές φορές αναφέρονται ως συνώνυμα, υπάρχει διαφορά στο ότι οι μεμβράνες προπαρασκευάζονται χωριστά και κατόπιν εφαρμόζονται στην επιφάνεια των τροφίμων, ενώ οι επικαλύψεις σχηματίζονται απευθείας στις επιφάνειες των τροφίμων (Debeaufort and Quezada-Gallo, 1998). Οι βρώσιμες μεμβράνες και οι επικαλύψεις έχουν παρόμοιες λειτουργίες με εκείνες της συμβατικής συσκευασίας καθώς λειτουργούν ως φράγμα έναντι των υδρατμών, των αερίων και των αρωματικών ενώσεων και βελτιώνουν τη δομική ακεραιότητα και διευκολύνουν το χειρισμό τους από τα μηχανήματα των τροφίμων. Αν και οι εδώδιμες μεμβράνες δεν προορίζονται να αντικαταστήσουν πλήρως τη συμβατική συσκευασία, η αποτελεσματικότητά τους στην προστασία των τροφίμων μπορεί να ενισχυθεί με το συνδυασμό της πρωτογενούς βρώσιμης συσκευασίας και της δευτερογενούς μη εδώδιμης συσκευασίας. Οι εδώδιμες επικαλύψεις μπορούν να μειώσουν τις συμβατικές απαιτήσεις συσκευασίας και τα απόβλητα καθώς είναι σε θέση να βελτιώσουν τη συνολική ποσότητα των τροφίμων, να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής και να βελτιώσουν την οικονομική απόδοση των υλικών συσκευασίας (Debeaufort and Quezada-Gallo, 1998). Οι προστατευτικές ιδιότητες των εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών στη μεμβράνη ή την επικάλυψη (Gennadios, 2002).

2.2 Ιστορική θεώρηση των εδώδιμων επικαλύψεων

Η χρήση της επικάλυψης φρούτων με εμβάπτιση σε κηρό είναι μία από τις πιο παλιές μεθόδους που εφαρμόστηκαν στις αρχές του 12ου αιώνα. Αυτό έγινε στην Κίνα

κυρίως για να επιβραδύνει την απώλεια νερού στα λεμόνια και τα πορτοκάλια. Παρόλο που οι Κινέζοι δεν συνειδητοποίησαν πλήρως τις δυνατότητές τους, διαπίστωσαν ότι τα φρούτα με κηρό μπορούν να αποθηκευτούν περισσότερο από τα μη κερωμένα φρούτα. Το 1930 το κερί παραφίνης διατέθηκε στο εμπόριο ως βρώσιμο επικαλυπτικό για φρέσκα φρούτα όπως τα μήλα και τα αχλάδια. Μετέπειτα, στην Αγγλία βρήκε ευρεία εφαρμογή η επικάλυψη των τροφίμων με λίπος (λαρδί). Το περίβλημα του λουκάνικου που χρησιμοποιείται πολύ συχνά σήμερα δεν είναι παρά ένα υλικό το οποίο προέρχεται από πρωτεΐνες (ζελατίνη). Συνήθως χρησιμοποιείται ένα φιλμ πάχους 2,5 mm και η επικάλυψη γίνεται με διάφορες μεθόδους από τις οποίες προέκυψε ότι τα έλαια, τα κεριά και η κυτταρίνη είχαν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά τον περιορισμό της αλλοίωσης και τη διατήρηση της φρεσκότητας των φρούτων και των λαχανικών. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την ανάπτυξη άλλων υλικών τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επικάλυψη, την παραγωγή και την τροποποίηση της εσωτερικής σύνθεσης των φρούτων και των λαχανικών σε βραχυπρόθεσμη αποθήκευση. Το 1982, οι Lowings και Cutts παρουσίασαν ένα υλικό το οποίο είναι μη τοξικό, άγευστο, άοσμο και αποτελεσματικό στην επέκταση της διάρκειας των φρούτων και των λαχανικών. Αυτό το επικαλυπτικό υλικό είναι μίγμα εστέρων σακχαρόζης και λιπαρών οξέων (SFAE), νατρίου, καρβοξυλομεθυλοκυτταρίνης και μονό- και δι-γλυκεριδίων. Το SFAE αρχικά αναπτύχθηκε ως γαλακτωματοποιητής. Ωστόσο η μεμβράνη αυτή έγινε εμπορικά διαθέσιμη το 1980 για την επικάλυψη φρούτων και λαχανικών (Dhall, 2013).

2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων

Οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα

- Παράγονται από εδώδιμες, ανανεώσιμες πρώτες ύλες.
- Καταναλώνονται μαζί με το προϊόν με αποτέλεσμα να μην αφήνουν απόβλητα.

- Ακόμη και στην περίπτωση που δεν καταναλωθούν με το προϊόν, δεν μολύνουν το περιβάλλον, γιατί γρήγορα αποσυντίθενται, αφού είναι πλήρως βιοδιασπώμενα υλικά.
- Είναι δυνατόν να ενσωματωθούν σε αυτά ουσίες που ενισχύουν το χρώμα, την οσμή και τη γεύση, με αποτέλεσμα να βελτιώνουν τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και την αποδοχή του προϊόντος. Επίσης, μπορούν να ενσωματωθούν και αντιμικροβιακές ουσίες και αντιοξειδωτικά, επεκτείνοντας τη διάρκεια συντήρησης του προϊόντος.
- Η χρησιμοποίηση πρωτεΐνων για την παραγωγή τους βελτιώνει τη θρεπτική αξία του προϊόντος.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσκευασία και επικάλυψη μεμονωμένων τεμαχίων του προϊόντος.
- Σε προϊόντα όπως η πίτσα και οι πίτες, μπορούν να τοποθετηθούν ανάμεσα στις στρώσεις των διαφόρων συστατικών, παρεμποδίζοντας έτσι τη μεταφορά ουσιών από τη μία στρώση στην άλλη, γεγονός που ενδεχομένως θα υποβάθμιζε την ποιότητα του προϊόντος.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενθυλάκωση διαφόρων ουσιών και την ενσωμάτωσή τους σε προϊόντα, με αποτέλεσμα τη σταδιακή και ελεγχόμενη απελευθέρωσή τους στη διάρκεια της παραγωγής ή της συντήρησης των προϊόντων.

Μειονεκτήματα

- Απαιτούνται αναλυτικές έρευνες για κάθε τρόφιμο μέχρι να εντοπισθεί ποιο υλικό επικάλυψης είναι κατάλληλο.
- Ενδέχεται να μεταβληθεί το είδος της μικροχλωρίδας που επικρατεί στο τρόφιμο, εξαιτίας της μεταβολής που επιφέρουν στην εσωτερική ατμόσφαιρα του τροφίμου.
- Η αστοχία στην επιλογή κατάλληλου επικαλυπτικού υλικού ενδέχεται να οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος.

2.4 Απαιτήσεις από τις εδώδιμες μεμβράνες

Οι ιδιότητες της επικαλυπτικής μεμβράνης επηρεάζονται ιδιαίτερα από τη μοριακή δομή, τη χημική σύσταση και όχι το μοριακό μέγεθος. Γι' αυτό πρέπει να

τηρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις για τις επικαλυπτικές μεμβράνες (Arvanitoyannis and Gorriss, 1999):

- Να δημιουργείται με χρήση ενός υδατικού διαλύματος, ώστε να παραμένει άθικτη η επικάλυψη και να καλύπτει επαρκώς ένα προϊόν, όταν εφαρμόζεται.
- Να ελαττώνει τη συγκέντρωση του οξυγόνου ή να ενισχύει τη συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα. Απαιτείται τουλάχιστον 1-3% οξυγόνο, προκειμένου να αποφευχθεί η μετάβαση από την αερόβια στην αναερόβια αναπνοή.
- Να μειώνει τη διαπερατότητα των υδρατμών.
- Να βελτιώνει την εμφάνιση, να διατηρεί την ακεραιότητα, να βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες, να φέρει ενεργούς παράγοντες (αντιοξειδωτικά, βιταμίνες κλπ.) και να διατηρεί τις γευστικές ιδιότητες.
- Να τήκεται πάνω από τους 40 °C χωρίς να αποσυντίθεται.
- Να είναι εύκολα γαλακτωματοποιήσιμη, μη κολλώδης και να έχει καλή συμπεριφορά στην ξήρανση.
- Να μην δρα αρνητικά στην ποιότητα των νωπών λαχανικών ή φρούτων.
- Να έχει μικρό ιξώδες και να έχει χαμηλό κόστος.
- Να είναι ημιδιαφανής έως αδιαφανής και ανθεκτική σε μικρές μηχανικές καταπονήσεις.

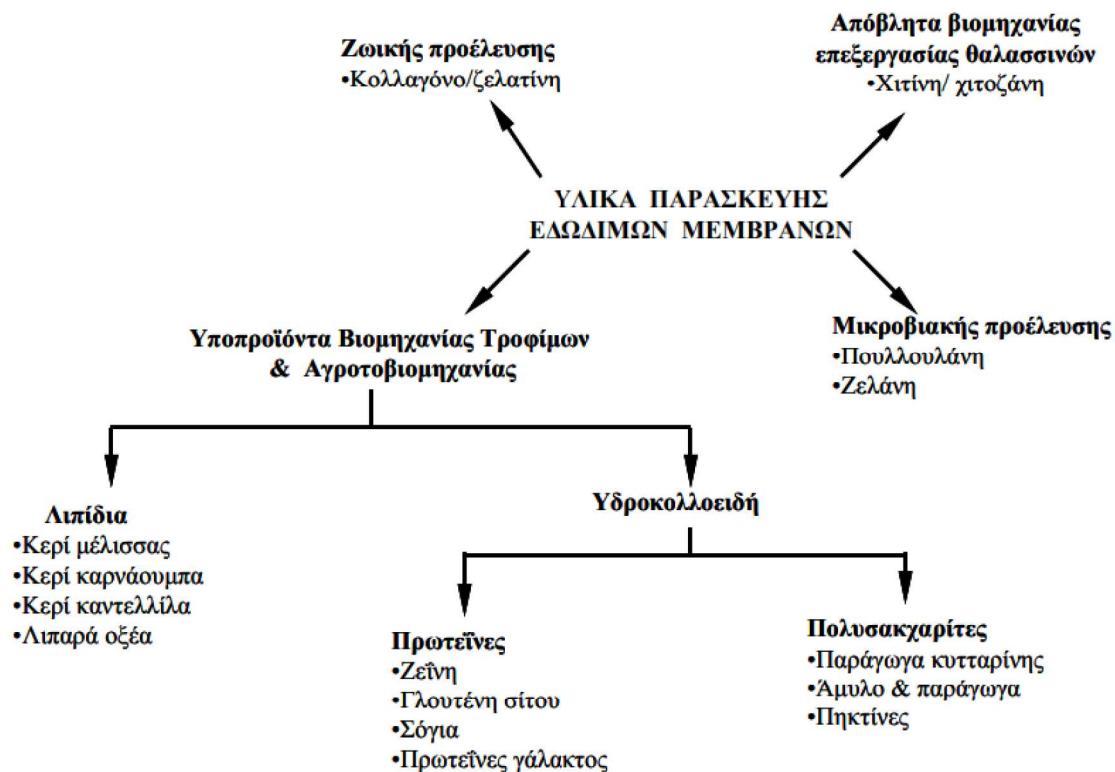
2.5 Μέθοδοι εφαρμογής των εδώδιμων επικαλύψεων

Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει άμεσα πάνω στα προϊόντα μέσω των τεχνικών της βύθισης, του ψεκασμού είτε μέσω του βουρτσίσματος και της έγχυσης. Οι διαδικασίες αυτές έχουν άμεση εφαρμογή, καθώς η μεμβράνη βρίσκεται σε υγρή φάση και με εμβάπτιση ή ψεκασμό ή βούρτσισμα και μετέπειτα με φυγοκέντρηση ή αποστράγγιση εφαρμόζεται στο προϊόν, παίρνοντας την τελική της διαμόρφωση της (Guilbert, 1986). Ο ψεκασμός έχει το πλεονέκτημα έναντι της εμβάπτισης διότι μπορεί να σχηματιστεί λεπτότερου πάχους μεμβράνη, σε περιπτώσεις που επιθυμείτε η αποφυγή μεταφοράς αρωματικών ουσιών, υγρασίας από το ένα υλικό στο άλλο μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία στη μία μόνο πλευρά του και τελικά με αυτή την τεχνική μπορεί να σχηματιστεί και δεύτερο στρώμα μεμβράνης για να ενισχύσει το πρώτο στρώμα μεμβράνης, δίνοντας στο προϊόν καλύτερη προστασία. Από την άλλη πλευρά, η εμβάπτιση πλεονεκτεί καθώς βρίσκει εφαρμογή στα περισσότερα προϊόντα με ακανόνιστο σχήμα. Όταν εφαρμόζεται η τεχνική αυτή, πρέπει να απομακρυνθεί η

περίσσεια του επικαλυπτικού υλικού από την επιφάνεια αυτού, ακολουθώντας έτσι την διαδικασία της ξήρανσης του επικαλυμμένου προϊόντος. Αντιθέτως, δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα της τεχνικής αυτής ο χρόνος εμβάπτισης, καθώς είναι απαραίτητη η ολοκληρωτική βύθιση του προϊόντος στο διάλυμα για τον σχηματισμό μίας καλύτερης μεμβράνης σε ολόκληρη της επιφάνεια του (Γόντικα - Γιαννοπούλου, 2016). Σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους, η έγχυση σε εκμαγείο δεν υπάγεται στις διαδικασίες αυτές έχουν άμεση εφαρμογή αλλά ανήκει στις τεχνικές ανεξάρτητου σχηματισμού. Πραγματοποιείται είτε εγχέοντας σε καλούπι συγκεκριμένη ποσότητα, είτε μέσω χρήσης ειδικού μηχανήματος (spreader), απλώνοντας το διάλυμα της μεμβράνης στο επιθυμητό πάχος πάνω σε μία οριοθετημένη επιφάνεια (Γόντικα - Γιαννοπούλου, 2016).

2.6 Σύνθεση των εδώδιμων επικαλύψεων

Η παραγωγή των εδώδιμων μεμβρανών γίνεται από υλικά με ικανότητα σχηματισμού μεμβράνης. Κατά την παρασκευή τους τα υλικά αυτά χρειάζεται να διασκορπιστούν και να διαλυθούν σε κάποιο διαλύτη όπως είναι η αλκοόλη, το νερό, μίγμα νερού και αλκοόλης είτε μίγμα άλλων διαλυτών. Στη διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει προσθήκη και ορισμένων αντιμικροβιακών παραγόντων, πλαστικοποιητών, χρωμάτων ή γεύσεων, μετάλλων και βιταμινών. Μπορεί να πραγματοποιηθεί κάποια θέρμανση των διαλυμάτων ή και ρύθμιση του pH, ώστε να διευκολυνθεί η διασπορά του πολυμερούς. Οι εδώδιμες μεμβράνες μπορεί να περιλαμβάνουν λιπίδια, πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και σύνθετα υλικά (Εικόνα 2.1)(Arvanitoyannis and Gorriss, 1999; Guibert and Gontard and Gorriss, 1996; Donhowe and Fennema, 1993). Η παρουσία τους μπορεί να καθορίσει τις ιδιότητες φραγμού του υλικού σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο, τους υδρατμούς και τη μεταφορά των λιπιδίων στα συστήματα των τροφίμων. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός υλικών προκειμένου να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα (Guibert and Gontard and Gorriss, 1996).



Εικόνα 2. 1 Η χρήση των λιπιδίων και των υδροκολλοειδών για την εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών (Πηγή : Tharanathan, 2003).

2.6.1 Εδώδιμες επικαλύψεις από Πολυσακχαρίτες

Η εδώδιμη επικάλυψη μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορους πολυσακχαρίτες. Γενικά, τα πλέον κοινά διαθέσιμα πολυμερή εξάγονται από ζώα αλλά και από γεωργικά φυτά και θαλάσσια. Τέτοια επικάλυψη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιβράδυνση της απώλειας υγρασίας ορισμένων τροφίμων κατά τη διάρκεια της βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης. Ωστόσο οι πολυσακχαρίτες έχουν υδρόφιλη φύση και δεν λειτουργούν ως φυσικό εμπόδιο της υγρασίας. Ο τρόπος με τον οποίο επιβραδύνουν την απώλεια της υγρασίας είναι δρώντας ως φράγμα της υγρασίας της ατμόσφαιρας, έτσι ώστε να διατηρείται η περιεχόμενη υγρασία των επικαλυμμένων τροφίμων. Εκτός από την πρόληψη αυτής, ορισμένα είδη μεμβρανών επικάλυψης από πολυσακχαρίτες είναι περισσότερο αδιαπέρατοι από το οξυγόνο, γεγονός που συμβάλει ίσως στη διατήρηση κάποιων προϊόντων. Οι κρυσταλλικές ιδιότητες κάποιων πολυσακχαριτών προκαλούν βλάβες στην επεξεργασία και την απόδοση. Αφετέρου, οι πολυσακχαρίτες αυτοί δίνουν υλικά επικάλυψης με εκλεκτή ικανότητα φραγμού αερίων. Ειδικότερα, η κυτταρίνη, το άμυλο, το κόμμι και η χιτοζάνη, είναι κάποιοι από

τους πολυσακχαρίτες που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παραγωγή μεμβρανών. Η γραμμική δομή της κυτταρίνης, της αμυλόζης και της χιτοζάνη δίνουν στις μεμβράνες τα παρακάτω χαρακτηριστικά: διαφάνεια, ανθεκτικότητα στα έλαια και στα λίπη, ευκαμψία και σκληρότητα. Επιπροσθέτως, ίσως οι πιο σύνθετοι πολυσακχαρίτες που προκύπτουν από μύκητες και βακτήρια, όπως το υαλουρονικό οξύ και η ξανθάνη, λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος χρειάζεται να μελετηθούν μελλοντικά (Dhall, 2013).

2.6.1.1 Κυτταρίνη και παράγωγά της

Η κυτταρίνη και τα παράγωγα αυτής αποτελούν τους πιο γνωστούς πολυσακχαρίτες που μπορεί να χρησιμοποιούνται για την παρασκευή εδώδιμων μεμβρανών. Παράλληλα, είναι ένα φυσικό πολυμερές που βρίσκεται σε αφθονία στη Γη καθώς είναι το γραμμικό φυσικό πολυμερές της γλυκόζης. Είναι υψηλά κρυσταλλική, ινώδης και αδιάλυτη. Λόγω, μάλιστα της αδιαλυτότητάς της στο νερό είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ως επικάλυψη γι' αυτό και έχουν κατασκευαστεί εμπορικά κάποια παράγωγά της που ξεπερνούν αυτό το εμπόδιο. Τέτοια παράγωγα είναι η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC), η μεθυλοκυτταρίνη (MC), η υδροξυπροπυλοκυτταρίνη (HPC) και η υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη (HPMC). Τα παραπάνω παράγωγα της κυτταρίνης έχουν καλή ιδιότητα σχηματισμού μεμβρανών, είναι γενικά άοσμα και άγευστα, εύκαμπτα και μέτριας αντοχής, διαφανή, ανθεκτικά στο έλαιο και τα λίπη, υδατοδιαλυτά και μέτριας διαπερατότητας σε υγρασία και οξυγόνο. Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκε ότι η διαπερατότητα στους υδρατμούς των μεμβρανών HPMC και MC μειώνεται με αύξηση του μοριακού βάρους του πολυμερούς. Οι μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών όπως επίσης και η μη διαπερατότητά τους οφείλονται στην κυτταρίνη και εξαρτώνται από το μοριακό βάρος της κυτταρίνης, όσο το μοριακό βάρος αυξάνει τόσο βελτιωμένες είναι και οι ιδιότητες που εμφανίζουν. Τέλος, το MC έχει χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διατηρηθεί το πράσινο χρώμα και η υφή σε αβοκάντο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής του. Πολλά από τα παράγωγα κυτταρίνης έχουν εξαιρετικές ιδιότητες σχηματισμού φιλμ, αλλά είναι πολύ ακριβά για τέτοιου είδους χρήση (Embuscado and Milda and Huber and Kerry, 2009; Dong and Manjeets, 2004; Dhall, 2013).

2.6.1.2 Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC)

Το CMC είναι ένα πολυμερές σημαντικό για την βιομηχανία με ευρύ πεδίο εφαρμογών σε κροκιδώσεις, στην παραγωγή απορρυπαντικών, υφασμάτων, χαρτιού, τροφίμων αλλά και φαρμάκων. Είναι παράγωγο της κυτταρίνης και σχηματίζεται από την αντίδρασή της με υδροξείδιο του νατρίου και χλωροοξικό οξύ και διακρίνεται από υψηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς. Οι ομάδες CH_2COONa που αποκτά η κυτταρίνη προδίδουν διαλυτότητα στο νερό (Biswal and Singh, 2004). Η διαλυτότητά του στο νερό σε συνδυασμό με την συμβατότητά του με άλλα μόρια, το καθιστά ιδανικό για σχηματισμό επικαλυπτικού (Tharanathan, 2003). Οι ιδιότητες αυτού του πολυμερούς εξαρτώνται από τρεις παραμέτρους: το μοριακό βάρος αυτού, τον μέσο αριθμό καρβοξυλίων ανά μονάδα γλυκόζης και την κατανομή των καρβοξυλίων στο μήκος της αλυσίδας αυτού. Οι κυριότερες ιδιότητες του CMC είναι η αύξηση του ιξώδους και η κροκίδωση. Σε σύγκριση με τους άλλους πολυσακχαρίτες είναι ο πιο φθηνός και εύκολα προσβάσιμος (Biswal and Singh, 2004).

2.6.1.3 Άμυλο

Το άμυλο αποτελεί άλλη μια πρώτη ύλη που είναι σε αφθονία, ειδικότερα προερχόμενη από το καλαμπόκι και εμφανίζει θερμοπλαστικές ιδιότητες (Tharanathan, 2003). Είναι πολυμερές αποτελούμενο από πολλές μονάδες γλυκόζης αλλά δεν είναι ομοιόμορφο υλικό. Τα περισσότερα άμυλα περιλαμβάνουν δύο τύπους πολυμερών γλυκόζης: μία γραμμική αλυσίδα που ονομάζεται αμυλάση και ένα διακλαδισμένο πολυμερές της γλυκόζης την αμυλοπηκτίνη. Χρησιμοποιείται συχνά στην βιομηχανία τροφίμων αλλά και για την παραγωγή βιοδιασπώμενων μεμβρανών αντικαθιστώντας μερικώς ή και εξ ολοκλήρου τα πλαστικά πολυμερή. Το κόστος του είναι χαμηλό και τα επικαλυπτικά που σχηματίζει παρουσιάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες. Το άμυλο καλαμποκιού έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε αμυλάση, γι' αυτό και είναι μία καλή πηγή σχηματισμού επικαλυπτικών, όπου μεμβράνες μπορούν να παραχθούν σε υδατικά διαλύματα ζελατινοποιημένης αμυλάσης (Bourtoom, 2008). Οι μεμβράνες με μεγάλη περιεκτικότητα σε αμυλάση έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή και είναι εύκαμπτες, ενώ η αμυλοπηκτίνη περιορίζει αρκετά τις μηχανικές ιδιότητες των μεμβρανών (Tharanathan, 2003). Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα τυπικό άμυλο καλαμποκιού αποτελείται από 25% αμυλάση και 75% αμυλοπηκτίνη (Bourtoom, 2008).

2.6.1.4 Πηκτίνη

Πρόκειται για συστατικό του μεσοκυτταρικού χώρου των φυτικών ιστών και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για εκχύλιση πηκτίνης κυρίως φλούδα μήλου και κίτρου και προορίζεται για την παρασκευή ισχυρών πηκτών (gel). Κατά κύριο λόγο συνίστανται από γαλακτουρονικά οξέα με ποικίλους βαθμούς μεθυλίωσης υπολειμμάτων καρβοξυλικών οξέων. Η μεθυλίωση επιτυγχάνεται με εστεροποίηση με μεθανόλη και καρβοξυλομάδες γαλακτουρονικού οξέος. Ανάλογα με το βαθμό εστεροποίησης με μεθανόλη, η πηκτίνη κατηγοριοποιείται σε πηκτίνη υψηλής περιεκτικότητας σε μεθοξύλια (HMP) και σε πηκτίνη χαμηλής περιεκτικότητας σε μεθοξύλια (LMP). Η HMP είναι εστεροποιημένες καρβοξυλομάδες πάνω από 50% ενώ η LMP έχει λιγότερες από 50%. Ο βαθμός εστεροποίησης επηρεάζει την ικανότητα δημιουργίας gel και για την παρασκευή τους είναι απαραίτητη η παρουσία πλαστικοποιητή. Οι μεμβράνες από πηκτίνη είναι βιοαποδομήσιμες και φθηνές στην παρασκευή τους ενώ σε συνδυασμό με άλλες βιοδραστικές ουσίες, παρουσιάζουν αντιμικροβιακές ιδιότητες (Pérez Espitia et al., 2014)

2.6.1.5 Χιτίνη-Χιτοζάνη

Η χιτίνη είναι ένα φυσικό, μη τοξικό βιοπολυμερές και το δεύτερο πιο άφθονο υλικό στη Γη, ακολουθούμενο από την κυτταρίνη. Συναντάται στον εξωτερικό σκελετό των οστρακόδερμων, σε άλλα βιολογικά υλικά και στο κυτταρικό τοίχωμα των μυκήτων. Η εμπορική χιτίνη απομονώνεται κυρίως από τα οστρακόδερμα, λόγω του μεγάλου όγκου αποβλήτων που παράγονται ως παραπροϊόντα από τη βιομηχανική επεξεργασία αυτών των θαλάσσιων ειδών. Ως προς τη δομή, παρουσιάζεται ομοιότητα μεταξύ της χιτίνης και της κυτταρίνης. Από την άλλη πλευρά, η χιτοζάνη σχηματίζεται με την αποακετυλίωση της χιτίνης σε αλκαλικό μέσο, για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως συμπολυμερές και καθορίζεται από το μέσο μοριακό βάρος και το βαθμό της αποακετυλίωσης. Η σπουδαιότητα της στηρίζεται στην κατιοντικότητά της, σε συνδυασμό με την ικανότητα σχηματισμού μεμβράνης και τις αντιμικροβιακές της ιδιότητες.

Οι επικαλύψεις από χιτοζάνη έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες, όπως αντοχή, ανθεκτικότητα και ευκαμψία, αλλά και εξαιρετική διαπερατότητα σε αέρια (CO_2 και O_2) και. Εξαιτίας αυτό, η χρήση τους περιορίζεται, αφού τα περισσότερα τρόφιμα

επιθυμούν εποικοδομητικό έλεγχο στην μεταφοράς υγρασίας. Ωστόσο, οι επικαλύψεις αυτές χρησιμοποιούνται επιτυχώς αφού επεκτείνουν την διάρκεια ζωής, ελέγχουν καθοριστικά την αλλοίωση σε διάφορα φρούτα και λαχανικά όπως και στις τομάτες, μείωναν τα ποσοστά απώλειας νερού, απώλειας ασκορβικού οξέος και ενζυμικού μαυρίσματος όπως επίσης διατηρούσαν τη σκληρότητα και καθυστερούσαν τη διαδικασία ωρίμανσης, μειώνοντας τα ποσοστά αναπνοής της απώλειας βάρους και της φθοράς από παθογόνους μικροοργανισμούς (Bourtoom, 2008). Παρ' όλα αυτά η εφαρμογή των επικαλύψεων με χιτοζάνη είναι περιορισμένη λόγω του μεγάλου κόστους που απαιτείται για την παρασκευή τους (Bonilla et al., 2013).

2.6.1.6 Άλατα αλγινικού οξέος

Το άλας του αλγινικού οξέος είναι υδατοδιαλυτός πολυσακχαρίτης που σχηματίζεται από το γραμμικό συμπολυμερές του D-μαννονυρικού οξέος και του L-γουλουρονικού οξέος, μπορεί να σχηματίσει επικαλυπτικό και εξάγεται από καφέ φύκια του είδους *Phaeophyceae*. Έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον αυτές οι μεμβράνες καθώς είναι φθηνές, μη τοξικές, βιοαποικοδομήσιμες και βιοσυμβατές. Τα ιόντα ασβεστίου σε σχέση με τα ιόντα αργιλίου, μαγγανίου, μαγνητίου και δισθενούς και τρισθενούς σιδήρου, είναι πιο αποτελεσματικά και αντιδρούν με τα άλατα αλγινικού οξέος, έχοντας ως αποτέλεσμα, να χρησιμοποιούνται ως πηκτικά μέσα λόγω του σχηματισμού πηκτών (gel). Οι επικαλύψεις αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στη διατήρηση ορισμένων ειδών τυριών, πουλερικών και κρεάτων, καθώς και διαφόρων ειδών ψαριών (Gennadios and Milford and Kurth, 1997).

2.6.2 Εδώδιμες επικαλύψεις που βασίζονται στις πρωτεΐνες

Οι επικαλύψεις από εδώδιμα υλικά μπορούν επίσης να παρασκευαστούν από διάφορες πρωτεϊνικές πηγές. Ωστόσο, επικαλύψεις πρωτεΐνών είναι λιγότερο ανεπτυγμένες. Οι εδώδιμες επικαλύψεις που βασίζονται στις πρωτεΐνες είναι ευαίσθητες στην απορρόφηση υγρασίας, γενικώς υδρόφιλες και επηρεάζονται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία. Όταν βρίσκονται στη φυσική τους κατάσταση, οι πρωτεΐνες χωρίζονται σε δύο ομάδες τις σφαιρικές και τις ινώδεις πρωτεΐνες. Οι σφαιρικές πρωτεΐνες είναι διαλυτές στο νερό ή σε υδατικά διαλύματα οξέων, βάσεων ή αλάτων και είναι κυρίως φυτικής προέλευσης (γλουτένη σίτου, πρωτεΐνη σόγιας,

ζεῖνη καλαμποκιού κ.α.), ενώ οι ινώδεις πρωτεΐνες είναι αδιάλυτες στο νερό και λαμβάνονται από ζωικούς ιστούς (π.χ. καζεῖνη, κολλαγόνο, ζελατίνη, κερατίνη) (Dhall, 2013).

Οι πρωτεΐνικές μεμβράνες σχηματίζονται από διαλύματα ή διασπορές των πρωτεΐνων, αμέσως μετά την εξάτμιση του διαλύτη. Οι συνηθισμένοι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι νερό, αιθανόλη ή μείγμα αυτών των δύο. Οι πρωτεΐνες πρέπει να μετουσιωθούν με χρήση θερμότητας ή διαλυτών και με αλλαγή του pH προκειμένου να σχηματίσει πιο επιμήκεις δομές, απαραίτητες για τον σχηματισμόν επικαλυπτικών. Μετά τον σχηματισμό τους, οι αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους με ιοντικούς δεσμούς και δεσμούς υδρογόνου. Πολυμερή που περιέχουν τους παραπάνω δεσμούς, σχηματίζουν μεμβράνες ευπαθείς στην υγρασία αλλά καλοί παρεμποδιστές του οξυγόνου. Συνεπώς, οι πρωτεΐνικές μεμβράνες αναμένεται να είναι καλοί παρεμποδιστές οξυγόνου μόνο σε χαμηλή σχετική υγρασία.

2.6.2.1 Πρωτεΐνη καλαμποκιού (ζεῖνη)

Η ζεῖνη, η πρωτεΐνη του καλαμποκιού βρίσκει εμπορική χρήση στην παραγωγή επικαλύψεων προϊόντων όπως τις καραμέλες, τα φαρμακευτικά δισκία και τους αποφλοιωμένους ξηρούς καρπούς. Είναι θερμοπλαστική ουσία και είναι σχετικά υδρόφοβη, πράγμα που σχετίζεται με την περιεκτικότητά της σε μη πολικά αμινοξέα. Παρουσιάζει πολύ καλές ιδιότητες ως επικαλυπτικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή βιοαποδομήσιμων επικαλυπτικών. Σχηματίζονται με σχηματισμό υδροφοβικών δεσμών, δεσμών υδρογόνου και δισουλφιδικών δεσμών μεταξύ των αλυσίδων της πρωτεΐνης. Μπορούν να σχηματιστούν με ξήρανση υδατικών διαλυμάτων αιθανόλης της πρωτεΐνης. Η ζεῖνη διαλύεται σε 70-80% αιθανόλη. Οι μεμβράνες που σχηματίζονται είναι σχετικά εύθραυστες, γι' αυτό και η παρουσία πλαστικοποιητή είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να είναι πιο εύκαμπτο το φίλμ. Είναι αποδεδειγμένο ότι αποτελεί καλό φράγμα του οξυγόνου, ενώ η διαπερατότητα υδρατμών μέσω αυτής της μεμβράνης είναι σχεδόν 800 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με μία τυπική μεμβράνη (Cha and Chinnan, 2004). Για να βελτιωθούν οι δυνατότητες των μεμβρανών αυτών ως παρεμποδιστές, γίνεται να προστεθούν λιπαρά οξέα. Επικαλυπτικά ζεΐνης έχουν δείξει την ικανότητα να ελαττώνουν την απώλεια υγρασίας αλλά και να καθυστερούν τις μεταβολές του χρώματος σε φρέσκες τομάτες (Bourtoom, 2008).

2.6.2.2 Πρωτεΐνη Σόγιας

Οι μεμβράνες από πρωτεΐνη σόγιας και λιπίδια παρασκευάζονται παραδοσιακά στην Άπω Ανατολή και είναι αναγνωρισμένες ως μεμβράνες “yuba” (Dhall, 2013). Ο καρπός της σόγιας έχει μεγάλο περιεχόμενο σε πρωτεΐνες (38-44%) (Varzakas and Tzia, 2016). Το μεγαλύτερο ποσοστό των πρωτεϊνών αυτών διαλύεται σε διαλύματα αλάτων και όχι σε νερό. Η συγκεκριμένη πρωτεΐνη έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υπολείμματα ασπαρίνης και γλουταμίνης και μπορεί να παραχθεί με δύο τρόπους, με επιφανειακό σχηματισμό φιλμ σε θερμαινόμενο γάλα σόγιας ή με διαλύματα υπερσυμπηκνωμάτων πρωτεΐνης σόγιας (Soy Protein Isolate, SPI). Εδώδιμες μεμβράνες με πρωτεΐνες σόγιας αποτελούν καλό παρεμποδιστή στην μεταφορά οξυγόνου αλλά η ικανότητά τους να συγκρατούν νερό είναι μειωμένη λόγω της υδρόφιλης φύσης των πρωτεϊνών (Varzakas and Tzia, 2016).

2.6.2.3 Πρωτεΐνες Γάλακτος

Οι πρωτεΐνες του ορού του γάλακτος και η καζεΐνη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό για την παρασκευή εδώδιμων επικαλύψεως. Ο ορός γάλακτος και η καζεΐνη συγκροτούν τις σπουδαιότερες πρωτεΐνες γάλακτος, με την καζεΐνη να αποτελεί το 80% όλων των πρωτεϊνών γάλακτος, που έχουν κερδίσει σημαντικό ενδιαφέρον, αφού μπορούν να προσδώσουν στα προϊόντα ευχάριστη γεύση και υψηλή θρεπτική αξία. Η καζεΐνη απαντάται στο γάλα με την μορφή μικκυλίων. Γενικά, το μικκύλιο περιλαμβάνει 104 πεπτίδια. Η καζεΐνη βρίσκει χρήση ιδίως στην παραγωγή του γαλακτώματος, διότι έχει υδρόφιβα και υδρόφιλα άκρα, με το καζεΐνικό άλας να θεωρείται το πιο γνωστό προϊόν καζεΐνης. Οι βρώσιμες καζεΐνες ως επικαλυπτικό σχηματίζονται εύκολα εξαιτίας της ανοιχτής δευτερογενούς δομής τους (McHugh and Krochta, 1994). Εδώδιμες μεμβράνες από β καζεΐνη επίκειται να έχουν μικρότερη διαπερατότητα σε υδρατμούς και αέρια σε σχέση με τις άλλες από πρωτεΐνες γάλακτος. Τα επικαλυπτικά από καζεΐνικά άλατα είναι πολύ υδατοδιαλυτα, αλλά η υποβολή τους σε ρυθμιστικά διαλύματα στο ισοηλεκτρικό σημείο της καζεΐνης οδηγεί μεμβράνες αδιάλυτες στο νερό. Αντιθέτως, οι πρωτεΐνικές μεμβράνες του ορού γάλακτος είναι εύκαμπτες, διαφανείς αλλά και χαμηλής διαπερατότητας σε αέρια (διοξείδιο του άνθρακα και οξυγόνο), σε αρωματικές ενώσεις και σε λιπαρές ουσίες, ενώ είναι αδιάλυτες στο νερό, εξαιτίας της παρουσίας ομοιοπολικών δισουλφιδικών

δεσμών. Η ενσωμάτωση λιπιδίων στις πρωτεΐνικές μεμβράνες του ορού γάλακτος, έχει ως απόρροια, την βελτίωση της ικανότητας φραγμού σε υγρασία με ταυτόχρονη την αύξηση της υδροφοβικότητας. (Kamper and Fennema, 1985).

2.6.2.4 Κολλαγόνο/Ζελατίνη

Το κολλαγόνο είναι μία ινώδης πρωτεΐνη και αποτελεί το κύριο συστατικό του δέρματος, των οστών και του συνδετικού ιστού. Η ικανότητά του κολλαγόνου να μειώνει την μεταφορά οξυγόνου, υγρασίας και ελαίου, είναι ο κύριος λόγος εφαρμογής του ως επικαλυπτικό κρέατων. Παραδοσιακά χρησιμοποιείται στη βιομηχανία κρέατος για την παρασκευή εδώδιμων περιβλημάτων για λουκάνικα . Πιο συγκεκριμένα, οι μεμβράνες κολλαγόνου είναι ιδιαίτερης σημασίας διότι προσφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι η βιοσυμβατότητα. Επίσης είναι μη τοξικές στους περισσότερους ιστούς, ενώ μπορούν να επεξεργαστούν και να αποδώσουν μία ποικιλία μορφών. Η ζελατίνη θεωρείται μία πρωτεΐνη που λαμβάνεται από την ελεγχόμενη υδρόλυση του κολλαγόνου και σχηματίζεται από μια μοναδική ακολουθία αμινοξέων. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η υψηλή περιεκτικότητα στα αμινοξέα γλυκίνη, προλίνη και υδροξυπρολίνη. Σχηματίζει μεμβράνες ισχυρές, εύκαμπτες, διαφανείς και αδιαπέρατες από το οξυγόνο, όταν προκύπτει από υδατικά διαλύματα που περιλαμβάνουν πλαστικοποιητή. Οι μεμβράνες από ζελατίνη εφαρμόζονται στη βιομηχανία τροφίμων και στη φαρμακευτική βιομηχανία (Dhall, 2013).

2.6.3 Εδώδιμες επικαλύψεις που βασίζονται στα λιπίδια

Για παραγωγή λιπαρών εδώδιμων μεμβρανών χρησιμοποιείται μια μεγάλη κατηγορία ενώσεων, η οποία περιλαμβάνει ζωικά και φυτικά λίπη και έλαια (καρύδα, φιστίκι, κακάο, λιπαρά οξέα και μονο-, δι- και τρι- γλυκερίδια), κηρούς (κερί καντελλίλα, κερί μέλισσας, κερί καρναούμπα), φυσικές ρητίνες, αιθέρια έλαια, γαλακτωματοποιητές και επιφανειοδραστικούς παράγοντες (λεκιθίνη, λιπαρά οξέα). Τα λιπίδια είναι υδρόφοβες ενώσεις, με καλύτερες ιδιότητες φραγμού υγρασίας από εκείνες των πολυσακχαριτών, αλλά η μη πολυμερική φύση τους περιορίζει τη συνεκτική ικανότητα σχηματισμού μεμβρανών. Ο υδρόφοβος χαρακτήρας, κυρίως των κηρών και των λιπών, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα καθώς προσδίδει λάμψη στην επιφάνεια του τροφίμου, κάνοντας πιο ελκυστική την εμφάνιση των μεμβρανών αυτών.

Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για την επικάλυψη της τομάτας, αγγουριών, μήλων, τυριών και άλλων προϊόντων όπως τα εσπεριδοειδή (Monillon et al., 2002). Η αποκλειστική σύνθεση όμως αυτών των επικαλύψεων από λιπίδια χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, διότι ενδέχεται να στερούνται δομικής ακεραιότητας και αντοχής. Για αυτό το λόγο, συνιστάται η χρήση υδροκολλοειδών σε μίγματα ή δίφυλλες μεμβράνες, έτσι ώστε να συνδυάζουν τις καλές μηχανικές ιδιότητες και την χαμηλή διαπερατότητα σε αέρια των πολυσακχαριτών ή και των πρωτεΐνων με την υψηλή αντίσταση στην υγρασία μέσω των λιπαρών συστατικών. Γενικότερα, οι μεμβράνες αυτές είναι άκαμπτες και αδιαφανείς, έχουν κηρώδη γεύση και προσδένονται δύσκολα στις υδρόφιλες επιφάνειες, πράγμα που μετριάζει τη χρήση τους στα κομμένα φρούτα (Cha and Chinnan, 2004; Olivas and Barbosa-Canovas, 2005).

2.6.4 Σύνθετες και πολυστρωματικές μεμβράνες

Οι εδώδιμες μεμβράνες που συνίστανται από ένα μόνο βασικό συστατικό, είτε εμφανίζουν καλές μηχανικές ιδιότητες, είτε ενεργούν μόνο ως καλά φράγματα. Οι μεμβράνες υδροκολλοειδών, για παράδειγμα, είναι πολύ καλά φράγματα οξυγόνου, όμως είναι περιορισμένη η αντίστασή τους στη μεταφορά υδρατμών, λόγω της υδρόφιλης φύσης των στοιχείων τους. Αφετέρου, οι μεμβράνες που έχουν βάση στα λιπίδια, αποτελούν καλό φράγμα υδρατμών, αλλά παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα, όπως κακή προσκόλληση, μικρές οπές και ρωγμές στην επιφάνειά τους, κηρώδη γεύση και έλλειψη ομοιογένειας (Cha and Chinnan, 2004). Γι' αυτό, για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού συνδυασμού όλων των παραπάνω επιθυμητών ιδιοτήτων των μεμβρανών, μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάμιξη περισσότερων συστατικών για το σχηματισμό σύνθετων ή πολυστρωματικών μεμβρανών.

Στην περίπτωση των πολυστρωματικών μεμβρανών εφαρμόζονται δύο στρώσεις επικαλυπτικού, όπου η μία αποτελείται από υδροκολλοειδή και η άλλη από λιπίδια, ενώ στην περίπτωση των σύνθετων μεμβρανών όλα τα συστατικά αναμιγνύονται για τη δημιουργία μίας ομογενούς επικάλυψης. Οι πολυστρωματικές μεμβράνες είναι πιο αποτελεσματικές ως φράγματα αερίων και υδρατμών σε σχέση με τις σύνθετες. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των σύνθετων μεμβρανών, οι επιφάνειες των τροφίμων καλύπτεται από ένα μόνο συστατικό σε κάθε σημείο, αφού η επικάλυψη συνίσταται από ένα πλέγμα στο οποίο τα υδροκολλοειδή και λιπίδια τα εναλλάσσονται. Ωστόσο, οι σύνθετες μεμβράνες είναι πιο εύχρηστες, αφού απαιτούν μόνο ένα στάδιο

εφαρμογής και ένα στάδιο ξήρανσης. Επίσης, η ύπαρξη τόσο μη-πολικών όσο και πολικών χαρακτηριστικών στις σύνθετες μεμβράνες, προσδίδουν την ιδιότητα της βελτιωμένης προσκόλλησης σε μεγαλύτερο αριθμό επιφανειών (Olivas and Barbosa-Canovas, 2005). Οι ιδιότητες φραγμού αλλά και οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων μεμβρανών καθορίζονται από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων λιπιδίων-υδροκολλοειδών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αυτών, καθώς επίσης και η συγκέντρωση των συστατικών τους και ο τύπος εφαρμογής του. Όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των λιπιδίων ή το μέγεθος των σταγονιδίων που προστίθεται στα υδατικά διαλύματα των υδροκολλοειδών, προκύπτουν πιο αδιαφανείς μεμβράνες, ενώ όσο μειώνεται η καλύτερη κατανομή των λιπιδίων (με ομογενοποίηση) ή το μέγεθος αυτών των σταγονιδίων, βελτιώνονται όλες τις ιδιότητες του επικαλυπτικού, ελαττώνοντας τη διαπερατότητά της σε υδρατμούς. Αν και η αυξημένη συγκέντρωση των λιπιδίων στις μεμβράνες αυτές, επιφέρει μείωση της διαπερατότητας σε υδρατμούς, έχει διαπιστωθεί ότι κάτω υπό καθορισμένες συνθήκες, η αυξημένη συγκέντρωση των λιπιδίων πάνω από ορισμένες τιμές προσδίδει στην μεμβράνη αυξημένη διαπερατότητα σε υδρατμούς. Η διαπίστωση αυτή εμπίπτεται στην ανεπάρκεια της διασποράς των λιπιδίων στα υδατικά γαλακτώματα που περικλείουν μεγάλες συγκεντρώσεις αυτών. Οι σύνθετες και οι πολυστρωματικές μεμβράνες έχουν αποτελέσει αντικείμενο μελέτης από πολλούς ερευνητές σε διεθνές επίπεδο. Κάποια από τα μίγματα που έχουν εξεταστεί ερευνητικά είναι: πρωτεΐνη σόγιας-προπυλενογλυκόλη (PGA), πρωτεΐνη σόγιας-αλγινικά άλατα, χιτοζάνη-ζελατίνη, καζεΐνη-αλγινικά άλατα-ακετυλιωμένα μονογλυκερίδια και άμυλο-ζελατίνη (Cha and Chinnan; Olivas and Barbosa-Canovas, 2005).

2.7 Ενσωμάτωση φυσικών αντιοξειδωτικών σε εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις

2.7.1 Αιθέρια έλαια

Τα αιθέρια έλαια είναι ικανά να μειώσουν την οξείδωση των λιπιδίων, γι' αυτό και η παρουσία τους σε τρόφιμα μπορεί να επεκτείνει την διάρκεια ζωής τους. Έχουν μεγάλες δυνατότητες ως αντιοξειδωτικά και είναι αναγνωρισμένα ως ασφαλή (GRAS). Ωστόσο ορισμένα από τα χαρακτηριστικά, όπως ενδεχόμενες μεταβολές των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους, το έντονο άρωμά των αιθέριων ελαίων, αλλά και και θέματα τοξικότητας, έχουν ελαττώσει σημαντικά τη χρήση τους στην

διατήρηση των τροφίμων. Για τον λόγο αυτό, έχουν πραγματοποιηθεί προσπάθειες ενσωμάτωσης αιθέριων ελαίων σε εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις. Υπάρχει η δυνατότητα ελαχιστοποίησης της απαραίτητη δόση αιθέριου ελαίου με εγκλεισμό του στο πολυμερές, περιορίζοντας έτσι την εξάτμισή τους αλλά και την ελεγχόμενη απελευθέρωσή του. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ασφάλεια και η ποιότητα των τροφίμων.

Εκτός από τις αντιοξειδωτικές τους ικανότητες, τα αιθέρια έλαια μπορούν να βελτιώσουν την παρεμποδιστική ικανότητα των μεμβρανών στο νερό, καθώς αυτά παρουσιάζουν υδροφοβικό χαρακτήρα, όπως και τα λιπίδια. Παράλληλα, σε έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η αντιοξειδωτική δράση ενός βιοαποδομήσιμου επικαλυπτικού ή μεμβράνης που περιέχει αιθέριο έλαιο είναι ανάλογη της ποσότητας του προστιθέμενου ελαίου. Πράγμα που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του αιθέριο ελαίου στις μεμβράνες ή επικαλύψεις, τόσο μεγαλώνει και η αντιοξειδωτική του δράση (Sánchez-González et al., 2011).

2.8 Εφαρμογές και μελλοντικές χρήσεις των εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων

Οι εδώδιμες επικαλύψεις και μεμβράνες εφαρμόζονται σε πληθώρα προϊόντων. Η μέθοδος επικάλυψης με εδώδιμες μεμβράνες των φρούτων και των λαχανικών βρίσκεται εφαρμογή ιδίως για την αποφυγή μαρασμού του προϊόντος και την διατήρηση της υγρασίας. Ταυτόχρονα, με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται γύρω από το προϊόν ένα είδος ελεγχόμενη ατμόσφαιρας, μειώνοντας το ρυθμό αναπνοής του και τους μηχανικούς τραυματισμούς. Επιπροσθέτως, διαφυλάττουν τα λαχανικά και τα φρούτα από τις αλλοιώσεις, προσφέρουν στην διατήρηση των πτητικών αρωματικών ουσιών, καθώς και βελτίωση της υφής (Han, 2014; Lin and Zhao, 2007).

Οι μεμβράνες κρίνονται ιδανικές για επικάλυψη φρέσκων φρούτων και λαχανικών, παρέχοντας την ικανότητα φραγμού στην μετανάστευση υγρασίας, ένα βαθμό διαπερατότητας στο O₂ και συγκεκριμένα στο CO₂ (Vargas et al., 2008). Η έλεγχος της αναπνευστικής δραστηριότητας των φρούτων και λαχανικών θα πρέπει να μπορεί να πραγματοποιηθεί με το ελάχιστο κόστος όταν αυτά διανέμονται, εάν οι επικαλυμμένες μεμβράνες αποβλέπουν στη ολική ή μερική αντικατάσταση της συσκευασίας υπό τροποποιημένη ατμόσφαιρα.

Η χρήση εδώδιμων επικαλύψεων εμποδίζεται από ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως η επιφανειακής ξήρανσης των νωπών ή κατεψυγμένων προϊόντων. Επιπροσθέτως, οι εδώδιμες μεμβράνες και επικαλύψεις χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία των τροφίμων ως μέσα συσκευασίας για την διάλυση συστατικών ή άλλων προσθέτων ή λόγω αύξησης βάρους σε προϊόντα εξώθησης, αποφυγής συσσωματωμάτων, μηχανικής υποστήριξης..

Πέρα από αντιοξειδωτικούς παράγοντες, στις εδώδιμες μεμβράνες μπορεί να γίνει προσθήκη επιπλέον ουσιών όπως χρωστικών, αρωμάτων, αντιμυκητιακών παραγόντων, ευεργετικών μικροοργανισμών, που σκοπό έχουν να διατηρήσουν την λειτουργικότητά τους με την ελάχιστη συγκέντρωση, ιδιαίτερα στην επιφάνεια του προϊόντος. Σε αυτήν περίπτωση, η δράση του επικαλυπτικού ως φορέας του μικροοργανισμού ή της ουσίας, δημιουργεί συνθήκες τροποποιημένης απελευθέρωσης αυτών (Gennadios and Weller, 1990).

Εκτός από τα φυτικά προϊόντα, η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή και στο κρέας κυρίως για την επίτευξη της μείωσης της απώλειας υγρασίας κατά την συντήρηση του νωπού ή κατεψυγμένου κρέατος. Παράλληλα, διατηρείται χυμώδες και μετριάζεται το τάγγισμα αυτού, το οποίο πηγάζει από την οξείδωση των λιπαρών οξέων αλλά και τον σχηματισμό καφετί χρώματος που οφείλεται στην οξείδωση της μυογλοβίνης. Όπως και στα φυτικά προϊόντα έτσι και στο κρέας, η τεχνολογία αυτή περιορίζει το μικροβιακό φορτίο της αυτόχθονης μικροχλωρίδας και των παθογόνων μικροοργανισμών στην επιφάνεια του κρέατος αλλά και την απώλεια των πτητικών ενώσεων.

Στις μέρες μας, παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης θαλασσινών, καθώς υπάρχει καλύτερη ενημέρωση των προβλημάτων υγείας και των διατροφικών οφελών που σχετίζονται με την κορεσμένη κατανάλωση κρέατος, ιδιαίτερα του κοτόπουλου και του βόειου κρέατος. Επίσης, η σύνθεση της σάρκας των ιχθυρών αποτελεί ιδανικό υπόστρωμα για την γρήγορη ανάπτυξη διάφορων παθογόνων μικροοργανισμών αλλά και άλλων γνωστών παθογόνων που μεταδίδονται στα τρόφιμα (Dehghani, Hosseini and Regenstein, 2018). Η ποιότητα των θαλασσινών είναι πολύπλοκη και πολύ υποκειμενική, εμπεριέχοντας τα θρεπτικά φυσικοχημικά, βιοχημικά και μικροβιολογικά χαρακτηριστικά. Έτσι, οι εδώδιμες μεμβράνες εφαρμόζονται στα ψάρια για την πρόληψη των αλλοιώσεων αυτών.

Γενικά, τα συστήματα των εδώδιμων επικαλύψεων και μεμβρανών μελλοντικά υπόσχονται πολλά τόσο στην βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων όσο και στη

διατήρηση αυτών, από το στάδιο της επεξεργασίας έως και την αποθήκευσή τους. Στην ουσία εφαρμόζονται εκεί που δεν ενδείκνυνται η χρήση των πλαστικών συσκευασιών. Είναι μία από τις πιο καινοτόμες οπτικές της έξυπνης συσκευασίας λόγω της προστατευτικής τους δράσης, της επιλεκτικότητας και των ποικίλων χρήσεων. Παράλληλα, είναι πλήρως βιοαποικοδομήσιμα άρα και ασφαλή για το περιβάλλον.

Από οικονομικής άποψης, το κόστος των εδώδιμων επικαλύψεων και μεμβρανών είναι αυξημένο κατά 10 έως 50 φορές από εκείνο των απλών πλαστικών μεμβρανών τύπου PVC. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια δεν αποτελεί τροχοπέδη στην εξέλιξη αυτών των επικαλυπτικών, καθώς έχει εξισωθεί το κόστος των εξελιγμένων μεμβρανών PVC. Το κόστος των συμβατικών μεμβρανών αυξάνει εκθετικά συμπαρασυρόμενο από την συνεχή αυξητική ανατίμηση της αξίας του πετρελαίου, καθώς τα αποθέματα του μειώνονται όλο και περισσότερο. Αντίθετα με τις μεμβράνες πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται ευρέως, η εφαρμογή των εδώδιμων επικαλύψεων και μεμβρανών προορίζεται για συγκεκριμένους λόγους και προϊόντα. Εν κατακλείδι, οι πλαστικές ύλες και τα εδώδιμα πολυμερή δύναται να δρουν συνεργιτικά στην προώθηση νέων εφαρμογών, πιο βιοαποικοδομήσιμων υλικών αλλά και μέσα στο πλαίσιο πιο οικολογικών προσεγγίσεων. Έτσι, οι εδώδιμες συσκευασίες και τα πλαστικά θεωρούνται το σημείο κλειδί για την μελλοντική συσκευασία των τροφίμων (Kumar, Ramakanth, Konala , Gaikwad, 2021).

2.9 Παραδείγματα εφαρμογής εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε νωπή τομάτα

Η τομάτα (*Solanum lycopersicum* L.) είναι ένα κλιμακτηριακό φρούτο που έχει σχετικά μικρή διάρκεια ζωής μετά τη συγκομιδή, καθώς λαμβάνουν χώρα διεργασίες και παράγοντες, που προκαλούν την απώλεια ποιότητας, όπως η μετασυλλεκτικές ασθένειες, η διαπνοή, η ωρίμανση και η γήρανση. Οι εδώδιμες μεμβράνες δημιουργούν μια τροποποιημένη ατμόσφαιρα και προσφέρουν έναν ημιπερατό φραγμό μεταφοράς οξυγόνου, διοξειδίου του άνθρακα, υγρασίας και διαλυτών συστατικών, περιορίζοντας έτσι τους ρυθμούς απώλειας νερού, της αναπνοής και των οξειδωτικών αντιδράσεων (Ali et al., 2013). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια σε διάφορες ποικιλίες νωπής τομάτας.

Σε μελέτη που διεξήχθη το 2020, της Abhirami και άλλων ερευνητών, παρήχθησαν εδώδιμες επικαλύψεις κεριού από πίτουρο ρυζιού (RBW), στοχεύοντας στην επέκταση της διάρκειας ζωής της τομάτας (Abhirami et al., 2020). Αυτή η έρευνα ήταν μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί το RBW, το δευτερεύον υποπροϊόν από την επεξεργασία ρυζιού, ως βρώσιμη επικάλυψη σε τομάτες ποικιλίας Marutham. Το RBW μετατράπηκε σε γαλάκτωμα με διαφορετικές συγκεντρώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την επικάλυψη των τοματών. Παρατηρήθηκε ότι τα επικαλυμμένα δείγματα με γαλάκτωμα κεριού από πίτουρο ρυζιού 10% w/v είχαν διάρκεια ζωής 27 ημέρες, σε σύγκριση με τον μάρτυρα που διατηρήθηκε για 18 ημέρες.

Ο Mohammed και οι υπόλοιποι ερευνητές κατασκεύασαν, κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών εποχών του 2018 και του 2019, μεμβράνες από διαλύματα ορισμένων βρώσιμων υλικών όπως αραβικό κόμμι (5% w/v και 10 % w/v), κυτταρίνη και πηκτίνη (1% w/v και 2% w/v), ξανθάνη (0,5% w/v και 1% w/v) και τις εφάρμοσαν στο υβρίδιο Cherubino F1 τομάτας τύπου Cherry που συγκομίστηκε στο στάδιο γυρίσματος χρώματος (25% κόκκινο χρώμα), έχοντας ως στόχος να μελετηθεί η διατήρηση της ποιότητας και της αποθήκευσης των καρπών τομάτας αλλά και η αποθήκευση τους μετά τη συγκομιδή σε θερμοκρασία 13°C και 90-95% σχετική υγρασία για 40 ημέρες (Mohammed et al., 2021). Η οργανοληπτική αξιολόγηση έδειξε ότι η επικάλυψη αραβικού κόμμεως 10% w/v ή 5% w/v διατήρησε τη συνολική ποιότητα του καρπού της ντομάτας κατά την αποθήκευση. Παράλληλα, οι μετρήσεις παθογόνων έδειξαν ότι το αραβικό κόμμι θεωρείται ισχυρός αντιμικροβιακός παράγοντας.

Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη από τον Ali και άλλους ερευνητές αναφέρθηκε πως οι επικαλύψεις αραβικού κόμμεως 10% w/v απέδειξαν καθυστέρηση της διαδικασίας ωρίμανσης και επέκταση της διάρκειας ζωής έως και 20 ημέρες κατά την αποθήκευση των επικαλυμμένων τοματών στους 20°C και στο στάδιο σπασίματος χρώματος, χωρίς αλλοίωση και αλλαγή στην γεύση (Ali et al., 2013).

Επιπλέον το 2017, η Ruelas-Chacon και άλλοι ερευνητές, παρήγαγαν επικαλύψεις κόμμεως γκουάρ 1,5% w/v με προσθήκη γλυκερόλης 30% οι οποίες κατάφεραν να επιβραδύνουν τον ρυθμό αναπνοής και διατήρησαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε τομάτες Roma, κατά την αποθήκευσή τους για 20 ημέρες στους 22 ± 2 °C και 40% σχετική υγρασία (Ruelas-Chacon et al., 2017).

Ομοίως, οι επικαλύψεις κόμμεως ροδάκινου στην μελέτη του Li και της υπόλοιπης ερευνητικής του ομάδας, παρεμπόδισαν τον ρυθμό αναπνοής και διατήρησαν την συνεκτικότητα των τοματών τύπου Cherry, κατά τη αποθήκευσή τους στους 4°C για 12 ημέρες (Li et al., 2017)

Το 2015 ο Pangesti και άλλοι ερευνητές χρησιμοποιήσαν το 2% πυρήνα ανανά, ο οποίος είναι υπεύθυνος για προβλήματα αποβλήτων σε πολλές χώρες, για την παραγωγή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMCpc) συγκριτικά με το 2% εμπορικής καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMCc) σε τομάτες για 20 ημέρες στους 25°C και 70% RH. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο τέλος της περιόδου αποθήκευσης, η επικαλυμμένη τομάτα τύπου Cherry με την χρήση CMCc και CMCpc είχε χαμηλότερη απώλεια βάρους, 19,25% και 22,83% αντίστοιχα. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στη συνεκτικότητα και την ερυθρότητα των τοματών με και χωρίς επικάλυψη ($p<0,05$). Αυτά τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίστρωση CMC μπορεί να καθυστερήσει την απώλεια υγρασίας και την ωρίμανση των τοματών σε συνθήκες περιβάλλοντος (Pangesti, Tongdeesontoorn and Syarief, 2015).

Σε άλλη έρευνα που διεξήχθη από την Samsi και την υπόλοιπη ερευνητική ομάδα, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 2019 σύνθετη εδώδιμη μεμβράνη μείγματος ζελατίνης-καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης για τη διατήρηση ντοματών τύπου Cherry (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) και σταφυλιών (*Vitis vinifera*) για 14 ημέρες στους 23–25°C. Για τον σχηματισμό εδωδίμου φίλμ ζελατίνης (Gel) ενσωματώθηκε καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC) σε τρεις αναλογίες όγκου ανά όγκο (Gel:CMC), 75:25, 50:50 και 25:75. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν για το φίλμ με αναλογία 25Gel:75CMC. Ειδικότερα, παρατηρήθηκε μείωση της απώλειας βάρους και του δείκτη αμαύρωσης, ενώ σημειώθηκε σημαντική βελτίωση της αντιμικροβιακής ιδιότητας των μεμβρανών ζελατίνης-CMC έναντι δύο παθογόνων τροφίμων, δηλαδή της *Escherichia coli* (E. coli) και του *Staphylococcus aureus* (S. aureus) (Samsi et al., 2019).

Ομοίως, σε ερεύνα που πραγματοποιήθηκε από τον Zhang και την υπόλοιπη ομάδα του, παρήχθησαν συνθέτες εδώδιμες μεμβράνες από CMC (συγκέντρωσης 0,7%) και πολυσακχαρίτες από το φυτό *Osmunda japonica* Thunb (Op) με διάφορα ποσοστά Op (0,02%, 0,04%, 0,06%, 0,08% και 0,1%) και εφαρμόστηκαν σε τομάτες για 25 ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου. Οι πολυσακχαρίτες από το συγκεκριμένο

φυτό (Op) παρουσιάσαν ένα ευρύ φάσμα βιολογικών δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβανομένων αντιβακτηριακών, αντιφλεγμονωδών, αντιοξειδωτικών και αντικαρκινικών επιδράσεων. Η CMC έδειξε ότι μπορεί να επιβραδύνει την ένταση του ρυθμού αναπνοής των τοματών και να μειώσει την απώλεια υγρασίας. Σε σύγκριση με τον μάρτυρα, οι τομάτες με επικαλύψεις CMC-Op είχαν μειωμένη αναπνευστική ένταση, απώλεια βάρους και απώλεια ασκορβικού οξέος. Ως εκ τούτου, η χρήση επικαλύψεων CMC-Op επέκτεινε τη διάρκεια ζωής και διατήρησε την ποιότητα των τοματών μετά τη συγκομιδή (Zhang et al., 2019).

**Πίνακας 2. 1 Εφαρμογές εδώδιμων μεμβρανών και επικαλύψεων σε νωπή τομάτα
(Πηγή: Yadav et al., 2022)**

Υλικό επικάλυψης	Τύπος επικάλυψης	Πουκιλία τομάτας	Αποτελέσματα	Συνθήκες αποθήκευσης	Αναφορά
Κερί από πίτουρο ρυζιού	Λιπίδιο	Marutham	<ul style="list-style-type: none"> α. Μείωση απώλειας βάρους β. Μείωση του ρυθμού αναπνοής και βιοσύνθεσης αιθυλενίου γ. Καθυστέρηση ωρίμανσης δ. Επέκταση του χρόνου ζωής α. Μείωση της απώλειας βάρους και συνεκτικότητας β. Βελτίωση των ποιοτικών παραμέτρων γ. 	<ul style="list-style-type: none"> 27 ημέρες σε 32.7–34.4°C και 57.5–88.3% RH 	Abhirami et al. (2020)
Αραβικό κόμμι	Πολυσακχαρίτης	–	<ul style="list-style-type: none"> Καθυστέρηση αλλαγών που σχετίζονται με τις παραμέτρους ωρίμανσης όπως TSS, βιταμίνη C α. Καθυστέρηση της έντασης του ρυθμού αναπνοής β. Μείωση του ρυθμού διαπνοής γ. Διατήρηση της συνεκτικότητας και των ενζύμων που σχετίζονται με την ωρίμανση 	<ul style="list-style-type: none"> 40 ημέρες σε 13°C και 90–95% RH 	Mohammed et al. (2021)
CMC και Πολυσακχαρίτες από το φυτό <i>Osmunda japonica Thunb</i> (Op)	Σύνθετη	–	<ul style="list-style-type: none"> α. Καθυστέρηση της έντασης του ρυθμού αναπνοής β. Μείωση του ρυθμού διαπνοής γ. Διατήρηση της συνεκτικότητας και των ενζύμων που σχετίζονται με την ωρίμανση α. Μείωση της απώλειας βάρους και του δείκτη αμάρωσης β. Βελτίωση των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων γ. Επέκταση του χρόνου ζωής 	<ul style="list-style-type: none"> 25 ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου 	Zhang et al. (2019)
CMC και ζελατίνη	Σύνθετη	Cerasiforme	<ul style="list-style-type: none"> α. Μείωση της απώλειας βάρους και του δείκτη αμάρωσης β. Βελτίωση των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων γ. Επέκταση του χρόνου ζωής α. Διατήρηση της συνεκτικότητας και της απώλειας βάρους β. Μείωση του ρυθμού αναπνοής γ. 	<ul style="list-style-type: none"> 14 ημέρες σε 23–25°C 	Samsi et al. (2019)
Κόμμι γκουνάρ (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>)	Πολυσακχαρίτης	Roma	<ul style="list-style-type: none"> Καθυστέρηση αλλαγών που σχετίζονται με τις παραμέτρους 	<ul style="list-style-type: none"> 20 ημέρες σε 22 ±2 C και 40% RH 	Ruelas-Chacon et al. (2017)

Κόμμι ροδάκινου	Πολυσακχαρίτης	-	ωρίμανσης όπως TSS, οξύτητα δ. Βελτιωμένες οργανοληπτικές ιδιότητες α. Καταστολή του ρυθμού αναπνοής β. Μείωση απώλειας βάρους γ. Καθυστέρηση αλλαγών που σχετίζονται με τις παραμέτρους ωρίμανσης όπως σάκχαρα, ασκορβικό οξύ και οξύτητα α. Μείωση απώλειας βάρους β. Καθυστέρηση αλλαγών που σχετίζονται με τις ποιοτικές παραμέτρους όπως TSS, βιταμίνη C γ. Δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην αλλαγή χρώματος και τη συνεκτικότητα α. Καθυστέρηση ωρίμανσης β. Βελτίωση της πουρίτητας γ. Βελτίωση των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων της τομάτας	12 ημέρες σε 4°C	Li et al. (2017)
Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC)	Πολυσακχαρίτης	-	20 ημέρες σε 25°C και 70% RH	Pangesti et al. (2015)	
Αραβικό κόμμι	Πολυσακχαρίτης	-	20 days.at 20°C	Ali 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 Μεσολογγίου). 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 ± 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 δενδρολίβανου (*Rosmarinus officinalis*) (Rosemary Essential Oil, EOr) 100% βιολογικό, χωρίς προσμίξεις, προήλθε από την εταιρεία APIVITA Natural Cosmetics A.E.B.E.

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

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 επικαλλυμένα τοματάκια (μάρτυρες) σε ανοιχτό περιέκτη, ii) τοματάκια με εδώδιμη επικάλυψη (Edible Coating, EC) καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) σε ανοιχτό περιέκτη και iii) τοματάκια με εδώδιμη επικάλυψη (Edible Coating, EC) καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) με αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου (EOr) σε ανοιχτό περιέκτη. 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

Για την παρασκευή του διαλύματος της εδώδιμης επικάλυψης 2% w/w καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC, Sodium Salt, Low viscosity, 217277-250GM, EMD Millipore Corp., Billerica MA, USA) αναμίχθηκε με 2% v/v Tween 20 (LOT 140287, Fisher Scientific, Pittsburgh, USA) και 96 mL απιονισμένο νερό (60°C) σε μαγνητικό αναδευτήρα-θερμαντήρα (Model F60, Falc Instruments, Treviglio BG, Italy) έως την

πλήρη ομογενοποίηση και ύστερα τέθηκε υπό ψύξη. Τα τοματάκια εμβαπτίστηκαν στο διάλυμα, σε αναλογία βάρους δειγμάτων/όγκο διαλύματος: 82,13g/100mL, για πέντε λεπτά και ένα λεπτό τοποθετήθηκαν εκτός διαλύματος, επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία τρεις φορές.

3.4 Προετοιμασία και εφαρμογή EC - CMC+EOr

Για την παρασκευή του διαλύματος της εδώδιμης επικάλυψης 2% w/w καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC, Sodium Salt, Low viscosity, 217277-250GM, EMD Millipore Corp., Billerica MA, USA) αναμίχθηκε με 2% v/v Tween 20 (LOT 140287, Fisher Scientific, Pittsburgh, USA) και 96 mL απιονισμένο νερό (60°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°C, προστέθηκαν 0.5% w/v EOr 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 EOr. Αφού τοποθετήθηκαν πάνω σε στατώ, αρχικά εισήχθησαν σε εργαστηριακό φούρνο (Plus Oven Programmable, Gallenkamp, Loughborough, UK) στους 40°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.



Εικόνα 3. 1 Δείγματα στο χρόνο μηδέν από την κάθε επεξεργασία. Από αριστερά:
Μάρτυρας, EC-CMC, EC-CMC +EOr.

3.5 Αξιολόγηση μετασυλλεκτικής ποιότητας στο τοματάκι

Κατά την αποθήκευση στους $10\pm1^{\circ}\text{C}$ 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 Pacific Ltd., Hong Kong, China) το οποίο μετρά και αναλύει το ανακλώμενο φως (Εικόνα 3.2). 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*) (Abbott, 1999; Papadakis and Yam, 2000; Yam and Papadakis, 2004). 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 (CI₀) στο χρόνο μηδέν, σύμφωνα με την Εξίσωση (2):*

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



Εικόνα 3. 2 Χρωματόμετρο X-Rite, i1PRO REV E, 1 113 597 (X-Rite Asia Pasific Ltd., Hong Kong, China).

3.5.2 Απώλεια βάρους & συνεκτικότητα καρπού

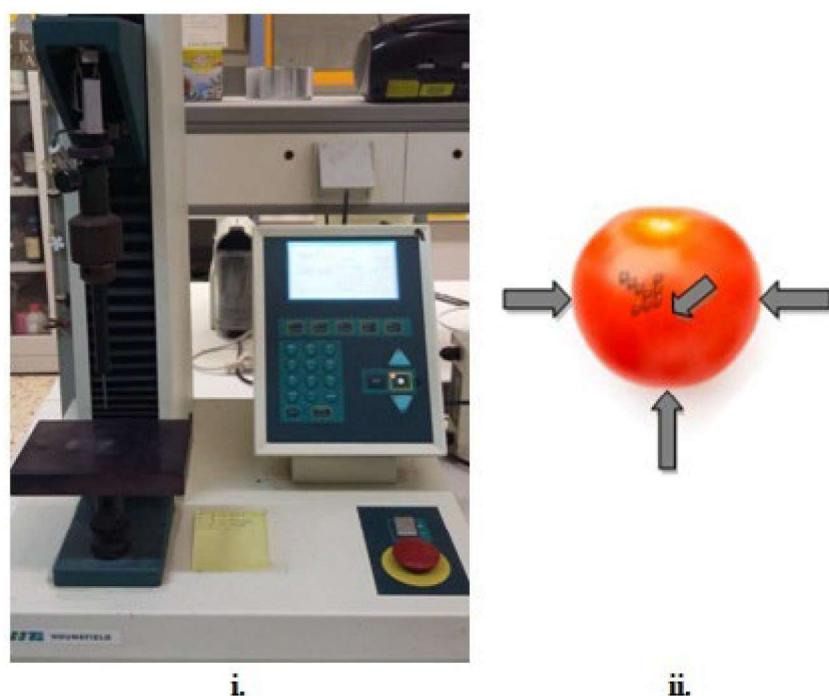
Κατά την έναρξη των πειραμάτων σημειώθηκαν τα μεικτά βάρη (MB-περιέκτης+τοματάκια) των εννιά συσκευασιών, της κάθε περίπτωσης επεξεργασίας, ως το αρχικό μεικτό βάρος (MBo) αυτών, ξεχωριστά, με τη χρήση εργαστηριακού ζυγού (Mark Electronic balance, BEL Engineering, Monza, Italy). Η απώλεια προσδιορίστηκε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

$$Απώλεια βάρους (\%) = \frac{MBo - MB_t}{MBo} \times 100 \quad (3)$$

MBo (g): Μεικτό βάρος δειγμάτων τη μηδενική ημέρα

MBt (g): Μεικτό βάρος δειγμάτων τη χρονική στιγμή αποθήκευσης 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 3.3). 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 3.3 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

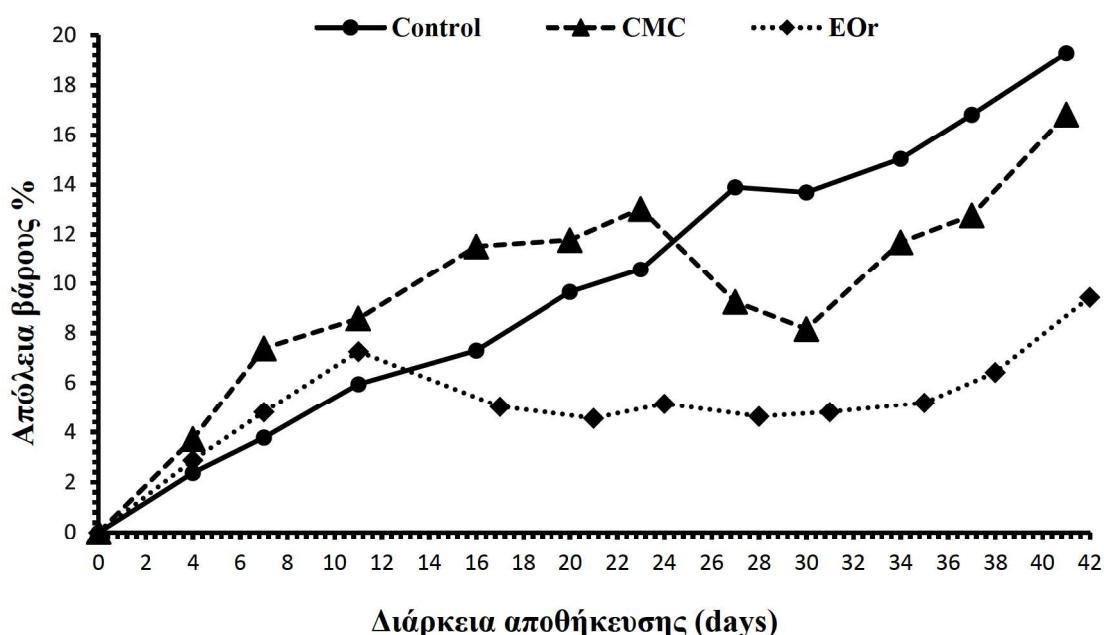
Το μείζων πρόβλημα της τομάτας κατά την αποθήκευση είναι η γρήγορη απώλεια βάρους, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την διάρκεια ζωής της. Συνεπώς, η απώλεια βάρους φανερώνει την φρεσκάδα και την ποιότητα των φρούτων (Kumar and Saini, 2021).

Η απώλεια βάρους στα τοματάκια σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, εμφάνισε σημαντική ($p < 0.05$) αύξηση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Την 41^η ημέρα αποθήκευσης τη μέγιστη απώλεια βάρους, 19.28%, εμφάνισε ο μάρτυρας, έχοντας μετά την 23^η ημέρα αποθήκευσης μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας βάρους και από τα επικαλυμμένα δείγματα με CMC, με 13.03% μέγιστο ποσοστό απώλειας βάρους, χωρίς να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Αντιθέτως, τη μικρότερη απώλεια βάρους, 9.45%, παρουσίασαν τα επικαλυμμένα δείγματα με CMC και EOr, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους στην επιβράδυνση της απώλειας βάρους, διαφέροντας σημαντικά ($p < 0.05$) από τις υπόλοιπες περιπτώσεις επεξεργασίας.

Η απώλεια βάρους οφείλεται κυρίως στην απώλεια υδρατμών, μέσω της διαπνοής αλλά και της διαφοράς πίεσης υδρατμών μεταξύ του καρπού και της ατμόσφαιρας αποθήκευσης (Won et al., 2017; Kumar and Saini, 2021). Ειδικότερα, η συγκεκριμένη ημιπερατή επικάλυψη καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης με το προστιθέμενο αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου (EOr) στα τοματάκια, φαίνεται πως λειτούργησε ως ενισχυμένος φραγμός έναντι της μεταφοράς O₂, CO₂, υγρασίας, μειώνοντας την αναπνοή, τον ρυθμό απώλειας νερού και των αντιδράσεων οξείδωσης και εμφανίζοντας, εν τέλει, την μέγιστη επιβράδυνση στην απώλεια βάρους.

Αναφορικά με τα επικαλυμμένα τοματάκια, έως και την 23^η ημέρα αποθήκευσης εμφάνισαν μεγαλύτερη απώλεια και από τα μη επικαλυμμένα δείγματα, όπως καταγράφηκε και από την Bhatia και τους συνεργάτες της, οι οποίοι εξετάζοντας την επίδραση εδώδιμων επικαλύψεων διαφορετικών πολυσακχαριτών στη μετασυλλεκτική ποιότητα της τομάτας, συμπέραναν πως οι επικαλύψεις καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC, 1.5 % w/w), όχι μόνο δε επιβράδυναν την απώλεια βάρους, αλλά κατέδειξαν μεγαλύτερη απώλεια και από τις τομάτες μάρτυρες (Bhatia et al, 2014). Ερμήνευσαν το παραπάνω αποτέλεσμα υπογραμμίζοντας την υδροφιλική φύση και το υψηλό μοριακό βάρος της CMC, που την καθιστούν διαπερατή σε O₂ 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 μελέτη, αν και επήλθε η διαδικασία της στράγγισης, παρατηρήθηκε η παραμονή μικρής ποσότητας υγρού διαλύματος στην επιφάνεια του καρπού, κυρίως στην επιφάνεια επαφής του με τα τοιχώματα συσκευασίας.



Σχήμα 4. 1 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στην απόλεια βάρους, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).

Συγκεκριμένα οι επικαλύψεις με βάση τη CMC εμφανίζουν υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού και προσρόφησης υγρασίας, λόγω των άφθονων υδροξυλικών και καρβοξυλικών ομάδων στη δομή της, γεγονός που η προσθήκη αιθέριου ελαίου σκόρδου (2 % v/v) σε διάλυμα επικάλυψης CMC (1% w/v), αποτέλεσε την δημιουργία σταυροδεσμών και άρα τη μείωση των διαθέσιμων OH⁻ που θα αντιδρούσαν με μόρια νερού, δημιουργώντας τελικώς επικαλυμμένες φράουλες με χαμηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς (Dong and Wang, 2017; Panahirad et al., 2021). Από την άλλη πλευρά, μετά την 23^η ημέρα αποθήκευσης, δημιουργήθηκε ένα ημιπερατό στρώμα καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης στην επιφάνεια των φρούτων το οποίο δρώντας συνεργιστικά με το προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου, ανέστειλε 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; Alvarez et al., 2021).

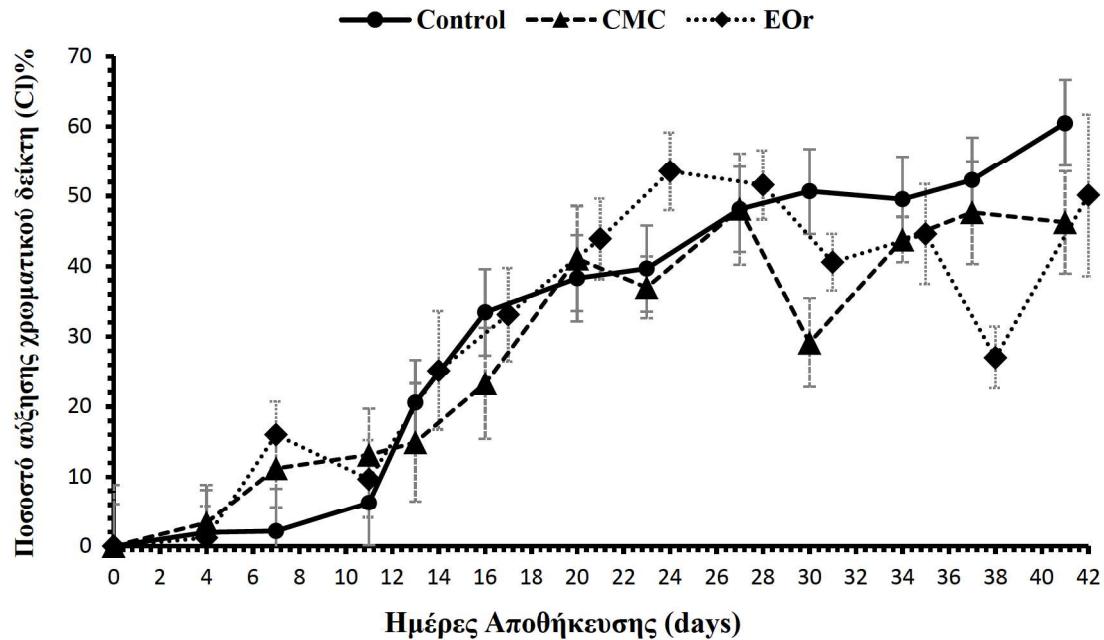
4.2 Χρώμα

Τα τοματάκια εμφάνισαν αρχικές τιμές L^* , a^* και b^* , 24.31, 9.84, 18.72 αντίστοιχα, έχοντας 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. Εξετάζοντας 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 60.49%, σημειώνοντας, κυρίως μετά την 23^η ημέρα αποθήκευσης, στατιστικά σημαντικές διαφορές ($p < 0.05$) με τις άλλες δύο περιπτώσεις επεξεργασίας. Ομοίως και τα επικαλυμμένα με CMC τοματάκια παρατηρήθηκε αύξηση του CI, με ποσοστό 46.23% την 41^η ημέρα αποθήκευσης, χωρίς να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τα δείγματα με το προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOg), τα οποία κατέδειξαν ποσοστό 50.13% την 42^η ημέρα αποθήκευσης.

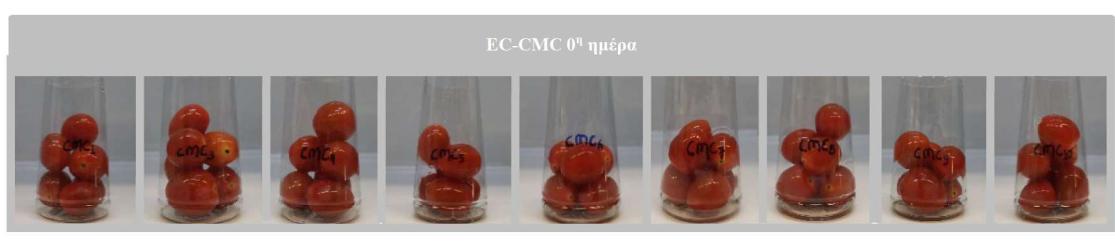
Κατά την ωρίμανση της τομάτας συνυπάρχουν ταυτόχρονα διαφορετικά χρώματα, καθώς η χλωροφύλλη αποικοδομείται από πράσινη σε άχρωμες ενώσεις, παράλληλα τα καροτενοειδή συντίθενται από την άχρωμα και πρόδρομη ένωση, φυτοένιο, σε καροτένιο (ωχροκίτρινο), λυκοπένιο (κόκκινο), β-καροτένιο (πορτοκαλί), ξανθοφύλλες και υδροξυλιωμένα καροτενοειδή (κίτρινο) (Fagundes et al., 2015). Εν τούτη, 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, έχοντας ως απόρροια παραπλανητικά αποτελέσματα (López Camelo and Gómez, 2004).

Στην παρούσα ερευνητική μελέτη, η επιβράδυνση της αύξησης της τιμής a^* και κατά συνέπεια και του χρωματικού δείκτη (CI) αλλά και κατ' επέκταση του σχηματισμού κόκκινου χρώματος τόσο των επικαλυμμένων φρούτων, όσο και εκείνων

με το προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου, 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 and Saini, 2021). Συγκεκριμένα, η σταδιακή απελευθέρωση των αντιοξειδωτικών EOr μέσω της ημιπερατής μεμβράνης επικάλυψης CMC-EOr λειτούργησε ως φραγμός στην ανταλλαγή αερίων με το εξωτερικό περιβάλλον, δημιουργώντας μια εσωτερική ατμόσφαιρα που παράγει υψηλά επίπεδα CO₂ και χαμηλά επίπεδα O₂, επιβραδύνοντας έτσι την διαδικασία της ωρίμανσης (Bhatia et al., 2014). Τελικά, αυτή η αύξηση του CO₂ αναστέλλει τη βιοσύνθεση του αιθυλενίου, η οποία συνοδεύεται από μειωμένη ανάπτυξη λυκοπενίου και αντίστοιχα ερυθρότητας (Sucheta et al., 2019b). Παράλληλα επηρεάζεται και η τιμή L*, συνεπώς και ο χρωματικός δείκτης, συγκριτικά με τα μη επικαλυμμένα τοματάκια, εξαιτίας της στιλπνότητας, όπως αποδόθηκε και σε προηγούμενες εφαρμογές εδώδιμων επικαλύψεων χιτοζάνης σε τοματάκια (Won et al., 2017). Όμοια αποτελέσματα μελετήθηκαν και σε έρευνα της Firdous και της υπόλοιπης ερευνητικής ομάδας, κατά την εφαρμογή εδώδιμων επικαλύψεων gel Aloe vera σε τομάτες (Firdous et al., 2020).



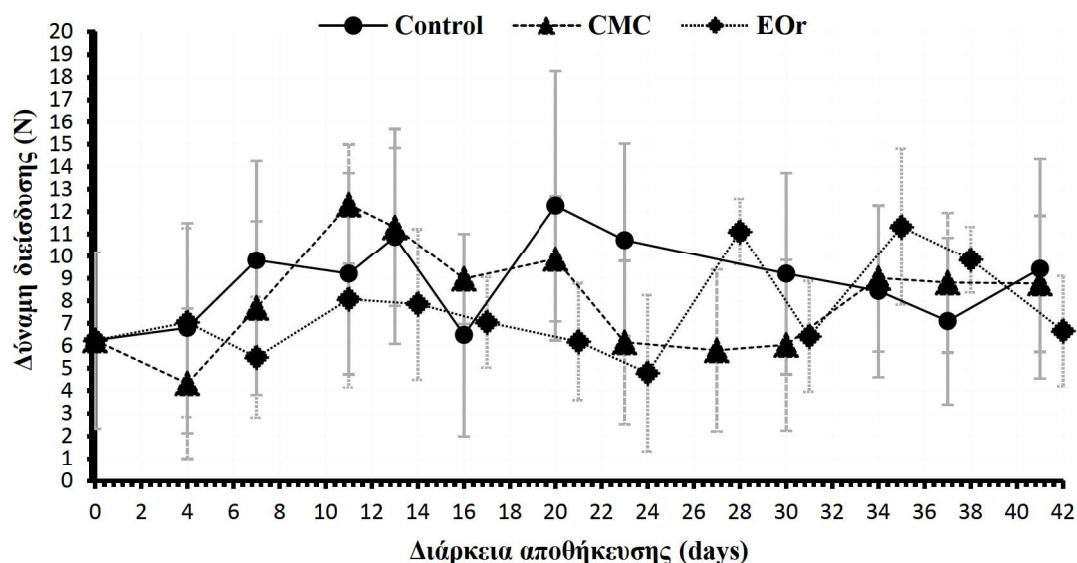
Σχήμα 4. 2 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικαλύψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στον χρωματικό δείκτη (CI), κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).



Εικόνα 4. 1 Διαφορά χρώματος δειγμάτων στο χρόνο μηδέν και στις ημέρες δειγματοληψίας. Από άνω: Μάρτυρας, EC-CMC, EC-CMC+EOr .

4.3 Συνεκτικότητα

Εξετάζοντας τη μεταβολή της συνεκτικότητας για τα φρέσκα τοματάκια, σε όλη την διάρκεια αποθήκευσής τους στους $10\pm1^{\circ}\text{C}$, συμπεραίνεται πως δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιπτώσεων επεξεργασίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Η αρχική τιμή που αποδόθηκε στο χρόνο μηδέν ήταν 6.25 ± 3.92 N, όμοια με προηγούμενες έρευνες σε φρέσκα τοματάκια (Alvarez et al., 2021). Έως και την 20^η ημέρα αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αστάθεια στις καταγραφόμενες τιμές συνεκτικότητας, σε όλες τις περιπτώσεις επεξεργασίας, η οποία οφείλεται μάλλον στην ύπαρξη μεταβλητότητας εντός των δειγμάτων. Κατά το υπόλοιπο χρονικό διάστημα αποθήκευσης, φάνηκε μια μείωση σε όλες τις περιπτώσεις, κατά 5,16 N για τον μάρτυρα, 4.07 N για τα επικαλυμμένα τοματάκια (EC-CMC) και 1,39 N για τα επικαλυμμένα τοματάκια με προστιθέμενο έλαιο δεντρολίβανου (EC-CMC+EOr), έως το τέλος της διάρκειας αποθήκευσης. Ειδικά, η εφαρμογή με το προστιθέμενο έλαιο δεντρολίβανου έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μετά το μέσο του χρονικού διαστήματος αποθήκευσης, συγκριτικά με το μάρτυρα.



Σχήμα 4.3 Επίδραση εφαρμογής εδώδιμης επικάλυψης καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC) και με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) στη συνεκτικότητα, κατά τη διάρκεια αποθήκευσης, συγκριτικά με τον μάρτυρα (Control).

Η μεταβολή της υφής αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη 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 (Mohammed et al., 2021). Συγκεκριμένα, τα κυτταρολυτικά ένζυμα, κυρίως η πηκτινομεθυλεστεράση και η πολυγαλακτουρονάση, είναι υπεύθυνα για τις προαναφερθείσες δομικές αλλοιώσεις. Στην παρούσα ερευνητική μελέτη, η μικρότερη παρατηρούμενη μείωση συνεκτικότητας στα τοματάκια με το προστιθέμενο έλαιο δεντρολίβανου (EC-CMC+EOr), μπορεί να αποδοθεί στην ανασταλτική δράση έναντι των ενζύμων (Sarikurkcu et al., 2016; Buendía-Moreno et al., 2019). Ομοίως σε παλαιότερες έρευνες, η δράση της πηκτινομεθυλεστεράσης μειώθηκε με την προσθήκη αιθέριων ελαίων κανέλας σε τροπικό φρούτο γκουάβα και είχαν σαν αποτέλεσμα, την καλή διατήρηση των φυτικών κυττάρων κατά την αποθήκευση (Botelho et al., 2016). Η ίδια προστατευτική δράση των αιθέριων ελαίων έναντι στο μαλάκωμα των καρπών παρατηρήθηκε και σε φυτικά προϊόντα, όπως το γλυκό κεράσι (Serrano et al., 2005; Buendía-Moreno et al., 2019).

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, μελετήθηκε η εφαρμογή δύο φιλικών ως προς το περιβάλλον τύπων συσκευασίας σε φρέσκο τοματάκι, με τη μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v), αλλά και με την μορφή εδώδιμης επικάλυψης με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC 2% w/v) με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr 0.5% w/v) και οι δύο σε ανοιχτό περιέκτη. Στόχος της έρευνας ήταν η αποτίμηση της αποτελεσματικότητας εναλλακτικών μεθόδων συσκευασίας, αξιολογώντας τη διατήρηση της ποιότητας και την επέκταση της διάρκειας ζωής των φρούτων. Κατά την διάρκεια της αποθήκευσής τους στους $10\pm1^{\circ}\text{C}$ εξετάστηκε η μεταβολή σε ιδιότητες αυτών, όπως η απώλεια βάρους, το χρώμα και η συνεκτικότητα.

Συνοψίζοντας, από την σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών επικαλυμμένων τοματών με βάση την καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC), επικαλυμμένων τοματών με προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) και μη επικαλυμμένων τοματών, προέκυψε ότι μετά την 23^η ημέρα αποθήκευσης η εδώδιμη επικάλυψη με καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη έδρασε συνεργατικά με το προστιθέμενο αιθέριο έλαιο δενδρολίβανου (EOr), αναστέλλοντας την ανταλλαγή αερίων και μειώνοντας έτσι την απώλεια βάρους. Ως εκ τούτου, επιτεύχθηκε η αποτελεσματικότερη διατήρηση της ποιότητας των καρπών αυτών.

Διαφορετική συμπεριφορά μέχρι την 23^η ημέρα αποθήκευσης, παρουσίασαν τα επικαλυμμένα τοματάκια (CMC), καθώς είχαν μεγαλύτερη απώλεια βάρους και από τα μη επικαλυμμένα δείγματα. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έπαιξε η ύπαρξη μικρής ποσότητας υγρού διαλύματος μεταξύ της επιφάνειας του καρπού και των τοιχωμάτων συσκευασίας, παρόλο που είχε προηγθεί η διαδικασία της στράγγισης.

Παράλληλα, τα δείγματα που εμβαπτίστηκαν με CMC και CMC+EOr διατηρήσαν αναλλοίωτα τόσο η υφή και όσο το χρώμα. Παράγοντες οι οποίοι αποτελούν τους κύριους δείκτες ποιότητας των καρπών τομάτας και αποδοχής τους από τους καταναλωτές.

Όσον αφορά την μεταβολή της συνεκτικότητας, σημειώθηκε αστάθεια στις καταγραφόμενες τιμές έως και την 20^η ημέρα αποθήκευσης, σε όλες τους τύπους επικάλυψης, ίσως λόγω της ύπαρξης μεταβλητότητας εντός των δειγμάτων. Ενώ, μετά

την 20^η ημέρα αποθήκευσης, τα δείγματα με προστιθέμενο έλαιο δεντρολίβανου (EOr) παρουσίασαν την μικρότερη μείωση στην δύναμη διείσδυσης.

Όπως ήταν αναμενόμενο ο μάρτυρας εμφάνισε την τελευταία μέρα αποθήκευσης, την μέγιστη απώλεια βάρους και το μέγιστο ποσοστό αύξησης χρωματικού δείκτη και από την 20^η ημέρα αποθήκευσης και έπειτα παρουσίασε την μεγαλύτερη μείωση στην δύναμη διείσδυσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μέθοδος της εδώδιμης επικάλυψης, όπως προέκυψαν από την παρούσα μεταπυχιακή διατριβή, εύλογα εξάγεται το συμπέρασμα ότι η τεχνολογία αυτή, επιτρέπει την ενσωμάτωση αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών ουσιών, χρησιμοποιώντας φυσικά πρόσθετα με βιοενεργά συστατικά, διατηρώντας έτσι την ποιότητα των κλιμακτηριακών καρπών. Ταυτόχρονα, τα οφέλη τα οποία λαμβάνουμε με την χρήση τους, δεν περιορίζονται μόνο στα τρόφιμα αλλά έχουν αντίκτυπο και στην προστασία του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, μειώνουν την χρήση πλαστικού, αρά και τον όγκο των αποβλήτων, αφήνοντας στο περιβάλλον μηδενικό αποτύπωμα.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ελάχιστες δημοσιευμένες έρευνες που σχετίζονται με το EOr ενσωματωμένο σε εδώδιμες επικαλύψεις, ενώ μέχρι σήμερα δεν υπάρχει καμία έρευνα για την προσθήκη EOr σε επικαλύψεις καρβοξυμεθυλοκυτταρίνης (CMC). Ως εκ τούτου σε μελλοντικό πείραμα, η περαιτέρω έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην:

- (1) Αξιολόγηση των ποιοτικών παραμέτρων που σχετίζονται με την ωρίμανση των καρπών όπως τα ολικά διαλυτά στερεά, την οξύτητα, το ασκορβικό οξύ, την βιταμίνη C.
- (2) Εκτίμηση των υπόλοιπων οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των επικαλυμμένων δειγμάτων, συγκεκριμένα του αρώματος και της γεύσης, μετά την προσθήκη του αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου.
- (3) Προσδιορισμό της βέλτιστης διάρκειας στράγγισης των επικαλυμμένων καρπών, για αποφυγή ανάπτυξης μικροοργανισμών μεταξύ της επιφάνειας των καρπών και των τοιχωμάτων της συσκευασίας.
- (4) Πραγματοποίηση μικροβιολογικού ελέγχου και ο έλεγχος της επίδρασης των φυσικών αντιμικροβιακών ουσιών στην ανάπτυξη μικροοργανισμών κατά την αποθήκευση.
- (5) Χρήση διαφορετικής σύστασης της εδώδιμης επικάλυψης CMC+EOr, με στόχο τον εντοπισμό της βέλτιστης αναλογίας CMC:EOr, για ενίσχυση της υδροφοβικότητας.
- (6) Χρήση διαφορετικού τύπου επικάλυψης, με στόχο την χαμηλή διαπερατότητα των υδρατμών μαζί με την ενσωμάτωση αιθέριου ελαίου δεντρολίβανου, για βελτίωση των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων.
- (7) Έλεγχο διαφορετικών μεθόδων επικάλυψης, όπως του ψεκασμού καθώς μέσω αυτού επιτυγχάνεται γρήγορο στέγνωμα της επικάλυψης.

Ξένη Βιβλιογραφία

- Abbott A. J., "Quality measurement of fruits and vegetables", Postharvest Biology and Technology, vol. 15, pp. 207–225, 1999.
- Abbott J. A., Harker F. R., "Texture. The Commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks", Agriculture Handbook, vol. 66, 2006.
- Abeles F. B., Morgan P. W., Saltveit M. E., "Ethylene in Plant Biology", 2nd Ed. Academic Press, 1992.
- Abhirami P., Modupalli, N., Natarajan V., "Novel postharvest intervention using rice bran wax edible coating for shelf-life enhancement of Solanum lycopersicum fruit", Journal of Food Processing and Preservation, vol. 44, e14989, 2020.
- Acedo A. L. Jr., Thanh C.D., "Postharvest Experimental Technics", RETA 6208 Training-Workshop on Postharvest Research and Technology Development, 2006a.
- Acedo A. L. Jr., Thanh C.D., "Postharvest Research and Technology Development for Fresh Tomato and Chilli", RETA 6208 Training-Workshop on Postharvest Research and Technology Development, 2006b.
- Ali A., Maqbool M., Ramachandran S., Alderson P. G., "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, vol. 58(1), pp. 42–47, 2013.
- Alvarez-Hernandez M. H., Martinez-Hernandez G.B., Castillejo N., Martinez J. A., Artes-Hernandez F., "Development of an antifungal active packaging containing thymol and an ethylene scavenger. Validation during storage of cherry tomatoes", Food Packaging and Shelf Life, vol 29, 100734, 2021.
- Arvanitoyannis I., Gorris L. G. M., "Edible and Biodegradable Polymeric Materials for Food Packaging", in Processing Foods: Quality. Optimization and Process Assessment, Boca Raton, Florida, CRC Press, 1999, pp. 357-371.
- Azodanlou R., Darbellay C., Luisier J. -L., Villettaz J. -C., Amadò R., "Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots", Swiss Society of Food Science and Technology, vol. 36, pp. 223–233, 2003.
- Baldwin E.A., Scott J.W., Einstein M.A., Malundo T.M.M., Carr B.T., Tandom K.S., "Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor", Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 102, pp. 721- 723, 1998.
- Barrett D. M., Garcia E., Wayne J. E., "Textural Modification of Processing Tomatoes, Critical Reviews in Food Science and Nutrition", vol. 38(3), pp.173–258, 1998.
- Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P., "Food Chemistry ", Springer, vol.3, pp. 1237-1287, 2006.
- Ben-Yehoshua S., "Transpiration, water stress and gas exchange", In Postharvest Physiology of Vegetables", ed. Weichmann, New York: Marcel Dekker, 1987.

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

Biswal D. R., Singh R. P., "Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer", Carbohydrate Polymers, vol. 57, pp. 379-387, 2004.

Bonilla J., Talón E., Atarés L., Vargas M., Chiralt A., "Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch chitosan films", Journal of Food Engineering, vol. 118(3), pp. 271-278, 2013.

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

Bourne M. C., "Rupture tests vs small-strain tests in predicting consumer response to texture", Food Technology, vol. 10, pp. 67-70, 1979.

Bourtoom T., "Edible films and coatings: characteristics and properties", International Food Research Journal, vol. 15(3), pp. 1-12, 2008.

Brandt S., Pék Z., Barna E., Lugasi A., and Helyes L., "Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions", Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 86, pp. 568- 572, 2006.

Buendía-Moreno L., Ros-Chumillas M., Navarro-Segura L., Sanchez-Martinez M. J., Soto-Jover S., Antolinos V., Martinez-Hernandez G. B., Lopez-Gomez A., "Effects of an active cardboard box using encapsulated essential oils on the tomato shelf life", Food and Bioprocess Technology, vol. 12, pp. 1548-1558, 2019.

Buffington D. E., Sastry S. K., "Methodology for determining the most economic storage conditions for tomatoes", Revue Internationale du Froid 6 (4) Butterworth & Co Ltd and IIR, 1983.

Campbell J. K., Canene-Adams K., Lindshield B. L., Boileau T. W. M., Clinton S. K., Erdman J. W. Jr., "Tomato phytochemicals and prostate cancer risk", The Journal of Nutrition, vol. 134, 3486S-3492S, 2004.

Centroamérica, Menchú MT, Méndez H. (eds). (3^a Reimpresión). Guatemala.

Cha D. S., Chinnan M. S., "Biopolymer-Based Antimicrobial Packaging: A review," Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 44, pp. 223-237, 2004.

Davies J.N., Hobson G.E., "The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition and genotype", CRC Crit Rev Food Sci Nutr, vol. 15(3), pp. 205-280, 1981.

Debeaufort F., Quezada-Gallo J., "Edible Films and Coatings: Tomorrow's packagings: A review", Critical Reviews in Food Science, vol. 38, pp. 299-313, 1998.

Dehghani S., Hosseini S. V., Regenstein J., "Edible films and coatings in seafood preservation: A review", Food Chemistry, vol. 240, pp. 505-513, 2018.

Denny C., "Tomato Products", National Food Processors Association, Washington, 1997.

Derossi A., Severini C., Mastro A. D., Pilli T. D., "Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach", LWT - Food Science and Technology, vol. 60 (2), pp. 641-648, 2015.

Dhall R., "Advances in Edible Coatings for Fresh Fruits and Vegetables: A review", Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 53, pp. 435-450, 2013.

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

Dong S. C., Manjeets C., "Biopolymer-Based Antimicrobial Packaging: A Review", Georgia, 2004.

Donhowe I., Fennema O., "The effects of Plasticizers on crystallinity, permeability, and mechanical properties of methycellulose films", Food Processing Preservation, vol. 17, pp. 247-257, 1993.

Embuscado E. M., Huber C. K., "Edible films and Coatings for Food Applications", Springer, 2009.

European Commision - DG Agri.E2 – FV, "The tomato market in the EU", Production and area statistics, vol. 1, 2022. Διαθέσιμο από: https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/market-observatories/fruit-and-vegetables/tomatoes-statistics_en. Τελευταία επίσκεψη: 30/11/2022

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

Firdous N., Khan M. R., Butt M. S., Shahid M., "Application of aloevera gel based edible coating to maintain postharvest quality of tomatoes", Pakistan Journal of Agricultural Sciences, vol. 57(1), pp. 245-249, 2020.

Gennadios A., "Proteins as Raw Materials for Films and Coatings: Definitions, Current Status, and Opportunities", Protein-Based films and coatings, CRC Press, pp. 1-41, 2002.

Gennadios A., Milford A., Kurth L. B., "Application of edible Coatings on Meats, Poultry and Seafoods: A Review", Lebensm. Wiss. Technol., vol. 30, pp. 337-350, 1997.

Gennadios A., Weller C. L., "Edible Films and Coatings from Wheat and Corn Proteins " Food Technology, vol. 44, pp. 63-69, 1990.

Gould W. A., "Tomato Production, Processing and Technology", Baltimore, Maryland: CTI Publications Inc., vol. 3, pp.535, 1992.

- Grierson D., Kaber A., "Fruit ripening and quality", *The Tomato Crop (A Scientific Basis for Improvement)*, London: Chapman and Hall, vol. 1, pp. 241-280, 1986.
- Guibert S., Gontard N., Gorris L., "Prolongation of the shelf life of perishable food products using biodegradable films and coatings", *Lebensm. Wiss. Technol.*, vol. 29, pp. 10-17, 1996.
- Guilbert S., "Technology and Application of edible protective films", in *Food Packaging and preservation: theory and practice*, New York, Elsevier Applied Science Publishers, 1986, pp. 371-394.
- Han J. H., "Edible Films and Coatings: A Review", *Innovations in Food Packaging (Second Edition)*, vol. 9, pp. 213-255, 2014.
- Helyes L., Pék Z., Lugasi A., "Tomato fruit quality and content dependt on stage of maturity", *HortScience*, vol.41, pp. 1400-1401. 2006.
- Hernández S. M, Rodríguez E. M., Díaz R. C., "Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife", *the Canary Island. Food Chem*, vol. 106, pp.1046–1056, 2008.
- Hulme A. C., "The biochemistry of fruits and their products", London and New York: Academic Press, vol. 2, 1971.
- Hunter R. S. and R. W. Harold, "The measurement of appearance", Wiley, New York, 1987.
- Hutchings J. B. "Food colour and appearance". Blackie Academic & Professional, New York. *J. Food. Sci.*, vol.28, pp.404-409, 1994..
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Pamanamá), "Tabla de composición de alimentos de", 2012.
- Jones J., Benton J., "Tomato Plant Culture In the Field", Greenhouse and Home Garden, Boca Raton, CRC Press, 1999.
- Kader A. A., "Postharvest Technology of Horticultural Crops", Univ. Calif., Div. of Agr. and Nat. Resources, Publ, vol. 3311, pp. 296, 1992.
- Kamper S. L, Fennema O., "Use of an Edible Film to Maintain Water Vapor Gradients in Foods", *Journal of Food Science*, vol. 50 (2), pp. 382-384, 1985.
- Knee M., "Fruit Quality and its Biological Basis", Columbus, Ohio, USA, CRC Press, 2002.
- Kumar A., Saini, C. S., "Edible composite bi-layer coating based on whey protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes", *Measurement: Food*, vol. 2, 100005, 2021.
- Kumar L., Ramakanth D., Konala A., Gaikwad K. K., "Edible films and coatings for food packaging applications: a review", *Environmental Chemistry Letters*, vol. 20(4), pp.26, 2021.

Lamikanra O., "Fresh-Cut Fruits and Vegetables", Science, Technology, and Market, Boca Raton, CRC Press, vol.1, 2002.

Leoni C., "Derivati Industriali del Pomodoro", Stazione Sperimentale per l' Industria delle Conserve Alimentari in Parma, Parma, 1993.

Lewinsohn E., Sitrit Y., Bar E., Azulay Y., Ibdah M., Meir A., Yosef E., Zamir D., Tadmor Y., "Not just colors - carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit", Trends in Food Science & Technology, vol. 16, pp. 407–415, 2005.

Li C., Tao J., Zhang H. "Peach gum polysaccharides-based edible coatings extend shelf life of cherry tomatoes", 3 Biotech, vol. 7(3), pp.1–5, 2017.

Lin D., Zhao Y., "Innovations in the Development and Application of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables", Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol. 6, pp. 60-75, 2007.

Lin D., Zhao Y., "Innovations in the development and Appliccation of Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables", Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, vol. 6, no. 3, pp. 60-75, 2007.

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

Marti R. H., "Estimation of sample size in skin and flesh color measurement of dry flesh sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam.) ", Scientia Horticulturae, vol. 98, Issue 4, pp. 331-336, 2003.

Maul F., Sargent S. A., Balaban M. O., Baldwin E. A., Huber D. J., Sims C. A., "Aroma volatile profiles from ripe tomato fruit are influenced by physiological maturity at harvest: an application for electronic nose technology", Journal of the American Society for Horticultural Science, vol.123 (6), 1094-1101, 1998.

McGlasson B., "Tomatoes in Encyclopedia of Food Science Technology and Nutrition", Academic Press, vol. 7, 4579-4589, 1993.

McHugh T., Krochta J., "Milk-protein-based edible films and coatings", Food tech, vol.48, pp. 97-103, 1994.

Minolta, "Precise Color Communication", Minolta Co, Ramsey, NJ,1994.

Modi V. V., Reddy V.V., "Carotogenesis in ripening mangoes", Ind. J. Expt. Biol., vol. 5, pp. 233, 1967.

Mohammed O. O., Azzazy M. B., Badawe A., "Effect of some edible coating materials on quality and postharvest rots of cherry tomato fruits during cold storage", Zagazig Journal of Agricultural Research, 48(1), pp. 37–54. 2021.

Olivas G. I., Rodriguez J. J., Barbosa- Cánovas G. V., "Edible coatings composed of methylcellulose, steric acid and additives to preserve quality of pear wedges", Journal of Food Processing and Preservation, 2003

- Olivas G., Barbosa-Canovas G., "Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits", Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 45, pp. 657-670, 2005.
- Panahirad S., Dadpour M., Peighambardoust S. H., Soltanzadeh M., Gullon B., Alirezalu K., "Trends in Food Science and Technology", Elsevier, vol. 110, pp. 663-673, 2021.
- Pangaribuan D. H., "Postharvest physiology of fresh-cut tomato slices", PhD Thesis, School of Land, Crop and Food Sciences, The University of Queensland, 2005
- Pangesti A. K., Tongdeesontoorn W., Syarieff R., "Application of carboxymethyl cellulose (CMC) from pineapple core as edible coating for cherry tomatoes during storage", Paper presented at the 22nd Tri-University International Joint Seminar and Symposium Jiangsu University, China, 2015.
- Papadakis E.S., Yam L.K., "A Versatile Inexpensive Technique for Measuring Color of Foods", Food Technology, vol. 54(12), 2000.
- Passam H., Tsantili E., Christopoulos M., Kafkaleto M., Alexopoulos A., Karapanos, I., "Postharvest Handling Of Fruits And Vegetables", Undergraduate textbook, Kallipos, Open Academic Editions, pp. 150, 2015.
- Pérez Espitia P. J., Du W. X., Avena-Bustillos R., Ferreira Soares N., McHugh T., "Edible films from pectin: Physical-mechanical and antimicrobial properties A review", Journal of Food Hydrocolloids, vol. 35, pp. 287-296, 2014.
- Pinela J., Barros L., Carvalho A. M., Ferreira ICFR, "Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens", Food Chem. Toxicol, vol. 50, pp. 829–834, 2012.
- Ramsey N. J., Dumas Y., Dadomo M., Di Lucca G., Grolier P., "Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes". Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 83, pp. 369- 382, 2003.
- Rao A.V., Agarwal S., "Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease", J. Am. Coll. Nutr, vol.19, pp. 563–569, 2000.
- Rosenthal A.J., "Food Texture - Measurement and Perception", Aspen Publishers, Inc. Gaitherburg, Mateland, 1999.
- Ruelas-Chacon X., Contreras-Esquivel J. C., Montañez, J., Aguilera-Carbo A. F., Reyes-Vega M. L., Peralta-Rodríguez R. D., Sánchez-Brambila G., "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.
- Saltveit M. E., "Respiratory Metabolism. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks", Agriculture Handbook, vol. 66, 2004.
- Salunkhe D. K., Bolin H. R, Reddy N. R., "Storage Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables", CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1991.
- Samsi M. S., Kamari A., Din S. M., Lazar G., "Synthesis, characterization and application of gelatin–carboxymethyl cellulose blend films for preservation of cherry

tomatoes and grapes", Journal of Food Science and Technology, vol. 56(6), 3099–3108. 2019.

Sánchez-González L., Vargas M., González-Martínez C., Chiralt A., Cháfer M., "Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review", Food Engineering Reviews, vol. 3, pp.1–16, 2011.

Sarikurkcu C., Uren M. C., Kocak M. S., Cengiz M., Tepe B., "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, vol. 25, pp. 687–693, 2016.

Sastray S. K., Buffington D. E., "Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes", International Journal of Refrigeration, Butterworth & Co Ltd and IIR, 1983.

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

Sesso H. D., Liu S. M., Gaziano J. M., Buring J. E., "Dietary lycopene, tomato- based food products and cardiovascular disease in women", Journal of Nutrition, vol.133, 2336-2341, 2003.

Shewfelt R. L., Prussia S. E., "Postharvest Handling. A System Approach", Academic Press, Inc. San Diego, California, 1993.

Shewfelt, R. L., Prussia S. E., "Postharvest Handling. A System Approach", Academic Press, Inc. San Diego, California, 1993.

Six Ripening Stages Of Tomatoes By The Fruit Surface Color, <https://ofags.com/ripening-stages-of-tomatoes>. Τελευταία επίσκεψη: 30/11/2022

Thanh C. D., "Introduction to the Postharvest Physiology of Tomato and Chilli", RETA 6208 Training-Workshop on Postharvest Research and Technology Development, 2006.

Tharanathan R. N., "Biodegradable films and composite coatings: past, present and future", Trends in Food Science & Technology, vol. 14, pp71-78, 2003.

USDA, "United States standards for grades of fresh tomatoes", U.S.D.A. Agric. Mrkt Serv., pp. 10, 1976.

Uyeshiro RY., "The Processing Tomato Industries of Greece, Portugal and Spain", Department of Agriculture, Foreign Agriculture Service. Washington, 1977.

Vargas M., Pastor C., Chiralt A., McClements D. J., González-Martínez C., "Recent Advances in Edible Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits", Critical Reviews in Food Science and Nutrition, vol. 48, pp. 496-511, 2008.

Varzakas T., Tzia C., "Handbook of Food Proccesing", CRC press, pp. 541-548, 2016

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

Yadav A., Kumar N., Upadhyay A., Sethi S., Singh A., "Edible coating as postharvest management strategy for shelf-life extension of fresh tomato (*Solanum lycopersicum* L.): An overview", Journal of Food Science, vol. 87(6), pp. 2256-2290, 2022.

Yam L. K., Papadakis E. S., "A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces", Journal of Food Engineering, vol. 61, pp. 137-142, 2004.

Yang Y., "The signaling mechanism of nitric oxide on ripening and senescence of postharvest tomato fruit", Ph.D., China agricultural university, 2018.

Zhang X., Zhang X., Liu X., Du M., Tian Y., "Effect of polysaccharide derived from *Osmunda japonica* Thunb-incorporated carboxymethyl cellulose coatings on preservation of tomatoes", vol. 43(12), 14239, 2019.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βασιλακάκης Μ., "Μετασυλλεκτική φυσιολογία- Μεταχείριση οπωροκηπευτικών και Τεχνολογία", Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 2006.

Γόντικα-Γιαννοπούλου Μ., "Χρήση εδώδιμων επικαλυπτικών μεμβρανών σε τηγανισμένα προϊόντα φρούτων και λαχανικών και διατήρησης τους σε συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας", Αθήνα, 2016.

Καραουλάνης Γ. Δ., "Τεχνολογία Μεταποίησης Οπωροκηπευτικών", Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1991.

Μπλούκας Ι. Γ., "Συσκευασία Τροφίμων", Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα, 2004.

Μπουλέκου Σ., "Μελέτη της επίδρασης των παραμέτρων της διεργασίας υπερυψηλής υδροστατικής πίεσης στα ένζυμα της τομάτας και εφαρμογή για την παραγωγή προϊόντων με επιθυμητά χαρακτηριστικά", Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, σελ. 234, 2010.

Ντόγρας Κ., "Ειδική Λαχανοκομία I (Μέρος Α) ", Εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ. 192, 2004-5.

Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ., Λαμπρινός Γρ., "Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας", Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, Αθήνα, σελ. 580-587, 2005.

Ψυχογιού Στ., Κατσογιάννη Α., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ., "Εκτίμηση των Απωλειών Μάζας Νωπής Τομάτας Βιολογικής Καλλιέργειας κατά

τη Συντήρησή της με Ψύξη", Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής Ελλάδας, Θεσσαλονίκη, σελ. 841-848. 2009.