



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η επίδραση της ενεργής συσκευασίας σε φρέσκα φρούτα
και λαχανικά**

MSc Thesis

The effect of active packaging on fresh fruits and vegetables



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Δέσποινα Κατσιγιαννη

Despoina Katsigianni

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Μαρία Γιαννακούρου

Maria Giannakourou

ΑΙΓΑΛΕΩ/AIGALEO 2023



Faculty of Food Sciences

Department of Food Science and Technology

Master of Science

FOOD INNOVATION, QUALITY AND SAFETY

MSc THESIS

The effect of active packaging on fresh fruits and vegetables

DESPOINA KATSIKIANNI

21015

de.katsikianni@gmail.com

SUPERVISOR

MARIA GIANNAKOYROU

AIGALEO 2023

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΟΙ ΥΠΟΓΡΑΦΟΝΤΕΣ ΔΗΛΩΝΟΥΜΕ ΟΤΙ ΕΧΟΥΜΕ ΕΞΕΤΑΣΕΙ ΤΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ (MASTER THESIS) ΜΕ ΤΙΤΛΟ **‘ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΣΕ ΦΡΕΣΚΑ ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ’** ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΘΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ Η ΤΗΝ **ΔΕΣΠΟΙΝΑ ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗ**, ΥΠΟΨΗΦΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΙΤΛΟ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ, ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΚΑΙ ΒΕΒΑΙΩΝΟΥΜΕ ΟΤΙ ΓΙΝΕΤΑΙ ΔΕΚΤΗ.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ

ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΌΝΟΜΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΟΣ

ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ

ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΌΝΟΜΑ ΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ

ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΌΝΟΜΑ ΜΕΛΟΥΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ

ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ

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.



<Δέσποινα Κατσίγιαννη>

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, την καθηγήτρια μου κ. Γιαννακούρου Μαρία για την ανάθεση του θέματος και για την καθοδήγησή της, καθώς και για την αμέριστη υποστήριξη και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς, τα αδέρφια μου και τους φίλους μου καθώς και την συναδελφό μου Έλενα Μπατερεάνου, οι οποίοι με στήριξαν στην προσπάθεια μου για την περάτωση της μελέτης αυτής και όλους όσους έδειξαν ενδιαφέρον και συμμετείχαν στην έρευνα που πραγματοποιήσα, μοιράζοντας τις απόψεις τους μαζί μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κ. Παπαδάκη Σπυρίδων και κ. Λάζου Ανδριάννα για τη συμβολή τους στην επιτυχή ολοκλήρωση της διπλωματικής μου μελέτης.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση των συστημάτων ενεργής συσκευασίας στα κομμένα ή ολόκληρα φρέσκα φρούτα και λαχανικά. Αρχικά, παρουσιάζονται ορισμένες από τις συσκευασίες που χρησιμοποιούνται εν γένει στα τρόφιμα, και συγκεκριμένα η ασηπτική συσκευασία, η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP), καθώς και η υπό κενό (Vacuum), η ενεργή και η έξυπνη συσκευασία. Εν συνεχεία, γίνεται εμβάθυνση στην ενεργή συσκευασία, η οποία, όπως θα αναλυθεί, χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, τα συστήματα απορρόφησης και τα συστήματα εκπομπής. Στην μεν πρώτη κατηγορία ανήκουν οι απορροφητές οξυγόνου, υγρασίας, αιθυλενίου, διοξειδίου του άνθρακα και ανεπιθύμητων ουσιών. Στη δε δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα απελευθέρωσης αντιμικροβιακών ουσιών, αντιοξειδωτικών και διοξειδίου του άνθρακα. Ακολούθως, από τα ανωτέρω συστήματα ενεργής συσκευασίας, αναλύονται αυτά, τα οποία έχουν εφαρμογή στα κομμένα ή ολόκληρα φρέσκα φρούτα και λαχανικά.

Το πιο δημοφιλές σύστημα συσκευασίας, που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, κυρίως σε φρούτα και εν μέρει σε λαχανικά, είναι οι απορροφητές αιθυλενίου. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες μελέτες, με τις οποίες έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα των απορροφητών αιθυλενίου στη διατήρηση της οργανοληπτικής ποιότητας και στην επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων. Ωστόσο, το γεγονός, ότι οι μικροοργανισμοί είναι η κυριότερη αιτία αλλοίωσης των ευαίσθητων φρούτων και λαχανικών, θέτει τα συστήματα αντιμικροβιακής συσκευασίας στο επίκεντρο του ερευνητικού ενδιαφέροντος. Όπως θα καταδειχθεί, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μελετών που παρατίθενται με την παρούσα εργασία, μετά τη χρήση αντιμικροβιακών παραγόντων στην ενεργή συσκευασία των οπωροκηπευτικών, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών δύναται να ανασταλεί ή/και να επιβραδυνθεί.

Φυσικά, η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς με τη δημιουργία νέων συσκευασιών, πιο οικολογικών, οικονομικών και εξειδικευμένων για κάθε φρούτο και λαχανικό. Ορισμένες από τις νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται και εφαρμόζονται στα οπωροκηπευτικά είναι κυρίως τα νανοσύνθετα υλικά, αλλά και η υπεριώδης ακτινοβολία (UV), παλμικό φως (PL), η επεξεργασία υψηλής πίεσης (HPP), οι υπέρηχοι και η φωτοευαισθητοποίηση (photosensitization). Εντούτοις, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν πολλές ακόμα έρευνες, προκειμένου να εφαρμοστούν οι παραπάνω τεχνολογίες ενεργής συσκευασίας σε εργαστηριακό και ακολούθως σε βιομηχανικό επίπεδο, εξασφαλίζοντας παράλληλα την λειτουργικότητα αυτών και την ασφάλεια των καταναλωτών.

Λέξεις κλειδιά: ενεργή συσκευασία, φρούτα, λαχανικά, συστήματα απορρόφησης, συστήματα εκπομπής

Abstract

The aim of the present thesis is to review the literature on active packaging systems for cut or whole fresh fruits and vegetables. Initially, some of the packaging systems generally used in food are presented, particularly the aseptic packaging, modified atmosphere packaging (MAP), the vacuum, the active and the smart packaging. In addition, active packaging is examined in depth, which as it will be analyzed is divided in two categories, namely the absorption systems and the emission systems. As regards the first category, it includes oxygen absorbers, moisture, ethylene, carbon dioxide and undesirable substances. The second category includes release systems of antimicrobials, antioxidants and carbon dioxide. Of the above active packaging systems, those applicable to cut or whole fresh fruit and vegetables are analyzed below.

The most popular packaging system, which has been used successfully, mainly for fruit and partly for vegetables, is the ethylene absorbers. There are several studies in the literature which have demonstrated the effectiveness of ethylene absorbers in maintaining organoleptic quality and extending the life-cycle of products. However, the fact that microorganisms are the main cause of spoilage of sensitive fruits and vegetables makes antimicrobial packaging systems the focus of research interest. As will be demonstrated, according to the results of the studies presented in this thesis, after the use of antimicrobial agents in the active packaging of fruit and vegetables, the growth of microorganisms can be inhibited and/or slowed down.

Of course, the technology is constantly evolving with the creation of new packaging that is more eco-friendly, less expensive and specific to each fruit and vegetable. Some of the new technologies that are being developed and applied to fruits and vegetables are mainly nanocomposites, but also ultraviolet radiation (UV), pulsed light (PL), high pressure processing (HPP), ultrasound and photosensitization. However, much more research is required in order to apply these active packaging technologies at laboratory and subsequently at industrial level, while ensuring their functionality and consumer safety.

Key words: active packaging, fruit, vegetables, absorption systems, emission systems

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

.....	i
Δήλωση περί λογοκλοπής/Copyright	iv
Ευχαριστίες	v
Περίληψη	vi
Abstract	vii
περιεχομενα	viii
Κεφάλαιο 1. Συσκευασία Τροφίμων	xii
1.1 Ιστορική Αναδρομή	xii
1.2 Εξελίξεις στην τεχνολογία της συσκευασίας	2
1.2.1 Ασηπτική συσκευασία (Aseptic Packaging)	3
1.2.2 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP - Modified Atmosphere Packaging) και υπό κενό (Vacuum packaging)	5
1.2.3 Ενεργή συσκευασία (Active packaging)	7
1.2.4 Έξυπνη συσκευασία (Intelligent packaging)	8
1.3 Ο ρόλος της συσκευασίας τροφίμων	14
Κεφάλαιο 2. Ενεργή Συσκευασία	16
2.1 Ιστορική αναδρομή ενεργής συσκευασίας	16
2.2 Τύποι ενεργής συσκευασίας	19
2.2.1 Συστήματα Απορρόφησης	19
2.2.1.1 Απορρόφηση οξυγόνου	19
2.2.1.2 Απορρόφηση υγρασίας	23
2.2.1.3 Απορρόφηση αιθυλενίου	24
2.2.1.4 Απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα.....	27
2.2.1.5 Απορρόφηση ανεπιθύμητων ουσιών στα τρόφιμα	28
2.2.2 Συστήματα Απελευθέρωσης.....	31
2.2.2.1 Απελευθέρωση αντιοξειδωτικών	31
2.2.2.2 Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα.....	35
2.2.2.3 Συστήματα Αντιμικροβιακής Συσκευασίας	36
Κεφάλαιο 3. Ενεργή συσκευασία σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά	44
3.1 Νομοθεσία για τα τρόφιμα	44
3.2 Μέθοδοι ενεργής συσκευασίας που χρησιμοποιούνται σε φρούτα και λαχανικά	50
3.2.1 O ₂ και CO ₂ σε συνδυασμό με MAP	50
3.2.2 Αντιοξειδωτικά σε συνδυασμό με MAP	53
3.2.3 Έλεγχος υγρασίας και συμπύκνωσης	55
3.2.4 Απορρόφηση αιθυλενίου	59

3.2.5 Έλεγχος οσμών.....	69
3.2.6 Σύστημα αντιμικροβιακής συσκευασίας.....	70
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα και νέες τεχνολογίες	76
4.1 Συμπεράσματα.....	76
4.2 Νέες τεχνολογίες και εξελίξεις	77
Εικόνα 1: Διάγραμμα ασηπτικής επεξεργασίας και συσκευασίας.....	3
Εικόνα 2 : Παγκόσμια χρήση ασηπτικής συσκευασίας ανά προϊόν, 2016.....	4
Εικόνα 3: Τύποι έξυπνης συσκευασίας	9
Εικόνα 4: Γραμμωτοί κώδικες (bar codes).....	10
Εικόνα 5: Δείκτης ποιότητας / φρεσκάδας.....	11
Εικόνα 6: Δείκτης συγκέντρωσης αερίων AGELESS EYE™	13
Εικόνα 7: Δείκτης θερμοχρωμικών μελανιών	13
Εικόνα 8: Διάβρωση λευκοσιδήρων δοχείων- (α)-(γ) διαλύεται κατά προτίμηση ο κασσίτερος (δ)-(στ) διαλύεται κατά προτίμηση ο σίδηρος.....	17
Εικόνα 9: OxyFree® 504A απορροφητές οξυγόνου της εταιρείας Action Stor.....	21
Εικόνα 10: Φακελίσκος με silica gel.....	23
Εικόνα 11: Τρόπος δράσης ενός απορροφητή αιθυλενίου ενσωματωμένος σε μεμβράνη.....	25
Εικόνα 12: Φακελάκι απορρόφησης αιθυλενίου της εταιρείας Hellagro.....	25
Εικόνα 13: Συσκευασία καφέ με βαλβίδα μονής κατεύθυνσης.....	27
Εικόνα 14: Σακουλάκι απορρόφησης διοξειδίου του άνθρακα ATCO® της εταιρείας EMCO	28
Εικόνα 15: Παραδειγματα απορροφητών ανεπιθήμητων ουσιών της SORBEAD INDIA (αριστερά), της BLUAPPLE (επάνω δεξιά) και της LONGOU OCEAN INDUSTRY AND TRADE CO., LTD (κάτω δεξιά).....	30
Εικόνα 16: Τρόπος δράσης του απορροφητή οσμών.....	30
Εικόνα 17: Σχηματική αναπαράσταση της δομής διαφορετικών συστημάτων αντιμικροβιακής συσκευασίας.....	37
Εικόνα 18: Σχηματική αναπαράσταση της ένσωμάτωσης του αντιμικροβιακού παράγοντα σε μία συσκευασία τροφίμου.....	43
Εικόνα 19: Κανονισμοί (ΕΚ) αριθ. 1935/2004.....	49
Εικόνα 20: Παθητική και ενεργητική μαρ στη συσκευασί φρέσκων καρπών φράουλας	51
Εικόνα 21: Διαφορετικές μορφές απορροφητών υγρασίας	56
Εικόνα 22: Σχηματική απεικόνιση της τεχνολογίας της CSIRO Plant Industries με τη μορφή σακούλας επένδυσης για χρήση σε χαρτοκιβώτιο από ινοσανίδα.....	58

Εικόνα 23: Απορροφητές υγρασίας για την αποφυγή συσσώρευσης υγρασίας στη συσκευασία λαχανικών	59
Εικόνα 24: Φακελίσκοι απορρόφησης αιθυλενίου με υπερμαγγανικό κάλιο	64
Εικόνα 25: Χαρακτηριστικά αντίδρασης Diels-Alder	65
Εικόνα 26: Διάγραμμα που δείχνει πως τα μορια αιθυλενίου μπορούν να παγιδευτούν από τους ζεόλιθους που είναι διεσπαρμένοι στο τοίχωμα της συσκευασίας.....	65
Εικόνα 27: Απεικόνιση της δράσης των φακελίσκων αιθυλενίου και του 1-MCP	66
Εικόνα 28: Εφαρμογή αντιμυκητησιακού ενεργού φίλμ με βάση τη χιτοζάνη σε μούρα	73
Εικόνα 29: Σχηματική απεικόνιση του πολυμερούς Intellimer®	75
Πίνακας 1: Εφαρμογή της ασηπτικής επεξεργασίας / συσκευασίας σε διάφορα προϊόντα	5
Πίνακας 2: Προτεινόμενη σύνθεση αερίων για συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας ανά προϊόν	6
Πίνακας 3: Διάρκεια ζωής διαφόρων προϊόντων συσκευασμένα υπό κενό	7
Πίνακας 4: Εφαρμογή της ενεργής συσκευασίας σε διάφορα προϊόντα	8
Πίνακας 5: τυποι χρονοθερμοκρασιακών δεικτών ή ολοκληρωτών (TTI).....	12
Πίνακας 6: Εφαρμογή της έξυπνης συσκευασίας σε διάφορα προϊόντα	14
Πίνακας 7: Ενεργή συσκευασία απορρόφησης οξυγόνου και οι εφαρμογές της σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων	22
Πίνακας 8: Ενεργή συσκευασία απορρόφησης υγρασίας και οι εφαρμογές της σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων (Πηγή: Yildirim al., 2017)	24
Πίνακας 9: Ενεργή συσκευασία απορρόφησης αιθυλενίου και οι εφαρμογές της σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων	26
Πίνακας 10: Εφαρμογές των απορροφητών CO ₂ σε συσκευασίες τροφίμων (Πηγή: Lee D.S., 2016).....	28
Πίνακας 11: Ενεργή συσκευασία απελευθέρωσης αντιοξειδωτικών και οι εφαρμογές της σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων	33
Πίνακας 12: Ενεργή συσκευασία απελευθέρωσης διοξειδίου του άνθρακα και οι εφαρμογές της σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών προγραμμάτων	36
Πίνακας 13: Συστήματα αντιμικροβιακής συσκευασίας με ενεργό συστατικό τα αιθέρια έλαια και οι εφαρμογές τους σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων.....	39
Πίνακας 14: Συστήματα αντιμικροβιακής συσκευασίας με ενεργό συστατικό τις βακτηρισύνες - ένζυμα και οι εφαρμογές τους σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων	40
Πίνακας 15: Συστήματα ενεργής συσκευασίας – αντιμικροβιακά φίλμ και οι εφαρμογές τους σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων	41

Πίνακας 16: Συστήματα αντιμικροβιακής συσκευασίας με ενεργό συστατικό οργανικά οξέα, τα παραπροϊόντα τους και άλλα οργανικά οξέα και οι εφαρμογές τους σε διάφορα τρόφιμα με βάση ερευνητικών αποτελεσμάτων.....	42
Πίνακας 17: Παρουσίαση διάφόρων φρούτων και λαχανικών ως προς την ευαισθησία τους στο αιθυλένιο	60
Πίνακας 18: Θετικές επιδράσεις αιθυλενίου σε φρούτα και λαχανικά.....	62
Πίνακας 19: Αρνητικές επιδράσεις αιθυλενίου σε φρούτα και λαχανικά	62
Πίνακας 20: Παραδείγματα εφαρμογής απορροφητών αιθυλενίου σε φρούτα και λαχανικά	67

Κεφάλαιο 1. Συσκευασία Τροφίμων

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Κατά την προϊστορική εποχή, η οποία ήταν μία περίοδος μεγάλης μετακίνησης των πληθυσμών λόγω της ανάγκης εξεύρεσης μέσων προσπορισμού της τροφής, το θέμα της συσκευασίας των τροφίμων δεν απασχολούσε τον άνθρωπο, καθώς τρεφόταν με όσα του παρείχε το περιβάλλον γύρω του (Robertson, 2019). Σταδιακά, καθώς ο άνθρωπος εξελισσόταν, η έννοια της προστασίας των τροφίμων εμφανίστηκε ως απάντηση στις αυξανόμενες ανάγκες του, γεγονός που τον οδήγησε στην αναζήτηση ασφαλέστερων λύσεων για τη διαβίωσή του (Sarkar and Aparna, 2020). Από τη μόνιμη εγκατάσταση σε μια περιοχή για αρκετά μεγάλο διάστημα και τη συνεπακόλουθη δημιουργία οικισμών, γεννήθηκε η ανάγκη της συντήρησης και συσκευασίας των τροφίμων (Robertson, 2019).

Τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την αποθήκευση τροφίμων μπορούσε κανείς να τα αναζητήσει στη φύση: φύλλα, κολοκύθες και κοχύλια. Αργότερα ακολούθησαν τα καλάθια, τα οποία ήταν φτιαγμένα από χόρτα, ξύλο και μπαμπού, ενώ τα δοχεία ήταν κεραμικά, γυάλινα ή χάρτινα (Sarkar and Aparna, 2020). Πρώτες ενδείξεις για την κατασκευή κεραμικών και γυάλινων δοχείων έχουμε μεταξύ 3000 - 7000 π.Χ., τα οποία τότε σφραγίζονταν με κεριά μέλισσας, πίσσα ή φελλό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι, από εκείνη ακόμα την εποχή, το γυαλί κατασκευαζόταν από ασβεστόλιθο, σόδα, άμμο και διοξείδιο του πυριτίου. Φυσικά, σήμερα προστίθενται και άλλα υλικά, προκειμένου να χρωματίσουν το γυαλί και να τροποποιήσουν τις ποικίλες ιδιότητές του (Robertson, 2019).

Άλλα μέσα αποθήκευσης, που χρησιμοποιούνταν τον 1ο αιώνα μ.Χ. έως το 1800, αποτελούν οι δερμάτινοι σάκοι για κρασί και γάλα, καθώς και ξύλινα βαρέλια επικαλυμμένα εσωτερικά με ρητίνη πεύκου (Robertson, 2019). Στις αρχές του 1800, το χαρτόνι ήταν το πρώτο που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή πτυσσόμενων χαρτοκιβωτίων και το 1850, αναπτύχθηκαν τα κυματοειδή κουτιά, που σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως ως εμπορευματοκιβώτια μεταφοράς, ώστε να χωρέσουν μια σειρά από μικρότερες συσκευασίες. Τα πλαστικά, συμπεριλαμβανομένης της νιτρικής κυτταρίνης, του στυρενίου και του βινυλοχλωριδίου ανακαλύφθηκαν τη δεκαετία του 1800, αλλά χρησιμοποιήθηκαν πολύ αργότερα, κατά τον 20ο αιώνα. Ορισμένες από τις πρώτες χρήσεις τους, παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (Risch, 2009).

Η Βιομηχανική Επανάσταση, η οποία ξεκίνησε το τρίτο μισό του 18ου αιώνα (1760) και κορυφώθηκε κατά τις αρχές του 20ου, έφερε στο προσκήνιο την ανάπτυξη νέων κατασκευαστικών υλικών και διαδικασιών (Robertson, 2019). Τα περισσότερα από αυτά τα υλικά δεν προορίζονταν για τρόφιμα, ωστόσο αξιοποιήθηκαν αργότερα ως υλικά συσκευασίας τροφίμων. Για παράδειγμα, τα μεταλλικά κουτιά ενώ κατασκευάστηκαν αρχικά για ταμπάκο, καθώς διατηρούσαν την υγρασία και

τη γεύση του προϊόντος, αργότερα χρησιμοποιήθηκαν στην κονσερβοποίηση, μία ανακάλυψη του “πατέρα της κονσερβοποίησης” Nicholas Appert, που ήρθε ως απάντηση σε πρόκληση του Γάλλου αυτοκράτορα Ναπολέοντα Βοναπάρτη, ο οποίος αναζητούσε τρόπο να συντηρούνται τα τρόφιμα για το στρατό του, για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο Appert χρησιμοποίησε αρχικά γυάλινα μπουκάλια, που έκλειναν με φελλούς και στερεώνονταν με σύρμα ως πώμα, ώστε να συγκρατούν τα τρόφιμα κατά τη θέρμανση. Όμως, αυτά έσπαγαν εύκολα, γι’ αυτό και αντικαταστάθηκαν από μεταλλικά δοχεία. Τα τελευταία επέτρεπαν στα προϊόντα να υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία, χωρίς κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα και συντηρούσαν το τρόφιμο καλύτερα (Risch, 2009).

Το 1892 ο William Painter, ιδρυτής της σημερινής Crown Holdings, Inc., κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τον φελλό crown. Αυτός, αποτελούνταν από ένα μεταλλικό καπάκι, που εσωτερικά περιείχε ένα στρώμα φελλού και επέτρεπε, με αυτόν το τρόπο, να σφραγίζεται καλά το πάνω μέρος ενός γυάλινου μπουκαλιού. Πριν από αυτή την εφεύρεση, το εσωτερικό των γυάλινων μπουκαλιών ήταν ευάλωτο σε φθορά, λόγω της εισόδου οξυγόνου. Σήμερα, για πιο ομοιόμορφη και στεγανή σφράγιση τοποθετούνται πλαστικά ή άλλα συνθετικά υλικά, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα τοποθέτησης φελλού με ενσωματωμένη οξυγονο-απορροφητική ικανότητα, για την απομάκρυνση του υπολειπόμενου οξυγόνου, προκειμένου να εμποδίζεται η οξείδωση του περιεχομένου της φιάλης (Risch, 2009).

Ένα άλλο παράδειγμα εξέλιξης της συσκευασίας τροφίμων είναι τα μπισκότα, τα οποία ήταν τα πρώτα προϊόντα που συσκευάστηκαν ατομικά και πωλήθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1890, καθώς μέχρι τότε συσκευάζονταν σε μεγάλα βαρέλια. Ο κόσμος έπαιρνε όσο προϊόν ήθελε και το έβαζε σε μια χάρτινη σακούλα για το σπίτι. Η National Biscuit Co., ανέπτυξε ένα μπισκότο ελαφρύτερο και πιο αφράτο, ενώ παράλληλα σχεδίασε μια ατομική συσκευασία με εσωτερική επένδυση, που θα το προστάτευε από την υγρασία, την αλλοίωση και θα διατηρούσε την τραγανότητά του. Αυτή η σκέψη αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα για τη διατήρηση της ποιότητας του προϊόντος (Risch, 2009).

Μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στα τρόφιμα και την ποιότητα τους. Επίσης, βελτιώθηκαν τα υλικά και οι ιδιότητες των πλαστικών, τα οποία, όπως και τα μεταλλικά δοχεία, είχαν αναπτυχθεί για άλλο σκοπό αρχικά (πολεμικές εφαρμογές) και στη συνέχεια ενσωματώθηκαν στη συσκευασία τροφίμων. Το πολυαιθυλένιο ήταν ένα από αυτά. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται σήμερα, όπως χαμηλής πυκνότητας (LDPE), υψηλής πυκνότητας (HDPE), γραμμικό χαμηλής πυκνότητας (LLDPE) και πολύ χαμηλής πυκνότητας (VLDPE). Η Imperial Chemical Industries ανέπτυξε το 1933 το LDPE και έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την παραγωγή του υλικού που περιλάμβανε τη συμπίεση αερίου αιθυλενίου και τη θέρμανσή του σε υψηλή θερμοκρασία. Το 1957 έχουμε την πρώτη πλαστική σακούλα σάντουιτς σε ρολό. Μέχρι το

1966, πάνω από το 25% της συνολικής ποσότητας ψωμιού που πωλούνταν, ήταν σε πλαστικές σακούλες από LDPE. Αυτή η συσκευασία εξακολουθεί να χρησιμοποιείται έως και σήμερα στα περισσότερα προϊόντα ψωμιού. Βέβαια, κάποιες επιχειρήσεις επέστρεψαν στην χρήση χάρτινων συσκευασιών. Ωστόσο, με αυτόν τον τρόπο δε διατηρείται το ψωμί το ίδιο καλά, όσο στην πλαστική σακούλα και η ποιότητα υποβαθμίζεται πολύ πιο γρήγορα. Το 1954 ο καθηγητής Giulio Natta ανακάλυψε το ισοτακτικό πολυπροπυλένιο (i-PP), το οποίο είναι ένα προσανατολισμένο πολυπροπυλένιο (OPP). Τα μόρια ευθυγραμμίζονται, δημιουργώντας μια μεμβράνη με καλύτερο φραγμό υδρατμών, καλύτερη διαύγεια και μεγαλύτερη ακαμψία. Χρησιμοποιείται ευρέως ως περιτύλιγμα για σνακ (Risch, 2009).

Μια διαδικασία που έχει βελτιώσει τις συνολικές ιδιότητες του πλαστικού είναι η συν - εξώθηση, η οποία αναπτύχθηκε το 1964 από την Hercules. Σε αυτή τη διαδικασία, μια μεμβράνη με δύο ή περισσότερες στρώσεις διαφορετικών τύπων πλαστικού μπορούν να κατασκευαστούν σε ένα στάδιο, χωρίς να απαιτείται η πλαστικοποίηση των στρωμάτων με συγκολλητική ουσία. Παράλληλα, εξαλείφεται η χρήση διαλυτών και παράγεται μια μεμβράνη σε ένα βήμα. Οι μεμβράνες πολλαπλών στρώσεων παρέχουν μεγαλύτερο φραγμό σε υγρασία (πολυπροπυλένιο, μεμβράνες αιθυλενοβινυλικής αλκοόλης - EVOH) και σε αέρια (μεμβράνη πολυεστέρα). Ο συνδυασμός και των τριών μεμβρανών δημιουργούν μια μεμβράνη μη περατή σε υγρασία και οξυγόνο (Risch, 2009).

Τα τελευταία 15-20 χρόνια, το μόνο πλαστικό που έχει λάβει έγκριση από τον FDA το 2000 για επαφή με τρόφιμα, είναι το ναφθαλικό (PEN), το οποίο όμως έχει πολύ υψηλό κόστος. Γενικότερα, αν και υπάρχει μεγάλος αριθμός νέων πρόσθετων και βοηθητικών υλών επεξεργασίας, των οποίων η χρήση έχει επιτραπεί, η διαδικασία έγκρισης από τον FDA με τη μορφή επιστολής μη αντίρρησης είναι δύσκολο να ληφθεί, καθώς πρέπει να πραγματοποιηθούν εκτεταμένες αξιολογήσεις ασφάλειας και περιβάλλοντος (Risch, 2009).

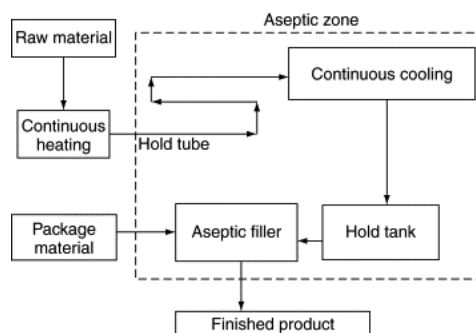
1.2 Εξελίξεις στην τεχνολογία της συσκευασίας

Η βασική λειτουργία της συσκευασίας των τροφίμων από τότε που δημιουργήθηκε είναι η προστασία και η συγκράτηση του προϊόντος μέσω της ικανότητας της να χρησιμοποιείται ως ένα αδρανές φράγμα έναντι του εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς και η διάδοση πληροφοριών στους καταναλωτές (Neela and Harloveleen, 2019). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια οι μεταβαλλόμενες τάσεις της αγοράς και η ευαισθητοποίηση των καταναλωτών για όλο και πιο ποιοτικά, ασφαλή και υγιεινά προϊόντα με βελτιωμένη και σταθερή σύνθεση, έδωσε ώθηση στις βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων για νέες τεχνικές συσκευασίας (Kerry and Butler, 2008). Παράλληλα, οι πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα συσκευασμένα προϊόντα, συνέβαλλαν στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος, στην παράταση της διάρκειας ζωής του καθώς και στη διασφάλιση της ασφάλειας του προϊόντος (Neela and Harloveleen, 2019). Επιπλέον, το γεγονός ότι τα τρόφιμα διανέμονται σε όλο τον κόσμο και χρειάζεται να εκτελούνται μεγάλες αποστάσεις για να

φτάσει το προϊόν από μία περιοχή ή χώρα σε μία άλλη, έχει ως αποτέλεσμα την αποθήκευσή τους για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα. Προκειμένου να είναι κάτι τέτοιο εφικτό, θα πρέπει να υπάρξει η κατάλληλη συσκευασία, η οποία να διατηρεί το τρόφιμο αναλλοίωτο. Έτσι, από τα μέσα του 20ου αιώνα εμφανίζονται νέες τεχνολογίες συσκευασίας, όπως η ασηπτική, η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας, η ενεργή και η έξυπνη συσκευασία, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω με περισσότερη λεπτομέρεια (Robertson, 2019).

1.2.1 Ασηπτική συσκευασία (Aseptic Packaging)

Σύμφωνα με τα Μέλη του Ινστιτούτου Τεχνολόγων Τροφίμων με έδρα τις ΗΠΑ το 1989, η ασηπτική επεξεργασία και συσκευασία αποτελεί τη σημαντικότερη καινοτομία της επιστήμης των τροφίμων των τελευταίων 50 ετών (Παπαδάκης, 2018). Η πρώτη ασηπτική συσκευασία τροφίμων πραγματοποιήθηκε στη Δανία από τον Niels Jonus Nielsen πριν από το 1913 και περιλάμβανε την τοποθέτηση του γάλακτος σε μεταλλικές κονσέρβες, ενώ το 1969 αναπτύχθηκε ένα από τα σημαντικότερα συστήματα ασηπτικής συσκευασίας, το λεγόμενο Tetra Brik Aseptic carton, το οποίο αποτελεί μέχρι και σήμερα τον κυρίαρχο τύπο ασηπτικής συσκευασίας. Στις επόμενες δεκαετίες, ο πιο σημαντικός σταθμός στην εξέλιξη της ασηπτικής συσκευασίας ήταν τον Μάιο του 1975, όπου αναπτύχθηκε το πρώτο ασηπτικό σύστημα Combibloc, το οποίο διέφερε από το Tetra Brik Aseptic στο ότι ήταν ένα σύστημα τροφοδοσίας υπό κενό. Προϊόντα όπως το γάλα UHT και οι χυμοί έγιναν ευρέως διαθέσιμα σε όλο τον κόσμο, αλλά στις ΗΠΑ μετά το 1981, αφού πρώτα η Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) ενέκρινε τη χρήση του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) ως απολυμαντικό για επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Τα όρια που έθεσε ήταν ότι το H_2O_2 δε θα πρέπει να ξεπερνάει τα 0,5 ppm στο τελικό προϊόν (Robertson, 2019).

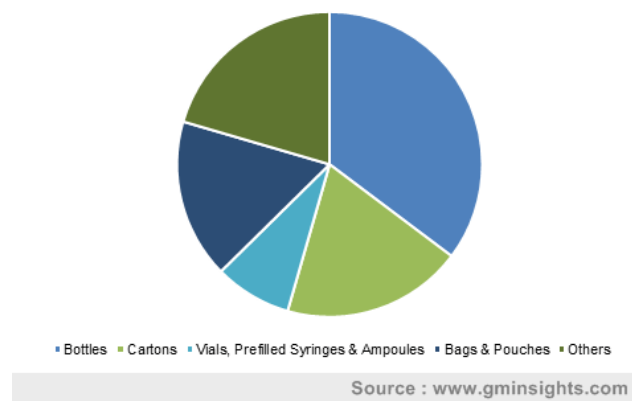


ΕΙΚΟΝΑ 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΣΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Ως «ασηπτική συσκευασία» ορίζεται η συσκευασία, από την οποία απουσιάζουν οι μικροοργανισμοί και τα σπόρια βακτηρίων, που μπορεί να εκβλαστήσουν και να επιφέρουν επιμόλυνση. Πρόκειται για έναν συνδυασμό δύο διαδοχικών διαδικασιών, της ασηπτικής επεξεργασίας και της συσκευασίας (Sarkar and Arana, 2020). Κατά την πρώτη διαδικασία, το προϊόν θερμαίνεται σε εξαιρετικά υψηλή θερμοκρασία (140-150°C) (UHT-Ultra-High Temperature), για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια ψύχεται. Ταυτόχρονα, σε ασηπτικό περιβάλλον,

αποστειρώνεται η ίδια η συσκευασία, πληρώνεται με το ήδη αποστειρωμένο τρόφιμο μέσα από ένα κλειστό σύστημα και σφραγίζεται ερμητικά, για την αποφυγή επιμόλυνσης. Ένα ευρύ φάσμα συσκευασμένων προϊόντων που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία συσκευασίας είναι το γάλα, οι χυμοί, το μεταλλικό νερό, τα ποτά, το κρασί, το τσάι, τα συμπυκνώματα, τα γαλακτοκομικά, οι σάλτσες και τα προϊόντα ντομάτας, όπου εξακολουθούν να συντηρούν τη γεύση και τη θρεπτική τους αξία (Neela and Harloveleen, 2019).

Στην ασηπτική συσκευασία χρησιμοποιείται μια μεγάλη γκάμα υλικών, όπως χαρτοκιβώτια τύπου "form-fill-seal" και προκατασκευασμένα χαρτοκιβώτια, λευκοσίδηρος, ECCS και αλουμινένια κουτιά, γυάλινα και πλαστικά (PET, HDPE και PP είναι τα πιο συνηθισμένα) μπουκάλια, προσχηματισμένα πλαστικά ποτήρια, φακελάκια και σακουλάκια. Πολυάριθμες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την αποστείρωση των υλικών συσκευασίας με τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μεθόδους να περιλαμβάνουν θερμότητα, ζεστό νερό, χημικά αποστειρωτικά (H_2O_2 ή υπεροξικό οξύ), δέσμη ηλεκτρονίων και ακτινοβολία ή συνδυασμός μεθόδων (Robertson, 2019).



ΕΙΚΟΝΑ 2 : ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΧΡΗΣΗ ΑΣΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ, 2016

Αρχικά, η θερμότητα χρησιμοποιείται ως φυσική επέκταση της θερμικής επεξεργασίας για την αποστείρωση των υλικών πλήρωσης, τα οποία αποστειρώνονται κυρίως με "υγρή" θερμότητα με τη μορφή ζεστού νερού ή κορεσμένου ατμού υπό πίεση. Για την ασηπτική επεξεργασία του εξοπλισμού χρησιμοποιείται "ξηρή" θερμότητα, με τη μορφή υπέρθερμου ατμού ή θερμού αέρα (Sanjana et al., 2019). Ωστόσο, η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι το διάλυμα H_2O_2 , όπου τα υλικά συσκευασίας έρχονται σε επαφή με συγκέντρωση 15% - 35% H_2O_2 μέσω δεξαμενών εμβάπτισης ή ψεκάζονται από ακροφύσια με λεπτά σταγονίδια του χημικού παράγοντα. Εναλλακτικά, ένας άλλος τρόπος εφαρμογής, είναι η συμπύκνωση του ατμού και η διάχυση του στην ψυχρή επιφάνεια των υλικών συσκευασίας με τη μορφή λεπτών σταγονιδίων. Το διάλυμα H_2O_2 απομακρύνεται από τις επιφάνειες των υλικών συσκευασίας με θερμικές επεξεργασίες, όπως θερμός

αέρας ή υπέρυθρη ακτινοβολία (Robertson, 2019). Τέλος, η ακτινοβολία γ εφαρμόζεται εδώ και δεκαετίες για την αποστείρωση υλικών συσκευασίας κυρίως για όξινα τρόφιμα, λόγω των δεισδυτικών δυνάμεων της ακτινοβολίας γ (Sanjana et al., 2019).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΑΣΗΠΤΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ / ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

System	Country	Packaging materials	Contents	Features of Machines and Sterilization Methods of Microbes
Dole	United States	Composite and metal cans	Pastes, puddings, and fruit drinks	Change from the conventional steam sterilization (221–226°C) to hot air sterilization (116°C); temperature of the heating source is 316°C
Metal Box	United Kingdom	Aluminum and plastic cups	Puddings, pastes, and fruit drinks	Molded cups are sterilized with 35% hydrogen peroxide sprays and then dried with hot air
Liqui Pak	United States	Paperboard cartons	Milk and fruit drinks	Formed paperboard cartons are first sterilized with 1 cm ³ of 0.1% hydrogen peroxide sprays, then sterilized with ultraviolet rays and then dried with hot air.
Erca (Conoffast)	France (United States)	Plastic multilayer sheets	Fruit drinks, puddings, and coffee milk	After two-layer sheets are released from the composite material, remaining aseptic several-layer sheets are molded into containers
Hassia	West Germany	Plastic multilayer sheets	Yogurt and desserts	Packaging materials are sterilized with steam at the high temperature of 130–150°C
Hamba	West Germany	Plastic multilayer sheets	Yogurt, puddings, and fruit drinks	Packaging materials are sterilized on the high-performance UV sterilizer
Thimonnier	France	Roll-type plastic films	Milk, fruit drinks, and pastes	Packaging materials are sterilized with both alcohol and ultraviolet rays
Serac	France	Glass or plastic bottles	Yogurt sauce and flowing foods	Bottles are sterilized with hydrogen peroxide and then dried at 138°C for 6 min; products are filled into sterile bottles in the aseptic chamber

Πηγή: Aseptic Packaged Foods, Michio Yokoyama, in Food Packaging, 1990

1.2.2 Συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP - Modified Atmosphere Packaging) και υπό κενό (Vacuum packaging)

Η συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP - Modified Atmosphere Packaging) καθιερώθηκε ως μέθοδος συντήρησης τροφίμων, χάρη στην εισαγωγή της από την εταιρεία Marks and Spencer's σε φρέσκα κομμάτια κρέατος από το Ηνωμένο Βασίλειο τη δεκαετία του 1970. Από τότε, η χρήση έχει επεκταθεί σε ψάρια, φρέσκα προϊόντα, ζυμαρικά, πίτσα, άλλα αρτοσκευάσματα και ξηρά προϊόντα, όπως ξηροί καρποί και σνακ. Το Ηνωμένο Βασίλειο μαζί με τη Γαλλία αποτελούν τις σημαντικότερες αγορές, ενώ η χρήση της συσκευασίας MAP αυξάνεται και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, ιδιαίτερα στην Ανατολική Ευρώπη, λόγω των σχετικά μικρών αποστάσεων και του καλά εδραιωμένου συστήματος διανομής. Σε παγκόσμιο επίπεδο η συσκευασία MAP αναμένεται να παρουσιάσει σημαντική ανάπτυξη την τρέχουσα δεκαετία (Embleni, 2013).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από 78,08 % (v/v) άζωτο, 20,95 % (v/v) οξυγόνο, 0,93 % (v/v) αργό, 0,03 % διοξείδιο του άνθρακα και εννέα άλλα αέρια σε πολύ μικρές περιεκτικότητες. Στη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP – Modified Atmosphere Packaging) το τρόφιμο συσκευάζεται σε αέριο περιβάλλον διαφορετικής σύστασης από την προαναφερθείσα, με σκοπό την επιβράδυνση των χημικών αντιδράσεων, της ανάπτυξης των μικροοργανισμών, και κατ' επέκταση την παρεμπόδιση της ποιοτικής υποβάθμισης και παράταση της διάρκειας ζωής του προϊόντος (Παπαδάκης, 2018). Η συσκευασία MAP είναι μια διαδικασία, όπου η εσωτερική ατμόσφαιρα των συσκευασμένων τροφίμων τροποποιείται αντικαθιστώντας τον αέρα με ένα προκαθορισμένο μείγμα αερίων πριν από τη σφράγιση. Στο εμπόριο χρησιμοποιείται άζωτο, διοξείδιο του άνθρακα και

οξυγόνο (Sarkar and Aparna, 2020). Συνήθως, μειώνεται η συγκέντρωση του οξυγόνου (O₂) και ταυτόχρονα αυξάνεται η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και του αζώτου (N₂). Φυσικά η σύσταση των αερίων του προϊόντος, αλλάζει συνεχώς, καθώς το προϊόν αναπνέει, εξαιτίας πολλών παραγόντων, όπως της διάλυσης των αερίων στο τρόφιμο, της ανάπτυξης των μικροοργανισμών, οι οποίοι καταναλώνουν το (O₂) και απελευθερώνουν (CO₂) και λόγω της διαπερατότητας των αερίων από τη συσκευασία (Παπαδάκης, 2018).

Τροποποιημένες ατμόσφαιρες συσκευασίας μπορούν να «εγκατασταθούν» ενεργητικά (active) ή παθητικά (passive). Η ενεργητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει την έκπλυση της συσκευασίας με ένα κατάλληλο συνδυασμό διαφορετικών αερίων για να αποτραπεί η έκθεση των τροφίμων σε αέρια που μπορεί να μειώσουν τη διάρκεια ζωής τους ή να οδηγήσουν σε ανάπτυξη μικροβίων. Η σύνθεση αυτή διατηρείται στη συνέχεια με τη βοήθεια της συσκευασίας φραγμού. Από την άλλη πλευρά, η παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ του ρυθμού αναπνοής του προϊόντος, του ρυθμού μετάδοσης του αερίου καθώς και της διαπερατότητας της συσκευασίας για την επίτευξη μίας συγκεκριμένης σύνθεσης αερίων (Neela and Harloveleen, 2019).

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΓΙΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ ΑΝΑ ΠΡΟΪΟΝ

Product	% Oxygen	% Carbon dioxide	% Nitrogen
Red meat	60–85	15–40	–
Cooked/cured meats	–	20–35	65–80
Poultry	–	25	75
Fish (white)	30	40	30
Fish (oily)	–	60	40
Salmon	20	60	20
Hard cheese	–	100	–
Soft cheese	–	30	70
Bread	–	60–70	30–40
Non-dairy cakes	–	60	40
Dairy cakes	–	–	100
Pasta (fresh)	–	–	100
Fruit and vegetables	3–5	3–5	85–95
Dried/roasted foods	–	–	100

Πηγή: R. T. Parry , Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods, Dec. 2012, Springer Science & Business Media, pg. 10

Η συσκευασία υπό κενό (vacuum packaging) εντάσσεται συνήθως στην ευρύτερη κατηγορία των τεχνικών συσκευασίας τροποποιημένης ατμόσφαιρας, όπου χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία τροφίμων και η προέλευση της αποδίδεται στην έρευνα των Kidd και West στα πρώτα χρόνια του 20ου αιώνα (Ada et al, 2003). Πρόκειται για μια μέθοδο κατά την οποία το προϊόν τοποθετείται σε συσκευασία από υλικό με χαμηλή διαπερατότητα οξυγόνου, όπου αφαιρείται ο

αέρας και σφραγίζεται αεροστεγώς. Ωστόσο, μια ορισμένη ποσότητα οξυγόνου παραμένει στη συσκευασία λόγω της μη δυνατής δημιουργίας απόλυτου κενού (Purushotam and Subha, 2013). Το οξυγόνο είναι εξαιρετικά αντιδραστικό και αντιδρά εύκολα με οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στα τρόφιμα, με αποτέλεσμα τις ανεπιθύμητες αλλαγές στο χρώμα, την οσμή και τη γεύση. Ο σκοπός αυτής της συσκευασίας είναι να μειώσει το οξυγόνο από τον περιέκτη και να παρατείνει τη διάρκεια ζωής του τροφίμου. Η χρήση συσκευασίας κενού μειώνει σημαντικά την εμφάνιση αντιδράσεων οξειδωσης και αναστέλλει την ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών, οι οποίοι προκαλούν συνήθως αλλοίωση των τροφίμων κατά την αποθήκευση (Ada et al, 2003).

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΜΕΝΑ ΥΠΟ ΚΕΝΟ

Product	Storage	Normal Shelf Life	Shelf life of vacuum packaged product
Hard Cheese	Refrigerator	12-15 days	50-55 days
khoa	Refrigerator	7-14 days	90days
Chhana podo	Refrigerator	7 days	35 days
Paneer	Refrigerator	7 days	90 days
Boiled food	Refrigerator	2 days	10 days
Fresh meat	Refrigerator	2 days	6 days
Fresh fish	Refrigerator	2 days	4-5 days
Fresh vegetables	Refrigerator	5 days	18-20 days
Fresh fruits	Refrigerator	3-7 days	8-20 days
Pastry	Refrigerator	120 days	300 days
Bread	Refrigerator	2-3 days	7-8 days
Cracker/potato chips	Room Temperature	5-10 days	20-30 days
Tea / coffee	Room Temperature	30-60 days	365 days
Nuts	Room Temperature	6 months	2 years
Rice, sugar and flour	Room Temperature	6 months	1-2 years

Πηγή: Newton,P and Gillespie, A (2010). A practical guide to vacuum packaging. pp:2-42.

1.2.3 Ενεργή συσκευασία (Active packaging)

Η έννοια της ενεργής συσκευασίας είναι μία από τις αναδυόμενες τεχνολογίες συσκευασίας τροφίμων, χάρη στις τελευταίες εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών και τη νανοτεχνολογία (Brockgreitens and Abbas, 2016). Υπήρξαν διάφοροι ορισμοί για την ενεργή συσκευασία, αλλά μετά την ανάπτυξη των κανονισμών για τις ενεργές και έξυπνες συσκευασίες από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΚ, 2009), η ενεργή συσκευασία ορίζεται ως ένα σύστημα στο οποίο το προϊόν, η συσκευασία και το περιβάλλον αλληλοεπιδρούν θετικά μεταξύ τους, με σκοπό την παράταση της διάρκειας ζωής ή την διατήρηση και τη βελτίωση της κατάστασης των συσκευασμένων τροφίμων, μέσω της απελευθέρωσης ή της απορρόφησης ευεργετικών ουσιών μέσα στο τρόφιμο ή στο περιβάλλον του (Sen, 2012). Αυτός ο τύπος συσκευασίας χρησιμοποιείται ως εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές τεχνικές επεξεργασίας τροφίμων όπως η υψηλή θερμική επεξεργασία, η αφυδάτωση, το αλάτισμα, η οξίνιση και η προσθήκη συντηρητικών. Η συσκευασία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ενεργή εάν, εκτός από την παροχή ιδιοτήτων φραγμού στις εξωτερικές συνθήκες, εκτελεί συγκεκριμένες λειτουργίες στη συντήρηση τροφίμων (Sarkar and Aparna, 2020).

Η ενεργή συσκευασία μπορεί να χωριστεί σε δύο (2) κατηγορίες, τη χημειοδραστική και τη βιοδραστική, ανάλογα με τη δραστική ουσία. Οι χημειοδραστικές συσκευασίες επηρεάζουν τη χημική

σύνθεση του τροφίμου ή την εσωτερική ατμόσφαιρα μέσα στη συσκευασία και περιλαμβάνουν διαφορετικές ουσίες που μπορούν είτε να απορροφήσουν είτε να απελευθερώσουν ένα συγκεκριμένο αέριο. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει την προσθήκη προσθέτων που έχουν δυνατότητα δέσμευσης οξυγόνου, προσρόφησης διοξειδίου του άνθρακα, υγρασίας, αιθυλενίου, τα συστήματα απελευθέρωσης/απορρόφησης γεύσης, αντιοξειδωτικών, συντηρητικών, αιθανόλης και/ή διατήρηση της θερμοκρασίας (Sarkar and Aragna, 2020). Ο όρος βιοδραστικό χρησιμοποιείται ευρέως και αναφέρεται σε υλικά ή ενώσεις που αλληλοεπιδρούν άμεσα με βιολογικά μόρια όπως τα βακτήρια και μπορούν να επηρεάσουν τις βιολογικές διεργασίες. Ένα παράδειγμα συσκευασίας βιοενεργών τροφίμων είναι η ενσωμάτωση αντιμικροβιακών ενώσεων σε μεμβράνες συσκευασίας. Οι ερευνητές έχουν εργαστεί για την εισαγωγή πολλών νέων υλικών σε ενεργά συστήματα συσκευασίας, συμπεριλαμβανομένων των νανοσωματιδίων, των αντιμικροβιακών παραγόντων και των βρώσιμων φιλμ (Brockgreitens and Abbas, 2016). Πρόσφατα, τα αιθέρια έλαια ενσωματώθηκαν σε βρώσιμα φιλμ για την εισαγωγή ενεργών βρώσιμων φιλμ που έχουν αντιμικροβιακές και αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Mahmoud et al., 2021).

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

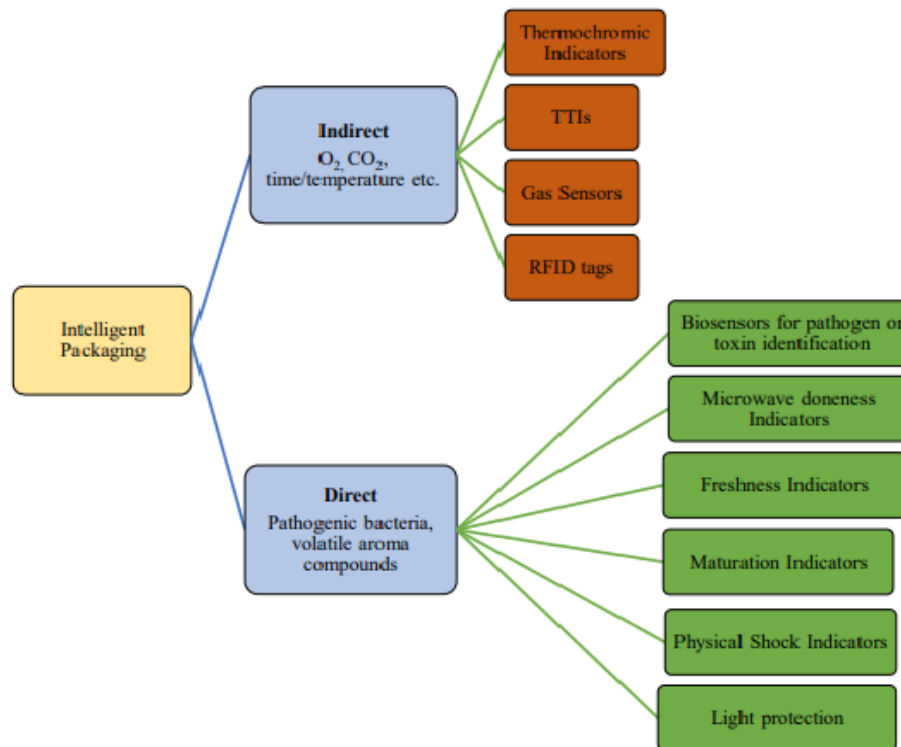
Type of active packaging	Type of food	Potential benefit
Active scavenging systems (absorber)		
Oxygen scavenger	(Sliced) cooked meat products Grated cheese, (par-baked) bakery products Fruit and vegetable juices Seeds, nuts, and oils; fat-containing instant powders, fried snacks; dried meat products	Prevention of discolouration Prevention of mold growth Retention of vitamin C content, prevention of browning Prevention of rancidity
Moisture scavenger	Mushrooms, tomatoes, strawberries, maize, grains, seeds, fresh fish, and meat	Extension of shelf life through maintaining moisture content, decrease in moisture condensation in the packaging, positive impact on the appearance, reduction in browning or discoloration
Ethylene absorber	Climacteric fruits and vegetables	Reduction in ripening and senescence, thereby enhancing quality and prolonging shelf-life
Active releasing systems (emitter)		
Antioxidant releaser	Fresh fatty fish and meat; fat-containing instant powders; seeds, nuts, and oils; fried products	Improvement of oxidative stability
Carbon dioxide emitter	Fresh fish and meat	Extension of microbiological shelf life, reduction in head space volume of modified atmosphere packaging
Antimicrobial packaging systems	Fresh and processed meat, fresh and smoked fish, fresh seafood, dairy products, fresh and processed fruits and vegetables, grain, cereals and bakery products, ready-to-eat meals	Inhibition or retardation of bacterial growth, extension of the shelf-life

Πηγή: Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., Coma, V.: Active packaging applications for food. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 17(1), 165–199 (2018). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>

1.2.4 Έξυπνη συσκευασία (Intelligent packaging)

Αυτή η καινοτόμος τεχνολογία συσκευασίας είναι μια ολοκληρωμένη και διεπιστημονική προσέγγιση που περιλαμβάνει τεχνολογία από τους τομείς της φυσικής, της χημείας, της βιοχημείας, της ηλεκτρονικής και της επιστήμης και τεχνολογίας τροφίμων (Sarkar and Aragna, 2020). Η έξυπνη συσκευασία, αποτελεί επέκταση της ενεργής συσκευασίας. Στην έξυπνη συσκευασία υπάρχει ένας εξωτερικός ή εσωτερικός δείκτης, όπου διαδραματίζει δύο κύριες σημαντικές λειτουργίες, την παρακολούθηση και καταγραφή των εσωτερικών και εξωτερικών συνθηκών και των αλλαγών που συμβαίνουν και την αξιολόγηση της ποιότητας του τροφίμου εντός της συσκευασίας, μέσω των δεικτών σχετικά με την ασφάλεια και την ποιότητα των συσκευασμένων τροφίμων (Robertson, 2013).

Σήμερα υπάρχουν δυο τύποι έξυπνης συσκευασίας, οι φορείς δεδομένων (γραμμωτοί κώδικες, ετικέτες αναγνώρισης με ραδιοσυχνότητες (RFID) και οι δείκτες συσκευασίας (δείκτες ποιότητας ή φρεσκάδας, χρονοθερμοκρασιακοί δείκτες, δείκτες συγκέντρωσης αερίων, θερμοχρωμικά μελάνια) (Robertson, 2019). Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες έξυπνες συσκευές που έχουν αποκτήσει ευρεία εμπορική εφαρμογή είναι οι δείκτες χρόνου-θερμοκρασίας (TTIs) και η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID) (Sarkar and Aparna, 2020).



ΕΙΚΟΝΑ 3: ΤΥΠΟΙ ΕΞΥΠΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Φορείς δεδομένων:

Οι γραμμωτοί κώδικες ή bar codes είναι ευρέως γνωστοί και αποτελούν φορείς δεδομένων. Αποτελούνται από μια σειρά παράλληλων γραμμών διαφόρου πάχους με κενά ανάμεσά τους, που αντιστοιχούν σε αριθμούς. Το bar code διαβάζεται από ένα ειδικό μηχάνημα, αποκωδικοποιείται και η πληροφορία που περιέχει μεταφέρεται σε έναν υπολογιστή. Είναι χρήσιμοι κατά τον έλεγχο αποθεμάτων και των παραγγελιών. Υπάρχει συγκεκριμένη ερμηνεία για τα χρησιμοποιούμενα σύμβολα, η οποία ολοένα και εξελίσσεται, προκειμένου κάθε bar code να μπορεί να ενσωματώσει όσο περισσότερη πληροφορία γίνεται. Οι ετικέτες αναγνώρισης (RFID tags) στα τρόφιμα είναι κάτι πολύ καινούριο. Αποτελούνται από έναν υπολογιστή, έναν αναγνώστη ή αισθητήρα και έναν πομποδέκτη ή αλλιώς RFID ετικέτα. Το σύστημα είναι μία επικοινωνία ετικέτας και αναγνώστη μέσω ραδιοκυμάτων. Η RFID ετικέτα είναι ουσιαστικά ένα μικροσίπ, που διαθέτει μνήμη, μεγαλύτερη από αυτή των bar codes, στην οποία αποθηκεύονται διάφορες πληροφορίες. Αυτές μπορούν να

τροποποιηθούν, να προστεθούν καινούριες όσο η συσκευασία κινείται στην εφοδιαστική αλυσίδα (Παπαδάκης, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 4: ΓΡΑΜΜΩΤΟΙ ΚΩΔΙΚΕΣ (BAR CODES)

Δείκτες συσκευασίας:







Οι δείκτες ποιότητας ή φρεσκάδας δείχνουν άμεσα την ποιότητα του προϊόντος, μέσω μιας χρωματικής αλλαγής, η οποία προκαλείται από την αντίδραση του δείκτη με τα προϊόντα μεταβολισμού που παράγονται από τους μικροοργανισμούς. Η ένδειξη αυτή, παραμένει και είναι εύκολο να διαβαστεί και να ερμηνευτεί από τους καταναλωτές (Robertson, 2019). Η ιδέα του δείκτη φρεσκάδας εμφανίστηκε το 1949 από τον James d' A. Clark, ο οποίος εφάρμοσε μια μέθοδο προσδιορισμού της αλλοίωσης. Η πατέντα αυτή αποτελούνταν από ένα διαφανές κύτταρο που περιείχε ένα θρεπτικό μέσο, μη παθογόνα βακτήρια και έναν δείκτη που άλλαζε χρώμα με την αλλαγή του pH. Η αλλαγή στο pH προερχόταν από τα παραπροϊόντα της μεταβολικής διαδικασίας των μικροοργανισμών, σε αυξημένες θερμοκρασίες. Μία άλλη μέθοδος προσδιορισμού της αλλοίωσης, αναπτύχθηκε από τον Ray F. Lawdermit το 1962 σε γάλα, όπου η ποσότητα του CO₂, που παραγόταν από το μικροβιολογικά μολυσμένο γάλα προσδιοριζόταν με δείκτη χρωστικής με βάση το pH. Από τότε, έχει γίνει αναφορά σε πολλούς δείκτες φρεσκάδας, που αντιδρούν στην παρουσία μεταβολικών προϊόντων, εξαιτίας της αλλοίωσης και δηλώνουν με αυτόν τον τρόπο την ποιότητα του τροφίμου, ενώ οι περισσότεροι βασίζονται στην αλλαγή του χρώματος του δείκτη. Άλλοι δείκτες παρακολουθούν τη σχετική υγρασία, τη θερμοκρασία, την έκθεση στο φως, την πίεση και το pH των τροφίμων. Αυτές οι ετικέτες εντοπίζουν τις πιθανές διακοπές της ψυκτικής αλυσίδας, που είναι επιβλαβείς για την ασφάλεια και την ποιότητα των τροφίμων. Ωστόσο, λίγοι δείκτες ποιότητας χρησιμοποιούνται ευρέως από τη βιομηχανία τροφίμων σήμερα, κυρίως λόγω του κόστους και της αποτελεσματικότητάς τους (Robertson, 2019).



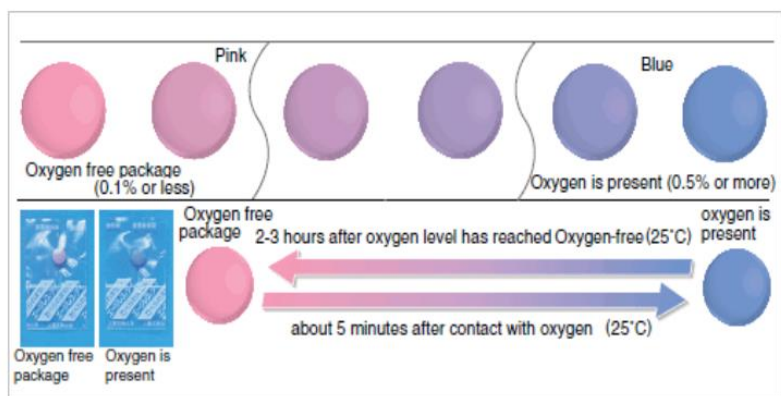
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ / ΦΡΕΣΚΑΔΑΣ

Οι χρονοθερμοκρασιακοί δείκτες ή ολοκληρωτές (TTI - Time Temperature Indicators or Integrators) είναι συσκευές, που δείχνουν με αλλαγή/εμφάνιση χρώματος ή με μηχανική παραμόρφωση, σε ποιες ακραίες θερμοκρασίες και για πόσο χρονικό διάστημα έχει εκτεθεί ένα τρόφιμο. Η μη αντιστρεπτή αυτή αλλαγή μπορεί να είναι μηχανική, χημική, ηλεκτροχημική, ενζυμική ή μικροβιολογική. Οι δείκτες TTI χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατεψυγμένα ή διατηρούμενα υπό ψύξη τρόφιμα. Το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ενός δείκτη TTI χορηγήθηκε το 1933 στον Thomas Midgley. Αναφέρεται σε μία συσκευασία κατεψυγμένου τροφίμου με ενσωματωμένο δείκτη, από υλικό που έλιωνε και άλλαζε μόνιμα μορφή όταν η θερμοκρασία της συσκευασίας ξεπερνούσε την επιθυμητή (Robertson, 2019). Ορισμένοι δείκτες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι οι εξής: της VITSAB, της TEMPTIME, της 3M, ο OnVu™ της BASF και ο eO® της Cryolog (Παπαδάκης, 2018). Οι δείκτες TTI μπορούν να ταξινομηθούν σε βιολογικούς, φυσικοχημικούς, χημικούς, ενζυμικούς, οι οποίοι βασίζονται στη διάχυση ή σε πολυμερή (Writer, 2018). Ορισμένοι τύποι χρονοθερμοκρασιακών δεικτών ή ολοκληρωτών TTI παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΤΥΠΟΙ ΧΡΟΝΟΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΩΝ (ΤΤΙ)

Α/Α	ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΑΠΟΚΡΙΣΗ
1	Χημικοί Δείκτες		Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούν χημικές αντιδράσεις που προκαλούν αποχρωματισμό όταν εκτίθενται σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες.	Αποχρωματισμός εικόνας.
2	Φωτοχημικοί Δείκτες		Αυτοί οι δείκτες ενεργοποιούνται με την έκθεση τους σε υπεριώδη ακτινοβολία (UV)	Μεταβολή του χρώματος από σκούρο μπλε σε γκρι.
3	Ενζυμικοί Δείκτες		Τα χρησιμοποιούμενα ένζυμα αντιδρούν στη μεταβολή της θερμοκρασίας και προκαλούν την αλλαγή χρώματος.	Μεταβολή του χρώματος από πράσινο, κίτρινο σε κόκκινο.
4	Μικροβιολογικοί Δείκτες		Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούν βακτήρια που αναπτύσσονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασίας προκειμένου να υποδείξουν την κατάχρηση της θερμοκρασίας.	Μεταβολή του χρώματος από πράσινο σε φούξια.
5	Πολυμερικοί Δείκτες		Οι δείκτες αυτοί βασίζονται σε αντιδράσεις πολυμερισμού στερεάς κατάστασης -	Μεταβολή του χρώματος του κύκλου.
6	Δείκτες Διάχυσης		Αυτοί οι δείκτες βασίζονται στη διάχυση ενός ιωδοελαστικού υλικού σε μια φωτοαντανακλαστική πορώδη μήτρα.	Μεταβολή της διαπερατότητας του φωτός μέσα από την πορώδη μήτρα.

Οι δείκτες συγκέντρωσης αερίων μπορούν να είναι είτε με μορφή ετικετών είτε τυπωμένοι στις μεμβράνες συσκευασίας. Ουσιαστικά, παρακολουθούν τις μεταβολές στη σύσταση των αερίων (κυρίως O₂ και CO₂) μιας συσκευασίας τροφίμων και ανάλογα με την ένδειξη, παρουσιάζουν την ποιότητα του εσωτερικού του προϊόντος, ενημερώνοντας κατά πόσο είναι ασφαλές το τρόφιμο για να καταναλωθεί. Οι αλλαγές στη σύσταση των αερίων μπορεί να προέρχονται από διάφορες ντιδράσεις που συμβαίνουν μέσα στο προϊόν, την αναπνοή του τροφίμου, τη μικροβιολογική ανάπτυξη, τη διαπερατότητα των αερίων ή κάποια διαρροή. Οι οπτικοί δείκτες της συγκέντρωσης των αερίων τοποθετούνται στο εσωτερικό της συσκευασίας και αλλάζουν χρώμα όταν η συγκέντρωση του O₂ ή του CO₂ ξεπεράσουν τα προκαθορισμένα όρια (Παπαδάκης, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 6: ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ AGELESS EYE™

Τα θερμοχρωμικά μελάνια χρησιμοποιούνται σε συσκευασίες οι οποίες πρόκειται να θερμανθούν ή να ψυχθούν πριν καταναλωθεί το εσωτερικό τους. Τα μελάνια αλλάζουν χρώμα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, με εύρος θερμοκρασίας μεταξύ -25°C έως 66°C . Έτσι, ο καταναλωτής αναγνωρίζει αν το προϊόν είναι στην ιδανική θερμοκρασία προκειμένου να καταναλωθεί. Τέτοιο δείκτες χρησιμοποιούνται αρκετά στην κονσερβοποιία, όπου τα καπάκια ορισμένων κονσερβών βάφονται με τέτοιο μελάνι πριν την αποστείρωση, ώστε να είναι ορατή η αλλαγή χρώματος και να γίνει γνωστό ποιες κονσέρβες έχουν περάσει από τον αποστειρωτήρα (Παπαδάκης, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 7: ΔΕΙΚΤΗΣ ΘΕΡΜΟΧΡΩΜΙΚΩΝ ΜΕΛΑΝΙΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΞΥΠΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Intelligent Packaging	Operating Principle	Food Applications
Sensor	Detection of biological and chemical compounds (enzymes, DNA, microbial) Detection of chemical compounds (reactive dyes, pH indicators, gas, etc..)	Water, fish, poultry products, meat, milk, fruits, vegetables, beverages
Freshness indicators	Detection of biological compounds Detection of chemical compounds Ethylene gas detection pH detection	Meat, fish, poultry, fruits, vegetables, milk, drinks
Integrity indicators	Oxygen-CO ₂ indicators	Fish, meat, poultry, fruits, vegetables
Time-temperature indicator	Diffusion Enzymatic reactions Microbial reactions Photochemical reactions Polymerization reactions Chemical reactions	Fish, meat, poultry, perishable products, juices, fruits, vegetables
Radio Frequency Identification	Radio frequency technology	For individually packaged and bulk food products

Πηγή: Kuswandi, B., & Jumina. (2020). Active and intelligent packaging, safety, and quality controls. *Fresh-Cut Fruits and Vegetables*, 243–294. doi:10.1016/b978-0-12-816184-5.00012-4

1.3 Ο ρόλος της συσκευασίας τροφίμων

Σήμερα, οι καταναλωτές απαιτούν, όλο και περισσότερο, ένα άριστο ποιοτικά τελικό προϊόν. Σε αυτό συνεισφέρει και η συσκευασία του τροφίμου. Ο ρόλος της συσκευασίας τροφίμων είναι πολλαπλός και αυτός είναι κυρίως να προστατεύει, να διατηρεί, να παρέχει απαραίτητες πληροφορίες και να προωθεί το τρόφιμο. Η βασική λειτουργία είναι η προστασία των τροφίμων από εξωτερικούς παράγοντες, όπως είναι οι βιολογικοί, χημικοί ή μηχανικοί. Βιολογικοί παράγοντες αποτελούν τα έντομα, παράσιτα και ορισμένα ζώα (για παράδειγμα τα τρωκτικά). Η προστασία από τους βιολογικούς παράγοντες εμποδίζει τις ασθένειες και τις αλλοιώσεις, που οφείλονται σε αυτούς. Επιπλέον, παρατείνεται η ωρίμαση, καθυστερεί η αλλοίωση του τροφίμου και διατηρείται το εσωτερικό της συσκευασίας σταθερό. Ως χημικοί παράγοντες, χαρακτηρίζονται οι χημικές αντιδράσεις εξαιτίας της έκθεσης του τροφίμου στον αέρα, την υγρασία ή το φως. Υπάρχουν πολλές συσκευασίες τροφίμων, οι οποίες είναι αδιαπέρατες στον ατμοσφαιρικό αέρα, στους υδρατμούς και το φως, με αποτέλεσμα την αποφυγή αυτών των αντιδράσεων. Τέλος, στους μηχανικούς παράγοντες ανήκουν το σπάσιμο, η διαρροή ή οι φυσικές βλάβες του τροφίμου. Η συσκευασία συγκρατεί το τρόφιμο και το προστατεύει από αυτούς τους παράγοντες, καθ' όλη τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας, δηλαδή τον χειρισμό, την αποθήκευση και τη μεταφορά, προκειμένου να έχουμε ένα ασφαλές προϊόν (Goswami, 2019).

Επιπλέον, σκοπός της συσκευασίας τροφίμων είναι να προσελκύει τον καταναλωτή, λειτουργώντας ως εργαλείο marketing, μέσω της εμφάνισης, του χρώματος και του σχεδιασμού της συσκευασίας. Ταυτόχρονα, θα πρέπει να βοηθάει στη διαφοροποίηση του προϊόντος με το branding και να ενημερώνει τους καταναλωτές για τη σύστασή του προϊόντος. Γι' αυτό το λόγο, θα πρέπει να

έχει καλά χαρακτηριστικά επισήμανσης, τα οποία θα το διαφοροποιήσουν από τα προϊόντα άλλων εταιρειών. Μπορεί να δίνει ακόμη και πληροφορίες, όπως τον τρόπο μαγειρέματος του τροφίμου, την τιμή, τη χώρα προέλευσης, τα γραμμάτια κ.ά. (Goswami, 2019).

Σύμφωνα με το ISO 9000 η ιχνηλασιμότητα (traceability) ορίζεται ως «η δυνατότητα ιχνηλάτησης του ιστορικού, της εφαρμογής ή της θέσης αυτού, το οποίο είναι υπό εξέταση, μέσω καταγεγραμμένων αναγνωριστικών στοιχείων. Επιτυγχάνεται με την ύπαρξη ενός μοναδικού κωδικού στη συσκευασία/ ετικέτα του τροφίμου, τα λεγόμενα barcodes ή σε άλλες μορφές. Αυτός ο μοναδικός κωδικός επιτρέπει στις εταιρείες παραγωγής να παρακολουθούν το προϊόν τους σε όλη τη διαδικασία διανομής (Goswami, 2019).

Επιπροσθέτως, η βιομηχανία της συσκευασίας καλείται να απαντήσει στην πρόκληση της μείωσης του περιβαλλοντικού της αποτυπώματος. Ειδικότερα, μία καινοτόμος βιώσιμη συσκευασία στόχο έχει τον περιορισμό της απώλειας τροφίμων εξασφαλίζοντας την διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων παράλληλα με την πρόληψη των τροφιμογενών ασθενειών και της χημικής μόλυνσης τους. Περαιτέρω, το μακροπρόθεσμα ζήτημα της συσσώρευσης πλαστικών αποβλήτων παράλληλα με την κατανάλωση ορυκτών ενεργειακών πόρων και τις εκπομπές CO₂ κατά την παραγωγική διαδικασία δύναται να αντιμετωπισθεί με την επιλογή ανακυκλωμένων πρώτων υλών εστιάζοντας στην επαναχρησιμοποίηση και τη βιοαποικοδόμηση τους και τη στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Sustainable Packaging Coalition, 2011).

Μερικά παραδείγματα καλής πρακτικής στα πλαίσια της βιώσιμης συσκευασίας αποτελούν η παραγωγή μικροβιακών βιοαποικοδομήσιμων πολυμερών μέσω της μετατροπής των γεωργικών και αγροδιατροφικών υπολειμμάτων σε "φυσικά βιοδιασπώμενες" συσκευασίες. Μεταξύ των μικροβιακών πολυμερών, τα πολυυδροξυαλκανοϊκά (PHA) θεωρούνται από τα πλέον υποσχόμενα υποκατάστατα των συνθετικών πολυμερών με βάση το πετρέλαιο. Τα εν λόγω πολυμερή συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των σημερινών αρνητικών εξωτερικών επιπτώσεων των πλαστικών συσκευασιών. Επιπλέον, στην βιώσιμη συσκευασία χρησιμοποιούνται βιολογικά – ανανεώσιμα και ανακυκλώσιμα υλικά, βελτιώνοντας το περιβαλλοντικό προφίλ και παρέχοντας μια πηγή μελλοντικών υλικών συσκευασίας (Sustainable Packaging Coalition, 2011).

Τέλος, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της συσκευασίας περιέχουν χημικές ουσίες. Αν και βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις σε κάθε συσκευασία, λόγω του μεγάλου όγκου παραγωγής τελικά η συγκέντρωση των ουσιών αυτών στα απόβλητα είναι σημαντική. Για αυτό το λόγο, στο πλαίσιο του βιώσιμου σχεδιασμού συσκευασίας, είναι σημαντικό να επιβεβαιωθεί ότι όλα τα συστατικά, τα πρόσθετα, τα μελάνια, οι επικαλύψεις είναι ασφαλή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους (Sustainable Packaging Coalition, 2011).

Κεφάλαιο 2. Ενεργή Συσκευασία

2.1 Ιστορική αναδρομή ενεργής συσκευασίας

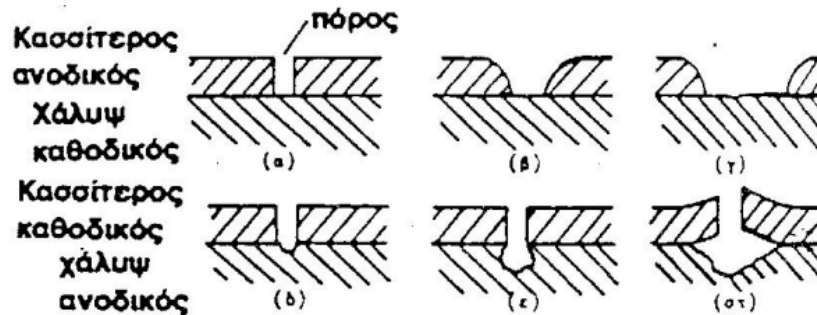
Ο σύγχρονος τρόπος ζωής κυρίως στα αστικά κέντρα όπου η καθημερινότητα χαρακτηρίζεται από πίεση χρόνου έχει επηρεάσει τον τρόπο διατροφής του ανθρώπου. Με γνώμονα την υγιεινή διατροφή, την ασφάλεια και ιχνηλασιμότητα των τροφίμων αλλά και την εξατομίκευση των τροφικών αναγκών, υπάρχει τάση για αυξημένη ζήτηση σε τρόφιμα ευκολίας με μεγάλη διάρκεια ζωής και μικρή επεξεργασία (Dainelli et al., 2008). Ως εκ τούτου, προέκυψε η ανάγκη για στροφή από τα πρωτογενή υλικά συσκευασίας τα οποία λειτουργούν “παθητικά”, δηλαδή προστατεύουν το προϊόν από το εξωτερικό περιβάλλον σε υλικά συσκευασίας που παρέχουν “ενεργή” προστασία του προϊόντος, δηλαδή αλληλοεπιδρούν μεταβάλλοντας την κατάσταση της συσκευασίας. Αυτή η μεταστροφή οδήγησε στην “ενεργή συσκευασία” - active packaging (AP).

Η “ενεργή συσκευασία” - active packaging (AP) είναι μια σχετικά νέα έννοια στον τομέα της συσκευασίας τροφίμων και συγκεντρώνει συνεχώς την προσοχή όλο και περισσότερων μελετητών του τομέα. Ειδικότερα, ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην επιστημονική βιβλιογραφία το 1987 από τον δρ. Ted Labuza στο συνέδριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην Ισλανδία όπου παρουσίασε την εργασία του με τίτλο “Applications of ‘Active packaging’ for Improvement of Shelf-Life and Nutritional Quality of Fresh and Extended Shelf-Life Foods”. Στην εν λόγω εργασία μελετάται η χρήση απορροφητών οξυγόνου και άλλων ενεργών συστατικών στη συσκευασία τροφίμων για τη βελτίωση τόσο της διάρκειας ζωής όσο και της ποιότητας και της ασφάλειας των τροφίμων. Σύμφωνα με τους Hotchkiss και Rooney, είναι μια συσκευασία η οποία εκτελεί κάποια επιθυμητή λειτουργία, πέρα από το να προστατεύει το τρόφιμο από το εξωτερικό περιβάλλον (Hotchkiss, 1994, Rooney, 1995).

Μία πρώιμη μορφή ενεργής συσκευασίας θα μπορούσε να θεωρηθεί η “φλούδα κρασιού” (wine skin) η οποία χρησιμοποιήθηκε ανά τους αιώνες κατά την αποθήκευση του κρασιού. Πρόκειται για μια παραδοσιακή μέθοδο συσκευασίας κρασιού που περιλαμβάνει τη χρήση δέρματος προκειμένου να εξασφαλιστεί η διατήρησή του. Συγκεκριμένα, η “φλούδα κρασιού” καθιστά εφικτή τη διασφάλιση της προστασίας του κρασιού, καθώς δύναται να το προστατεύσει από την έκθεση σε οξυγόνο και άλλα στοιχεία που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την ποιότητά του (Rooney, 1995).

Στην ίδια λογική και μετά από αρκετές έρευνες αναπτύχθηκε η πρώτη επίσημη μορφή ενεργής συσκευασίας, το δοχείο από *λευκοσίδηρο*. Η λευκοσίδηρη συσκευασία είναι ένας τύπος μεταλλικού υλικού συσκευασίας από χάλυβα πάχους 0,15 - 0,50mm με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα (0,03 - 0,13%) και επίστρωση και στις δυο πλευρές της με λεπτό στρώμα κασσιτέρου, πάχους 0,4 - 2,5 μm. Κατά την επικασσιτέρωση, κάθε επιφάνεια του φύλλου του χάλυβα καλύπτεται

από λεπτό στρώμα κασσιτέρου το οποίο προστατεύει το χάλυβα από την διάβρωση και ταυτόχρονα εμποδίζεται η επιμόλυνση του τροφίμου με σίδηρο. Ο σίδηρος λειτουργεί ως καταλύτης αυτοοξειδωσης σε συνθήκες ύπαρξης υπολειμματικού οξυγόνου και ο κασσίτερος αποτελεί αναγωγικό παράγοντα για συστατικά των τροφίμων, όπως οι χρωστικές ουσίες (Robertson, 1993).



ΕΙΚΟΝΑ 8: ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΛΕΥΚΟΣΙΔΗΡΩΝ ΔΟΧΕΙΩΝ- (Α)-(Γ) ΔΙΑΛΥΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ Ο ΚΑΣΣΙΤΕΡΟΣ (Δ)-(ΣΤ) ΔΙΑΛΥΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΠΡΟΤΙΜΗΣΗ Ο ΣΙΔΗΡΟΣ

Μια μεταγενέστερη εξέλιξη ήταν η επίστρωση των φύλλων λευκοσιδήρου με οργανικά επιχρίσματα (λάκες, βερνίκια) με σκοπό την προστασία της συσκευασίας από το περιεχόμενό της επίστρωσης και αντιστρόφως. Τα επιχρίσματα αυτά είναι συνήθως ανθεκτικά στο θείο που υπάρχει στα τρόφιμα (π.χ. σε θειούχα αμινοξέα) και συνήθως προκαλεί διάβρωση. Αναλυτικότερα, το θείο αντιδρά με το σίδηρο σχηματίζοντας θειούχο σίδηρο ο οποίος προκαλεί μαύρες κηλίδες στα τρόφιμα και σε εκτεταμένη μορφή υπάρχει κίνδυνος διάτρησης της συσκευασίας. Επιπλέον, το διοξείδιο του θείου που προστίθεται στα τρόφιμα ως συντηρητικό μπορεί να αναχθεί από τον κασσίτερο προς ιόντα θείου ή θείο με ταυτόχρονη οξείδωση-διάλυση του κασσιτέρου και σχηματισμό μαύρων κηλίδων. Προς αποφυγή του προαναφερθέντος ανεπιθύμητου γεγονότος, γίνεται εισαγωγή οξειδίου του ψευδαργύρου, ο οποίος προκαλεί μια αντίδραση, προϊόντα της οποίας είναι άχρωμα (Rooney, 1995).

Ένας άλλος τύπος ενεργής συσκευασίας που γνώρισε μεγάλη επιτυχία ήταν οι συσκευασίες από πολυεστέρες (PET). Ο πλέον χρησιμοποιούμενος πολυεστέρας στον τομέα της συσκευασίας τροφίμων και ποτών είναι ο *πολυαιθυλενο-τερεφθαλικός (PETP)* ο οποίος αναπτύχθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1940 αλλά έγινε εμπορικά γνωστός το 1971 από την εταιρεία American Can Company για τη συσκευασία ποπ κορν. Η συσκευασία αυτή αντικατέστησε τις παραδοσιακές συσκευασίες αλουμινίου και χαρτιού που χρησιμοποιούνταν στο παρελθόν.

Συγκεκριμένα, η συσκευασία ποπ κόρν ήταν μια χάρτινη σακούλα, η οποία περιείχε δύο στρώματα χαρτιού με μια μεταλλοποιημένη μεμβράνη PETP μεταξύ των στρώσεων χαρτιού τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να βρίσκεται στο δάπεδο του φούρνου μικροκυμάτων. Ο υποδοχέας αλληλοεπιδρούσε με τα μικροκύματα και η ενέργεια που παραγόταν ήταν αρκετή ώστε

να σκάσουν οι πυρήνες. Χωρίς τον υποδοχέα, το ποσοστό των αναδυόμενων πυρήνων ποπ κόρν θα ήταν μικρό. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σήμερα για άλλα προϊόντα μικροκυμάτων όπως πίτσα, σάντουιτς και τηγανητές πατάτες. Σε αυτά τα προϊόντα, ο υποδοχέας βοηθά την επιφάνεια να στεγνώσει, ενισχύοντας το καφέ χρώμα και την τραγανή υφή των προϊόντων (Risch, 2009). Η δημοτικότητα της συγκεκριμένης συσκευασίας και η επέκτασή της με το πέρασ του χρόνου και σε άλλα προϊόντα οφείλεται κυρίως στις ιδιότητές της:

- άριστη διαφάνεια,
- ανθεκτικότητα,
- ελάχιστη διαπερατότητα υδρατμών και αερίων,
- αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, οξέα, λιπαρά και διαλύτες &
- ανακυκλώσιμη.

Ένα άλλο σημαντικό ιστορικό γεγονός είναι η ίδρυση της *Tetra Pack Co* το 1951 στη Σουηδία, η οποία δημιούργησε ένα πολυστρωματικό υλικό συσκευασίας που συνδυάζει χαρτόνι για ακαμψία, φύλλο αλουμινίου για φραγμό φωτός και αερίων, και πλαστικό ως στρώμα φραγμού και στεγανοποίησης. Η συσκευασία διαμορφώνεται σε ειδική μηχανή που γεμίζει ταυτόχρονα και ασηπτικά με το προϊόν. Συνεπώς, το προϊόν έχει τη διάρκεια ζωής ενός κονσερβοποιημένου προϊόντος, με τη διαφορά ότι έχει υποστεί λιγότερη θερμική επεξεργασία. Η Dean Foods το 1998 πήγε ένα βήμα παραπέρα δημιουργώντας ένα μπουκάλι από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας με χύτευση - εμφύσηση και βιδωτό καπάκι. Ήταν η πρώτη εταιρεία που λάνσαρε το γάλα σε δοχεία μιας μερίδας με βιδωτό καπάκι. Εκτός του ότι το γάλα έγινε ένα ρόφημα το οποίο μπορούσε να μεταφερθεί εύκολα, ένα σημαντικό πλεονέκτημα ήταν ότι το HDPE μπουκάλι παρέχει ένα φράγμα φωτός που βοηθά στην πρόληψη της αλλοίωσης του της γεύσης του γάλακτος (Risch, 2009).

Η ανοδική εξελικτική πορεία στον τομέα της συσκευασίας τροφίμων συνεχίστηκε και στις μέρες μας, υπάρχουν εταιρίες που ψάχνουν τρόπους ενσωμάτωσης γεύσεων, αρωμάτων, συμπληρωμάτων διατροφής στο καπάκι, οι οποίες θα απελευθερώνονται κατά το άνοιγμα της συσκευασίας. Μια τέτοια συσκευασία έχει αναπτύξει ο Lee Reedy. Όταν το καπάκι στρίβεται για να ανοιχτεί το μπουκάλι, μια μικρή πλαστική λεπίδα κόβει τη σφραγίδα και απελευθερώνει το επιθυμητό άρωμα/ γεύση/ θρεπτικό συστατικό στο ποτό. Τέλος, έχει δημιουργηθεί μια νέα κατηγορία ενεργής συσκευασίας και αυτή είναι η μεμβράνη που χρησιμοποιείται για τα φρεσκοκομμένα λαχανικά. Τα λαχανικά εξακολουθούν να αναπνέουν μετά την κοπή τους, οπότε η μεμβράνη πρέπει να είναι διαπερατή σε διοξείδιο του άνθρακα και σε οξυγόνο, παρέχοντας παράλληλα ένα φραγμό στην υγρασία. Κάθε λαχανικό αναπνέει και με διαφορετικό ρυθμό, επομένως απαιτούνται κάθε φορά μεμβράνες με διαφορετική διαπερατότητα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος της συσκευασίας ελεγχόμενης ατμόσφαιρας. Υπάρχουν πολλοί άλλοι όπου η ατμόσφαιρα

γύρω από το προϊόν αλλάζει ειδικά για να παραταθεί η διάρκεια ζωής του τροφίμου. Κάθε φορά που η ατμόσφαιρα τροποποιείται ή ελέγχεται, το κατάλληλο υλικό συσκευασίας πρέπει να διατηρεί την επιθυμητή ατμόσφαιρα και να μην επιτρέπει να διαπεράσουν τα αέρια μέσω της συσκευασίας (Risch, 2009).

2.2 Τύποι ενεργής συσκευασίας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ενεργή συσκευασία παίζει “ενεργό” ρόλο στη αύξηση της διάρκειας ζωής των προϊόντων διατηρώντας τα ταυτόχρονα σε υψηλά ποιοτικά επίπεδα ως ακολούθως:

- **Υγρασία:** Η ενεργή συσκευασία ελέγχει τα επίπεδα υγρασίας μέσα στη συσκευασία περιορίζοντας την μετανάστευση υγρασίας μεταξύ συστατικών ενός τροφίμου και δεσμεύοντας τους υδρατμούς που παράγονται κατά το μεταβολισμό προκειμένου να αποφευχθεί
- **Απομόνωση:** Η ενεργή συσκευασία προστατεύει το προϊόν από εξωτερικούς παράγοντες, όπως το οξυγόνο, προκειμένου να περιορισθούν αντιδράσεις όπως οι οξειδώσεις και το ενζυμικό μαύρισμα.
- **Ωρίμανση:** Η ενεργή συσκευασία βοηθά στην επιβράδυνση της ωρίμανσης του προϊόντος, δεσμεύοντας για παράδειγμα το παραγόμενο αιθυλένιο των φρούτων.
- **Διαπερατότητα:** Η ενεργή συσκευασία ρυθμίζει την είσοδο αερίων όπως O_2 , CO_2 ή N_2 στην συσκευασία με σκοπό τη διατήρηση συνθηκών τροποποιημένης ή ελεγχόμενης ατμόσφαιρας με σκοπό την επιβράδυνση του μεταβολισμού ή/και την ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών.
- **Μικροοργανισμοί:** Η ενεργή συσκευασία μπορεί να περιλαμβάνει αντιμικροβιακές ουσίες, οι οποίες βοηθούν στην καταπολέμηση της ανάπτυξης μικροοργανισμών.

Βάσει των ανωτέρω, τα ενεργά συστήματα συσκευασίας διακρίνονται σε:

- 1) **Συστήματα απορρόφησης (απορροφητές):** απομακρύνουν ανεπιθύμητες ενώσεις από το τρόφιμο ή το περιβάλλον του, όπως το οξυγόνο, την υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα, το αιθυλένιο ή τις ανεπιθύμητες ουσίες από τα τρόφιμα,
- 2) **Συστήματα εκπομπής:** προσθέτουν ενώσεις στα τρόφιμα, όπως αντιμικροβιακές ενώσεις, διοξείδιο του άνθρακα ή αντιοξειδωτικά (Yildirim et al., 2017 και Παπαδάκης, 2018).

Παρακάτω αναλύονται τα ενεργά συστήματα που προαναφέρθηκαν.

2.2.1 Συστήματα Απορρόφησης

2.2.1.1 Απορρόφηση οξυγόνου

Το οξυγόνο χρησιμοποιείται από τους αερόβιους μικροοργανισμούς προκειμένου να αναπτυχθούν, οδηγώντας σε αλλαγές στις οργανοληπτικές ιδιότητες του τροφίμου (γεύση, οσμή, υφή, χρώμα), ενώ

ταυτόχρονα η παρουσία του στο τρόφιμο οδηγεί σε μια σειρά διαφόρων αντιδράσεων, που το υποβαθμίζουν ποιοτικά. Τέτοιες αντιδράσεις είναι, παραδείγματος χάριν η τάγγιση του λίπους, η ενζυμική αμαύρωση φρούτων και λαχανικών, η οξειδωση βιταμινών και χρωστικών. Γι' αυτό το λόγο, σε προϊόντα όπου το οξυγόνο δεν είναι επιθυμητό, εφαρμόζεται η συσκευασία της τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) ή υπό κενό. Ωστόσο, ακόμα και σε αυτές τις περιπτώσεις το οξυγόνο δεν απομακρύνεται εξ ολοκλήρου και υπάρχει έστω και σε μικρή συγκέντρωση στο εσωτερικό της συσκευασίας (περίπου 0,5 - 5 %), ενώ παράλληλα μπορεί να αυξηθεί και κατά την αποθήκευση. Η αύξηση αυτή μπορεί να οφείλεται σε πολλούς παράγοντες, όπως την ανεπαρκή απομάκρυνση του οξυγόνου κατά τη συσκευασία, τη διαπερατότητα της συσκευασίας σε οξυγόνο, την κακή σφράγιση ή την απελευθέρωση του οξυγόνου, που είναι διαλυμένο στο τρόφιμο (Brody, 2001 και Παπαδάκης, 2018).

Για να μειωθεί το οξυγόνο στη συσκευασία ενός τροφίμου έχουν δημιουργηθεί ενεργές συσκευασίες, οι οποίες το απορροφούν. Αυτές μπορούν να απορροφήσουν το υπολειπόμενο οξυγόνο σε συγκεντρώσεις ακόμα και $< 0,01\%$ v/v, ώστε να αποφευχθεί η ποιοτική υποβάθμιση. Η απομάκρυνση του O_2 μπορεί να επιτευχθεί με σακίδια (sachets) ή μαξιλαράκια (pads), που απορροφούν το οξυγόνο και τοποθετούνται μέσα στη συσκευασία του τροφίμου, ενσωματώνονται στο υλικό συσκευασίας ή καλύπτουν την εσωτερική επιφάνεια της συσκευασίας. Φυσικά, υπάρχει ο κίνδυνος ανάπτυξης αναερόβιων παθογόνων μικροοργανισμών, όπως *Clostridium botulinum*. Η παρουσία τους στο τρόφιμο δε γίνεται αντιληπτή, καθώς οι αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί δεν αναπτύσσονται απουσία οξυγόνου. Για αυτό το λόγο, είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται επιπλέον μέθοδος συντήρησης στο τρόφιμο κατά την προσθήκη απορροφητή οξυγόνου (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).

Από τους απορροφητές οξυγόνου που προστίθενται στο εσωτερικό της συσκευασίας, το μεγαλύτερο ποσοστό δρα χημικά. Οι πιο διαδεδομένοι είναι τα σακουλάκια με σκόνη σιδήρου και ασκορβικού οξέος, ενώ άλλα μέταλλα πέρα του σιδήρου, που χρησιμοποιούνται είναι ο χαλκός, συμπεριλαμβανομένου του κασσίτερου, του μόλυβδου, του χρωμίου, του νικελίου, του κοβαλτίου, του παλλαδίου και της πλατίνας. Τα σακουλάκια αυτά ενεργοποιούνται με την παρουσία υγρασίας. Επιπλέον, γίνεται χρήση θειώδους άλατος μαζί με θειικό χαλκό, ως καταλύτη για την απορρόφηση οξυγόνου σε σακουλάκια. Άλλη μέθοδος απορρόφησης οξυγόνου είναι η οξειδωση κατεχόλης, γαλλικού οξέος, πολυαμιδίων και ακόρεστων λιπαρών οξέων. Το πλεονέκτημα της χρήσης κατεχόλης και της οξειδωσης των πολυακόρεστων λιπαρών οξέων είναι το γεγονός ότι δεν απαιτείται η παρουσία νερού για να πραγματοποιηθεί η αντίδραση. Τέλος, άλλοι απορροφητές O_2 δρουν με τη βοήθεια ενζύμων, σπορίων βακτηρίων ή ζυμομυκήτων, που είναι ενσωματωμένοι σε κάποιο στερεό

υλικό. Γίνεται προσθήκη γλυκόζης, οξειδάσης της γλυκόζης και καταλάσης και παρουσία νερού οξειδώνεται η γλυκόζη και παράγεται γλυκονικό οξύ (Brody, 2001 και Παπαδάκης, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 9: OXYFREE® 504A ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ACTION STOR

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Food Application	Benefit	Reference
Iron (Fe)	Multilayer-container: PP/EVOH/OS/PP	Meatballs	Significant inhibition of lipid oxidation and prevention of flavor and color change during up to 9 mo of storage	Shin and others (2009)
	Incorporated into laminate: PET/Alu/OS*/PE*ABS ₂ RB®	Hot-filled cheese spread	1.5 times higher Vitamin C content, maintenance of product quality (physiochemical & organoleptic) after 1 y	Gomes and others (2009)
	Mixture of Fe nanoparticles, activated carbon, NaCl and CaCl ₂ , in sachets	Roasted sunflower seeds and walnuts	Inhibition of lipid oxidation: 2 to 3 times lower PV and half of AnV after 120 d	Mu and others (2013)
	Multilayer film: PET/Alu/PE/OS*/PE*SHELFPLUS™ O ₂ 2400	Salami bread	Compensation of pinhole defects (10 μm) of packaging: Reduced color change (ΔE -22%) and more than 4 times reduced lipid oxidation after 300 d	Sängerlaub and others (2013a)
Ascorbic acid	LLDPE-films containing ascorbic acid and zinc or iron-powders	Bun and bread slices	Overall shelf-life extension: Retarded microbial growth from 2 to 5 d, prolonged sensorial acceptance from 2 to 5–6 d	Mathe and others (2011)
Photosensitive dyes	Photosensitive dyes (eosin & curcumin) and synthesized PFO incorporated in ethyl cellulose polymer cast films	Sunflower oil	Improvement of oxidative stability: Up to 5 times lower PV and hexanal concentration after 12 wk	Maloba and others (1996)
	EVOH/OS*/CPP laminate*Photosensitive dye and reducible organic compound	Orange juice	Retention of vitamin C content (3.8 times at 25 °C, 1.4 times at 4 °C), prevention of nonenzymatic browning at 4 °C and 23% reduction at 25 °C; after 1 y.	Zerdin and others (2003)
	Commercial barrier packaging (Nupak™) lined with OS-sheet: EVOH/OS*/EVA*ZerO ₂ ™	Probiotic yogurt	Improvement of the viability of probiotic bacteria by removing approximately 90% of the initial dissolved O ₂ after the first day	Miller and others (2003)
	ZerO ₂ ™ OS-film laminate: OPET/EVOH/OS/CPP	Milk	Prevention of stale flavor development: 23% to 41% fewer stale flavor volatiles after 14 wk	Perkins and others (2007)
Unsaturated hydrocarbon dienes	OS* incorporated in PET-bottles*AMOSORB	Citrus juice model system	50% Vitamin C retention at 35 °C and up to 75% at 4 °C; and browning prevention. After 16 wk.	Baiano and others (2004)
	OS*-PET film, cast extruded*AMOSORB	Fresh-cut banana	Reduction in oxidation (browning): approximately 50% less color difference (ΔE) after 3 d	Galdi and Incarnato (2011)
Palladium (Pd) (+ hydrogen)	Pd-deposited film: PET/SiO _x /Pd	Cooked cured sliced ham	Prevention of discoloration (redness) for 21 d of storage under illumination	Yildirim and others (2015); Hutter and others (2016); Röcker and others (2017)
		Bakery products: partially baked buns, toast bread slices and gluten-free bread slices	Retard of mould growth from 2 to 8–10 d	Rüegg and others (2016)

Πηγή: Yildirim, Selçuk; Röcker, Bettina; Pettersen, Marit Kvalvåg; Nilsen-Nygaard, Julie; Ayhan, Zehra; Rutkaite, Ramune; Radusin, Tanja; Suminska, Patrycja; Marcos, Begonya; Coma, Véronique (2017). Active Packaging Applications for Food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, (), -. doi:10.1111/1541-4337.12322

2.2.1.2 Απορρόφηση υγρασίας

Σε ορισμένα τρόφιμα, όπως νωπά προϊόντα, νωπό κρέας, ψάρια, πουλινικά και κυρίως συσκευασμένα φρούτα και λαχανικά εμφανίζεται το φαινόμενο της απώλειας ύδατος. Αυτή η απώλεια υγρασίας είναι αποτέλεσμα της μικροβιολογικής και της φυσικής δραστηριότητας (αποστράγγιση υγρών από τους ιστούς) ή της αναπνοής. Κατά την αναπνοή παράγεται διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα (Brody, 2001). Η θερμότητα αυτή εφόσον δεν απομακρύνεται από το προϊόν ή η θερμοκρασία κατά τη διανομή του προϊόντος αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται ελαφρώς, η συμπύκνωση των υδρατμών, η οποία συμβαίνει στα ψυχρότερα σημεία του προϊόντος, γίνεται αισθητή στο εσωτερικό της συσκευασίας, υπό μορφή σταγονιδίων. Από την άλλη πλευρά, η υγρασία που παραμένει στην επιφάνεια του τροφίμου, οδηγεί στην ανάπτυξη αλλοιογόνων μικροοργανισμών και μούχλας. Επομένως η διατήρηση της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό της συσκευασίας είναι ζωτικής σημασίας, τόσο για την παράταση της ζωής του τροφίμου, όσο και για την αποδοχή του από τους καταναλωτές (Brody, 2001 και Παπαδάκης, 2018).

Για την απορρόφηση της υγρασίας χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως η χρήση MAP ή υπό κενό συσκευασία και η χρήση συσκευασίας μη διαπερατή σε υγρασία. Η χρήση της ενεργής συσκευασίας γίνεται με την προσθήκη στο εσωτερικό της συσκευασίας τροφίμων φακελίσκων, σάκων ή μαξιλαριών από υλικό διαπερατό σε υγρασία. Συγκεκριμένα, στο εσωτερικό τους προστίθεται silica gel, χλωριούχο ασβέστιο, οξείδιο του ασβεστίου, ζεόλιθος, συνδυασμός μπεντονίτη/σορβιτόλης/χλωριούχου ασβεστίου, πολυακρυλικό άλας νατρίου, χλωριούχο νάτριο και υγροσκοπικό ιονομερές (hygroscopic ionomer), χλωριούχο μαγνήσιο, θειικό ασβέστιο, γαλακτοξυλογλυκάνη από σπόρους ταμάρινδου και σορβιτόλη (Yildirim et al., 2017). Τα μαξιλαράκια τοποθετούνται κάτω από το προϊόν (από ίνες κυτταρίνης) ή ενσωματώνονται στα υλικά συσκευασίας. Κατά καιρούς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι ενεργοί απορροφητές υγρασίας, όπως των εταιρειών DOW BRANDS, CHEFKIN, PITCHIT, DAI NIPPON, KYUSHI, CRISPER και Grace Davison's CondensationGar. Τέλος, τα silica gel, απορροφούν έως και το 35% του βάρους τους σε νερό, ενώ ο ζεόλιθος, μπορεί να απορροφήσει έως και το 24% του βάρους τους σε νερό. Βέβαια, ο τελευταίος δε χρησιμοποιείται σε τρόφιμα (Wu et al., 2010).



ΕΙΚΟΝΑ 10: ΦΑΚΕΛΙΣΚΟΣ ΜΕ SILICA GEL

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (ΠΗΓΗ: YILDIRIM AL., 2017)

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Food Application	Benefit	Reference
Bentonite/sorbitol/ calcium chloride	Powder in trays/bags in the package	Mushrooms	Decrease in moisture condensation inside the package; better product appearance: lower browning index (BI 14.8) compared to control (BI 18); extension of shelf life from 1 to 3 to 5 d at 10 °C	Mahajan and others (2008)
Poly(acrylic acid) sodium salt	Powder in porous "tea bag" in sealed containers	Maize	Reduction in aflatoxin contamination to below European aflatoxin contamination B1 limits of 4 ng/g grain	Mbuge and others (2016)
Sodium chloride	Thermoformed multilayer trays: PE/foamed hygroscopic ionomer-NaCl/PE	Tomatoes and strawberries	Regulation of in-package RH below 97% during 7 d at different temperatures	Rux and others (2016)
		Mushrooms	Regulation of in-package RH at 93% during 6 d at 7 °C, better color appearance, gill exposure and less incidence of decay after 6 d	Rux and others (2015)
	Mushrooms	Mushrooms	Decrease in water loss from 4.5 to 1.3 g at 5 °C	Singh and others (2010a,b)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.12322

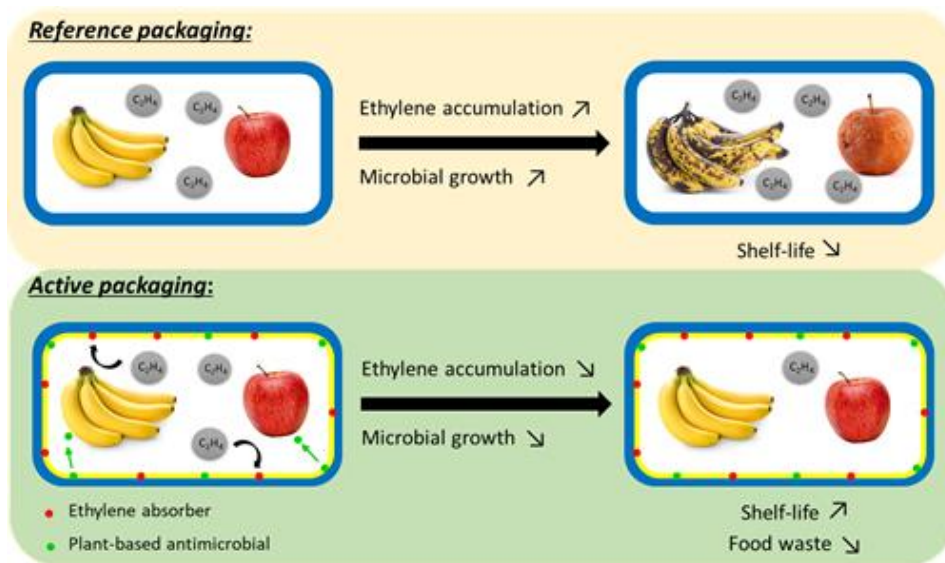
2.2.1.3 Απορρόφηση αιθυλενίου

Το αιθυλένιο ή αιθένιο, κατά IUPAC, είναι το πιο απλό αλκένιο, δηλαδή ένας ακόρεστος υδρογονάνθρακας με ένα διπλό δεσμό. Αποτελεί μια ορμόνη, η οποία αυξάνει τον ρυθμό αναπνοής των φρούτων και των λαχανικών, με αποτέλεσμα να επιταχύνει την ωρίμανσή τους. Μια συσκευασία τροφίμων νωπών σπωροκηπευτικών περιέχει πάντα αιθυλένιο, το οποίο δρα αρνητικά στην ποιότητα τους, μειώνοντας το χρόνο ζωής τους. Γι' αυτό το λόγο, είναι σημαντική η χρήση απορροφητών αιθυλενίου. Η πιο διαδεδομένη ενεργή συσκευασία απορρόφησης αιθυλενίου είναι ένα σακίδιο από φιλμ διαπερατό σε αιθυλένιο, στο οποίο υπάρχει ένα αδρανές υπόστρωμα από περλίτη, σίλικα τζελ, βερμικουλίτη, σελίτη, ενεργό άνθρακα ή αλουμίνα και το οποίο έχει εμποτιστεί με υπερμαγγανικό κάλιο (KMnO₄). Αυτό, οξειδώνει το αιθυλένιο προς διοξείδιο του άνθρακα. Όταν συμβεί αυτή η αντίδραση, ο απορροφητής αλλάζει χρώμα και από ιώδες γίνεται καφέ (Yildirim, 2017).

Ένας άλλος τύπος απορρόφησης αιθυλενίου περιέχει, σε υφασμάτινα σακουλάκια, ενεργό άνθρακα και παλλάδιο ή βρώμιο. Το παλλάδιο ή βρώμιο έχει ρόλο καταλύτη, ενώ το αιθυλένιο δεσμεύεται από τον ενεργό άνθρακα και οξειδώνεται από το οξυγόνο του αέρα. Τα σακουλάκια αυτά τοποθετούνται στο εσωτερικό μιας συσκευασίας με φρούτα ή λαχανικά. Υπάρχει και η δυνατότητα ενσωμάτωσης κάποιου απορροφητή αιθυλενίου στις μεμβράνες συσκευασίας (από πολυαιθυλένιο), συνήθως κάποιου είδους αργίλου, όπως ελαφρόπετρα, ζεόλιθο κ.ά. μαζί με οξείδια μετάλλων. Ωστόσο, δεν έχει αποδειχθεί η αποτελεσματικότητά των μεμβρανών αυτών, διότι μπορεί μεμονωμένα τα υλικά αυτά να δεσμεύουν το αιθυλένιο, αλλά όταν βρεθούν μέσα στο φιλμ να χάνουν τις ιδιότητές τους (Παπαδάκης 2018). Παραδείγματα εφαρμογής απορροφητών αιθυλενίου είναι το χαρτί Frisspack της εταιρείας DUNAPACK, που χρησιμοποιούσε silica gel εμποτισμένο με υπερμαγγανικό κάλιο, το Neuralon της Japan's Sekisui Jushi που συνδυάζει απορροφητή αιθυλενίου (με ενεργό άνθρακα) και απορροφητή υγρασίας μαζί. Η ιαπωνική Honshu Paper με το Hatofresh

Systems χρησιμοποιεί ενεργό άνθρακα και βρώμιο, ενώ η ιαπωνική εταιρεία Mitsubishi Chemical Company παράγει το «SendoMate», το οποίο είναι υφασμάτινο σακουλάκι με ενεργό άνθρακα και παλλάδιο (Brody, 2001).

Επιπρόσθετα, μία εξέλιξη στην ενεργή συσκευασία αφαίρεσης αιθυλενίου μπορεί να αποτελέσει η χρήση τριενίων, που περιέχουν άζωτο με έλλειψη ηλεκτρονίων και είναι ενσωματωμένα σε συσκευασίες διαπερατές από αιθυλένιο, για παράδειγμα μία τετραζίνη. Η τετραζίνη είναι ασταθής παρουσία νερού, επομένως, ενσωματώνεται σε μια υδρόφοβη, διαπερατή από αιθυλένιο πλαστική μεμβράνη, που δεν περιέχει ομάδες υδροξυλίου. Οι κατάλληλες μεμβράνες θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν πολυκαρβονικά σιλικόνης, πολυστερίνες, πολυαιθυλένια και πολυπροπυλένια (Brody, 2001).



ΕΙΚΟΝΑ 11: ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟΣ ΣΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ



ΕΙΚΟΝΑ 12: ΦΑΚΕΛΑΚΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ HELLAGRO

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΔΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Food Application	Benefit	Reference
Charcoal w/ palladium chloride	Absorbent (paper packets) in metal tray with glass cover	Fresh-cut kiwifruit, banana, spinach	Reduction in softening of fresh-cut kiwifruit and bananas, and chlorophyll loss in spinach leaves, no accumulation of ethylene in the trays for kiwifruit slices, banana sections, broccoli and spinach for 3 d at 20 °C	Abe and Watada (1991)
Nano-Ag, Nano-TiO ₂ and kaolin	PE film	Strawberry	Quality improvement: sensory, physicochemical and physiological properties (decay rate, anthocyanin, and malondialdehyde contents were decreased to 16.7%, 26.3 mg /100g, 66.3 μmol/g for nanopacking and 26.8%, 31.9 mg/100g, 75.4 μmol/g for normal packing, respectively)	Yang and others (2010)
	PE film	Chinese bayberry	Controlling green mold decay, reduced respiration rate and ethylene production (49.6% and 25.9%, respectively, for combined treatment of hot air and nanopackaging which was lower than the control) and providing firmer fruit for 8 d at 1 °C	Wang and others (2010)
	PE film	Chinese jujube	Positive effects on physicochemical and sensory quality, prevention of fruit softening, weight loss, browning and climactic evolution, and ethylene control (maximum ethylene content of 17.6 μL/kg h for the control on 3rd day and 9.2 μL/kg h for nanopackaging on the 6th day of storage)	Li and others (2009)
Nano-Ag, Nano-TiO ₂ and montmorillonite	PE film	Kiwifruit	Inhibition of ethylene production (57.4% lower headspace ethylene concentration in nanopackaging), prevention of physiological changes, delay in ripening	Hu and others (2011)
Nano-ZnO	PVC film coated with nano ZnO	Fresh-cut apple	Reduction in fruit decay rate (21.5% for nanocoated PVC, 42.4% for uncoated PVC on 12th d at 4 °C), slowdown in ethylene production (maximum ethylene content 40 μL/kg d for nanopackaging on 9th d and 70 μL/kg d for the control on 6th day storage), maintenance of °Brix and titratable acidity and inhibition of enzyme activity	Li and others (2011)
Zeolite-based various alumino-silicate minerals	LDPE films	Broccoli florets	Improvement of overall quality and increase in shelf-life up to 20 d at 4 °C	Esturk and others (2014)
Zeolite-based impregnated with KMnO ₄	HDPE films	Kiwifruit	Firmer texture, higher vitamin C content, no shelf life provided	Küçük (2006)
Zeolite fine particles of mordenite framework inverted-type zeolite	LDPE film	Mango	Extension of shelf-life up to 40 d at 12 °C, reduction in weight loss, maintaining firmness, no sign of decay	Boonruang and others (2012)
Zeolite-based minerals	LDPE film	Kiwifruit	Extension of shelf-life up to 20 d at 4 °C by establishing equilibrium atmosphere, higher sensory quality	Ayhan (2016)
A natural hydroscopic mineral (not specified)	Commercial LDPE bags (by Peakfresh)	Broccoli	Less weight loss, maintenance of chlorophyll content and improvement of color and texture, shelf life of 12 d at 4 °C and 9 d at 10 °C	Jacobsson and others (2004)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.12322

2.2.1.4 Απορρόφηση διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να είναι προϊόν αντιδράσεων αποικοδόμησης, ανάπτυξης μικροοργανισμών και αναπνοής. Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία πως έχει αντιμικροβιακές ιδιότητες και πως είναι διαλυτό σε νερό και λιπαρά τρόφιμα. Η διαλυτότητά του αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και εξαρτάται από το pH, την επιφάνεια και τη σύσταση του τροφίμου. Ωστόσο, παρά τις αντιμικροβιακές του ιδιότητες, εάν βρίσκεται στο εσωτερικό της συσκευασίας σε μεγάλο ποσοστό, επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του τροφίμου, όπως τη διόγκωση ή ακόμη και την καταστροφή της συσκευασίας. Η δέσμευση του CO₂ μπορεί να γίνει με το υδροξείδιο του ασβεστίου (παράγεται ανθρακικό ασβέστιο) ή ανθρακικού νατρίου (σε προϊόντα με υψηλή υγρασία). Χρησιμοποιούνται σε σακουλάκια και εμπορευματοκιβώτια, που περιέχουν φρούτα και λαχανικά, σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα ή σε καβούρντισμένο/αλεσμένο καφέ. Ο ενεργός άνθρακας και ο ζεόλιθος είναι επίσης μια επιλογή, καθώς απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα φυσικά, αλλά όχι σε τρόφιμα με υψηλή σχετική υγρασία, διότι απορροφούν τους υδρατμούς περισσότερο παρά το CO₂. Όσον αφορά τον καφέ υπάρχει σήμερα μια βαλβίδα μονής κατεύθυνσης, στο εσωτερικό της συσκευασίας, η οποία από την αύξηση της πίεσης ανοίγει για να απομακρυνθεί το διοξείδιο του άνθρακα από τη συσκευασία (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 13: ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΚΑΦΕ ΜΕ ΒΑΛΒΙΔΑ ΜΟΝΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ



ΕΙΚΟΝΑ 14: ΣΑΚΟΥΛΑΚΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ATCO® ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ EMCO
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΩΝ CO₂ ΣΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ (ΠΗΓΗ: LEE D.S., 2016)

Food packaged	CO ₂ absorber	Packaging conditions and other extra devices	Benefits of CO ₂ absorber	Reference
Strawberry	Commercial product (EMCO®)	Fruits of 200 g in a film bag at 4 °C	Reduced mould decay incidence, delayed senescence, preserved sensory score and chemical quality attributes	Aday et al. (2011)
Pear	Commercial product (Ageless®)	One fruit in a film bag at 1 °C	Prevention of internal browning	Nugraha et al. (2015)
Eggplant	Commercial product (Lipman®)	3 fruits in a polyethylene film bag at 4 °C	Reduction in chilling injury observed as external and internal browning	Veasna et al. (2012)
Shiitake mushroom	Ca(OH) ₂	8 perforated tray packages of 500 g each in perforated low-density polyethylene bag passed through the supply chain	Reduced yeast/mould growth and decay	An (2016)
Shiitake mushroom	Agar-based label incorporated with Na ₂ CO ₃	200 g mushrooms in perforated bag at 10 °C	Less colour change, firmer texture, good flavour, low bacterial count, alleviation of humidity saturation inside the package	Wang et al. (2015)
Kimchi	Zeolite	Al-laminated pouch or jar of 500–600 g at 15 °C	Inhibition of volume expansion and pressure build-up	Lee et al. (2001)
Kimchi	Zeolite/Na ₂ CO ₃ in polystyrene sheet or sachet	Al-laminated pouch or jar of 500–600 g at 15 °C	Inhibition of volume expansion and pressure build-up	Shin et al. (2002)
Kimchi	Ca(OH) ₂	Al-laminated pouch of 80 g in vacuum at 10 °C	Prevention of pouch inflation	Lee et al. (2003)
Soy paste, red pepper paste	Ca(OH) ₂	Glass jar packages of 180 and 150 g for soy sauce and red pepper paste at 13 °C	Alleviation of pressure build-up	Jang et al. (2000)
Carbonated beverage	Activated carbon	Activated carbon in a separate pressure compartment communicable in gas-phase with product space through membrane	Maintaining consistent CO ₂ pressure inside the container and/or dissolution in the beverages	Rasmussen and Vesborg (2012)
Coffee	Granule formulation of Ca(OH) ₂ /silica gel/H ₂ O in capsule	Coffee-filled pod	Maintaining the aromas of freshly roasted coffee powders with maintaining constant package volume and structure	Crump et al. (2013)

2.2.1.5 Απορρόφηση ανεπιθύμητων ουσιών στα τρόφιμα

Οι πτητικές ουσίες που παράγονται σε ένα τρόφιμο, μπορεί να είναι επιθυμητές ή ανεπιθύμητες, όπως το φαινόμενο scapling, κατά το οποίο τα πολυμερή υλικά της συσκευασίας απορροφούν πτητικές ενώσεις από τα τρόφιμα, με αποτέλεσμα την απώλεια χρήσιμων αρωματικών ουσιών, όπως για παράδειγμα η απορρόφηση του D – λεμονενίου του χυμού πορτοκαλιού από το αιθυλένιο. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλα και να λειτουργήσει ως ενεργή συσκευασία, απορροφώντας μόνο τις άσχημες οσμές από τα τρόφιμα. Επίσης, ένας δεύτερος λόγος για την αφαίρεση οσμών στις συσκευασίες είναι η μείωση αυτών που αναπτύσσονται από τα ίδια τα υλικά της συσκευασίας. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας πλαστικού, δηλαδή της εξώθησης, της χύτευσης, της εμφύσησης μεμβρανών και φύλλων, ορισμένα συστατικά πολυολεφίνης τείνουν να

διασπώνται ή να οξειδώνονται σε κοντές αλυσίδες και συχνά αναπτύσσονται δύσσομες ενώσεις υδρογονανθράκων. Γι' αυτό το λόγο, προστίθενται τα αντιοξειδωτικά στα υλικά συσκευασίας πολυολεφινών, προκειμένου να μην επηρεάσουν αρνητικά το άρωμα του τροφίμου και του εσωτερικού της συσκευασίας. Η βιταμίνη Ε χρησιμοποιείται εδώ και μια δεκαετία ως αντιοξειδωτικό βοήθημα επεξεργασίας από την βιομηχανία επεξεργασίας πλαστικών (Laermer et al., 1994).

Επιπλέον, ως απορροφητής ανεπιθύμητων ουσιών στα τρόφιμα χρησιμοποιείται ο ενεργός άνθρακας, ο οποίος είναι οικονομικός και αποτελεσματικός. Ωστόσο, έχει μαύρο χρώμα και απορροφά ταυτόχρονα και την υγρασία, ενώ εάν θερμανθεί ή δε μπορεί να απορροφήσει άλλες πτητικές ουσίες, απελευθερώνει ένα μέρος τους. Μπορεί να ενσωματωθεί σε πλαστικές και χάρτινες συσκευασίες, σε πτυσσόμενα χαρτοκιβώτια που περιέχουν τρόφιμα που εκπέμπουν σημαντικές οσμές ή αρώματα. Η Westvaco το 1996 ανέπτυξε ένα υπόστρωμα από χαρτόνι με επικάλυψη εξώθησης και στις δύο πλευρές με πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Το στρώμα που έρχεται σε επαφή με το τρόφιμο περιέχει τον απορροφητή οσμών, όπως ενεργό άνθρακα, ενώ το συνδετικό υλικό μπορεί να αποτελείται από πυριτικό νάτριο, πολυεστέρα, άμυλο ή πολυβινυλική αλκοόλη (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).

Στα χαρτόνια, η λιγνίνη αποτελεί απορροφητικό παράγοντα άσχημων οσμών, όπως οι οσμές που προκαλούνται από τα μελάνια εκτύπωσης που εφαρμόζονται στο χαρτόνι, αποτρέποντας τις οσμές να απορροφηθούν από τα τρόφιμα που περιέχονται στο χαρτόνι. Η ιαπωνική εταιρεία Mitsui χρησιμοποιεί υδροξείδιο του αργιλίου ή οξείδιο που αντιδρά με φωσφορικό οξύ σε ένα διφασικό σύστημα νερού και ενός οργανικού διαλύτη για το σχηματισμό λεπτόκρυσταλλου ορθοφωσφορικού αργιλίου. Το κατακρημνισμένο φωσφορικό ορθοφωσφορικό αργίλιο προστίθεται σε πολτοποιημένη μορφή, η οποία μετατρέπεται σε φύλλο χαρτιού που απορροφά τις δυσάρεστες οσμές. Επιπρόσθετα, η βιταμίνη Ε αποτελεί μια βιώσιμη εναλλακτική λύση σε σχέση με βουτυλιωμένο υδροξυτολουόλιο (BHT) ως αντιοξειδωτικό πρόσθετο σε υλικά συσκευασίας (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).

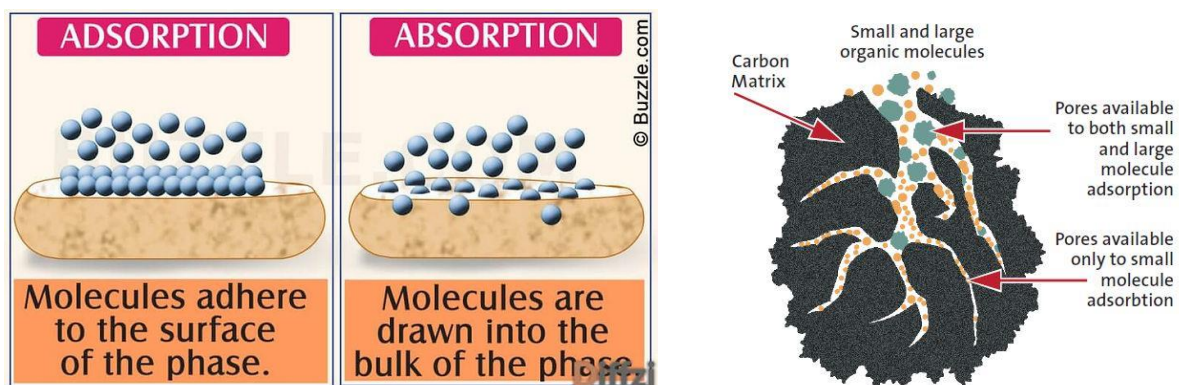
Υπάρχουν επίσης και τα μοριακά κόσκινα από κρυσταλλικό ζεόλιθο ή με βάση το πυρίτιο, τα οποία διαθέτουν πόρους διαφόρων μεγεθών. Αυτά προσελκύουν και παγιδεύουν τις οσμές μέσα στη δομή τους, μειώνοντας τη συγκέντρωση των οσμών στον αέρα σε επίπεδο κάτω από το οσφρητικό κατώφλι. Τέτοια είναι των εταιρειών DuPont και UOP Corporation. Η συσκευασία από χαρτί/μεμβράνη αλουμινίου/πολυαιθυλένιο χρησιμοποιήθηκε σε ολλανδικές καραμέλες και ήταν η πρώτη εφαρμογή για το "Conrol 20LO", ένα πρόσθετο απορρόφησης οσμών από την DuPont's Packaging and Industrial Polymers στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το πρόσθετο είναι ένα μοριακό κόσκινο που περιέχει διοξείδιο του πυριτίου, το οποίο απορροφά ανεπιθύμητα οσφρητικά μόρια όπως οι αλδεΐδες και οι κετόνες που σχηματίζονται κατά την επεξεργασία των πολυολεφινών. Όσον αφορά

τις αλδεΐδες, όπως ή εξανάλη και η επτανάλη, είναι άσχημες οσμές και προκύπτουν από την αυτοξειδωση των λιπών και ελαίων. Επομένως, η παραπάνω ενεργή συσκευασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε προϊόντα όπως μπισκότα, δημητριακά, τσιπς πατάτας και τηγανητά σνακ, προκειμένου να μην έχουν ταγγισμένη γεύση (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).

Τέλος, η αφαίρεση αμινών, οι οποίες παράγονται κατά την αποικοδόμηση των μυών των ψαριών, είναι σημαντική, καθώς έχουν άσχημη οσμή. Η ενσωμάτωση οξέων, όπως κιτρικό ή άλλα οξέα σε πολυμερή, όπως το αιθυλένιο, μπορούν να απομακρύνουν αυτές τις ουσίες αυτές. Η Ιαπωνική εταιρεία Aniso, παράγει σακούλες από φιλμ, που περιέχουν άλας σιδήρου και ένα οργανικό οξύ, όπως το κιτρικό ή ασκορβικό οξύ, τα οποία οξειδώνουν την αμίνη ή άλλη οξειδώσιμη ένωση, καθώς απορροφάται από το πολυμερές (Rooney, 1995).



ΕΙΚΟΝΑ 15: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΩΝ ΑΝΕΠΙΘΗΜΗΤΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΤΗΣ SORBEAD INDIA (ΑΡΙΣΤΕΡΑ), ΤΗΣ BLUAPPLE (ΕΠΑΝΩ ΔΕΞΙΑ) ΚΑΙ ΤΗΣ LONGOU OCEAN INDUSTRY AND TRADE CO., LTD (ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ)



ΕΙΚΟΝΑ 16: ΤΡΟΠΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗ ΟΣΜΩΝ

2.2.2 Συστήματα Απελευθέρωσης

2.2.2.1 Απελευθέρωση αντιοξειδωτικών

Τα αντιοξειδωτικά ενσωματώνονται σε διάφορες πλαστικές συσκευασίες (κυρίως πολυολεφίνες), προκειμένου να προστατεύσουν τόσο την ίδια τη συσκευασία από οξειδώσεις, όσο και το προϊόν που περικλείουν. Ο μηχανισμός δράσης που χρησιμοποιείται αφορά τα αντιοξειδωτικά, τα οποία απελευθερώνονται από τη συσκευασία και έπειτα μεταναστεύουν στο τρόφιμο. Ο ρυθμός μεταφοράς ρυθμίζεται με τη χρήση επιπλέον στρώματος πλαστικού με χαμηλή διαπερατότητα σε αντιοξειδωτικά. Μπορούν να προστεθούν τα συνθετικά αντιοξειδωτικά ΒΗΑ (βουτυλοϋδροξυανισόλη – Ε320) και ΒΗΤ (βουτυλοϋδροξυτολουόλιο – Ε321) ή φυσικά αντιοξειδωτικά, όπως πολυφαινόλες, τοκοφερόλες, φυτικά εκχυλίσματα και αιθέρια έλαια, με προτίμηση τα τελευταία χρόνια στα φυσικά αντιοξειδωτικά και κυρίως της α – τοκοφερόλης (βιταμίνη Ε) (Παπαδάκης, 2018).

Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες μελέτες για την ενσωμάτωση των αντιοξειδωτικών σε πλαστικές συσκευασίες με πολύ καλά αποτελέσματα. Ορισμένα παραδείγματα τέτοιων μελετών είναι η χρήση ΒΗΤ σε συσκευασία LDPE, που περιείχε φιλέτα ψαριών. Στη συγκεκριμένη μελέτη σημειώθηκε καθυστέρηση στην οξείδωση των λιπιδίων και στην μετουσίωση των πρωτεϊνών. Τα φιλέτα συσκευασμένα σε μεμβράνες συσκευασίας ΒΗΤ-LDPE ανέστειλαν επίσης, τις βλάβες στους ιστούς και διατήρησαν καλύτερα τη σφριγηλότητά τους σε σχέση με τα φιλέτα συσκευασμένα μόνο σε LDPE. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αντικατάσταση των ΒΗΤ και ΒΗΑ με α – τοκοφερόλη σε σκόνη πλήρους γάλακτος, που συσκευάστηκε σε πολυστρωματική μεμβράνη (HDPE/EVOH/LDPE), στην οποία η α – τοκοφερόλη ενσωματώθηκε στο εσωτερικό στρώμα LDPE, προσέφερε την ίδια αντιοξειδωτική δράση και καθυστέρησε την οξείδωση των λιπιδίων του πλήρους γάλακτος σε σκόνη. Επίσης, ο συνδυασμός MAP και α – τοκοφερόλη ενσωματωμένη σε στρώμα LDPE, θα μπορούσαν να μειώσουν την οξείδωση των λιπιδίων και λίπους σε φρέσκο τόνο και την αύξηση του χρόνου ζωής του σολομού (Torrieri et al., 2011 και Barbosa-Pereira et al., 2013). Πέρα από τη χρήση της α – τοκοφερόλης, μπορεί να προστεθεί το φυσικό φλαβονοειδές κερκετίνη σε EVOH. Ακόμη, η κατεχίνη, που βρίσκεται στο πράσινο τσάι έχει παρόμοιες ιδιότητες με εκείνες της κερκετίνης, αποδείχθηκε ότι είναι ένα αποτελεσματικό αντιοξειδωτικό συστατικό για την επιβράδυνση της οξείδωσης του ηλιέλαιου και των τηγανητών φιστικιών. Μάλιστα οι μεμβράνες που περιείχαν κερκετίνη ήταν πιο αποτελεσματικές από αυτές με κατεχίνη, εξαιτίας της μεγαλύτερης διαλυτότητας και την υψηλότερη αντιοξειδωτική δράση της κερκετίνης (Yildirim et al., 2017).

Άλλα μη πτητικά αντιοξειδωτικά όπως το ασκορβικό, το φερουλικό και το κιτρικό οξύ μπορούν να ενσωματωθούν σε πολυμερή, όπως EVOH ή σε φιλμ από άμυλο καλαμποκιού/με γραμμικό LDPE, που περιέχουν αλμυρές σαρδέλες και μοσχαρίσιο κιμά. Σε άλλα συστήματα ενεργής συσκευασίας χρησιμοποιήθηκαν συστατικά φυτών, μπαχαρικά και πτητικά εκχυλίσματα,

προκειμένου να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Τέτοια ενεργά συστατικά είναι η θυμόλη, η καρβακρόλη και η ευγενόλη, ενσωματωμένα σε φιλμ από άμυλο καλαμποκιού/με γραμμικό LDPE, που περιείχαν μοσχαρίσια μπιφτέκια (Park et al., 2012). Σε χοιρινό κρέας τα αντιοξειδωτικά, που έχουν χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της ενεργής συσκευασίας είναι το εκχύλισμα πράσινου τσαγιού (Lorenzo et al., 2014). Αντίθετα σε κοτόπουλο σε MAP η ρίγανη ήταν πιο αποτελεσματική από το εκχύλισμα πράσινου τσαγιού. Πέρα από τη ρίγανη, η οποία είναι αποτελεσματική στην πρόληψη της οξείδωσης αρνίσιου και μοσχαρίσιου κρέατος, το δεντρολίβανο διατηρεί φρέσκια την οσμή και το χρώμα από 8 σε 13 ημέρες σε σχέση με αυτό του ελέγχου (Camo et al., 2008).

Μια μέθοδος που θα μπορούσε να εφαρμοστεί βιομηχανικά είναι η ενσωμάτωση εκχυλίσματος πράσινου τσαγιού σε πολυστρωματικές μεμβράνες και συγκεκριμένα στο συγκολλητικό υλικό πλαστικοποίησης, ώστε να μην έρχεται σε επαφή με το τρόφιμο. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει εκτεταμένη έρευνα για τη χρήση των αντιοξειδωτικών συστημάτων συσκευασίας με σκοπό την πρόληψη της οξείδωσης των τροφίμων (Yildirim et al., 2017).

ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΑΝΤΙΟΞΕΙΔΩΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Incorporation to Matrix	Food Application	Benefit	Reference
BHT	LDPE films	Blow-extrusion	Fresh sierra fish (<i>Scomberomorus sierra</i>) filets	Lower lipid oxidation and (peroxide value, TBARS, FFA) protein denaturation, less tissue damage, maintained firmness	Torres-Arreola and others (2007)
α-Tocopherol, BHT, BHA	Poly(lactide-co-glycolide) film	Solvent-casting	Dry whole milk and dry buttermilk powders	Improvement of oxidative stability (lower pentanal and heptanal content)	Van Aardt and others (2007)
α-Tocopherol	Multilayer film: HDPE/EVOH/LDPE	Twin-screw extrusion	Whole milk powder	Improvement of oxidative stability (lower pentanal, hexanal, and heptane content)	Granda-Restrepo and others (2009b)
	LDPE film	Solvent-casting	Corn oil	Improvement of oxidative stability (lower hexanal content)	Graciano-Verdugo and others (2010)
	Poly(lactic acid) film	Twin-screw extrusion	Soybean oil	Improvement of oxidative stability (lower peroxide value)	Manzanarez-López and others (2011)
	LDPE film	Melt-blending	MAP bluefin tuna filets	Improvement of oxidative stability (lower TBARS)	Torrieri and others (2011)
Commercial mixtures of tocopherols	LDPE film	Twin-screw extrusion	Salmon (<i>Salmo salar</i>)	Improvement of oxidative stability (lower TBARS)	Barbosa-Pereira and others (2013)
Quercetin, ascorbic acid, ferulic acid, and green tea extract	EVOH film	Twin-screw extrusion	Brined sardines (<i>Sardina pilchardus</i>)	Improvement of oxidative stability (lower peroxide value and TBARS)	López-de-Dicastillo and others (2012b)
Catechin, quercetin	EVOH film	Solvent-casting	Fried peanuts, sunflower oil	Improvement of oxidative stability (lower hexanal content)	López-de-Dicastillo and others (2012a)
Citric acid	Cornstarch/linear LDPE film	Single-screw extrusion	Vacuum-packed ground beef (<i>semimembranosus</i>)	Improvement of oxidative stability (lower TBARS) and color preservation (higher a* value)	Vargas Júnior and others (2015)
Thymol, carvacrol, and eugenol	Corn-zein-laminated linear LDPE film	Solvent-casting	Vacuum-packed beef patties	Color improvement and inhibition of lipid oxidation (lower TBARS)	Park and others (2012)
Resveratrol	LLDPE film	Direct addition to the polymer or pre-incorporation into montmorillonite clay, twin-screw extrusion	Beef	Oxidative stability improvement (lower TBARS)	Busolo and Lagaron (2015)
Green tea extract	Chitosan film	Solvent-casting	Pork sausages	Oxidative and color stability improvement (lower TBARS and higher L* value)	Siripatrawan and Noipha (2012)

(Continued)

(συνέχεια)

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Incorporation to Matrix	Food Application	Benefit	Reference
Green tea extract, oolong tea extract, black tea extract	Protein film from distilled dried grains with solubles	Solvent-casting	Wrapped pork meat	Oxidative stability improvement (lower TBARS)	Yang and others (2016)
Oregano essential oil and green tea extract	Multilayer film: PET/PE/EVOH/PE	Film coating	MAP foal steaks (<i>longissimus dorsi</i>)	Color and oxidative stability improvement (lower metmyoglobin formation, TBARS)	Lorenzo and others (2014)
Green tea extract	Multilayer OPP film	Incorporation into lamination adhesive	Dark chocolate peanuts, milk chocolate cereals	Oxidative stability improvement (lower hexanal and higher pyrazine content)	Carrizo and others (2016)
Oregano extract	PP film	Film-coating	MAP beef steak	Oxidative stability improvement (lower TBARS) and color preservation (lower metmyoglobin content and higher a* value)	Camo and others (2011)
Oregano, rosemary extracts	PS tray	Film-coating	MAP lamb	Oxidative stability improvement (lower TBARS) and color preservation (lower metmyoglobin content and higher a* value)	Camo and others (2008)
Rosemary extract	PP film	Film-coating	MAP beef steak (<i>longissimus dorsi</i>)	Improvement of oxidative stability (lower TBARS) and color preservation (lower metmyoglobin content and higher a* value)	Nerín and others (2006)
	LDPE film	Film-coating	Vacuum-packed pork patties	Protection against HPP induced lipid oxidation (lower TBARS)	Bolmar and others (2016)
	LDPE film	Film-coating	Vacuum-packed pressurized chicken meat (breast and thigh) patties	Protection against HPP induced lipid oxidation Delay of lipid oxidation (lower TBARS)	Bolmar and others (2011)
Natural extracts from brewery residual waste, rosemary extract	LDPE film	Film-coating	Beef	Oxidative stability improvement (lower TBARS)	Barbosa-Pereira and others (2014)
Barley husk extracts	LDPE film	Film-coating	Frozen blue shark (<i>Prionace glauca</i>)	Oxidative stability improvement (lower peroxide value, FFA, TBARS)	Pereira de Abreu and others (2011)
Encapsulated anthocyanins from wine grape pomace	Cassava starch film	Solvent-casting	Sunflower oil	Improvement of oxidative stability (lower peroxide value)	Stoll and others (2016)
Beet root residue powder	Gelatin capsule residue film	Solvent-casting	Sunflower oil	Improvement of oxidative stability (lower peroxide value)	Oliveira and others (2016)
Mango and acerola pulp	Cassava starch film	Solvent-casting	Palm oil	Improvement of oxidative stability (lower peroxide value, conjugated diene, and hexanal content)	Souza and others (2011)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

2.2.2.2 Εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα

Η χρήση ενεργής συσκευασίας, η οποία απελευθερώνει CO₂ έχει εφαρμογή κυρίως σε συσκευασίες τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) με σκοπό την αποφυγή παραμόρφωσης της συσκευασίας και δημιουργίας υδρατμών, την αύξηση του βαθμού πλήρωσης, την ύπαρξη μικρότερων συσκευασιών, την καλύτερη μεταφορά του προϊόντος και φυσικά την αύξηση του χρόνου ζωής του τροφίμου. Έχουν τη μορφή μαξιλαριού ή φακελίσκου και μπορούν να συνδυαστούν με απορροφητές οξυγόνου ή υγρασίας. Η ενεργή συσκευασία, η οποία συνδυάζει εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και απορρόφηση υγρασίας, περιέχει ενεργά συστατικά στο εσωτερικό του μαξιλαριού, που αντιδρούν παρουσία υγρασίας, η οποία προέρχεται από το προϊόν, με αποτέλεσμα την απελευθέρωση CO₂. Τέτοια ενεργά συστατικά είναι μίγμα στερεού διττανθρακικού νατρίου και κιτρικού οξέος, τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί σε φιλέτα νωπού μπακαλιάρου. Το μαξιλαράκι τοποθετείται κάτω από το φιλέτο του ψαριού. Τα υγρά που εκρέουν απορροφούνται από το μαξιλαράκι και ταυτόχρονα απελευθερώνεται CO₂. Έτσι, αποφεύγεται η κατάρρευση προς το εσωτερικό της συσκευασίας και μειώνεται και η υγρασία. Από την άλλη, στην ενεργή συσκευασία, που συνδυάζει εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και απορρόφηση οξυγόνου, οξειδώνεται ο ανθρακικός σίδηρος, παρουσία καταλυτών, για τη ρύθμιση της ταχύτητας της αντίδρασης. Υλικά που χρησιμοποιούνται για τα μαξιλαράκια/ φακελίσκους εκπομπής CO₂ είναι οι ίνες κυτταρίνης ή άλλες ίνες, SAP (υπερ-απορροφητικό πολυμερές), άλλα υδρο - gels και διάτρητα πλαστικά φιλμ. Επίσης, τα ενεργά συστατικά μπορούν να είναι κατανεμημένα ομοιόμορφα στους πόρους του υλικού ή διάσπαρτα στο κέντρο του υποστρώματος (Yildirim et al., 2017 και Παπαδάκης 2018).

Κατά την τελευταία δεκαετία, ο τομέας της εκπομπής CO₂ έχει προχωρήσει σημαντικά, γεγονός που αντικατοπτρίζεται στην αυξημένη ερευνητική δραστηριότητα και στην πώληση των εμπορικών συστημάτων εκπομπής CO₂. Έχουν γίνει διάφορες έρευνες σε ψάρια, όπως μπακαλιάρο, σολομό, αλλά και σε κρέας ταράνδου ή κοτόπουλου. Το συμπέρασμα από τις έρευνες ήταν η διασφάλιση της μέγιστης εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, τη βελτίωση της χωρητικότητας του μαξιλαριού/φακελίσκου, κάτι που εξαρτάται από τις φυσιολογικές ιδιότητες, το βάρος και την επιφάνεια του κάθε τροφίμου. Μάλιστα, κυκλοφορούν ήδη στην αγορά διάφορες ενεργές συσκευασίες εκπομπής CO₂, με βάση το διττανθρακικό νάτριο και το κιτρικό οξύ, όπως τα Freshpads (CO₂ Technologies, Urbandale, Iowa, U.S.A.) (Kerry 2014), SuperFresh (Vartdal Plastindustri AS, Vartdal, Νορβηγία), και το μαξιλάρι Active CO₂ (CellComb AB, Säffle, Σουηδία). Το UltraZapR XtendaPak (Paper Pak

Industries, La Verne, Calif., U.S.A.), και το CO₂Pad (McAirlaid's GmbH, Steinfurt, Γερμανία) βασίζονται σε άλλα ενεργά συστατικά και συστήματα (Yildirim et al., 2017).

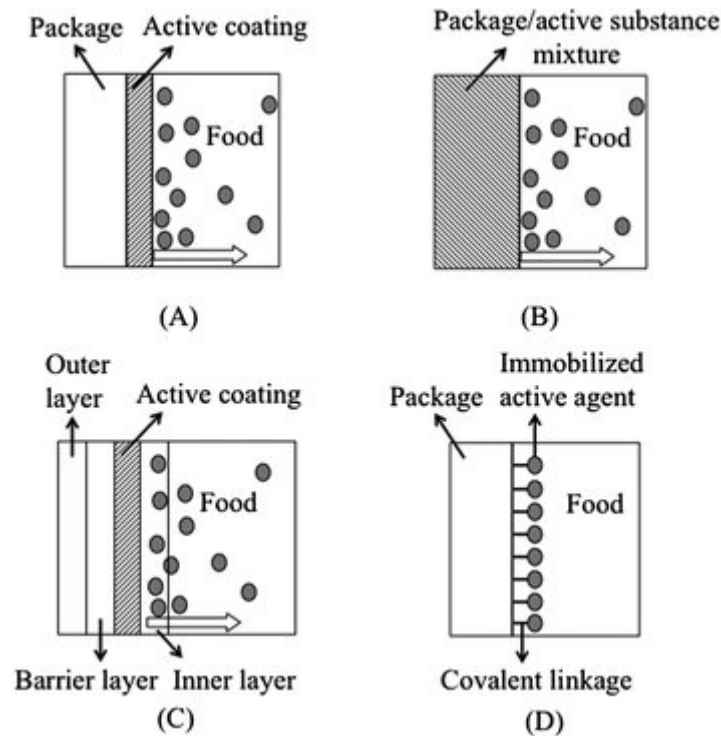
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΕΝΕΡΓΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Packaging Method with Emitter	Food Application	Quality Parameters	Benefit	Reference
MAP (70% CO ₂ , 30% N ₂) and vacuum	Cod	Microbial analysis, sensory analysis, drip loss, pH, trimethylamine (TMA) content	Extension of sensory shelf-life (from 7 to 11 d) and microbial shelf-life (vacuum + CO ₂ emitter: time for psychrophilic bacteria to reach log 6 CFU/g extended by 3 d), reduction in bacterial growth	Bjerkeng and others (1995)
MAP (60% CO ₂ , 40% O ₂)	Cod	Microbial analysis, drip loss, sensory analysis, pH	Maintenance of sensory and microbial shelf-life at lowered g/p ratio (g/p ratio 1.3/1.0 with CO ₂ emitter compared with 3.9/1.0 without CO ₂ emitter)	Hansen and others (2007)
	Salmon	Microbial analysis, drip loss, texture and sensory analysis, pH	Maintenance of sensory and microbial shelf-life at lowered g/p ratio (g/p ratio 1/1 with CO ₂ emitter compared with 3/1 without CO ₂ emitter)	Hansen and others (2009a)
MAP (60% CO ₂ , 40% N ₂) and vacuum	Cod	Microbial analysis, sensory analysis, drip loss	Improvement of initial freshness, extension of sensory and microbial shelf-life (Vacuum w/CO ₂ emitter: 2 d longer shelf-life, MAP w/CO ₂ emitter: 5 d longer shelf life).	Hansen and others (2016)
MAP (60% CO ₂ , 40% N ₂)	Reindeer meat	Microbial analysis, sensory analysis, pH, drip loss, antioxidant capacity, cooking loss	Reduction in drip loss (3.0 wt% in MAP packages without CO ₂ emitter, 1.0 wt% in MAP with CO ₂ emitter), reduction in bacterial growth (TVC at day 13 to 17: log 3 to 4 CFU/g with CO ₂ emitter, log 4 to 5 CFU/g without CO ₂ emitter)	Pettersen and others (2014)
MAP (100% CO ₂)	Chicken	Microbial analysis, pH, drip loss	Extension of sensory and microbial shelf-life; CO ₂ emitter facilitates packaging in 100% CO ₂ , reduction in drip loss (MAP 100 % CO ₂ : 7.5 wt% without CO ₂ emitter, 2.5 wt% with CO ₂ emitter)	Holck and others (2014)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (1), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

2.2.2.3 Συστήματα Αντιμικροβιακής Συσκευασίας

Η ενεργή συσκευασία με αντιμικροβιακές ιδιότητες, έχει ως στόχο την αναστολή της ανάπτυξης των αλλοιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών σε ένα τρόφιμο. Οι αντιμικροβιακές συσκευασίες τροφίμων περιέχουν κάποια δραστική ουσία/υλικό, το οποίο είτε βρίσκεται στη συσκευασία και μεταναστεύει στο τρόφιμο, είτε έρχεται απλώς σε επαφή με το τρόφιμο και δρα επιφανειακά (Yildirim et al., 2017 και Brody, 2001).



ΕΙΚΟΝΑ 17: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Η δραστική ουσία μπορεί να είναι κάποιο αιθέριο έλαιο, ένζυμο, βακτηριοσίνη, αντιμικροβιακά πολυμερή, αλκοόλες, οργανικά οξέα, τα παράγωγά τους και άλλες οργανικές ενώσεις, ιόντα μετάλλων (αργύρου, νιτρικό άλας αργύρου), διοξείδιο του θείου, του χλωρίου, άργυρος, εκχυλίσματα βοτάνων και μπαχαρικών, μυκητοκτόνα (όπως Imazalil, benomyl), συνθετικός ζεόλιθος και άλλα. Θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, στο κατά πόσο ασφαλή είναι για τον άνθρωπο, αν οι προηγούμενες ουσίες/υλικά προστεθούν σε μία συσκευασία τροφίμων (Yildirim et al., 2017 και Brody, 2001). Όσον αφορά τα αιθέρια έλαια έχουν αναγνωρισθεί ως «Γενικά Αναγνωρισμένα Ασφαλή Συστατικά» σύμφωνα με τον Οργανισμό Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ (FDA), ενώ τα ένζυμα θα πρέπει να συμμορφώνονται σύμφωνα με τον ΚΑΝΟΝΙΣΜΌ (ΕΚ) αριθ. 1332/2008.

Ξεκινώντας με τα αιθέρια έλαια, αξίζει να σημειωθεί πως είναι σημαντικά δευτερογενή μεταβολικά προϊόντα για ένα φυτό, καθώς το προστατεύουν. Η προστασία επιτυγχάνεται, διότι αποτελούν ισχυρό αντιμικροβιακό παράγοντα τόσο για το φυτό, όσο και για τη συσκευασία που περικλείει το τρόφιμο. Μάλιστα, τα περισσότερα να είναι GRAS (**G**enerally **R**ecognized **A**s **S**afe), δηλαδή σύμφωνα με τον FDA είναι ασφαλή για χρήση στα τρόφιμα. Το αιθέριο έλαιο κανέλας (κινναμαλδεΐδη) είναι ένα από τα πιο μελετημένα. Σύμφωνα με έρευνες (Gherardi et al., 2016) πολυστρωματικό υλικό που περιείχε 18% και 10%

κινναμαλδεΐδη μείωσε κατά 3 log CFU/ml τους μικροοργανισμούς *E.coli* O157:H7 και *S. cerevisiae* σε πουρέ τομάτας (Wen et al., 2016).

Η καρβακρόλη είναι ένα άλλο αιθέριο έλαιο, η κύρια πτητική ένωση της ρίγανης, επίσης με αντιμικροβιακή δράση. Αν και η συνεργιστική δράση διαφόρων αιθέριων ελαίων δεν έχει μελετηθεί αρκετά, υπάρχει μία μελέτη των Campos-Requena (2015) στην οποία η καρβακρόλη και η θυμόλη, ενσωματώθηκαν σε νανοσυνθετικό φιλμ HDPE/μοντμοριλλονίτη (αργιλικό ορυκτό). Το φιλμ αυτό χρησιμοποιήθηκε σε φράουλες, με έμμεση επαφή και η δράση των δύο αιθέριων ελαίων μείωσε τον πληθυσμό του μικροοργανισμού *Botrytis cinerea*. Ακόμη, οι Rodriguez-Garcia και άλλοι (2016) αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα της ρίγανης που εφαρμόζεται μέσα σε επικαλύψεις πηκτίνης για την αναστολή της *Alternaria alternata* σε τομάτες. Οι Ruiz-Navajas και άλλοι (2015) μελέτησαν τη χρήση δύο ειδών θυμαριού, *Thymus ripperella* και *Thymus moroderi*, σε μαγειρεμένο ζαμπόν, με το πρώτο να είναι πιο αποτελεσματικό, πιθανότατα εξαιτίας της μεγαλύτερης συγκέντρωσης σε καρβακρόλη. Οι Quesada και άλλοι (2016) προκειμένου να παρατείνουν το χρόνο ζωής του μαγειρεμένου, έτοιμο προς κατανάλωση χοιρινού κρέατος σε φέτες, δημιούργησαν ένα σύστημα ενεργής συσκευασίας. Αυτή η συσκευασία είχε μια εσωτερική επιφάνεια επικαλυμμένη με φιλμ χιτοζάνης με θυμάρι, η οποία δεν ερχόταν σε άμεση επαφή με τον κρέας, ώστε να μην τροποποιηθούν οι οργανοληπτικές ιδιότητές του. Σε άλλες μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία αιθέριο έλαιο φύλλων βασιλικού, το οποίο είχε ενσωματωθεί σε σύνθετες μεμβράνες από πρωτεΐνη ψαριού/ζελατίνη ψαριού (Arfat et al., 2015) σε φέτες λαβράκι. Επίσης, εκχυλίσματα των *Allium spp.* και η βανιλίνη, έχουν επίσης προταθεί ως βιοδραστικά αιθέρια έλαια με αντιμικροβιακή δράση (Yildirim et al., 2017).

Επομένως, τα αιθέρια έλαια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ενεργής συσκευασίας και να παρατείνουν το χρόνο ζωής των τροφίμων, ωστόσο θα πρέπει να ληφθούν πολλοί παράγοντες υπόψη. Μερικοί από αυτούς είναι το κατά πόσο η χρήση τους θα επηρεάσει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του κάθε προϊόντος, τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά και το κατά πόσο μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη σε βιομηχανικό επίπεδο. Επίσης, θα πρέπει να διερευνηθεί αν είναι απόλυτα ασφαλή για τον άνθρωπο και σε ποια ποσότητα (Yildirim et al., 2017).

ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΑ ΑΙΘΕΡΙΑ ΕΛΑΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active substances	Matrix/packaging application	Microorganisms tested	Food application	Benefit	Reference
Cinnamon essential oil cinnamaldehyde	Multilayer active material, various polymers	<i>E. coli</i> O157:H7, <i>S. cerevisiae</i>	Tomato puree	Prevention of microbial growth: High activity against <i>E. coli</i> O157:H7 and <i>S. cerevisiae</i> , with reduction of both microorganisms in 3 log CFU/mL.	Gherardi and others (2016)
Cinnamon essential oil / β -cyclodextrin inclusion complex	Polylactic acid nanofilm electrospinning	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>	Pork	Prolongation of shelf-life. MIC against both <i>E. coli</i> and <i>S. aureus</i> were approximate 1 mg/mL (corresponding CEO concentration 11.35 μ g/mL).	Wen and others (2016)
Cinnamaldehyde	Chitosan Reversible covalent immobilization	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> and in milk inoculated with <i>L. monocytogenes</i>	Milk	Extension of microbiological shelf-life: Depending on the different time/temperature treatments, inhibition of the growth of <i>L. monocytogenes</i> up to 12 d under refrigeration conditions without causing any rejection among potential consumers due to the cinnamon smell.	Higuera and others (2015)
Carvacrol and thymol	Clay/PE polymer nanocomposite	Gray mold (<i>Botrytis cinerea</i>)	Strawberry	Prevention of <i>Botrytis</i> , synergistic antimicrobial effect. K_{50} was reduced from 40.4 mg/g (carvacrol only) to 13.2 mg/g (carvacrol:thymol 50:50). Effective inhibition of <i>B. cinerea</i> with one third of the total essential oils concentration without significant organoleptic alteration.	Campos-Requena and others (2015)
Oregano (<i>Lippia graveolens</i>) essential oil	Pectin edible coatings	Fungi	Tomatoes	Prevention of fungal decay and increase in antioxidant capacity. <i>In vivo</i> inhibition of the growth of <i>Alternaria alternata</i> from concentration of 25.9 g/L. Higher total phenols and antioxidant activity in coated tomatoes.	Rodriguez-Garcia and others (2016)
<i>Thymus moroderi</i> and <i>Thymus piperella</i> essential oil	Chitosan	Aerobic mesophilic bacteria, lactic acid bacteria, yeasts	Cooked cured ham, ready-to-eat meat	Prevention of aerobic mesophilic bacteria growth and lactic acid bacteria growth (2.6 and 2.1 log reduction after 7 d, respectively). Reduction of yeast population, could be 2 log CFU/g depending on the composition of the film	Ruiz-Navajas and others (2013); Quesada and others (2016)
Basil leaf essential oil	Fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film	Psychrophilic bacteria, lactic acid bacteria, and spoilage microorganisms	Sea bass slices	Shelf-life extension (12 d as compared to the control 6 d) demonstrated by sensory evaluation	Arfat and others (2015)
Extract of <i>Allium</i> spp.	PLA	Aerobic bacteria, Fungi	Ready-to-eat salads under controlled atmospheres	Extension of microbiological shelf-life. Reduction of Enterobacteriaceae up to 7.7 log units, 6.5% concentration of active agent effective up to 5 d of storage for aerobic bacteria, and even 7 d for molds.	Llana-Ruiz-Cabello and others (2015)
Vanillin	Starfish gelatin films	Bacteria <i>L. monocytogenes</i>	Crab stick	Decrease in <i>L. monocytogenes</i> growth on crabsticks with 0.05% in vanillin in film	Lee and others (2016)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

Όσον αφορά τις βακτηριοσίνες, είναι πεπτιδία, που παράγονται από ορισμένα είδη οξυγαλακτικών βακτηρίων και δρουν ενάντια σε διάφορους μικροοργανισμούς, όπως *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes* και κυρίως εναντίον Gram θετικών βακτηρίων. Η πιο γνωστή βακτηριοσίνη, είναι η νισίνη (E234), η οποία παράγεται από το οξυγαλακτικό βακτήριο *Lactococcus lactis subsp lactis* και μάλιστα έχει αναγνωριστεί ως GRAS, δηλαδή ασφαλές βιολογικό συντηρητικό τροφίμων από την Επιτροπή για τα Συντηρητικά των Τροφίμων του FAO/WHO και από το FDA. Η νισίνη έχει ενσωματωθεί με επιτυχία σε επικαλύψεις μεθυλοκυτταρίνης/ υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνης (Franklin et al., 2004), σε φιλμ PE (Siragusa et al., 1999), σε φιλμ LDPE (Mauriello et al., 2005 και Neetoo et al., 2008) και χαρτόνι (Lee et al., 2004). Η νισίνη, χρησιμοποιήθηκε σε ενεργά συστήματα συσκευασίας, τα οποία περιείχαν hot dog, βοδινό κρέας, γάλα, σολομό και χυμό πορτοκαλιού. Άλλες βακτηριοσίνες, που έχουν μελετηθεί και ενσωματωθεί σε βιοπολυμερή ή έχουν χρησιμοποιηθεί στην επιφάνεια κάποιου φιλμ είναι η εντεροσίνη (enterocin), η ναταμυκίνη (natamycin) (E235, παράγεται από το *Streptomyces natalensis*), η λακτικίνη (lactocin) και η πεδιοκίνη (pediocin). Σήμερα, μόνο η νισίνη και η ναταμυκίνη έχουν εγκριθεί για χρήση ως πρόσθετα τροφίμων σε Ηνωμένες Πολιτείες και ΕΕ. Για τις υπόλοιπες, θα πρέπει

να διερευνηθεί περισσότερο, η καταλληλότητα των βακτηριοσινών και η προσθήκη τους στα τρόφιμα (Yildirim et al., 2017).

Πέρα από τις βακτηριοσίνες, και τα ένζυμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντιμικροβιακά σε μία ενεργή συσκευασία τροφίμων, είτε χημικά συνδεδεμένα είτε φυσικά εγκλωβισμένα στη συσκευασία. Ένα τέτοιο ένζυμο είναι η λυσοζύμη, η οποία υδρολύει τον 1,4-β-δεσμό μεταξύ του N-ακετυλομουραμικού οξέως και του κατάλοιπου N-ακέτυλο-D-γλυκοσαμίνης στην πεπτιδογλυκάνη, η οποία είναι το κύριο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των θετικών κατά Gram βακτηρίων. Η λυσοζύμη είναι αποδεκτή από τον FDA (2001) ως αντιμικροβιακός παράγοντας σε περιβλήματα και στην Ευρώπη η χρήση της λυσοζύμης (E1105) εμπίπτει στο πλαίσιο της Οδηγίας 95/2/ΕΚ για τα πρόσθετα τροφίμων (Ευρωπαϊκή Ένωση, 1995) (Yildirim et al., 2017). Επίσης, η οξειδάση της γλυκόζης, η οποία σχηματίζει υπεροξείδιο του υδρογόνου, αποτελεί και αυτή ένα ισχυρό αντιμικροβιακό ένζυμο (Brody, 2001).

ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΤΙΣ ΒΑΚΤΗΡΙΣΥΝΕΣ -ΕΝΖΥΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active substances	Matrix/packaging application	Microorganisms tested	Food application	Benefit	Reference
Enzymes					
Lysozyme	Whey protein isolate (WPI) film	<i>L. monocytogenes</i>	Smoked salmon	Inhibition of bacterial growth, extension of the shelf-life	Min and others (2005)
Lysozyme Lactoferrin	Lysozyme and lactoferrin incorporated into paper sheets	Total aerobic bacteria	Ready-to-eat thin-cut veal meat	Prevention of growth of microbiota	Barbiroli and others (2012)
Bacteriocins					
Nisin	Polyethylene (PE) film	<i>B. thermosphacta</i>	Beef carcass surface tissue	Inhibition of bacterial growth	Siragusa and others (1999)
	Coating on low-density polyethylene (LDPE) film	Microbiota, <i>M. luteus</i>	Milk: raw, pasteurized, UHT	Retardation of microbial growth	Mauriello and others (2005)
	Coating on LDPE film	<i>L. monocytogenes</i>	Cold-smoked salmon	Inhibition of bacterial growth	Neetoo and others (2008)
	Nisin incorporated into methylcellulose/hydroxypropyl methylcellulose coating on packaging films	<i>L. monocytogenes</i>	Hot dogs	Decrease of bacterial population	Franklin and others (2004)
	Nisin-coated paperboard	Total aerobic bacteria, Yeast	Pasteurized milk Orange juice	Improvement of microbial stability of milk and orange juice at 3 and 10°C	Lee and others (2004)
Nisin/EDTA	Nisin or nisin/EDTA incorporated into PE or PE/polyethylene oxide films	<i>B. thermosphacta</i>	Beef	Reduction of bacteria on beef surface	Cutter and others (2001)
	Nisin/EDTA immobilized on the surface of the cellulose nanocrystal/chitosan nanocomposite films	Psychotropic bacteria, Mesophilic bacteria, <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i>	Boneless pork loin meat	Inhibition of bacterial growth, extension of the shelf-life by more than 5 wk	Khan and others (2016)
Nisin/citric acid/EDTA	Coating on polymeric films (polyvinyl chloride, nylon, linear LDPE)	<i>S. typhimurium</i>	Fresh broiler drumsticks	Inhibition of bacterial growth, extension of refrigerated shelf-life by 0.6 to 2.2 d	Natrajan and Sheldon (2000)
Nisin/lactacin	Bacteriocin and polyamide coating on LDPE	Total aerobic bacteria, Coliform bacteria	Fresh oysters Ground beef	Retardation of microbial growth, extension of the shelf-life	Kim and others (2002)
Nisin/enterocins/sakacin/potassium lactate	Active substances incorporated into interleaves	<i>Salmonella</i> spp.	Cooked ham	Reduction in bacteria counts	Jofré and others (2008)
Nisin/enterocins/sakacin/potassium lactate	Active substances incorporated into interleaves	<i>L. monocytogenes</i>	Cooked ham	Inhibition of bacterial growth	Jofré and others (2007)
Enterocins	Alginate, zein, and polyvinyl alcohol films	<i>L. monocytogenes</i>	Cooked ham	Delay and reduction of bacterial growth	Marcos and others (2007)
Natamycin	Natamycin incorporated into cellulose polymeric films and laminated films	<i>P. roqueforti</i>	Gorgonzola cheese	Fungus inhibition, conservation of product	de Oliveira and others (2007)
Lactocins	Lactocin-coated films: synthetic polymer multilayer films, and wheat gluten-based films	<i>L. plantarum</i> , <i>L. innocua</i>	Wieners	Inhibition of bacterial growth	Massani and others (2014)
Pediocin	Pediocin incorporated into cellulose acetate film	<i>L. innocua</i> , <i>Salmonella</i> spp.	Sliced ham	Inhibition of bacterial growth	Santiago-Silva and others (2009)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

Υπάρχουν πολυμερή, με κύριο τη χιτοζάνη, που έχουν από μόνα τους αντιμικροβιακές ιδιότητες. Έχει αποδειχθεί από διάφορες έρευνες ότι παρουσιάζει αντιμικροβιακή και αντιμυκητιακή δράση, ενώ έχει συνδυαστεί με βιοπολυμερή, όπως καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή με συνθετικά πολυμερή, όπως LDPE και έχει αποτελέσει μεμβράνη επικάλυψης πλαστικών φιλμ. Έχει δράσει αποτελεσματικά στην ανεπιθύμητη μικροχλωρίδα σε φρέσκα κομμένα κόκκινα κρέατα, σε μαλακό λευκό τυρί, σε στήθος γαλοπούλας, ή σε φιλέτα κοτόπουλου. Αξίζει να σημειωθεί ο συνδυασμός της χιτοζάνης με νισίνη, σορβικό κάλιο και συνθετικό ζεόλιθο (μικροπορώδες αργιλοπυριτικό ορυκτό) ενσωματωμένο σε LDPE με σκοπό τη μείωση του πληθυσμού των αερόβιων μεσόφιλων βακτηρίων σε sticks κοτόπουλου (Soysal et al., 2015). Πρέπει να σημειωθεί ότι η χιτοζάνη θεωρείται GRAS, σύμφωνα με το FDA των ΗΠΑ (FDA 2002, 2005, 2011) για γεωργικούς και φαρμακευτικούς σκοπούς, αλλά δεν έχει εγκριθεί, ακόμη, ως αντιμικροβιακό πρόσθετο τροφίμων (Yildirim et al., 2017).

ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ – ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΑ ΦΙΛΜ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Active Substances	Matrix / Packaging Application	Microorganisms Tested	Food Application	Benefit	Reference
<i>ε</i> -Polylysine	<i>ε</i> -Polylysine and/or sodium lactate incorporated in sorbitol-plasticized WPI films	Total bacteria, lactic acid bacteria	Fresh beef	Reduction of total flora, complete inhibition of lactic acid bacteria growth, extension of shelf-life	Zinoviadou and others (2010)
Chitosan	Chitosan-incorporated LDPE film	<i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. enteritidis</i>	Fresh beef (eye round roast)	Extension of red color shelf-life	Park and others (2010)
	Chitosan, carboxymethyl cellulose and zinc oxide nanoparticles film	<i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i> , <i>C. albicans</i>	Egyptian soft white cheese	Antibacterial and antifungal activity, extension of shelf-life	Youssef and others (2016)
	Chitosan-coated ethylene copolymer film	<i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i>	Beef and chicken meat exudates Turkey breast	Reduction in colony-forming units	Joerger and others (2009)
Chitosan/lauric arginate ester Chitosan/sodium lactate Chitosan/sorbic acid Chitosan/sodium lactate/sorbic acid Chitosan/lauric arginate ester/sodium lactate/sorbic acid	Coatings on PLA film	<i>L. innocua</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. typhimurium</i>	Ready-to-eat meat (sliced turkey)	Reduction of <i>S. typhimurium</i> (undetectable level), reduction of <i>L. innocua</i> and <i>L. monocytogenes</i> , extension of shelf-life to 5 wk	Guo and others (2014)
Chitosan/nisin Chitosan/sodium lactate Chitosan/sodium acetate Chitosan/potassium sorbate Chitosan/sodium benzoate	Coatings on plastic film	<i>L. monocytogenes</i>	Ham steaks	Inhibition of bacterial growth on ham steaks for 12 wk	Ye and others (2008a)
			Cold-smoked salmon	Inhibition of bacterial growth on smoked salmon for at least 6 wk	Ye and others (2008b)
Chitosan/nisin, potassium sorbate/silver substituted zeolite	Antimicrobial agents incorporated into LDPE	Total aerobic mesophilic bacteria	Chicken drumsticks	Lower microbial counts and thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) values in the samples	Soysal and others (2015)
Chitosan/ethyl-N ^o -dodecanoyl-L-arginate	Chitosan/glycerol films	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> , <i>L. monocytogenes</i> , <i>S. enterica</i> , <i>P. putida</i> , <i>C. utilis</i> , <i>S. cerevisiae</i> var. <i>ellipsoideus</i> , <i>C. pinus</i> , <i>A. niger</i> , <i>P. chrysogenum</i> , <i>C. cladosporioides</i>	Chicken breast fillet	Inhibition of bacterial growth	Higuera and others (2013)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITE, RAMUNE; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

Οργανικά οξέα, τα παράγωγά τους και άλλες οργανικές ενώσεις έχουν προταθεί και δοκιμασθεί για τις αντιμικροβιακές τους ιδιότητες. Τέτοια είναι το κιτρικό οξύ, το σορβικό οξύ, σορβικό κάλιο, μεταδιθειώδες κάλιο, οξειδωμένη αναγεννημένη κυτταρίνη και το

ισοθειοκυανικό αλλύλιο (AITC). Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης αντιμικροβιακών ουσιών σε βρώσιμο φιλμ ή βρώσιμη επικάλυψη, όπως του βενζοϊκού, προπιονικού, σορβικού, γαλακτικού οξέος, της νισίνης και λυσοζύμης. Επιπλέον, μία αέρια αντιμικροβιακή ουσία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το διοξείδιο του χλωρίου (ClO₂). Αυτό το σύστημα περιέχει χλωριώδες νάτριο και ανυδρίτη ένα οξύ διάσπαρτα σε μια μεμβράνη LDPE και παραφίνης. Όταν αναπτύσσεται υγρασία στο εσωτερικό της συσκευασίας, αντιδρά με τον ανυδρίτη και παράγεται οξύ. Το οξύ εισέρχεται στη μεμβράνη και αντιδρά με το χλωριώδες νάτριο και παράγεται το διοξείδιο του χλωρίου. Η χρήση του έχει επιτραπεί από τον FDA στις ΗΠΑ ΤΟ 2001, σε πουλερικά και ιχθυρά, αλλά όχι στην Ευρώπη. Ακόμη, ο άργυρος χρησιμοποιείται πολλά χρόνια ως αντιμικροβιακή ουσία σε τρόφιμα και ποτά, διότι είναι τοξικός για πολλά στελέχη βακτηρίων, μυκήτων, ζυμών, φυκών και ορισμένων ιών. Αυτό συμβαίνει, διότι τα ιόντα αργύρου αντιδρούν με τις πρωτεΐνες, μπορούν να αντιδράσουν με διαφορετικά ένζυμα/ πρωτεΐνες μετά την ενσωμάτωσή τους στα μικροβιακά κύτταρα και έτσι να αναστέλλουν μεταβολικές διαδικασίες, που είναι απαραίτητες για τη διατήρηση της ζωής τους (Παπαδάκης, 2018).

ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΝΕΡΓΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΟΞΕΑ, ΤΑ ΠΑΡΑΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΛΛΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΟΞΕΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΡΟΦΙΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

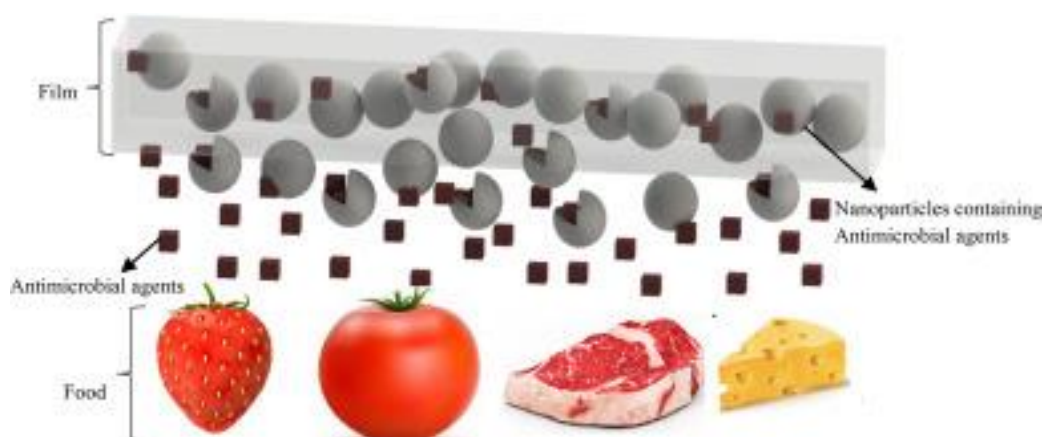
Active substances	Matrix/packaging application	Microorganisms tested	Food application	Benefit	Reference
Citric acid	Cornstarch/LLDPE film	Total bacteria	Minced beef	Reduction in bacterial growth compared with control samples (1 log CFU/g) after 10 d	Vargas Júnior and others (2015)
Sorbic acid and alga extract (<i>Fucus spiralis</i>)	PLA film	total aerobic bacteria, psychotrophic bacteria, Enterobacteriaceae	Megrin	Reduction in growth of psychotrophic bacteria (0.9 log CFU/g) compared with control samples, after 7 d. Better sensory properties (external odor, gill appearance, and flesh taste: acceptable after 11 d)	García-Soto and others (2015)
Sorbic acid	PVDC film	<i>L. monocytogenes</i> , total aerobic mesophilic and lactic acid bacteria	Beef bologna slices, cheddar cheese	Prevention of bacterial growth in beef bologna: <i>L. monocytogenes</i> up to 6.5 and 7.2 log lower with 1.5 and 3% sorbic acid films, respectively; and for LAB and mesophiles 4 to 6 log lower (28 d at 4 °C)	Limjaroen and others (2005)
Potassium sorbate	Thermoplastic starch/PBAT film	Total aerobic bacteria, total coliforms, <i>E. Coli</i> , <i>S. spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i>	Restructured chicken steaks (low sodium content)	Reduction in initial <i>E. coli</i> counts (1.94 log CFU/g) to below detection limit throughout frozen storage (150 d).	Cestari and others (2015)
Potassium sorbate and/or sodium lactate	NaCl-brine before smoking and packaging in HDPE film	Total aerobic mesophilic bacteria, yeast and molds	Smoked rainbow trout filets	Extension of shelf life up to 4 wk at 6 °C. Decrease in mesophiles (1.7 to 3 log CFU/g lower), yeast and mold growth	Kaya and others (2015)
Potassium metabisulfite (mixture pure and encapsulated)	PVC film	Total aerobic bacteria, <i>Salmonella spp.</i> , thermotolerant coliforms	Minimally processed cut-apples	Antimicrobial and antibrowning effect. Extension of shelf life from 4 to 8 d at 8 °C. BI rated 50% to 60% compared to control (90%). TVC kept under 10 ⁶ CFU/g for 20 d at 4 °C and 12 d at 8 and 12 °C.	Foralosso and others (2014)
Oxidized regenerated cellulose	PCL film	<i>L. monocytogenes</i>	Sliced salami	Decrease in 50% for <i>Listeria monocytogenes</i> growth (from 8 log CFU/g) in 14 d at 4 °C	Sezer and others (2016)
Allyl isothiocyanate	Vapor phase in MAP	<i>P. aeruginosa</i>	Catfish filets	Shelf life extension from 4 to 23 d in combination with MAP at 8 °C; inhibition of <i>P. aeruginosa</i> growth (< 10 ⁴ CFU/g) during 23 d	Pang and others (2013)

Πηγή: YILDIRIM, SELÇUK; RÖCKER, BETTINA; PETTERSEN, MARIT KVALVÅG; NILSEN-NYGAARD, JULIE; AYHAN, ZEHRA; RUTKAITĖ, RAMUNĖ; RADUSIN, TANJA; SUMINSKA, PATRYCJA; MARCOS, BEGONYA; COMA, VÉRONIQUE (2017). ACTIVE PACKAGING APPLICATIONS FOR FOOD. COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY, (), -. DOI:10.1111/1541-4337.123

Έχουν παραχθεί μάλιστα νανοσωματίδια αργύρου, με μεγάλη αντιμικροβιακή δράση, ενώ μπορεί να αντικατασταθούν με TiO₂, το οποίο βέβαια, για να λειτουργήσει αντιμικροβιακά, θα πρέπει να ακτινοβοληθεί με UV. Τέλος, στην Ιαπωνία έχει παραχθεί

συνθετικός ζεόλιθος, ο οποίος έχει κρυσταλλική μορφή και περιέχει ιόντα νατρίου, τα οποία μπορούν να αντικατασταθούν με άλλα μεταλλικά ιόντα, όπως με αυτά του αργύρου. Ο ζεόλιθος επιστρώνεται με εξώθηση στην επιφάνεια της πλαστικής μεμβράνης, που θα έρθει σε επαφή με το τρόφιμο. Έτσι απελευθερώνεται μικρή ποσότητα ιόντων αργύρου. Είναι χρήσιμα σε προϊόντα όπως το νερό και το τσάι, χαμηλά δηλαδή σε πρωτεΐνες, με τις οποίες αντιδρά (Παπαδάκης, 2018).

Στις ΗΠΑ έχουν εφαρμογή σε διάφορα είδη χαρτιών, αλλά στην ΕΕ απαγορεύεται η προσθήκη ζεόλιθων αργύρου σε υλικά και αντικείμενα, που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Επομένως, μπορεί κάποιες ιδέες να είναι πρωτότυπες και να λειτουργούν πειραματικά, ωστόσο θα πρέπει αν δοθεί μεγάλη προσοχή, ώστε οι αντιμικροβιακές ενεργές συσκευασίες να περιέχουν ουσίες ασφαλείς, όχι τοξικές για τον άνθρωπο και να μεταναστεύουν από το υλικό με χαμηλό ρυθμό. (Brody, 2001 και Παπαδάκης 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 18: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΣΕ ΜΙΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΤΡΟΦΙΜΟΥ

Κεφάλαιο 3. Ενεργή συσκευασία σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά

3.1 Νομοθεσία για τα τρόφιμα

Ευρωπαϊκοί Κανονισμοί

Η Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα έθεσε τα θεμέλια για τη δημιουργία μίας κοινής αγοράς, η οποία βασίζεται στην ελεύθερη κυκλοφορία αγαθών, προσώπων, υπηρεσιών και κεφαλαίων. Με τη σειρά της η ελεύθερη κυκλοφορία αγαθών συντέλεσε στην ανάγκη εναρμόνισης της νομοθεσίας των τροφίμων εντός της Κοινότητας και στην ψήφιση κανονισμών για τον έλεγχο των τροφίμων και των ζωοτροφών. Η ανάγκη αυτή πυροδοτήθηκε το 1992, όπου στο Ηνωμένο Βασίλειο καταγράφονταν πάνω 1.000 περιστατικά εβδομαδιαίως κρουσμάτων Σπογγώδους Εγκεφαλοπάθειας των Βοοειδών γνωστή και ως “Νόσος των Τρελών Αγελάδων”. Ο κλονισμός της εμπιστοσύνης της κοινής γνώμης απέναντι στην ασφάλεια των τροφίμων και ειδικότερα η απαξίωση στους θεσμούς που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ασφάλειας τροφίμων, οδήγησε την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στην έναρξη διαβουλεύσεων για τη θέσπιση ενός ενωσιακού νομοθετικού πλαισίου που διέπει την βιομηχανία των τροφίμων με κύριο στόχο την προστασία της δημόσιας υγείας. Σημαντικά γεγονότα στα πλαίσια των διαβουλεύσεων που προηγήθηκαν των Ευρωπαϊκών Κανονισμών:

1997 - Η Πράσινη Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής αποτελεί το έναυσμα για την έναρξη της Δημόσιας Διαβούλευσης περί των ισχυουσών νομοθετικών διατάξεων σε εθνικό και ενωσιακό επίπεδο στον τομέα των τροφίμων και της αστικής ευθύνης των παραγωγών.

1999 – Το Λευκό βιβλίο της Ευρωπαϊκής επιτροπής για την ασφάλεια των τροφίμων έχει στόχο να καταστεί η νομοθεσία στον τομέα τροφίμων περισσότερο συνεκτική και κατανοητή ώστε να εφαρμοστεί με μεγαλύτερη διαφάνεια από τα κράτη μέλη. Με αυτό τον τρόπο θα ήταν δυνατόν να εξασφαλιστεί ένα υψηλό επίπεδο ασφάλειας για τα τρόφιμα μέσα από την βελτίωση των κανόνων ποιότητας και την ενίσχυση των συστημάτων ελέγχου σε ολόκληρη της τροφική αλυσίδα, από την αγροτική εκμετάλλευση έως των καταναλωτή.

Τα παραπάνω συντέλεσαν στην ψήφιση από την ΕΕ νέων κανονισμών για τον έλεγχο των τροφίμων και των ζωοτροφών καθώς και των προϊόντων που έρχονται σε επαφή με αυτά:

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 178/2002

Το 2002, ο γενικός Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 178/2002 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 28ης Ιανουαρίου 2002 καθόρισε τις γενικές αρχές και απαιτήσεις της νομοθεσίας για την ασφάλεια των τροφίμων και προέβλεψε την ίδρυση της Ευρωπαϊκής

Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) και των διαδικασιών σε θέματα ασφαλείας των τροφίμων (General Food Law). Ο Κανονισμός 178/2002 υπήρξε η πρώτη συντονισμένη προσπάθεια εκ μέρους της Ε.Ε. επί της ασφάλειας τροφίμων, σε όλα τα στάδια της παραγωγής, μεταποίησης και διανομής των τροφίμων και των ζωοτροφών, γνωστό με την ονομασία “από το χωράφι ως το πιρούνι”. Θεωρείται το “Σύνταγμα” της βιομηχανίας τροφίμων.

Σημαντικά Άρθρα του κανονισμού αναφέρονται ακολούθως:

Στο Άρθρο 6 γίνεται αναφορά στην Ανάλυση Κινδύνου (Risk Analysis – RA) και ειδικότερα αναφέρεται ότι η αξιολόγηση του κινδύνου βασίζεται στα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία και διεξάγεται με τρόπο ανεξάρτητο, αντικειμενικό και διαφανή, ενώ η διαχείριση κινδύνου λαμβάνει υπόψη τα αποτελέσματα της εν λόγω αξιολόγησης και ιδίως τις γνώμες της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων.

Στο Άρθρο 7 γίνεται εισαγωγή του όρου Αρχή της προφύλαξης. Συγκεκριμένα, προβλέπεται πως σε ειδικές περιπτώσεις, κατά τις οποίες εντοπίζεται πιθανότητα βλαβερών επιπτώσεων στην υγεία αλλά εξακολουθεί να υπάρχει επιστημονική αβεβαιότητα, μπορούν να ληφθούν τα προσωρινά μέτρα διαχείρισης του κινδύνου που είναι αναγκαία για την εξασφάλιση του υψηλού επιπέδου προστασίας της υγείας που έχει επιλεγεί στην Κοινότητα, μέχρι να υπάρξουν περαιτέρω επιστημονικές πληροφορίες για μια πιο εμπειριστατωμένη αξιολόγηση του κινδύνου.

Στο Άρθρο 14 προβλέπεται ως βασική απαίτηση της ασφάλειας των τροφίμων, τα μη ασφαλή τρόφιμα να μη διατίθενται στην αγορά).

Στο Άρθρο 17 αναφέρεται ότι αποτελεί υποχρέωση των υπεύθυνων επιχειρήσεων τροφίμων και ζωοτροφών να εξασφαλίζουν, πως τα τρόφιμα ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του νομοθετικού πλαισίου και ο ρόλος των κρατών μελών είναι να παρακολουθούν και να επαληθεύουν τα παραπάνω μέσω επίσημων ελέγχων.

Στο Άρθρο 22 σημειώνεται πως με τον παρόντα κανονισμό ιδρύεται η Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων, εφεξής καλούμενη η “Αρχή” η οποία παρέχει επιστημονικές συμβουλές, συμβάλλει σε υψηλό επίπεδο προστασίας της ζωής και της υγείας του ανθρώπου και συλλέγει και αναλύει δεδομένα.

Στο Άρθρο 50 αναλύεται το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης για την κοινοποίηση άμεσων ή έμμεσων κινδύνων για την υγεία των ανθρώπων και των ζώων που προέρχονται από τρόφιμα ή ζωοτροφές. Σε αυτό συμμετέχουν τα κράτη μέλη, η Επιτροπή και η “Αρχή” ενώ στο Άρθρο 53 αναλύονται τα μέτρα έκτακτης ανάγκης για τρόφιμα και ζωοτροφές που προέρχονται από την Κοινότητα ή εισάγονται από τρίτη χώρα.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1935/2004

Στο πλαίσιο του Κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου της 27ης Οκτωβρίου 2004 που είναι σε ισχύ, μετά και από την κατάργηση των οδηγιών 80/590/ΕΟΚ και 89/109/ΕΟΚ, θεσπίστηκαν γενικές αρχές για τα υλικά και αντικείμενα, που έρχονται σε επαφή άμεσα ή έμμεσα με τα τρόφιμα.

Η βασική αρχή που διέπει τον παρόντα κανονισμό είναι ότι κάθε υλικό ή αντικείμενο που προορίζεται να έρθει σε επαφή με τρόφιμα πρέπει να είναι επαρκώς αδρανές, ώστε να αποκλείεται η μεταφορά ουσιών στα τρόφιμα σε τέτοιες ποσότητες που θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία ή επιφέρουν απαράδεκτες τροποποιήσεις στη σύσταση των τροφίμων ή αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους.

Επιπλέον, ο παρόν κανονισμός προσέφερε, για πρώτη φορά, την ευκαιρία στην “ενεργό” συσκευασία να χρησιμοποιηθεί στην Ευρώπη, επιτρέποντας την εφαρμογή υλικών τα οποία φέρουν παράγοντες προσμίξεων που θα μπορούσαν να μεταναστεύσουν στο τρόφιμο. Ο συγκεκριμένος κανονισμός όρισε τα ενεργά υλικά και αντικείμενα (active materials and articles) ως εκείνα που προορίζονται να παρατείνουν τον χρόνο ζωής ή να διατηρήσουν ή να βελτιώσουν τις συνθήκες του συσκευασμένου τροφίμου.

Σημαντικά Άρθρα του κανονισμού αναφέρονται ακολούθως:

Βάσει των όσων αναφέρονται στο Άρθρο 4 για τα υλικά που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα, δεν απαγορεύεται η μετανάστευση συστατικών ή ουσιών του υλικού στο τρόφιμο. Με άλλα λόγια, εάν υπάρχει μετανάστευση ουσιών, αυτές δεν πρέπει, να βλάπτουν τον καταναλωτή, να αλλάζουν τη σύνθεση των τροφίμων ή να αλλάζουν τη γεύση. Αν η συγκέντρωση τους στο τρόφιμο, βρίσκεται εντός των επιτρεπτών ορίων και κατά συνέπεια δεν προκύπτει κάτι από τα παραπάνω, τότε το υλικό συσκευασίας συνεχίζει, να συμμορφώνεται με το συγκεκριμένο κανονιστικό πλαίσιο σύμφωνα με τις συνθήκες που καθορίζει το Άρθρο 3 του παρόντος Κανονισμού.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 2023/2006

Σε μία προσπάθεια εναρμόνισης σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή Ένωση και στους διάφορους τομείς της βιομηχανίας για την εφαρμογή κανόνων ορθής πρακτικής παραγωγής (ΟΠΠ) υλικών και αντικειμένων που προορίζονται να έλθουν σε επαφή με τρόφιμα, θεσπίστηκε ο Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 2023/2006 της επιτροπής της 22ας Δεκεμβρίου 2006. Βάσει του παρόντος Κανονισμού ελέγχονται και οι προδιαγραφές των υλικών (π.χ. εκτυπωμένα μελάνια) που χρησιμοποιούνται ή/και εφαρμόζονται στην πλευρά που δεν έρχεται σε επαφή με τα τρόφιμα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην μεταφέρονται στην πλευρά που έρχεται σε

επαφή με τα τρόφιμα. Τα επίπεδα των υλικών αυτών στα τρόφιμα χρειάζεται να είναι σύμφωνα με τις απαιτήσεις του άρθρου 3 του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004.

Σύμφωνα με αυτόν τον Κανονισμό, ο παραγωγός ή ο έμπορος οφείλει τόσο να διασφαλίζει όσο και να τεκμηριώνει την καταλληλότητα των υλικών και αντικειμένων που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα αντιμετωπίζοντας τους εξής πιθανούς κινδύνους:

Α' ύλες: Η εφαρμογή ξεκινά από την επιλογή των κατάλληλων πρώτων υλών, για τις οποίες πρέπει να καθοριστούν οι προδιαγραφές, που εξασφαλίζουν την παραγωγή ενός ασφαλούς τελικού προϊόντος (π.χ. προμήθεια των MSDS -Material Safety Data Sheet ασφαλείας των χημικών).

Παραγωγική Διαδικασία: Η παραγωγική διαδικασία πρέπει να είναι προκαθορισμένη και οι συνθήκες / παράμετροι σε όλα τα στάδια της παραγωγής συγκεκριμενοποιημένες, ώστε να εξασφαλίζεται, ότι δεν καθιστούν το τελικό υλικό, ακατάλληλο για επαφή με τρόφιμα.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 450/2009

Το 2009, ο Κανονισμός (ΕΚ) 450/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης εξειδικεύοντας τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 καθορίζει τους ειδικούς κανόνες για τα ενεργά και νοήμονα υλικά και αντικείμενα. Στο Άρθρο 3 του παρόντος κανονισμού δίνονται οι σχετικοί ορισμοί. Ειδικότερα, ως ενεργά και έξυπνα ορίζεται τα υλικά και τα αντικείμενα εκείνα που προορίζονται να παρατείνουν τη διάρκεια ζωής ή να διατηρήσουν ή να βελτιώσουν την κατάσταση του συσκευασμένου τροφίμου και είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε σκοπίμως, να περιέχουν συστατικά τα οποία αποδεσμεύουν ή απορροφούν ουσίες από τα συσκευασμένα τρόφιμα ή το περιβάλλον τους.

Όπως αναφέρεται και στον Κανονισμό, υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη ενεργών και έξυπνων υλικών και αντικειμένων. Οι ουσίες που είναι υπεύθυνες για την ενεργό και/ή έξυπνη λειτουργία είναι δυνατόν να περιέχονται σε χωριστό περιέκτη, π.χ. σε μικρό χάρτινο φάκελο, ή να έχουν ενσωματωθεί στο υλικό συσκευασίας, π.χ. ενσωμάτωση στο πλαστικό μιας πλαστικής φιάλης και πρέπει να αξιολογούνται σύμφωνα με τον παρόντα κανονισμό. Τα παθητικά μέρη, όπως ο περιέκτης, η συσκευασία μέσα στην οποία βρίσκεται αυτός ο περιέκτης και το υλικό συσκευασίας, στα οποία έχει ενσωματωθεί η ουσία, καλύπτονται από τις ειδικές κοινοτικές ή εθνικές διατάξεις που ισχύουν για τα συγκεκριμένα υλικά και αντικείμενα

Ο ρόλος της "Αρχής" είναι να εκτιμήσει, κατόπιν υποβολής έγκυρης αίτησης, σύμφωνα με τα άρθρα 9 και 10 του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004, την ασφάλεια μιας ουσίας ή ενός

συνδυασμού ουσιών και επικεντρώνεται σε τρεις κινδύνους που σχετίζονται με τη διατροφική έκθεση των χημικών ουσιών:

- 1 τη μετανάστευση ενεργών ή έξυπνων ουσιών,
- 2 τη μετανάστευση των προϊόντων υποβάθμισης ή / και
- 3 την αντίδραση τους και τις τοξικολογικές τους ιδιότητες.

Ο κίνδυνος της μετανάστευσης ορισμένων χημικών ουσιών από το υλικό συσκευασίας στο τρόφιμο είναι πολλές φορές αρκετά αυξημένος και γι' αυτό το λόγο θα πρέπει οι προδιαγραφές του υλικού να επιλέγονται λαμβάνοντας υπόψη τόσο το ίδιο το τρόφιμο που θα συσκευαστεί όσο και τους εξωτερικούς παράγοντες αποθήκευσης όπως για π.χ. θερμοκρασία, φως κ.ο.κ.

Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 10/2011

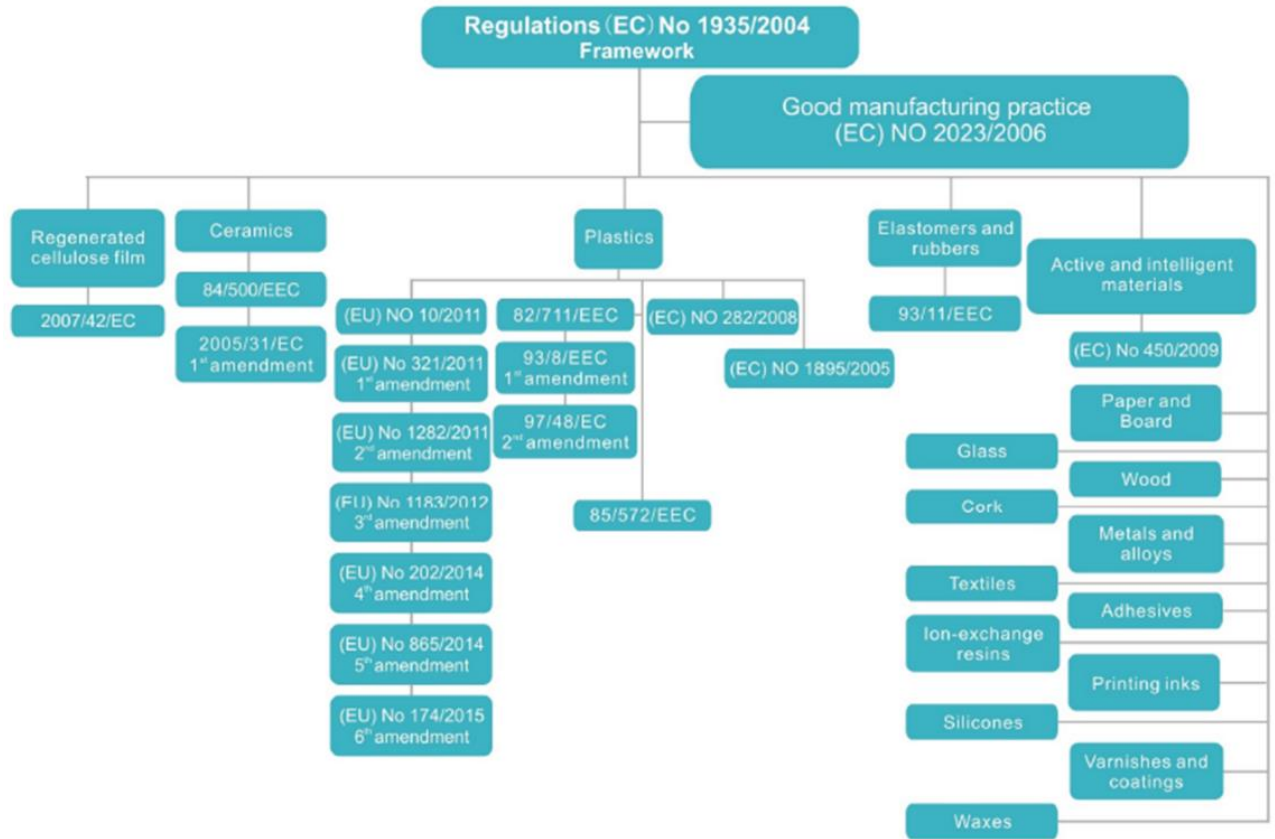
Στο πλαίσιο του Κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 10/2011 της Επιτροπής της 14ης Ιανουαρίου 2011, καθορίστηκαν ειδικοί κανόνες για τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα, μετά την κατάργηση της οδηγίας 2002/72/ΕΚ.

Σημαντικά Άρθρα του κανονισμού αναφέρονται ακολούθως:

Στο Άρθρο 11 αναφέρονται τα όρια ειδικής μετανάστευσης, όπου τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα δεν μεταβιβάζουν τα συστατικά τους στα τρόφιμα σε ποσότητες που υπερβαίνουν τα όρια ειδικής μετανάστευσης που καθορίζονται στο παράρτημα Ι του παρόντος κανονισμού. Τα εν λόγω όρια ειδικής μετανάστευσης εκφράζονται σε mg ουσίας ανά kg τροφίμου (mg/kg). Για ουσίες για τις οποίες δεν προβλέπονται όριο ειδικής μετανάστευσης ισχύει γενικό όριο ειδικής μετανάστευσης 60 mg/kg, ενώ για τα πρόσθετα που έχουν εγκριθεί επίσης ως πρόσθετα τροφίμων, δεν μεταναστεύουν σε τρόφιμα σε ποσότητες που έχουν τεχνική επίδραση στα τελικά τρόφιμα και: α) δεν υπερβαίνουν τους περιορισμούς που προβλέπονται στον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1333/2008 ή στον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1334/2008 ή στο παράρτημα Ι του παρόντος κανονισμού, για τρόφιμα στα οποία επιτρέπεται η χρήση τους ως προσθέτων ή αρωματικών ουσιών ή β) δεν υπερβαίνουν τους περιορισμούς που καθορίζονται στο παράρτημα Ι του παρόντος κανονισμού, σε τρόφιμα στα οποία δεν επιτρέπεται η χρήση τους ως προσθέτων ή αρωματικών ουσιών.

Στο Άρθρο 12 αναλύονται τα όρια συνολικής μετανάστευσης, όπου τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα δεν μεταβιβάζουν τα συστατικά τους σε προσομοιωτές τροφίμων σε ποσότητες που υπερβαίνουν τα 10 χιλιοστόγραμμα ολικών συστατικών που ελευθερώνονται ανά dm² της επιφάνειας επαφής με τα τρόφιμα (mg/dm²). Τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα που πρόκειται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα προοριζόμενα για νήπια και μικρά παιδιά, όπως

ορίζονται στις οδηγίες 2006/141/ΕΚ και 2006/125/ΕΚ της Επιτροπής, δεν μεταβιβάζουν τα συστατικά τους σε προσομοιωτές τροφίμων σε ποσότητες που υπερβαίνουν τα 60 χιλιοστόγραμμα ολικών συστατικών που ελευθερώνονται ανά χιλιόγραμμο προσομοιωτή τροφίμων.



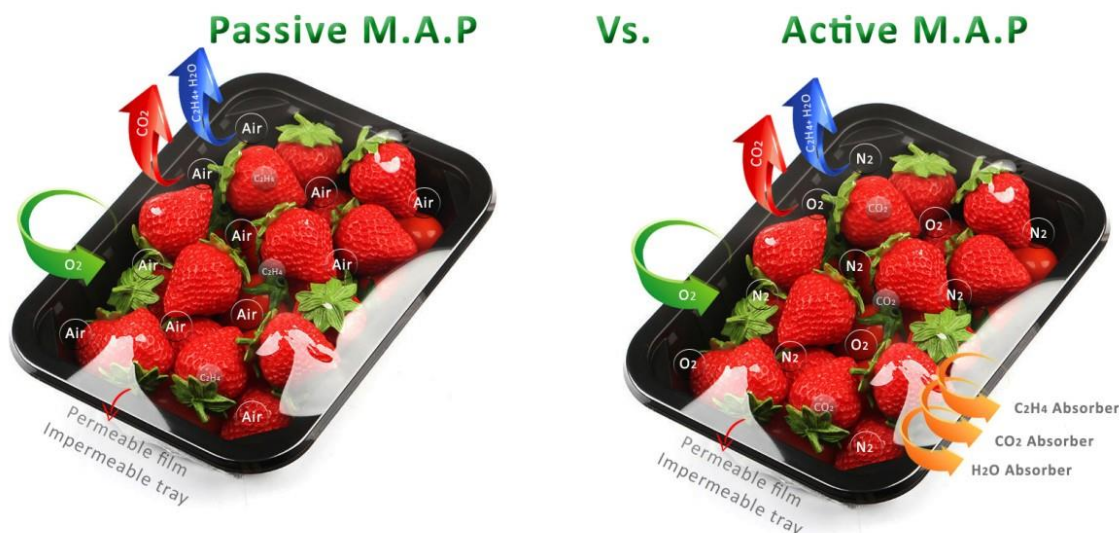
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ (ΕΚ) ΑΡΙΘ. 1935/2004

3.2 Μέθοδοι ενεργής συσκευασίας που χρησιμοποιούνται σε φρούτα και λαχανικά

3.2.1 O₂ και CO₂ σε συνδυασμό με MAP

Η ελάχιστη επεξεργασία των νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων οδηγεί στην τάση προς την αυξανόμενη κατανάλωση τους, κυρίως επειδή οι καταναλωτές επιζητούν ένα ποιοτικό, υγιεινό και συγχρόνως έτοιμο προϊόν προς κατανάλωση. Ωστόσο, είναι σημαντικό οι τυποποιητές/συσκευαστές να διασφαλίσουν ότι το προϊόν δεν είναι μολυσμένο με τροφιμογενείς παθογόνους μικροοργανισμούς (Sriiang and Chansamrankul, 2007). Για παράδειγμα, κατά την επεξεργασία των νωπών φρούτων και λαχανικών οι διεργασίες όπως η αποφλοίωση ή το κόψιμο μεταβάλλουν την ακεραιότητα των ιστών οι οποίοι τραυματίζονται από τους μηχανικούς χειρισμούς με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού αναπνοής τους (Saltveit, 1999). Η αναπνοή περιλαμβάνει τη διάσπαση σύνθετων μορίων, που υπάρχουν στα φυτικά κύτταρα, όπως το άμυλο, τα σάκχαρα και τα οργανικά οξέα σε απλούστερα μόρια και την παραγωγή ενέργειας, διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και νερού (O₂). Ως εκ τούτου, αν κατά τη διαδικασία της τυποποίησης, μειωθεί η περιεκτικότητα σε O₂ (1-5%) και αυξηθούν τα ποσοστά σε CO₂ (5-10%) παρατείνεται ο χρόνος ζωής των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών, περιορίζεται η αναπνοή των προϊόντων, ο ρυθμός παραγωγής αιθυλενίου και ο ρυθμός ανάπτυξης αλλοιογόνων αερόβιων. Η διαδικασία που περιγράφεται στην προηγούμενη πρόταση, ονομάζεται συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας (MAP) (Rojas-Graü, 2008).

Η προστασία που παρέχεται από τη συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας στο προϊόν διακρίνεται σε παθητική (passive) και ενεργητική (active). Η παθητική MAP βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ρυθμού αναπνοής του προϊόντος και της διαπερατότητας της μεμβράνης. Η ενεργητική MAP περιλαμβάνει την έκπλυση των συσκευασιών με ένα κατάλληλο μείγμα διαφορετικών αερίων, δημιουργώντας μια ατμόσφαιρα που εξελίσσεται σε συνάρτηση με τις συνθήκες αποθήκευσης, συγκεκριμένα του ρυθμού αναπνοής των προϊόντων και της διαπερατότητας της μεμβράνης ή περιλαμβάνει την προσθήκη απορροφητών ή εκπομπών που οδηγούν σε καλύτερα αποτελέσματα (Sheikhi et al., 2019).



ΕΙΚΟΝΑ 20: ΠΑΘΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗ ΜΑΡ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΗ ΦΡΕΣΚΩΝ ΚΑΡΠΩΝ ΦΡΑΟΥΛΑΣ
 Για λόγους συγκρισιμότητας, παρακάτω αναφέρονται ορισμένα παραδείγματα χρήσης των δύο αυτών τύπων συσκευασίας από τη σχετική βιβλιογραφία.

Οι Charles et al. (2007), μελέτησαν τις ποιοτικές μεταβολές φρέσκων αντιδίων, τα οποία αποθηκεύτηκαν στους 20°C σε τρεις συσκευασίες με διαφορετικές εσωτερικές ατμοσφαιρικές συνθήκες. Ειδικότερα, δοκιμάστηκε μία διάτρητη σακούλα πολυπροπυλενίου (OPP) που θεωρείται ως "συσκευασία μη τροποποιημένης ατμόσφαιρας" (UAP) και μία σακούλα από πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE) με ή χωρίς σακουλάκι απορρόφησης οξυγόνου για τη δημιουργία ενεργητικής ή παθητικής ΜΑΡ, αντίστοιχα. Η συσκευασία αντιδίων σε OPP επέτρεψε την επαρκή ανταλλαγή αερίων για τη διατήρηση της εσωτερικής ατμόσφαιρας (ατμόσφαιρα ίση με τη σύνθεση του αέρα) ενώ οι σακούλες LDPE, με ή χωρίς σακουλάκι απορρόφησης O₂, προκάλεσαν μια σταθερή κατάσταση με μερικές πιέσεις 3kPa O₂ και 4,5kPa CO₂. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η επίδραση της παθητικής ΜΑΡ στις μεταβολές του χρώματος των αντιδίων ήταν παρόμοια με εκείνη της UAP, οι οποίες παρουσίασαν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και συνεπώς το γρηγορότερο κοκκίνισμα των φύλλων. Αντιθέτως, η χρήση ενός απορροφητή O₂ οδήγησε σε σημαντική καθυστέρηση του πρασινίσματος και του μαυρίσματος των αντιδίων.

Ebtsam et al. (2016), μελέτησαν την επίδραση της ενεργητικής και παθητικής ΜΑΡ στη διατήρηση των ποιοτικών παραμέτρων και στην παράταση της διάρκειας ζωής φρέσκων φραουλών κατά την αποθήκευση τους στους 0°C και 10°C. Η ενεργητική ΜΑΡ περιέχει 7,5% O₂ +15% CO₂ ή 10% O₂ +10% CO₂. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η ενεργητική ΜΑΡ έδειξε ότι αναστέλλει την απώλεια βάρους, διατηρεί την υφή των φρούτων, το ασκορβικό οξύ, την τιτλοδοτούμενη οξύτητα (TA) και τη μείωση της ανάπτυξης χρώματος κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της διάρκειας ζωής στο ράφι. Η παθητική ΜΑΡ ήταν λιγότερο

αποτελεσματική στη μείωση της απώλειας της υφής των καρπών, της περιεκτικότητας σε ΤΑ και ασκορβικό οξύ. Η βέλτιστη σύνθεση αερίων μετά από δοκιμές που έγιναν στους καρπούς των φραουλών έδειξε ότι ήταν 7,5% O₂ +15% CO₂, καθώς σε αυτές τις συνθήκες διατηρήθηκε η ποιότητα των καρπών μέχρι και 15 ημέρες στους 0°C και 2 ημέρες στους 10°C χωρίς κάποια εμφανή αλλοίωση αυτών.

Αντίστοιχα, έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλες έρευνες σε φρούτα και λαχανικά με τη χρήση ενεργής συσκευασίας MAP σε συνδυασμό με απορροφητών οξυγόνου. Οι Niazmand et al. (2020) μελέτησαν πως επηρεάζεται ο χρόνος ζωής της βερβερίς ή αλλιώς των οξυάκανθων (barberry), με τη χρήση των φακελίσκων απορρόφησης οξυγόνου. Τα φρέσκα δείγματα βερβερίς συσκευάστηκαν με μεμβράνες πολυαιθυλενίου/πολυεστέρα χαμηλής πυκνότητας (LDPE/PET) σε τέσσερις διαφορετικές ατμόσφαιρες σε φυσική ατμόσφαιρα, ατμόσφαιρα εμπλουτισμένη με N₂ (>90% N₂), υπό κενό V (απομάκρυνση 90% του αέρα) και παρουσία ενός παράγοντα απορρόφησης οξυγόνου (21.7% O₂ και < 0,2% CO₂) για 4 εβδομάδες στους 4°C και 25°C αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα βερβερίς, στα οποία χρησιμοποιήθηκαν απορροφητές οξυγόνου και αποθηκεύτηκαν στους 4°C (και ακόμη και στους 25°C) εξακολουθούσαν να έχουν καλές οργανοληπτικές ιδιότητες, όσον αφορά στις χημικές ιδιότητες, την υφή, την απώλεια βάρους και το χρώμα, ακόμη και μετά από 4 εβδομάδες. Επιπλέον, η αντιοξειδωτική δραστηριότητα και τα βιοενεργά συστατικά, συμπεριλαμβανομένων των φαινολικών ενώσεων, του ασκορβικού οξέος και των ανθοκυανών, διατηρήθηκαν επίσης καλύτερα.

Οι Tarr και Clingeffer (2005) συνέκριναν την αλλαγή χρώματος στις σταφίδες σουλτανίνας που αποθηκεύτηκαν σε διαφορετικές θερμοκρασίες με και χωρίς τη χρήση απορροφητών οξυγόνου σε σφραγισμένη σακούλα. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ο συνδυασμός αποθήκευσης σε χαμηλή θερμοκρασία (15°C) και χρήση απορροφητών οξυγόνου είναι σε θέση να διατηρήσει το χρώμα των καρπών για τουλάχιστον 45 ημέρες. Ωστόσο, σημαντικές αρνητικές μεταβολές του χρώματος διαπιστώθηκαν στους καρπούς χωρίς απορροφητές οξυγόνου σε υψηλότερη θερμοκρασία και μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (30°C για 9 ημέρες και 22,5°C για 20 ημέρες) (UKEssays, 2018).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι, η τροποποίηση της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό μιας συσκευασίας με προϊόν που αναπνέει με χαμηλό οξυγόνο (2 έως 5%) και υψηλό διοξείδιο του άνθρακα δεν είναι πάντα επιθυμητή. Για παράδειγμα οι Day and Brydon (2002) και Charles et al. (2005) κατέληξαν στο συμπέρασμα, ύστερα από πειράματα σε φράουλες και μανιτάρια, ότι η χρήση των απορροφητών διοξειδίου του άνθρακα από μόνη της δεν είχε σημαντικό αντίκτυπο στην παράταση του χρόνου ζωής των προϊόντων, παρά μόνο σε

συνδυασμό με αρχικές υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου. Υπάρχουν αναφορές ότι η αντικατάσταση του αέρα με μείγμα αερίων με συγκεντρώσεις οξυγόνου 70 έως 100% παρέχει καλύτερη μικροβιολογική προστασία, ενώ παράλληλα μειώνεται ο κίνδυνος ανάπτυξης αναερόβιων συνθηκών, άρα και ανεπιθύμητων ζυμώσεων. Μάλιστα οι υψηλές συγκεντρώσεις σε διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να είναι επιζήμιες για το προϊόν (Wilson, 2007).

Οι Oms-Oliu et al. (2008a,b) μελέτησαν τη φυσικοχημική και μικροβιολογική ποιότητα των φρέσκων πεπονιών Piel de Sapo συσκευασμένα υπό συνθήκες 2,5% O₂ και 7% CO₂, 21% O₂ και 70% O₂. Ενεργητική MAP με αρχικά χαμηλή περιεκτικότητα σε O₂ μειώνει τη συγκέντρωση αιθυλενίου στη συσκευασία, ενώ τα υπερ-ατμοσφαιρικά επίπεδα O₂ (70%) αποτρέπει τον αναερόβιο μεταβολισμό μειώνοντας τον ρυθμό παραγωγής CO₂ και αποτρέποντας την παραγωγή αιθανόλης. Τόσο οι ατμόσφαιρες 2,5% O₂ και 7% CO₂ όσο και 70% O₂ μείωσαν σημαντικά την μικροβιακή ανάπτυξη για 14 ημέρες αποθήκευσης στους 5°C. Οι συνθήκες υπερ-ατμοσφαιρικού O₂ καθώς και οι συνθήκες χαμηλού O₂ συν υψηλού CO₂ διαπιστώθηκε ότι έχουν ορισμένη ανασταλτική επίδραση στην ανάπτυξη του *Rhodotorula mucilaginosa*, ενός κυρίαρχου ζυμομύκητα που επικρατούσε κατά τη διάρκεια της επακόλουθης αποθήκευσης του φρεσκοκομμένου Piel de Sapo πεπονιού. Όσον αφορά την οργανοληπτική ποιότητα, αν και το επίπεδο 70% O₂ συνεπάγεται με υψηλό ρυθμό αναπνοής O₂ και μείωση της περιεκτικότητας σε διαλυτά στερεά, διατηρήθηκε η σκληρότητα και η μασητικότητα του φρεσκοκομμένου πεπονιού Piel de Sapo για 2 εβδομάδες αποθήκευσης. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υψηλή (70%) ατμόσφαιρα O₂ εμπόδισε τη ζύμωση και σημαντικά βελτίωσε την ποιότητα της υφής και τη μικροβιολογική σταθερότητα των φρεσκοκομμένων πεπονιών.

3.2.2 Αντιοξειδωτικά σε συνδυασμό με MAP

Αξίζει να σημειωθεί, πως ένα πρόβλημα που υπάρχει στα κομμένα φρούτα και λαχανικά είναι η αμαύρωση στα σημεία κοπής. Σε αυτό συμβάλλει η ύπαρξη οξυγόνου, γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιείται η συσκευασία MAP. Ωστόσο, μόνο η χρήση της συσκευασίας MAP (χαμηλές συγκεντρώσεις O₂ και υψηλές συγκεντρώσεις CO₂), δεν είναι αρκετή για την αναστολή του μαυρίσματος των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών: μήλο, μπανάνα, αχλάδι, πατάτα και αγκινάρα, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε φαινόλες. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται ο συνδυασμός του συστήματος MAP με αντιοξειδωτικά όπως το ασκορβικό οξύ. Το ασκορβικό οξύ είναι πολύ αποτελεσματικό στην αναστολή της ενζυμικής αμαύρωσης, κυρίως λόγω της ικανότητάς του να ανάγει τις κινόνες σε φαινολικές ενώσεις πριν αυτές υποστούν περαιτέρω αντίδραση και σχηματίσουν χρωστικές ουσίες. Οι Rojas-

Graü et al. (2009) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εμφάνιση μετά την κοπή σε N-ακετυλο-Ι-κουστεΐνη και/ή μειωμένη γλουταθειόνη σε συνδυασμό με πίεση 2,5 kPa O₂ + 7 kPa CO₂ προλαμβάνει αποτελεσματικά το μαύρισμα των φρεσκοκομμένων μήλων και αχλαδιών (Rojas-Graü et al., 2009).

Άλλο παράδειγμα χρήσης αντιοξειδωτικών ουσιών σε φρέσκα φρούτα είναι η εμφάνιση φρεσκοκομμένων αχλαδιών "Flor de Invierno" (*Pyrus communis* L.) σε N-ακετυλοκουστεΐνη (0,75% κ.β) και γλουταθειόνη (0,75% κ.β.). Ύστερα, τα αχλάδια αυτά συσκευάστηκαν σε ατμόσφαιρα 70 kPa O₂ (HOA) ως εναλλακτική λύση για την ενεργά τροποποιημένη ατμόσφαιρα χαμηλής περιεκτικότητας σε O₂ (LOA) και την παθητικά τροποποιημένη ατμόσφαιρα (PA). Οι μεταβολές στο χρώμα, τη βιταμίνη C, τις μεμονωμένες φαινολικές ενώσεις και την αντιοξειδωτική δραστηριότητα των φρεσκοκομμένων αχλαδιών αξιολογήθηκαν για 14 ημέρες στους 4°C. Η χρήση αντιοξειδωτικών όχι μόνο απέτρεψε το μαύρισμα και τη μείωση της παραγωγής αιθυλενίου των φρεσκοκομμένων αχλαδιών, αλλά και η εφαρμογή τους υπό LOA διατήρησε καλύτερα τη βιταμίνη C, το χλωρογενικό οξύ και την αντιοξειδωτική ικανότητα σε σύγκριση με την HOA και την PA. Ωστόσο, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση γλουταθειόνης και N-ακετυλοκουστεΐνης ενίσχυσε σημαντικά την αντιοξειδωτική ικανότητα των φρεσκοκομμένων αχλαδιών σε όλες τις συνθήκες αποθήκευσης (Oms-Oliu et. al., 2008).

Στην περίπτωση των λαχανικών όπως το iceberg προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο του μαυρίσματος μετά από την κοπή του, έχει αποδειχθεί ότι υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ μπορούν να αναστείλουν τη βιοσύνθεση των φαινολικών ενώσεων (Ke and Saltveit, 1989). Ωστόσο, η υπερβολική μείωση του O₂ γύρω από έναν καρπό ή λαχανικό σε μια συσκευασία τροποποιημένης ατμόσφαιρας μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερική αποσύνθεση και σχηματισμό άσχημων οσμών. Γι' αυτό το λόγο έχει προταθεί ως εναλλακτική λύση, η εφαρμογή υψηλής περιεκτικότητας σε O₂ έναντι των χαμηλών συγκεντρώσεων και υψηλών συγκεντρώσεων σε CO₂ με σκοπό την αποφυγή του ενζυμικού μαυρίσματος. Ατμόσφαιρες που περιέχουν 80 kPa O₂ και 20 kPa CO₂ αναστέλουν τη δραστηριότητα της πολυφαινολοξειδάσης και μειώνεται το ενζυμικό μαύρισμα στο μαρούλι "Iceberg" (Heimdal et al., 1994). Ωστόσο, συνήθως γίνεται συνδυασμός υψηλών συγκεντρώσεων O₂ (100 kPa) με επαρκή ποσότητα ασκορβικού και κιτρικού οξέος.

Μια άλλη μέθοδος είναι η εφαρμογή εδώδιμων μεμβρανών στις οποίες ενσωματώνονται διάφορες αντιοξειδωτικές ουσίες, προκειμένου να προστατευτούν τα σημεία κοπής. Σήμερα, η χρήση καινοτόμων τροποποιημένων ατμοσφαιρών και βρώσιμων

επικαλύψεων ξεχωρίζει μεταξύ άλλων τεχνικών στον αγώνα για τη διατήρηση της φρεσκάδας και της ασφάλειας των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών (Rojas-Graü et al., 2009).

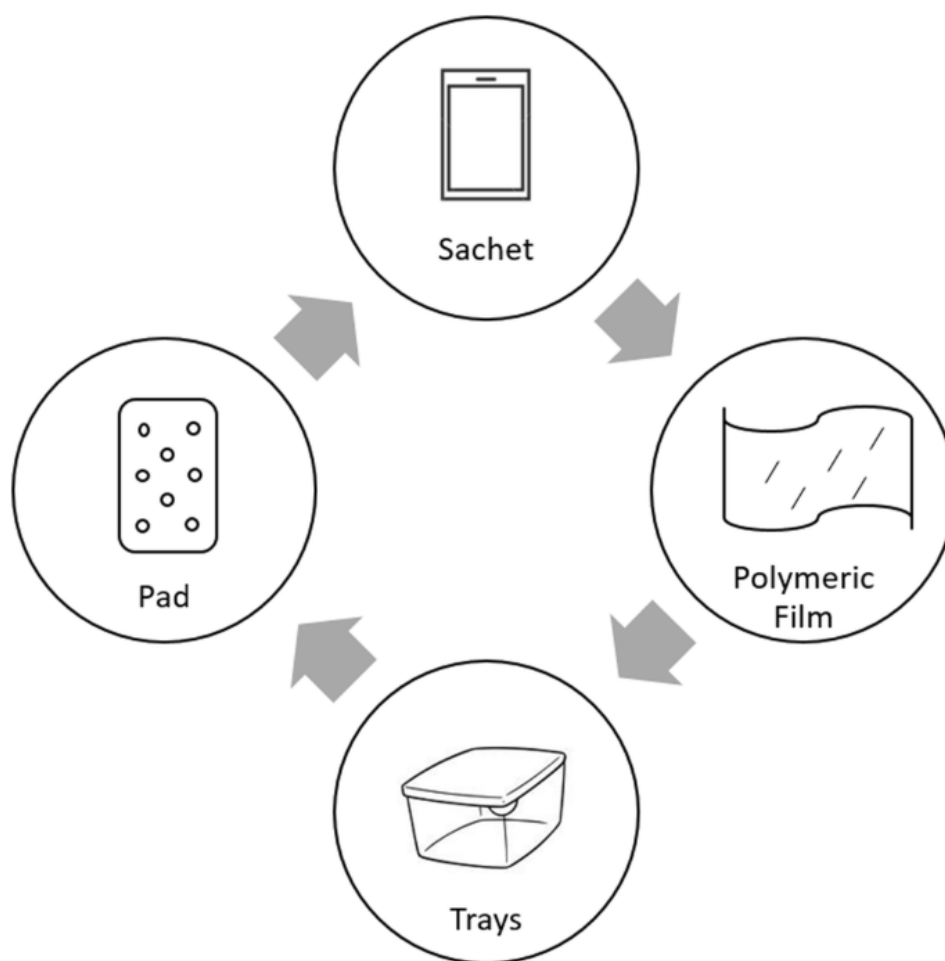
Οι Oms-Oliu et. al (2008) διερεύνησαν την επίδραση των βρώσιμων μεμβρανών με βάση το αλγινικό (2% κ.β.), την πηκτίνη (2% κ.β.) και τη γελλάνη (0,5%κ.β.) στη διάρκεια ζωής του κομμένου πεπονιού "Piel de Sapo". Η ανταλλαγή αερίων, οι αντιοξειδωτικές ιδιότητες, το χρώμα, η σκληρότητα, η οργανοληπτική ποιότητα και η μικροβιακή ανάπτυξη του φρεσκοκομμένου πεπονιού μελετήθηκαν κατά τη διάρκεια 15 ημερών στους 4°C. Οι επικαλύψεις με γελλάνη, πηκτίνη και αλγινικό αύξησαν την αντίσταση των φρεσκοκομμένων πεπονιών σε υδρατμούς, αποτρέποντας έτσι την αφυδάτωση και διατήρησαν τη σφριγηλότητα των καρπών καθ' όλη τη διάρκεια της αποθήκευσης. Έτσι, το σκεύασμα γελλάνης ήταν πολύ πιο αποτελεσματικό στη μείωση της απώλειας βιταμίνης C στο φρέσκο πεπόνι από ό,τι οι άλλες επικαλύψεις. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται στη σημαντική μείωση στην ποσότητα του O₂ στο εσωτερικό χώρο της συσκευασίας. Στη μελέτη μας, η αύξηση των φαινολικών ενώσεων σχετίζεται με την ενίσχυση της αντιοξειδωτικής ικανότητας του φρέσκου πεπονιού. Η πιο ουσιαστική άνοδος σε αντιοξειδωτική ικανότητα παρατηρήθηκε σε φρεσκοκομμένο πεπόνι με επικάλυψη με γελλάνη, το οποίο επίσης υπέστη τη μεγαλύτερη συσσώρευση σε φαινολικές ενώσεις. Επιπλέον, επικάλυψη με βάση την πηκτίνη φάνηκε να διατηρεί καλύτερα τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά.

3.2.3 Έλεγχος υγρασίας και συμπύκνωσης

Η ρύθμιση της υγρασίας στο εσωτερικό μιας συσκευασίας επηρεάζει το χρόνο ζωής του προϊόντος, ειδικά όταν αυτό είναι φρούτο ή λαχανικό, καθώς η συσσώρευση υγρασίας είναι βασική αιτία αλλοίωσης τέτοιων προϊόντων. Τα φρούτα και τα λαχανικά συνεχίζουν να αναπνέουν μέσα στη συσκευασία, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται υδρατμοί στο εσωτερικό της. Αν μάλιστα το υλικό στη συσκευασία είναι χαμηλής διαπερατότητας σε υδρατμούς, μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση, η οποία στη συνέχεια να οδηγήσει σε μειωμένη ποιότητα και ασφάλεια του προϊόντος, εξαιτίας του πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών. Στην περίπτωση που υπάρχει απώλεια υγρασίας, αυτή συμβαίνει μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του προϊόντος και στη συνέχεια οι υδρατμοί απομακρύνονται μέσω της μεμβράνης της συσκευασίας με αποτέλεσμα την ξήρανση του προϊόντος.

Τα περισσότερα φρούτα έχουν μειωμένη ενεργότητα νερού (a_w) κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, διότι οι πολυσακχαρίτες μετατρέπονται σε μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες. Κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, για παράδειγμα τα μήλα καταναλώνουν μέρος της γλυκόζης και με την πάροδο του χρόνου ζαρώνουν και γίνονται λιγότερο τραγανά, καθώς

χάνουν υγρασία. Τα λαχανικά, όπως το μαρούλι και άλλα φυλλώδη λαχανικά μαραίνονται, χάνουν τη σπαργή τους και την επιθυμητή τραγανή γεύση τους. Αυτή η απώλεια υγρασίας μπορεί να επιβραδυνθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των ευαίσθητων αυτών τροφίμων σε περιβάλλον με υψηλότερη υγρασία, με σκοπό την παράταση του χρόνου ζωής τους, τη διατήρηση της γεύσης και της υφής τους. Στην αγορά υπάρχουν διάφορα προϊόντα για τη ρύθμιση της υγρασίας, όπως το Condensation - Gard® και το Pitchit φιλμ από την Showa Denko (Wilson, 2007). Αρκετές εταιρείες κατασκευάζουν απορροφητές υγρασίας με τη μορφή φακελίσκων (sachets), μαξιλαριών (pads) ή φύλλων (sheets). Πολλές φορές συνδυάζονται με απορροφητές οσμής ή οξυγόνου (Kerry και Butler, 2008).

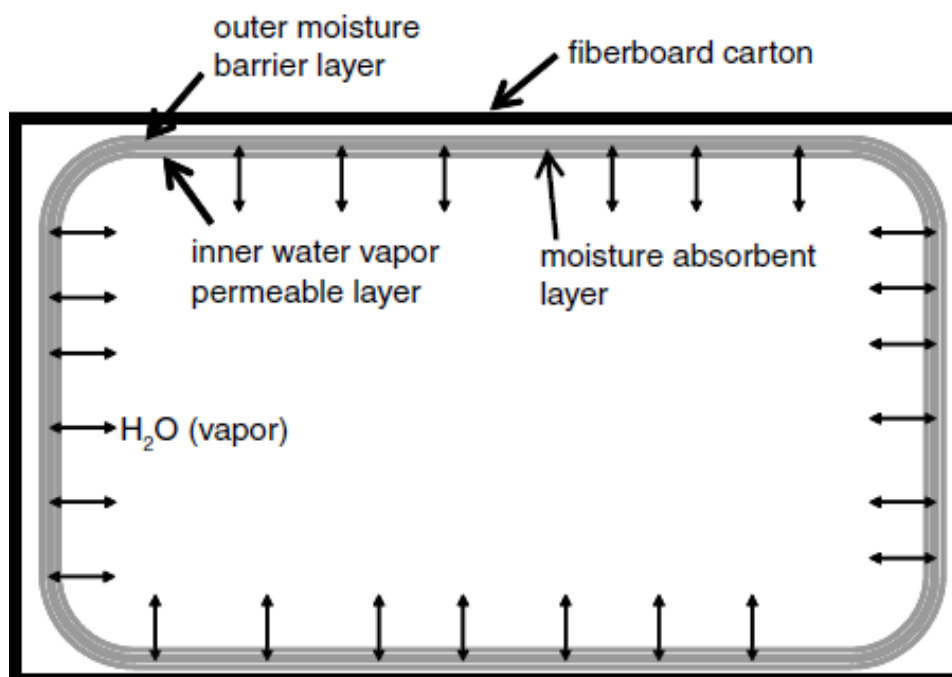


ΕΙΚΟΝΑ 21: ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΩΝ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Όσον αφορά στα φρούτα και τα λαχανικά, χρησιμοποιούνται κυρίως απορροφητές υγρασίας με τη μορφή μαξιλαριών ή φύλλων για τον έλεγχο της υγρασίας. Αποτελούνται από δύο στρώματα μεταξύ των οποίων τοποθετείται ένα υπεραπορροφητικό πολυμερές. Αυτό, είναι ικανό να απορροφήσει έως και 500 φορές το βάρος του σε νερό. Στα υπεραπορροφητικά πολυμερή ανήκουν τα πολυακρυλικά άλατα, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (CMC) και τα συμπολυμερή αμύλου, τα οποία έχουν πολύ ισχυρή συγγένεια με το νερό. Μία άλλη λύση είναι η μείωση της υγρασίας στη φάση των υδρατμών,

με την τοποθέτηση ενός ή παραπάνω υγραντικών ουσιών μεταξύ δύο στρωμάτων υδατοδιαπερατού πλαστικού φιλμ. Πιο συγκεκριμένα, η εταιρεία Showa Denko, που αναφέρθηκε προηγουμένως, έχει κατασκευάσει το Pitchit™ φιλμ, το οποίο αποτελείται από ένα στρώμα υγροποιητικού υδατάνθρακα και προπυλενογλυκόλης, που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο στρώσεων πλαστικού φιλμ πολυβινυλικής αλκοόλης (PVA). Το φιλμ διατίθεται στο εμπόριο για οικιακή χρήση σε μορφή ρολού ή μεμονωμένου φύλλου για την περιτύλιξη φρέσκων κρεάτων, ψαριών και πουλερικών. Μετά την περιτύλιξη με αυτό το φιλμ, η επιφάνεια του τροφίμου αφυδατώνεται με ωσμωτική πίεση, με αποτέλεσμα τη μικροβιακή αναστολή και την παράταση του χρόνου ζωής στο ράφι κατά 3-4 ημέρες υπό ψύξη. Η ίδια λογική χρησιμοποιείται και στα φρούτα και λαχανικά. Για παράδειγμα, για τη διανομή τοματών στις ΗΠΑ έχουν χρησιμοποιηθεί μικροπορώδη σακουλάκια αφυγραντικών ανόργανων αλάτων, όπως το χλωριούχο νάτριο (Kerry and Butler, 2008).

Ένα άλλο παράδειγμα ενεργής συσκευασίας είναι ένα καινοτόμο πολυστρωματικό χαρτοκιβώτιο από ινοσανίδες, που λειτουργεί ως ρυθμιστής υγρασίας από μόνο του, χωρίς να βασίζεται σε ένα ξηραντικό στοιχείο. Αποτελείται από ένα αδιαπέραστο φράγμα νερού και υδρατμών στην εξωτερική επιφάνεια του κουτιού, ένα υλικό που μοιάζει με χαρτί συνδεδεμένο με το φράγμα και ένα υδρόφοβο αλλά ιδιαίτερα διαπερατό στο νερό στρώμα υδρατμών, το οποίο με τη σειρά του είναι συγκολλημένο στο στρώμα που απορροφά την υγρασία διπλά στα φρούτα ή τα λαχανικά. Αυτή η συσκευασία εμποδίζει τη συμπύκνωση, δηλαδή επιτρέπει στο απορροφητικό στρώμα να προσλαμβάνει νερό σε κατάσταση ατμών όταν η θερμοκρασία πέφτει και η σχετική υγρασία αυξάνεται. Αντίστροφα, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το πολυστρωματικό κουτί μπορεί να απελευθερώσει τους υδρατμούς στο εσωτερικό της συσκευασίας, όταν μειώνεται η σχετική υγρασία, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της αφυδάτωσης. Έχει αναφερθεί ότι παρέχει σημαντική παράταση της διάρκειας ζωής των πορτοκαλιών και του κουνουπιδιού σε δοκιμαστικές αποστολές από την Αυστραλία προς τις ΗΠΑ και τη Σιγκαπούρη, αντίστοιχα (Kerry and Butler, 2008 Wilson, 2007). Επίσης, υπάρχουν απορροφητές υγρασίας, όπως η σορβιτόλη, το χλωριούχο νάτριο, το χλωριούχο κάλιο και ο μπεντονίτης (Rux et al., 2016). Το χλωριούχο νάτριο, το χλωριούχο κάλιο, η σορβιτόλη θεωρούνται ως γρήγοροι απορροφητές υγρασίας, ενώ ο μπεντονίτης έχει σχετικά πιο αργό ρυθμό απορρόφησης από τα άλατα και τη σορβιτόλη (UKEssays, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ 22: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ CSIRO PLANT INDUSTRIES ΜΕ ΤΗ ΜΟΡΦΗ ΣΑΚΟΥΛΑΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΧΑΡΤΟΚΙΒΩΤΙΟ ΑΠΟ ΙΝΟΣΑΝΙΔΑ

Μερικά παραδείγματα ερευνών που έχουν γίνει με ενεργές συσκευασίες απορρόφησης υγρασίας είναι οι εξής:

Οι Gaona-Forero et al. (2018) χρησιμοποίησαν ως προσροφητικό υλικό ένα μείγμα πολυακρυλικού νατρίου (SPA) και βαμβακιού σε "φακελάκια" από πορώδες φυτικό χαρτί (70% SPA w/w) και αποθήκευσαν αβοκάντο "Hass" σε άκαμπτες διάτρητες συσκευασίες τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου (PET) για 12 ημέρες στους 12°C. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, όσο αυξάνεται η αναλογία του SPA, τόσο αυξάνεται και η ικανότητα προσρόφησης υγρασίας, φθάνοντας τα 0,73 g προσροφημένων υδρατμών ανά g προσροφητικού υλικού (g g^{-1}) για το ενεργό στοιχείο με 70% SPA (w/w). Όσον αφορά τον ρυθμό προσρόφησης, είναι επιθυμητός ένας χαμηλός ρυθμός, δεδομένου ότι επιδιώκεται η αποφυγή του κορεσμού, χωρίς όμως να προκαλείται πολύ υψηλή απώλεια υγρασίας στο προϊόν. Για την 12^η ημέρα, τα φρούτα που συσκευάστηκαν χωρίς προσροφητή είχαν απώλεια βάρους 1,23%, ενώ τα φρούτα συσκευασμένα με το ενεργό στοιχείο είχαν απώλεια βάρους 3,38%. Όπως φαίνεται, η απώλεια βάρους των φρούτων στις συσκευασίες με προσροφητήρα ήταν περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από ό,τι στις συσκευασίες χωρίς προσροφητή.

Επιπλέον, μελετήθηκε η δυνατότητα ελέγχου της σχετικής υγρασίας σε ντομάτες. Δέκα γραμμάρια NaCl σφραγίστηκαν με έναν ώριμο πράσινο καρπό τομάτας (*Lycopersicon esculentum* L.) στους 20°C σε προσομοιωμένη συσκευασία για 48 ημέρες και είχε ως

αποτελεσμα σταθερή σχετική υγρασία 75%. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η διάρκεια ζωής των συσκευασμένων ντοματών στους 20°C παρατάθηκε από 5 μέρες χωρίς σακούλα έως 15±17 ημέρες με μια σακούλα που περιείχε NaCl, κυρίως λόγω επιβράδυνσης της ανάπτυξης επιφανειακής μούχλας (Shirazi and Cameron 1992).

Οι Mahajan et al. (2008) συνδύασαν CaCl₂ (20%), σορβιτόλη (25%) και μπεντονίτη (55%) σε μανιτάρια (*Agaricus bisporous*). Στο πείραμα, οι ερευνητές προετοίμασαν 250g δειγμάτων μανιταριών με διαφορετική ποσότητα μικτών αποξηραντικών που καλύφθηκαν από φιλμ PVC και αποθηκεύτηκαν στους 10°C για πέντε ημέρες. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση 5g μικτού ξηραντικού σε 250g μανιταριών είχε τη καλύτερη συνολική εμφάνιση μετά από οργανοληπτική αξιολόγηση. Τέλος, οι Singh et al. (2010) και Sänglerlaub et al. (2013) ανέπτυξαν ένα σύστημα συσκευασίας που ρυθμίζει την υγρασία ενσωματώνοντας απευθείας τη δραστική ουσία (NaCl) στο υλικό συσκευασίας σε μανιτάρια. Το υλικό αυτό αποτελούνταν από μια δομή 3 στρώσεων: ένα στρώμα φραγμού, ένα ενεργό στρώμα με NaCl και ένα στρώμα σφράγισης. Το ενεργό στρώμα αποτελούνταν από πολυπροπυλένιο με διαφορετικά ποσοστά NaCl (6, 12 και 18 % κ.β.). Με βάση τόσο την οργανοληπτική όσο και τη βιοχημική ανάλυση, η διάρκεια ζωής των φρέσκων μανιταριών αυξήθηκε σημαντικά έως και 8 ημέρες σε δίσκους με 18 wt% NaCl στο ενεργό στρώμα σε σύγκριση με τη συμβατική συσκευασία στους 5 °C (Rux, 2016).



ΕΙΚΟΝΑ 23: ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΦΥΓΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ

3.2.4 Απορρόφηση αιθυλενίου

Το αιθυλένιο (C₂H₄) είναι ένας απλός υδρογονάνθρακας, ο οποίος παράγεται από τους φυτικούς ιστούς και επηρεάζει διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών. Θεωρείται ορμόνη και καθώς επηρεάζει την ωρίμανση των καρπών αλλά και το ρυθμό αναπνοής των φυτικών οργάνων, καλείται και «ορμόνη ωρίμανσης». Ο ρυθμός παραγωγής του εξαρτάται

από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων είναι η θερμοκρασία, η συγκέντρωση οξυγόνου, οι μετασλλεκτικές ασθένειες (προσβολές των οπωροκηπευτικών από μύκητες, οι οποίες προκαλούν αυξημένη παραγωγή αιθυλενίου) αλλά και ο ψεκασμός με ασβέστιο (η εμφάνιση καρπών σε διάλυμα ασβεστίου μειώνει το ρυθμό παραγωγής αιθυλενίου) (Σφακιωτάκης, 2004).

Το αιθυλένιο έχει άμεση σχέση με την αναπνευστική δραστηριότητα των φρούτων και λαχανικών. Ειδικότερα, το αιθυλένιο διεγείρει την αναπνοή προκαλώντας την έναρξη της ωρίμανσης. Η αύξηση της έντασης της αναπνοής ονομάζεται κλιμακτηριακή και τα εν λόγω φρούτα κλιμακτηριακά. Η απόκριση στο αιθυλένιο σε κλιμακτηριακά φρούτα είναι δυνατή μόνο στην προκλιμακτήρια φάση. Στον αντίποδα βρίσκονται τα μη κλιμακτηριακά φρούτα και όλα τα λαχανικά στα οποία η αύξηση της ταχύτητας αναπνοής παρουσία αιθυλενίου είναι μικρή, αυξάνεται όσο αυξάνεται η συγκέντρωση αιθυλενίου και μειώνεται όταν παύσει η επίδραση αιθυλενίου.

Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα φρούτων και λαχανικών και η ευαισθησία τους ως προς το αιθυλένιο:

ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΦΡΟΥΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟ

ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟ Υ	ΕΥΑΙΣΘΗΣΙ Α ΣΤΟ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟ	ΠΡΟΪΟΝ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟ Υ	ΕΥΑΙΣΘΗΣΙ Α ΣΤΟ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟ
ΑΓΓΟΥΡΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΑΓΚΙΝΑΡΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ
ΑΚΤΙΝΙΔΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΑΡΑΚΑΣ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
ΑΧΛΑΔΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΒΕΡΙΚΟΚΑ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ
ΔΑΜΑΣΚΗΝ Α	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΚΑΡΟΤΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΑΡΠΟΥΖΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙ Α	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ ΞΕΡΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΚΡΕΜΜΥΔΙΑ ΦΡΕΣΚΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΥΔΩΝΙΑ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ	ΛΑΧΑΝΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ

ΛΑΧΑΝΑ ΒΡΥΞΕΛΛΩΝ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ		ΛΕΜΟΝΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
ΛΩΤΟΣ ΜΕΡΙΚΑ ΩΡΙΜΟΣ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ		ΛΩΤΟΣ ΩΡΙΜΟΣ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΜΑΓΚΟ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ		ΜΑΪΝΤΑΝΟΣ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΜΑΝΙΤΑΡΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΜΑΡΟΥΛΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΜΗΛΑ	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ		ΜΠΑΝΑΝΑ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ
ΜΠΡΟΚΟΛΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ		ΝΕΚΤΑΡΙΝΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΝΤΟΜΑΤΕΣ ΑΓΟΥΡΕΣ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ		ΝΤΟΜΑΤΕΣ ΩΡΙΜΕΣ	ΥΨΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ
ΠΑΝΤΖΑΡΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ		ΠΑΠΑΓΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΠΑΤΑΤΕΣ (ΠΡΟΩΡΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΠΑΤΑΤΕΣ (ΟΨΙΜΗΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ)	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
ΠΕΠΟΝΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
ΠΡΑΣΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΡΑΠΑΝΑΚΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ
ΡΙΓΑΝΗ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΡΟΔΑΚΙΝΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΣΚΟΡΔΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ		ΣΠΑΝΑΚΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ
ΣΠΑΡΑΓΓΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ		ΣΤΑΦΥΛΙΑ	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ
ΦΡΑΟΥΛΕΣ	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ				

Ανάλογα με την ευαισθησία των καρπών στο αιθυλένιο μπορεί η παρουσία του να έχει θετική ή αρνητική επίδραση. Ο παρακάτω Πίνακας παρουσιάζουν συνοπτικά μερικές από τις επιθυμητές και ανεπιθύμητες δράσεις του αιθυλενίου:

ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΘΕΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

A/A	ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	ΠΡΟΪΟΝ
1	ΓΡΗΓΟΡΗ ΚΑΙ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΚΑΡΠΩΝ	ΜΠΑΝΑΝΕΣ, ΝΤΟΜΑΤΕΣ, ΑΧΛΑΔΙΑ
2	ΑΠΟΠΡΑΣΙΝΙΣΜΟΣ	ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ
3	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΖΩΗΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	ΦΡΑΓΚΟΣΤΑΦΥΛΑ, ΚΟΚΚΙΝΕΣ ΠΙΠΕΡΙΕΣ

ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΑΡΝΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

A/A	ΑΝΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	ΠΡΟΪΟΝ
1	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ - ΓΗΡΑΣΜΟΥ	ΚΑΡΠΟΙ ΦΡΟΥΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ
2	ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ (ΚΙΤΡΙΝΙΣΜΑ ΦΥΛΛΩΝ)	ΦΥΛΛΩΔΗ, ΑΓΓΟΥΡΙΑ
3	ΑΠΟΚΟΠΗ ΦΥΛΛΩΝ	ΛΑΧΑΝΑ, ΚΟΥΝΟΥΠΙΔΙΑ, ΜΠΡΟΚΟΛΑ
4	ΚΗΛΙΔΩΣΗ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ	ΜΑΡΟΥΛΙΑ
5	ΠΙΚΡΑΝΣΗ ΚΑΡΟΤΟΥ	ΚΑΡΟΤΑ
6	ΣΚΛΗΡΙΝΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΣΤΩΝ	ΣΠΑΡΑΓΓΙΑ
7	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΤΑΣΥΛΛΕΚΤΙΚΩΝ ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ (BOTRYTIS - PENICILLIUM)	ΑΚΤΙΝΙΔΙΑ - ΕΣΠΕΡΙΔΟΕΙΔΗ

Όσον αφορά στη συσκευασία, χρησιμοποιείται το σύστημα απορρόφησης αιθυλενίου από το εσωτερικό της συσκευασίας. Ένας πρώτος τρόπος είναι η χρήση φακελίσκου, που περιέχει υπερμαγγανικό κάλιο ($KMnO_4$) ακινητοποιημένο σε ένα αδρανές πορώδες φορέα, όπως η αλουμίνα και το διοξείδιο του πυριτίου ή η χρήση ενεργού άνθρακα με μεταλλικό καταλύτη (π.χ. παλλάδιο). Η απορρόφηση επιτυγχάνεται μέσω οξειδωσης με το υπερμαγγανικό κάλιο με παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Από τη μία πλευρά, οι φακελίσκοι μπορεί να είναι αποτελεσματικοί, αλλά από την άλλη, ελλοχεύει ο κίνδυνος της μετανάστευσης του υπερμαγγανικού καλίου, που είναι τοξικός, από το φακελίσκο στα προϊόντα, ενώ ταυτόχρονα μαζί με το αιθυλένιο να απομακρυνθούν και οι επιθυμητές ουσίες (αρώματα). Επίσης, η χρήση των φακελίσκων μπορεί να μην είναι αποδεκτή από όλους τους καταναλωτές, καθώς έχει μωβ χρώμα (Wilson, 2007, Kerry και Butler, 2008).

Έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς οι παραπάνω μέθοδοι σε διάφορα φρούτα, κυρίως, και λιγότερο σε λαχανικά, μειώνοντας τα επίπεδα του αιθυλενίου και παρατείνοντας τον χρόνο ζωής τους. Πιο συγκεκριμένα, οι Bhutia et al. (2011) χρησιμοποίησαν φακελίσκους με $KMnO_4$ σε φρούτο *sarota*, ένα σαρκώδες μούρο με καφετί χρώμα και παρατήρησαν ότι τα

σημάδια σήψης του φρούτου καθυστέρησαν, ανεξάρτητα από το στάδιο ωρίμανσής του, με τη μεγαλύτερη διαφορά να παρατηρείται σε αυτά που ήταν ήδη ώριμα. Επίσης, το μαλάκωμα και η απώλεια βάρους του καρπού μειώθηκε. Συνολικά, η χρήση των φακελίσκων απορρόφησης αιθυλενίου παρέτεινε τη διάρκεια ζωής του φρούτου έως και 13 ημέρες σε συνθήκες δωματίου. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιήθηκε από τους Silva et al. (2009) σε συνδυασμό με τη χρήση συσκευασίας MAP για την διατήρηση των καρπών παραγα σε θερμοκρασίες ψυγείου. Κάθε φακελίσκος περιείχε 0,5 g $KMnO_4$ και ήταν αρκετό, για να διατηρήσει τους καρπούς σε προ- κλιμακτηριακό στάδιο και να καθυστερήσει την ωρίμανσή τους για 25 ημέρες (Ebrahimi, 2021)

Οι Dobrucka et al. (2017) πήγαν ένα βήμα παραπέρα και ενσωμάτωσαν 1 - 2 g $KMnO_4$ σε φορέα ζεόλιθο σε τομάτες, οι οποίες αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία δωματίου μέσα σε συσκευασία από πολυστυρένιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα πρώτα σημάδια μούχλας εμφανίστηκαν την 9^η ημέρα, χωρίς τον απορροφητή αιθυλενίου, ενώ στις συσκευασίες όπου προστέθηκε, εμφανίστηκαν την 50^η ημέρα.

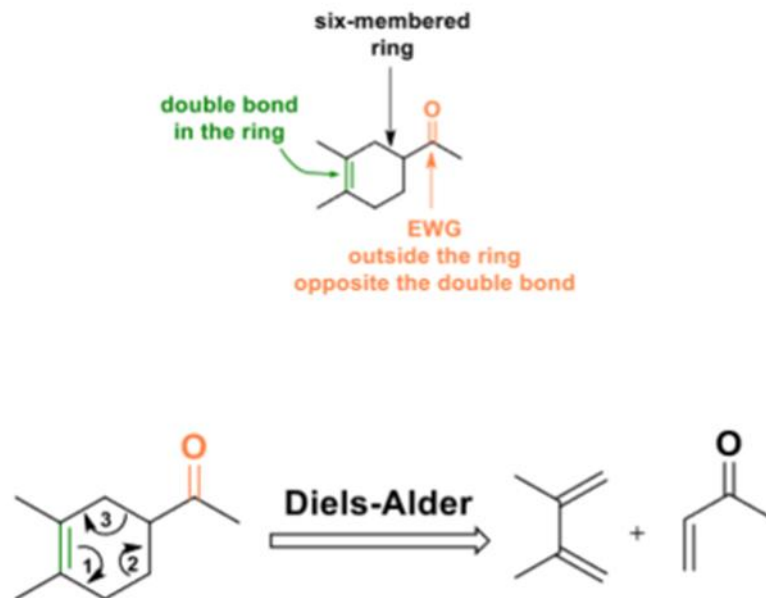
Οι Abe and Watada (1991) χρησιμοποίησαν την άλλη μέθοδο, δηλαδή τη χρήση ενεργού άνθρακα με μεταλλικό καταλύτη παλλάδιο σε φακελίσκους και παρατήρησαν ότι το αιθυλένιο μειώθηκε επιτυχώς στις συσκευασίες που περιείχαν μπανάνες, σπανάκι, μπρόκολο και ακτινίδια. Οι Bailén et al. (2006) εξέτασαν τομάτες που είχαν συσκευαστεί σε συνθήκες MAP μαζί με φακελίσκους με κοκκώδη ενεργό άνθρακα μόνο ή μαζί με παλλάδιο. Μελέτησαν το χρώμα, το μαλάκωμα και την απώλεια βάρους (παράμετροι ωρίμανσης) και ο συνδυασμός κοκκώδους ενεργού άνθρακα με παλλάδιο δούλεψε πολύ καλύτερα, οδηγώντας στην καθυστέρηση της υποβάθμισης της τομάτας και στην καλύτερη αποδοχή της από τους δοκιμαστές.



ΕΙΚΟΝΑ 24: ΦΑΚΕΛΙΣΚΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΜΑΓΓΑΝΙΚΟ ΚΑΛΙΟ

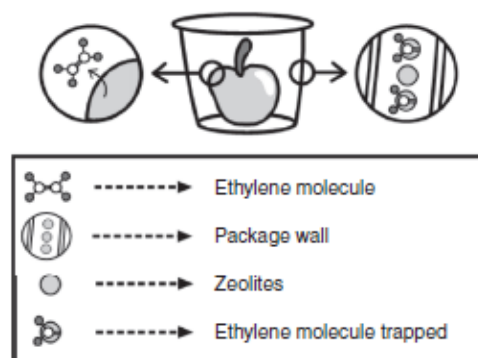
Βέβαια, η τεχνολογία πλέον έχει στραφεί στη δημιουργία πλαστικών μεμβρανών, που αποτελούνται από πολυαιθυλένιο και στην επιφάνεια των οποίων είναι διασκορπισμένα διάφορα ορυκτά, όπως άργιλοι, ζεόλιθοι, νανοάργιλοι, ιαπωνικό ογα (μοιάζει πολύ με το ζεόλιθο) και άνθρακας. Η διαφορά αυτών των πλαστικών μεμβρανών, από τις παραδοσιακές πλαστικές μεμβράνες, είναι η ευκολότερη διαφυγή του αιθυλενίου από το εσωτερικό της συσκευασίας. Μια νέα τεχνολογία απορρόφησης αιθυλενίου είναι η χρήση τετραζινών. Αυτές, μπορούν να ενσωματωθούν σε διάφορους τύπους συσκευασίας, όπως ταινίες, δίσκους και χαρτοκιβώτια. Η τεχνολογία αυτή, βασίζεται στη μη αναστρέψιμη και ειδική αντίδραση μεταξύ διενίων με έλλειψη ηλεκτρονίων και αιθυλενίου, σε αυτό που είναι γνωστό ως αντίδραση Diels-Alder. Η αντίδραση προϋποθέτει την ύπαρξη ενός διπλού δεσμού μέσα σε κυκλο-εξενικό δακτύλιο και απέναντι από τον διπλό δεσμό να είναι ενωμένοι δύο άνθρακες, που φέρουν 1 ή 2 ηλεκτρονιλεκτικές ομάδες. Οι τετραζίνες είναι γενικά έντονα χρωματισμένες ενώσεις (συνήθως κόκκινες), ενώ το προϊόν που σχηματίζεται κατά την αντίδραση με το αιθυλένιο, η διυδροπυριδαζίνη, είναι ουσιαστικά άχρωμη. Κατά συνέπεια, κατά την αντίδραση με το αιθυλένιο παρατηρείται αλλαγή χρώματος από κόκκινο/ροζ σε άχρωμο. Αυτή η αλλαγή χρώματος υποδηλώνει τον κορεσμό σε αιθυλένιο και την ανικανότητα απορρόφησης άλλου στο υλικό συσκευασίας. Η ευαισθησία στην υγρασία ορισμένων παραγώγων τετραζίνης υπό τις συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας (RH), που μπορεί να επικρατούν κατά την αποθήκευση και διανομή των φρούτων και λαχανικών,

ξεπεράστηκε με την ανάπτυξη παραγώνων τετραζίνης με μεγάλη σταθερότητα στην υγρασία (Wilson, 2007).



ΕΙΚΟΝΑ 25: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ DIELS-ALDER

Ένα άλλο φίλμ απορρόφησης αιθυλενίου είναι το Orega, που αποτελείται από ένα φίλμ πολυαιθυλενίου με διασκορπισμένο ζεόλιθο, ενεργό άνθρακα και ένα μεταλλικό οξύδιο. Αυτό το φίλμ που απορροφά το αιθυλένιο χρησιμοποιείται στην Κορέα για τη συσκευασία φρούτων και λαχανικών και έχει χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της διάρκειας ζωής των φραουλών, του μαρουλιού, μπρόκολο και άλλα ευαίσθητα στο αιθυλένιο προϊόντα (Kerry και Butler, 2008).



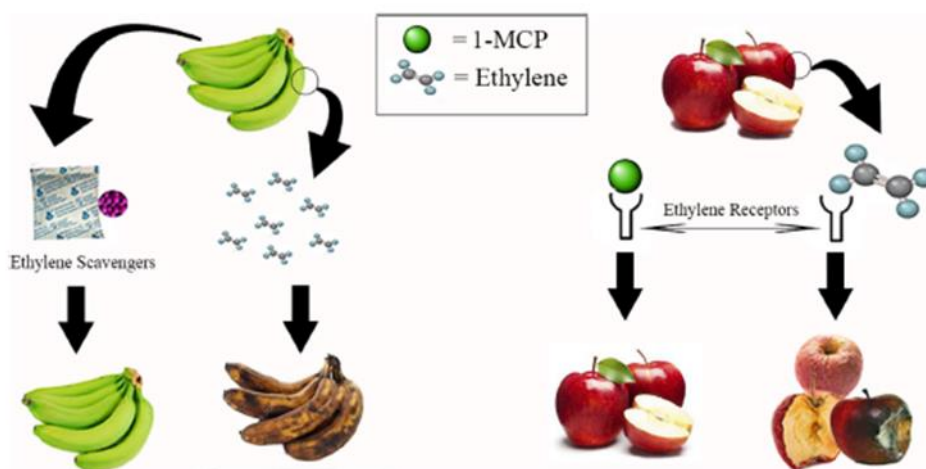
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΠΩΣ ΤΑ ΜΟΡΙΑ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΑΓΙΔΕΥΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΖΕΟΛΙΘΟΥΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΔΙΕΣΠΑΡΜΕΝΟΙ ΣΤΟ ΤΟΙΧΩΜΑ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

Μια άλλη προσέγγιση είναι η χρήση αναστολέων αιθυλενίου, όπως το 1-μεθυλοκυκλοπροπένιο (1-MCP). Το 1-MCP είναι ένα αέριο που εμποδίζει τη δράση του αιθυλενίου, μέσω της σύνδεσής του με τους υποδοχείς της φυτοορμόνης στους φυτικούς ιστούς. Έρευνες έχουν δείξει ότι η διάρκεια ζωής πολλών φρούτων, λαχανικών και

λουλουδιών μπορεί να παραταθεί με την εφαρμογή χαμηλών συγκεντρώσεων 1-MCP. Το 1-MCP διατίθεται στην αγορά από την Agro-Fresh ως SmartFresh™ (εγκεκριμένο για χρήση σε τρόφιμα) και είναι καταχωρημένο για χρήση σε περισσότερες από 25 χώρες, συμπεριλαμβανομένων των ΗΠΑ, της Ευρώπης και της Ιαπωνίας. Είναι σε μορφή λευκής σκόνης, όπου το 1-MCP είναι ενθυλακωμένο σε μοριακό παράγοντα ενθυλάκωσης όπως η ακυκλοδεξτρίνη, και η ελεγχόμενη απελευθέρωση του 1-MCP διευκολύνεται με την προσθήκη νερού σε αυτό το σύμπλοκο (Wilson, 2007). Κλείνοντας, οι απορροφητές αιθυλενίου δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, ίσως εξαιτίας της ανεπαρκούς απορροφητικής τους ικανότητας, αλλά είναι μια καλή επιλογή για τη διαχείριση του παραγόμενου αιθυλενίου (Kerry and Butler, 2008).

Ένα παράδειγμα εφαρμογής του 1-MCP είναι στα σταφύλια Κγιοho, όπου οι Zhang et al. (2015) διαπίστωσαν ότι το 1-MCP σε σακουλάκια και σε συνδυασμό με μικροβιοκτόνες σακούλες με SO₂, διατήρησαν επιτυχώς τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των σταφυλιών και κυρίως την φρεσκάδα τους (2 βαθμοί), τη σφριγηλότητα (0,6 kg), τα ολικά διαλυτά στερεά (TSS) (17%) και τη τιτλοδοτούμενη οξύτητα (TA) (0,46%) καθώς και βελτιώθηκε η ποιότητά τους και αυξήθηκε η διάρκεια ζωής τους στο ράφι σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Μία άλλη έρευνα έγινε από τους Feng et al. (2000) σε αβοκάντο, όπου το φρούτο εκτέθηκε σε διάφορες συγκεντρώσεις 1-MCP για 24 ώρες στους 22°C. Στη συνέχεια, μετά από αερισμό αφέθηκαν σε 300 ml/l αιθυλένιο για άλλες 24 ώρες στην ίδια θερμοκρασία και ύστερα χωρίς αιθυλένιο, για την παρακολούθηση της πορείας ωρίμανσης. Τελικά, αποδείχθηκε ότι η αποθήκευση για 24 ώρες με 30 - 70 nl/l 1-MCP καθυστέρησε την ωρίμανση των καρπών αβοκάντο κατά 10-12 ημέρες, μετά την οποία οι καρποί συνέχισαν την κανονική ωρίμανση. Επίσης, η 1-MCP είναι ένας ισχυρός αναστολέας της ωρίμανσης των καρπών αβοκάντο, ο οποίος ασκεί την επίδρασή του μέσω της αναστολής του αιθυλενίου.



ΕΙΚΟΝΑ 27: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΦΑΚΕΛΙΣΚΩΝ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ 1-MCP

ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΩΝ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ ΣΕ ΦΡΟΥΤΑ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΑ

ΕΙΔΟΣ ΦΡΕΣΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ	ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	ΑΡΘΡΟ
Ιαπωνικός λωτός	1-MCP/ενεργός άνθρακας που περιέχει χλωριούχο παλλάδιο	Και οι δύο μηχανισμοί αντιμετώπισης μείωσαν το μαλάκωμα των φρούτων. Το 1-MCP παρέτεινε τη διάρκεια ζωής των φρούτων ενώ το απορροφητικό αιθυλενίου ήταν αναποτελεσματικό στην παράταση της διάρκειας ζωής	Kurahashi et al. 2005
Ιαπωνικό αχλάδι	1-MCP / Purafil II/PE	Το Purafil II καθυστέρησε το κιτρίνισμα. Καλύτερη ποιότητα φαγητού σε σχέση με το 1-MCP με τη χρήση του οποίου δεν αυξήθηκε ο χρόνος αποθήκευσης των αχλαδιών σε σύγκριση με τη χρήση σακουλών πολυαιθυλενίου Purafil II.	Giraldo et al. 2005
Μπανάνα	1-MCP / nano-Ag PE συσκευασία - Τροποποιημένη ατμόσφαιρα (MA)	Χαμηλότερη περιεκτικότητα σε αιθυλένιο και CO ₂ εντός της συσκευασίας, υψηλότερη περιεκτικότητα σε O ₂ και ελάχιστες μεταβολές στη σκληρότητα και στην περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά στερεά (TSS).	Xu et al. 2018 / Illeperuma et al. 2000
Αβοκάντο	Ελεγχόμενη ατμόσφαιρα (CA)/ KMnO ₄	Διατήρηση ποιότητας αγοράς Μείωση ρυθμού ωρίμανσης Αυξανόμενη αποδοχή	Hatton and Reeder 1972

Μούσμουλο	Φακελάκια KMnO ₄	Καθυστέρηση στην ωρίμανση Χαμηλή απελευθέρωση αιθυλενίου, απώλεια βάρους Υψηλή σκληρότητα των καρπών	Bhutia et al. 2011
Ντομάτα	Ψεκασμός με φυλλώματα σεληνίου	Μείωση της μετασυλλεκτικής σήψης Βελτίωση της ποιότητας των καρπών	Zhu et al. 2016
Ακτινίδιο, Μπανάνα, Μπρόκολο και Σπανάκι φύλλα	χλωριούχο παλλάδιο	Πρόληψη της συσώρευσης του αιθυλενίου Μείωση του ρυθμού ωρίμανσης στα ακτινίδια και τις μπανάνες Μείωση της απώλειας χλωροφύλλης στα φύλλα σπανακιού, αλλά όχι στο μπρόκολο	ABE and WATADA 1991
Ντομάτα	Κοκκώδης ενεργοποιημένος άνθρακας (GAC) μόνος ή εμποτισμένος με παλλάδιο ως καταλύτη (GAC-Pd)	Μείωση της εξέλιξης του χρώματος, της αποσκλήρυνσης και της απώλειας βάρους Καθυστέρηση αποσύνθεσης της ντομάτας	Bailen et al. 2006
Σταφύλια Kyoho	1-MCP /SO ₂ ως μυκητοκτόνο	Διατήρηση της οργανοληπτικής, φυσικοχημικής και φυσιολογικής ποιότητας αναφορικά με τον έλεγχο	Zhang et al. 2015
Μπανάνες και Αβοκάντο	Ζεόλιθος εμποτισμένος με παλλάδιο	Επέκταση της διάρκειας ζωής Καλύτερη διατήρηση της σφριγηλότητας των φρούτων	Smith et al. 2009

Μήλο με ζάχαρη	KMnO ₄ σε σακούλες TNT (μη καθορισμένο συνθετικό πολυμερές) / φιλμ PVC (3, 6, 9 και 12%)	Καθυστέρηση της ωρίμανσης των καρπών που αυξάνει την περίοδο που οι καρποί θα φτάσουν στο μέγιστο περιεχόμενο στερεών διαλυτών ουσιών Αύξηση του pH Μείωση της τιτλοδοτούμενης οξύτητας	Chaves et al. 2007
Ντομάτα	KMnO ₄ /ζεόλιθος	Επέκταση της διάρκειας ζωής Επιβράδυνση της αλλοίωσης από μούχλα	Dobrucka et al. 2017
Παπάγια	KMnO ₄	Καθυστέρηση της ωρίμανσης των φρούτων	Silva et al. 2009
Ροδάκινο και νεκταρίνι	Νανο-ζεόλιθοι με επικάλυψη υπερμαγγανικού καλίου	Πρόληψη της απώλειας βάρους Μείωση της σκληρότητας, αλλοίωση Αύξηση της διάρκειας ζωής και της ποιότητας	Emadpour et al. 2015
Ροδάκινο	Αμινοαιθοξυβινυλογλυκίνη (AVG) και εξωγενείς πολυαμίνες	Αναστολή της απελευθέρωσης αιθυλενίου και στις δύο επεξεργασίες Καθυστερημένο μαλάκωμα της σάρκας	Bregoli et al. 2002

Πηγή: Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., & Farhoodi, M. (2021). *Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A Review*. International Journal of Environmental Science and Technology, 19(5), 4599–4610. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03485-x>

3.2.5 Έλεγχος οσμών

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες ενεργής συσκευασίας για την απομάκρυνση οσμών που παράγονται στα τρόφιμα. Οι ουσίες αυτές είναι πτητικές ενώσεις και μπορούν να συσσωρευτούν στο εσωτερικό μιας συσκευασίας ως προϊόν της αντίδρασης αποικοδόμησης των τροφίμων, όπως αλδεΐδες, αμίνες και σουλφίδια. Ωστόσο, ορισμένα προϊόντα, όπως τα κρεμμύδια και οι πατάτες, έχουν μια φυσική πικάντικη οσμή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, πρωταρχικό μέλημα είναι η πρόληψη της διασταυρούμενης επιμόλυνσης κατά την αποθήκευση και τη μεταφορά μικτών φορτίων που περιέχουν αυτά τα προϊόντα. Ένα παράδειγμα, αποτελεί το φρούτο durian (Wilson, 2007). Το Durian, *Durio zibethinus* (οικογένεια: *Bombacaceae*), είναι ένα από τα 12 βρώσιμα είδη αυτού του γένους. Ο καρπός είναι μεγάλος σε σχήμα ωοειδές ή ωοειδές έως σφαιρικό, αγκαθωτό, πρασινοκάστανο έως

χρυσοκάστανο, και ζυγίζει 1-4 κιλά. Χωρίζεται σε πέντε τμήματα όταν είναι ώριμο και έχει 1-7 σαρκώδεις καρπούς σε κάθε τμήμα. Είναι κρεμ, λευκά ή κίτρινα, περικλείουν ένα μεγάλο ελλειψοειδές σπόρο και έχουν θειώδη οσμή που πολλοί βρίσκουν δυσάρεστη. Παρά τη μυρωδιά αυτή, το φρούτο ντούριαν είναι ένα από τα πιο αγαπητά φρούτα στον κόσμο (Lim και Sangchote, 2003). Εξαιτίας όμως της ιδιαίτερα έντονης οσμής του έχει απαγορευτεί σε όλες τις διεθνείς αεροπορικές εταιρείες και σχεδόν σε όλες τις μικτές αποθήκες, γεγονός που έχει περιορίσει σημαντικά τη διανομή αυτού του φρούτου παρά το ότι είναι ιδιαίτερα πολύτιμο στη Νοτιοανατολική Ασία για την εξαιρετική του γεύση (Wilson, 2007).

Ένα, λοιπόν, από τα προβλήματα στο σχεδιασμό μιας συσκευασίας με προστασία από τις οσμές για φρέσκα προϊόντα, όπως το durian είναι ότι τα προϊόντα πρέπει να αναπνέουν, οπότε η συσκευασία πρέπει να επιτρέπει την κίνηση των αερίων και ταυτόχρονα να περιορίζει τη μεταφορά των πτητικών οσμών προς τα έξω. Έχει σχεδιαστεί μια συσκευασία με προστασία από τις οσμές για την αποθήκευση και τη μεταφορά του durian, η οποία είναι από ένα αδιαπέραστο από τις οσμές πλαστικό, όπως το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET) ή το πολυαιθυλένιο κατάλληλου πάχους, ώστε να εμποδίζεται η μεταφορά της οσμής, μαζί με μια θύρα για να επιτρέπει τη διέλευση των αναπνευστικών αερίων. Πάνω από αυτή τη θύρα στερεώνεται ένα φακελάκι, που περιέχει ένα υλικό απορρόφησης οσμών από μείγμα ξυλάνθρακα και περίπου 10% κ.β. νικέλιο. Η προσέγγιση αυτή βρέθηκε επιτυχής σε εργαστηριακές δοκιμές στην πρόληψη της διαφυγής των κύριων συστατικών οσμής του durian, και συγκεκριμένα της προπανοθειόλης, του δισουλφιδικού αιθυλεστέρα και του βουτυρικού μεθυλεστέρα, και απέδωσε στη συνολική προστασία του από τις οσμές (Wilson, 2007).

3.2.6 Σύστημα αντιμικροβιακής συσκευασίας

Η κύρια αιτία αλλοίωσης και μείωσης της διάρκειας ζωής των φρούτων και των λαχανικών είναι η ύπαρξη μικροβίων στην επιφάνειά τους. Ο πληθυσμός των αλλοιογόνων μικροοργανισμών αυξάνεται όσο δεν τηρούνται σωστά οι διαδικασίες συγκομιδής, μεταφοράς, επεξεργασίας και συσκευασίας. Τα φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά περιέχουν μικτή αρχική χλωρίδα κολοβακτηριδίων, ιδίως *E. coli*, βακτηρίων γαλακτικού οξέος, *Pseudomonas* και *Erwinia*. Ωστόσο, οι κύριες αιτίες της επιμόλυνσης των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών είναι οι ζύμες, οι μούχλες και οι ψευδομονάδες, ιδίως όταν αποθηκεύονται αερόβια υπό ψύξη (Ahvenainen, 1996, May and Fickak, 2003)

Στα συστήματα αντιμικροβιακής συσκευασίας για φρούτα και λαχανικά, προτιμάται η δράση εξ αποστάσεως, καθώς αρκετά προϊόντα δεν έρχονται σε επαφή με τη συσκευασία (Wilson, 2007). Επίσης, η εφαρμογή αντιμικροβιακών παραγόντων απευθείας

στην επιφάνεια των τροφίμων έχει περιορισμένα οφέλη, καθώς οι δραστικές ουσίες εξουδετερώνονται κατά την επαφή με την επιφάνεια του φρούτου ή του λαχανικού ή διαχέονται γρήγορα από την επιφάνεια σε αυτό. Πολύ αποτελεσματικές είναι οι αντιμικροβιακά βρώσιμες μεμβράνες και επιστρώσεις, διότι παρέχουν καλά ανασταλτικά αποτελέσματα κατά των βακτηρίων αλλοίωσης και των παθογόνων βακτηρίων, διατηρώντας τις συγκεντρώσεις των δραστικών ενώσεων στην επιφάνεια των τροφίμων (Gennadios and Kurth, 1997). Στην πραγματικότητα, οι βρώσιμες μεμβράνες μπορούν να σχεδιαστούν έτσι, ώστε να επιβραδύνουν τη διάχυση των αντιμικροβιακών ουσιών, άρα και να δρουν πιο αποτελεσματικά στην επιφάνεια των οπωροκηπευτικών. Αντιμικροβιακές ουσίες που θεωρούνται κατάλληλες για ενσωμάτωση σε βρώσιμες μεμβράνες και επικαλύψεις είναι τα οργανικά οξέα (οξικό, βενζοϊκό, γαλακτικό, προπιονικό και σορβικό), οι εστέρες λιπαρών οξέων (μονολαυρικό γλυκερύλιο), τα πολυπεπτίδια (λυσοζύμη, υπεροξειδάση, λακτοφερρίνη και νισίνη), τα φυτικά αιθέρια έλαια (κανέλα, ρίγανη και λεμονόχορτο) και τα νιτρώδη και θειώδη άλατα (Franssen and Krochta, 2003).

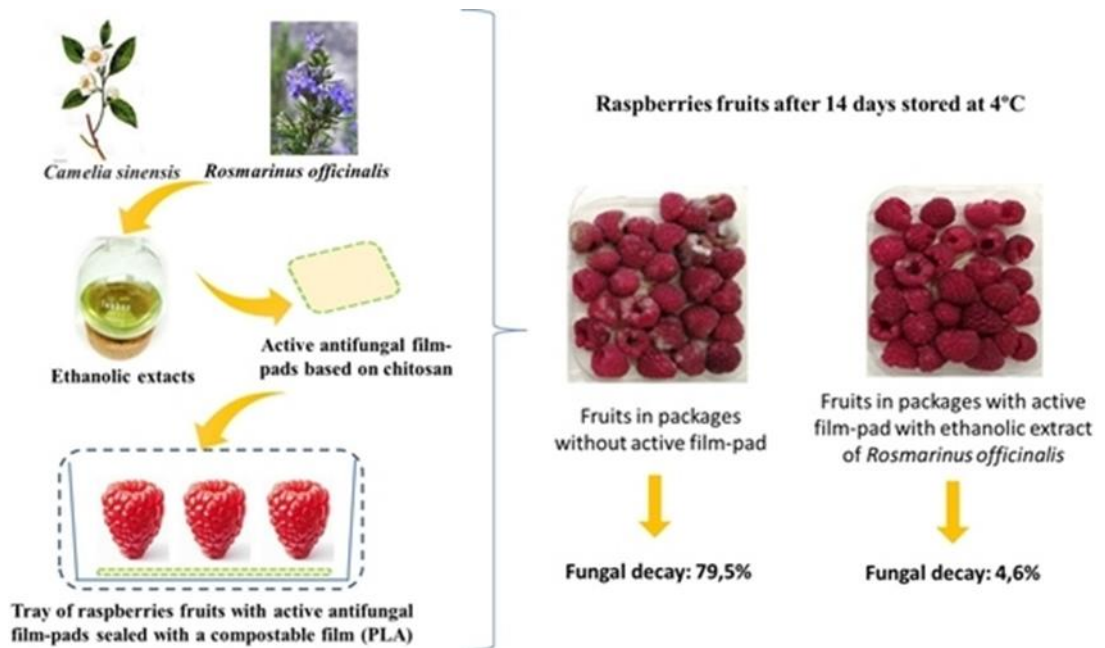
Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες γύρω από αυτό το αντικείμενο. Για παράδειγμα, οι Chien et al. (2007) ανέφεραν την αποτελεσματικότητα της χιτοζάνης στη διατήρηση της ποιότητας και την παράταση του χρόνου ζωής του μάνγκο σε φέτες. Φέτες μάνγκο υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με επικάλυψη χιτοζάνης σε διάφορα ποσοστά 0%, 0,5%, 1% ή 2% κ.β. και συσκευάστηκαν με PVDC και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στους 6°C. Αξιολογήθηκαν οι αλλαγές στις οργανοληπτικές ιδιότητες της γεύσης, του χρώματος και της απώλειας ύδατος. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι φέτες μάνγκο με επικάλυψη χιτοζάνης επιβράδυνε την απώλεια ύδατος και την μείωση της οργανοληπτικής ποιότητας, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά, την τιτλοδοτούμενη οξύτητα και την περιεκτικότητα σε ασκορβικό οξύ. Επίσης, ανέστειλε την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Τα αποτελέσματα της μικροβιολογικής ανάλυσης των κομμένων σε φέτες φρούτων μάνγκο χωρίς επικάλυψη χιτοζάνης ήταν 6,41 log CFU/g στο τέλος της αποθήκευσης ενώ με επικάλυψη χιτοζάνης (2% κ.β.) 5,341 log CFU/g στο τέλος της αποθήκευσης.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Ghaouth et al. (1991), η επίδραση της επικάλυψης χιτοζάνης (1,0 και 1,5% κ.β.) στο χρόνο ζωής καρπών φράουλας στους 13°C ο οποίος αξιολογήθηκε σε σύγκριση με τη χρήση ενός μυκητοκτόνου, iprodione (Rovralm) ήταν αρκούτως θετική λόγω σημαντικής μείωσης των αλλοιώσεων στην πρώτη περίπτωση. Ωστόσο, σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων δε παρατηρήθηκε πριν το πέρας της 21ης ημέρας αποθήκευσης όπου οι επεξεργασμένοι με Rovralm καρποί φράουλας άρχισαν να αποσυντίθενται με υψηλότερο ρυθμό σε σχέση με τα επικαλυμμένα με χιτοζάνη. Η

παραπάνω σύγκριση πραγματοποιήθηκε και για τους καρπούς φράουλας που αποθηκεύτηκαν στους 4°C. Οι επικαλυμμένοι με χιτοζάνη καρποί φράουλας ήταν πιο σφικτοί, είχαν υψηλότερη τιτλοδοτούμενη οξύτητα και σύνθεση ανθοκυάνης σε σύγκριση με τα επεξεργασμένα με RonGalim ή μη επεξεργασμένα. Η χιτοζάνη μείωσε τον ρυθμό αναπνοής των καρπών φράουλας με μεγαλύτερη επίδραση σε υψηλότερη συγκέντρωση. Συνοψίζοντας, η μελέτη μας έδειξε ότι η επίστρωση συντηρητικού με χιτοζάνη ήταν ικανή να παρατείνει τη διάρκεια αποθήκευσης και να ελέγχει τη σήψη των φράουλων, ακόμη και σε υψηλότερες θερμοκρασίες αποθήκευσης λόγω της ικανότητάς της να τροποποιεί την εσωτερική ατμόσφαιρα.

Οι Durango et al. (2006) αναφέρουν πως η επικάλυψη χιτοζάνης μαζί με άμυλο γλυκοπατάτας ελέγχει τη μικροβιολογική ανάπτυξη σε ελάχιστα μεταποιημένα καρότα. Ειδικότερα, τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η χρήση βρώσιμων αντιμικροβιακών επικαλύψεων με βάση το άμυλο γλυκοπατάτας μαζί με παρουσία 1,5% χιτοζάνης μπορούν να αναστείλουν την ανάπτυξη ολικών κολοβακτηριδίων και βακτηρίων γαλακτικού οξέος καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου αποθήκευσης. Το πείραμα βασίστηκε σε δείγματα ελάχιστα επεξεργασμένων καρότων κομμένων σε φέτες και βυθισμένων σε επικαλύψεις με βάση (i) 4% άμυλο γλυκοπατάτας (w/w) + 2% γλυκερίνη (w/w), (ii) 4% άμυλο γλυκοπατάτας (w/w) + 2% γλυκερίνη (w/w) και χιτοζάνη σε συγκεντρώσεις 0,5% και (iii) 4% άμυλο γλυκοπατάτας (w/w) + 2% γλυκερίνη (w/w) και χιτοζάνη σε συγκεντρώσεις 1,5%. Όλα τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε διογκωμένη πολυστερίνη, τυλίχθηκαν σε μεμβράνη πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και αποθηκεύτηκαν στους 10°C για 15 ημέρες. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, όλα τα δείγματα είχαν καταμέτρηση <100 CFU/g για *Staphylococcus aureus* και <3 MPN/g για την *Escherichia coli*.

Οι Amanatidou et al. (2000) παρατήρησαν ότι σε ελάχιστα μεταποιημένα καρότα εφαρμόζοντας χλωριούχο ασβέστιο και 0,1% ή 0,5% κιτρικού οξέος μαζί με βρώσιμη επικάλυψη 2% αλγινικού νατρίου μειώνεται τουλάχιστον κατά 1 ή 2 log CFUg⁻¹ αντίστοιχα το μικροβιακό φορτίο και παρατείνεται η διάρκεια ζωής τους από 5 έως 7 ημέρες. Συγκεκριμένα, η παραπάνω συνδυαστική επεξεργασία επηρέασε την ανάπτυξη της μικροβιακής χλωρίδας έως και 4 μέρες αποθήκευσης, αλλά μετά από 8 μέρες, δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στον ολικό αριθμό των μικροοργανισμών.



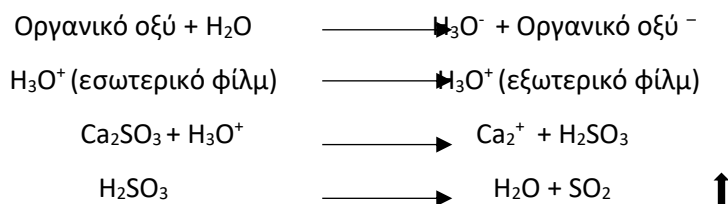
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΤΙΜΥΚΗΤΗΣΙΑΚΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥ ΦΙΛΜ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΧΙΤΟΣΑΝΗ ΣΕ ΜΟΥΡΑ

Συγχρόνως, οι Valverde et al. (2005) πρότειναν ως εναλλακτική λύση, τη χρήση βρώσιμων επικαλύψεων με *Aloe vera*, οι οποίες βοηθούν στη μείωση της απώλειας υγρασίας, της αποσύνθεσης της υφής και του ελέγχου του ρυθμού αναπνοής των επιτραπέζιων σταφυλιών και των γλυκών κερασιών, αντίστοιχα, μειώνοντας παράλληλα τον πολλαπλασιασμό των μικροβίων. Αναλυτικά, διεξήγαγαν μελέτη σχετικά με την επίδραση της *Aloe vera* σε επιτραπέζια σταφύλια. Η μελέτη διαπίστωσε ότι τα σταφύλια που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με *Aloe vera* (25%) είχαν αυξημένη διάρκεια ζωής έως και 35 ημέρες σε θερμοκρασία 1°C. Η επεξεργασία οδήγησε επίσης σε σημαντική καθυστέρηση της απώλειας βάρους, των αλλαγών στο χρώμα, της μειωμένης μαλάκυνσης και της ωρίμανσης. Το μικροβιακό φορτίο των μεσόφιλων αερόβιων βακτηρίων, των ζυμών και των μούχλας μειώθηκε αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Αντιθέτως, τα μη επικαλυμμένα δείγματα παρουσίασαν ταχεία αλλοίωση με εκτιμώμενη διάρκεια ζωής 7 ημέρες στους 1°C και συν 4 ημέρες στους 20 °C, με βάση την ταχεία απώλεια βάρους, τις χρωματικές αλλαγές, την επιταχυνόμενη ωρίμανση και το μαύρισμα.

Ένα άλλο παράδειγμα αντιμικροβιακής συσκευασίας είναι το διοξείδιο του θείου, το οποίο είναι ένα αέριο με αντιμικροβιακές ιδιότητες κατά του μύκητα *Botrytis cinerea*, ο οποίος προκαλεί στα σταφύλια τη γκρίζα μούχλα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ψυκτικούς χώρους αποθήκευσης του προϊόντος με υποκαπνισμό ή να τοποθετηθεί σε μαξιλαράκια στο εσωτερικό της συσκευασίας. Ο μηχανισμός δράσης του διοξειδίου του θείου βασίζεται στην αντίδραση του νερού με το μεταδιθειώδες νάτριο, που με τη σειρά του ενσωματώνεται στα χάρτινα ή πλαστικά στρώματα μιας μεμβράνης ή σε φακελίσκους. Ο ρυθμός απελευθέρωσης

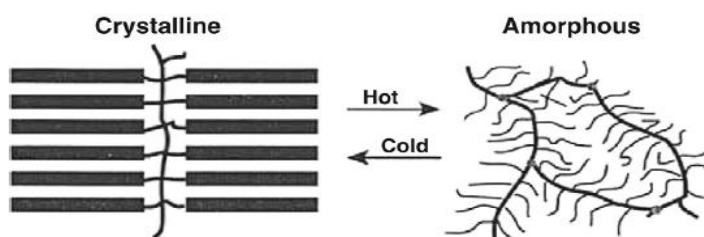
εξαρτάται από τη σχετική υγρασία του αέρα, θα πρέπει να είναι ελεγχόμενος, καθώς το όριο ανοχής σε SO₂ είναι έως τα 10 ppm (όριο ανοχής με βάση την EPA, την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος), ενώ ο κορεσμός του εσωτερικού μιας συσκευασίας με SO₂, οδηγεί σε λεύκανση των φρούτων (Wilson, 2007).

Έχουν γίνει προσπάθειες ενσωμάτωσης σε πλαστικά φιλμ με ελεγχόμενη απελευθέρωση διοξειδίου του θείου. Ένα τέτοιο φιλμ έχει δημιουργηθεί από τους Steele and Zhou (1994), το οποίο αποτελείται από δύο πολυστρωματικές μεμβράνες. Η εξωτερική μεμβράνη περιέχει το θειώδες ασβέστιο και η εσωτερική ένα οργανικό οξύ, όπως το κιτρικό ή στεατικό. Η υγρασία απορροφάται από την εσωτερική μεμβράνη που περιέχει το οξύ, το οποίο με τη σειρά του προκαλεί τη μετανάστευση ιόντων υδρογόνου από την ένωση του οξέος στην εξωτερική μεμβράνη. Η αντίδραση του οξέος με το θειώδες ασβέστιο έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση διοξειδίου του θείου, ενώ ο ρυθμός απελευθέρωσης του διοξειδίου του θείου μπορεί να ελεγχθεί μέσω της κατάλληλης επιλογής του pK_a του οξέος και της διαπερατότητας σε υγρασία της εσωτερικής μεμβράνης. Ο Corrigan (2000) ανέπτυξε ένα σύστημα, το οποίο βασίζεται στη δράση του νερού σε μεταδιθειώδες νάτριο, που είναι ενσωματωμένο στο πολυμερές και ο ρυθμός απελευθέρωσης του διοξειδίου του θείου από το φιλμ ελέγχεται με την επιλογή μιγμάτων πολυμερών με κατάλληλα ποσοστά διαπερατότητας υδρατμών. Η αντίδραση έχει ως εξής (Wilson, 2007):



Το διοξείδιο του χλωρίου (ClO₂) είναι ένα βιοκτόνο αέριο ευρέος φάσματος, που χρησιμοποιείται συνήθως για την απολύμανση τόσο στην ιατρική όσο και στη βιομηχανία τροφίμων. Στη βιομηχανία μπορεί να προστεθεί στο μέσο πλύσης για καθαρισμό φρούτων, λαχανικών ή χρησιμοποιείται για την επεξεργασία του πόσιμου νερού. Ο τρόπος δράσης του ClO₂ είναι η διάσπαση των κυτταρικών μεμβρανών, με αποτέλεσμα την παρεμπόδιση της μεταφοράς των θρεπτικών συστατικών, που οδηγεί στη θανάτωση των μικροβιακών κυττάρων. Η Microsphere της MicroActive Corporation επιτρέπει τη διαρκή απελευθέρωση του διοξειδίου του χλωρίου, μέσω ενός μηχανισμού, ο οποίος περιέχει ανιόντα όπως χλωριώδες νάτριο, ενθυλακωμένα σε έναν πυρήνα, προς σχηματισμό αερίου διοξειδίου του χλωρίου. Ο πυρήνας αυτός, περιβάλλεται από ένα υδρόφοβο στρώμα που περιέχει ένα συστατικό που απελευθερώνει οξύ. Η απελευθέρωση διοξειδίου του χλωρίου προκαλείται από την κίνηση των ενυδατωμένων πρωτονίων (που σχηματίζονται κατά την υδρόλυση του

όξινου συστατικού) από το εξωτερικό στρώμα προς τον εσωτερικό πυρήνα. Ο ρυθμός απελευθέρωσης του οξέος εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τα επίπεδα υγρασίας, και αυτό με τη σειρά του ελέγχει το ρυθμό απελευθέρωσης διοξειδίου του χλωρίου. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια άλλη τεχνολογία, που ενεργοποιείται με το φως, επειδή είναι ευαίσθητο στην υγρασία. Το σύστημα Microsphere μπορεί να ενσωματωθεί σε μεμβράνες, επιστρώσεις και κόλλες ή να χρησιμοποιηθεί ως σκόνη και έχει έγκριση για εφαρμογές που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα (Wilson, 2007).



ΕΙΚΟΝΑ 29: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ INTELLIMER®

Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα και νέες τεχνολογίες

4.1 Συμπεράσματα

Από την παρούσα εργασία καταδεικνύεται ότι η ανάπτυξη της κατάλληλης συσκευασίας για ένα φρέσκο προϊόν, όπως είναι τα φρούτα και τα λαχανικά, δεν είναι εύκολη υπόθεση. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε διάφορες παραμέτρους, όπως τη φυσιολογία του προϊόντος (ρυθμός αναπνοής, διαπνοής, παραγωγής αιθυλενίου), τις συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσής του, τον τύπο και τη φύση του υλικού συσκευασίας. Γι' αυτό υπάρχουν διάφορα μαθηματικά μοντέλα, τα οποία βοηθούν στο σχεδιασμό της επιθυμητής κάθε φορά συσκευασίας (Giuggioli et al., 2018).

Η ανάπτυξη των υλικών συσκευασίας και κυρίως η απαίτηση των καταναλωτών για υγιεινά, ποιοτικά, φυσικά και έτοιμα προς κατανάλωση φρούτα και λαχανικά, οδήγησαν στην εξέλιξη της ενεργής συσκευασίας για αυτά τα προϊόντα. Από τα συστήματα ενεργής συσκευασίας που εξετάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, καθώς και από τις μελέτες που υπάρχουν στη βιβλιογραφία συμπεραίνουμε, ότι το κυριότερο σύστημα συσκευασίας που έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, κυρίως σε φρούτα και εν μέρει σε λαχανικά, είναι ο απορροφητής αιθυλενίου. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες μελέτες, οι οποίες έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα των απορροφητών αιθυλενίου στη διατήρηση της ποιότητας και στην επέκταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων. Μερικά παραδείγματα, είναι η χρήση φακελίσκων με KMnO_4 σε φρούτο *sarota*, στο οποίο το μαλάκωμα και η απώλεια βάρους μειώθηκε, ενώ παρατάθηκε η διάρκεια ζωής του έως και 13 ημέρες σε συνθήκες δωματίου (Ebrahimi, 2021). Οι Dobrucka et al. (2017) ενσωμάτωσαν 1 - 2 g KMnO_4 σε φορέα ζεόλιθο σε τομάτες, οι οποίες αποθηκεύτηκαν σε θερμοκρασία δωματίου μέσα σε συσκευασία από πολυστυρένιο. Τα πρώτα σημάδια μούχλας εμφανίστηκαν την 9^η ημέρα, χωρίς τον απορροφητή αιθυλενίου, ενώ στις συσκευασίες όπου προστέθηκε, εμφανίστηκαν την 50^η ημέρα. Οι Feng et al. (2000), χρησιμοποίησαν αναστολέα αιθυλενίου, το 1 MCP σε αβοκάντο σε διάφορες συγκεντρώσεις για 24 ώρες στους 22 °C και αποδείχθηκε ότι αποθήκευση σε αυτές τις συνθήκες και με 30 - 70 nl/l 1-MCP καθυστέρησε την ωρίμανση των καρπών αβοκάντο κατά 10-12 ημέρες, μετά την οποία οι καρποί συνέχισαν την κανονική ωρίμανση.

Ωστόσο, με βάση τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί, τα συστήματα ενεργής συσκευασίας που χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι αυτά που απελευθερώνουν αντιμικροβιακές ενώσεις στα τρόφιμα κατά τη διάρκεια της αποθήκευσής τους, προκειμένου να αυξήσουν τη διάρκεια ζωής τους (Brockgreitens, 2015). Οι μικροοργανισμοί είναι η βασικότερη αιτία ποιοτικής υποβάθμισης των φρέσκων φρούτων και λαχανικών, επομένως

δικαίως αποτελεί την πλέον μελετημένη μορφή συσκευασίας (Zavala et al., 2008). Παραδείγματος χάριν, οι Chien et al. (2007) ανέφεραν την αποτελεσματικότητα της χιτοζάνης στη διατήρηση της ποιότητας και την παράταση του χρόνου ζωής του μάνγκο σε φέτες. Αυτές, που δεν είχαν επικάλυψη χιτοζάνης είχαν 6,41 log CFU/g στο τέλος της αποθήκευσης, ενώ αυτές με επικάλυψη χιτοζάνης (2% κ.β.) είχαν 5,341 log CFU/g. Επίσης, σε ελάχιστα μεταποιημένα καρότα, παρατηρήθηκε από τους Amanatidou et al. (2000) μείωση τουλάχιστον 2 log CFUg⁻¹ στο μικροβιακό φορτίο με την εφαρμογή του χλωριούχου ασβεστίου και του κιτρικού οξέος μαζί με βρώσιμη επικάλυψη αλγινικού νατρίου και ο χρόνος ζωής τους αυξήθηκε από 5 έως 7 ημέρες. Τέλος, οι Valverde et al. (2005) πρότειναν ως εναλλακτική λύση, τη χρήση βρώσιμων επικαλύψεων με Aloe vera. Τα μη επικαλυμμένα δείγματα παρουσίασαν ταχεία αλλοίωση με εκτιμώμενη διάρκεια ζωής 7 ημέρες στους 1°C και συν 4 ημέρες στους 20 °C, με βάση την ταχεία απώλεια βάρους, τις χρωματικές αλλαγές, την επιταχυνόμενη ωρίμανση και το μαύρισμα. Αντίθετα, τα δείγματα που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με επικάλυψη Aloe vera καθυστέρησαν σημαντικά τις παραπάνω παραμέτρους που σχετίζονται με τις απώλειες ποιότητας μετά τη συγκομιδή, και η διατηρησιμότητα μπορούσε να παραταθεί έως και 35 ημέρες στους 1°C.

4.2 Νέες τεχνολογίες και εξελίξεις

Τα τελευταία χρόνια, τα συμβατικά συστήματα ενεργής συσκευασίας αντικαθίστανται από νέα. Ένα από αυτά, ίσως το πιο γνωστό και επίκαιρο είναι τα νανοσωματίδια. Η ενσωμάτωση νανοσωματιδίων είναι μια νέα πολλά υποσχόμενη τάση συσκευασίας. Περιλαμβάνει τη χρήση υλικών σε εξαιρετικά μικρό μέγεθος, μεταξύ 1 και 100 nm, τα οποία ενσωματώνονται σε μια πολυμερή μήτρα με στόχο την παράταση της διάρκειας ζωής των συσκευασμένων τροφίμων (Yildirim, 2017). Αυτά τα ενεργά νανοσωματίδια αποτελούνται από σύνθετα πλαστικά (δηλαδή ένα πολυμερές μείγμα) και ένα ενεργό νανοδομημένο υλικό, το οποίο προσδίδει δραστηριότητα στην πλαστική μήτρα. Ανόργανα ή οργανικά νανοσωματίδια ενσωματώνονται στα θερμοπλαστικά πολυμερή υλικά και αυξάνουν τα χαρακτηριστικά απόδοσης των πλαστικών συσκευασιών μέσω υψηλής διασποράς στην πολυμερική μήτρα (Bodbodak, 2016). Μπορούν να αλλάξουν εντελώς τα χαρακτηριστικά των υλικών στα οποία προστίθενται. Στη συσκευασία, τα νανοσωματίδια έχουν χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των χαρακτηριστικών διαπερατότητας αερίων και υγρασίας των πλαστικών, καθώς επίσης και για να ενισχύσουν τις ιδιότητες φραγμού τους, να βελτιώσουν τη μηχανική τους αντοχή και να κάνουν τις επιφάνειές τους ανтимικροβιακές. Σύμφωνα με τον Dr Manuel Marquez, ανώτερο επιστήμονα της Kraft Foods, "η νανοτεχνολογία θα έχει ευρείες, σαρωτικές εφαρμογές που έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων" (Wilson, 2007). Σύμφωνα με τον Bodbodak, η έρευνα για την

εφαρμογή των νανοσύνθετων υλικών στις ενεργές συσκευασίες θα πρέπει να επικεντρωθεί σε μεμβράνες απελευθέρωσης αντιοξειδωτικών, συστήματα απορρόφησης/ρύθμισης του φωτός, μεμβράνες που περιέχουν χρώμα, αντιθαμπωτικές και αντικολλητικές μεμβράνες, υποδεκτές για θέρμανση με μικροκύματα, διαπερατές/αναπνεύσιμες μεμβράνες, βιοδραστικούς παράγοντες για ελεγχόμενη απελευθέρωση και εντομοαπωθητικές συσκευασίες (Bodbodak, 2016).

Πέρα από τη νανοτεχνολογία υπάρχουν και άλλες καινοτόμες μέθοδοι, τα αποτελέσματα των οποίων είναι θετικά στα φρούτα και τα λαχανικά. Μία τέτοια μέθοδος είναι η εφαρμογή ακτινοβολίας χαμηλής δόσης (low - dose irradiation) σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά, η οποία καθυστερεί την ωρίμασή τους και μειώνει τους πληθυσμούς των βακτηρίων, παρασίτων και πρωτόζωων. Αυτή η μέθοδος έχει εγκριθεί από τον FDA για χρήση σε φρούτα και λαχανικά σε μέγιστο επίπεδο 1,0 kGy. Ωστόσο, μόνο για το iceberg και το σπανάκι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέγιστη δόση 4,0 kGy. Η χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας στα υπόλοιπα τρόφιμα παραμένει υπό εξέταση. (Food & Drug Administration, H. H. S., 2008). Επιπρόσθετα, για την καθυστέρηση της ανάπτυξης του μικροοργανισμού *Botrytis cinerea* (μούχλα) και της σήψης *Rhizopus* στις φράουλες, συνιστάται η ακτινοβολία γάμμα σε δόσεις έως 3 kGy στους 1-5 °C. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται, επίσης, ότι η ακτινοβολία γάμμα 0,1-3,0 kGy συμβάλλει στην παράταση της διατηρησιμότητας και την αύξηση της διάρκειας ζωής των φραουλών, των κερασιών, των βερίκοκων και των μήλων, χωρίς απώλεια της οργανοληπτικής ποιότητας (Hussain et al., 2008).

Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) και συγκεκριμένα η UV-C, δηλαδή από 100 έως 280 nm, είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος, που εφαρμόζεται σε φρέσκα φρούτα και λαχανικά, καθώς δρα άμεσα ή έμμεσα ως αντιμικροβιακός παράγοντας. Ο τρόπος δράσης είναι κυρίως η άμεση βλάβη στο DNA των βακτηρίων. Χαμηλές δόσεις ακτινοβολίας UV-C (254 nm) μειώνουν επίσης τη φθορά ενός ευρέος φάσματος φρούτων και λαχανικών, όταν εφαρμόζεται μετά τη συγκομιδή (Ben-Yehoshua και Mercier, 2005).

Το παλμικό φως (PL) είναι μια εναλλακτική τεχνολογία έναντι του υπεριώδους φωτός. Βασίζεται στη χρήση παλμών υψηλής συχνότητας μικρού χρόνου με ευρύ φάσμα φωτός σε μήκος κύματος 100-1100 nm. Λόγω του συνεχούς παλμικού φωτός, η δομή του μικροβιακού DNA καταρρέει και έτσι επιτυγχάνεται παράταση της διάρκειας ζωής του τροφίμου. Βέβαια, η αποτελεσματικότητα αυτής της επεξεργασίας μπορεί να μειωθεί λόγω της απορρόφησης του μήκους κύματος από ορισμένα συστατικά του τροφίμου. Έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες για την αδρανοποίηση μικροοργανισμών με την εφαρμογή PL στην επιφάνεια νωπών προϊόντων, όπως των *Botrytis cinerea* και *Monilia fructigena* στη φράουλα

(Marquenie et al., 2003) και *Escherichia coli* και *Listeria innocua* σε φρέσκα μανιτάρια (Ramos Villarroe et al., 2012). Ο Xu (2014), απέδειξε πρόσφατα ότι η *Salmonella Enteric* αδρανοποιείται με παλμικό φως στην επιφάνεια των φρέσκων κρεμμυδιών. Το PL έχει και αντιμικροβιακές ιδιότητες, αλλά και διατηρεί τη θρεπτική ποιότητα των φρεσκοκομμένων φρούτων και λαχανικών (Palgan et al., 2011).

Μία ακόμη μέθοδος είναι η επεξεργασία υψηλής πίεσης (HPP), η οποία είναι μια μη θερμική τεχνολογία που αδρανοποιεί τα ένζυμα και τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς, υποβάλλοντας το τρόφιμο σε υψηλή πίεση που κυμαίνεται μεταξύ 100 έως 1000 MPa. Αυτή η τεχνική είναι καλύτερη από την παραδοσιακή θερμική επεξεργασία, καθώς διατηρεί τη γεύση των τροφίμων χωρίς την απώλεια θρεπτικών συστατικών, ενώ είναι ιδανική για την επεξεργασία φρούτων και λαχανικών, που είναι ευαίσθητα στο ενζυμικό μαύρισμα, στο μαλάκωμα και στη μικροβιακή μόλυνση. Φυσικά, επειδή μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή της υφής των τροφίμων ή να διαταράξει τη χημική και μικροβιακή σταθερότητά τους, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, κυρίως στην πίεση και στους χρόνους εφαρμογής της μεθόδου. Έτσι, η HPP θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες για την ελαχιστοποίηση της απώλειας των θρεπτικών συστατικών, της γεύσης και του χρώματος. Έρευνες έχουν δείξει ότι σε θερμοκρασία 25 έως 40° C με 350 MPa μπορεί να μειώσει σημαντικά το μικροβιακό φορτίο στα φρέσκα κρεμμύδια. Επίσης, το πράσινο χρώμα σε φυλλώδη λαχανικά βελτιώθηκε όταν η επεξεργασία έγινε στα 500 MPa για 1 λεπτό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η εφαρμογή θερμοκρασίας 18° έως 22°C με πίεση 400 ή 800 MPa για 15 λεπτά σταθεροποίησε τις χρωστικές ουσίες στο βατόμουρο. Από την άλλη, παρατηρήθηκε μαλάκωμα σε μήλα, αχλάδια, πορτοκάλια, στην πράσινη πιπεριά και την κόκκινη πιπεριά μετά από επεξεργασία HPP πάνω από 200 MPa στους 20 °C για 20 λεπτά. Η επεξεργασία υψηλής πίεσης στα 800 MPa σε πουρέ φράουλας άλλαξε επίσης τη γευστική του ιδιότητα. Γι' αυτούς τους λόγους θα πρέπει να μελετηθεί περισσότερο αυτή η μέθοδος (Vivek et al., 2019).

Η χρήση των υπερήχων (US) στη βιομηχανία τροφίμων έχει αποτελέσει αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης εδώ και πολλά χρόνια, ως εναλλακτική μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας. Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται σε συχνότητες μεταξύ 20-100 kHz και απαιτούν την παρουσία ενός υγρού μέσου για τη μετάδοσή τους. Επίσης, χρησιμοποιούνται συνδυαστικά με υδατικά απολυμαντικά, όπως οργανικά οξέα, διοξείδιο του άνθρακα, χλώριο, καθώς από μόνη της η μέθοδος δεν είναι αποτελεσματική. Ουσιαστικά, η εφαρμογή US βοηθά στην καλύτερη διείσδυση των απολυμαντικών στις εσοχές και στις επιφάνειες των φρούτων και των λαχανικών (Ramos, 2013).

Η φωτοευαισθητοποίηση (Photosensitization) είναι μία μέθοδος που εφαρμόζεται για τη μείωση των μικροοργανισμών. Οι φωτοδραστικές ενώσεις (φωτοευαισθητοποιητές) και το ορατό φως αλληλεπιδρούν με το τρόφιμο και οδηγούν σε μείωση των μικροοργανισμών αλλοίωσης. Ψεκάζεται στην επιφάνεια των φρέσκων προϊόντων, καθώς εκεί εντοπίζονται οι περισσότεροι μικροοργανισμοί. Συμβαίνουν διάφορες φωτοκυτταροτοξικές αντιδράσεις, οι οποίες οφείλονται στην έκθεση του ορατού φωτός με τα φρούτα και έχουν ως αποτέλεσμα το θάνατο των μικροοργανισμών, χωρίς να επηρεάζονται αρνητικά οι ιδιότητες των φρούτων. Η επεξεργασία αυτή έχει εφαρμοστεί με επιτυχία για τις φράουλες για τη μείωση του μικροβιακού φορτίου κατά 1,7 λογαρίθμους. Τέλος, το εκχύλισμα πράσινου τσαγιού είναι αποτελεσματικό ως αντιμικροβιακό σε φρεσκοκομμένα φρούτα του δράκου (dragon fruit) (Ramos, 2013).

Ανεξάρτητα από το ποια μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν πολλές ακόμη έρευνες, προκειμένου να εφαρμοστούν οι παραπάνω τεχνολογίες ενεργής συσκευασίας σε εργαστηριακό και ακολούθως σε βιομηχανικό επίπεδο, εξασφαλίζοντας παράλληλα την λειτουργικότητα αυτών, το χαμηλό κόστος εφαρμογής τους, τη μη επιβάρυνση του περιβάλλοντος και κυρίως την ασφάλεια των καταναλωτών.

Βιβλιογραφία

- Abe K, Watada AE. (1991). Ethylene absorbent to maintain quality of lightly processed fruits and vegetables. *J Food Sci* 56(6):1589–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb08647.x>.
- Ada M. C. N. Rocha; Emilie C. Coulon; Alcina M. M. B. Morais (2003). Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. , 3(2), 81–88. doi:10.1046/j.1471-5740.2003.00068.x
- Aday MS, Caner C (2013). The shelf life extension of *fresh strawberries using an oxygen absorber in the biobased package*. *LWT-Food Sci Technol.*;52(2):102–9.
- Adkins MF, Hofman PJ, Stubbings BA, Macnish AJ (2005). Manipulating avocado fruit ripening with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol* 35:33–42.
- AHMED EL GHAOUTH; JOSEPH ARUL; RATHY PONNAMPALAM; MARCEL BOULET (1991). Chitosan Coating Effect on Storability and Quality of Fresh Strawberries. , 56(6), 1618–1620. doi:10.1111/j.1365-2621.1991.tb08655.x
- Ahvenainen, R., (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. *Trends Food Sci. Technol.* 7 (6), 179–187.
- Almenar E, Auras R, Rubino M and Harte B (2007). A new technique to prevent the main post harvest diseases in berries during storage: Inclusion comAyala-9 plexes β -cyclodextryn-hexanal. *International Journal of Food Microbiology*: 118:164–172.
- Almenar E, Auras R, Wharton P, Rubino M and Harte B (2007). Release of acetaldehyde from β -cyclodextrins inhibits postharvest decay fungi in vitro. *Journal Agriculture of Food Chemistry*: 55(17):7205–7212.
- Amanatidou, A., Slump, R.A., Gorris, L.G.M. & Smid, E.J. (2000). High oxygen and high carbon dioxide modified atmospheres for shelf-life extension of minimally processed carrots. *Journal of Food Science*, 65, 61–66.
- Arfat YA, Benjakul S, Vongkamjan K, Sumpavapol P, Yarnpakdee S. (2015). Shelf-life extension of refrigerated sea bass slices wrapped with fish protein isolate/fish skin gelatin-ZnO nanocomposite film incorporated with basil leaf essential oil. *J Food Sci Tech* 52(10):6182–93. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1706-y>.
- Assis, O.B. & Pessoa, J.D. (2004). Preparation of thin films of chitosan for use as edible coatings to inhibit fungal growth on sliced fruits. *Brazilian Journal of Food Technology*, 7, 7–22.

- Avena- Mei, R.J., Cisneros-Zevallos, L.A., Krochta, J.M. & Saltveit, M.E. (1994). Application of casein-lipid edible film emulsions to reduce white blush on minimally processed carrots. *Postharvest Biology and Technology*, 4, 319–329.
- Ayhan Z. (2016). Use of zeolite based ethylene absorbers as active packaging for horticultural products. Book of abstracts of International Congress-Food Technology, Quality and Safety; Novi Sad, Serbia, 25–27 October 2016. Novi Sad, Serbia: University Novi Sad.
- Bai, J.-H., Saftner, R. A., Watada, A. E., & Lee, Y. S. (2008). Modified atmosphere maintains quality of fresh-cut cantaloupe (*cucumis melo* L.). *Journal of Food Science*, 66(8), 1207–1211. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb16106.x>
- Baiano A, Marchitelli V, Tamagnone P, Nobile MAD. (2004). Use of active packaging for increasing ascorbic acid retention in food beverages. *J Food Sci* 69(9):E502–8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09936.x>.
- Bailén G, Guillén F, Castillo S, Serrano M, Valero D, Martínez-Romero D (2006). Use of activated carbon inside modified atmosphere packages to maintain tomato fruit quality during cold storage. *J Agric Food Chem* 54:2229–2235.
- Barbosa-Pereira L, Cruz JM, Sendón R, Rodríguez Bernaldo de Quirós A, Ares A, Castro-López M, Abad MJ, Maroto J, Paseiro-Losada P. (2013). Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. *Food Contr* 31(1):236–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.036>.
- Ben-Yehoshua, S., & Mercier, J. (2005). UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. In S. Ben-Yehoshua (Ed.), *Environmentally friendly technologies for agricultural produce quality* (pp. 265–299). Taylor & Francis Group, LLC.
- Bhutia W, Pal R, Sen S, Jha S (2011). Response of different maturity stages of sapota (*Manilkara achras* Mill.) cv. Kallipatti to in-package ethylene absorbent. *J Food Sci Technol* 48:763–768.
- Bodbodak, Samad; Rafiee, Z. (2016). Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, 77–125. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804313-4.00003-7>
- Boonruang K, Chonhanchob V, Singh SP, Chinsirikul W, Fuongfuchat A. (2012). Comparison of various packaging films for mango export. *Packag Technol Sci* 25(2):107–18. <https://doi.org/10.1002/pts.954>.

- Brancoli, N. & Barbosa-Cánovas, G.V. (2000). Quality changes during refrigerated storage of packaged apple slices treated with polysaccharide films. In: *Innovations in Food Processing* (edited by G.V. Barbosa-Cánovas & G.W. Gould). Pp. 243–254. Pennsylvania, PA: Technomic Publishing Co.
- Brockgreitens, J., & Abbas, A. (2015). Responsive Food Packaging: Recent progress and technological prospects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), 3–15. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12174>
- Brody, A. L., Strupinsky, E. R., & Kline, L. R. (2001). In *Active packaging for Food Applications*. essay, Crc Press.
- Brody, A.L., 2003. Modified atmosphere packaging. In: Heldman, D.R. (Ed.), *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 666–670.
- Campos-Requena VH, Rivas BL, Pérez MA, Figueroa CR, Sanfuentes EA. (2015). The synergistic antimicrobial effect of carvacrol and thymol in clay/polymer nanocomposite films over strawberry gray mold. *LWT-Food Sci Technol* 64(1):390–6. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.006>.
- Charles F, Guillaume C, Gontard N (2008). Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. *Postharvest Biol Technol.*;48(1):22–9.
- Charles, F., Sanchez, J., & Gontard, N. (2003). Active modified atmosphere packaging of fresh fruits and vegetables: modeling with tomatoes and oxygen absorber. *Journal of Food Science*, 68(5), 1736-1742.
- Charles, F., Sanchez, J., and Gontard, N., (2005). Modeling of active modified atmosphere packaging of endives exposed to several postharvest temperatures. *Journal of Food Science*. 70.E443.
- Chien, P.J., Sheu, F. & Yang, F.H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78, 225–229.
- Corrigan, P., (2000). International Patent Application WO 00/03930.
- Day, B.P.F. and Brydon, L. 2002. *Active Packaging for Chilled Fresh Prepared Produce and Combination Products*, R&D Report 156. Campden and Chorleywood Food Research Association. Chipping Campden, U.K..
- Dobrucka R, Leonowicz A, Cierpiszewski R (2017). Preparation of ethylene scavenger based on KMnO₄ to the extension of the storage time of tomatoes. *Studia Oecon Posnan* 5:7–18.

- Duncan TV. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *J Coll Interf Sci* 363(1):1–24.
- Durango, A.M., Soares, N.F.F. & Andrade, N.J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*, 17, 336–341.
- Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., & Farhoodi, M. (2021). Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A Review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 4599–4610. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03485-x>
- Ebtsam H. et al., (2016). EFFECT OF ACTIVE AND PASSIVE MODIFIED ATMOSPHERE PACKAGING ON QUALITY ATTRIBUTES OF STRAWBERRY FRUITS DURING COLD STORAGE. *Arab Univ. J. Agric. Sci.*, 24(1). doi: 10.21608/AJS.2016.14192
- Emanuel, Neela, and Harloveleen Kaur Sandhu. "Food Packaging Development: Recent Perspective." *Journal of Thin Films, Coating Science Technology and Application* 6.3 (2019): 13-29.
- Embleni, A. (2013). Trends in Packaging of Food, Beverages and Other Fast-Moving Consumer Goods (FMCG) || Modified atmosphere packaging and other active packaging systems for food, beverages and other fast-moving consumer goods. , (), 22–34. doi:10.1533/9780857098979.22
- Esturk O, Ayhan Z, Gokkurt T. (2014). Production and application of active packaging film with ethylene adsorber to increase the shelf life of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). *Packag Technol Sci* 27(3):179–91. <https://doi.org/10.1002/pts.2023>.
- Fagundes C, Moraes K, Pérez-Gago MB, Palou L, Maraschin M, Monteiro A (2015). Effect of active modified atmosphere and cold storage on the postharvest quality of cherry tomatoes. *Postharvest Biol Technol.*;109:73–81.
- Feng, X., Apelbaum, A., Sisler, E. C., & Goren, R. (2000). Control of ethylene responses in avocado fruit with 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 20(2), 143–150. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(00\)00126-5](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(00)00126-5)
- Florence Charles; Carole Guillaume; Nathalie Gontard (2008). Effect of passive and active modified atmosphere packaging on quality changes of fresh endives. , 48(1), 22–29. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.09.026
- Food & Drug Administration, H. H. S. (2008). Irradiation in the production, processing and handling of food. Final rule. *Federal Register*, 73(164), 49593–49603.

- Franssen, L.R. & Krochta, J.M. (2003). Edible coatings containing natural antimicrobials for processed foods. In: *Natural Antimicrobials for Minimal Processing of Foods* (edited by S. Roller). Pp. 250– 262. Boca Raton: CRC Press.
- G. Oms-Oliu; R. Soliva-Fortuny; O. Martín-Belloso (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon. , 41(10), 0–1870. doi:10.1016/j.lwt.2008.01.007
- Galdi MR, Incarnato L. (2011). Influence of composition on structure and barrier properties of active PET films for food packaging applications. *Packag Technol Sci* 24(2):89–102. <https://doi.org/10.1002/pts.917>.
- Gaona-Forero, A., Agudelo-Rodríguez, G., Herrera, A. O., & Castellanos, D. A. (2018). Modeling and simulation of an active packaging system with moisture adsorption for fresh produce. Application in 'Hass' avocado. *Food Packaging and Shelf Life*, 17, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.07.005>
- Gennadios A, Kurth LB. (1997). Application of edible coatings on meats, poultry and seafoods: a review. *LWT—Food Sci Tech* 30:337–350.
- Gherardi R, Becerril R, Nerin C, Bosetti O. (2016). Development of a multilayer antimicrobial packaging material for tomato puree using an innovative technology. *LWT-Food Sci Technol* 72:361–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.063>.
- Giuggioli, N. (2018). Packaging in the fresh fruit and vegetable supply chain: Innovation and Sustainability. *Italus Hortus*, (25), 23. <https://doi.org/10.26353/j.itahort/2018.1.2338>
- Gomes C, Castell-Perez ME, Chimbombi E, Barros F, Sun D, Liu J, Sue H-J, Sherman P, Dunne P, Wright AO. 2009. Effect of oxygen-absorbing packaging on the shelf life of a liquid-based component of military operational rations. *J Food Sci* 74(4):E167–76. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01120.x>.
- Han, C., Lederer, C., McDaniel, M. & Zhao, Y. (2005). Sensory evaluation of fresh strawberries (*Fragaria ananassa*) coated with chitosan-based edible coatings. *Journal of Food Science*, 70, S172–S178.
- Heimdal, H., Kuhn, B., Poll, L. & Larsen, L. (1994). Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged iceberg lettuce. *Journal of Food Science*, 60, 1265–1268.
- HersHKovitz V, Saguy SI, Pesis E (2005). Postharvest application of 1-MCP to improve the quality of various avocado cultivars. *Postharvest Biol Technol* 37:252–264.
- Hotchkiss, J. (1994) Recent Research in MAP and Active Packaging Systems. Abstracts, 27th Annual Convention, Australian Institute of Food Science and Technology, Canberra.

- Hu Q, Fang Y, Yang Y, Ma N, Zhao L. (2011). Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage. *Food Res Intl* 44(6):1589–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.018>.
- HUSSAIN, P.R., MEENA, R.S., DAR, M.A., WANI, A.M. (2008). Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, 77(4), pp.473-481. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.08.003>
- Hutter S, Rüegg N, Yildirim S. (2016). Use of palladium based oxygen scavenger to prevent discoloration of ham. *Food Pack Shelf Life* 8:56–62. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.004>.
- Jacobsson A, Nielsen T, Sjöholm I. (2004). Effects of type of packaging material on shelf-life of fresh broccoli by means of changes in weight, colour and texture. *Eur Food Res Technol* 218(2):157–63. <https://doi.org/10.1007/s00217-003-0820-2>.
- Ke, D. & Saltveit, M. (1989). Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiology Plantarum*, 76, 412–418.
- Kerry, E. J., & Butler, C.-E. P. (2008). *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. John Wiley & Sons.
- Kerry, J., Butler, P. (2008). *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. Wiley. doi:10.1002/9780470753699
- Kim, J.G., Luo, Y., Tao, Y., Saftner, R.A. & Gross, K.C. (2005). Effect of initial oxygen concentration and film oxygen transmission rate on the quality of fresh-cut romaine lettuce. *Journal of the Science and Agriculture*, 85, 1622–1630.
- Kruijf ND, Beest MV, Rijk R, Sipiläinen-Malm T, Losada PP, Meulenaer BD. (2002). Active and intelligent packaging: applications and regulatory aspects. *Food Addit Contam* 19(sup1):144–62.
- Küçük V. (2006). Bazı meyve ve sebzelerde raf ömrünün uzatılması için zeolitle birlikte paketlemenin ürünün kalite özelliklerine etkisinin incelenmesi. *I* zmir, Türkiye: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. p 185.
- Labuza, T.P. (1987) Applications of 'Active Packaging' for Improvement of Shelf-Life and Nutritional Quality of Fresh and Extended Shelf-Life Foods. Icelandic Conference on Nutritional Impact of Food Processing, Reykjavik, Iceland.
- Labuza, T.P. and Breene, W.M. (1989) Applications of 'Active Packaging' for improvement of shelf-life and nutritional quality of fresh and extended shelf-life foods. *J. Food Proc.*

- Preservat., 13, 1-69. Mitchell, E.L., 1988. A review of aseptic processing. *Adv. Food Res.* 32, 1–37.
- Laermer, S. F., S. S. Young, and P. F. Zambetti. (1994). "Could Your Packaging Use a Dose of Vitamin E?" *Food Processing*. June.
- Landec Corporation Annual Report '09 Intelimer® Polymers - Unique Products. (n.d.). Retrieved from:
https://www.annualreports.com/HostedData/AnnualReportArchive/l/NASDAQ_LNDC_2009.pdf.
- Le Tien, C., Vachon, C., Mateescu, M.A. & Lacroix, M. (2001). Milk protein coatings prevent oxidative browning of apples and potatoes. *Journal of Food Science*, 66, 512–516.
- Lee, D. S. (2016). Carbon dioxide absorbers for food packaging applications. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 146–155. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.014>
- Lee, J.Y., Park, H.J., Lee, C.Y. & Choi, W.Y. (2003). Extending shelflife of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, 36, 323–329.
- Li H, Li F, Wang L, Sheng J, Xin Z, Zhao L, Xiao H, Zheng Y, Hu Q. (2009). Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis* (Bunge) Rehd). *Food Chem* 114(2):547–52.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.085>.
- Li X, Li W, Jiang Y, Ding Y, Yun J, Tang Y, Zhang P. (2011). Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. *Intl J Food Sci Tech* 46(9):1947–55.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02706.x>.
- Lim, T. K., and Sangchote, S. (2003). Diseases of durian. *Diseases of Tropical Fruit Crops*, 241–251. <https://doi.org/10.1079/9780851993904.0241>.
- Lorenzo JM, Batlle R, Gómez M. (2014). Extension of the shelf-life of foal meat with two antioxidant active packaging systems. *LWT-Food Sci Technol* 59(1):181–8.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.061>.
- M^a Alejandra Rojas-Graü; Gemma Oms-Oliu; Robert Soliva-Fortuny; Olga Martín-Belloso (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: a review. , 44(5), 875–889. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01911.x
- Mahajan PV, Rodrigues FA, Motel A, Leonhard A. (2008). Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (*Agaricus bisporous*). *Postharvest Biol Tec* 48(3):408–14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.007>.

- Mahmoud Soltani Firouz;Khaled Mohi-Alden;Mahmoud Omid; (2021). A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development . Food Research International, (), –. doi:10.1016/j.foodres.2021.110113
- Maloba FW, Rooney ML, Wormell P, Nguyen M. (1996). Improved oxidative stability of sunflower oil in the presence of an oxygen-scavenging film. *J Am Oil Chem Soc* 73(2):181–5. <https://doi.org/10.1007/bf02523892>.
- MARQUENIE, D., GEERAERD, A.H., LAMMERTYN, J., SOONTJENS, C., VAN IMPE, J.F., MICHIELS, C.W., NICOLAI, B.M. (2003). Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *International Journal of Food Microbiology*, 85(1-2), pp.185-196. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00538-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00538-X)
- Martínez-Romero, D., Albuquerque, N., Valverde, J.M. et al. (2006). Postharvest sweet cherry quality and safety maintenance by Aloe Vera treatment: a new edible coating. *Postharvest Biology and Technology*, 39, 93–100.
- Matche RS, Sreekumar RK, Raj B. (2011). Modification of linear low-density polyethylene film using oxygen scavengers for its application in storage of bun and bread. *J Appl Polym Sci* 122(1):55–63. <https://doi.org/10.1002/app.33718>.
- May, B.K., Fickak, A., (2003). The efficacy of chlorinated water treatments in minimizing yeast and mold growth in fresh and semi-dried tomatoes. *Drying Technol.* 21 (6), 1127–1135.
- Mbuge DO, Negrini R, Nyakundi LO, Kuate SP, Bandyopadhyay R, Muiru WM, Torto B, Mezzenga R. (2016). Application of superabsorbent polymers (SAP) as desiccants to dry maize and reduce aflatoxin contamination. *J Food Sci Tech* 53(8):3157–65. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2289-6>.
- McHugh, T.H. & Senesi, E. (2000). Apple wraps: a novel method to improve the quality and extend the shelf life of fresh-cut apples. *Journal of Food Science*, 65, 480–485.
- Mei, Y., Zhao, Y., Yang, J. & Furr, H.C. (2002). Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Journal of Food Science*, 67, 1964–1968.
- Miller CW, Nguyen MH, Rooney M, Kailasapathy K. (2003). The control of dissolved oxygen content in probiotic yogurts by alternative packaging materials. *Packag Technol Sci* 16(2):61–7. <https://doi.org/10.1002/pts.612>.
- Mu H, Gao H, Chen H, Tao F, Fang X, Ge L. (2013). A nanosized oxygen scavenger: Preparation and antioxidant application to roasted sunflower seeds and walnuts. *Food Chem* 136(1):245–50. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.07.121>.

- Niazmand, R., & Yeganehzad, S. (2020). Capability of oxygen-scavenger sachets an modified atmosphere packaging to extend fresh barberry shelf life. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00195-3>
- Nisperos-Carriedo, M.O., Baldwin, E.A. & Shaw, P.E. (1992). Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. *Florida State Horticulture Society*, 104, 122–125.
- Official Journal of the European Union (2009). Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. L 135/3.
- Ogilvy, W.S., Ayres, J.C., 1951. Post-mortem changes in stored meats. II. The effect of atmospheres containing carbon dioxide inprolonging the storage life of cut-up chicken. *Food Technology* 5, 97–102.
- Olivas, G.I., Rodriguez, J.J. & Barbosa-Cánovas, G.V. (2003). Edible coatings composed of methylcellulose, stearic acid, and additives to preserve quality of pear wedges. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27, 299–320.
- Oliveira M, Abadias M, Usall J, Torres R, Teixidó N, Viñas I (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables—a review. *Trends Food Sci Technol* ;46(1):13–26.
- Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. (2008). Antioxidant content of fresh-cut pears stored in high-O₂ active packages compared with conventional low-O₂ active and passive modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 932–940.
- Oms-Oliu, G., Raybaudi-Massilia Martínez, R. M., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Effect of superatmospheric and low oxygen modified atmospheres on shelf-life extension of fresh-cut melon. *Food Control*, 19(2), 191–199.
- Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Modeling changes of headspace gas concentrations to describe the respiration of fresh-cut melon under low or superatmospheric oxygen atmospheres. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 401–409.
- Oregano (*Lippia graveolens*) essential oil added within pectin edible coatings prevents fungal decay and increases the antioxidant capacity of treated tomatoes. *J Sci Food Agr* 96(11):3772–8. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7568>.
- PALGAN, I., CAMINITI, I.M., MUÑOZ, A., NOCI, F., WHYTE, P., MORGAN, D.J., CRONIN, D.A., LYNG, J.G. (2011). Effectiveness of high intensity light pulses (HILP) treatments for the

- control of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice, orange juice and milk. *Food microbiology*, 28(1), pp.14-20. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.07.023>
- Park H-Y, Kim S-J, Kim KM, You Y-S, Kim SY, Han J. (2012). Development of antioxidant packaging material by applying corn-zein to LLDPE Film in combination with phenolic compounds. *J Food Sci* 77(10):E273–9. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02906.x>.
- Park, S.I., Stan, S.D., Daeschel, M.A. & Zhao, Y.Y. (2005). Antifungal coatings on fresh strawberries (*Fragaria x ananassa*) to control mold growth during cold storage. *Journal of Food Science*, 70, M202–M207.
- Paul Tobback (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in food packaging and manufacturing systems and technology* - <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>
- Perkins ML, Zerdin K, Rooney ML, D’Arcy BR, Deeth HC. (2007). Active packaging of UHT milk to prevent the development of stale flavour during storage. *Packag Technol Sci* 20(2):137–46. <https://doi.org/10.1002/pts.749>.
- PURUSHOTAM KUMAR AND SUBHA GANGULY, 2014. Role of vacuum packaging in increasing shelf-life in fish processing technology. *Asian Journal of Bio Science*, Volume 9 | Issue 1 |
- Quesada J, Sendra E, Navarro C, Sayas-Barberá E. (2016). Antimicrobial active packaging including chitosan films with *Thymus vulgaris* L. essential oil for ready-to-eat meat. *Foods* 5(3):57. <https://doi.org/10.3390/foods5030057>.
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables—an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>
- Rho, K. L., P. A. Seib, O. K. Chung, and D. S. Chung. (1986). “Retardation of Rancidity in Deep Fried Instant Noodles (Ramyon).” *Journal of American Oil Chemists Society*, 63(2):251.
- Risch, S. J. (2009). Food Packaging History and innovations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8089–8092. doi: <https://doi.org/10.1021/jf900040r>
- Robertson G. L. (1993). *Food packaging: principles and practice*. pp 144-145, 174- 181. Dekker Marcel, New York.
- Robertson, G. L. (2019). History of food packaging. Reference Module in Food Science. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22535-3>

- Robertson, G.L. (2013). *Food Packaging: Principles & Practice*, third ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Röcker B, Rüegg N, Glöss AN, Yerezian C, Yildirim S. (2017). Inactivation of palladium-based oxygen scavenger system by volatile sulfur compounds present in the headspace of packaged food. *Packag Technol Sci* 30(8):427–42. <https://doi.org/10.1002/pts.2220>.
- Rodriguez J, Zoffoli JP (2016). Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality. *Postharvest Biol Technol.*;117:230–8.
- Rodriguez-Garcia I, Cruz-Valenzuela MR, Silva-Espinoza BA, Gonzalez-Aguilar GA, Moctezuma E, Gutierrez-Pacheco MM, Tapia-Rodriguez MR, Ortega-Ramirez LA, Ayala-Zavala JF. (2016).
- Rojas-Graü, M. A., Oms-Oliu, G., Soliva-Fortuny, R. & Martín-Belloso, O. (2009). The use of packaging techniques to maintain freshness in fresh-cut fruits and vegetables: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5), 875–889. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01911.x>
- Rooney, M. L. (1995). Overview of active food packaging. *Active Food Packaging*, 1–37. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2175-4_1.
- Rooney, M. L. (2005). Introduction to active food packaging technologies. *Innovations in Food Packaging*, 63–79. <https://doi.org/10.1016/b978-012311632-1/50037-1>.
- Rooney, Michael. (1995). *Active Food Packaging*. Glasglow, UK: Blackie Academic and Professional.
- Rüegg N, Blum T, Röcker B, Kleinert M, Yildirim S. (2016). Application of palladium-based oxygen scavenger to extend the shelf life of bakery products. Book of abstracts of 6th international symposium on food packaging; Barcelona, Spain, 16–18 November 2016. Brussels, Belgium: ILSI Europe.
- Ruiz-Navajas Y, Viuda-Martos M, Barber X, Sendra E, Perez-Alvarez JA, Fernández-López J. (2015). Effect of chitosan edible films added with *Thymus moroderi* and *Thymus piperella* essential oil on shelf-life of cooked cured ham. *J Food Sci Tech* 52(10):6493–501. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1733-3>.
- Rux G, Mahajan PV, Geyer M, Linke M, Pant A, Saengerlaub S, Caleb OJ. (2015). Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. *Postharvest Biol Tec* 108:102–10. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.06.010>.
- Rux G, Mahajan PV, Linke M, Pant A, Sänglerlaub S, Caleb OJ, Geyer M. (2016). Humidity-Regulating Trays: Moisture Absorption Kinetics and Applications for Fresh Produce

- Packaging. *Food Bioprocess Technol* 9(4):709–16. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1671-0>.
- Sängerlaub S, Böhmer M, Stramm C. (2013). Influence of stretching ratio and salt concentration on the porosity of polypropylene films containing sodium chloride particles. *J Appl Polym Sci* 129(3):1238–45. <https://doi.org/10.1002/app.38793>.
- Sängerlaub S, Gibis D, Kirchhoff E, Tittjung M, Schmid M, Müller K. (2013). Compensation of pinhole defects in food packages by application of iron-based oxygen scavenging multilayer films. *Packag Technol Sci* 26(1):17–30. <https://doi.org/10.1002/pts.1962>.
- Sarkar, S., & Aparna, K. (2020). *Research Trends in Home Science and Extension (Volume-3). Food packaging and storage*. AkiNik Publications. <https://doi.org/10.22271/ed.book.959>.
- Sen C, (2012). Modified atmosphere packaging and active packaging of banana (*Musa spp.*): A review on control of ripening and extension of shelf life. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 3(9), –. doi:10.5897/JSPPR11.057
- Sheikhi, Abdollatif; Mirdehghan, Seyed Hossein; Karimi, Hamid Reza; Ferguson, Louise (2019). Effects of Passive- and Active-Modified Atmosphere Packaging on Physio-Chemical and Quality Attributes of Fresh In-Hull Pistachios (*Pistacia vera L. cv. Badami*). *Foods*, 8(11), 564–. doi:10.3390/foods8110564
- Shin Y, Shin J, Lee Y. 2009. Effects of oxygen scavenging package on the quality changes of processed meatball product. *Food Sci Biotechnol* 18(1):73–8.
- Shirazi, A. and Cameron, A.C. (1992). Controlling relative humidity in modified atmosphere packages of tomato fruit' in *Hort. Sci.* 27, 336-339.
- Shon, J. & Haque, Z.U. (2007). Efficacy of sour whey as a shelf-life enhancer: use in antioxidative edible coatings of cut vegetables and fruit. *Journal of Food Quality*, 30, 581–593.
- Silva DFP, Salomão LCC, Siqueira DLd, Cecon PR, Rocha A (2009). Potassium permanganate effects in postharvest conservation of the papaya cultivar Sunrise Golden. *Pesq Agropec Bras* 44:669–675.
- Singh P, Abas Wani A, Saengerlaub S. (2011). Active packaging of food products: recent trends. *J Nutr Food Sci* 41(4):249–60. <https://doi.org/10.1108/00346651111151384>.
- Singh P, Langowski H-C, Wani AA, Saengerlaub S. (2010). Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: a review. *J Sci Food Agr* 90(9):1393–402. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3971>.

- Singh P, Saengerlaub S, Stramm C, Langowski H. (2010). Humidity regulating packages containing sodium chloride as active substance for packing of fresh raw *Agaricus* mushrooms. Proceeding of the 4th international workshop cold chain management; Bonn, Germany, 27–28 September 2010. Bonn, Germany: University Bonn.
- Singh P, Saengerlaub S, Stramm C, Langowski H. (2010). Humidity regulating packages containing sodium chloride as active substance for packing of fresh raw *Agaricus* mushrooms. Proceeding of the 4th international workshop cold chain management; Bonn, Germany, 27–28. September 2010. Bonn, Germany: University Bonn.
- Soltani Mahmoud; Alimardani Reza; Mobli Hossein; Mohtasebi & Seyed Saeid (2015) "Modified Atmosphere Packaging: A Progressive Technology for Shelf-Life Extension of Fruits and Vegetables," *Journal of Applied Packaging Research*: Vol. 7: No. 3, Article 2. Available at:
<https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=japr>
- Sonti, S., Prinyawiwatkul, W., No, H.K. & Janes, M.E. (2003). Maintaining quality of fresh-cut apples with edible coating during 13-days refrigerated storage. In: IFT Annual Meeting Book of Abstracts. Pp. 45. New Orleans, LA: Institute of Food Technologists.
- Soysal Ç , Bozkurt H, Dirican E, Güçlü M, Bozhüyük ED, Uslu AE, Kaya S. (2015). Effect of antimicrobial packaging on physicochemical and microbial quality of chicken drumsticks. *Food Contr* 54:294–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.02.009>.
- Spencer, K.C., 2005. Modified atmosphere packaging of ready-to-eat foods. In: Han, J.H. (Ed.), *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Academic Press, San Diego, CA, pp. 184–203.
- Srilaong, V.; Chansamrankul, C. (2007). COMPARISON OF ACTIVE AND PASSIVE MODIFIED ATMOSPHERES ON QUALITY OF SHREDDED GREEN PAPAYA. *Acta Horticulturae*, (746), 443–448. doi:10.17660/ActaHortic.2007.746.54
- Steele, R.J. and Zhou, J.X., (1994). International Patent Application WO 94/10233.
- Szikla Z, Zsoldas B (1993). Ethylene Absorbing paper for the packaging of fresh fruits and vegetables. In: Presented at MAPack 93, Conference on Modified Atmosphere Packaging, Greenville, South Carolina.
- Taoukis, P.S., Tsironi, T.N. (2018). Time–temperature integrators (TTI). Ref. Module Food Sci. 1–13.
- Tarr, C. R., & Clingeleffer, P. R. (2005). Use of an oxygen absorber for disinfestation of consumer packages of dried vine fruit and its effect on fruit colour. *Journal of Stored Products Research*, 41(1), 77-89.

- Timon D. 2005. Packaging solutions for “fresh-cut” vegetables and fruit. eNewsletter Issue 4 (June 2005) Available at: <http://www.relayresearch.ie>
- Torrieri E, Carlino PA, Cavella S, Fogliano V, Attianese I, Buonocore GG, Masi P. (2011). Effect of modified atmosphere and active packaging on the shelf-life of fresh bluefin tuna fillets. *J Food Eng* 105(3):429–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.038>.
- UKEssays. (November 2018). Active Packaging and Intelligent Packaging for Fruits and Vegetables. Retrieved from <https://www.ukessays.com/essays/environmental-studies/active-packaging-and-intelligent-packaging-for-fruits-and-vegetables.php?vref=1>
- Valverde, J.M., Valero, D., Martinez-Romero, D., Guillen, F., Castillo, S. & Serrano, M. (2005). Novel edible coating based on Aloe vera gel to maintain table grape quality and safety. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7807–7813.
- Villalobos M, Serradilla M, Martín A, Aranda E, López-Corrales M, Córdoba M (2018). Influence of modified atmosphere packaging (MAP) on aroma quality of figs (*Ficus carica* L.). *Postharvest Biol Technol.*;136:145–51.
- Vivek, K., Suranjoy Singh, S., W., R., M., S., Z., B., H., B., S., M., & R.C., P. (2019). A review on postharvest management and advances in the minimal processing of fresh-cut fruits and vegetables. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 8(5), 1178–1187. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.8.5.1178-1187>
- Wang K, Jin P, Shang H, Li H, Xu F, Hu Q, Zheng Y. (2010). A combination of hot air treatment and nano-packing reduces fruit decay and maintains quality in postharvest Chinese bayberries. *J Sci Food Agr* 90(14):2427–32. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4102>.
- Wen P, Zhu D-H, Feng K, Liu F-J, Lou W-Y, Li N, Zong M-H, Wu H. (2016). Fabrication of electrospun polylactic acid nanofilm incorporating cinnamon essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complex for antimicrobial packaging. *Food Chem* 196:996–1004. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.043>.
- Wilson, C. L. (2007). *Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*. CRC Press.
- Wong WS, Tillin SJ, Hudson JS, Pavlath AE. (1994). Gas exchange in cut apples with bilayer coatings. *J Agric Food Chem* 42: 2278–2285.
- Woolf AB, Requejo-Tapia C, Cox KA, Jackman RC, Gunson A, Arpaia ML, White A (2005). 1-MCP reduces physiological storage disorders of ‘Hass’ avocados. *Postharvest Biol Technol* 35:43–60.

- Writer, S. (2018, May 6). How smart is smart packaging? Food & Beverage Industry News. Retrieved December 15, 2022, from <https://www.foodmag.com.au/smart-smart-packaging/>.
- Wu C-S, Liao J-Y, Fang S-Y, Chiang AST. (2010). Flexible and transparent moisture getter film containing zeolite. *Adsorption* 16(1):69–74. <https://doi.org/10.1007/s10450-009-9196-3>.
- Yang FM, Li HM, Li F, Xin ZH, Zhao LY, Zheng YH, Hu QH. (2010). Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 °C. *J Food Sci* 75(3):C236–40. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01520.x>.
- Yildirim S, Röcker B, Rüegg N, Lohwasser W. (2015). Development of palladium-based oxygen scavenger: optimization of substrate and palladium layer thickness. *Packag Technol Sci* 28(8):710–18. <https://doi.org/10.1002/pts.2134>.
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2017). Active packaging applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165–199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>.
- Zavala, J. F. A., Aguilar, G. G., Cruz, S. R., Belloso, O. M., Valdez, H. S., Parrilla, E. A., & Sánchez, L. del T. (2008). Natural antimicrobial agents incorporated in active packaging to preserve the quality of fresh fruits and vegetables. *Stewart Postharvest Review*, 4(3), 1–9. <https://doi.org/10.2212/spr.2008.3.9>
- Zerdin K, Rooney ML, Vermuë J. (2003). The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material. *Food Chem* 82(3):387–95. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00559-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00559-9).
- Zhang ZL, Li DL, Xu WC, Duan HY, Fu YB (2015). Analysis of the application of fungicide and ethylene absorbent for extended storage life of kyoho grapes at room temperature. *Appl Mech Mater* 731:374–380.
- Zhuang, H., Barth, M. M., & Cisneros-Zevallos, L. (2014). Modified Atmosphere Packaging for Fresh Fruits and Vegetables. *Innovations in Food Packaging*, 445–473. doi:10.1016/b978-0-12-394601-0.00018-7

Ελληνική βιβλιογραφία

- Καρακασίδης Ν.Γ. (1989) Μεταλλικά Κουτιά Κονσερβών. Διάβρωση και Προστασία, εκδ. Τρόφιμα και Ποτά, Αθήνα.

Παπαδάκης, Ε. Σπυρίδων (2018). Συσσκευασία Τροφίμων (2η Έκδοση). Συσσκευασία σε τροποποιημένη ατμόσφαιρα σελ. 467 – 489. Εκδόσεις Τζιόλα.

Παπαδάκης, Ε. Σπυρίδων (2018). Συσσκευασία Τροφίμων (2η Έκδοση). Ενεργές & «έξυπνες» συσκευασία τροφίμων, σελ. 491 - 534. Εκδόσεις Τζιόλα.

Σφανιωτάκης Μ. Ε. (2004). Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων. Εκδόσεις τυρο ΜΑΝ. Θεσσαλονίκη.

Βιβλιογραφία Εικόνων

Εικόνα 1: Mauer, L. (2003). *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* || PACKAGING | *Aseptic Filling.*, (), 4316–4322. doi:10.1016/B0-12-227055-X/01390-0

Εικόνα 2: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/aseptic-packaging-market>

Εικόνα 3: N Emanuel, HK Sandhu - J. Thin Film. Coat. Sci. Technol. Appl, 2019 - [researchgate.net](https://www.researchgate.net)

Εικόνα 4: <https://www.allpackhellas.gr/arthra/to-chthes-poy-diamorfonei-to-ayrio/>

Εικόνα 5: <https://dkmarketing.gr/%CE%AD%CE%BE%CF%85%CF%80%CE%BD%CE%B5%CF%82%CF%83%CF%85%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B5%CF%82-%CF%80%CE%BF%CF%85-%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9>

Εικόνα 6: Xu-dong Wang and Otto S. Wolfbeis. Optical methods for sensing and imaging oxygen: materials, spectroscopies and applications. Cite this: Chem. Soc. Rev., 2014, 43, 3666. Received 21st January 2014. DOI: 10.1039/c4cs00039k

Εικόνα 7: <https://www.dairyreporter.com/Article/2013/10/02/CTI-develops-package-indicators-to-increase-food-safety>

Εικόνα 8: Καρακασιδής Ν.Γ. (1989) Μεταλλικά Κουτιά Κονσερβών. Διάβρωση και Προστασία, εκδ. Τρόφιμα και Ποτά, Αθήνα

Εικόνα 9: https://actionstore.gr/images/thumbnails/572/500/detailed/5/100cc_oxygen_absorbers_-_100_pack_uwet-nk.jpg

Εικόνα 10: <https://www.virasmart.co/en/what-is-active-packaging/>

Εικόνα 11: <https://celabor.gcloud.be/wp-content/uploads/2021/01/Save.png>

Εικόνα 12: <https://www.hellagro.gr/wp-content/uploads/2021/05/befresh-5-720x720.jpg>

Εικόνα 13: https://www.vaza.gr/image/cache/data/img-sakoules/178-10-0-b_sakoulaki-alouminiou-doypack-me-valvida-kleisimo-me-thermolokolhsh135x265900x600watermarkwatermark.jpg

Εικόνα 14: https://assets.websitefiles.com/5c5d70c75cf96aab4844894a/5dd2cb14e595f616db65c5cf_ATCO%20Carbon%20Dioxide%20Absorbers.jpg

Εικόνα 15: <https://www.pharmadesiccants.com/images/dessicants/activated-carbon-desiccant.jpg>

Εικόνα 16: <https://thebluapple.com/products/bluapple-2-pack-with-activated-carbon>

Εικόνα 17: https://s.alicdn.com/@sc04/kf/H88fbcd71b5cf44e9812b23f3c954e3f2e.png_960x960.png

Εικόνα 18: <https://www.anuainternational.com/post/carbon-adsorption-odor-control-for-wastewater-collections-systems>

Εικόνα 19: <https://www.cirs-ck.com/en/eu-fcms-testing>

Εικόνα 20: <https://www.linkedin.com/pulse/passive-active-map-packaging-fresh-produces-%D8%A7%D8%AA%D9%85%D8%B3%D9%81%D8%B1%D8%A7%D8%B5%D9%84%D8%A7%D8%AD-jeihani>

Εικόνα 21: Gaikwad, K. K., Singh, S., & Ajji, A. (2018). *Moisture absorbers for food packaging applications*. *Environmental Chemistry Letters*. doi:10.1007/s10311-018-0810-z

Εικόνα 22: Wilson, C. L. (2007). *Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*. CRC Press.

Εικόνα 23: <https://www.acc-coatings.com/wp-content/uploads/2022/10/fog-02.jpg>

Εικόνα 24: <https://www.linkedin.com/pulse/ethylene-absorbers-keep-fruitsvegetablesflowers-scott-chung/>

Εικόνα 25: <https://www.chemistry.uoc.gr/eclass/modules/document/file.php/CHEM-UNDER132/20202021/%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%86%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%203%20Diels-Alder.pdf>

Εικόνα 26: Kerry, E. J., & Butler, C.-E. P. (2008). *Smart Packaging Technologies for Fast Moving Consumer Goods*. John Wiley & Sons.

Εικόνα 27: Ebrahimi, A., Zabihzadeh Khajavi, M., Ahmadi, S., Mortazavian, A. M., Abdolshahi, A., Rafiee, S., & Farhoodi, M. (2021). *Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: A Review*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(5), 4599–4610. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03485-x>

Εικόνα 28: https://pub.mdpi-res.com/foods/foods-11-01805/article_deploy/html/images/foods-11-01805-ag-550.jpg?1655714179

Εικόνα 29: Bodbodak, Samad; Rafiee, Z. (2016). *Recent trends in active packaging in fruits and vegetables*. *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality*, 77–125. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804313-4.00003-7>