



Σχολή Επιστημών Τροφίμων  
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εδώδιμες επιστρώσεις χιτοζάνης και νανοεπικάλυψη για παράταση  
διατηρησιμότητας στο *Cucumis sativus* (Linnaeus, 1753) και  
αντικατάσταση της πλαστικής συσκευασίας

Edible chitosan films and nanocoating for shelf life extension in *Cucumis sativus* (Linnaeus, 1753) and replacement of plastic packaging



ΣΤΑΘΟΚΩΣΤΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ/STATHOKOSTA PENELOPE

ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ/TRIANTAPHYLLIDOU MARIA

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2024

Έγινε δεκτή

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο **Έδώδιμες επιστρώσεις χιτοζάνης και νανοεπικάλυψη για παράταση διατηρησιμότητας στο *Cucumis sativus* (Linnaeus, 1753) και αντικατάσταση της πλαστικής συσκευασίας** που παρουσιάσθηκε από τις Σταθοκώστα Πηνελόπη και Τριανταφυλλίδου Μαρία και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

Ημερομηνία 01/03/2024

Όνομα επιβλέποντος

Ημερομηνία 01/03/2024

Όνομα μέλους επιτροπής

Ημερομηνία 01/03/2024

Όνομα μέλους επιτροπής

## Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright

Έχοντας πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικής ιδιοκτησίας, δηλώνω ότι είμαι αποκλειστική συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Δηλώνω, επίσης, ότι αναλαμβάνω όλες τις συνέπειες, όπως αυτές νομίμως ορίζονται, στην περίπτωση που διαπιστωθεί διαχρονικά ότι η εργασία μου αυτή ή τμήμα αυτής αποτελεί προϊόν λογοκλοπής.

ΣΤΑΘΟΚΩΣΤΑ ΠΗΝΕΛΟΠΗ



ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ



## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε πολύ την Επιβλέπουσα Καθηγήτριά μας και Ακαδημαϊκή Υπεύθυνη του Τμήματος μας για το πρόγραμμα της διεθνούς κινητικότητας Erasmus+ κα Κανέλλου Αναστασία, που μας βοήθησε στην μετακίνησή μας για πρακτική άσκηση στην Στοκχόλμη, όπου και διεξήχθησαν τα πειράματα της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας. Την ευχαριστούμε ακόμη πολύ, που δέχτηκε να μας επιβλέψει για τη συγγραφή της Πτυχιακής μας Εργασίας και για την πολύτιμη υποστήριξή της.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Καθηγητή Joydeep Dutta που μας έδωσε την ευκαιρία και τη δυνατότητα να δουλέψουμε στο Εργαστήριο του Functional & NanoMaterials Group (FNM) στο KTH Royal Institute of Technology και τους Δρ. Fei Ye και κο Michael Neuman για την επίβλεψη, καθοδήγηση και τη βοήθειά τους στη διεξαγωγή των πειραμάτων. Επίσης για όλη τη στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της διαμονής μας στη Σουηδία.

Τέλος, τον κο Ευστράτιο Ρούσσο για την πολύτιμη βοήθειά του όσον αφορά τη στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των αποτελεσμάτων.

## Αφιερώσεις

*Η πτυχιακή αυτή είναι αφιερωμένη στους γονείς μου, Ελένη και Κωνσταντίνο που πίστεψαν σε εμένα από την πρώτη στιγμή και είναι οι μεγαλύτεροί μου υποστηρικτές.*

*Σταθοκόστα Πηνελόπη*

*Θα ήθελα να αφιερώσω αυτήν την πτυχιακή σε όλους όσους μου στάθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού.*

*Τριανταφυλλίδου Μαρία*

## Περίληψη

Οι εδώδιμες επικαλύψεις είναι μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που κερδίζει συνεχώς έδαφος τα τελευταία χρόνια με 2,21 δισεκατομμύρια δολάρια μερίδιο αγοράς το 2023, καθώς πολλές εταιρίες αναζητούν λύσεις αντικατάστασης της πλαστικής συσκευασίας ως μια στροφή στην αειφορία. Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η δοκιμή εφαρμογής εδώδιμων επιστρώσεων χιτοζάνης σε καρπούς αγγουριών και η εξέταση των ακόλουθων ποιοτικών παραμέτρων: εμφάνιση, απώλεια βάρους, συνεκτικότητα, pH, οξύτητα, ολικά διαλυτά στερεά, φαινολικό περιεχόμενο και αντιοξειδωτική ικανότητα. Οι δοκιμές αυτές αποσκοπούσαν στην αντικατάσταση της πλαστικής συσκευασίας στην προστασία και αύξηση της διατηρησιμότητας των καρπών αγγουριού.

Επιπλέον, το αγγούρι (*Cucumis sativus*, Linnaeus, 1753) αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή και συχνά καταναλισκόμενα φρούτα σε όλο τον κόσμο. Ωστόσο, η περιορισμένη διάρκεια ζωής του είναι ένα πρόβλημα που οδηγεί στην ανάγκη χρήσης πλαστικής συσκευασίας παγκοσμίως τόσο στη διακίνησή του όσο και στην λιανική πώληση, η οποία επιφέρει προβλήματα ρυπαίνοντας το περιβάλλον με την απόρριψη της συσκευασίας. Επομένως, είναι αδιαμφισβήτητης σημασίας να βρεθούν νέοι τρόποι συντήρησης των αγγουριών και κατ' επέκταση των φρούτων και των λαχανικών. Ένας από αυτούς, είναι και η αντικατάσταση της πλαστικής συσκευασίας από εδώδιμες επιστρώσεις, όπως εξετάστηκε στην παρούσα μελέτη.

Στο πρώτο πείραμα που διεξήχθη δοκιμάστηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ ) καρποί αγγουριού με 3 επικαλυμμένες ομάδες με βάση τη χιτοζάνη: kito-α, kito-β, kito-γ, σε σύγκριση με 2 μάρτυρες: έναν στον οποίο οι καρποί αγγουριού ήταν τυλιγμένοι με πλαστική μεμβράνη από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) και έναν χωρίς πλαστική επικάλυψη. Η ομάδα του μάρτυρα με πλαστική μεμβράνη LDPE εξετάστηκε μόνο ως προς την απώλεια βάρους και βρέθηκε ως η βέλτιστη συσκευασία για τη συγκράτηση της υγρασίας στους καρπούς αγγουριών. Η ομάδα του μάρτυρα χωρίς πλαστική επικάλυψη εμφάνισε τα καλύτερα αποτελέσματα, όσον αφορά τον ρυθμό απώλειας βάρους (υγρασίας) σε σχέση με τις επικαλυμμένες ομάδες, ενώ η ομάδα kito-β είχε τα αμέσως καλύτερα αποτελέσματα. Η ομάδα kito-γ είχε την καλύτερη απόδοση ως προς τη συνεκτικότητα και κατόρθωσε να καθυστερήσει την μεταβολή της οξύτητας, ενώ η ομάδα του μάρτυρα χωρίς πλαστική

επικάλυψη ήταν εκείνη που διατήρησε τη μείωση του pH σε μικρότερα επίπεδα. Όσον αφορά τα ολικά διαλυτά στερεά, αυτά παρέμειναν σταθερά σε όλες τις ομάδες, το συνολικό φαινολικό περιεχόμενο μειώθηκε και τέλος, τα αντιοξειδωτικά παρουσίασαν αύξηση και στη συνέχεια μείωση.

Στο δεύτερο πείραμα δοκιμάστηκαν 5 επικαλυμμένες ομάδες με βάση τη χιτοζάνη: kito1,2,3,4,5 σε σύγκριση με μία ομάδα μάρτυρα, στους  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  και σχετική υγρασία 50%. Επιπλέον, μία ομάδα με την επικάλυψη kito2 και ένας δεύτερος μάρτυρας τοποθετήθηκαν στους  $8 \pm 1^\circ\text{C}$  για την παρατήρηση της επίδρασης της θερμοκρασίας στην εξέλιξη της επικάλυψης. Μετά την περάτωση των πειραμάτων και ανάλυση των αποτελεσμάτων, αποδείχθηκε ότι οι πρότυπες εδώδιμες επικαλύψεις kito1,2,3,4,5 χρειάζονται βελτιστοποίηση στον σχεδιασμό τους, καθώς υστερούσαν συγκριτικά με το μάρτυρα σε ό,τι αφορά την απώλεια βάρους. Για τις ομάδες kito2,3,4 στους  $22^\circ\text{C}$ , το πείραμα τερματίστηκε πρόωρα λόγω μεγάλης μείωσης της υγρασίας στους καρπούς εξαιτίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης που προξένησαν οι επικαλυμμένες αυτές ομάδες. Η ομάδα του μάρτυρα βρέθηκε η καλύτερη ως προς όλες τις παραμέτρους εκτός από την αντιοξειδωτική ικανότητα. Οι επικαλυμμένες ομάδες kito1 και kito5 διατήρησαν σταθερές τις παραμέτρους της συνεκτικότητας, του pH και των αντιοξειδωτικών καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, με το kito1 να υπερσχύει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το kito5, καθώς είχε την μικρότερη % απώλεια βάρους. Τέλος, βρέθηκε ότι η μείωση της θερμοκρασίας είχε θετική επίδραση στην ομάδα με επικάλυψη kito2.

Συμπερασματικά, είναι ανάγκη για περαιτέρω μελέτη και βελτίωση της σύστασης και της συγκέντρωσης των εδώδιμων επιστρώσεων για να λειτουργήσουν και να δώσουν το αναμενόμενο αποτέλεσμα της επέκτασης της διατηρησιμότητας των καρπών αγγουριών.

**Λέξεις – κλειδιά:** χιτοζάνη, αγγούρι, εδώδιμη επιστρώση, αντικατάσταση πλαστικής συσκευασίας

## **Abstract**

Edible coatings are a promising technology that has steadily gained ground in recent years with a US\$2.21 billion market share in 2023 as many companies look for solutions to replace plastic packaging as a shift to sustainability. The purpose of this thesis was to test edible chitosan coatings on cucumber fruits and examine the following quality parameters: appearance, weight loss, firmness, pH, acidity, total soluble solids, total phenolic content and antioxidant activity. These tests aimed to replace plastic packaging and protect and increase the shelf life of cucumber fruits.

In addition, cucumber (*Cucumis sativus*, Linnaeus, 1753) is one of the most popular and frequently consumed fruits around the world. However, its limited shelf-life is an issue that leads to the need to use plastic packaging worldwide both in its transportation logistics and in retail sales, which causes problems by polluting the environment with the packaging's disposal. Therefore, it is of indisputable importance to find new ways of preserving cucumbers and by extension fruits and vegetables. One of them is the replacement of plastic packaging by edible coatings, as examined in the present study.

In the first experiment conducted, cucumber fruits were tested at ambient temperature ( $22\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) with 3 chitosan-based coating groups: kito- $\alpha$ , kito- $\beta$ , kito- $\gamma$ , compared to 2 controls: one in which the cucumber fruits were wrapped with low density polyethylene (LDPE) plastic film and one without plastic coating. The control group with LDPE plastic film was tested only for weight loss and was found to be the optimal packaging for moisture retention in cucumber fruits. The control group without plastic coating showed the best results in terms of weight (moisture) loss rate compared to the coated groups, while the kito- $\beta$  group had the next best results. The kito- $\gamma$  group performed best in terms of firmness and managed to delay the change in acidity, while the control group without plastic coating was the one that maintained the pH decrease at lower levels. Regarding total soluble solids, these remained stable in all groups, total phenolic content decreased and finally, antioxidants showed an increase and then a decrease.



In the second experiment, 5 chitosan-based coating groups were tested: kito1,2,3,4,5 compared to a control group, at  $22 \pm 1^\circ\text{C}$  and 50% relative humidity. In addition, one group coated with kito2 and a second control were placed at  $8 \pm 1^\circ\text{C}$  to observe the effect of temperature on coating evolution. After the experiments were completed and the results were analyzed, it was shown that the standard edible coatings kito1,2,3,4,5 needed optimization in their design, as they lagged behind the control in terms of weight loss. For kito2,3,4 groups at  $22^\circ\text{C}$ , the experiment was terminated prematurely due to a large decrease in fruit moisture as a result of osmotic dehydration caused by these coating groups. The control group was found to be the best in all parameters except antioxidant capacity. Kito1 and kito5 coating groups maintained constant parameters of firmness, pH and antioxidants throughout the experiment, with kito1 being statistically significantly superior to kito5 as it had the lowest % weight loss. Finally, lowering the temperature was found to have a positive effect on the kito2 coating group.

In conclusion, there is a need for further study and improvement of the composition and concentration of edible coatings to work and give the expected effect of extending the shelf life of cucumber fruits.

**Keywords:** chitosan, cucumber, edible coating, replacement of plastic packaging

## Περιεχόμενα

Δήλωση περί λογοκλοπής.....	iii
Ευχαριστίες .....	iv
Αφιερώσεις .....	v
Περίληψη .....	vi
Abstract .....	viii

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Καρπός <i>Cucumis Sativus</i> .....	9
1.1 Γενικά.....	9
1.2 Κλιμακτηριακοί και μη κλιμακτηριακοί καρποί.....	9
1.2.1 Κλιμακτηριακή ωρίμανση.....	9
1.2.2 Κατάταξη καρπών.....	10
1.2.3 Γονίδια υπεύθυνα για την παραγωγή αιθυλενίου .....	11
1.3 Χημική σύσταση αγγουριών .....	11
1.3.1 Πρωτογενείς μεταβολίτες .....	11
1.3.2 Μέταλλα .....	12
1.3.3 Βιταμίνες .....	12
1.3.4 Φαινολικές ενώσεις.....	13
1.3.5 Κουκουρβιτακίνες.....	14
1.3.6 Χλωροφύλλη.....	16
1.3.7 Αντιοξειδωτικά .....	17
1.4 Μέθοδοι εκτίμησης φρεσκότητας και διάρκειας ζωής .....	17
1.4.1 Αισθητηριακή ανάλυση .....	17
1.4.2 Αναλυτικές μέθοδοι .....	20
1.5 Βιολογική αξία αγγουριού .....	23
Κεφάλαιο 2. Πλαστικό.....	24
2.1 Γενικά.....	24
2.2 Γιατί χρησιμοποιείται πλαστικό για τη συσκευασία των αγγουριών.....	25
2.3 Επίδραση του πλαστικού .....	26
2.3.1 Ρύπανση του περιβάλλοντος.....	26
2.3.2 Επίδραση στην υγεία των καταναλωτών .....	28

2.3.3 Τρόποι αποφυγής χρήσης πλαστικής συσκευασίας .....	28
Κεφάλαιο 3. Εδώδιμες μεμβράνες.....	30
3.1 Εισαγωγή .....	30
3.2 Ορισμοί.....	31
3.3 Σύνθεση εδώδιμων επιστρώσεων.....	32
3.4 Σχεδιασμός εδώδιμων επιστρώσεων.....	32
3.5 Υλικά που σχηματίζουν εδώδιμες επιστρώσεις.....	33
3.5.1 Πρωτεΐνες.....	33
3.5.2 Πολυσακχαρίτες .....	34
3.5.3 Λιπίδια.....	35
3.6 Πλαστικοποιητές – πρόσθετα .....	36
3.6.1 Πλαστικοποιητές .....	36
3.6.2 Πρόσθετα .....	36
3.7 Βρώσιμος και βιοαποδομήσιμος χαρακτήρας εδώδιμων επιστρώσεων .....	39
3.8 Εδώδιμες επιστρώσεις στα φρούτα και τα λαχανικά .....	40
3.8.1 Τεχνική ανάπτυξης βρώσιμων μεμβρανών και επιστρώσεων επιστρώσεων στα φρούτα και λαχανικά .....	40
3.8.2 Καθυστέρηση της πορείας της ωρίμανσης των φρούτων και λαχανικών .....	40
3.9 Ζητήματα που σχετίζονται με τον καταναλωτή .....	41
3.10 Νομικά ζητήματα.....	42
3.11 Εμπορικές εφαρμογές εδώδιμων φιλμ και επιστρώσεων.....	44
3.12 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των εδώδιμων επιστρώσεων .....	46
Κεφάλαιο 4. Χιτοζάνη: Το διαλυτό παράγωγο της χιτίνης .....	47
4.1 Χιτοζάνη: Δομή και προέλευση.....	47
4.2 Ιδιότητες .....	48
4.2.1 Βαθμός αποπροτονίωσης DD και Διαλυτότητα .....	48
4.2.2 Μοριακό βάρος .....	48
4.2.3 Αντιμικροβιακές Ιδιότητες.....	49
4.2.4 Αντιοξειδωτικές Ιδιότητες .....	50
4.2.5 Βιολογικές ιδιότητες βιοσυμβατότητας .....	50
4.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στη δημιουργία φιλμ .....	50
4.3 Εφαρμογές.....	51
Μέρος Β – Πειραματικό Μέρος.....	52
Κεφάλαιο 1. Σκοπός της εργασίας .....	52

Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή πειραματικού μέρους.....	53
2.1 Περιοχή διεξαγωγής πειράματος.....	53
2.2 Πείραμα Α.....	53
2.2.1 Σκοπός .....	53
2.2.2 Παραλαβή και χειρισμός πρώτων υλών.....	53
2.2.3 Εφαρμογή επικάλυψης εδώδιμης μεμβράνης και πειραματικός σχεδιασμός .....	53
2.3 Πείραμα Β.....	55
2.3.1 Σκοπός .....	55
2.3.2 Βελτιστοποίηση πειραματικών συνθηκών.....	55
2.3.3 Παραλαβή και χειρισμός πρώτων υλών.....	56
2.3.4 Εφαρμογή επικάλυψης εδώδιμης μεμβράνης και πειραματικός σχεδιασμός .....	56
Κεφάλαιο 3: Πειραματικές πορείες μεθόδων εκτίμησης φρεσκότητας.....	58
3.1 Εμφάνιση.....	58
3.1.1 Εξοπλισμός .....	58
3.1.2 Μεθοδολογία .....	58
3.2 Μέτρηση απώλειας βάρους.....	58
3.2.1 Δείγματα και εξοπλισμός .....	58
3.2.2 Μεθοδολογία ανάλυσης .....	58
3.3 Προσδιορισμός συνεκτικότητας.....	58
3.3.1 Εξοπλισμός .....	58
3.3.2 Πειραματική πορεία.....	59
3.4 Παραλαβή δείγματος και παραγωγή εκχυλίσματος.....	59
3.4.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	59
3.4.2 Πειραματική πορεία.....	60
3.5 Ολικά διαλυτά στερεά.....	60
3.5.1 Αρχή μεθόδου .....	60
3.5.2 Πειραματική πορεία.....	61
3.6 Μέτρηση pH .....	61
3.6.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	61
3.6.2 Πειραματική πορεία.....	61
3.7 Ογκομετρούμενη οξύτητα.....	61
3.7.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	61
3.7.2 Πειραματική πορεία.....	62
3.8 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας με χρήση της ελεύθερης ρίζας DPPH....	62

3.8.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	63
3.8.2 Πειραματική πορεία.....	64
3.9 Προσδιορισμός ολικών φαινολικών με την μέθοδο Folin–Ciocâlteu .....	66
3.9.1 Αρχή μεθόδου .....	66
3.9.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	66
3.9.3 Πειραματική πορεία.....	67
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και συζήτηση .....	69
4.1 Πείραμα Α.....	69
4.1.1 Φωτογραφική αναπαράσταση των καρπών αγγουριών .....	69
4.1.2 Απώλεια βάρους .....	72
4.1.3 Συνεκτικότητα.....	74
4.1.4 Οξύτητα .....	76
4.1.5 pH χυμού .....	77
4.1.6 Ολικά διαλυτά στερεά.....	79
4.1.7 Ολικό φαινολικό περιεχόμενο - TPC .....	80
4.1.8 Αντιοξειδωτική ικανότητα.....	81
4.2 Πείραμα Β.....	82
4.2.1 Στατιστική ανάλυση.....	82
4.2.2 Φωτογραφική απεικόνιση.....	84
4.2.3 Απώλεια βάρους .....	89
4.2.4 Συνεκτικότητα.....	92
4.2.5 pH χυμού .....	94
4.2.6 Αντιοξειδωτική ικανότητα.....	96
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα .....	99
Βιβλιογραφικές αναφορές .....	101
Παράρτημα.....	108

## Κατάλογος εικόνων

<b>Εικόνα 1.</b> Ο ρυθμός αναπνοής, ανάπτυξης και παραγωγής αιθυλενίου για τους κλιμακτηριακούς και μη καρπούς (Paul et al., 2012) .....	10
<b>Εικόνα 2</b> Χημικός συνακτικός τύπος κουερσετίνης <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quercetin.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quercetin.svg</a> .....	13
<b>Εικόνα 3</b> Χημικός συντακτικός τύπος καμπφερόλης <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kaempferol.svg">https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kaempferol.svg</a> .....	14
<b>Εικόνα 4</b> Χημικός συντακτικός τύπος γαλλικού οξέος <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gallic_acid.svg">https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gallic_acid.svg</a> .....	14
<b>Εικόνα 5</b> Χημικός συντακτικός τύπος των κουκουρβιτακινών A,B,C,D (Mukherjee et al., 2013).....	15
<b>Εικόνα 6</b> Χημικός συντακτικός τύπος των κουκουρβιτακινών E,I (Mukherjee et al., 2013) ..	15
<b>Εικόνα 7</b> Χλωροφύλλη b <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_b.svg">https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_b.svg</a> .....	16
<b>Εικόνα 8</b> Χλωροφύλλη a <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_a.svg">https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_a.svg</a> .....	16
<b>Εικόνα 9</b> Κλίμακα μεταβολής χρώματος αγγουριού κατά την ωρίμανση <a href="https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/cucumber">https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/cucumber</a> .....	19
<b>Εικόνα 10</b> Συντακτικός τύπος της πηκτίνης, πολυμερές του D-γαλακτουρονικού οξέος (Kitir Şen & Yildirim, 2018) .....	20
<b>Εικόνα 11</b> Χρήση LDPE για την συσκευασία των αγγουριών στη Σουηδία .....	26
<b>Εικόνα 12</b> Ρυθμός αποσύνθεσης των πλαστικών ανά έτος (Chamas et al., 2020) .....	27
<b>Εικόνα 13</b> Συνήθης δομή πολυτεπτιδίων (Shit et al., 2014) .....	34
<b>Εικόνα 14</b> Συνήθης δομή υδροκολλοειδών (Shit et al., 2014).....	35
<b>Εικόνα 15</b> Συνήθης δομή λιπιδίων (Shit et al., 2014) .....	35
<b>Εικόνα 16</b> Λειτουργικές ιδιότητες εδώδιμων επιστρώσεων σε προϊόντα τροφίμων (Προσαρμοσμένο από Cerqueira, 2010) .....	39
<b>Εικόνα 17</b> Οι εφαρμογές της γομολάκας «shellac» στη βιομηχανία τροφίμων (Yuan et al., 2021).....	44
<b>Εικόνα 18</b> Βρώσιμη επίστρωση συμπυκνωμένης πρωτεΐνης ορού γάλακτος προστατεύει την επιφάνεια των ξηρών καρπών από φυσική φθορά και οξείδωση (Han et al., 2005) .....	45
<b>Εικόνα 19</b> Χημική δομή της χιτίνης (α) και της χιτοζάνης (β) (Kumar et al., 2020) .....	47
<b>Εικόνα 20</b> Σημεία εισαγωγής πενετομέτρου για την μέτρηση της συνεκτικότητας του αγγουριού (Προσωπικό αρχείο).....	59
<b>Εικόνα 21</b> Αυτοσχέδια δομή για την εισαγωγή του πενετομέτρου ομοιόμορφα (Προσωπικό αρχείο).....	59
<b>Εικόνα 22</b> Εκχύλισμα χυμού αγγουριού (Προσωπικό αρχείο) .....	60
<b>Εικόνα 23</b> Χυμός αγγουριού στον φυγοκεντρικό σωλήνα πριν τη φυγοκέντριση (Προσωπικό αρχείο).....	60
<b>Εικόνα 24</b> Διαθλασίμετρο χειρός.....	61
<b>Εικόνα 25</b> Αντίδραση της ελεύθερης ρίζας DPPH με αντιοξειδωτική ουσία και η αντίστοιχη αλλαγή χρώματος.....	63
<b>Εικόνα 26</b> Συνολική αντίδραση αναγωγής του αντιδραστήριου Folin- Ciocâlțeu και μεταβολή του χρώματος (Pérez et al., 2023).....	66
<b>Εικόνα 27</b> Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας μάρτυρα χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας.....	69

<b>Εικόνα 28</b> Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-α χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας .....	70
<b>Εικόνα 29</b> Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-β χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας .....	71
<b>Εικόνα 30</b> Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-γ χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας .....	72
<b>Εικόνα 31</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας μάρτυρα ανά ημέρα δειγματοληψίας ...	84
<b>Εικόνα 32</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-1 ανά ημέρα δειγματοληψίας.....	84
<b>Εικόνα 33</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-3 ανά ημέρα δειγματοληψίας.....	85
<b>Εικόνα 34</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-2 ανά ημέρα δειγματοληψίας.....	85
<b>Εικόνα 35</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-5 ανά ημέρα δειγματοληψίας.....	86
<b>Εικόνα 36</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-4 ανά ημέρα δειγματοληψίας.....	86
<b>Εικόνα 38</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-2 στους 8°C ανά ημέρα δειγματοληψίας .....	87
<b>Εικόνα 37</b> Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας μάρτυρα στους 8°C ανά ημέρα δειγματοληψίας .....	87

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 1.</b> Πρότυπη καμπύλη αναφοράς για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας. 65	
<b>Σχήμα 2.</b> Πρότυπη καμπύλη αναφοράς για την εκτίμηση των ολικών φαινολικών .....	68
<b>Σχήμα 3.</b> Ρυθμός απώλειας βάρους ( επικαλυμμένη ομάδα kito-α: $y = 1,7399x + 0,471$ , επικαλυμμένη ομάδα kito-β: $y = 1,6372x + 0,5089$ , επικαλυμμένη ομάδα kito-γ: $y = 1,6614x + 1,0544$ , x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό: $y = 1,1976x + 1,557$ ) .....	72
<b>Σχήμα 4.</b> Μεταβολή συνεκτικότητας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των αγγουριών(♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό) .....	74
<b>Σχήμα 5.</b> Μεταβολή οξύτητας με την πάροδο της περιόδου αποθήκευσης .....	76
<b>Σχήμα 6.</b> Μεταβολή pH του χυμού ( επικαλυμμένη ομάδα kito-α, επικαλυμμένη ομάδα kito-β, επικαλυμμένη ομάδα kito-γ , x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό) .....	77
<b>Σχήμα 7.</b> Μεταβολή ολικών διαλυτών στερεών ( επικαλυμμένη ομάδα kito-α, επικαλυμμένη ομάδα kito-β, επικαλυμμένη ομάδα kito-γ , x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό).....	79
<b>Σχήμα 8.</b> Μεταβολή ολικού φαινολικού περιεχομένου κατά τη διάρκεια των ημερών συντήρησης ( επικαλυμμένη ομάδα kito-α, επικαλυμμένη ομάδα kito-β, επικαλυμμένη ομάδα kito-γ , x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό) .....	80
<b>Σχήμα 9.</b> Μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια των ημερών συντήρησης ( επικαλυμμένη ομάδα kito-α, επικαλυμμένη ομάδα kito-β, επικαλυμμένη ομάδα kito-γ , x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό) .....	81
<b>Σχήμα 10.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της % απώλειας βάρους των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα). .....	89

<b>Σχήμα 11.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της % απώλειας βάρους της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).	91
<b>Σχήμα 12.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της συνεκτικότητας των ομάδων kito-1 και kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα). .....	92
<b>Σχήμα 13.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της συνεκτικότητας της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (ενιαίο γράφημα).....	93
<b>Σχήμα 14.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση του pH των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).	94
<b>Σχήμα 15.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση του pH της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).....	95
<b>Σχήμα 16.</b> Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της επί % ικανότητας δέσμευσης της ρίζας DPPH (% RSA) των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα). .....	97



## **Κατάλογος Πινάκων**

<b>Πίνακας 1.</b> Διατροφικό προφίλ αγγουριού .....	12
<b>Πίνακας 2.</b> Οι πιο συχνόί λόγοι ποιοτικής υποβάθμισης των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών (Ma et al., 2017) .....	18
<b>Πίνακας 3.</b> Υλικά που χρησιμοποιούνται για βρώσιμες μεμβράνες και επιστρώσεις (Προσαρμοσμένο από Han et al., 2005) .....	38
<b>Πίνακας 4.</b> Πειραματικός σχεδιασμός Α πειράματος.....	54
<b>Πίνακας 5.</b> Πειραματικός σχεδιασμός Β πειράματος.....	57
<b>Πίνακας 6.</b> Εξισώσεις ευθειών ρυθμού απώλειας βάρους .....	73
<b>Πίνακας 7.</b> Εξισώσεις ευθειών ρυθμού μεταβολής οξύτητας.....	76
<b>Πίνακας 8.</b> Εξισώσεις ευθειών ρυθμού μεταβολής του pH .....	78
<b>Πίνακας 9.</b> Σύνοψη αποτελεσμάτων Β πειράματος: μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις για % Απώλεια βάρους, Συνεκτικότητα, pH και Αντιοξειδωτική ιδιότητα ομάδων επεξεργασίας ανά ημέρα .....	82

## **Κεφάλαιο 1. Καρπός *Cucumis Sativus***

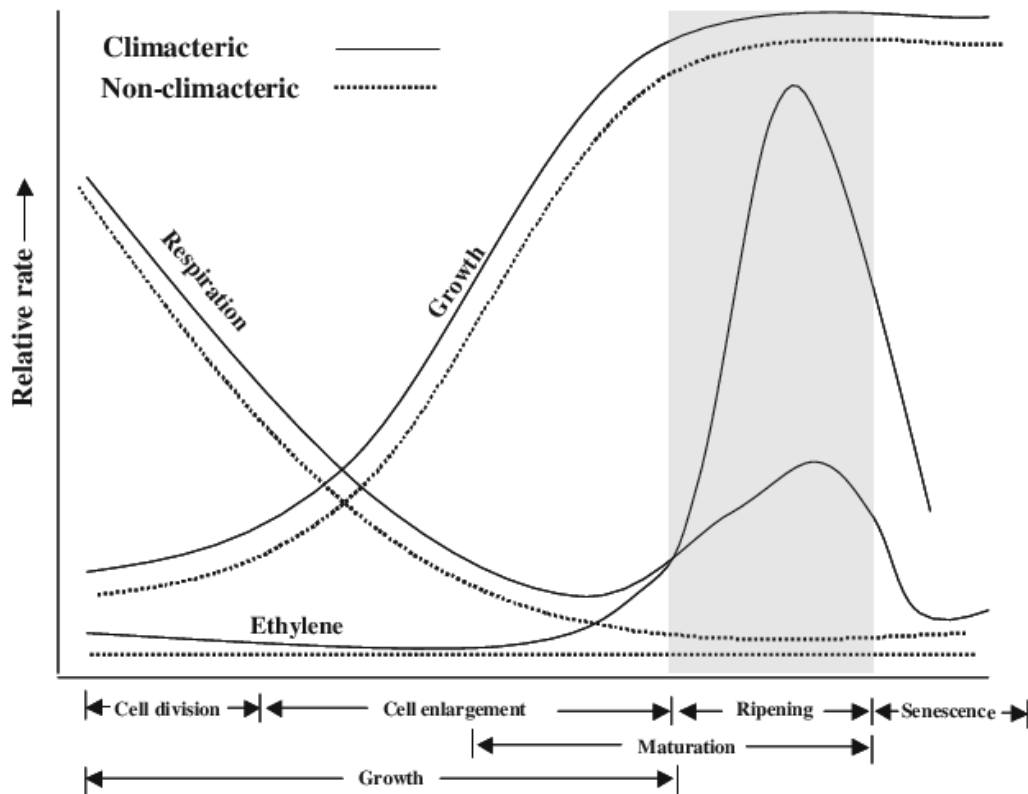
### **1.1 Γενικά**

Το αγγούρι είναι ένα ποώδες έρπον φυτό, το οποίο φέρει κυλινδρικούς καρπούς και είναι μονοετές, δηλαδή έχει τη δυνατότητα να αναπτύσσεται συνεχώς. Το είδος του είναι γνωστό ως *Cucumis sativus* (Linnaeus, 1753) της οικογένειας Cucurbitaceae (Κολοκυνθοειδή). Αναπτύσσεται σε εύκρατες και τροπικές περιοχές, γι' αυτό και είναι τόσο δημοφιλές σε πολλά μέρη του κόσμου (Abbey et al., 2017). Από βοτανολογική άποψη, το αγγούρι θεωρείται φρούτο, καθώς είναι το μέρος του φυτού που φέρει σπόρους (Άννα Αναγνωστοπούλου & Αικατερίνη Ταλέλλη, 2008). Οι καρποί του φυτού έχουν πράσινο χρώμα, αλλά όταν ωριμάζουν το χρώμα τους μεταβάλλεται σε κίτρινο.

### **1.2 Κλιμακτηριακοί και μη κλιμακτηριακοί καρποί**

#### **1.2.1 Κλιμακτηριακή ωρίμανση**

Η κλιμακτηριακή ωρίμανση, χαρακτηρίζεται από απότομη αύξηση του ρυθμού αναπνοής λίγο μετά το τέλος της αύξησης του καρπού, στο προκλιμακτηριακό ελάχιστο, η οποία συνοδεύεται από την παραγωγή αιθυλενίου (Κου & Wu, 2018). Το αιθυλένιο, που χαρακτηρίζεται και σαν «ορμόνη ωρίμανσης», είναι ένας απλός υδρογονάνθρακας που παράγεται φυσικά από τον μεταβολισμό των φυτών, ρυθμίζει διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες και η βιοσύνθεσή του είναι αυτοκαταλυόμενη. Στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης του καρπού, το αιθυλένιο παράγεται σε πολύ μικρές ποσότητες, ενώ φτάνοντας στα τελικά στάδια, η συγκέντρωσή του αυξάνεται με αποτέλεσμα να αυξάνει και τον ρυθμό αναπνοής. Έτσι, αποτελεί συνάμα φυσικό προϊόν των φυτικών ιστών, αλλά και μία ουσία που επιφέρει άμεσα την διαδικασία της ωρίμανσης. Μόλις η αναπνοή φτάσει σε ένα μέγιστο σημείο, το κλιμακτηριακό μέγιστο, ο ρυθμός της μειώνεται μέχρι το σημείο που ο καρπός βρίσκεται σε κατάσταση πλήρους ωρίμανσης και γήρανσης (Άννα Αναγνωστοπούλου & Αικατερίνη Ταλέλλη, 2008).



**Εικόνα 1.** Ο ρυθμός αναπνοής, ανάπτυξης και παραγωγής αιθυλενίου για τους κλιμακτηριακούς και μη καρπούς (Paul et al., 2012)

### 1.2.2 Κατάταξη καρπών

Οι καρποί, ανάλογα με την ικανότητά τους να παράγουν αυξημένη ποσότητα αιθυλενίου, με αποτέλεσμα να διεγείρεται η ωρίμανση, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τους κλιμακτηριακούς και μη κλιμακτηριακούς. Οι κλιμακτηριακοί, εμφανίζουν κατά την ανάπτυξή τους έξαρση παραγωγής της ορμόνης του αιθυλενίου στο προκλιμακτηριακό ελάχιστο και έτσι αρχίζει το στάδιο της ωρίμανσης κατά το οποίο, παρατηρούνται αλλαγές στο χρώμα, την υφή, το άρωμα και τη γεύση. Η παραγωγή της ορμόνης μπορεί να συνεχίσει ακόμα και μετά την συγκομιδή τους. Γι' αυτό το λόγο, μπορούν να ωριμάσουν ακόμα και αφού συλλεχθούν από το φυτό και έτσι οι κλιμακτηριακοί τύποι καρπών. Έτσι, συλλέγονται λίγο πριν το προκλιμακτηριακό ελάχιστο, ώστε να μεσολαβεί μεγάλο χρονικό διάστημα πριν τα τελικά στάδια ωρίμανσης και γήρανσης και να υπάρχει η δυνατότητα διάθεσής τους στην αγορά φρέσκοι (Άννα Αναγνωστοπούλου & Αικατερίνη Ταλέλλη, 2008). Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι ο ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου διαφέρει ανάμεσα σε είδη και ποικιλίες των κλιμακτηριακών φρούτων (Paul et al., 2012). Οι μη κλιμακτηριακοί καρποί αντίθετα, δεν παρουσιάζουν ανάλογη συμπεριφορά ως προς την αναπνοή

τους. Δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν αιθυλένιο σε αυξημένες ποσότητες, επομένως ο ρυθμός αναπνοής τους δεν μπορεί να υποστεί κατάλυση και να επιταχυνθεί. Κατ' επέκταση, δεν μπορούν συνεχίσουν την διαδικασία της ωρίμανσης αφού γίνει η συγκομιδή τους. Το αγγούρι πιο συγκεκριμένα, είναι ένα μη κλιμακτηριακό φρούτο (Kou & Wu, 2018; Paul et al., 2012; Άννα Αναγνωστοπούλου & Αικατερίνη Ταλέλλη, 2008).

### **1.2.3 Γονίδια υπεύθυνα για την παραγωγή αιθυλενίου**

Η διαδικασία παραγωγής του αιθυλενίου ξεκινάει από το αμινοξύ μεθειονίνη, που παράγει S-αδενοσυλμεθειονίνη (SAM), το οποίο μετατρέπεται από την 1-αμινοκυκλο-προπано-1-καρβοξυλικό οξύ συνθετάση (ACS) σε 1-αμινοκυκλο-προπано-1-καρβοξυλικό οξύ (ACC), που με τη σειρά του μετατρέπεται τελικά σε αιθυλένιο μέσω του ενζύμου ACC οξειδάσης (Άννα Αναγνωστοπούλου & Αικατερίνη Ταλέλλη, 2008). Στο πεπόνι, ένας κλιμακτηριακός καρπός, το γονίδιο ACS είναι υπεύθυνο για την παραγωγή του αιθυλενίου. Σύμφωνα με τον Yamane (2007) έχει παρατηρηθεί ότι και το αγγούρι διαθέτει το συγκεκριμένο γονίδιο και μάλιστα είναι περισσότερο από 96% πανομοιότυπο με το αντίστοιχο γονίδιο του πεπονιού. Ωστόσο, το αγγούρι δεν παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά ως προς την παραγωγή αιθυλενίου με το πεπόνι. Το γεγονός αυτό δείχνει, ότι ακόμα και τα μη κλιμακτηριακά φρούτα διαθέτουν γονίδια που είναι υπεύθυνα στη συνέχεια για την παραγωγή της ορμόνης του αιθυλενίου, αλλά δεν υπάρχει η δυνατότητα έκφρασης των συγκεκριμένων γονιδίων.

## **1.3 Χημική σύσταση αγγουριών**

### **1.3.1 Πρωτογενείς μεταβολίτες**

Τα αγγούρια περιέχουν 95% με 96% νερό. Οι διαφορές στην περιεκτικότητα σε υγρασία μπορεί να οφείλονται στην ποικιλία, στην περιοχή που καλλιεργήθηκε το φυτό αλλά και στην χρονική περίοδο κατά την οποία έγινε η συγκομιδή των αγγουριών (BW et al., 2017). Περιέχουν επίσης 0,4% πρωτεΐνη, 0,1% λίπος και 2,8% υδατάνθρακες (Mukherjee et al., 2013), εκ των οποίων οι φυτικές ίνες καταλαμβάνουν ποσοστό 0,7%, τα ολικά σάκχαρα 1,38%, η γλυκόζη 0,63%, η φρουκτόζη 0,75% και ένα μικρό ποσοστό, το άμυλο (BW et al., 2017).

Τα κύρια λιπαρά οξέα που εντοπίζονται στα αγγούρια είναι, το λαυρικό, μυριστικό, παλμιτικό, στεατικό, ελαϊκό, λινολεϊκό, τρικοσανοϊκό, τρικοσενοϊκό, λιγνοκερικό και νευρονικό οξύ (Mukherjee et al., 2013).

Η γλυκόζη και η φρουκτόζη είναι τα δύο κύρια σάκχαρα που καθορίζουν τη γλυκύτητα των αγγουριών και λιγότερο η σουκρόζη. Επιπλέον, τα αγγούρια χαρακτηρίζονται από χαμηλό θερμιδικό περιεχόμενο.

### 1.3.2 Μέταλλα

Το συγκεκριμένο φρούτο επίσης περιέχει σημαντική ποσότητα μετάλλων, όπως ασβέστιο 0,1%, φώσφορο 0,03%, αλλά είναι πλούσιο επίσης σε κάλιο και νάτριο. Ωστόσο, η περιεκτικότητα του αγγουριού σε σίδηρο, μαγγάνιο και χαλκό είναι περιορισμένη καθώς τα συγκεκριμένα στοιχεία αλληλοεπιδρούν με άλλες ουσίες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η βιοδιαθεσιμότητά τους (BW et al., 2017).

### 1.3.3 Βιταμίνες

Τα αγγούρια περιέχουν επίσης σημαντικές βιταμίνες, όπως η βιταμίνη Β (30 IU/100 g) και η βιταμίνη C, ή αλλιώς ασκορβικό οξύ. Η παρουσία βιταμίνης C συμμετέχει στη διαμόρφωση αντιοξειδωτικής ιδιότητας στο αγγούρι (BW et al., 2017; Mukherjee et al., 2013).

**Πίνακας 1.** Διατροφικό προφίλ αγγουριού

Συστατικό	Ποσοστό σε ολόκληρο αγγούρι
Πρωτεΐνες	0,4%
Υδατάνθρακες	2,8%
Λίπη	0,1%
Ασβέστιο	0,01%
Φώσφορος	0,03%
Βιταμίνη C	7 mg/100 g
Βιταμίνη B	30 IU/100 g
Θερμιδική αξία	15 kcal

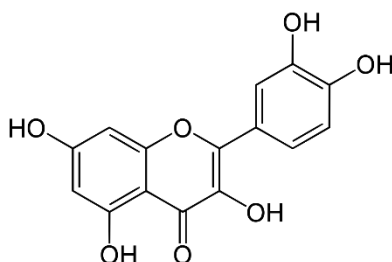
**Πηγή:** (Gulzar Ahmad Nayik, 2020)

### 1.3.4 Φαινολικές ενώσεις

Οι φαινολικές ενώσεις είναι δευτερογενείς μεταβολίτες των φυτών οι οποίες διαθέτουν ένα βενζολικό δακτύλιο με μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες. Οι συγκεκριμένες ουσίες, έχουν αντιοξειδωτική δράση δεσμεύοντας τις ελεύθερες ρίζες οι οποίες αντιδρούν με χημικά μόρια του οργανισμού, δημιουργώντας επιζήμια αποτελέσματα (Morton et al., 2000; Robbins, 2003).

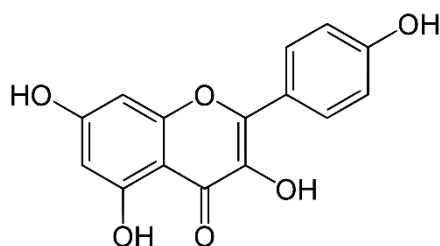
Η κατανομή των φαινολικών ενώσεων στο αγγούρι διαφέρει, όπως συμβαίνει και με όλα τα φρούτα. Η μεγαλύτερη διαφορά έγκειται ανάμεσα στο εσωτερικό και στο εξωτερικό των φυτικών ιστών. Πιο συγκεκριμένα, στο εξωτερικό των αγγουριών, δηλαδή στη φλούδα, υπάρχουν περισσότερες φαινολικές ενώσεις απ' ό,τι στη σάρκα. Βέβαια, υπάρχουν αρκετές και στους σπόρους του φρούτου, οι οποίοι είναι βρώσιμοι (Μηνάς Μπισμπίκης, 2017). Τα αγγούρια, σύμφωνα με τους Verheul, Slimestad, & Johnsen (2013) συγκριτικά με άλλα λαχανικά, έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε φαινολικές ουσίες ( $14,37 \pm 1,48$  mg/100 g δείγματος). Αναλυτικότερα, ο πολτός του αγγουριού έχει την υψηλότερη ποσότητα φαινολικών, σε σχέση με την ποσότητα των φαινολικών στη φλούδα και τον χυμό. Το φαινολικό προφίλ του αγγουριού αποτελείται από διάφορες ουσίες, όπως φλαβονοειδή, γαλλικό και καφεϊκό οξύ (Gulzar Ahmad Nayik, 2020; Insanu et al., 2022):

#### 1. Κουερσετίνη



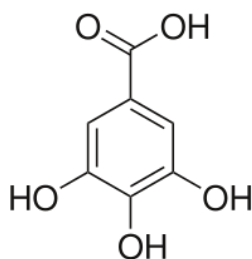
**Εικόνα 2** Χημικός συντακτικός τύπος κουερσετίνης  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Quercetin.svg>

## 2. Καμπφερόλη



**Εικόνα 3** Χημικός συντακτικός τύπος καμπφερόλης  
<https://en.wikipedia.org/wiki/File:Kaempferol.svg>

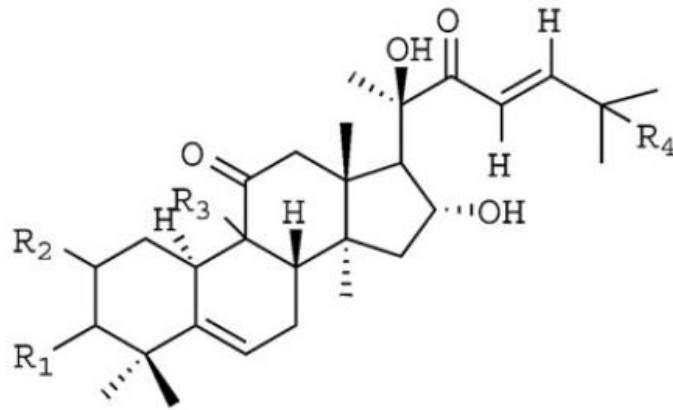
## 3. Γαλλικό οξύ



**Εικόνα 4** Χημικός συντακτικός τύπος γαλλικού οξέος  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gallic\\_acid.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Gallic_acid.svg)

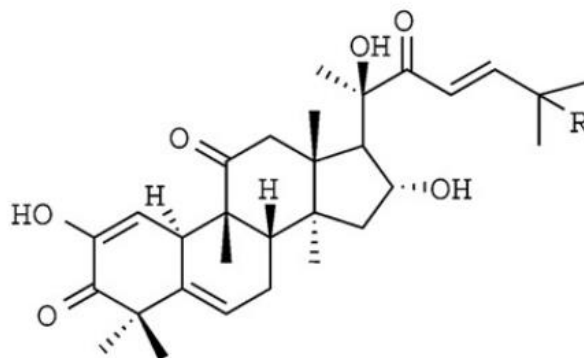
### 1.3.5 Κουκουρβιτακίνες

Το αγγούρι, περιλαμβάνει ουσίες που ονομάζονται κουκουρβιτακίνες. Το όνομά τους προέρχεται από την οικογένεια στην οποία ανήκει το αγγούρι, Cucurbitaceae, καθώς όλα τα μέλη της οικογένειας αυτής περιέχουν αυτές τις ουσίες. Συγκεκριμένα, οι κουκουρβιτακίνες έχουν κοινό έναν τετρακυκλικό πυρήνα και ανάλογα με τους υποκαταστάτες του οι ενώσεις χωρίζονται σε 12 κατηγορίες, ενώ στα αγγούρια έχουν ταυτοποιηθεί οι 6 από αυτές, cucurbitacins A,B,C,D,E,I.



(1)	<b>Cucurbitacin A</b>	$R_1 = =O$	$R_2 = -OH$	$R_3 = -CH_2OH$	$R_4 = -OC OC H_3$
(2)	<b>Cucurbitacin B</b>	$R_1 = =O$	$R_2 = -OH$	$R_3 = -H$	$R_4 = -OC OC H_3$
(3)	<b>Cucurbitacin C</b>	$R_1 = -OH$	$R_2 = -H$	$R_3 = -CH_2OH$	$R_4 = -OC OC H_3$
(4)	<b>Cucurbitacin D</b>	$R_1 = =O$	$R_2 = -OH$	$R_3 = -H$	$R_4 = -OH$

**Εικόνα 5** Χημικός συντακτικός τύπος των κουκουρβιτακινών A,B,C,D (Mukherjee et al., 2013)



(5)	<b>Cucurbitacin E</b>	$R = -OC OC H_3$
(6)	<b>Cucurbitacin I</b>	$R = -OH$

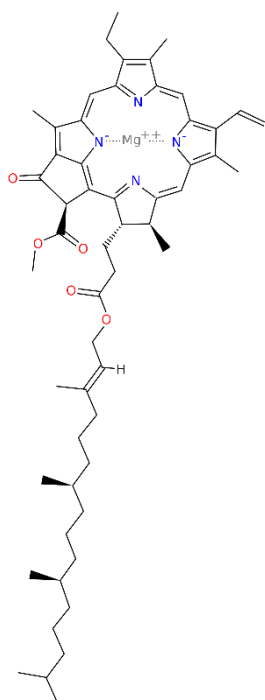
**Εικόνα 6** Χημικός συντακτικός τύπος των κουκουρβιτακινών E,I (Mukherjee et al., 2013)

Οι συγκεκριμένες ενώσεις προσδίδουν στο αγγούρι πικρή γεύση και καθώς αυτό ωριμάζει υδρολύονται σε μη πικρές ουσίες. Ο βαθμός της πικρής γεύσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το περιβάλλον στο οποίο καλλιεργήθηκε το φυτό και η θερμοκρασία. Μάλιστα, έχει βρεθεί από έρευνες ότι η κουκουρβιτακίνη C είναι εκείνη που ευθύνεται περισσότερο για την πικρή γεύση στο αγγούρι (Mukherjee et al., 2013).

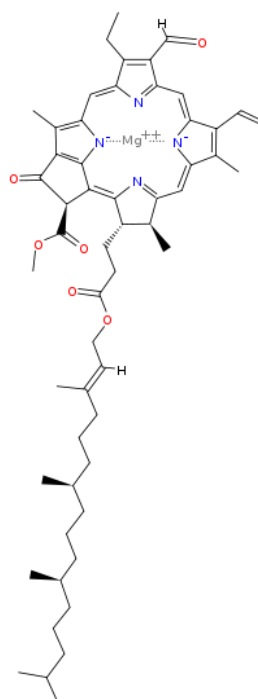


### 1.3.6 Χλωροφύλλη

Το πράσινο χρώμα των αγγουριών οφείλεται σε μόρια που ονομάζονται χρωστικές, ουσίες δηλαδή που απορροφούν την ενέργεια του φωτός, με αποτέλεσμα τα φυτά να παράγουν υδατάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Τα συγκεκριμένα μόρια, είναι παράγωγα της πορφυρίνης και της φυτόλης. Οι χρωστικές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα και παρέχουν στα αγγούρια το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα, είναι η χλωροφύλλη a και η χλωροφύλλη b, οι οποίες βρίσκονται σε αναλογία 3:1. Η χλωροφύλλη a διαφοροποιείται από την b από την ύπαρξη μιας μεθυλομάδας (-CH<sub>3</sub>) στο τρίτο άτομο άνθρακα, στο οποίο η b έχει μία αλδεϋδομάδα (-CHO) (Humphrey, 1980). Επιπροσθέτως, επειδή οι δύο αυτές χρωστικές διαλύονται σε οργανικούς διαλύτες, θεωρούνται λιπίδια.



**Εικόνα 8**  
Χλωροφύλλη a  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll\\_a.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_a.svg)



**Εικόνα 7**  
Χλωροφύλλη b  
[https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll\\_b.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Chlorophyll_b.svg)

### **1.3.7 Αντιοξειδωτικά**

Στα τρόφιμα πραγματοποιούνται συνεχώς αντιδράσεις οξείδωσης, με αποτέλεσμα να αλλοιώνονται και να μειώνεται η διάρκεια ζωής τους. Πιο αναλυτικά, το οξυγόνο παίρνει μέρος σε διάφορες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις δημιουργώντας ελεύθερες ρίζες. Μία ελεύθερη ρίζα είναι ένα άτομο ή μόριο που έχει ένα τουλάχιστον μονήρες ηλεκτρόνιο σε ένα τροχιακό του. Εξαιτίας αυτού του ασύζευκτου ηλεκτρονίου, οι ελεύθερες ρίζες αποζητούν ένα ακόμα ηλεκτρόνιο για να σχηματιστεί ζεύγος ηλεκτρονίων και να οδηγηθούν σε μία πιο σταθερή κατάσταση. Έτσι, συμμετέχουν εύκολα σε αντιδράσεις με άλλα μόρια δημιουργώντας προϊόντα, που οδηγούν σε επιζήμια αποτελέσματα για το τρόφιμο. Γι' αυτό το λόγο, χρειάζονται ενώσεις οι οποίες αντιδρούν οι ίδιες με τις ελεύθερες ρίζες και τις δεσμεύουν, προστατεύοντας τα υπόλοιπα χημικά μόρια που θα μπορούσαν να οξειδωθούν στην θέση τους.

Το αγγούρι διαθέτει τέτοιες αντιοξειδωτικές ουσίες, όπως τα φαινολικά συστατικά, η βιταμίνη C, το β-καροτένιο, ουσίες που ορίζονται και ως φυτοχημικά όπως οι ταννίνες, τα αλκαλοειδή, στεροειδή, φλαβονοειδή, φλοβατανίνες και οι σαπωνίνες. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το αγγούρι περιέχει κουκουρβιτακίνες που παρουσιάζουν και εκείνες αντιοξειδωτική δράση, παρεμποδίζοντας τον καρκίνο και χρησιμοποιούνται σε φαρμακευτικές εφαρμογές (Gulzar Ahmad Nayik, 2020). Επιπροσθέτως, σύμφωνα με τους Sotiroudis και τους συνεργάτες του (2010) δύο πολύ σημαντικές αντιοξειδωτικές ενώσεις που περιέχονται στα αγγούρια, είναι η ουρακίλη και η 24-μεθυλενοκυκλοαρτενόλη. Η ουρακίλη από τη μία, εμφανίζει σημαντικότερη αντιοξειδωτική δράση από το πολύ γνωστό αντιοξειδωτικό μαννιτόλη και η 24-μεθυλενοκυκλοαρτενόλη έχει παρόμοια δράση με το καφεϊκό οξύ. Ωστόσο το αγγούρι σε σχέση με άλλα λαχανικά έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικά (Karakurt et al., 2015; SOTIROUDIS et al., 2010).

## **1.4 Μέθοδοι εκτίμησης φρεσκότητας και διάρκειας ζωής**

### **1.4.1 Αισθητηριακή ανάλυση**

Κατά κύριο λόγο, η ποιότητα των φρούτων και των λαχανικών καθορίζεται από την αισθητηριακή ανάλυση και την διατροφική αξία. Οι καταναλωτές, χρησιμοποιούν περισσότερο τα αισθητηριακά τους κριτήρια. Εστιάζουν δηλαδή, στην εμφάνιση, στο

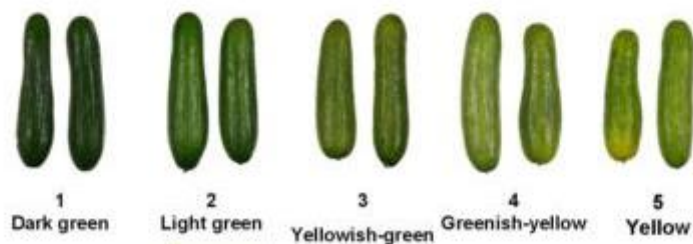
χρώμα, στη μυρωδιά, τη γεύση και την υφή. Αν το φρούτο ή το λαχανικό δεν πληροί κάποια από τα παραπάνω κριτήρια, απορρίπτεται. Στον Πίνακα 2 αναγράφονται οι συχνότεροι λόγοι για τους οποίους οι καταναλωτές απορρίπτουν φρούτα και λαχανικά σε καταστήματα λιανικής και πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται ότι ο πιο συνήθης λόγος αισθητηριακής απόρριψης του αγγουριού, είναι το μαλάκωμα της σάρκας.

**Πίνακας 2.** Οι πιο συχνοί λόγοι ποιοτικής υποβάθμισης των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών (Ma et al., 2017)

<b>Φρεσκοκομμένα προϊόντα</b>	Κύριες αιτίες υποβάθμισης
<b>Μήλο</b>	Καφέτιασμα
<b>Αχλάδι</b>	Καφέτιασμα
<b>Μάνγκο</b>	Καφέτιασμα, σήψη
<b>Καρπούζι</b>	Διαρροή χυμού, μαλάκωμα
<b>Μαρούλι</b>	Καφέτιασμα
<b>Πατάτα</b>	Καφέτιασμα
<b>Καρότο</b>	Καφέτιασμα, απώλεια υγρασίας, σχηματισμός λιγνίνης
<b>Μελιτζάνα</b>	Καφέτιασμα, μαλάκωμα
<b>Μπρόκολο</b>	Αποικοδόμηση χλωροφύλλης
<b>Αγγούρι</b>	Μαλάκωμα
<b>Κρεμμύδι</b>	Μαλάκωμα, καφέτιασμα

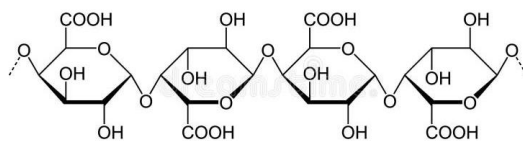
**1. Εμφάνιση:** Η εμφάνιση είναι το βασικότερο κριτήριο για τους καταναλωτές. Πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός αποδοχής των αγγουριών εξαρτάται από το χρώμα τους, το μέγεθος και το σχήμα τους, από την ύπαρξη υγρασίας στο εξωτερικό και από την παρουσία ατελειών στη φλούδα τους ανάλογα με τη φθορά που έχουν υποστεί (Ma et al., 2017). Το χρώμα των αγγουριών επηρεάζεται από το στάδιο της ωρίμανσής τους. Όσο προχωράει η ωρίμανση, λόγω της απόσπασης  $Mg^{+2}$  από τον πορφυρινικό δακτύλιο της χλωροφύλλης, παρουσία όξινου περιβάλλοντος του αγγουριού ( $pH < 5$ ), η χλωροφύλλη μετατρέπεται σε φαιοφυτίνη. Έτσι, το ζωντανό, πράσινο χρώμα του αγγουριού διαδέχεται το ελαιοπράσινο χρώμα της φαιοφυτίνης (Khojah et al., 2021).

### Cucumber Color Rating Scale



**Εικόνα 9** Κλίμακα μεταβολής χρώματος αγγουριού κατά την ωρίμανση <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/cucumber>

**2.Υφή:** Η υφή, είναι ακόμα ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα αλλά και τη φρεσκότητα των αγγουριών και συνδέεται άμεσα με την συνεκτικότητα. Με την διαδοχή της ωρίμανσης, μειώνεται η σκληρότητα των αγγουριών κάτι που αποδίδεται στην υποβάθμιση των πολυσακχαριτών των κυτταρικών τοιχωμάτων και κυρίως των πηκτινών (HUDSON & BUESCHER, 1985). Οι πηκτίνες είναι πολυμερή του D-γαλακτουρονικού οξέος που εξασφαλίζουν την ακαμψία του φυτικού ιστού. Κατά την ωρίμανση η αδιάλυτη πρωτοπηκτίνη υδρολύεται σε πιο διαλυτές μορφές, με αποτέλεσμα ο φυτικός ιστός να χάνει την ακεραιότητά του και το αγγούρι να γίνεται λιγότερο συνεκτικό (Demain & Phaff, 1957). Στην περίπτωση των αγγουριών, ένα από τα ένζυμα που υδρολύει τις πηκτικές ουσίες, είναι η πολυγαλακτουρονάση (PG), της οποίας η φυσιολογική δράση στο αγγούρι δεν έχει μελετηθεί αρκετά αλλά μοιάζει με εκείνη του καρότου σύμφωνα με τους Pressey και Vants (1975). Σύμφωνα με τους Saltveit Jr. & McFeeters (1980), σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης, η δραστηριότητα της PG δεν είναι έντονη, αλλά είναι σίγουρα ανιχνεύσιμη όπως επίσης συμβαίνει και με τα επίπεδα της PG λίγο πριν την ωρίμανση. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι κατά την διάρκεια του σταδίου της ωρίμανσης, η PG αυξάνεται απότομα και μάλιστα η αύξηση στην δραστηριότητά της σχετίζεται με τη μείωση του pH του αγγουριού στο στάδιο αυτό.



**Εικόνα 10** Συντακτικός τύπος της πηκτίνης, πολυμερές του D-γαλακτουρονικού οξέος (Kitir Şen & Yildirim, 2018)

Στην υφή του αγγουριού επιδρά και το γεγονός ότι κατά την ωρίμανση χάνεται νερό. Λόγω της απώλειας υγρασίας, η πίεση στο εσωτερικό του κυττάρου μειώνεται με αποτέλεσμα να δημιουργείται υποτονικό διάλυμα. Γι' αυτό το λόγο, μετακινούνται μόρια νερού από το εξωτερικό του κυττάρου στο εσωτερικό, ως αποτέλεσμα να επέρχεται μία επικίνδυνη κατάσταση για το κύτταρο καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να διαρραγεί. Έτσι, επηρεάζεται η συνεκτικότητα και το αγγούρι μαλακώνει. (Li et al., 2022)

**3. Γεύση & Άρωμα:** Οι κυριότερες πτητικές ενώσεις που χαρακτηρίζουν το άρωμα και τη γεύση των αγγουριών, ανήκουν στην κατηγορία των αλδεϋδών. Συνήθως προσδίδουν φυλλώδεις, λιπαρές και ανθικές νότες (Du, Routray, Williams, & Weng, 2022). Πιο αναλυτικά, η χαρακτηριστική γεύση και το άρωμα του αγγουριού, δίνεται από την αλδεϋδη *trans*-2,*cis*-6-nonadienal (NDEA) σε συνδυασμό με την *trans*-2-nonenal (NEA), οι οποίες παράγονται μετά από οξείδωση του λινολενικού και λινελαϊκού οξέος υπό την δράση των ενζύμων της λιποξυγενάσης (LOX) και της λυάσης των υδροϋπεροξειδίων (HPL). Η πικρή γεύση επίσης του αγγουριού, αποδίδεται σε παράγωγα τριτερπενοειδών και μειώνεται με την πάροδο της ωρίμανσης, όπως επίσης και στις κουκουρβιτακίνες (ENNIS & O'SULLIVAN, 1979).

#### 1.4.2 Αναλυτικές μέθοδοι

**1. Απώλεια βάρους:** Η απώλεια βάρους που εμφανίζουν τα αγγούρια κατά την ωρίμανση, οφείλεται στην απώλεια υγρασίας και αποτελεί μία από τις σπουδαιότερες παραμέτρους που καθορίζει την φρεσκότητα και την ποιότητα των αγγουριών. Πριν γίνει η συγκομιδή τους, η υγρασία στο εσωτερικό τους διατηρείται

εφόσον υπάρχει συνεχής πηγή νερού, οι ρίζες του φυτού. Ωστόσο, όταν το αγγούρι κοπεί από το φυτό, χάνει την πηγή παροχής νερού και αρχίζει να πραγματοποιείται μία άλλη διεργασία, η διαπνοή. Κατά το φαινόμενο αυτό, το νερό στο εσωτερικό του αγγουριού μετατρέπεται σε αέριο και εγκαταλείπει τους φυτικούς ιστούς.

Η απώλεια νερού, επηρεάζει όχι μόνο το βάρος του φρούτου, αλλά και τη χημική σύστασή του, τις μεταβολικές διεργασίες που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό του, το άρωμα, τη γεύση του και επιταχύνεται η ωρίμανσή του λόγω αλλοιώσεων στα ένζυμα και γι' αυτό, ο προσδιορισμός της αποτελεί σημαντικό παράγοντα εκτίμησης της φρεσκότητας των αγγουριών (Kerry C. Huber & Milda E. Embuscado, 2009).

**2. Ολικά διαλυμένα στερεά:** Κατά την ωρίμανση του αγγουριού, λαμβάνει χώρα μία διαδικασία που ονομάζεται γλυκόλυση, στην οποία η γλυκόζη μεταβολίζεται και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και η ενέργεια που χρειάζεται για διάφορες μεταβολικές διεργασίες των κυττάρων (Kerry C. Huber & Milda E. Embuscado, 2009). Ωστόσο, οι αυξημένες ανάγκες των κυττάρων σε ενέργεια, οδηγούν σε έντονο μεταβολισμό της γλυκόζης με αποτέλεσμα τα αποθέματά της να μειώνονται δραματικά. Η μείωση της γλυκόζης οδηγεί στην έναρξη μίας άλλης αντίδρασης στα κύτταρα, της γλυκονεογένεσης μέσω της οποίας παράγεται γλυκόζη από μη υδατανθρακικές πηγές. Πιο συγκεκριμένα, το μηλικό οξύ είναι κυρίως εκείνο που μετατρέπεται σε πυροσταφυλικό οξύ και στη συνέχεια μέσα από μία σειρά αντιδράσεων, μετατρέπεται σε γλυκόζη. Κατά τη γλυκονεογένεση λόγω της μετατροπής των οργανικών οξέων το σακχαρικό περιεχόμενο του αγγουριού αυξάνεται (Walker & Famiani, 2018). Έτσι, όσο ωριμάζουν τα αγγούρια, η περιεκτικότητά τους σε ολικά διαλυμένα στερεά, αυξάνεται (Sarker, Deltsidis, & Grift, 2021). Βέβαια, το επίπεδο των σακχάρων στο αγγούρι δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό και η μεταβολή του καθώς το αγγούρι ωριμάζει δεν είναι σπουδαία (Handley et al., 1983).

**3. pH:** Τα δύο κυρίαρχα οργανικά οξέα στα αγγούρια είναι το κιτρικό και το μηλικό οξύ. Το pH του κυμαίνεται σε εύρος 5,1-5,9. Κατά την ωρίμανση το pH του αγγουριού μειώνεται λόγω της συσσώρευσης κιτρικού οξέος στο ενδοκάρπιο. Το γεγονός αυτό, εξηγεί πώς το επίπεδο των ολικών σακχάρων αυξάνεται, ενώ το pH μειώνεται, εφόσον η συγκέντρωση του κιτρικού οξέος αυξάνεται με την πάροδο της ωρίμανσής

του (Handley et al., 1983; Nilsson, 2005). Ωστόσο, σύμφωνα με τους Saha, Tyagi, Gurta και Tyagi, (2016) η μεταβολή του pH δεν είναι μεγάλη.

**4. Ογκομετρούμενη οξύτητα:** Η οξύτητα των τροφίμων μετράει την συγκέντρωση του χαρακτηριστικού οξέος που υπάρχει στο συγκεκριμένο τρόφιμο. Στην περίπτωση του αγγουριού, το χαρακτηριστικό οξύ είναι το κιτρικό (Cid-López et al., 2021; Istúriz-Zapata et al., 2020; Khojah et al., 2021; Saha et al., 2016) και χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ογκομετρούμενη οξύτητα. Η οξύτητα κατά την ωρίμανση του αγγουριού εμφανίζει την αναμενόμενη αντίστροφη συμπεριφορά με το pH, με αποτέλεσμα να αυξάνεται λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης του κιτρικού οξέος. Εν τούτοις, η αλλαγή στην οξύτητα δεν είναι πολύ μεγάλη, όπως συμβαίνει και με το pH (Saha et al., 2016). Εφόσον η μεταβολή της οξύτητας είναι συνδεδεμένη με την απώλεια της ποιότητας, είναι αναγκαία η εύρεση ενός τρόπου μείωσης του ρυθμού μεταβολής της οξύτητας.

**5. Φαινολικά συστατικά:** Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας των αγγουριών σε φαινολικά συστατικά είναι απαραίτητος για την εκτίμηση της φρεσκότητάς τους, εφόσον συμβάλλουν στην διαμόρφωση της αντιοξειδωτικής συμπεριφοράς των αγγουριών, όπως επίσης και στο οργανοληπτικό προφίλ τους. Με την πάροδο της ωρίμανσης, το φαινολικό περιεχόμενο των αγγουριών μειώνεται. Επομένως, προσδιορίζοντας τα φαινολικά μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα για την κατάσταση φρεσκότητας του συγκεκριμένου φρούτου (Saha et al., 2016).

**6. Αντιοξειδωτικά:** Οι αντιοξειδωτικές ουσίες, όσο το αγγούρι ωριμάζει, μειώνονται όπως συμβαίνει και με τις φαινολικές ουσίες. Ωστόσο αυτό δεν σημαίνει ότι η μείωση των φαινολικών παρουσιάζει την ίδια ακριβώς συμπεριφορά με την μείωση των αντιοξειδωτικών, καθώς η αντιοξειδωτική συμπεριφορά του αγγουριού δεν οφείλεται αποκλειστικά στις πολυφαινόλες, αλλά σε ένα σύνολο ενώσεων των οποίων η περιεκτικότητα καθώς τα στάδια της ωρίμανσης διαδέχονται, μειώνεται (SOTIROUDIS et al., 2010). Επομένως, είναι αναγκαίος ο προσδιορισμός της ποσότητας των αντιοξειδωτικών στα αγγούρια προκειμένου να εκτιμηθεί η φρεσκότητά τους.

### **1.5 Βιολογική αξία αγγουριού**

Το αγγούρι είναι ένα φρούτο που θεωρείται ότι έχει υψηλή βιολογική αξία και προτιμάται όχι μόνο για κατανάλωση αλλά και στον κόσμο της ομορφιάς και της περιποίησης. Πιο αναλυτικά, τα φυτοχημικά που περιέχει όπως οι ταννίνες και τα τριτερπενοειδή συμβάλλουν στην κυτταρική ανοσία και κατ' επέκταση προστατεύουν από τον καρκίνο και από καρδιαγγειακά νοσήματα (Gulzar Ahmad Nayik, 2020; Murad & Nyc, 2016). Επιπλέον, έχει υψηλή διατροφική αξία καθώς προσφέρει στον οργανισμό χρήσιμα συστατικά όπως βιταμίνες όπως βιταμίνη C και B, μέταλλα όπως ασβέστιο και φώσφορο αλλά ενυδατώνει επίσης τον οργανισμό καθώς έχει 96% νερό. Προσφέρει επίσης αντιοξειδωτικά στον οργανισμό προστατεύοντάς τον από τον καρκίνο, από αυτοάνοσες νόσους και καρδιακά προβλήματα, συμβάλλει στην καλή λειτουργία του εντέρου μέσω των σπόρων του. Επιπροσθέτως, το αγγούρι βοηθά στην διατήρηση του βάρους, εφόσον έχει ελάχιστες θερμίδες και μπορεί να καταναλωθεί οποιαδήποτε στιγμή της ημέρας. Τέλος χρησιμοποιείται αρκετά για την μείωση των μαύρων κύκλων λόγω της αυξημένης βιταμίνης K που περιέχουν, συμβάλλουν στην ενυδάτωση του προσώπου εξαιτίας της αυξημένης ποσότητας νερού που έχουν και έχει αντιρυτιδική δράση, καθώς περιορίζει την δράση του ενζύμου τυροσινάσης (Murad & Nyc, 2016).



## Κεφάλαιο 2. Το πλαστικό και η χρήση του στη συσκευασία τροφίμων

### 2.1 Γενικά

Πλαστικό, είναι μία ομάδα υλικών που προέρχονται από συνθετικά ή τροποποιημένα φυσικά πολυμερή και μπορούν να μορφοποιηθούν σε διάφορα σχήματα και αντικείμενα, συνήθως μετά από θέρμανση ή άσκηση πίεσης. Κάποια από τα πιο σημαντικά πολυμερή είναι (Σπυρίδων Παπαδάκης, 2018):

1. Το **πολυαιθυλένιο** (PE), χαμηλής (LDPE) και υψηλής (HDPE) πυκνότητας. Τα δύο αυτά είδη πολυαιθυλενίου είναι η πιο διαδεδομένη πρώτη ύλη για την κατασκευή μεμβρανών.
2. Το **πολυπροπυλένιο** (PP), που χρησιμοποιείται για την κατασκευή βάζων, ποτηριών, δίσκων και πωμάτων φιαλών.
3. Το **πολυστυρόλιο** (PS), που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή δοχείων γιαουρτιού, μαργαρίνης, παγωτού, μελιού και σιροπιών.
4. Το **πολυβινυλοχλωρίδιο** (PVC), για την κατασκευή φιαλών με νερό, χυμών φρούτων, λαδιών.
5. Ο **πολυαιθυλενοτερεφθαλικός εστέρας** (PET), που χρησιμοποιείται περισσότερο για φιάλες με νερό, αναψυκτικά, λάδι, γάλα.

Συγκεκριμένα, τα αγγούρια τυλίγονται με πλαστική μεμβράνη που αποτελείται από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE).

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση του πλαστικού για την συσκευασία των τροφίμων έχει αυξηθεί ραγδαία με την αγορά του συσκευασμένου με πλαστικό φαγητού, να ανέρχεται στα 1,9 τρισεκατομμύρια δολάρια το 2020 και εκτιμάται το 2030 να έχει φτάσει στα 3,4 τρισεκατομμύρια δολάρια. Η παγκόσμια παραγωγή πλαστικού αυξήθηκε ραγδαία από το 1950 μέχρι το 2015, από τους 2, σε 381 εκατομμύρια τόνους (Kan & Miller, 2022), ενώ σύμφωνα με τους Geyer, Jambeck, & Law (2017), περίπου το 40% της παγκόσμιας χρήσης πλαστικού καταλαμβάνει η πλαστική συσκευασία που χρησιμοποιείται για τα τρόφιμα. Η συγκεκριμένη βιομηχανία έχει τέτοια ανταπόκριση και χρήση, καθώς η πλαστική συσκευασία ενημερώνει τους καταναλωτές σχετικά με τα συστατικά του τροφίμου, τις συνθήκες παραγωγής και αποθήκευσης, επεκτείνει την διάρκεια ζωής των τροφίμων και ενισχύει την ασφάλειά

τους. Ωστόσο, οι καταναλωτές έχουν πλέον διαφορετική αντίληψη για το πλαστικό πλέον, λόγω της επίδρασης που έχει στο περιβάλλον. Επιπλέον, οι αλόγιστες ποσότητες πλαστικού που παράγονται κάθε χρόνο, το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένα σωστό σύστημα διαχείρισης των αποβλήτων και ότι δεν γίνεται ανακύκλωση, έχουν οδηγήσει στην συσσώρευση πλαστικού που βλάπτει ακόμα περισσότερο το περιβάλλον. (Kan & Miller, 2022).

## **2.2 Γιατί χρησιμοποιείται πλαστικό για τη συσκευασία των αγγουριών**

Στην Σουηδία, στην οποία διεξήχθησαν τα πειράματά μας, αλλά και σε άλλες χώρες του κόσμου, χρησιμοποιούν πλαστικό για να συσκευάσουν τα αγγούρια, αποσκοπώντας στην παράταση της διάρκειας ζωής τους, καθώς κατά κύριο λόγο παρεμποδίζεται η απώλεια υγρασίας και η προσβολή τους από μικροοργανισμούς. Αξίζει να αναφερθεί ότι, τα αγγούρια που συσκευάζονται με πλαστικό έχουν διάρκεια ζωής τρεις φορές μεγαλύτερη σε σχέση με αυτά που δεν έχουν πλαστικό (Shrivastava et al., 2022). Επομένως, είναι εμφανής ο λόγος για τον οποίο το πλαστικό περιτύλιγμα χρησιμοποιείται τόσο. Ακόμα πιο επιτακτική είναι η ανάγκη για χρήση του πλαστικού περιτυλίγματος, στην περίπτωση που τα αγγούρια εισάγονται από άλλες χώρες και χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για τη μεταφορά τους από τη μία χώρα στην άλλη. Σημαντικό είναι επίσης το πρόβλημα των αποβλήτων των τροφίμων, ειδικότερα όταν χρειάζεται πολύς χρόνος για να φτάσουν στο κατάστημα λιανικής και στη συνέχεια στον καταναλωτή. Εν κατακλείδι, το πλαστικό για την συσκευασία των αγγουριών χρησιμοποιείται όχι μόνο για την αύξηση της διάρκειας ζωής τους αλλά και για την προστασία τους και επομένως η μείωση των αποβλήτων συσκευασίας είναι πλέον ένα μείζον περιβαλλοντικό ζήτημα που μαστίζει τις κοινωνίες στις μέρες μας (Shrivastava et al., 2022).

Παρ' όλα αυτά, το πλαστικό περιτύλιγμα των αγγουριών δεν παύει να προκαλεί προβλήματα πάσης φύσεως. Μάλιστα, το πλαστικό που χρησιμοποιείται ζυγίζει περίπου 1,5 g για κάθε αγγούρι, επομένως η συνολική ποσότητα που χρησιμοποιείται και αποβάλλεται ως απόβλητο είναι πολύ μεγάλη και επιδρά ανεπανόρθωτα στο περιβάλλον.



**Εικόνα 11** Χρήση LDPE για την συσκευασία των αγγουριών στη Σουηδία

## **2.3 Επίδραση του πλαστικού**

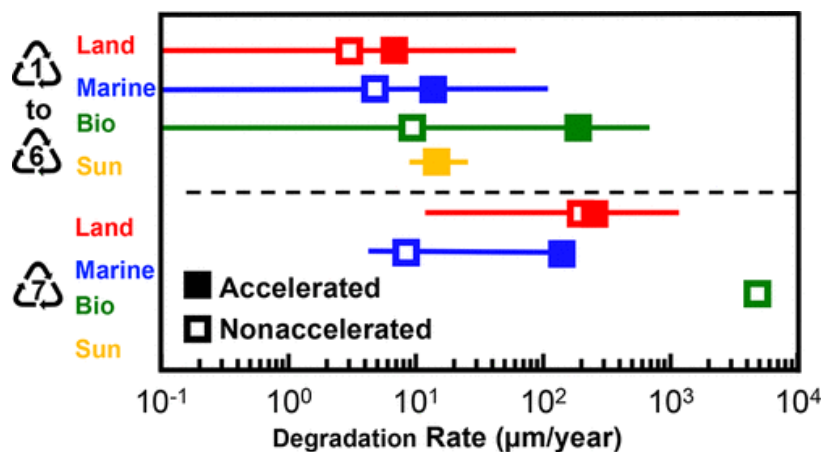
### **2.3.1 Ρύπανση του περιβάλλοντος**

Τα πλαστικά που εντοπίζονται στο έδαφος, αρχικά θρυμματίζονται σε μικρο και νανοσωματίδια πλαστικών, από την υπεριώδη ακτινοβολία και από τις υψηλές θερμοκρασίες που μπορεί να επικρατούν. Τα συγκεκριμένα, δεν είναι ορατά με το ανθρώπινο μάτι. Στη συνέχεια, ενσωματώνονται από την επιφάνεια του εδάφους βαθύτερα στο έδαφος μέσω της δράσης των γαιοσκωλήκων και σε ακόμα βαθύτερο έδαφος μέσω οργανισμών που υπάρχουν στο έδαφος, με τα φυτά και τα έντομα. Τα σωματίδια των πλαστικών που έχουν φτάσει στο υπέδαφος, μπορούν να καταναλωθούν από οργανισμούς επιδρώντας στην υγεία τους και κατ' επέκταση μπορούν να οδηγηθούν σε άλλους οργανισμούς του οικοσυστήματος μέσω της τροφικής αλυσίδας αλλά και στα υπόγεια ύδατα. Υπάρχει επίσης μεγάλος κίνδυνος να μεταβληθούν τα χαρακτηριστικά του υπεδάφους. Συνολικά, η μετανάστευση των πλαστικών στο έδαφος μπορεί να βλάψει την υγεία των ανθρώπων, τα τρόφιμα, τα υπόγεια ύδατα και γενικότερα την ασφάλεια του οικοσυστήματος (Chae & An, 2018).

Ένα μεγάλο μέρος των πλαστικών συσκευασιών και συγκεκριμένα 0,2 με 0,3% της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικού, καταλήγει επίσης στις θάλασσες και στους ωκεανούς. Το πλαστικό, δεν είναι βιοδιασπώμενο, αλλά όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έτσι και στους ωκεανούς αποικοδομείται σε μικρότερα σωματίδια από το φως του ηλίου και από τη φθορά που υφίστανται στην επιφάνεια του νερού, καταλήγοντας να συσσωρεύονται τα πλαστικά σωματίδια και να καταναλώνονται από οργανισμούς της θάλασσας. Έτσι, το πλαστικό μπορεί να βρεθεί σε μέρη όπως,

το στομάχι των ψαριών, πτηνών, θαλάσσιων χελωνών και φαλαινών, ακόμα και σε φωλιές πτηνών. Αν καταναλωθεί, μπορεί να προκαλέσει των θάνατο πολλών οργανισμών (Wabnitz & Wallace J, 2010). Πρόσφατα μάλιστα, προτάθηκε ο όρος της ασθένειας «plasticosis» που μπορεί να οδηγήσει σε πτηνά σταδιακή διάσπαση των σωληνοειδών αδένων του προκοιλιακού καθιστώντας τα πιο ευπαθή σε λοιμώξεις και παράσιτα και να επηρεάσει την ικανότητά τους στην πέψη και την απορρόφηση κάποιων βιταμινών (Charlton-Howard et al., 2023). Όταν τα πουλιά καταπίνουν μικρά κομμάτια πλαστικού, προκαλείται ερεθισμός στο πεπτικό σύστημα. Με τον καιρό, η επίμονη φλεγμονή προξενεί με τη σειρά της ουλές και παραμορφώσεις στους ιστούς, επηρεάζοντας την πέψη, την ανάπτυξη και την ίδια την επιβίωση (Charlton-Howard et al., 2023).

Δεν θα μπορούσε να παραλειφθεί η περιβαλλοντική επίδραση του πλαστικού, όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας. Σύμφωνα με τους Kan και Miller (2022), έρευνες σχετικά με την πλαστική συσκευασία των τροφίμων, έχουν αποδείξει ότι οι εκπομπές λόγω του πλαστικού καταλαμβάνουν περισσότερο από το 20% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας που σχετίζεται με την παραγωγή του συνολικού προϊόντος και ότι ευθύνονται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 20% για την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.



**Εικόνα 12** Ρυθμός αποσύνθεσης των πλαστικών ανά έτος (Chamas et al., 2020)

Μάλιστα, αποδεικνύεται ότι το LDPE το οποίο κατατάσσεται στο νούμερο 4 των πλαστικών, έχει πολύ χαμηλούς ρυθμούς αποσύνθεσης κάθε έτος και ειδικότερα στη στεριά, που αποσυντίθεται με ταχύτητα μικρότερη από 10 μm/έτος (βλ. Εικ. 3.3.1)

### **2.3.2 Επίδραση στην υγεία των καταναλωτών**

Το πώς επιδρά η πλαστική συσκευασία στα τρόφιμα και στη συνέχεια στον ίδιο τον καταναλωτή, συγκεντρώνει την προσοχή των επιστημόνων. Το πλαστικό, περιέχει ουσίες που χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν στο πλαστικό τις επιθυμητές ιδιότητες που μπορεί να είναι χημικές, φυσικές ή και μηχανικές. Τέτοιες ουσίες για παράδειγμα μπορεί να είναι υπόλοιπα καταλυτών, αντιοξειδωτικά, πλαστικοποιητές, διογκωτικά, βακτηριοστατικά, ακόμα και χρώματα. Όλες αυτές οι ουσίες που έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό το χαμηλό μοριακό βάρος, είναι επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου και μπορούν να προκαλέσουν ποικίλα προβλήματα, καθώς έχουν αποδειχθεί τοξικές, καρκινογόνες, προβληματικές για την αναπαραγωγή και ότι διαταράσσουν το ενδοκρινολογικό σύστημα (Σπυρίδων Παπαδάκης, 2018). Οι συγκεκριμένες, μεταναστεύουν από την συσκευασία στο τρόφιμο και στη συνέχεια καταναλώνονται από τους ανθρώπους, οπότε η πλαστική συσκευασία που χρησιμοποιείται για τα τρόφιμα αποτελεί πηγή τοξικών ουσιών για τους καταναλωτές. Αξίζει να αναφερθεί ότι, το πλαστικό περιλαμβάνει τουλάχιστον 148 δυνητικά επικίνδυνες ουσίες, όχι μόνο για το περιβάλλον αλλά και για τον ανθρώπινο οργανισμό και χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων ουσιών είναι η δισφαινόλη Α (BPA) και ο φθαλικός δι-(2-αιθυλοεξυλο) εστέρας (DEHP) (Muncke, 2021). Υπάρχει επίσης περίπτωση προσρόφησης ενώσεων από το εξωτερικό περιβάλλον στη συσκευασία και στη συνέχεια αυτές οι ενώσεις να μεταφερθούν στα τρόφιμα.

### **2.3.3 Τρόποι αποφυγής χρήσης πλαστικής συσκευασίας**

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό, ότι η πλαστική συσκευασία έχει πολύ σοβαρές, ακόμα και ανεπανόρθωτες επιπτώσεις και κρίνεται επιτακτική η ανάγκη από τις κυβερνήσεις να περιορίσουν τη χρήση του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί η Γαλλία που κατέστησε παράνομη τη χρήση πλαστικής συσκευασίας για πορτοκάλια, μπανάνες και καρότα και μέχρι το 2026, θα έχει απαγορευτεί η χρήση πλαστικού για όλα τα φρούτα και τα λαχανικά (Domenitz & Sokolow, 2023). Παρόμοια ήταν και η ιδέα του πρωθυπουργού της Ινδίας το 2018, να εξαλείψει τη χρήση του πλαστικού

μιας χρήσης μέχρι το 2022 (Knoblauch & Mederake, 2021). Εκτός από την απαγόρευση του πλαστικού, που είναι ένα μακροχρόνιο σχέδιο, χρειάζεται μία πιο άμεση λύση που θα μπορέσει να αντικαταστήσει το πλαστικό, όπως η χρήση συσκευασιών φιλικών προς το περιβάλλον οι οποίες θα μπορούν να διατηρήσουν την ποιότητα του προϊόντος αλλά και να παρατείνουν την διάρκεια ζωής τους όπως ακριβώς κάνει το πλαστικό. Πέρα όμως από τη χρήση συσκευασιών που δεν θα βλάπτουν το περιβάλλον αλλά και τους καταναλωτές, θα πρέπει να γίνει μία συλλογική προσπάθεια εξάλειψης του πλαστικού, από τις κυβερνήσεις, τις επιχειρήσεις, το ερευνητικό τμήμα των πανεπιστημίων και φυσικά από τα ίδια τα άτομα.

## Κεφάλαιο 3. Εδώδιμες μεμβράνες

### 3.1 Εισαγωγή

Η διάρκεια ζωής και η διατηρησιμότητα των τροφίμων απασχολούσε την ανθρωπότητα πάντοτε. Ο τρόπος της αποθήκευση και η προσπάθεια επέκτασης της διατηρησιμότητας των τροφίμων αποτελούσαν ερωτήματα ζωτικής σημασίας. Οι εδώδιμες μεμβράνες ή επιστρώσεις είναι υλικά που βοηθούν στην προστασία και τη διατήρηση των τροφίμων. Η πρώιμη μορφή των εδώδιμων επιστρώσεων παρουσιάζεται στην ιστορία ήδη από το 1300 μ.Χ. με πρώτη τεχνολογία το κερί ως προστατευτικό φρούτων στην Κίνα (Suhag et al., 2020).

Οι βρώσιμες μεμβράνες και επικαλύψεις παράγονται από βιοπολυμερή και πρόσθετα τροφίμων. Συστατικά από τα τρόφιμα που καταναλώνουμε καθημερινά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία εδώδιμων μεμβρανών (Han et al., 2005). Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες βιοπολυμερών είναι τα λίπη, οι πολυσακχαρίτες και οι πρωτεΐνες με αντίστοιχα τις κύριες ιδιότητες που προσφέρουν να είναι εμπόδιο στη μεταφορά νερού, στην ανταλλαγή αερίων και μηχανική σταθερότητα (Huber et al., 2009). Επιπλέον, κι άλλες ουσίες προστίθενται στο μείγμα για τη βελτίωση φυσικών ή άλλων λειτουργικών ιδιοτήτων (Han et al., 2005). Συνηθέστερα, οι βρώσιμες μεμβράνες και επικαλύψεις λειτουργούν ως φραγμοί έναντι ελαίων, αερίων ή ατμών και ως φορείς δραστικών ουσιών, όπως αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά, χρωστικές και γεύσεις. Αυτές οι προστατευτικές λειτουργίες στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων διατροφής, μέσω της προστασίας από φυσικές, χημικές και βιολογικές διαταραχές. Οι εδώδιμες επιστρώσεις βελτιώνουν τη φυσική αντοχή διατροφικών προϊόντων, την όψη και υφή τους. Παρέχουν ακόμη, προστασία από μικροβιακή μόλυνση, μετανάστευση υγρασίας και χημικές αλλαγές που προκύπτουν από το φως και την οξείδωση των θρεπτικών ουσιών με αποτέλεσμα την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων (Han et al., 2005). Η ανάπτυξη των εδώδιμων επιστρώσεων τα τελευταία χρόνια ωστόσο, προκύπτει και από μία διαφορετική ανάγκη, αυτή της αντικατάστασης των πλαστικών συσκευασιών και η στροφή σε πιο φιλικούς προς το περιβάλλον τρόπους συσκευασίας. Η ανάπτυξη τους είναι πραγματικά ραγδαία και ενώ το 2016, η αγορά βρώσιμων μεμβρανών και επικαλύψεων αποτιμήθηκε στα 697 εκατομμύρια δολάρια

(Suhag et al., 2020), το 2023 το μέγεθος της αγοράς ανήλθε σε 2.210,0 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ και η αγορά είναι πιθανό να ξεπεράσει τα 4,871,0 εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ έως το 2033 με CAGR 8,2% κατά την περίοδο πρόβλεψης (Future Market Insights, 2023).

### **3.2 Ορισμοί**

Εδώδιμο φιλμ ή επίστρωση ονομάζεται οποιοδήποτε υλικό χρησιμοποιείται για την προστασία και κατ' επέκταση την παράταση του χρόνου ζωής μιας ποικιλίας τροφίμων και τα οποία μπορούν να καταναλωθούν μαζί με το τρόφιμο ή ξεχωριστά από αυτό. Η προστασία και ενίσχυση που παρέχουν έγκειται κυρίως στην αποτροπή απώλειας νερού και άλλων συστατικών (Huber et al., 2009).

Στον όρο επένδυση ή επίστρωση αναφέρεται ένα διάλυμα το οποίο με την απευθείας εφαρμογή του στην επιφάνεια ενός τροφίμου οδηγεί στο σχηματισμό μιας λεπτής επίστρωσης καλύπτοντας την επιφάνειά του (Parente, 2010).

Ο όρος φιλμ (μεμβράνη) αναφέρεται η λεπτή εκείνη στρώση που παρασκευάζεται με τη βοήθεια καλουπιού ξεχωριστά από το τρόφιμο και στη συνέχεια εφαρμόζεται σε αυτό (Parente, 2010).

Ο όρος νανοεπικάλυψη αναφέρεται σε εξαιρετικά λεπτά στρώματα σε νανοκλίμακα (<100 nm) που εναποτίθενται στο υπόστρωμα για να βελτιώσουν τις ιδιότητες και τη λειτουργικότητά τους (Zahra & Faizan, 2024). Αυτές οι νανοεπικαλύψεις παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την παραδοσιακή επίστρωση, συμπεριλαμβανομένης της αντοχής στους λεκέδες, των αντιμικροβιακών και αντιοξειδωτικών δράσεων, του ελέγχου της οσμής και της παροχής δραστικών παραγόντων και των υδροαπωθητικών ιδιοτήτων (Zahra & Faizan, 2024). Η εφαρμογή βρώσιμης επικάλυψης με νανοσωματίδια έχει δείξει σημαντική διαφορά στην παράταση της διάρκειας ζωής των φρούτων σε σύγκριση με την κανονική επίστρωση χωρίς νανοϋλικά (Huwei et al., 2016). Τα νανογαλακτώματα σε εδώδιμες νανοεπικαλύψεις, μπορούν να περιλαμβάνουν αρώματα και χρωστικές, αντιοξειδωτικά, ένζυμα, αντιμικροβιακά και ενζυμικούς αναστολείς αμαύρωσης, αποτελούν μια ευέλικτη λύση για την επικάλυψη διαφόρων ειδών διατροφής και



είναι μια καινοτόμος τεχνολογία που εφαρμόζεται σε μεγάλη ποικιλία τροφίμων όπως κρέατα, γαλακτοκομικά προϊόντα, φρέσκα προϊόντα και τεμάχια τους, και περιλαμβάνουν φρούτα, λαχανικά και είδη ζαχαροπλαστικής, παρέχοντας μια νέα προσέγγιση για τη βελτίωση της ποιότητας και της διάρκειας ζωής τους (Μπιζύμης, 2023).

### **3.3 Σύνθεση εδώδιμων επιστρώσεων**

Οι πρωτεΐνες, οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια και οι ρητίνες, είτε αυτούσια είτε σε συνδυασμό, είναι τα βασικά συστατικά των εδώδιμων επιστρώσεων και τα πρόσθετα τροφίμων είναι τα δευτερεύοντα συστατικά. Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των βιοπολυμερών επηρεάζουν τις ιδιότητες της σχηματιζόμενης μεμβράνης. Έτσι για παράδειγμα, μπορεί να προσφέρουν υδροφιλικότητα ή υδροφοβικότητα και ένας κατάλληλος συνδυασμός να προσφέρει αμφιφιλικές ιδιότητες. Επιπλέον, ουσίες όπως πλαστικοποιητές και άλλα πρόσθετα σε συνδυασμό με τα βιοπολυμερή επηρεάζουν την λειτουργικότητα και τις φυσικές ιδιότητες των μεμβρανών. Τέλος, ένας περιορισμός που σημειώνεται στη σύνθεσή τους είναι η επιλογή του διαλύτη που περιορίζεται κυρίως στο νερό ή την αιθανόλη αφού πρόκειται για εδώδιμα προϊόντα (Han et al., 2005).

### **3.4 Σχεδιασμός εδώδιμων επιστρώσεων**

Οι μηχανισμοί που συντελούν στην δημιουργία των εδώδιμων επιστρώσεων από βιοπολυμερή μόρια στηρίζονται σε δυνάμεις μεταξύ των μορίων όπως ομοιοπολικούς δεσμούς ή αλληλεπιδράσεις ιοντικές, υδρόφοβες ή ηλεκτροστατικές. Είναι καίριας σημασίας, για την εδωδιμότητα της σχηματιζόμενης μεμβράνης, οι μηχανισμοί κατασκευής της να εμπíπτουν στους μηχανισμούς της επεξεργασίας των τροφίμων. Για τον ίδιο λόγο, τυχόν τροποποιήσεις στο pH, προσθήκη άλατος, θερμική επεξεργασία, ενζυμικές τροποποιήσεις, και άλλες παρόμοιες επεξεργασίες πρέπει να μελετώνται ουσιαστικά για τον σχεδιασμό μιας εδώδιμης μεμβράνης. Κρίσιμο σημείο της παραγωγικής διαδικασίας είναι και ο έλεγχος των συνθηκών επεξεργασίας ώστε να κρατήσουν σταθερή και επαναλήψιμη την κινητική και τον μηχανισμό της αντίδρασης (Han et al., 2005).

Η δημιουργία εδώδιμων επιστρώσεων γίνεται με 2 τρόπους: 1) με τη δημιουργία φιλμ το οποίο προέρχεται από διάλυμα ή θερμοδιαμόρφωση και περιτυλίγεται σε

δεύτερο στάδιο στο τρόφιμο ή 2) με την απευθείας εφαρμογή του προϊόντος μέσα σε διάλυμα που περιέχει τα συστατικά της επίστρωσης, με μεθόδους όπως σπρέι, εμβάπτιση, επάλειψη με βοήθεια εργαλείων όπως πινέλα ή σπάτουλα (Huber et al., 2009). Γενικά, υπάρχουν περισσότερες εφαρμογές για επιστρώσεις (coating) παρά για φιλμ (Han et al., 2005). Συνολικά, η εμφάνιση του τελικού προϊόντος είναι είτε αδιαφανή-διαυγής είτε γαλακτώδεις και το πάχος του συνήθως δεν ξεπερνά τα 0,3mm.

Μια πρόκληση που παρατηρείται συχνά κατά τον πειραματικό σχεδιασμό **εδώδιμων φιλμ** είναι το πώς από την αναπτυγμένη αυτούσια μεμβράνη θα δοκιμαστεί η εφαρμογή τους στο τρόφιμο καθώς αναλόγως με τη σύσταση του τροφίμου τα συστατικά του φιλμ δρουν διαφορετικά και τα χαρακτηριστικά του επηρεάζονται. Ως εκ τούτου, ο ευκολότερος τρόπος ανάπτυξης μιας **εδώδιμης μεμβράνης** είναι με την απευθείας εφαρμογή του διαλύματος της στο τρόφιμο. Έτσι, γίνονται απευθείας φανερά τα πιθανά προβλήματα της **υπό ανάπτυξης επίστρωσης** και ουσίες που βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά της μπορούν να προστεθούν στο διάλυμα παρασκευής.

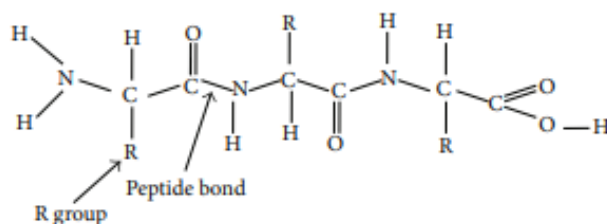
Όσον αφορά τη σύσταση του διαλύματος, συχνά είναι απαραίτητη η προσθήκη ουσιών που συντελούν στην βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της μεμβράνης. Τέτοιες ουσίες είναι για παράδειγμα οι πλαστικοποιητές για την μείωση της ευθραστότητας ή επιφανειοδραστικές ουσίες για την μείωση της επιφανειακής τάσης και ως εκ τούτου την καλύτερη ένωση και επικόλληση του φιλμ με το προϊόν. Επιπλέον, η συγκέντρωση του διαλύματος, η ποσότητα, το ιξώδες, ο ρυθμός και η θερμοκρασία εξάτμισης του είναι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τον πειραματικό σχεδιασμό μιας εδώδιμης μεμβράνης αφού ενδέχεται να επηρεάσουν τα τελικά χαρακτηριστικά της επίστρωσης.

### **3.5 Υλικά που σχηματίζουν εδώδιμες επιστρώσεις**

#### **3.5.1 Πρωτεΐνες**

Οι πρωτεΐνες είναι μακρομόρια των οποίων οι δομικές μονάδες είναι τα αμινοξέα και ανάλογα με τη δομή κατατάσσονται σε πρωτοταγείς, δευτεροταγείς και τριτοταγείς και προέρχονται από ζωικούς και φυτικούς ιστούς. Τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα

των πρωτεϊνών έναντι άλλων συστατικών στη κατασκευή επιστρώσεων είναι οι αμφιφιλικές τους ιδιότητες, η ικανότητα τους να μετουσιώνονται και τα ηλεκτροστατικά τους φορτία. Εύκολα, λοιπόν, τροποποιούνται με πλήθος επεξεργασιών (όπως πίεση, θέρμανση, ακτινοβολία) που τελικά ελέγχουν τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των τελικών επικαλύψεων (Han et al., 2005).

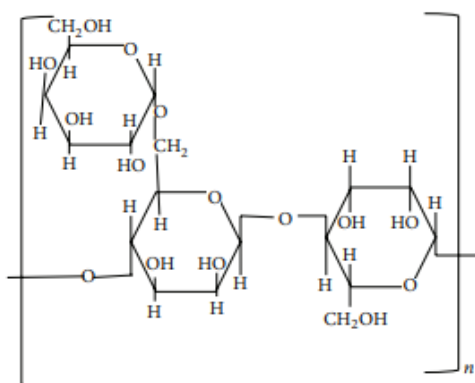


**Εικόνα 13** Συνήθης δομή πολυπεπτιδίων (Shit et al., 2014)

### 3.5.2 Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες που έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν επιστρώσεις/φιλμ είναι το άμυλο, μη αμυλούχοι υδατάνθρακες, κόμμεα και ίνες. Αποτελούνται από απλά μονομερή, με μεγαλύτερο μοριακό βάρος από τις πρωτεΐνες, μη προβλέψιμες και περίπλοκες δομές. Στην πλειοψηφία τους οι πολυσακχαρίτες είναι ουδέτεροι, όμως, μερικά κόμμεα είναι αρνητικά και με εξαιρέσεις θετικά φορτισμένα. Στην ουδέτερη δομή οι δεσμοί υδρογόνου παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στη διαμόρφωση του φιλμ και των χαρακτηριστικών του, εξ' αιτίας των υδροξυλομάδων και άλλων υδρόφιλων τμημάτων. Ορισμένα κόμμεα παρουσιάζουν διαφορετικές ρεολογικές ιδιότητες ανάλογα με το φορτίο του περιβάλλοντος –όξινο, αλκαλικό ή ουδέτερο (Han et al., 2005).

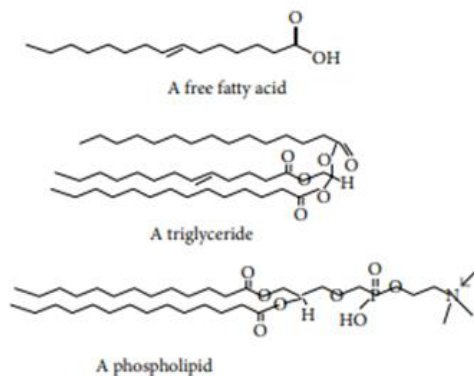
Αυτή η ομάδα βιοπολυμερών παρουσιάζει διακυμάνσεις ως προς τα δομικά ιδιώματα τα οποία σχετίζονται με τη σύσταση των μονομερών, τις διακλαδώσεις και τον τρόπο σύνδεσης, τα σχήματα και τον βαθμό πολυμερισμού καθορίζοντας φυσικές ιδιότητες όπως η διαλυτότητα, η δυνατότητα δημιουργίας gel/πηκτής, επιφανειακές και διεπιφανειακές ιδιότητες. Οι εμπορικοί πολυσακχαρίτες ονομάζονται και κόμμεα ή **υδροκολλοειδή**. Με την προσθήκη νερού διαμορφώνουν παχύρρευστα διαλύματα και είναι χρήσιμα μεταξύ άλλων ως σταθεροποιητές, πηκτοματοποιητές, αναστολείς κρυστάλλωσης και ως παράγοντες ενθυσάλκωσης (Cerqueira, 2010).



**Εικόνα 14** Συνήθης δομή υδροκολλοειδών (Shit et al., 2014)

### 3.5.3 Λιπίδια

Τα λιπίδια και οι βρώσιμες ρητίνες είναι βιοϋλικά με μοναδικές ικανότητες σχηματισμού φιλμ και αυτό γιατί τα περισσότερα, ενώ σε θερμοκρασία δωματίου είναι μαλακά, σε χαρακτηριστικές για το καθένα θερμοκρασίες αλλάζουν φάση αναστρέψιμα. Έτσι, με θερμική επεξεργασία και χύτευση λαμβάνουν οποιοδήποτε σχήμα.



**Εικόνα 15** Συνήθης δομή λιπιδίων (Shit et al., 2014)

Οι μεμβράνες τους είναι υδρόφοβες, με υψηλή αντοχή στο νερό και χαμηλή επιφανειακή ενέργεια. Τα λιπίδια μπορούν ακόμη να εισαχθούν σε εδώδιμες επιστρώσεις είτε ως γαλακτοματοποιητές είτε ως ενισχυτικά υπέρ της αντίστασης στο νερό σε πολυστρωματικές μεμβράνες πρωτεϊνών/πολυσακχαριτών (Han et al., 2005; Shit et al., 2014)

### **3.6 Πλαστικοποιητές – πρόσθετα**

#### **3.6.1 Πλαστικοποιητές**

Οι πλαστικοποιητές είναι ουσίες χαμηλού μοριακού βάρους που εισάγονται στα πολυμερή με σκοπό την βελτίωση της θερμοπλαστικότητάς τους. Καθιστούν τις άκαμπτες και εύθραυστες δομές ευέλικτες και ευκολότερα επεξεργάσιμες με το να ενσωματώνονται στις μεγάλες πολυμερικές αλυσίδες, αυξάνοντας τον όγκο τους και την μοριακή κινητικότητα τους. Ακόμη, πετυχαίνουν την μείωση των κρυσταλλικών και την αύξηση των άμορφων περιοχών λόγω του υδρόφιλου και υγροσκοπικού τους χαρακτήρα, ο οποίος συμβάλλει στην διατάραξη των ενδομοριακών δεσμών και στην αύξηση των αποστάσεων των μορίων. Τελικά, εκτός από την ελαστικότητα και την μηχανική αντοχή πετυχαίνουν και καλύτερη προστασία από αέρια και ατμούς. Το νερό είναι ένας καλός πλαστικοποιητής χάνεται όμως εύκολα λόγω αφυδάτωσης, γι' αυτό η επιπλέον προσθήκη ενός χημικού υδρόφιλου πλαστικοποιητή πετυχαίνει τη μείωση απωλειών νερού.

#### **3.6.2 Πρόσθετα**

Οι εδώδιμες επιστρώσεις των βιοπολυμερών έχουν ορισμένες εγγενείς θετικές ιδιότητες συχνά όμως υστερούν σε άλλες. Για τη βελτίωση της ποιότητας ενός φιλμ είναι δυνατή η προσθήκη ουσιών, ώστε να ενισχυθούν οι φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες. Τέτοια ενεργά συστατικά παρατίθενται παρακάτω.

Για την καλύτερη επικόλληση της μεμβράνης με το προϊόν είναι απαραίτητη η μείωση της επιφανειακής τάσης. Σε αυτό συμβάλλουν οι γαλακτοματοποιητές, επιφανειοδραστικά μόρια με αμφιφιλικές ιδιότητες, που ελέγχουν την πρόσφυση και την διαβρεξιμότητα της επιφάνειας. Οι πιο συχνά απαντώμενες επιφάνειες διαχωρισμού είναι είτε λίπους-νερού είτε αερίων-νερού. Αντιοξειδωτικά και αντιμικροβιακά πρόσθετα προσφέρουν προστασία από οξειδωτικές διεργασίες και

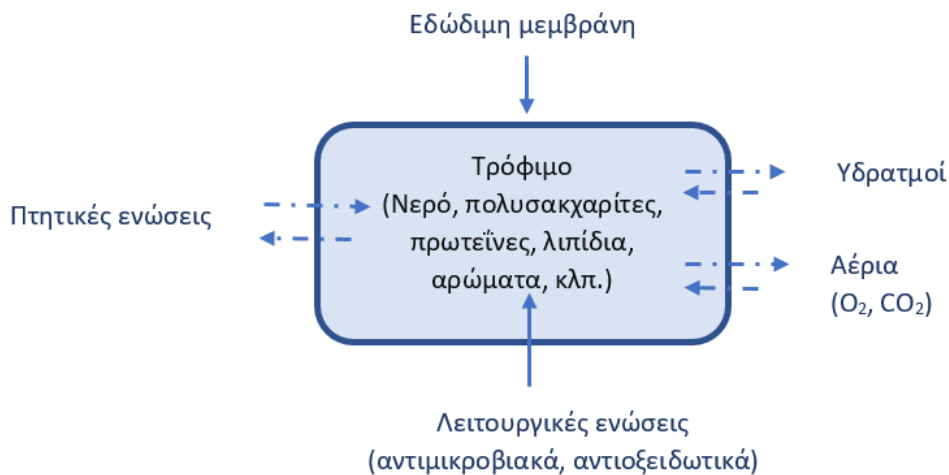
αλλοίωση από μικροβιακούς παράγοντες εξασφαλίζοντας την καλύτερη ποιότητα του τροφίμου. Διάφορες χρωστικές και γεύσεις συνεισφέρουν, επίσης, στην εμφάνιση και την οπτική αντίληψη της ποιότητας. Συνολικά, ο κατασκευαστής μιας εδώδιμης μεμβράνης πρέπει να λάβει υπόψιν του όλα τα διαφορετικά δραστικά πρόσθετα που θα εισάγει στο μίγμα του, ώστε να δημιουργήσει τελικά ένα ομοιογενές και σταθερό προϊόν (Han et al., 2005).

Μια αναπτυσσόμενη και πολλά υποσχόμενη μέθοδος ενίσχυσης των εδώδιμων επιστρώσεων είναι η χρήση νανοϋλικών. Παρουσιάζονται σαν έναν καινοτόμο τρόπο ενίσχυσης ιδιοτήτων που μπορεί να υστερεί η μεμβράνη όπως μηχανική αντοχή, αντιμικροβιακή και αντιοξειδωτική δράση, διαφάνεια και λειτουργικότητα. Αποτελούν, ακόμη, έναν τρόπο ελέγχου μεταφοράς αερίων και ενώσεων που μπορεί να απελευθερώνονται στο περιβάλλον λειτουργώντας ως φραγμός, βρισκόμενα στο υπόστρωμα της εδώδιμης μεμβράνης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα διάφορα οξείδια μετάλλων όπως το οξείδιο του τιτανίου, ψευδαργύρου, τιτανίου ή χαλκού.

Υπάρχουν 2 κατηγορίες των συσκευασιών τροφίμων από νανοϋλικά: οι εδώδιμες μεμβράνες που έχουν εμπλουτιστεί με αυτά για την ενίσχυση των ιδιοτήτων τους και οι ενεργές εδώδιμες μεμβράνες στις οποίες υπάρχει αλληλεπίδραση των νανοσωματιδίων απευθείας με τα τρόφιμα ή το περιβάλλον με σκοπό την προστασία των τροφίμων (Μπιζύμης, 2023).

**Πίνακας 3.** Υλικά που χρησιμοποιούνται για βρώσιμες μεμβράνες και επιστρώσεις  
(Προσαρμοσμένο από Han et al., 2005)

Λειτουργικές συνθέσεις	Υλικά
Υλικά που σχηματίζουν μεμβράνες	<i>Πρωτεΐνες:</i> κολλαγόνο, ζελατίνη, καζεΐνη, κερατίνη, πρωτεΐνη ορού γάλακτος, ζεΐνη καλαμποκιού, γλουτένη σίτου, πρωτεΐνη από σόγια, ασπράδι αυγού, μπιζελιού, πίτουρο ρυζιού, βαμβακόσπορου, φιστικιού, μιοϊνιδιακή πρωτεΐνη ψαριού, πρωτεΐνη σόργου
	<i>Πολυσακχαρίτες:</i> άμυλο, τροποποιημένο άμυλο, τροποποιημένη κυτταρίνη (CMC, MC, HPC, HPMC), αλγινικό οξύ, καραγενάνη, πηκτίνη, πουλλουλάνη, χιτοζάνη, κόμμι gellan, κόμμι ξανθάνης
	<i>Λιπίδια:</i> κεριά (κερί μέλισσας, παραφίνη, κεριά καρναούμπα, κεριά καντελίλιας, κεριά από πίτουρο ρυζιού), ρητίνες (σελάκ, τερπένιο), ακετογλυκερίδια
Πλαστικοποιητές	Γλυκερίνη, προπυλενογλυκόλη, σορβιτόλη, σακχαρόζη, πολυαιθυλενογλυκόλη, σιρόπι καλαμποκιού, νερό
Λειτουργικά Πρόσθετα	Αντιοξειδωτικά, αντιμικροβιακά, θρεπτικά συστατικά, θρεπτικά συστατικά, φαρμακευτικά προϊόντα, γεύσεις, χρώματα
Άλλα Πρόσθετα	Γαλακτωματοποιητές (λεκιθίνη, Tweens, Spans), γαλακτώματα λιπιδίων (βρώσιμα κεριά, λιπαρά οξέα)
CMC = καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, MC = μεθυλοκυτταρίνη, HPC = υδροξυπροπυλοκυτταρίνη, HPMC = υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη.	



**Εικόνα 16** Λειτουργικές ιδιότητες εδώδιμων επιστρώσεων σε προϊόντα τροφίμων (Προσαρμοσμένο από Cerqueira, 2010)

### 3.7 Βρώσιμος και βιοαποδομήσιμος χαρακτήρας εδώδιμων επιστρώσεων

Οι βρώσιμες μεμβράνες και επικαλύψεις είναι εγγενώς βιοδιασπάσιμες και βρώσιμες και αυτά τα χαρακτηριστικά συνιστούν τις πιο πλεονεκτικές ιδιότητες τους, αφού τις διαφοροποιούν από τις συνθετικές πλαστικές συσκευασίες. Για να διατηρηθεί η βρωσιμότητά τους, όλα τα συστατικά της μεμβράνης θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από συστατικά τροφίμων και όλες οι εγκαταστάσεις και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία παραγωγής θα πρέπει να πληρούν τα πρότυπα επεξεργασίας τροφίμων. Επιπλέον, για την εξασφάλιση του βιοδιασπώμενου χαρακτήρα όλα τα συστατικά των εδώδιμων επιστρώσεων θα πρέπει να μπορούν να διασπώνται φυσικά και να είναι περιβαλλοντικά ασφαλή. Παράληψη θα αποτελούσε αν δεν σημειώνονταν πως, για τη κατοχύρωση μιας εδώδιμης μεμβράνης σε εμπορικές εφαρμογές θα πρέπει να αξιολογείται η ανθρώπινη τοξικότητα και η περιβαλλοντική ασφάλεια χρησιμοποιώντας τυπικά αναλυτικά πρωτόκολλα από εξουσιοδοτημένους φορείς (Han et al., 2005).



### **3.8 Εδώδιμες επιστρώσεις στα φρούτα και τα λαχανικά**

#### **3.8.1. Τεχνική ανάπτυξης βρώσιμων μεμβρανών και επιστρώσεων επιστρώσεων στα φρούτα και λαχανικά**

Τα φρούτα και λαχανικά ανήκουν στην κατηγορία άθικτων ή ελάχιστα επεξεργασμένων τροφίμων. Η χρήση εδώδιμων επιστρώσεων σε αυτά συνεισφέρει πρωτεύοντα ως ημιπερατός φραγμός αερίων και ατμών και δευτερεύοντα ως ενισχυτής υφής, αντιμικροβιακός ή αντιοξειδωτικός παράγοντας. Οι μεμβράνες προστατεύουν την παραγωγή και καθυστερούν την φυσιολογική μετασυλλεκτική αλλοίωση. Επειδή ο ρυθμός αναπνοής είναι συγκεκριμένος ανά είδος καρπού, η επιτυχία μιας μεμβράνης έγγυται κυρίως στον κατάλληλο έλεγχο της εσωτερικής σύστασης αερίων φρούτου ή λαχανικού.

Ερωτήματα που συναντώνται κατά την ανάπτυξη μιας καινοτόμου επίστρωσης, μπορεί να είναι το πώς θα επηρεάσουν οι ιδιότητες της επίστρωσης το προϊόν και τη γεύση του, ποια θα είναι η πορεία αλλαγής του φιλμ με την πάροδο του χρόνου και το πως αντιδράει ανάλογα με τις συνθήκες αποθήκευσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, έκθεση στο φως). Την τελική ποιότητα του προϊόντος θα επηρεάσουν ακόμη, το πάχος, το χρώμα και η γεύση της επίστρωσης, γι' αυτό πρέπει να δοθεί και σε αυτές τις παραμέτρους η ανάλογη σημασία. Τέλος, για την ανάπτυξη μιας εδώδιμης μεμβράνης είναι προαπαιτούμενη η γνώση της φυσιολογίας του καρπού που θα χρησιμοποιηθεί και η όσο το δυνατόν καλύτερη γνώση της αλληλεπίδρασης του φιλμ σε συσχέτιση με τον καρπό (Huber et al., 2009).

#### **3.8.2 Καθυστέρηση της πορείας της ωρίμανσης των φρούτων και λαχανικών**

##### **3.8.2.1 Ρυθμός αναπνοής φρούτων και αιθυλένιο**

Η κύρια διεργασία που συντελείται εντός των φρούτων και των λαχανικών είναι η αναπνοή, κατά την οποία το οξυγόνο του ιστού καταναλώνεται και παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και αιθυλένιο. Πριν τη συγκομιδή, όταν ο καρπός είναι συνδεδεμένος με το φυτό, τα αέρια βρίσκονται σε μια ισορροπία, ενώ από την στιγμή που αποχωριστεί ο καρπός από το δένδρο η ισορροπία αυτή διαταράσσεται ανεπανόρθωτα και ο καρπός περνάει στην επονομαζόμενη φάση του γήρατος. Ακόμη, το αιθυλένιο που παράγεται επιταχύνει αυτή τη περίοδο κατά την οποία

μεταβάλλεται το χρώμα, η υφή, η γεύση και τα διατροφικά χαρακτηριστικά του καρπού. Αυτή η διαδικασία είναι αδύνατον να σταματήσει, μπορεί ωστόσο να καθυστερήσει με διάφορους τρόπους. Ο ρυθμός αναπνοής επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως τη θερμοκρασία, την αναλογία O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, τον τύπο της επεξεργασίας και την απόλυτη συγκέντρωση οξυγόνου. Στην περίπτωση των φυτικών ιστών, η ιδανική σύσταση για την καθυστέρηση ή αναστολή του σαπίσματος περιλαμβάνει υψηλή συγκέντρωση οξυγόνου -μεγαλύτερη από 8%- και σχετικά χαμηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα -μικρότερη από 5%. (Huber et al., 2009).

### **3.8.2.2 Απώλεια νερού**

Το νερό είναι το επικρατέστερο συστατικό των φρούτων και λαχανικών και στην αναλογία του βασίζεται η ποιότητα του καρπού. Η βέλτιστη ποσότητα του νερού στον καρπό υπάρχει όσο είναι συνδεδεμένο με το φυτό και με την συγκομιδή του αρχίζει η κατιούσα πορεία της ποιότητας του, καθώς αλλάζει όχι μόνο η ποσότητα του διαθέσιμου νερού -γνωστή και ως ενεργότητα νερού- αλλά και πληθώρα φυσικοχημικών χαρακτηριστικών. Στα αρνητικά αποτελέσματα της αποβολής νερού κατατάσσεται εκτός από τις αλλαγές στο φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, η συρρίκνωση και η απώλεια βάρους που μεταφράζεται σε οικονομική απώλεια. Επομένως, ο φραγμός στην απώλεια υγρασίας των καρπών αποτελεί την πρόκληση και ταυτόχρονα το όπλο ενάντια στην γήρανσή τους (Huber et al., 2009).

### **3.9 Ζητήματα που σχετίζονται με τον καταναλωτή**

Ένας καίριος παράγοντας που αξίζει να συζητηθεί στο θέμα των βρώσιμων συσκευασιών είναι αυτός της αποδοχής των καταναλωτών. Όπως κάθε νέο προϊόν χρίζει δοκιμής από τους καταναλωτές, έτσι και οι επικαλύψεις, αφού αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του τροφίμου. Η αποδοχή σε νέα προϊόντα βασίζεται καθαρά σε υποκειμενικές προτιμήσεις. Ένας ολοκληρωμένος δείκτης αποδοχής των καταναλωτών θα μπορούσε να συνοψίζεται σε τέσσερις πυλώνες: τις οργανοληπτικές ιδιότητες, την ασφάλεια, το μάρκετινγκ και τις επιφυλάξεις αναλόγως με το πολιτισμικό υπόβαθρο σχετικά με τη χρήση νέων υλικών.

Οι οργανοληπτικές ιδιότητες αφορούν την εμφάνιση του νέου προϊόντος και το κατά πόσο αυτό διαφέρει από το αντίστοιχο συμβατικό, την νοσηρότητά του, την γεύση

και το άρωμα καθώς και την υφή. Το θέμα της ασφάλειας αφορά κυρίως τις αλλεργίες ή την τοξικότητα των μεμβρανών και την αλλαγή στη μικροχλωρίδα του επικαλυμμένου τροφίμου. Συνεχίζοντας, το μάρκετινγκ παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοχή των καταναλωτών αφού λαμβάνει τον ρόλο να ενημερώσει τους καταναλωτές για το νέο προϊόν, την τιμή και τον τρόπο χρήσης και απόρριψής του. Διαβεβαιώνει ακόμη, για τις πιθανές ευεργετικές ιδιότητες του προϊόντος. Τέλος, το πολιτισμικό υπόβαθρο θα καθορίσει τόσο την απροθυμία του κοινού για την αγορά του νέου υλικού όσο και την προθυμία τους να ακολουθήσουν τις παρεχόμενες οδηγίες χρήσης και απόρριψης (Han et al., 2005).

### **3.10 Νομικά ζητήματα**

Σε αντίθεση με τα κοινά υλικά συσκευασίας τα οποία υπόκεινται σε συγκεκριμένη νομοθεσία, οι εδώδιμες επιστρώσεις -αφού αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της βρώσιμης μερίδας- οφείλουν να συμμορφώνονται στην ίδια νομοθεσία με τα τρόφιμα. Κάθε συστατικό που περιέχεται στο φιλμ -υλικό ή λειτουργικό πρόσθετο- θα πρέπει να κατατάσσεται στην κατηγορία τροφίμου-μη τοξικού υλικού. Η ονομασία Gras –Generally recommended as safe- δίδεται σε ένα υλικό από τον Οργανισμό τροφίμων και φαρμάκων (FDA) ο οποίος πιστοποιεί ότι το υλικό αυτό είναι ασφαλές, υπό τις συνθήκες για τις οποίες κατασκευάζεται και στην κατάλληλη ποσότητα, καθώς επίσης ότι η διαδικασία παραγωγής συμφωνεί με τις ορθές βιομηχανικές πρακτικές (Huber et al., 2009). Αυτό σημαίνει πως υπάρχουν μερικοί περιορισμοί, αφού, ακόμη κι αν ένα υλικό ανήκει στην γενική κατηγορία Gras έχει προβλεπόμενη χρήση. Για παράδειγμα, έστω ότι ένα υλικό έχει παραχθεί για τη χρήση μίας συγκεκριμένης κατηγορίας τροφίμου όπως κόκκινο κρέας, η χρήση του σε άλλα είδη κρέατος δεν είναι νομικά κατοχυρωμένη άρα και αποδεκτή (Han et al., 2005).

Από κανονιστικής σκοπιάς, οι βρώσιμες μεμβράνες μπορούν να ταξινομηθούν ως: α) προϊόντα τροφίμων, β) συστατικά τροφίμων, γ) πρόσθετα τροφίμων, δ) ουσίες που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα ή ε) υλικά συσκευασίας τροφίμων. Αξίζει να σημειωθεί πως, στην περίπτωση φαρμακευτικών και διατροφικών εφαρμογών, ενδέχεται να διαφέρουν οι κανονισμοί σχετικά με τη χρήση τους. Μείζονα προβλήματα μπορεί να προκύψουν από τη διαφορετική άποψη κατηγοριοποίησης μεταξύ κατασκευαστών και ρυθμιστικών φορέων, οδηγώντας σε καταστάσεις

υποχρεωτικής ανάκλησης προϊόντων λόγω εσφαλμένης επισήμανσης. Στις ετικέτες των τελικών προϊόντων θα πρέπει να περιλαμβάνονται όλα τα υλικά του φιλμ και αυτό συνιστά σημείο προσοχής για τους κατασκευαστές. Ωστόσο, εάν χρησιμοποιούν βρώσιμα φιλμ ή υλικά επικάλυψης που έχουν παραχθεί από διαφορετικούς προμηθευτές, μπορεί να υπάρχει η ευκαιρία να ταξινομηθούν ως ουσίες που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα ή ως υλικά συσκευασίας τροφίμων. Τέλος, είναι σημαντικό οι προμηθευτές των βρώσιμων μεμβρανών να λαμβάνουν υπόψιν τις ειδοποιήσεις που αποστέλλονται από σχετικούς αρμόδιους φορείς σχετικά με τη χρήση των εδώδιμων επιστρώσεων ως συστατικά τροφίμων. Τέτοιες ειδοποιήσεις συχνά αφορούν αλλεργιογόνα/πιθανή αλλεργιογένεση και τις διατροφικές πληροφορίες (Han et al., 2005).

Εάν ένα συστατικό δεν υπάρχει στη λίστα του FDA ως Gras με βάση την προβλεπόμενη χρήση του, τότε ο εκάστοτε κατασκευαστής μπορεί να ενημερώσει τον FDA μέσω του Προγράμματος Ειδοποίησης GRAS, αφού πρώτα γνωρίζει πως το συστατικό του πληροί τα πρότυπα, ώστε να διασφαλίσει την ασφάλεια του συστατικού του. Η υποβολή ειδοποίησης των κατασκευαστών για την έγκριση ενός συστατικού ή σύνθετου τροφίμου συνοδεύεται πάντοτε από τα απαραίτητα έγγραφα/μελέτες που πιστοποιούν την ασφάλειά του. Ας σημειωθεί πως αυτή η ειδοποίηση δεν είναι υποχρεωτική. Ωστόσο, ο FDA ενθαρρύνει σθεναρά τους κατασκευαστές να επικοινωνήσουν με τον οργανισμό και να ακολουθήσουν τις διαθέσιμες διαδικασίες και βοηθάει εμπράκτως μέσω των διαθέσιμων κανονισμών και των εγγράφων καθοδήγησης. Κατ' αυτόν τον τρόπο, επωφελείται η βιομηχανία τροφίμων και ο οργανισμός ώστε να εκπληρώνει τον σκοπό του και να παρέχει στους καταναλωτές ασφαλή τρόφιμα (U.S. Food And Drug Administration, 2023).

### 3.11 Εμπορικές εφαρμογές εδώδιμων φιλμ και επιστρώσεων



**Εικόνα 17** Οι εφαρμογές της γομολάκας «shellac» στη βιομηχανία τροφίμων (Yuan et al., 2021)

Ποικίλοι είναι οι σκοποί χρήσεως των εδώδιμων επιστρώσεων σε πληθώρα προϊόντων που όμως συχνά δεν γίνονται αντιληπτοί από τους καταναλωτές. Έτσι για παράδειγμα, στα μήλα η ανεπαίσθητη λαμπερή επιφάνεια τους δεν προέρχεται από φυσικούς παράγοντες αλλά από κερί ή γομολάκας. Οι Yuan, Y., et al. ισχυρίζονται πως το τελευταίο έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς τόσο για την παράταση του χρόνου ζωής, όσο και για την επίτευξη της στίλβωσης ή γυαλάδας σε μήλα. Το ίδιο συστατικό έχει δοκιμαστεί σε εμπορικές επιστρώσεις για πορτοκάλια και πιπεριές. Επιπλέον, σε μανταρίνια κλημεντίνης παρατηρήθηκε η αναστολή της πράσινης και μπλε μούχλας, καθώς επίσης και της απώλειας βάρους και η διατήρηση της σφριγηλότητας του φλοιού. Έχει καταγραφεί, τέλος, η αύξηση της αντοχής του κελύφους και του ιξώδους λευκώματος φρέσκων αυγών, όπως και η βελτίωση της ποιότητας τους (Yuan et al., 2021; *Εικόνα 18*).

Η εφαρμογή των εδώδιμων επιστρώσεων είναι παρούσα και στον φαρμακευτικό τομέα. Οι επιστρώσεις χρησιμεύουν στην προσθήκη γλυκιάς γεύσης φαρμάκων κατά την κατάποση, στο να μην θρυμματίζονται τα χάπια μέχρι και την ελεγχόμενη χρονική απελευθέρωση της φαρμακευτικής ουσίας. Συχνή είναι επίσης,

η χρήση επιστρώσεων σακχάρων στα χάπια και φιλμ ζελατίνης στις μαλακές κάψουλες (Han et al., 2005).

Άλλες εμπορικές εφαρμογές edώδιμων επιστρώσεων σε ότι αφορά τις κατεψυγμένες πατάτες, παρέχουν προστασία κατά τη διάρκεια αποθήκευσης στο ψυγείο πριν από το τηγάνισμα. Ακόμη, κατά τη διάρκεια του τηγανίσματος, επιστρώσεις όπως αυτές που δημιουργούνται από οξικό ασβέστιο, συμβάλλουν στον έλεγχο των απωλειών νερού και στην αποτροπή του σκούρου χρωματισμού. Επιστρώσεις σακχάρων παρατηρούνται συχνά στους ξηρούς καρπούς παρέχοντας προστασία από οξείδωση και φυσική φθορά, όπως ο θρυμματισμός (Han et al., 2005; **Εικόνα 19**), και η πρωτεΐνη καλαμποκιού εμπορικά έχει παρατείνει τη διάρκεια ζωής κρεάτων, ξηρών καρπών, πεκάν και φιστίκι καλυμμένο με σοκολάτα. Τέλος, έχει καταγραφεί η επίστρωση ζεΐνης σε «candies» για τη γυαλάδα και την παράταση του χρόνου ζωής τους (Huber et al., 2009).



**Εικόνα 20** Βρώσιμη επίστρωση συμπυκνωμένης πρωτεΐνης ορού γάλακτος προστατεύει την επιφάνεια των ξηρών καρπών από φυσική φθορά και οξείδωση (Han et al., 2005)

### **3.12 Πλεονεκτήματα και περιορισμοί των εδώδιμων επιστρώσεων**

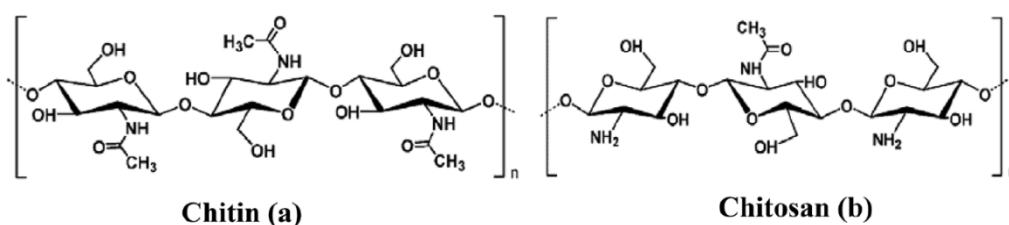
Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των εδώδιμων επιστρώσεων ως συσκευασίες τροφίμων είναι η βιοδιασπασιμότητά τους αλλά και η ίδια η εδωδιμότητά τους. Άλλο ένα πλεονέκτημα που προσφέρουν οι εδώδιμες επιστρώσεις είναι η απλοποίηση της συνολικής δομής των συσκευασιών και η προστασία όσον αφορά την φυσική (φθορά από φυσικούς παράγοντες), χημική (φως, οξυγόνο) και βιολογική (από τη δράση μικροοργανισμών) υποβάθμιση των τροφίμων. Εκτός αυτής, οι εδώδιμες επιστρώσεις μπορούν να αποτελέσουν φραγμό σε έλαια, αέρια και υδρατμούς και να φέρουν αντιοξειδωτικούς, αντιμικροβιακούς παράγοντες ή ενισχυτές γεύσης, υφής και χρώματος. Ως εκ τούτου, οι εδώδιμες επιστρώσεις συνιστούν ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο της ενίσχυσης της ποιότητας και της αύξησης της διατηρησιμότητας των τροφίμων. Έτσι, ενώ ορισμένοι τάσσονται υπέρ της χρήσης των εδώδιμων επιστρώσεων μόνο ως συμπληρωματικό προστασίας των τροφίμων, άλλοι θεωρούν πως, εν δυνάμει, οι εδώδιμες συσκευασίες μπορούν να αντικαταστήσουν τις συμβατικές πλαστικές καθώς πολλές λειτουργίες τους μοιάζουν μεταξύ τους. Εν τούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί, πως η επιλογή των εδώδιμων επιστρώσεων πρέπει να γίνεται ξεχωριστά ανά κατηγορία προϊόντων τροφίμων και η παρασκευή τους να γίνεται σύμφωνα με τον τύπο του τροφίμου και τους κυριότερους μηχανισμούς υποβάθμισης της ποιότητας του. Πιθανοί περιορισμοί της εμπορικής χρήσης των εδώδιμων συσκευασιών συνιστούν, η ενδεχόμενη περίπλοκη παραγωγική διαδικασία σε συνδυασμό με την χρηματική επένδυση για την αγορά του ακριβού εξοπλισμού. Τίθεται, ακόμη, το ζήτημα της σύγκρουσης με τα ήδη υπάρχοντα συστήματα συσκευασίας τροφίμων, η επιφυλακτικότητα των κατασκευαστών απέναντι στο νέο προϊόν και νομοθετικά ζητήματα (Han et al., 2005). Συνολικά, κάθε καινοτόμο προϊόν δοκιμάζεται από την αγορά και τους καταναλωτές αλλά η σταδιακή προσπάθεια μείωσης ή και αντικατάστασης του πλαστικού από την κοινωνία ίσως να λειτουργήσει ευνοϊκά προς την ευρύτερη υιοθέτηση της τεχνολογίας των εδώδιμων επιστρώσεων.

## Κεφάλαιο 4. Χιτοζάνη: Το διαλυτό παράγωγο της χιτίνης

### 4.1 Χιτοζάνη: Δομή και προέλευση

Η χιτίνη είναι ο δεύτερος πολυπληθέστερος πολυσακχαρίτης που απαντάται στη φύση μετά την κυτταρίνη. Απαντάται στον εξωσκελετό σχεδόν ενός εκατομμυρίου ειδών αρθρόποδων εντόμων και καρκινοειδών αλλά και σε μύκητες (Huber et al., 2009; Kou et al., 2021; Kumar et al., 2020; Kumar et al., 2019; Cerqueira, 2010). Είναι ένας γραμμικός ομοπολυσακχαρίτης που αποτελείται από N-ακετυλογλυκοζαμίνες σε β-σύνδεση. Τα σπονδυλωτά δεν μπορούν να τη χωνεύσουν (Cerqueira, 2010). Η θερμοχημική αποακετυλίωση της σε αλκαλικό περιβάλλον την μετατρέπει στον πολυαμινοσακχαρίτη χιτοζάνη.

Η χιτοζάνη ή αλλιώς πολυ-β-(1,4)-2-αμινο-δεοξυ-β-γλυκοπυρανόζη είναι ένας γραμμικός πολυσακχαρίτης που περιέχει στο μόριο του τρεις δραστικές λειτουργικές ομάδες. Μία αμινομάδα που απαντάται στη θέση C-2 και δύο υδροξυλομάδες στις θέσεις C-3 και C-6 (Kumar et al., 2020; Huber et al., 2009).



**Εικόνα 21** Χημική δομή της χιτίνης (α) και της χιτοζάνης (β) (Kumar et al., 2020)

Χάρη στη χημική δομή της η χιτοζάνη μετατρέπεται σε στήριγμα ακινητοποίησης και δύναται να αξιοποιηθεί στην κατασκευή φορέων ενζύμων και κυττάρων. Προνόμια της χιτοζάνης αριθμούν η βιοσυμβατότητα, βιοαποδομησιμότητα και μη τοξικότητα και η βιβλιογραφία την αναφέρει σαν βακτηριοστατικό και μυκητοστατικό παράγοντα.

Ο σχηματισμός φιλμ από χιτοζάνη βασίζεται στις πολυκατιονικές ιδιότητες της δημιουργώντας μήτρα μεμβράνης ή γέλη. Αυτή πραγματοποιείται από τη σχάση τμημάτων του μορίου και την αναμόρφωσή του.



## 4.2 Ιδιότητες

### 4.2.1 Βαθμός αποπροτονίωσης DD και Διαλυτότητα

Η χιτοζάνη συνιστάται από επαναλαμβανόμενες μονάδες N-ακετυλογλυκοζαμίνης και D-γλυκοζαμίνης. Αυτό το συμπολυμερές παράγεται μέσω αντικατάστασης των ακέτυλο- ομάδων ( $-C_2H_3O$ ) της χιτίνης από άμινο ομάδες ( $-NH_2$ ) με μια διαδικασία που ονομάζεται αποακετυλίωση. Ο βαθμός αποακετυλίωσης (DD) της χιτοζάνης είναι το ποσοστό των μονάδων D-γλυκοζαμίνης επί του συνόλου των μονάδων N-ακετυλογλυκοζαμίνης και D-γλυκοζαμίνης και τα συμπολυμερή με βαθμό αποακετυλίωσης μεγαλύτερο του 50% θεωρούνται χιτοζάνη. Στο εμπορικά διαθέσιμο προϊόν το ποσοστό αυτό ποικίλει μεταξύ 70-90%. (Kou et al., 2021; Mohammadi et al., 2021).

Τα μονομερή της χιτοζάνης αποτελούνται από μία αμινομάδα και δύο υδροξυλομάδες. Όταν η χιτοζάνη περιέχει στην δομή της τις ελεύθερες αμινομάδες είναι αδιάλυτη στο νερό σε ουδέτερο pH και για την παρασκευή υδατοδιαλυτού διαλύματος χιτοζάνης είναι αναγκαία η προσθήκη αραιωμένου όξινου διαλύματος σε όξινο περιβάλλον. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οι αμινικές ομάδες  $-NH_2$  μετατρέπονται σε προτονιωμένες αμινομάδες  $-NH_3^+$ , των οποίων τα θετικά φορτία οδηγούν σε απώθηση τις μακρομοριακές αλυσίδες και επιτρέπουν τη διείσδυση μορίων νερού και τη διαλυτοποίηση του μορίου (Huber et al., 2009; Kumar et al., 2019). Η ικανότητα του μορίου να σχηματίζει πολλαπλά συμπλέγματα και οι αντιμικροβιακές ιδιότητες οφείλονται στην παρουσία των αμινομάδων (Huber et al., 2009). Το pH 6 με 6,5 αποτελεί το όριο διαχωρισμού της διαλυτότητας της χιτοζάνης, αφού κάτω από αυτό οι αμινομάδες φορτίζονται θετικά, προτονιώνονται και καθιστούν το πολυμερές διαλυτό στο νερό ενώ με την αύξηση του pH επέρχεται η αποπροτονίωση και επικρατεί η αδιάλυτη μορφή (Mohammadi et al., 2021). Η ιδιότητα αυτή διαφοροποιεί τον πολυσακχαρίτη από άλλα υδροκολλοειδή τα οποία ως επί των πλείστων είναι είτε ουδέτερα είτε αρνητικά φορτισμένα σε όξινο περιβάλλον (Basumatary et al., 2020).

### 4.2.2 Μοριακό βάρος

Η εμπορικά διαθέσιμη χιτοζάνη μπορεί να βρεθεί με τρεις μορφές ανάλογα με το μοριακό της βάρος. Διαιρείται έτσι σε χαμηλού, μεσαίου και υψηλού μοριακού

βάρους και διαφοροποιεί τις ιδιότητες του σχηματιζόμενου διαλύματος. Έτσι για παράδειγμα, αναφέρεται στην βιβλιογραφία πως η υψηλού μοριακού βάρους σύσταση προσδίδει μεγαλύτερη αγωγιμότητα, γωνία επαφής, ιξώδες και επιφανειακή τάση και βελτιώνει την ιδιότητα φραγμού νερού και τη δύναμη εφελκυσμού. Εν τούτοις, υστερεί στον εμποδισμό των βακτηρίων σε αντίθεση με το χαμηλότερου μοριακού βάρους προϊόν (Kumar et al., 2019). Αξίζει να σημειωθεί, πως τα χαρακτηριστικά του διαλύματος και κατ' επέκταση του σχηματιζόμενου φιλμ ενδέχεται να διαφοροποιούνται ανάλογα με τις τεχνικές από τις οποίες παράγεται.

#### **4.2.3 Αντιμικροβιακές Ιδιότητες**

Είναι ευρέως διαδεδομένες οι ιδιότητες της χιτοζάνης να σκοτώνει gram θετικά και αρνητικά βακτήρια, νηματώδεις μύκητες και ζύμες, όμως ο ακριβής μηχανισμός δεν είναι απόλυτα διαπιστευμένος και πληθώρα μηχανισμών έχουν προταθεί. Μερικοί από αυτούς υπογραμμίζουν α) τις χηλικές ιδιότητες του βιομορίου το οποίο με τη δέσμευση μετάλλων αποτρέπει την ανάπτυξη μικροβίων, β) τον σχηματισμό εξωτερικής επίστρωσης στα κύτταρα εμποδίζοντας ζωτικές λειτουργίες τους-μηχανισμός που αφορά την υψηλού μοριακού βάρους χιτοζάνη και γ) τη διείσδυση στον πυρήνα, της χαμηλού μοριακού βάρους χιτοζάνης που ενώνεται με το γενετικό υλικό και παρεμβαίνοντας στην σύνθεση mRNA και πρωτεϊνών οδηγεί στον θάνατο των κυττάρων. Τέλος, μείωση της ανάπτυξης του πληθυσμού προκαλείται και με την παρέμβαση στα ενεργά κέντρα μεταβολικών ενζύμων (Kumar et al., 2020; Kumar et al., 2019).

Ο πλέον επικρατής μηχανισμός για τις αντιμικροβιακές ιδιότητες της χιτοζάνης προτείνει την λύση των μεμβρανών των κυττάρων των μικροοργανισμών λόγω του διαφορετικού φορτίου: οι θετικά φορτισμένες αμινομάδες του πολυσακχαρίτη με τις αρνητικά φορτισμένες μεμβράνες των κυττάρων των μικροοργανισμών οδηγούν σε σφοδρές αλλαγές στην επιφάνεια του κυττάρου με τη διαρροή των εσωτερικών του στοιχείων και τελικά στον θάνατό του (Kumar et al., 2019). Οι αντιμικροβιακές ιδιότητες προέρχονται από τη φύση της χιτοζάνης αλλά είναι εφικτή και η ενίσχυσή τους με την προσθήκη νανοϋλικών ή και φυτικής προέλευσης ενεργών συστατικών (Basumatary et al., 2020).

#### **4.2.4 Αντιοξειδωτικές Ιδιότητες**

Οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες της χιτοζάνης οφείλονται στη σαρωτική δράση χηλικών μεταλλικών ιόντων δέσμευσης ελεύθερων ριζών. Τα μεταλλικά ιόντα εμποδίζουν την δωρεά υδρογόνου προλαμβάνοντας την οξειδωτική αλληλουχία (Kumar et al., 2020; Dinya et al., 2018). Ακόμη, όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός αποακετυλίωσης τόσο περισσότερη είναι η βελτίωση της δραστηριότητας των παραπάνω διεργασιών και άρα και των αντιοξειδωτικών ιδιοτήτων (Kumar et al., 2020). Βελτιωμένες αντιοξειδωτικές ιδιότητες παρουσιάζουν επίσης τα νανοσωματίδια της χιτοζάνης (Dinya et al., 2018).

#### **4.2.5 Βιολογικές ιδιότητες βιοσυμβατότητας**

Τα δομικά χαρακτηριστικά της χιτοζάνης ορίζουν την βιοδιασπασιμότητα, βιοσυγκολλητικότητα και τη βιοσυμβατότητά της. Παράγοντες που επηρεάζουν την βιοαποικοδομησιμότητα είναι ο βαθμός ακετυλίωσης, το μοριακό βάρος, το pH ακόμα και η μέθοδος παρασκευής της χιτοζάνης. Άλλες βιολογικές ιδιότητες που έχουν σημειωθεί για την χιτοζάνη είναι ο μη τοξικός, βιοδραστικός, προσροφητικός χαρακτήρας της όπως και αντιόξινης, κατά του έλκους και αντικαρκινικές ιδιότητες. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί η υπολιπιδαιμική δραστηριότητα και η δράση ως αντιπηκτικό αίματος (Zargar et al., 2015).

#### **4.2.6 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα στη δημιουργία φιλμ**

Σε σύγκριση με άλλα βιοπολυμερή η χιτοζάνη είναι ευρέως διαδεδομένη για τις αντιοξειδωτικές, αντιβακτηριακές και αντιμυκητιακές της ιδιότητες και έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία νανოსύνθετων μεμβρανών και επιστρώσεων λόγω διαφόρων ιδιοτήτων όπως η διαλυτότητα σε ασθενή οξέα, ικανότητα σχηματισμού φιλμ, επιλεκτική διαπερατότητα σε αέρια (οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα) (Basumatary et al., 2020). Παρά τη βιοδιασπασιμότητα του μορίου, οι δραστικές αμινο ομάδες, προσφέρουν τη δυνατότητα χημικών τροποποιήσεων, και κατ' επέκταση σχηματισμού μεγάλης ποικιλίας ωφέλιμων παραγώγων με βελτιωμένες ιδιότητες (Zargar et al., 2015). Ωστόσο, ένας σημαντικός περιορισμός που αναφέρεται στη βιβλιογραφία είναι η αδυναμία να δράσει ως φραγμός εξάτμισης υδρατμών και κακές μηχανικές ιδιότητες, προκλήσεις που μελετώνται προς αντιμετώπιση με την προσθήκη άλλων συστατικών (Basumatary et al., 2020).

Πειραματικά έχει δοκιμαστεί ο εμβολιασμός άλλων πολυμερών στην χιτοζάνη για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της. Ειδικότερα, ο συνδυασμός με πρωτεΐνες ή λιπίδια προσφέρουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Ο πλέον κυρίαρχος τρόπος αναβάθμισης του μορίου είναι η χρήση του σαν μήτρα στην οποία συνδέονται νάνο-συστατικά βελτιώνοντας τις υπάρχουσες θετικές του ιδιότητες και αναβαθμίζοντας τα μειονεκτήματά του. Αξιοσημείωτη είναι και η βελτίωση της φυσικής, μηχανικής και θερμικής σταθερότητας αλλά και των αντιοξειδωτικών και αντιμικροβιακών ιδιοτήτων μέσω φυσικών ή χημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ χιτοζάνης και μετάλλου/ οξειδίου μετάλλου, άνθρακα, πολυμερούς ή αργίλου τα οποία έχουν δοκιμαστεί σε διάφορους τομείς όπως αυτών των τροφίμων, των βαφών και του περιβάλλοντος (Kumar et al., 2019; Kumar et al., 2020).

#### **4.3 Εφαρμογές**

Οι ιδιότητες της χιτοζάνης έχουν στρέψει το ενδιαφέρον της έρευνας σε διάφορους τομείς με σκοπό την αξιοποίηση του βιομορίου. Η χιτοζάνη δύναται να αξιοποιηθεί για ανάπτυξη εφαρμογών που αφορούν την επούλωση τραυμάτων και εγκαυμάτων, την παραγωγή τεχνητού δέρματος, τη συντήρηση τροφίμων και τα καλλυντικά σε προϊόντα περιποίησης δέρματος και μαλλιών (Huber et al., 2009).

Εφαρμογές της χιτοζάνης και των παραγώγων της υπάρχουν τόσο στη βιοϊατρική για τη δημιουργία χειρουργικών ραμμάτων, επιδέσμων και βιοαποδομήσιμων σφουγγαριών, φακών επαφής, μήτρας για την παράδοση φαρμάκων (σε μικροσφαίρες, μικροκάψουλες, μεμβράνες και συμπιεσμένα δισκία), μεμβράνες αιμοκάθαρσης και τεχνητά αιμοφόρα αγγεία όσο και στην οδοντιατρική για ποικίλα ορθοπεδικά υλικά. Υπάρχει, ακόμη, ενδεικτικά η αξιοποίηση της ως αντικαρκινικός, αντιπηκτικός του αίματος, αιμοστατικός, υποχληστερολαιμικός και αντιθρομβογόνο παραγοντας. Στον τομέα της γεωργίας, έχει δοκιμαστεί σε λιπάσματα και μυκητοκτόνα επικάλυψης σπόρων και φρούτων και στην μηχανική νερού στην επεξεργασία λυμάτων, ανάκτηση μεταλλικών ιόντων, φυτοφαρμάκων και βαφών (Zargar et al., 2015).

## Μέρος Β – Πειραματικό Μέρος

### Κεφάλαιο 1. Σκοπός της εργασίας

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που απασχολεί την τεχνολογία τροφίμων, είναι η μειωμένη διάρκεια ζωής των φρούτων και των λαχανικών και η υποβάθμιση της ποιότητας, λόγω των διεργασιών που πραγματοποιούνται κατά την ωρίμανσή τους. Ως εκ τούτου, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη χρήσης συσκευασιών, που θα παρατείνουν την διάρκεια ζωής των φρούτων και των λαχανικών, θα τα προστατεύουν από μικροοργανισμούς και θα μειώσουν επίσης το πρόβλημα των αποβλήτων των τροφίμων. Ο πιο δημοφιλής τρόπος που χρησιμοποιείται είναι η πλαστική συσκευασία, ωστόσο δημιουργεί αναρίθμητα προβλήματα στο περιβάλλον. Ανάμεσα σε διάφορες λύσεις που έχουν προταθεί για την αντικατάσταση της πλαστικής συσκευασίας, είναι η τεχνολογία των εδώδιμων επιστρώσεων, η οποία είναι μία πολλά υποσχόμενη μέθοδος. Σκοπός λοιπόν της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, είναι η δοκιμή εφαρμογής ενός καινοτόμου διαλύματος που σχηματίζει στην επιφάνεια φρούτων και λαχανικών εδώδιμη επίστρωση, προκειμένου να αυξήσει την διάρκεια ζωής τους, να εξασφαλίσει την ασφάλειά τους και να διατηρήσει την ποιότητά τους, εξαλείφοντας την πλαστική συσκευασία και τα επιζήμια αποτελέσματά της χρήσης της. Η εφαρμογή, έγινε σε αγγούρια που είναι ένα χαρακτηριστικό και αντιπροσωπευτικό παράδειγμα φρούτου που συσκευάζεται με πλαστικό μιας χρήσης σε πολλές χώρες της Ευρώπης. Μέσω του πειράματος αυτού, δοκιμάστηκαν διάφορα διαλύματα εδώδιμων επιστρώσεων που παρασκευάστηκαν από την εταιρεία kitocoat<sup>1</sup> η οποία είναι τεχνοβλαστός του Functional & NanoMaterials Group του KTH Royal Institute of Technology (Σουηδία, Στοκχόλμη). Η αποτελεσματικότητα των διαλυμάτων αλλά και η εκτίμηση της διάρκειας ζωής και της φρεσκότητας των αγγουριών, έγινε ελέγχοντας μία σειρά από φυσικές και χημικές παραμέτρους.

---

<sup>1</sup> Βλέπε και <https://kitocoat.com/>

## Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή πειραματικού μέρους

### 2.1 Περιοχή διεξαγωγής πειράματος

Τα πειράματα διεξήχθησαν στα εργαστήρια του Functional & NanoMaterials Group (FNM) του Καθηγητή Joydeep Dutta, Department of Applied Physics, KTH Royal Institute of Technology, κατά τη διάρκεια της περιόδου Σεπτεμβρίου-Νοεμβρίου 2023.

### 2.2 Πείραμα A

#### 2.2.1 Σκοπός

Σκοπός του πειράματος A ήταν η δημιουργία και τυποποίηση της πειραματικής διαδικασίας, η συλλογή του απαραίτητου εξοπλισμού, η προμήθεια χημικών, η εύρεση κατάλληλων χώρων επεξεργασίας και αποθήκευσης των καρπών αγγουριών. Ακόμη, η εκμάθηση των φυσικοχημικών δοκιμών, η μελέτη της ωρίμανσης των καρπών αγγουριών και του τρόπου που επιδρά σε αυτά η εδώδιμη επίστρωση.

#### 2.2.2 Παραλαβή και χειρισμός πρώτων υλών

Φρέσκα αγγούρια θερμοκηπίου (*Cucumis sativus*) με χώρα προέλευσης τη Σουηδία παραλήφθηκαν στο εργαστήριο την 5<sup>η</sup> μέρα μετά τη συγκομιδή τους. Τα αγγούρια είχαν μήκος περίπου 30 εκατοστά και ήταν τυλιγμένα σε συσκευασία πλαστικών υμενίων τύπου πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Ακολούθησε διαλογή και απόρριψη των καρπών που είχαν ελαττώματα (ουλές, σημάδια μη φυσικά), οι οποίοι αποτέλεσαν το 10% του συνόλου. Στη συνέχεια, τα αγγούρια τοποθετήθηκαν σε ψυκτικό θάλαμο 8 βαθμών Κελσίου μέχρι τη χρήση τους (~24 ώρες).

Η σύσταση όλων των διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν από τον Dr. Fei Ye, στελέχους της εταιρείας Kitocoat. Για λόγους εμπορικού ανταγωνισμού δεν μας επιτρέπεται η δημοσίευση της σύστασής τους και τα ονόματα που χρησιμοποιούνται είναι ενδεικτικά.

#### 2.2.3 Εφαρμογή επικάλυψης εδώδιμης μεμβράνης και πειραματικός σχεδιασμός

Ένα σύνολο από 39 αγγούρια (ολόκληρα και μη ξεφλουδισμένα) χρησιμοποιήθηκαν στο A πείραμα. Τα αγγούρια διαιρέθηκαν σε 2 κατηγορίες: επικαλυμμένα και μη (μάρτυρες). Η επικάλυψη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σερπιστολιού σπρέι συνδεδεμένο με συσκευή πεπιεσμένου αέρα της εταιρείας Biltema.

Μετά την αφαίρεση της πλαστικής συσκευασίας, οι καρποί των αγγουριών τοποθετήθηκαν μέσα σε επαγωγό και ψεκάστηκαν έτσι ώστε να καλυφθεί ολόκληρη η επιφάνεια τους, περιστρέφοντας τα. Το διάστημα για να στεγνώσει το υλικό επικάλυψης, μετρήθηκε στα 10-15 λεπτά.

Δοκιμάστηκαν τρία είδη εδώδιμων επιστρώσεων που ονομαστήκαν Kito-α, Kito-β & Kito-γ, και διέφεραν ως προς τα συστατικά εμπλουτισμού της χιτοζάνης. Δημιουργήθηκαν, έτσι 3 ομάδες επικαλυμμένων καρπών, από 9 δείγματα η κάθε μία, και τοποθετήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος  $22 \pm 1$  °C, με 50% σχετική υγρασία (RH). Επιπλέον, δημιουργήθηκαν δύο ομάδες μαρτύρων, μία με πλαστικό υμένιο LDPE και μία χωρίς πλαστικό υμένιο, οι οποίες τοποθετήθηκαν στις ίδιες συνθήκες. Σε κάθε χρόνο δειγματοληψίας (βλέπε παρακάτω) η φρεσκότητα των αγγουριών εκτιμήθηκε με αισθητηριακές μεθόδους: εμφάνιση και συνεκτικότητα και αναλυτικές μεθόδους: α) απώλεια βάρους, β) ολικά διαλυτά στερεά, γ) ολικό φαινολικό περιεχόμενο, δ) αντιοξειδωτική ικανότητα, ε) ογκομετρούμενη οξύτητα και στ) το pH του χυμού.

**Πίνακας 4.** Πειραματικός σχεδιασμός Α πειράματος

	Ομάδες	Ημέρες δειγματοληψίας (εκτός της ημέρας 0*)	Σύνολο καρπών αγγουριών (εκτός της ημέρας 0*)	Παράμετροι
1	<b>Kito-α</b>	2/5/9/13	3+3+1+2 = 9	Εμφάνιση
2	<b>Kito-β</b>	2/5/9/13	3+3+1+2 = 9	Απώλεια βάρους pH χυμού
3	<b>Kito-γ</b>	3/9/13/15	3+2+2+2 = 9	Συνεκτικότητα
4	<b>Μάρτυρας χωρίς πλαστικό</b>	2/5/9/13	2+2+1+1 = 6	Οξύτητα Ολικά διαλυτά στερεά
5	<b>Μάρτυρας με πλαστικό</b>	2/5/9/13	2+2+1+1 = 6	Ολικό φαινολικό περιεχόμενο Αντιοξειδωτική ικανότητα με την μέθοδο DPPH

\* Την ημέρα 0, τρεις καρποί αγγουριών χρησιμοποιήθηκαν για αναλύσεις για τη δημιουργία των δεδομένων βάσης.

### **1. Kito-α και Kito-β**

Το πείραμα είχε διάρκεια 13 ημέρες και η δειγματοληψία έγινε στις ημέρες 0/2/5/9/13 κατά τις οποίες ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 3/3/3/1/2 αντίστοιχα.

### **2. Kito-γ**

Το πείραμα είχε διάρκεια 15 ημέρες και η δειγματοληψία έγινε στις ημέρες 0/3/9/13/15 κατά τις οποίες ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 3/3/2/2/2 αντίστοιχα.

### **3. Ομάδα μάρτυρα με πλαστικό – Ομάδα μάρτυρα χωρίς πλαστικό**

Το πείραμα είχε διάρκεια 13 ημέρες και η δειγματοληψία έγινε στις ημέρες 0/2/5/9/13 κατά τις οποίες ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 3/2/2/1/1 αντίστοιχα.

Την ημέρα 0, τρία δείγματα χρησιμοποιήθηκαν για αναλύσεις για τη δημιουργία των δεδομένων βάσης. Ο αρχικός σχεδιασμός του πειράματος προέβλεπε ότι η συνολική χρονική διάρκεια του πειράματος θα είναι 6 ημέρες με συχνότητα δειγματοληψίας κάθε δύο ημέρες (2,4,6) και αριθμό δειγμάτων ανά ημέρα δειγματοληψίας τρία. Ωστόσο, την 5<sup>η</sup> ημέρα διαπιστώθηκε ότι η κατάσταση ωρίμανσης των αγγουριών δεν είχε προχωρήσει και κρίθηκε σκόπιμο να γίνει επέκταση του χρονικού διαστήματος του πειράματος, ώστε οι αλλοιώσεις να είναι πλέον εμφανείς. Έτσι έγινε επανασχεδιασμός του πειράματος με ελάχιστη χρονική διάρκεια 13 ημερών.

## **2.3 Πείραμα Β**

### **2.3.1 Σκοπός**

Σκοπός του Β πειράματος ήταν η ανάδειξη του βέλτιστου διαλύματος επικάλυψης, ώστε να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής των καρπών και να διατηρεί τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους. Οι επιστρώσεις διαφοροποιούνταν ως προς το μοριακό βάρος, τη συγκέντρωση της χιτοζάνης και τα συστατικά.

### **2.3.2 Βελτιστοποίηση πειραματικών συνθηκών**

Πριν την έναρξη του πειράματος Β, προηγήθηκε βελτιστοποίηση του πειραματικού σχεδιασμού που έκρινε σκόπιμο να παραληφθούν οι μέθοδοι προσδιορισμού των ολικών διαλυτών στερεών, των ολικών φαινολικών και της οξύτητας, καθώς από τα αποτελέσματα αυτών των μεθόδων, από το πείραμα Α, οι τιμές τους παρέμεναν σταθερές χωρίς να επηρεάζονται από τις εδώδιμες επιστρώσεις. Επιπλέον, προτάθηκε και εφαρμόστηκε η αντικατάσταση των καρπών αγγουριών 30 εκ. με μίνι



καρπούς αγγουριών 15-22 εκ. για τον γρηγορότερο και ευκολότερο χειρισμό και τέλος, ο διαφορετικός τρόπος εφαρμογής της επικάλυψης από σπρέι με χρήση πινέλου, αφού θεωρήθηκε πως η ποσότητα και η διασπορά του διαλύματος ήταν ανεπαρκής. Για τον ίδιο λόγο έγινε προσπάθεια αύξησης του ιξώδους των διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν μέσω αύξησης των συγκεντρώσεων τους.

### **2.3.3 Παραλαβή και χειρισμός πρώτων υλών**

Φρέσκα αγγούρια (*Cucumis sativus*) με χώρα προέλευσης την Ισπανία παραλήφθηκαν στο εργαστήριο την 10<sup>η</sup> μέρα μετά τη συγκομιδή τους. Τα αγγούρια είχαν μήκος 14-22 εκατοστά και δεν ήταν τυλιγμένα σε πλαστική συσκευασία. Ακολούθησε πλύσιμο με απιονισμένο νερό, ελαφρύ στέγνωμά τους με απορροφητικό χαρτί, διαλογή και απόρριψη των καρπών που είχαν ελαττώματα και εμφανή σημάδια συρρίκνωσης στα άκρα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε κατάταξη τους σε ομάδες από μικρά (14-15 εκ.), μεσαία (15,1-17 εκ.) και μεγάλα (17,1-22 εκ.) αγγούρια ανάλογα με το μέγεθος και αφέθηκαν πάνω σε ανοξειδωτες σχάρες σε συνθήκες περιβάλλοντος ώστε να στεγνώσουν κατά τη διάρκεια της νύχτας (~12 ώρες).

Η σύσταση όλων των διαλυμάτων που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν από τον Dr. Fei Ye, μέλος της εταιρείας Kitocoat. Για λόγους εμπορικού ανταγωνισμού δεν μας επιτρέπεται η δημοσίευση της σύστασής τους και τα ονόματα που χρησιμοποιούνται είναι ενδεικτικά.

### **2.3.4 Εφαρμογή επικάλυψης εδώδιμης μεμβράνης και πειραματικός σχεδιασμός**

Ένα σύνολο από 96 αγγούρια (ολόκληρα και μη ξεφλουδισμένα) χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το πείραμα: 72 καρποί αγγουριών χωρίστηκαν σε έξι ομάδες και επικαλύφθηκαν με αντίστοιχο διάλυμα και 24 παρέμειναν ως έχουν σαν μάρτυρες. Για τη δημιουργία αυτών πραγματοποιήθηκε ίση κατανομή αγγουριών έτσι ώστε κάθε ομάδα να έχει ίσο αριθμό μικρών, μεσαίων και μεγάλων δειγμάτων για την επίτευξη όσο το δυνατόν ομοιόμορφων ομάδων. Η επικάλυψη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε χειρωνακτικά με πινέλο με τρόπο ώστε να καλυφθεί η επιφάνεια των αγγουριών 2 φορές και η επικάλυψη να είναι περίπου 30 ml/ φρούτο.

Από τις ομάδες μάρτυρα η μία τοποθετήθηκε σε συνθήκες περιβάλλοντος ( $22 \pm 1$  °C, 50%, σχετική υγρασία RH) και η άλλη σε ψυκτικό θάλαμο ( $8 \pm 1$  °C). Πέντε (5) ομάδες επικαλυμμένων αγγουριών τοποθετήθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος και μία (1) σε ψυκτικό θάλαμο.

Τα αποτελέσματα των βρώσιμων μεμβρανών ως προς την απώλεια βάρους, τη συνεκτικότητα, το pH του χυμού και την αντιοξειδωτική ικανότητα αξιολογούνταν σε τρία αγγούρια ανά ομάδα στις ημέρες 0, 3, 5 και 7. Την ημέρα 0 αναλύθηκαν 5 δείγματα για τη δημιουργία γραμμής βάσης. Τα αποτελέσματα των βρώσιμων επικαλύψεων ως προς την εμφάνιση των δειγμάτων πραγματοποιούνταν σε καθημερινή βάση με τη λήψη φωτογραφιών.

**Πίνακας 5.** Πειραματικός σχεδιασμός Β πειράματος

Ομάδες	Ημέρα δειγματοληψίας	Σύνολο δειγμάτων	Παράμετροι
1 <b>Μάρτυρας, 22°C</b>	0**/3/5/7	3* x 3 = 9	
2 <b>Kito-1</b>	0/3/5/7	3 x 3 = 9	Εμφάνιση
3 <b>Kito-2</b>	0/3/5/7	3 x 3 = 9	% απώλειας βάρους
4 <b>Kito-3</b>	0/3/5/7	3 x 3 = 9	pH
5 <b>Kito-4</b>	0/3/5/7	3 x 3 = 9	Συνεκτικότητα
6 <b>Kito-5</b>	0/3/5/7	3 x 3 = 9	Αντιοξειδωτική ικανότητα με την μέθοδο DPPH
7 <b>Μάρτυρας, 8°C</b>	0/5/7	2 x 4 = 8	
8 <b>Kito-2, 8°C</b>	0/5/7	2 x 4 = 8	

\*3 ημέρες δειγματοληψίας επί 3 δείγματα στην κάθε μία

\*\* την ημέρα 0 αναλύθηκαν 5 δείγματα για τη δημιουργία των δεδομένων βάσης

## **Κεφάλαιο 3: Πειραματικές πορείες μεθόδων εκτίμησης φρεσκότητας**

### **3.1 Εμφάνιση**

Για την οπτική αξιολόγηση της πορείας ωρίμανσης των αγγουριών τα δείγματα φωτογραφούνται καθημερινά έως το πέρας του πειράματος.

#### **3.1.1 Εξοπλισμός**

- Ψηφιακή κάμερα Nikon D7500

#### **3.1.2 Μεθοδολογία**

Οι καρποί των αγγουριών φωτογραφίζονται καθημερινά με ψηφιακή κάμερα. Οι συνθήκες φωτισμού, οι ρυθμίσεις της κάμερας και το φόντο είναι σταθερά ώστε η οπτική σύγκριση των φωτογραφιών να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική.

### **3.2 Μέτρηση απώλειας βάρους**

#### **3.2.1 Δείγματα και εξοπλισμός**

- Αναλυτικός ζυγός (Εταιρία A&D, μοντέλο FX-1200i, ακρίβειας  $\pm 0,01$  g)
- Αγγούρια

#### **3.2.2 Μεθοδολογία ανάλυσης**

Τα δείγματα των αγγουριών ζυγίζονται την ημέρα 0 και την ημέρα καταστροφής τους με τη βοήθεια αναλυτικού ζυγού. Η απώλεια βάρους προσδιορίζεται για κάθε αγγούρι ως ποσοστό απώλειας του αρχικού βάρους χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο τύπο.

$$\text{Απώλεια βάρους \%} = \frac{\text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος}}{\text{αρχικό βάρος}} * 100$$

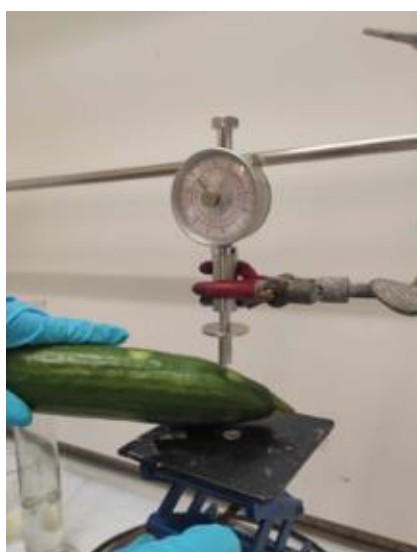
### **3.3 Προσδιορισμός συνεκτικότητας**

#### **3.3.1 Εξοπλισμός**

- GY-3 Πενετόμετρο

### 3.3.2 Πειραματική πορεία

Η σκληρότητα εξετάζεται με τη βοήθεια πενετομέτρου το οποίο μετράει τη μέγιστη δύναμη σε  $\text{kg}/\text{cm}^2$  με τη βοήθεια κυλινδρικού καθετήρα 8 mm. Τοποθετείται κάθετα στην επιφάνεια του φρούτου και εισάγεται σταδιακά σε αυτό μέχρι την παρεχόμενη ένδειξη ενός περίπου εκατοστού. Στη συνέχεια διαβάζεται η μέτρηση. Για την επίτευξη ομοιόμορφης πίεσης δημιουργήθηκε μία αυτοσχέδια δομή. Στο πείραμα Α πάρθηκαν 5 σημεία/δείγμα όπως φαίνεται στη φωτογραφία 3.3 ενώ στο πείραμα Β, 3 σημεία στο κέντρο και στα άκρα των καρπών και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τιμών.



**Εικόνα 23** Αυτοσχέδια δομή για την εισαγωγή του πενετομέτρου ομοιόμορφα (Προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 22** Σημεία εισαγωγής πενετομέτρου για την μέτρηση της συνεκτικότητας του αγγουριού (Προσωπικό αρχείο)

## 3.4 Παραλαβή δείγματος και παραγωγή εκχυλίσματος

### 3.4.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός

#### Δείγματα

- Δείγματα χυμού αγγουριών

#### Όργανα

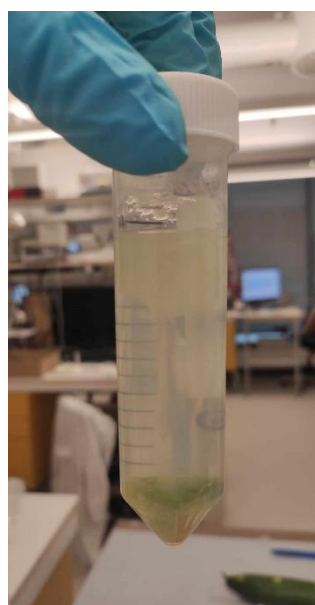
- Φυγόκεντρος HERMLE Z323
- Αποχυμωτής JE5511
- Φυγοκεντρικοί σωλήνες των 50 mL

### 3.4.2 Πειραματική πορεία

Αρχικά κόβονται 3 κομμάτια από κάθε αγγούρι και συγκεκριμένα από τα δύο άκρα του και από τη μέση. Τα τρία αυτά κομμάτια, εισάγονται στον αποχυμωτή και παράγεται χυμός ο οποίος εισάγεται σε φυγοκεντρικούς σωλήνες των 40 mL. Παράλληλα, ο πολτός που παράγεται από τον αποχυμωτή, τοποθετείται σε απορροφητικό χαρτί και συμπιέζεται ώστε να συμπεριληφθεί το υγρό μέρος του στον τελικό χυμό από κάθε αγγούρι. Στη συνέχεια, μόλις συγκεντρωθούν 8 φυγοκεντρικοί σωλήνες, τοποθετούνται στις κατάλληλες υποδοχές της φυγοκέντρου, οι στροφές ρυθμίζονται στις 9500 rpm και ο χρόνος στα 13 λεπτά. Μόλις περάσει ο απαιτούμενος χρόνος, οι φυγοκεντρικοί σωλήνες εξάγονται από την φυγόκεντρο και παραλαμβάνεται το υπερκείμενο.



**Εικόνα 25** Χυμός αγγουριού στον φυγοκεντρικό σωλήνα πριν τη φυγοκέντρωση (Προσωπικό αρχείο)



**Εικόνα 24** Εκχύλισμα χυμού αγγουριού (Προσωπικό αρχείο)

### 3.5 Ολικά διαλυτά στερεά

Τα ολικά διαλυτά στερεά μετρήθηκαν με διαθλασίμετρο χειρός (KERN Analogue refractometer ORA 32BA).

#### 3.5.1 Αρχή μεθόδου

Η μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών, γίνεται για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης των σακχάρων που υπάρχουν σε ένα διάλυμα και πιο συγκεκριμένα

της σακχαρόζης, της γλυκόζης και της φρουκτόζης που αποτελούν το 60% της ξηρής μάζας των φρούτων (Lopresti et al., 2014). Ο προσδιορισμός τους, γίνεται με το διαθλασίμετρο το οποίο ποσοτικοποιεί την διάθλαση του φωτός που διαπερνά το διάλυμα, σε βαθμούς Brix.



**Εικόνα 26** Διαθλασίμετρο χειρός

### **3.5.2 Πειραματική πορεία**

Για την μέτρηση των ολικών διαλυτών στερεών, εισάγεται 1 σταγόνα από το εκχύλισμα του χυμού αγγουριού και διαβάζεται η ένδειξη σε βαθμούς Brix.

## **3.6 Μέτρηση pH**

### **3.6.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός Δείγματα**

- Χυμός αγγουριού

### **Υλικά και όργανα**

- pHμετρο inoLab pH 7110
- Ποτήρι ζέσεως

### **3.6.2 Πειραματική πορεία**

Πριν την τοποθέτηση του χυμού αγγουριού στη φυγόκεντρο, μετράται το pH, βυθίζοντας το ηλεκτρόδιο στον χυμό αγγουριού.

## **3.7 Ογκομετρούμενη οξύτητα**

Τα οξέα που περιέχονται στο εκχύλισμα του χυμού αγγουριού, αντιδρούν με πρότυπο διάλυμα NaOH συγκέντρωσης 0,1 M. Η ποσότητα του πρότυπου διαλύματος που καταναλώνεται χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της οξύτητας του αγγουριού η οποία εκφράζεται ως εκατοστιαία περιεκτικότητα του αγγουριού σε κιτρικό οξύ.

### **3.7.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός Δείγματα και αντιδραστήρια**

- Εκχυλίσματα χυμού αγγουριού

- Πρότυπο υδατικό διάλυμα NaOH 0,1 M
- Διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης

#### **Υλικά και όργανα**

- Αναλυτικός ζυγός
- Γυάλινο μπουκάλι των 1000 mL
- Αριθμημένο σιφώνιο των 10 mL
- Κωνική φιάλη των 100 mL
- Προχοΐδα των 50 mL ακρίβειας 0,1 mL
- Χαρτί ζύγισης

#### **3.7.2 Πειραματική πορεία**

**Προετοιμασία πρότυπου διαλύματος NaOH:** Το πρότυπο διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου, προετοιμάζεται ζυγίζοντας 4 g NaOH στον αναλυτικό ζυγό και στη συνέχεια διαλύοντάς τα σε 1 L απεσταγμένου νερού.

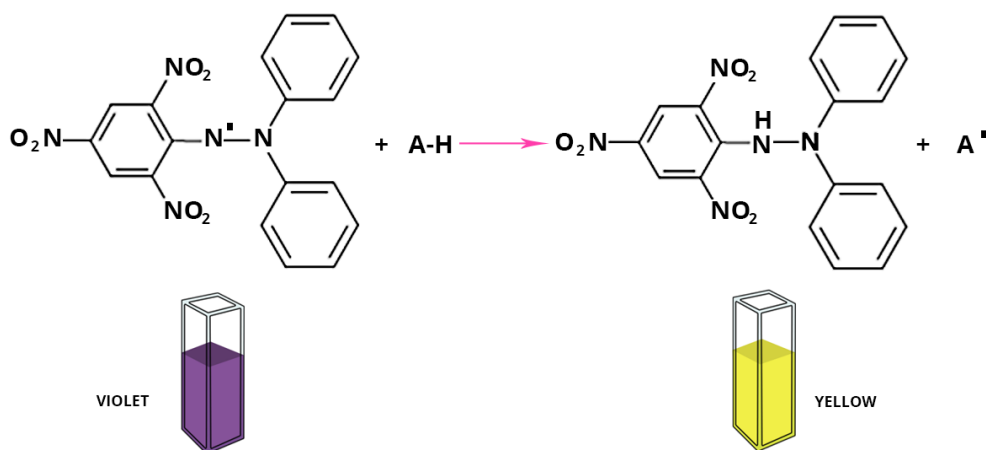
**Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας:** Στην προχοΐδα εισάγεται υδατικό διάλυμα NaOH και η αρχική ένδειξη σημειώνεται. 10 mL από το εκχύλισμα του χυμού αγγουριού μεταφέρονται με αριθμημένο σιφώνιο σε κωνική φιάλη των 100 mL και προστίθεται μικρή ποσότητα απεσταγμένου νερού, ώστε να αυξηθεί λίγο ο όγκος του διαλύματος. Στη συνέχεια, προστίθενται 2-3 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνης, το διάλυμα αναδεύεται ελαφρώς και αρχίζει η ογκομέτρηση μέχρι το διάλυμα να αποκτήσει ελαφρύ ρόδινο χρώμα που να διαρκεί. Τέλος διαβάζεται η τελική ένδειξη της προχοΐδας και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται άλλες 3 φορές. Η ογκομετρούμενη οξύτητα υπολογίζεται ως εξής:

$$\% \text{κιτρικό οξύ} = \frac{C_{\text{NaOH}} * V_{\text{NaOH}} * Mr_{\text{κιτρικού οξέος}}}{3 * V_{\text{δείγματος}}} * 100$$

#### **3.8 Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής ικανότητας με χρήση της ελεύθερης ρίζας DPPH**

Η μελέτη της αντιοξειδωτικής ικανότητας με τη χρήση της ρίζας DPPH\* βασίζεται στην αντίδραση της ελεύθερης ρίζας DPPH\* με τα υπό εξέταση, αντιοξειδωτικά μόρια του εκχυλίσματος. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αναγωγή του μονήρους ηλεκτρονίου του ατόμου του αζώτου της ελεύθερης ρίζας προς την αντίστοιχη υδραζίνη,

λαμβάνοντας ένα άτομο υδρογόνου από τα αντιοξειδωτικά (Gulcin & Alwasel, 2023). Η ρίζα 1,1-διφαινόλο-2πικρυλο-υδραζύλιο, είναι πολύ σταθερή με έντονο μωβ χρώμα. Μετά την αναγωγή της, μεταβάλλεται το χρώμα του διαλύματός της από μωβ σε κίτρινο και όσο πιο έντονη είναι η μεταβολή του χρώματος, τόσο πιο υψηλή είναι η συγκέντρωση της αντιοξειδωτικής ουσίας. Η ρίζα DPPH<sup>•</sup> παρουσιάζει μέγιστο απορρόφησης σε μήκος κύματος 517 nm.



**Εικόνα 27** Αντίδραση της ελεύθερης ρίζας DPPH με αντιοξειδωτική ουσία και η αντίστοιχη αλλαγή χρώματος

### 3.8.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός

#### Δείγματα και αντιδραστήρια

- Υπό μελέτη εκχυλίσματα
- DPPH (1,1-διφαινόλο-2πικρυλο-υδραζύλιο)
- Αιθανόλη 99,5%
- Ασκορβικό οξύ
- Απεσταγμένο νερό

#### Υλικά και όργανα

- Ογκομετρική φιάλη των 100 mL και πώμα
- Αλουμινόχαρτο
- Στατώ



- Δοκιμαστικοί σωλήνες και πώματα
- Αυτόματη πιπέτα μεταβλητού όγκου 100-1000  $\mu\text{L}$
- Χαρτί ζύγισης
- Υδροβολέας
- Κυψελίδα πολυστυρενίου 1,5-3 mL
- Αναλυτικός ζυγός Precisa XT220A
- Μαγνητικός αναδευτήρας
- Φασματοφωτόμετρο UV-Vis PerkinElmer Lambda 750

### 3.8.2 Πειραματική πορεία

#### Προετοιμασία δειγμάτων

**Παρασκευή πρότυπου διαλύματος ασκορβικού οξέος (500 ppm):** Σε αναλυτικό ζυγό ζυγίζονται 50 mg ασκορβικού οξέος, τα οποία μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και συμπληρώνεται αιθανόλη μέχρι τη χαραγή. Στη συνέχεια, το διάλυμα τοποθετείται σε μαγνητικό αναδευτήρα ώστε να διαλυθεί πλήρως το ασκορβικό οξύ στην αιθανόλη.

**Διάλυμα DPPH (0,1 mM):** Ζυγίζονται 3,94 mg DPPH σε αναλυτικό ζυγό και μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL. Έπειτα, συμπληρώνεται η ογκομετρική φιάλη με αιθανόλη μέχρι τη χαραγή, πωματίζεται και καλύπτεται με αλουμινοχαρτό. Διατηρείται σε σκοτεινό και δροσερό περιβάλλον για τουλάχιστον 20 λεπτά. Είναι πολύ σημαντικό, το διάλυμα DPPH να παρασκευάζεται καθημερινά και να προστατεύεται από το φως.

**Διάλυμα control:** 1 mL από το διάλυμα DPPH αναμειγνύεται με 1 mL αιθανόλη.

#### Εκτίμηση αντιοξειδωτικής ικανότητας

200  $\mu\text{L}$  εκχυλίσματος αγγουριού, μεταφέρονται σε δοκιμαστικό σωλήνα μαζί με 1 mL διαλύματος DPPH και προστίθενται 3,8 mL αιθανόλης. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες πωματίζονται και διατηρούνται σε σκοτεινό περιβάλλον για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών, μετράται η απορρόφηση του διαλύματος σε φασματοφωτόμετρο UV-Vis σε μήκος κύματος 517 nm.

Για τη μέτρηση της απορρόφησης, χρησιμοποιήθηκε τυφλό διάλυμα αιθανόλης.

Η % εξουδετέρωση της ρίζας DPPH υπολογίζεται από τον τύπο:

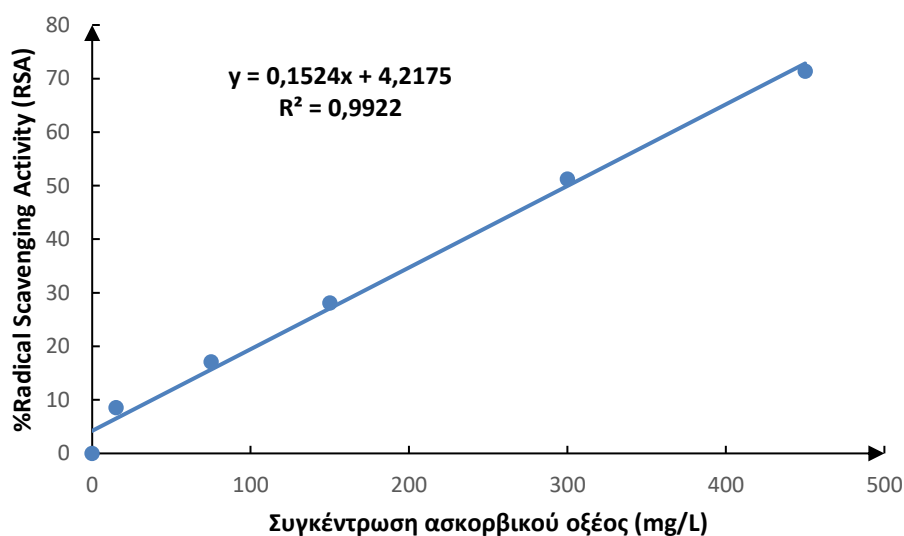
$$\%RSA = (A_o - A_s)/A_o * 100$$

όπου  $A_o$  η απορρόφηση του control σε μήκος κύματος 517 nm

$A_s$  η απορρόφηση του δείγματος σε μήκος κύματος 517 nm

### Προετοιμασία πρότυπης καμπύλης αναφοράς

Για την κατασκευή πρότυπης καμπύλης αναφοράς ασκορβικού οξέος, παρασκευάζονται από το αρχικό διάλυμα ασκορβικού οξέος, με διαδοχικές αραιώσεις, πρότυπα διαλύματα συγκεντρώσεων 15 mg/L, 75 mg/L, 150 mg/L, 300 mg/L και 450 mg/L. Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης, ακολουθείται η ίδια πειραματική πορεία με την ανάλυση των δειγμάτων, με την διαφορά ότι εισάγονται 200 μL πρότυπου διαλύματος σε δοκιμαστικό σωλήνα, αντί για εκχύλισμα αγγουριού.

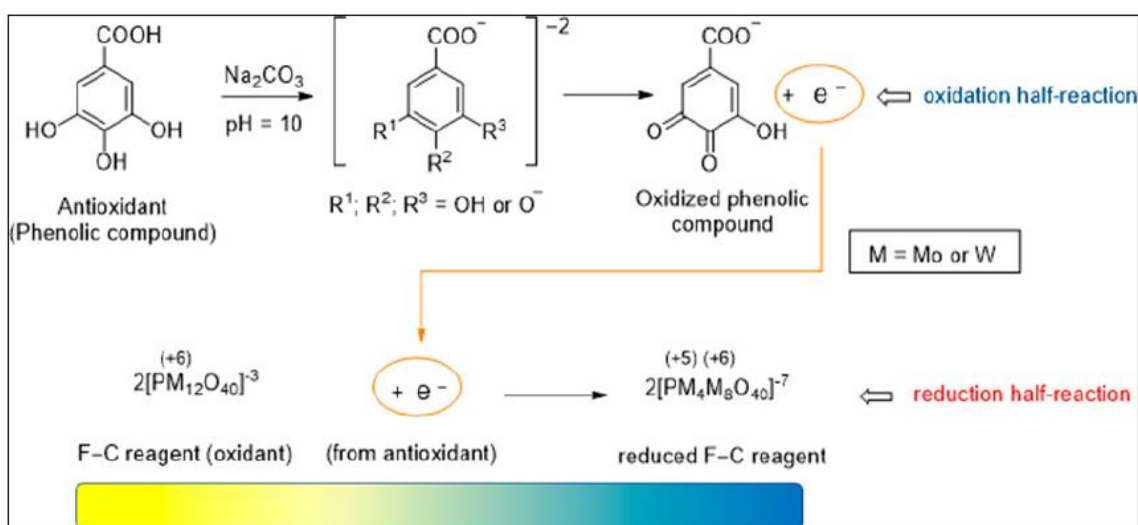


**Σχήμα 1.** Πρότυπη καμπύλη αναφοράς για την εκτίμηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του ασκορβικού οξέος

### 3.9 Προσδιορισμός ολικών φαινολικών με την μέθοδο Folin–Ciocâlțeu

#### 3.9.1 Αρχή μεθόδου

Για τον προσδιορισμό του φαινολικού περιεχομένου των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο Folin–Ciocâlțeu το οποίο περιέχει φωσφοβολφραμικό οξύ ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) και φωσφομολυβδικό οξύ ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ). Το συγκεκριμένο αντιδραστήριο, σε αλκαλικό περιβάλλον αντιδρά με τις φαινόλες με αποτέλεσμα αυτό να ανάγεται και οι φαινολικές ουσίες να οξειδώνονται. Κατά την αναγωγή του αντιδραστήριου, σχηματίζονται οξείδια που προσδίδουν στο διάλυμα μπλε χρώμα, ανάλογο με την συγκέντρωση των φαινολών (Lamuela-Raventós, 2017).



**Εικόνα 28** Συνολική αντίδραση αναγωγής του αντιδραστήριου Folin- Ciocâlțeu και μεταβολή του χρώματος (Pérez et al., 2023)

#### 3.9.2 Εργαστηριακός εξοπλισμός

##### Δείγματα και αντιδραστήρια

- Γαλλικό οξύ (Sigma-Aldrich)
- Αντιδραστήριο Folin–Ciocâlțeu (Sigma-Aldrich)
- Ανθρακικό νάτριο (Sigma-Aldrich)
- Αιθανόλη 99,5%
- Απεσταγμένο νερό
- Εκχυλίσματα χυμού αγγουριού

##### Υλικά και όργανα

- UV-Vis Spectrometer Lambda 750 (PerkinElmer)
- Vortex

- Αναλυτικός ζυγός (Precisa, XT 220A, ακρίβειας  $\pm 0,001\text{g}$ )
- Ογκομετρική φιάλη των 10 mL
- Ογκομετρική φιάλη των 100 mL
- Υδρόλουτρο
- Αυτόματη πιπέτα μεταβλητού όγκου 20-200  $\mu\text{L}$
- Αυτόματη πιπέτα μεταβλητού όγκου 100-1000  $\mu\text{L}$
- Πλαστικές κυψελίδες
- Δοκιμαστικοί σωλήνες

### 3.9.3 Πειραματική πορεία

#### Προετοιμασία δειγμάτων

**Stock διάλυμα γαλλικού οξέος (1000 ppm):** 100 mg γαλλικού οξέος ζυγίζονται στον αναλυτικό ζυγό και εισάγονται σε ογκομετρική φιάλη 100,0 mL, προστίθεται 1,0 mL αιθανόλης και αραιώνεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Το διάλυμα αναδεύεται. Από το stock διάλυμα, παρασκευάζονται με κατάλληλες αραιώσεις 4 πρότυπα διαλύματα συγκεντρώσεων 25 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L και 500 mg/L.

**Διάλυμα κορεσμένου  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (7%):** 7 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  μεταφέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL και αραιώνονται με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή. Το διάλυμα στη συνέχεια τοποθετείται σε μαγνητικό αναδευτήρα μέχρι να γίνει κορεσμένο.

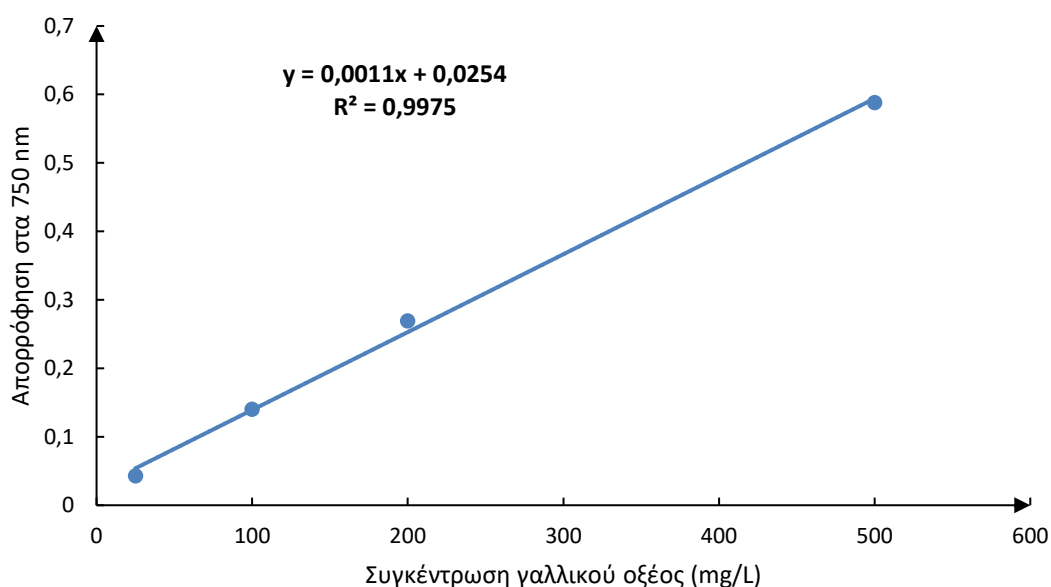
#### Προσδιορισμός φαινολικού περιεχομένου εκχυλισμάτων αγγουριών

Αρχικά, 125  $\mu\text{L}$  εκχυλίσματος χυμού αγγουριού μεταφέρονται σε γυάλινο δοκιμαστικό σωλήνα και προστίθενται 0,5 mL απεσταγμένου νερού και στη συνέχεια 125  $\mu\text{L}$  αντιδραστηρίου Folin–Ciocâlțeu. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες πωματίζονται και τοποθετούνται σε σκοτεινό περιβάλλον για 10 λεπτά. Έπειτα, εισάγονται 1,25 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  καθώς και 1 mL απεσταγμένο νερό. Τα διαλύματα πάλι πωματίζονται και διατηρούνται σε σκοτεινό περιβάλλον για 40 λεπτά. Μετά το πέρας αυτού του χρονικού διαστήματος, τα διαλύματα μεταφέρονται σε πλαστικές κυψελίδες και μετράται η απορρόφησή τους φασματοφωτομετρικά στα 750 nm. Παρασκευάζεται επίσης τυφλό διάλυμα, εισάγοντας σε πλαστική κυψελίδα 125  $\mu\text{L}$  αντιδραστηρίου FC, 1,25 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και 1,5 mL απεσταγμένο νερό, προκειμένου να γίνει διόρθωση του

σφάλματος που δημιουργείται από τις απορροφήσεις του διαλύτη και των υπόλοιπων αντιδραστηρίων.

### Κατασκευή πρότυπης καμπύλης

Σε 4 δοκιμαστικούς σωλήνες μεταφέρονται 125 μL από κάθε πρότυπο διάλυμα και σε κάθε δοκιμαστικό σωλήνα 0,5 mL απεσταγμένου νερού και στη συνέχεια προστίθενται 125 μL αντιδραστηρίου Folin-Ciocalteu. Τα διαλύματα τοποθετούνται για έως 10 λεπτά σε σκοτεινό περιβάλλον. Στη συνέχεια, σε όλα τα διαλύματα προστίθενται 1,25 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Τα μείγματα διατηρούνται ξανά σε σκοτεινό περιβάλλον για 40 λεπτά και οι απορροφήσεις μετρώνται σε μήκος κύματος 750 nm.



**Σχήμα 2.** Πρότυπη καμπύλη αναφοράς για την εκτίμηση των ολικών φαινολικών

## Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα και συζήτηση

### 4.1 Πείραμα Α

#### 4.1.1 Φωτογραφική αναπαράσταση των καρπών αγγουριών

##### Ομάδα μάρτυρα χωρίς πλαστικό



Ημέρα 0



Ημέρα 2



Ημέρα 5



Ημέρα 9



Ημέρα 13

Εικόνα 29 Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας μάρτυρα χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας

**Ομάδα kito-α**



**Ημέρα 0**

**Ημέρα 2**

**Ημέρα 5**

**Ημέρα 9**

**Ημέρα 13**

**Εικόνα 30** Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-α χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας

**Ομάδα kito-β**



**Ημέρα 0**



**Ημέρα 2**



**Ημέρα 5**



**Ημέρα 9**



**Ημέρα 13**

**Εικόνα 31** Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-β χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας



### Ομάδα kito-γ



Ημέρα 0

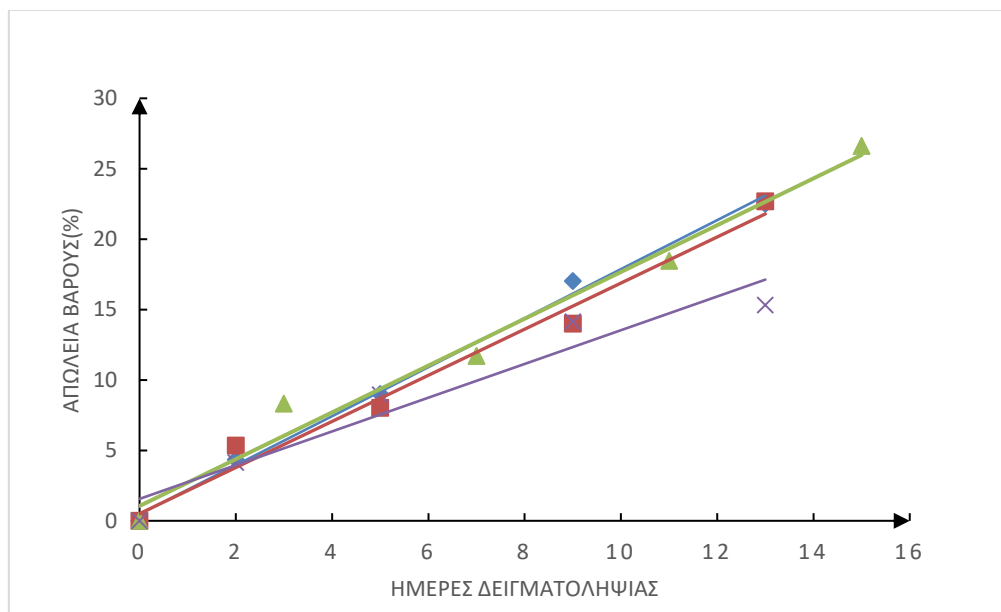
Ημέρα 3

Ημέρα 7

Ημέρα 13

Εικόνα 32 Φωτογραφική αναπαράσταση της ομάδας kito-γ χωρίς πλαστικό σε κάθε μέρα δειγματοληψίας

### 4.1.2 Απώλεια βάρους



**Σχήμα 3.** Ρυθμός απώλειας βάρους (  $\blacklozenge$  επικαλυμμένη ομάδα kito-α:  $y = 1,7399x + 0,471$ ,  $\blacksquare$  επικαλυμμένη ομάδα kito-β:  $y = 1,6372x + 0,5089$ ,  $\blacktriangle$  επικαλυμμένη ομάδα kito-γ:  $y = 1,6614x + 1,0544$ ,  $\times$  ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό:  $y = 1,1976x + 1,557$ )

**Πίνακας 6.** Εξισώσεις ευθειών ρυθμού απώλειας βάρους

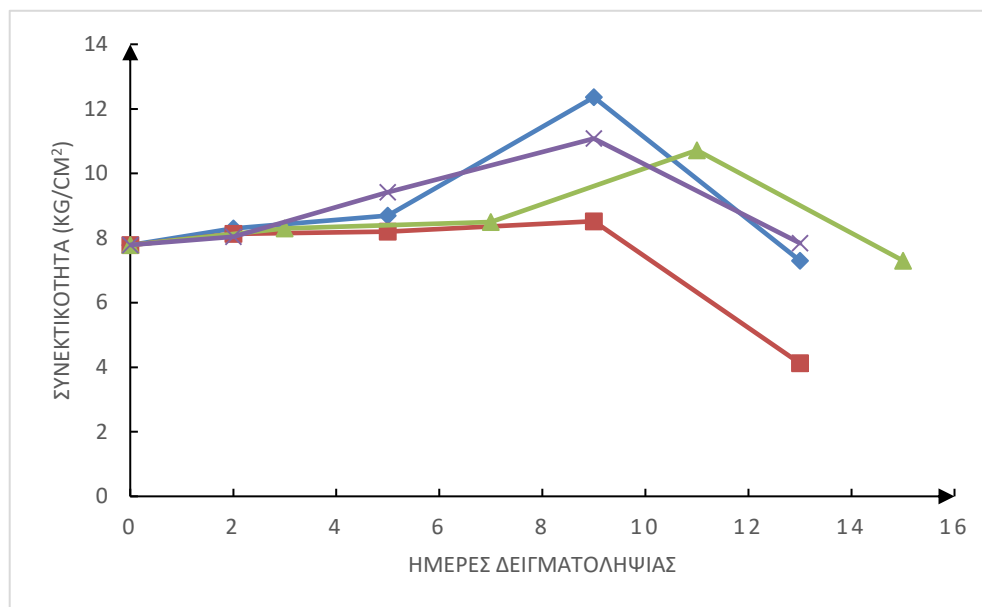
<b>Ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό</b>	$y = 1,2418x + 1,6067$
<b>Ομάδα μάρτυρας με πλαστικό</b>	$y = 0,1395x - 0,0931$
<b>Ομάδα kito-α</b>	$y = 1,7399x + 0,471$
<b>Ομάδα kito-β</b>	$y = 1,6372x + 0,5089$
<b>Ομάδα kito-γ</b>	$y = 1,6614x + 1,0544$

Από το **Σχήμα** τον **πίνακα 6** φαίνονται οι κλίσεις των ευθειών του ρυθμού της % απώλειας βάρους, από τις οποίες γίνεται αντιληπτό ότι η ομάδα του μάρτυρα χωρίς πλαστικό, έχει την μικρότερη κλίση και άρα εμφανίζει καλύτερο αποτέλεσμα σε σχέση με τις επικαλυμμένες ομάδες. Το εύρημα αυτό ωστόσο, δεν συμφωνεί με άλλες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί και μελετούν την ίδια παράμετρο σε επικαλυμμένα αγγούρια, εφόσον η επικάλυψη δημιουργεί ένα ημιπερατό στρώμα που εμποδίζει την απώλεια υγρασίας (Saha et al., 2016; Sarker et al., 2021; Yuan et al., 2023). Σύμφωνα με αυτές τις έρευνες, οι επικαλυμμένες ομάδες πρέπει να εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά ως προς την απώλεια βάρους, σε σύγκριση με την ομάδα του μάρτυρα. Η ασυμφωνία των ευρημάτων μπορεί να εξηγείται είτε από την ανεπάρκεια του τρόπου επικάλυψης των καρπών αγγουριών είτε από την μικρή ποσότητα του διαλύματος. Συγκεκριμένα, το διάλυμα εφαρμόστηκε με σπρέι το οποίο ενδεχομένως να μην κατάφερε να διασπείρει το διάλυμα κατάλληλα σε όλη την επιφάνεια των φρούτων. Έτσι, πραγματοποιείται το φαινόμενο της διαπνοής στους καρπούς αγγουριών και το νερό εγκαταλείπει τους φυτικούς ιστούς καθώς δεν βρίσκει ικανοποιητικό φραγμό από τις εδώδιμες επιστρώσεις.

Επιπροσθέτως, από τον **πίνακα 6** παρατηρείται ότι μεταξύ των επικαλυμμένων ομάδων, η ομάδα kito-β εμφανίζει την καλύτερη απόδοση λόγω της μικρότερης κλίσης της σε σύγκριση με τις κλίσεις των ευθειών των υπόλοιπων επικαλυμμένων ομάδων. Αυτό εξηγείται πιθανώς από την εμπλουτισμένη σύστασή της σε υλικά. Ωστόσο, η διαφορά ανάμεσα στις συμπεριφορές των επικαλύψεων, δεν είναι υψηλή με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η επανάληψη του πειράματος με βελτιστοποιημένες συνθήκες και επικαλύψεις.

Επιπλέον, από τον ίδιο πίνακα 6 φαίνεται ότι η ομάδα του μάρτυρα με πλαστικό, εμφανίζει με μεγάλη διαφορά την μικρότερη κλίση. Επομένως, η % απώλεια βάρους στους καρπούς αγγουριών με πλαστικό είναι πολύ μικρή, εφόσον το πλαστικό εμποδίζει την εγκατάλειψη του νερού από τους ιστούς του αγγουριού.

#### 4.1.3 Συνεκτικότητα



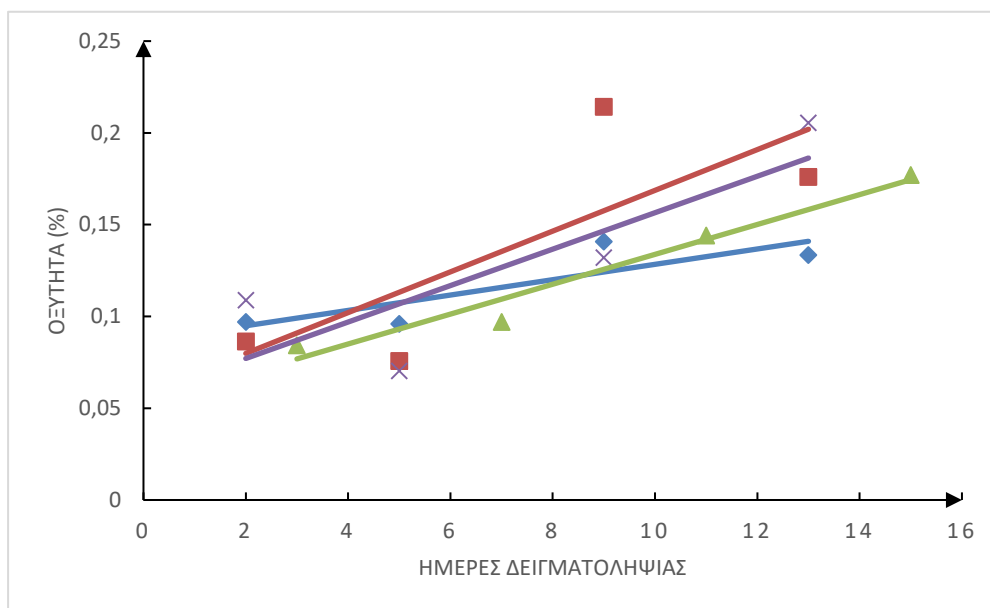
**Σχήμα 3.** Μεταβολή συνεκτικότητας κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης των αγγουριών (♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

Όπως έχει προαναφερθεί, τα αγγούρια είναι πολύ ευάλωτα στην απώλεια της συνεκτικότητας τους λόγω της απώλειας υγρασίας και της δράσης πηκτινολυτικών ενζύμων, που περιορίζουν την ακαμψία των φυτικών ιστών. Επομένως, είναι απαραίτητη μία επικάλυψη η οποία να επιβραδύνει την ωρίμανση των αγγουριών, και άρα να διατηρεί την συνεκτικότητά τους. Από το **Σχήμα 3** παρατηρείται ότι, η ομάδα kito-γ είναι εκείνη που καταφέρνει να καθυστερήσει περισσότερο την μείωση της συνεκτικότητας, εφόσον την 15<sup>η</sup> ημέρα δειγματοληψίας έχει την ίδια συνεκτικότητα με την τιμή των επικαλυμμένων ομάδων την 13<sup>η</sup> ημέρα. Το εύρημα αυτό, αποδεικνύεται και από τις φωτογραφίες στις οποίες φαίνεται ότι η ομάδα kito-γ την 13<sup>η</sup> ημέρα έχει πολύ μικρή συρρίκνωση και αποχρωματισμό του ενός άκρου, ενώ οι υπόλοιπες ομάδες έχουν εμφανώς συρρικνωμένο άκρο που επηρεάζει την τιμή της συνεκτικότητας. Παρ' όλα αυτά, η ομάδα kito-α την 9<sup>η</sup> ημέρα παρουσιάζει

υψηλότερη συνεκτικότητα από την ομάδα μάρτυρα χωρίς πλαστικό και η υψηλότερη τιμή φαίνεται και από τις φωτογραφίες, όπου το άκρο της ομάδας μάρτυρα έχει συρρικνωθεί περισσότερο σε σχέση με αυτό της kito-α. Ταυτόχρονα, η ομάδα kito-β φαίνεται να έχει σταθερή πορεία με χαμηλές τιμές συνεκτικότητας σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες και την 9<sup>η</sup> ημέρα αρχίζει η προχωρημένη σήψη. Η συμπεριφορά που εμφανίζει η ομάδα kito-β ως προς την συνεκτικότητα της σάρκας, απεικονίζεται και στις φωτογραφίες όπου το ένα άκρο από την 5<sup>η</sup> ημέρα και μετά, αρχίζει να αλλάζει χρώμα, να μαλακώνει και να μην είναι καθόλου συνεκτικό.

Ευρήματα από προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει αναφορικά με τη μεταβολή της συνεκτικότητας των αγγουριών, έχουν αποδείξει ότι καθώς αυξάνεται ο χρόνος συντήρησης, η συνεκτικότητα των αγγουριών μειώνεται (Dong et al., 2016; Khojah et al., 2021; Sarker et al., 2021). Ωστόσο, όλες οι ομάδες εμφανίζουν μία αύξηση της συνεκτικότητας μέχρι την οριακή 9<sup>η</sup> ημέρα που έχει επέλθει προχωρημένη ωρίμανση και γήρανση των καρπών, συμπεριφορά που δεν συνάδει με τις αντίστοιχες έρευνες. Παρ' όλα αυτά, το φαινόμενο της αύξησης της συνεκτικότητας παρατηρείται επίσης και από τους Cid-Lopez et al., (2021), όπου λόγω αφυδάτωσης παρατηρείται ελαστικότητα στην σάρκα των καρπών με αποτέλεσμα το πενετόμετρο να δείχνει υψηλότερες τιμές συνεκτικότητας. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το πενετόμετρο δεν προσφέρει την αξιοπιστία άλλων οργάνων και μπορεί να εισάγει σφάλμα στις πειραματικές μετρήσεις.

#### 4.1.4 Οξύτητα



**Σχήμα 4.** Μεταβολή οξύτητας με την πάροδο της περιόδου αποθήκευσης (■ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

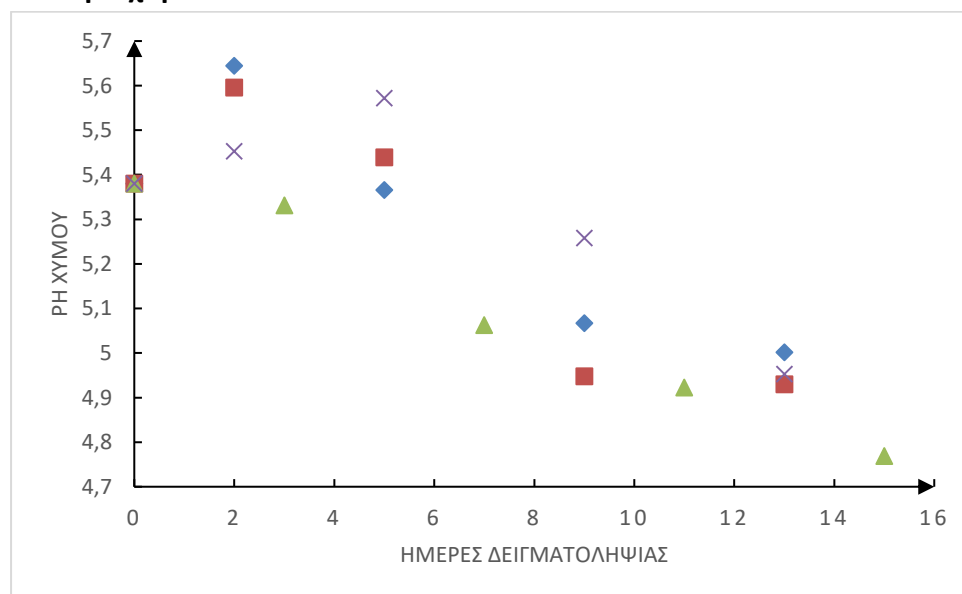
**Πίνακας 7.** Εξισώσεις ευθειών ρυθμού μεταβολής οξύτητας

Ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό	$y = 0,0099x + 0,0572$
Ομάδα kito-α	$y = 0,0042x + 0,0865$
Ομάδα kito-β	$y = 0,0111x + 0,0577$
Ομάδα kito-γ	$y = 0,0081x + 0,0524$

Από το **Σχήμα 4** φαίνεται πως όλες οι ομάδες έχουν μία παρόμοια συμπεριφορά, κατά αύξησης της οξύτητας των καρπών αγγουριών. Η μεταβολή αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι το χαρακτηριστικό οξύ του αγγουριού, το κιτρικό, με το πέρασμα των ημερών αποθήκευσης, συσσωρεύεται στο ενδοκάρπιο, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η συγκέντρωσή του και έτσι οι καρποί αγγουριών να γίνονται πιο όξινοι κατά την ωρίμανση. Είναι εμφανές από τις κλίσεις των ευθειών ότι, οι επικαλυμμένες ομάδες kito-α και kito-γ καθυστερούν την μεταβολή της οξύτητας σε σύγκριση με την ομάδα μάρτυρα χωρίς πλαστικό. Σε αυτήν, η μεγαλύτερη κλίση της ευθείας δηλώνει και την πιο γρήγορη αύξηση της οξύτητας, η οποία εξηγείται πιθανότατα λόγω μεγαλύτερης χρήσης των οργανικών οξέων που είναι αποθηκευμένα στα κενοτόπια, ως αναπνευστικό υπόστρωμα. Παρόμοια αποτελέσματα είχαν και άλλες έρευνες που

μελέτησαν την αλλαγή στην ογκομετρούμενη οξύτητα επικαλυμμένων αγγουριών (Cid-López et al., 2021; Istúriz-Zapata et al., 2020; Khojah et al., 2021; Saha et al., 2016). Από την άλλη φαίνεται ότι, η ομάδα kito-β δεν επιβράδυνε την γήρανση των αγγουριών επιδρώντας στην οξύτητα, σε αντίθεση με τις άλλες επικαλύψεις. Αντίθετα, αυξήθηκε πιο γρήγορα η οξύτητα των καρπών των αγγουριών της ομάδας kito-β, με αποτέλεσμα να φτάνουν σε λιγότερο χρόνο σε κατάσταση γήρανσης γεγονός που φαίνεται και από τη φωτογραφική απεικόνιση ενός αγγουριού από την συγκεκριμένη ομάδα, την 13<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης. Συγκεκριμένα φαίνεται ότι, ο καρπός αυτός έχει φτάσει σε προχωρημένη κατάσταση σήψης και αυτό δικαιολογεί και τον αυξημένο ρυθμό μεταβολής της οξύτητας. Συνολικά, από το **Σχήμα 4** γίνεται αντιληπτό ότι η μεταβολή της οξύτητας δεν είναι υψηλή, οπότε αποφασίστηκε να μην εξεταστεί η παράμετρος αυτή στο επόμενο πείραμα, για βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

#### 4.1.5 pH χυμού



**Σχήμα 5.** Μεταβολή pH του χυμού ( ♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ , × ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

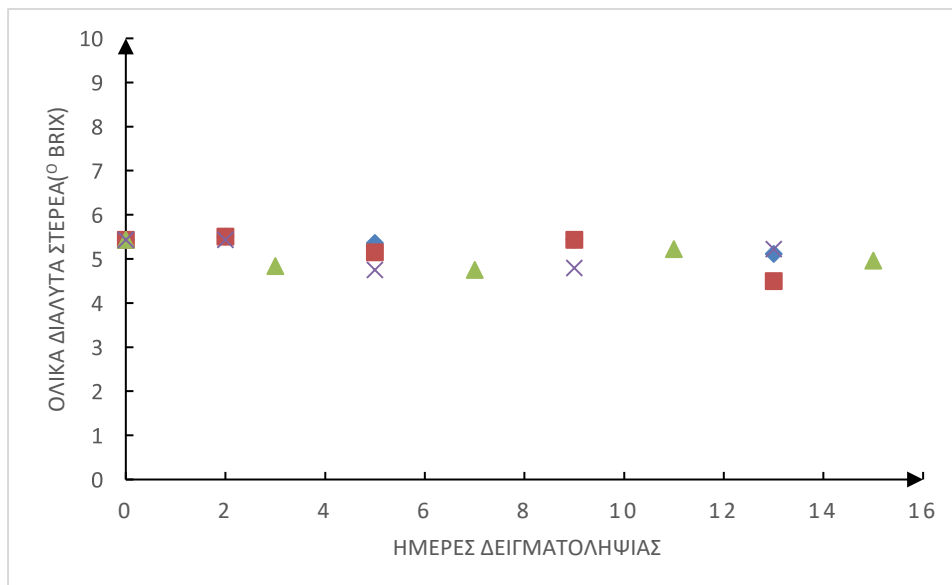
**Πίνακας 8.** Εξισώσεις ευθειών ρυθμού μεταβολής του pH

<b>Ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό</b>	$y = -0,0352x + 5,5271$
<b>Ομάδα kito-α</b>	$y = -0,0426x + 5,5389$
<b>Ομάδα kito-β</b>	$y = -0,0495x + 5,5459$
<b>Ομάδα kito-γ</b>	$y = -0,0431x + 5,4032$

Οι μεταβολές στο pH του χυμού των καρπών αγγουριού σχετίζονται με τον ρυθμό αναπνοής και τη μεταβολική δραστηριότητα τους. Από την έναρξη του πειράματος μέχρι τη 2<sup>η</sup> ημέρα δειγματοληψίας παρατηρείται στα kito-α και kito-β αύξηση του pH καθώς τα οργανικά οξέα χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα του μεταβολισμού της αναπνοής. Εντούτοις, από την 2<sup>η</sup> μέρα και έπειτα σημειώνεται μείωση του pH πιθανόν λόγω της μετατροπής των σακχάρων σε οξέα (Ayesha Sarker et al). Ο μάρτυρας ακολουθεί την ίδια πορεία με τη διαφορά ότι το pH αρχίζει να γίνεται όξινο μετά την 5<sup>η</sup> ημέρα και παρατηρείται να έχει την μεγαλύτερη κλίση. Επομένως, η εδώδιμη επικάλυψη φαίνεται να έχει επηρεάσει τον ρυθμό αναπνοής των καρπών αγγουριών.

Στα kito-γ από την 1<sup>η</sup> μέχρι την 3<sup>η</sup> ημέρα παρατηρείται μια σταθερότητα στην τιμή του pH η οποία οδηγεί σε δύο σενάρια α) είτε στο χαμηλό εσωτερικό επίπεδο οξυγόνου που οδήγησε σε μειωμένο ρυθμό αναπνοής είτε β) την ημέρα 2 υπήρξε αύξηση αλλά δεν έχουμε επαρκή δεδομένα για να το διαπιστώσουμε και επομένως χρειάζεται να επαναληφθεί το πείραμα.

#### 4.1.6 Ολικά διαλυτά στερεά

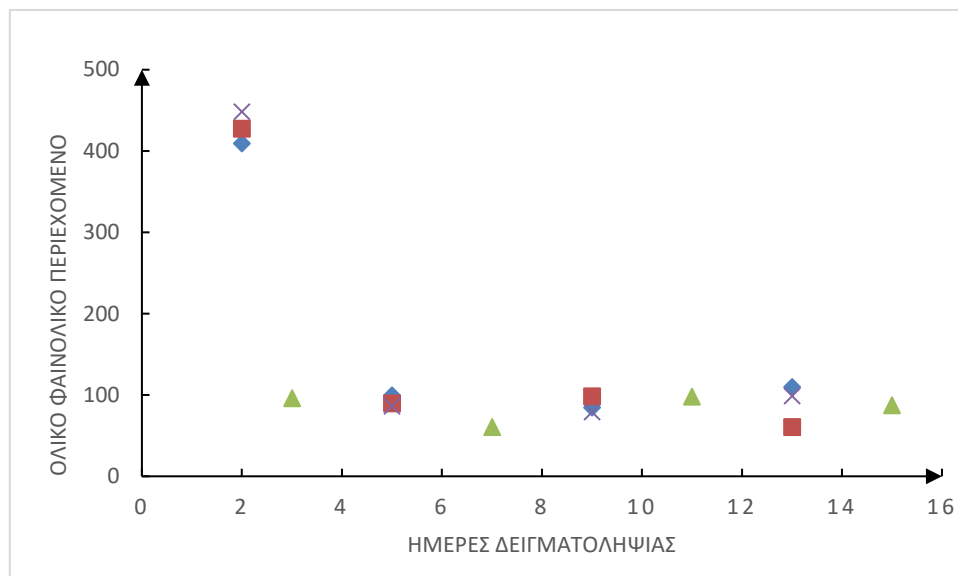


**Σχήμα 6.** Μεταβολή ολικών διαλυτών στερεών (♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

Κατά κανόνα, όσο προχωράει η ωρίμανση των φρούτων τα ολικά διαλυμένα στερεά αυξάνονται με την μετατροπή των οργανικών οξέων σε σάκχαρα. Κατά την ωρίμανση των καρπών αγγουριών το σακχαρικό περιεχόμενο αυξάνεται και η επικάλυψη πρέπει να επιβραδύνει αυτή την αύξηση. Ωστόσο, από το **Σχήμα 6** φαίνεται ότι ο ρυθμός μεταβολής του επιπέδου των σακχάρων δεν διαφέρει σε καμία ομάδα σε σχέση με τους μάρτυρες και παραμένει σταθερός. Αυτό επαληθεύει τους Handley Pharr και McFeeters (1983) οι οποίοι υποστηρίζουν ότι, στους καρπούς αγγουριών το επίπεδο των σακχάρων είναι χαμηλό και η μεταβολή τους δεν είναι σπουδαία. Ως εκ τούτου κρίθηκε σκόπιμο να μην μελετηθούν περαιτέρω.



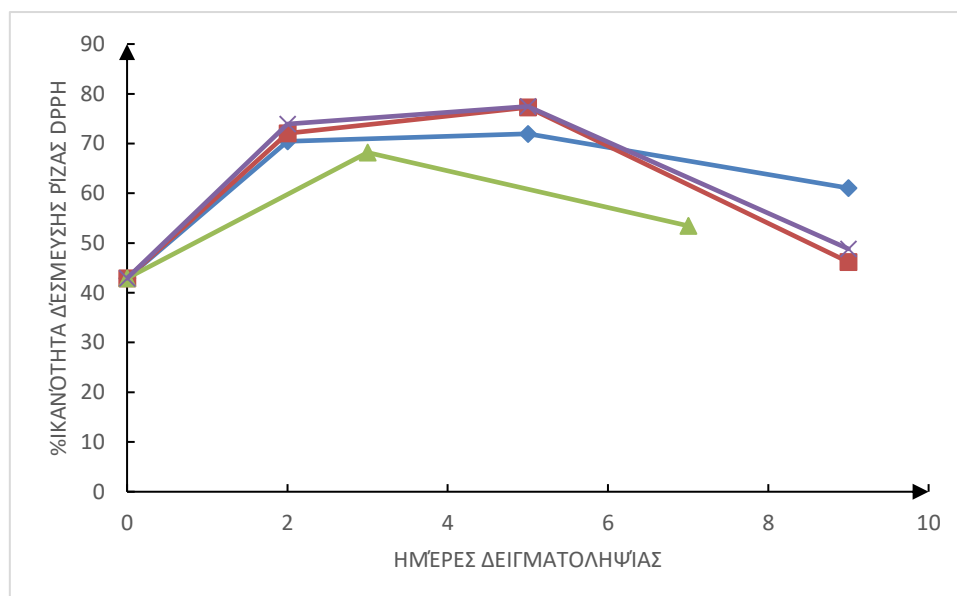
#### 4.1.7 Ολικό φαινολικό περιεχόμενο - TPC



**Σχήμα 7.** Μεταβολή ολικού φαινολικού περιεχομένου κατά τη διάρκεια των ημερών συντήρησης (♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

Η μέθοδος Folin-Ciocalteu χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των ολικών φαινολικών συστατικών. Οι τιμές υπολογίστηκαν μέσω της πρότυπης καμπύλης του γαλλικού οξέος που λαμβάνεται με γραμμική εξίσωση  $y = 0.00112x + 0.0254$ . Έρευνες που έχουν μελετήσει την μεταβολή του φαινολικού περιεχομένου των αγγουριών κατά την ωρίμανση τους, έχουν δείξει ότι η περιεκτικότητα των καρπών σε φαινολικές ουσίες μειώνεται (Saha et al., 2016; Yuan et al., 2023). Στις συγκεκριμένες μελέτες επίσης, αναφέρεται επιβράδυνση του ρυθμού μείωσης των φαινολικών ουσιών λόγω των εδώδιμων επιστρώσεων. Σύμφωνα με το **Σχήμα 7** παρατηρείται παρόμοια μεταβολή στην περιεκτικότητα των φαινολικών ουσιών, οι οποίες μειώνονται με το πέρασμα της περιόδου αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, μετά την απότομη μείωση του φαινολικού περιεχομένου την 2<sup>η</sup> προς 5<sup>η</sup> ημέρα υπάρχει μια σταθερότητα στις τιμές. Σε αντίθεση όμως με τις μελέτες, ο ρυθμός μείωσης του περιεχομένου των φαινολικών ουσιών φαίνεται παρόμοιος σε όλες τις ομάδες και οι εδώδιμες επιστρώσεις δεν συνέβαλαν στην διατήρηση των ουσιών αυτών. Γι' αυτό το λόγο, δεν επαναλήφθηκε η εξέταση αυτής της παραμέτρου στο πείραμα Β, ώστε να μειωθεί ο χρόνος ανάλυσης.

#### 4.1.8 Αντιοξειδωτική ικανότητα



**Σχήμα 8.** Μεταβολή της αντιοξειδωτικής ικανότητας κατά τη διάρκεια των ημερών συντήρησης (♦ επικαλυμμένη ομάδα kito-α, ■ επικαλυμμένη ομάδα kito-β, ▲ επικαλυμμένη ομάδα kito-γ, x ομάδα μάρτυρας χωρίς πλαστικό)

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει για την μεταβολή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των καρπών αγγουριών, η αντιοξειδωτική ικανότητα έχει αποδειχθεί ότι μειώνεται καθώς οι καρποί ωριμάζουν (Cid-López et al., 2021; Khojah et al., 2021). Υπάρχουν επίσης έρευνες στις οποίες η αντιοξειδωτική ικανότητα των αγγουριών μειώνεται αρχικά και κατά τις τελευταίες μέρες συντήρησης, αυξάνεται (Mohammadi et al., 2016; Yuan et al., 2023). Εντούτοις, από το **Σχήμα 8** φαίνεται ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα των ομάδων των αγγουριών αυξάνεται και προς το τέλος της περιόδου αποθήκευσης μειώνεται. Το γεγονός αυτό, έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα άλλων μελετών, οπότε αποφασίστηκε να επαναληφθεί το πείραμα για την περαιτέρω εξέταση της παραμέτρου.

## 4.2 Πείραμα Β

### 4.2.1 Στατιστική ανάλυση









Το πρόγραμμα στατιστικής ανάλυσης SPSS 12.0 και το Microsoft Office Excel 2019 χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων και τη δημιουργία διαγραμμάτων. Οι μετρήσεις των ομάδων 1-6 πραγματοποιήθηκαν σε τριπλέτες και αυτές των 7 & 8 εις τετραπλούν. Στις συγκρίσεις των μέσων όρων για ανίχνευση στατιστικά σημαντικών διαφορών εφαρμόστηκε μέθοδος απλής ανάλυσης διακύμανσης με ένα παράγοντα (One-way Anova), σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $P \leq 0,05$ ). Στη συνέχεια τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε Tukey's test για τον εντοπισμό στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μέσων των διαφορετικών επικαλύψεων. Όλα τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή.

**Πίνακας 9.** Σύνοψη αποτελεσμάτων Β πειράματος: μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις για % Απώλεια βάρους, Συνεκτικότητα, pH και Αντιοξειδωτική ιδιότητα ομάδων επεξεργασίας ανά ημέρα

Ημέρα	Ομάδα Επεξεργασίας	%Απώλεια βάρους	Συνεκτικότητα ( $kg/cm^2$ )	pH	%RSA
Ημέρα 0		0	$7,95 \pm 0,69$	$5,48 \pm 0,16$	$68,48 \pm 3,15$
Ημέρα 3	Control D3	$13,95 \pm 1,34$	$7,38 \pm 0,32$	$5,39 \pm 0,11$	$14,43 \pm 16,48$
	Kito-1 D3	$16,13 \pm 0,73$	$8,02 \pm 0,47$	$5,47 \pm 0,09$	$31,79 \pm 19,77$
	Kito-5 D3	$22,8 \pm 5,42$	$6,96 \pm 0,91$	$5,89 \pm 0,34$	$65,45 \pm 26,66$
Ημέρα 5	Control D5	$25,19 \pm 14,63$	$8,26 \pm 0,71$	$5,47 \pm 0,14$	$42,68 \pm 13,81$
	Kito-1 D5	$22,76 \pm 12,73$	$7,07 \pm 1,14$	$5,33 \pm 0,08$	$66,46 \pm 4,84$
	Kito-5 D5	$24,87 \pm 6,13$	$6,89 \pm 0,66$	$5,72 \pm 0,25$	$64,63 \pm 10,84$
Ημέρα 7	Control D7	$25,43 \pm 4,26$	$7,13 \pm 0,38$	$5,02 \pm 0,1$	-
	Kito-1 D7	$34,37 \pm 0,99$	$7,32 \pm 0,65$	$5,01 \pm 0,17$	-









	Kito-5 D7	46,06 ± 1,72	7,31 ± 0,88	5,86 ± 0,53	-
<i>Ημέρα 5</i>	R Control D5	12,44 ± 1,4	7,4 ± 1,06	5,9 ± 0,26	-
	R Kito 2 D5	18,04 ± 3,2	7,66 ± 0,25	7,66 ± 0,25	-
<i>Ημέρα 7</i>	R Control D7	21,98 ± 1,56	8,31 ± 0,72	5,63 ± 0,15	-
	R Kito 2 D7	25,48 ± 4,15	7,46 ± 1,51	7,46 ± 1,51	-

#### 4.2.2 Φωτογραφική απεικόνιση

Ημέρες	Ομάδα μάρτυρας (22 ± 1°C, 50% RH)	Ομάδα kito-1 (22 ± 1°C, 50% RH)
0		
3		
5		
7		









**Εικόνα 33** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας μάρτυρα ανά ημέρα δειγματοληψίας

**Εικόνα 34** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-1 ανά ημέρα δειγματοληψίας

Ημέρες	Ομάδα kito-2 (22 ± 1°C, 50% RH)	Ομάδα kito-3(22 ± 1°C, 50% RH)
0		
3		
5		
7		









**Εικόνα 36** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-2 ανά ημέρα δειγματοληψίας

**Εικόνα 35** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-3 ανά ημέρα δειγματοληψίας

Ημέρες	Ομάδα kito-4 ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ , 50% RH)	Ομάδα kito-5 ( $22 \pm 1^\circ\text{C}$ , 50% RH)
0		
3		
5		
7		

**Εικόνα 38** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-4 ανά ημέρα δειγματοληψίας

**Εικόνα 37** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-5 ανά ημέρα δειγματοληψίας

Ημέρες	Ομάδα μάρτυρας ( $8 \pm 1^\circ\text{C}$ )	Ομάδα kito-2 ( $8 \pm 1^\circ\text{C}$ )
0		
3		
5		
7		

**Εικόνα 40** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας μάρτυρα στους  $8^\circ\text{C}$  ανά ημέρα δειγματοληψίας

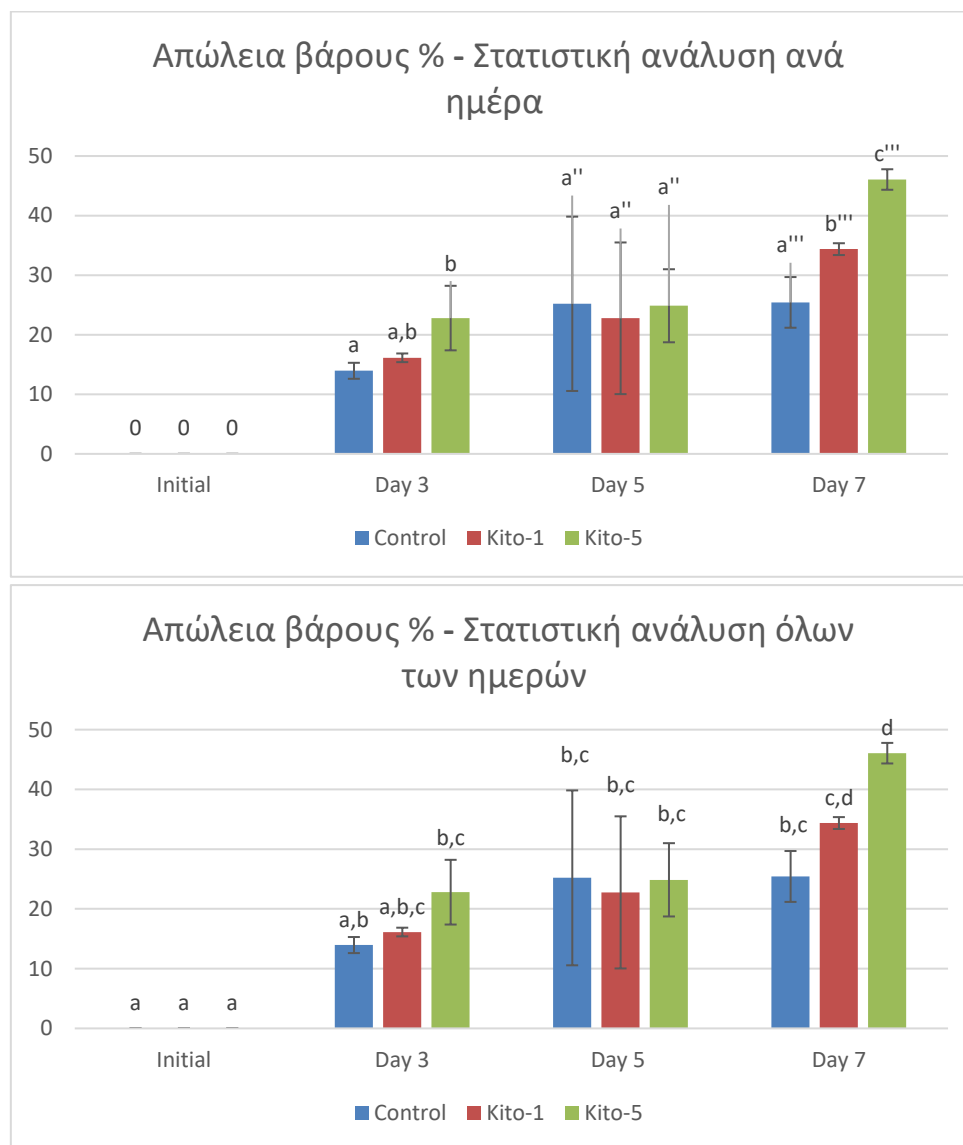
**Εικόνα 39** Φωτογραφική αναπαράσταση ομάδας kito-2 στους  $8^\circ\text{C}$  ανά ημέρα δειγματοληψίας



Συνολικά η πειραματική διαδικασία διήρκησε 7 ημέρες στη διάρκεια των οποίων φωτογραφήθηκαν οι καρποί αγγουριών ανά ημέρα δειγματοληψίας. Ενδεικτικά παρατίθενται φωτογραφίες επιλεγμένες για κάθε ομάδα στις ημέρες δειγματοληψίας. Από τις φωτογραφίες παρατηρείται, πως η εδώδιμη επίστρωση δημιουργεί μια λαμπερή όψη την ημέρα 0 που δεν διατηρείται και στις επόμενες ημέρες. Για τις ομάδες kito2, kito3 και kito4 στους 22 °C παρατηρήθηκε υψηλή απώλεια υγρασίας, γι' αυτό οι φυσικοχημικές δοκιμές τερματίστηκαν την 5<sup>η</sup> ημέρα.

### 4.2.3 Απώλεια βάρους

- Μάρτυρας, Kito-1 & Kito-5 (22°C ± 1 °C)



\*a,b: Μεγέθη με τα ίδια γράμματα δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους ενώ μεγέθη με διαφορετικά γράμματα διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους

**Σχήμα 9.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της % απώλειας βάρους των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).

Η % απώλεια βάρους (υγρασίας) αυξήθηκε με το πέρασμα των ημερών του πειράματος Β. Η % απώλειας βάρους των καρπών που επικαλύφθηκαν με την

εδώδιμη επίστρωση της ομάδας kito5 άρχισε να γίνεται στατιστικά σημαντικό από την 3<sup>η</sup> κιόλας μέρα ενώ αυτό της ομάδας kito1 και του μάρτυρα παρουσίασαν στατιστικά σημαντική διαφορά από την 5<sup>η</sup> μέρα.

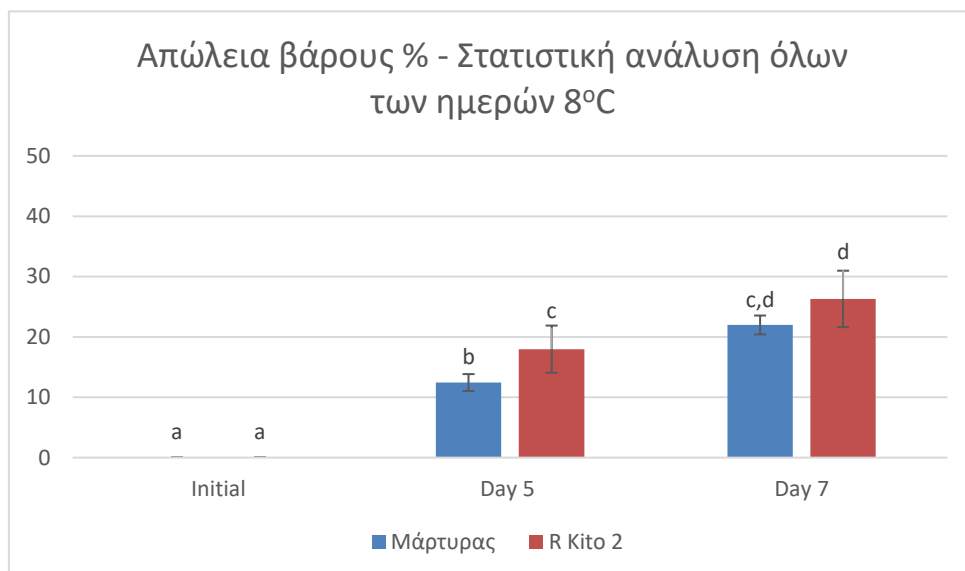
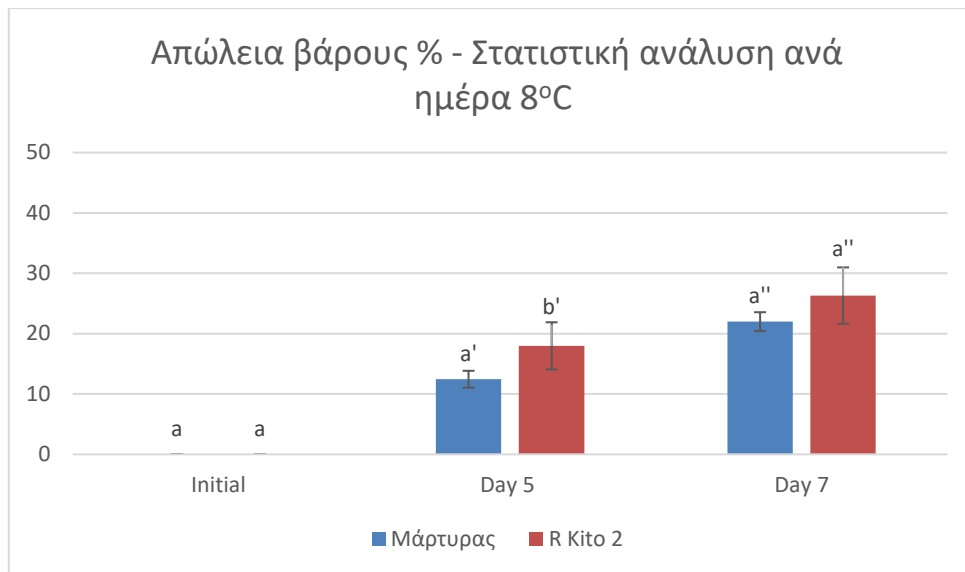
Η απώλεια υγρασίας την 5<sup>η</sup> ημέρα δεν παρουσιάζει στατιστικά σημαντικές διαφορές σε καμία ομάδα όμως τελικά, την 7<sup>η</sup> ημέρα τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων μάρτυρα- Kito1 & Kito5 στη στατιστική ανάλυση ανά ημέρα. Σε επίπεδο σημαντικότητας 95% η ομάδα kito5 είχε την μεγαλύτερη απώλεια βάρους (υγρασίας) της τάξης του 46% ενώ η ομάδα του μάρτυρα είχε την μικρότερη της τάξης του 25%. Η ομάδα kito1 είχε απώλεια βάρους της τάξης του 34%.

Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης το οποίο παρατηρείται όταν ένα φρέσκο τρόφιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία συναντά διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης διαλυμένης ουσίας (Sarker et al., 2021). Έτσι οι υψηλές συγκεντρώσεις μεταξύ των διαλυμάτων των εδώδιμων επιστρώσεων και του ενδοκυτταρικού υγρού των καρπών αγγουριών «άντλησαν» σταδιακά το νερό από τα φρέσκα προϊόντα.

Αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση των υλικών παρασκευής των μεμβρανών, που επιλέχθηκε για να επιτευχθεί το επιθυμητό ιξώδες, και άρα η ομοιόμορφη επίστρωση στους καρπούς, θα πρέπει να επανασχεδιαστεί και η συνολική συγκέντρωση του διαλύματος να είναι τέτοια ώστε να επιτευχθεί η μικρότερη απώλεια υγρασίας σε σχέση με τον μάρτυρα. Επίσης, αφού η ωσμωτική αφυδάτωση εξαρτάται εκτός από τη συγκέντρωση και τη θερμοκρασία του διαλύματος, από την φύση, τη δομή, το μέγεθος των φρούτων και τη διαπερατότητα της κυτταρικής μεμβράνης και της αρχιτεκτονικής των κυττάρων τους, θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και αυτοί οι παράγοντες (Παυλίδης, 2021).

Τέλος, εξ' αιτίας της υψηλής συγκέντρωσης των εδώδιμων επιστρώσεων που οδήγησε στην ωσμωτική αφυδάτωση δεν ολοκληρώθηκαν οι πειραματικές δοκιμές των ομάδων που επικαλύφθηκαν με τις μεμβράνες kito2, kito3, kito4 στους 22 °C (**βλ. πίνακα 5**), και σταμάτησαν την ημέρα 5, καθώς οι καρποί που είχαν επικαλυφθεί με αυτές έχαναν βάρος με μεγαλύτερο ρυθμό σε σχέση με τον μάρτυρα.

- Μάρτυρας & kito2 ( $8 \pm 1^\circ\text{C}$ )



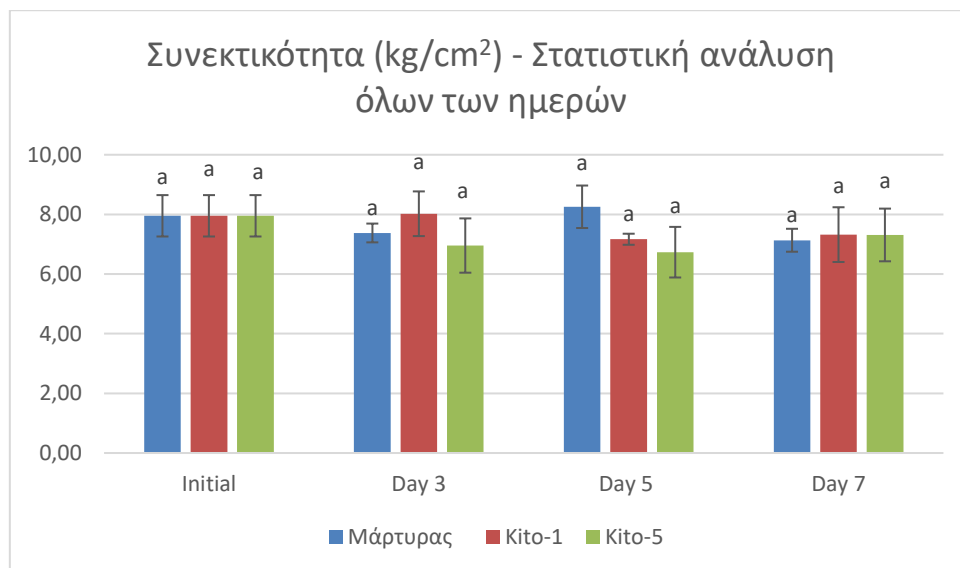
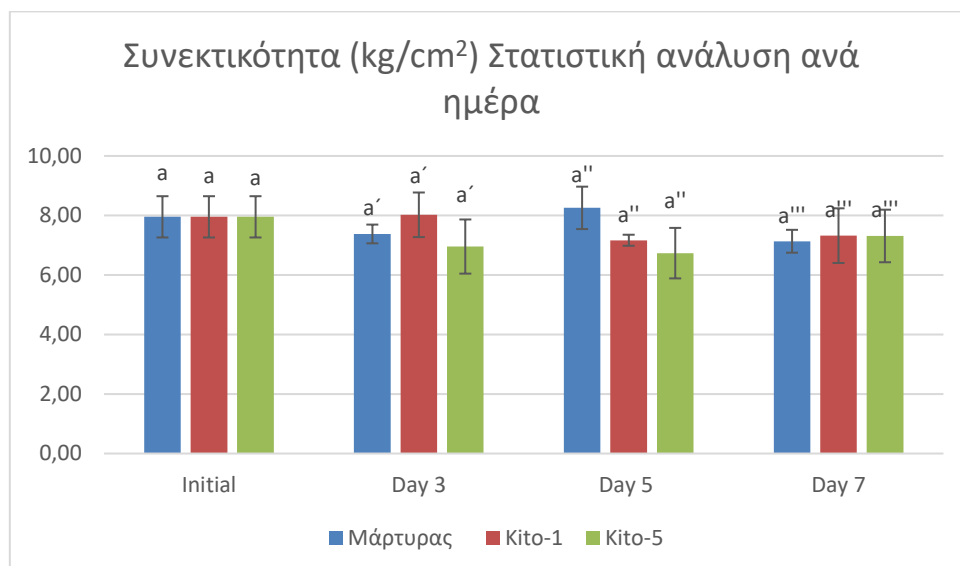
**Σχήμα 10.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της % απώλειας βάρους της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος B (κάτω γράφημα).

Για τις ομάδες του μάρτυρα και kito2 στους 8°C όσον αφορά την απώλεια βάρους στη στατιστική ανάλυση ανά ημέρα, διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά την 5<sup>η</sup> ημέρα όχι όμως και την 7<sup>η</sup>. Επίσης, υπάρχει σημαντική αύξηση της απώλειας βάρους μεταξύ των ημερών στη στατιστική ανάλυση όλων των ημερών. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί πως η μείωση της θερμοκρασίας από τους 22 στους 8°C, οδήγησε σε αύξηση της διάρκειας ζωής των καρπών αγγουριών της ομάδας kito2 καθώς στους 8°C έφτασαν

μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα ενώ για τους 22°C τερματίστηκε το πείραμα την 5<sup>η</sup> ημέρα (δεν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εδώ).

#### 4.2.4 Συνεκτικότητα

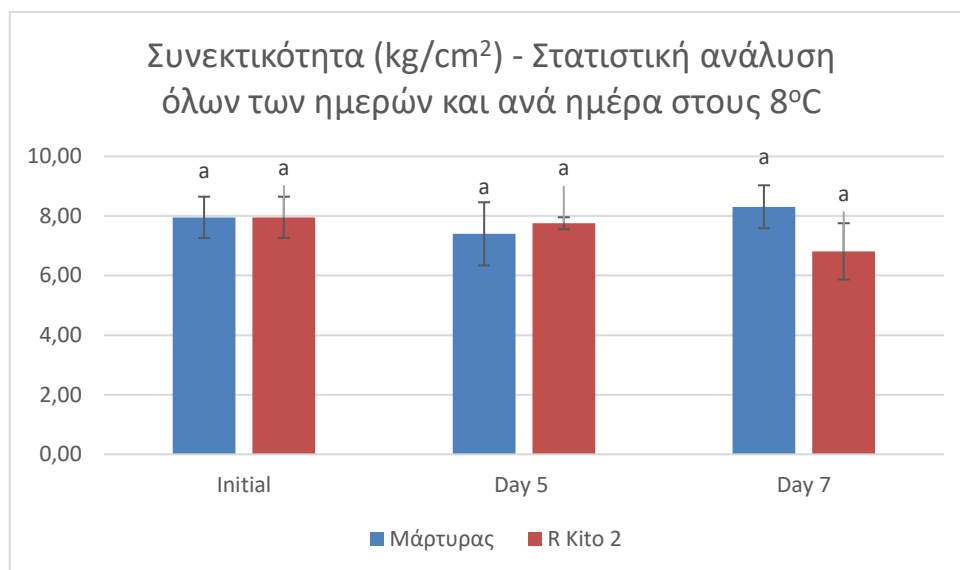
- Μάρτυρας, kito-1 & kito-5 (22°C ± 1°C)



**Σχήμα 11.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της συνεκτικότητας των ομάδων kito-1 και kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).

Σε ό,τι αφορά τη συνεκτικότητα δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μέχρι και την 7<sup>η</sup> ημέρα. Επομένως, οι εδωδιμες επιστρώσεις δεν επηρέασαν, ούτε θετικά ούτε αρνητικά, σημαντικά την συνεκτικότητα σε σχέση με τον μάρτυρα. Ωστόσο, η αναξιοπιστία του οργάνου ενδέχεται να εισάγει σφάλμα στα αποτελέσματα.

- **Μάρτυρας & kito2 ( $8 \pm 1^\circ\text{C}$ )**

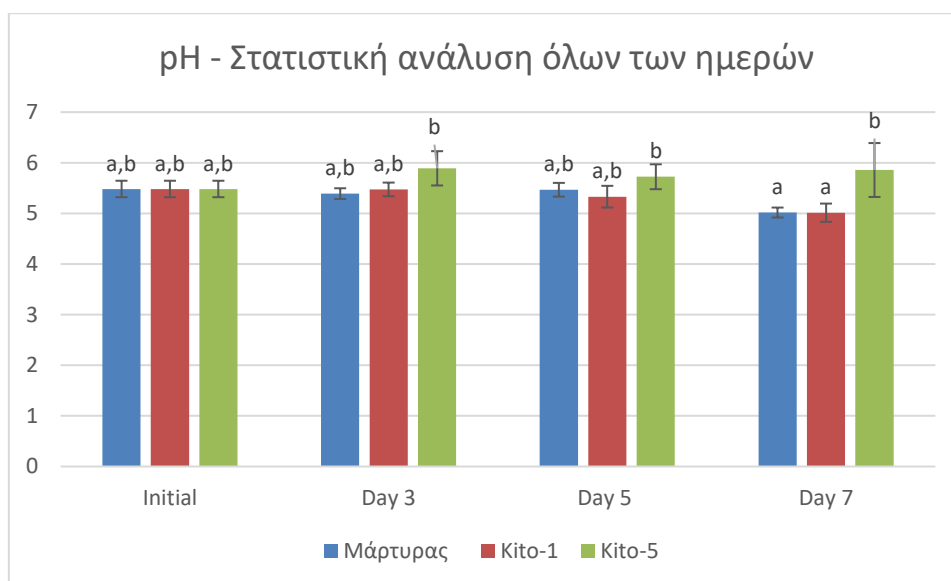
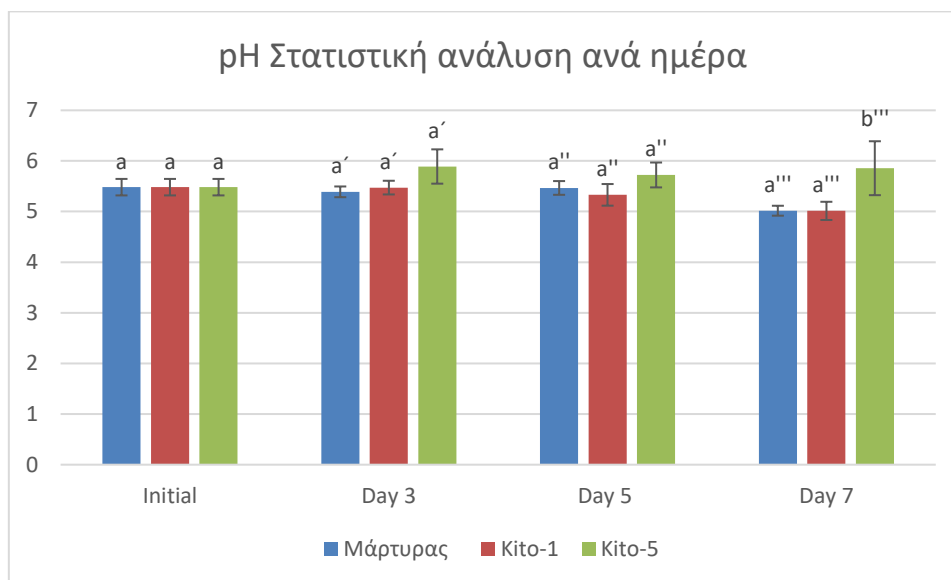


**Σχήμα 12.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της συνεκτικότητας της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (ενιαίο γράφημα).

Η συνεκτικότητα των ομάδων του μάρτυρα και kito2 στον ψυκτικό θάλαμο επίσης δεν έδειξαν σημαντικές διαφορές τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και στις επί μέρους ημέρες δοκιμών. Επομένως, οι ομάδες του μάρτυρα, kito1 και kito5 όλες κράτησαν σταθερή τη φυσική παράμετρο της συνεκτικότητας.

#### 4.2.5 pH χυμού

- Μάρτυρας, kito-1 & kito-5 (22°C ± 1°C)



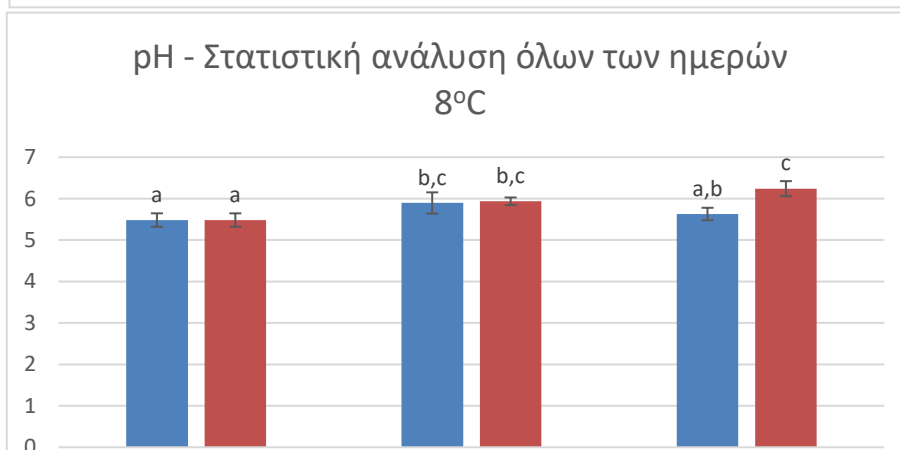
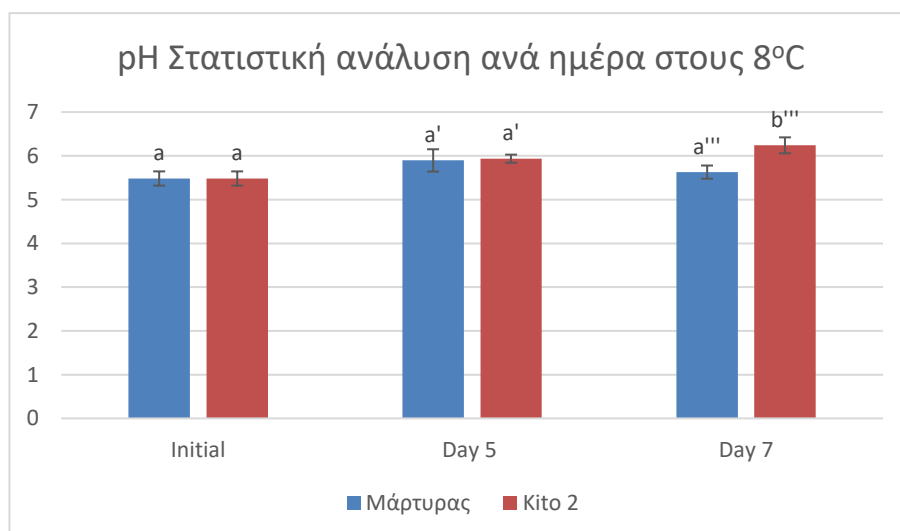
**Σχήμα 13.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση του pH των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος B (κάτω γράφημα).

Σε ότι αφορά το pH, η ομάδα του μάρτυρα σε σχέση με το kito1 δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ακόμα και μετά από 7 ημέρες. Μόνο η ομάδα kito5

την 7<sup>η</sup> ημέρα παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές έχοντας  $pH = 5,86 \pm 0,53$  σε σχέση με το kito1 που είχε  $pH = 5,01 \pm 0,17$  και τον μάρτυρα που είχε  $pH = 5,02 \pm 0,1$ .

Επιπλέον, παρατηρείται ότι το pH των καρπών αγγουριών στο Β πείραμα είναι υψηλότερο από το pH των καρπών στο Α πείραμα, γεγονός που εξηγείται από το μέγεθος των αγγουριών. Συγκεκριμένα, στο Β πείραμα οι καρποί είναι πολύ μικρότεροι με αποτέλεσμα να εμφανίζουν υψηλότερο pH, γεγονός που επαληθεύεται και από την έρευνα των Lee J, Bang H, Ham H (1999).

- **Μάρτυρας & kito2 ( $8 \pm 1^\circ C$ )**



**Σχήμα 14.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση του pH της ομάδας Kito-2 σε σχέση με το μάρτυρα στους 8°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος Β (κάτω γράφημα).

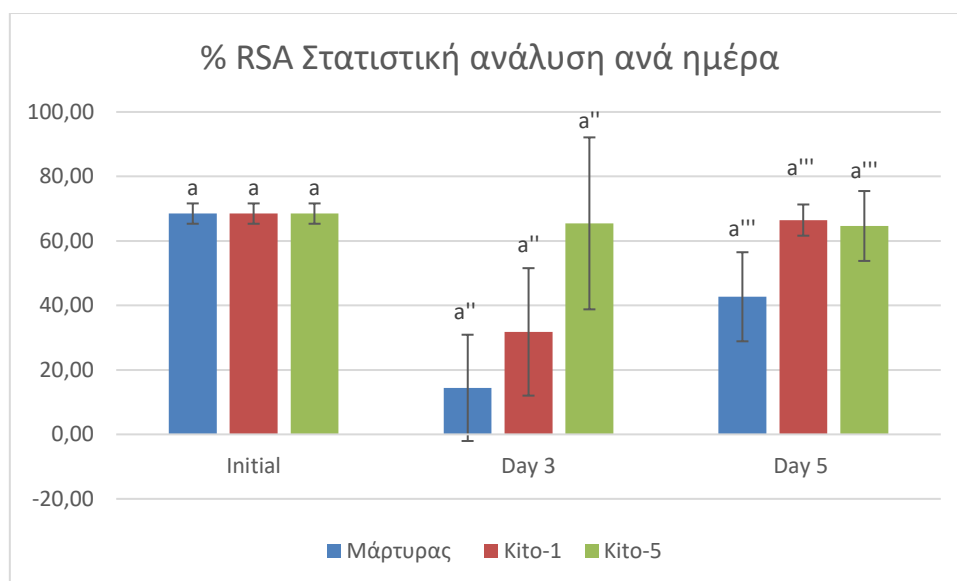


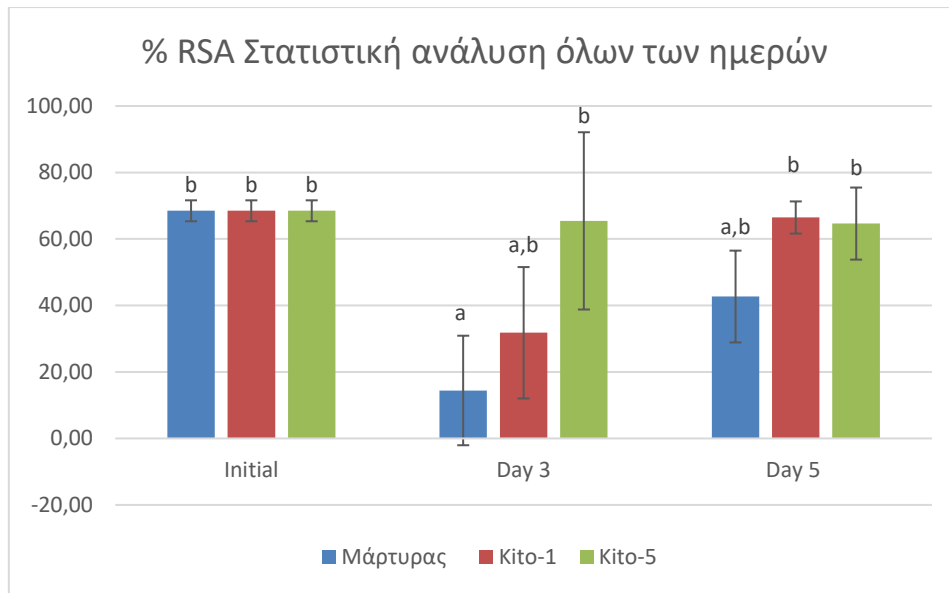
Οι τιμές του pH των ομάδων του μάρτυρα και kito2 στους 8°C αυξήθηκαν σημαντικά από την ημέρα 0 μέχρι την 5<sup>η</sup> ημέρα, πιθανά λόγω των οργανικών οξέων που συμμετέχουν στον μεταβολισμό της αναπνοής ενώ από την 5<sup>η</sup> μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα η αλλαγή του pH του μάρτυρα και του kito2 δεν είναι στατιστικά σημαντική πιθανώς λόγω του μειωμένου ρυθμού αναπνοής.

Όσον αφορά τη σύγκριση των ομάδων ανά ημέρα, την 7<sup>η</sup> διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους οι δύο ομάδες, με τον μάρτυρα να παρουσιάζει pH της τάξης του 5,62 και του kito2 pH της τάξης 6,24. Επομένως, στους 8°C το kito2 δεν κατάφερε να κρατήσει σταθερό το pH καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος σε σχέση με τον μάρτυρα.

#### 4.2.6 Αντιοξειδωτική ικανότητα

- Μάρτυρας, kito-1 & kito-5 (22°C ± 1°C)





**Σχήμα 15.** Απεικόνιση και στατιστική ανάλυση της επί % ικανότητας δέσμευσης της ρίζας DPPH (% RSA) των ομάδων Kito-1 και Kito-5 σε σχέση με το μάρτυρα στους 22°C. Πραγματοποιήθηκαν δύο ειδών στατιστικές αναλύσεις: ανά ημέρα (επάνω γράφημα) και για όλη τη διάρκεια του πειράματος B (κάτω γράφημα).

Σε ό,τι αφορά την αντιοξειδωτική ικανότητα έγινε υπολογισμός της επί % ικανότητας δέσμευσης της ρίζας DPPH (% RSA). Έτσι, τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης ανά ημέρα έδειξαν πως οι συγκρινόμενες ομάδες δεν διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους. Όμως, στη στατιστική ανάλυση όλων των ημερών παρατηρείται μία μείωση του επιπέδου των αντιοξειδωτικών του μάρτυρα, από την ημέρα 0 μέχρι την 3<sup>η</sup> ημέρα, αλλαγή αναμενόμενη κατά την ωρίμανση των καρπών (Cid-López et al., 2021; Khojah et al., 2021), ενώ η αύξηση των αντιοξειδωτικών από την 3<sup>η</sup> έως την 5<sup>η</sup> ημέρα δεν είναι στατιστικά σημαντική. Η ομάδα kito1 παρουσιάζει αριθμητική μείωση η οποία δεν είναι στατιστικά σημαντική από την ημέρα 0 έως την 3<sup>η</sup> ημέρα. Η αριθμητική αύξηση που παρουσιάζεται στις ομάδες του μάρτυρα και του kito1 από την 3<sup>η</sup> έως την 5<sup>η</sup> ημέρα δεν είναι στατιστικά σημαντική και παρόμοιες παρατηρήσεις αύξησης των αντιοξειδωτικών σε προχωρημένες ημέρες αποθήκευσης καρπών αγγουριών έχουν γίνει και από άλλους ερευνητές (Cid-López et al., 2021; Mohammadi et al., 2016). Ακόμη, ο μάρτυρας διαφέρει στατιστικά σημαντικά σε σχέση με το kito5 την 3<sup>η</sup> ημέρα και οι τιμές RSA είναι της τάξης του 14,43 % και 65,45% αντίστοιχα.

Συνολικά, οι δύο ομάδες με τις εδώδιμες επιστρώσεις έχουν διατηρήσει το επίπεδο των αντιοξειδωτικών σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, σε αντίθεση με τον μάρτυρα. Το αντιοξειδωτικό περιεχόμενο φυσιολογικά μειώνεται στα στάδια της ανάπτυξης και γήρανσης των καρπών λόγω διάφορων παραγόντων με κυριότερο το οξειδωτικό στρες που δημιουργείται από τις ελεύθερες ρίζες (Cid-López et al., 2021). Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι εδώδιμες επιστρώσεις συνέβαλαν στη διατήρηση των επιπέδων των αντιοξειδωτικών.

## Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και υποδείξεις για περαιτέρω έρευνα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκαν μία σειρά από εδώδιμες επιστρώσεις με βάση την χιτοζάνη. Όλα τα συστατικά των μεμβρανών είναι εδώδιμα και οι ποσότητες και τα ονόματα αυτών είναι απόρρητα. Από τα δύο πειράματα Α και Β που πραγματοποιήθηκαν οι ομάδες των μαρτύρων έδειξαν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Το πείραμα Α, από σύγκριση μεταξύ των επικαλυμμένων ομάδων, ανέδειξε το kito-β ως την επικάλυψη με την καλύτερη απόδοση στην απώλεια βάρους και το kito-γ, είχε το καλύτερο αποτέλεσμα ως προς την συνεκτικότητα. Η ομάδα kito-α ξεχώρισε ως προς την αντίσταση στη μεταβολή της οξύτητας, όμως η μεταβολή αυτής της παραμέτρου όπως και των σακχάρων και του φαινολικού περιεχομένου, δεν ήταν μεγάλη και γι' αυτό το λόγο δεν μελετήθηκαν περαιτέρω. Επιπλέον, η μη αναμενόμενη μεταβολή στην αντιοξειδωτική ικανότητα, οδήγησε στην ανάγκη για επανάληψη της μεθόδου, ενώ από οπτική παρατήρηση των επικαλυμμένων ομάδων, η kito-γ είναι εκείνη που φαίνεται να διατήρησε καλύτερα τα οργανοληπτικά της χαρακτηριστικά.

Στο πείραμα Β η καλύτερη ομάδα ως προς τη διατήρηση των μετασυλλεκτικών παραμέτρων ποιότητας ήταν αυτή του μάρτυρα στους 22°C, η οποία εμφάνισε την μικρότερη % απώλεια βάρους (υγρασίας), σταθερή συνεκτικότητα και pH, ενώ μόνο στην παράμετρο των αντιοξειδωτικών υστερούσε έναντι των επικαλυμμένων ομάδων. Η μικρότερη απώλεια βάρους σε σχέση με τις υπόλοιπες ομάδες στους 22 °C εξηγήθηκε από το φαινόμενο της ωσμωτικής αφυδάτωσης. Στο ίδιο φαινόμενο ενδέχεται να αποδίδεται και ο τερματισμός των πειραματικών δοκιμών των ομάδων με εδώδιμες επιστρώσεις kito2, kito3, kito4 στους 22 °C, την 5<sup>η</sup> ημέρα. Σύγκριση ανάμεσα στις επικαλυμμένες ομάδες kito1 και kito5 ανέδειξε το kito1 ως την καλύτερη επικάλυψη με την μικρότερη απώλεια βάρους. Όμως και οι δύο ομάδες διατήρησαν σταθερό το επίπεδο του pH, των αντιοξειδωτικών και της συνεκτικότητας καθ' όλη τη διάρκειά του πειράματος. Αξίζει ακόμη να σημειωθεί, πως η μείωση της θερμοκρασίας από τους 22 στους 8°C, οδήγησε σε αύξηση της διάρκειας ζωής των καρπών αγγουριών της ομάδας kito2 καθώς στους 8°C έφτασαν μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα ενώ για τους 22°C τερματίστηκε το πείραμα την 5<sup>η</sup> ημέρα.

Συνολικό συμπέρασμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάγκη για περαιτέρω μελέτη της σύστασης και της συγκέντρωσης των εδώδιμων επιστρώσεων για να λειτουργήσουν και να δώσουν το αναμενόμενο αποτέλεσμα της επέκτασης της διατηρησιμότητας των καρπών αγγουριών. Το πλαστικό επίσης, προστατεύει πιο αποδοτικά από την απώλεια υγρασίας, ενώ στόχος είναι οι επικαλυμμένες ομάδες να εμφανίσουν καλύτερα αποτελέσματα από την ομάδα μάρτυρα χωρίς πλαστικό και να προσεγγίσουν την συμπεριφορά του πλαστικού. Τελικά, η χρήση της χιτοζάνης ως συστατικό εδώδιμων επιστρώσεων είναι ένα πολλά υποσχόμενο υλικό με αποδεδειγμένα αποτελέσματα στην επέκταση της διάρκειας ζωής φρούτων σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Τέλος, αδημοσίευτα αποτελέσματα ήδη δείχνουν παρόμοιας σύστασης εδώδιμων επιστρώσεων να επιδρούν θετικά στην επέκταση διάρκειας ζωής αβοκάντο.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ξενόγλωση Βιβλιογραφία

1. Basumatary, I. B., Mukherjee, A., Katiyar, V., & Kumar, S. (2020). Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1912–1935. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>
2. BW, A., Nwachoko, N., & GN, I. (2017). Nutritional Value of Cucumber Cultivated in Three Selected States of Nigeria. *Biochemistry & Analytical Biochemistry*, 06. <https://doi.org/10.4172/2161-1009.1000328>
3. Cerqueira, M. A. (2010). *Development and characterization of edible coatings to the preservation of cheese quality*. <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12378/4/Miguel%20c3%82ngelo%20Parente%20Ribeiro%20Cerqueira.pdf>
4. Chae, Y., & An, Y.-J. (2018). Current research trends on plastic pollution and ecological impacts on the soil ecosystem: A review. *Environmental Pollution*, 240, 387–395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.008>
5. Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., Abu-Omar, M., Scott, S. L., & Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
6. Charlton-Howard, H. S., Bond, A. L., Rivers-Auty, J., & Lavers, J. L. (2023). ‘Plasticosis’: Characterising macro- and microplastic-associated fibrosis in seabird tissues. *Journal of Hazardous Materials*, 450, 131090. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131090>
7. Chu, Y.-F., Sun, J., Wu, X., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6910–6916. <https://doi.org/10.1021/jf020665f>
8. Cid-López, M. L., Soriano-Melgar, L. de A. A., García-González, A., Cortéz-Mazatán, G., Mendoza-Mendoza, E., Rivera-Cabrera, F., & Peralta-Rodríguez, R. D. (2021). The benefits of adding calcium oxide nanoparticles to biocompatible polymeric coatings during cucumber fruits postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 287, 110285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110285>

9. Demain, A. L., & Phaff, H. J. (1957). Cucumber Curing, Softening of Cucumbers during Curing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5(1), 60–64. <https://doi.org/10.1021/jf60071a010>
10. Divya, K., Vijayan, S., & Jisha, M. S. (2018). Antifungal, antioxidant and cytotoxic activities of chitosan nanoparticles and its use as an edible coating on vegetables. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 572–577. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.130>
11. Domenitz, J., & Sokolow, L. (2023, September 28). How France’s Anti-waste Law targets plastic waste at its source. Frontier Group. Retrieved from <https://frontiergroup.org>
12. Du, X., Routray, J., Williams, C., & Weng, Y. (2022). Association of Refreshing Perception with Volatile Aroma Compounds, Organic Acids, and Soluble Solids in Freshly Consumed Cucumber Fruit. *ACS Food Science & Technology*, 2(9), 1495–1506. <https://doi.org/10.1021/acscfoodscitech.2c00195>
13. ENNIS, D. M., & O’SULLIVAN, J. (1979). CUCUMBER QUALITY - A REVIEW. *Journal of Food Science*, 44(1), 186–189. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb10037.x>
14. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
15. Gulzar Ahmad Nayik, A. G. (2020). *Antioxidants in Vegetables and Nuts - Properties and Health Benefits* (A. G. Gulzar Ahmad Nayik, Ed.; 1st ed.). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2>
16. Han, H. J., & Gennadios, A. (2005). 15 - Edible films and coatings: a review. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 239–262). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123116321500474?via=ihub>
17. Handley, L. W., Pharr, D. M., & McFeeters, R. F. (1983). Carbohydrate Changes during Maturation of Cucumber Fruit. *Plant Physiology*, 72(2), 498–502. <https://doi.org/10.1104/pp.72.2.498>
18. Huber, K. C., & Embuscado, M. E. (2009). *Edible films and coatings for food applications*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1>
19. HUDSON, J. M., & BUESCHER, R. W. (1985). PECTIC SUBSTANCES AND FIRMNESS OF CUCUMBER PICKLES AS INFLUENCED BY  $CaCl_2$ ,  $NaCl$  AND BRINE STORAGE. *Journal*

- of *Food Biochemistry*, 9(3), 211–229. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1985.tb00350.x>
20. Humphrey, A. M. (1980). Chlorophyll. *Food Chemistry*, 5(1), 57–67. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146\(80\)90064-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146(80)90064-3)
  21. Huwei Song, Weiming Yuan, Peng Jin, Wei Wang, Xinfeng Wang, Liming Yang, Yunfeng Zhang, Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 119, 2016, Pages 41-48, ISSN 0925-5214, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015>.
  22. Insanu, M., Zahra, A. A., Sabila, N., Silviani, V., Haniffadli, A., Rizaldy, D., & Fidrianny, I. (2022). Phytochemical and Antioxidant Profile: Cucumber Pulp and Leaves Extracts. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(A), 616–622. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.8337>
  23. Istúriz-Zapata, M. A., Hernández-López, M., Correa-Pacheco, Z. N., & Barrera-Necha, L. L. (2020). Quality of cold-stored cucumber as affected by nanostructured coatings of chitosan with cinnamon essential oil and cinnamaldehyde. *LWT*, 123, 109089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109089>
  24. Kan, M., & Miller, S. A. (2022). Environmental impacts of plastic packaging of food products. *Resources, Conservation and Recycling*, 180, 106156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106156>
  25. Karakurt, Y., Ozdamar-Unlu, H., Unlu, H., & Tonguc, M. (2015). Antioxidant compounds and activity in cucumber fruit in response to foliar and soil humic acid application. *European Journal of Horticultural Science*, 80(2), 76–80. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.2.5>
  26. Kerry C. Huber, & Milda E. Embuscado. (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications* (K. C. Huber & M. E. Embuscado, Eds.). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92824-1>
  27. Khojah, E., Sami, R., Helal, M., Elhakem, A., Benajiba, N., Alkaltham, M. S., & Salamatullah, A. M. (2021). Postharvest Physicochemical Properties and Fungal Populations of Treated Cucumber with Sodium Tripolyphosphate/Titanium Dioxide



- Nanoparticles during Storage. *Coatings*, 11(6).  
<https://doi.org/10.3390/coatings11060613>
28. Kitir Şen, N., & Yildirim, E. (2018). Peat Use in Horticulture. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79171>
29. Knoblauch, D., & Mederake, L. (2021). Government policies combatting plastic pollution. *Current Opinion in Toxicology*, 28, 87–96.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.10.003>
30. Kou, S. G., Peters, L., & Mucalo, M. R. (2021). Chitosan: A review of sources and preparation methods. *International Journal of Biological Macromolecules*, 169, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.005>
31. Kou, X., & Wu, M. (2018). Characterization of Climacteric and Non-Climacteric Fruit Ripening. In Y. Guo (Ed.), *Plant Senescence: Methods and Protocols* (pp. 89–102). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7672-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7672-0_7)
32. Kumar, S., Mukherjee, A., & Dutta, J. (2020). Chitosan based nanocomposite films and coatings: Emerging antimicrobial food packaging alternatives. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 196–209. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.002>
33. Kumar, S., Ye, F., Dobretsov, S., & Dutta, J. (2019). Chitosan Nanocomposite Coatings for Food, Paints, and Water Treatment Applications. *Applied Sciences*, 9(12), 2409. <https://doi.org/10.3390/app9122409>
34. Li, Y., Yin, Y., Yu, H., & Yuan, Y. (2022). Fast detection of water loss and hardness for cucumber using hyperspectral imaging technology. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(1), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01130-2>
35. Ma, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Gao, Z. (2017). Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 64, 23–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.005>
36. Mohammadi, Z., Eini, M., Rastegari, A., & Tehrani, M. R. (2021). Chitosan as a machine for biomolecule delivery: A review. *Carbohydrate Polymers*, 256, 117414.
37. Mukherjee, P. K., Nema, N. K., Maity, N., & Sarkar, B. K. (2013). Phytochemical and therapeutic potential of cucumber. *Fitoterapia*, 84, 227–236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.10.003>

38. Murad, H., & Nyc, M. A. (2016). EVALUATING THE POTENTIAL BENEFITS OF CUCUMBERS FOR IMPROVED HEALTH AND SKIN CARE. *Journal of Aging Research and Lifestyle*, 5(3), 1–3. <https://doi.org/10.14283/jarcp.2016.108>
39. Nilsson, T. (2005). Effects of ethylene and 1-MCP on ripening and senescence of European seedless cucumbers. *Postharvest Biology and Technology*, 36(2), 113–125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.11.008>
40. Parente Ribeiro Cerqueira, M. Â. (2010). *Development and Characterization of Edible Coatings to the Preservation of Cheese Quality* [PhD Dissertation]. University of Minho.
41. Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
42. PRESSEY, R., & VANTS, J. K. A. (1975). CUCUMBER POLYGALACTURONASE. *Journal of Food Science*, 40(5), 937–939. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb02238.x>
43. Saltveit Jr., M. E., & McFeeters, R. F. (1980). Polygalacturonase Activity and Ethylene Synthesis during Cucumber Fruit Development and Maturation 1. *Plant Physiology*, 66(6), 1019–1023. <https://doi.org/10.1104/pp.66.6.1019>
44. Sarker, A., Deltsidis, A., & Grift, T. E. (2021). Effect of Aloe Vera Gel-Carboxymethyl Cellulose Composite Coating on the Degradation Kinetics of Cucumber. *Journal of Biosystems Engineering*, 46(2), 112–128. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00092-z>
45. Shit, S. C., & Shah, P. T. (2014). Edible Polymers: Challenges and opportunities. *Journal of Polymers*, 2014, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2014/427259>
46. Shrivastava, C., Crenna, E., Schudel, S., Shoji, K., Onwude, D., Hischier, R., & Defraeye, T. (2022). To Wrap Or to Not Wrap Cucumbers? *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.750199>
47. SOTIROUDIS, G., MELLIOU, E., SOTIROUDIS, T. G., & CHINOU, I. (2010). CHEMICAL ANALYSIS, ANTIOXIDANT AND ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THREE GREEK CUCUMBER (CUCUMIS SATIVUS) CULTIVARS. *Journal of Food Biochemistry*, 34, 61–78. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00296.x>

48. Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
49. Verheul, M., Slimestad, R., & Johnsen, L. R. (2013). Physicochemical Changes and Sensory Evaluation of Slicing Cucumbers from different Origins. *European Journal of Horticultural Science*, 78, 176–183.
50. Wabnitz, C., & Nichols, W. J. (2010). Plastic pollution: An ocean emergency. *Marine Turtle Newsletter*, (129), 1.
51. Walker, R. P., & Famiani, F. (2018). Organic Acids in Fruits. In *Horticultural Reviews* (Vol. 45, pp. 371–430). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119431077.ch8>
52. Yamane, M., Abe, D., Yasui, S., Yokotani, N., Kimata, W., Ushijima, K., Nakano, R., Kubo, Y., & Inaba, A. (2007). Differential expression of ethylene biosynthetic genes in climacteric and non-climacteric Chinese pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 44(3), 220–227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.010>
53. Yuan, Y., He, N., Xue, Q., Guo, Q., Dong, L., Haruna, M. H., Zhang, X., Li, B., & Lin, L. (2021). Shellac: A promising natural polymer in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 139–153. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.031>
54. Yunusa, A. K., Dandago, M. A., Ibrahim, S. M., Abdullahi, N., Rilwan, A., & Barde, A. (2018). Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Different Parts of Cucumber ( L.). *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 22(2), 13–20. <https://doi.org/doi:10.2478/aucft-2018-0008>
55. Yunusa, A. K., Dandago, M. A., Ibrahim, S. M., Abdullahi, N., Rilwan, A., & Barde, A. (2018). Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Different Parts of Cucumber ( L.). *Acta Universitatis Cibiniensis. Series E: Food Technology*, 22(2), 13–20. <https://doi.org/doi:10.2478/aucft-2018-0008>
56. Zahra H. Mohammad, Faizan Ahmad, (2024). Nanocoating and its application as antimicrobials in the food industry: A review, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 254, Part 2, 127906, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127906>.

57. Zargar, V., Asghari, M., & Dashti, A. (2015). A review on Chitin and chitosan polymers: structure, chemistry, solubility, derivatives, and applications. *ChemBioEng Reviews*, 2(3), 204–226. <https://doi.org/10.1002/cben.201400025>

## Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Άννα Αναγνωστοπούλου, & Αικατερίνη Ταλέλλη. (2008). *Τεχνολογία και Ποιότητα Φρούτων και Λαχανικών* (1η). ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.
2. Μηνάς Μπισμπίκης. (2017). *Προσδιορισμός και αξιολόγηση των διατιθέμενων προς απορρόφηση αντιοξειδωτικών από Μεσογειακά ξηρά φρούτα*.
3. ΜΠΙΖΥΜΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Δ. (2023). Παραγωγή εδώδιμων επικαλυπτικών μεμβρανών με χρήση βιοπολυμερών: Μελέτη ιδιοτήτων και εφαρμογή σε ενεργό συσκευασία τροφίμων. Διδακτορική Διατριβή ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, 258 σελίδες.
4. Παυλίδης, Β. Α. (2021). Βελτιστοποίηση της διεργασίας της ωσμωτικής αφυδάτωσης για την παραγωγή αφυδατωμένων τροφίμων φυτικής προέλευσης με εφαρμογή της μεθοδολογίας RSM (Response Surface Methodology).
5. Σπυρίδων Παπαδάκης. (2018). *Συσκευασία τροφίμων* (2nd ed.). ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.

## Παράρτημα

**% Απώλεια βάρους                      Συνεκτικότητας                      pH                      %RSA**

### DAY 3 Tukey HSD<sup>a</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05				
		1	2			
control d3	3	13,9480		7,3767	5,3900	14,4309
kito 1 d3	3	16,1272	16,1272	8,0233	5,4733	31,7886
kito5 d3	3		22,7972	6,9533	5,8900	65,4472
Sig.		,705	,100	,230	,070	,060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

**% ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ                      Συνεκτικότητα                      pH                      % RSA**

### DAY 5 Tukey HSD<sup>a</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	1	1	1
kito1 d5	3	22,7600	6,8867	5,3300	66,4634
kito5 d5	3	24,8667	7,0667	5,4667	64,6341
control d5	3	25,1933	8,2533	5,7233	42,6829
Sig.		,965	,111	,121	,072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

**% ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ                      Συνεκτικότητα                      pH**

### DAY 7 Tukey HSD<sup>a</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	2	3	1	1	2
control d7	3	25,4267			7,1333	5,0133	
kito1 d7	3		34,3733		7,3100	5,0167	
kito5 d7	3			46,0600	7,3233		5,8567
Sig.		1,000	1,000	1,000	,951	1,000	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

**% ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ**

**ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05				group	N	Subset for alpha = 0.05
		1	2	3	1			
initial	5	,0000	kito5 d5	3	6,8867	kito5 d5	3	6,8867
control d3	3	13,9480	kito5 d3	3	6,9533	kito5 d3	3	6,9533
kito 1 d3	3	16,1272	kito1 d5	3	7,0667	kito1 d5	3	7,0667
kito1 d5	3		control d7	3	7,1333	control d7	3	7,1333
kito5 d3	3		kito5 d7	3	7,3100	kito5 d7	3	7,3100
kito5 d5	3		kito1 d7	3	7,3233	kito1 d7	3	7,3233
control d5	3		control d3	3	7,3767	control d3	3	7,3767
control d7	3		initial	5	7,9520	initial	5	7,9520
kito1 d7	3		kito 1 d3	3	8,0233	kito 1 d3	3	8,0233
kito5 d7	3		control d5	3	8,2533	control d5	3	8,2533
Sig.		,115	Sig.		,379	Sig.		,379

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,125.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**pH**

**% RSA**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	GROUP	N
kito1 d7	3	5,0133			
control d7	3	5,0167			
kito1 d5	3	5,3300	5,3300		
control d3	3	5,3900	5,3900	control d3	3
control d5	3	5,4667	5,4667	kito1 d3	3
kito 1 d3	3	5,4733	5,4733	control d5	3
initial	5	5,4820	5,4820	kito5 d5	3
kito5 d5	3		5,7233	kito5 d3	3
kito5 d7	3		5,8567	kito1 d5	3
kito5 d3	3		5,8900	initial	5
Sig.		,363	,169	Sig.	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

- a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,125.
- b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

**ANOVA για pH ομάδα μάρτυρα στους 8° C (R control) - kito2 στους 8° C ημέρα 5 (d5)**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,003	1	,003	,087	,778
Within Groups	,221	6	,037		
Total	,224	7			

**ANOVA pH για μάρτυρα - kito2 στους 8° C d7**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,750	1	,750	26,881	,002
Within Groups	,167	6	,028		
Total	,918	7			

**ANOVA Συνεκτικότητα R μάρτυρα d5 - R kito2 d5**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,135	1	,135	,227	,651
Within Groups	3,581	6	,597		
Total	3,716	7			

**ANOVA Συνεκτικότητα R μάρτυρα d7 - R kito2 d7**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,454	1	1,454	1,040	,347
Within Groups	8,383	6	1,397		
Total	9,837	7			

**ANOVA % Απώλεια βάρους R μάρτυρα d5 - R kito2 d5**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	62,729	1	62,729	10,291	,018
Within Groups	36,574	6	6,096		
Total	99,303	7			

**ANOVA % Απώλεια βάρους R μάρτυρα d7 - R kito2 d7**

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,495	1	24,495	2,487	,166
Within Groups	59,105	6	9,851		
Total	83,600	7			

**% ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
initial	5	,0000			
R control d5	4		12,4411		
R kito2 d5	4			18,0415	
R control d7	4			21,9827	21,9827
R kito2 d7	4				25,4824
Sig.		1,000	1,000	,187	,281

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,167.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used.

Type I error levels are not guaranteed.

**Συνεκτικότητα**

**pH**

Tukey HSD<sup>a,b</sup>

group	N	Subset for alpha = 0.05					
		1	group	N	1	2	3
R control d5	4	7,4000	initial	5	5,4820		
R kito2 d7	4	7,4575	R control d7	4	5,6275	5,6275	
R kito2 d5	4	7,6600	R control d5	4		5,8950	5,8950
initial	5	7,9520	R kito2 d5	4		5,9350	5,9350
R control d7	4	8,3100	R kito2 d7	4			6,2400
Sig.		,631	Sig.		,754	,134	,077

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,167.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.