



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΗΜΕΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

**ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ
ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΑ
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ
ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΦΡΟΥΤΩΝ ΚΑΙ
ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΑΝΔΡΕΑΣ ΠΑΝΟΥ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2018

<<Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Χημείας της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παράγραφος 2>>

Ορισμός Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής από τη Γ.Σ.Ε.Σ.: 854^A/11-06-2012

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων:

Δεμερτζής Παναγιώτης, Καθηγητής

Μέλη:

Ακρίδα-Δεμερτζή Κωνσταντούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Μπαδέκα Αναστασία, Επίκουρος Καθηγήτρια

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 03-09-2012

Θέμα: «ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ
ΑΛΛΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΦΡΟΥΤΩΝ ΚΑΙ ΛΑΧΑΝΙΚΩΝ»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ από τη Γ.Σ.Ε.Σ.: 973^A/30-03-2018

1. Δεμερτζής Παναγιώτης, Καθηγητής
2. Ακρίδα-Δεμερτζή Κωνσταντούλα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
3. Μπαδέκα Αναστασία, Επίκουρος Καθηγήτρια
4. Κωνσταντίνου Ιωάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής
5. Χελά Δήμητρα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
6. Βλεσσίδης Αθανάσιος, Καθηγητής
7. Σακκάς Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 22-05-2018

Η Πρόεδρος του Τμήματος Χημείας
Λουλούδη Μαρία, Καθηγήτρια

Η Γραμματέας του Τμήματος
Ξανθή Τουτουνζόγλου

Αφιερώνεται σε όλη μου την οικογένεια

στους πολύ επιστήθιους φίλους μου

στην μνήμη του αγαπημένου μου Αναπληρωτή Καθηγητή Κυριάκου Ρηγανάκου
και στην μνήμη των θείων μου Κωνσταντίνο, Παύλο, Αγγελική και Σταυρούλα Πάνου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Χημείας και Τεχνολογίας Τροφίμων στο χρονικό διάστημα 2012-2015. Αντικείμενο αυτής της μελέτης ήταν η συνδυαστική επίδραση της επεξεργασίας με αέριο όζον και άλλων μεθόδων συντήρησης στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στην επέκταση του χρόνου ζωής φρούτων και λαχανικών.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τα ακόλουθα πρόσωπα :

1. Τον επιβλέποντα της διατριβής Αναπληρωτή Καθηγητή Κυριάκο Ρηγανάκο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της διατριβής.
2. Τον καθηγητή κ. Παναγιώτη Δεμερτζή, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής που ανέλαβε στην συνέχεια ως επιβλέπων, αντικαθιστώντας τον κ. Ρηγανάκο λόγω της ασθένειας αυτού, για την βοήθειά του για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.
3. Την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κ. Κωσταντούλα Ακρίδα-Δεμερτζή, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την επιστημονική μας συνεργασία.
4. Την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Αναστασία Μπαδέκα μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής.
5. Τον κ. Γεράσιμο Παπαδόπουλο για την ευγενική χορηγία των φρούτων και των λαχανικών.
6. Τον κ. Στέλιο Αργυρόπουλο για την ευγενική χορηγία του υλικού συσκευασίας.
7. Τον Καθηγητή του Χαροκοπείου Πανεπιστημίου κ. Βάϊο Καραθάνο και τον Καθηγητή του Τμήματος Τεχνολογίας Τροφίμων του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Αθήνας κ. Μιχάλη Μπρατάκο που μας εξυπηρέτησαν στις μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων.
8. Το Ινστιτούτο Φαρμακευτικής Έρευνας και Τεχνολογίας που μας εξυπηρέτησε στην ακτινοβολήση των φραουλών.

9. Τους στατιστικούς κ. Αναστάσιο Παλαιολόγο και κ. Ηλία Τσώλη για την πολύτιμη βοήθειά τους στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.
10. Τέλος, θα ήθελα να πω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στο οικογενειακό μου περιβάλλον για την ενθάρρυνση και την ηθική υποστήριξη καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2. ΤΟ ΟΖΟΝ.....	7
3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	8
4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	12
4.1 ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΑΣ.....	13
4.2 ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ ΦΩΣ.....	14
4.3 ΚΡΥΟ ΠΛΑΣΜΑ.....	14
5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	14
6. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ.....	15
7. ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΔΡΑΣΗ.....	27
8. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ.....	34
9. ΦΡΑΟΥΛΑ.....	36
10. ΣΤΑΦΥΛΙ.....	41
11. ΒΕΡΙΚΟΚΟ.....	46
12. ΜΑΡΟΥΛΙ.....	48
13. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.....	50
13.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	52
13.2 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ.....	55

13.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ

ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....57

Β. ΑΝΤΕΙΚΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ.....62

Γ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....63

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΤΗΣ
ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ SULTANINA ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ
ΨΥΞΗ**

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ.....63

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΖΟΝΤΟΣ.....63

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ.....64

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....64

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ.....64

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ.....64

ΜΕΤΡΗΣΗ pH.....65

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....65

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....65

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....66

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....66

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....67

**ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΤΟΥ
ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ
ΦΡΕΣΚΟΚΟΜΜΕΝΟΥ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΑΛΑΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΕ
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΠΟ ΨΥΞΗ**

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ.....68

ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ.....	69
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	69
ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	70
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH.....	70
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	70
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	71
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	72
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (γ-ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ) ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	73
ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ.....	73
ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	74
ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	74
ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ.....	74
ΜΕΤΡΗΣΗ pH.....	75
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ.....	75
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	75
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	75
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	76
ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΖΕΜΑΤΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	77

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ.....	77
ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	78
ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ	78
ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ.....	78
ΜΕΤΡΗΣΗ pH.....	79
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ.....	79
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	79
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	79
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	80
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	81
ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ.....	81
ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ.....	81
ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	82
ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ.....	82
ΜΕΤΡΗΣΗ pH.....	82
ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ.....	83
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	83
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.....	83
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	84
Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	85

Ε. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	178
ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ABSTRACT.....	180
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	184
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	216

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΣΤΑ ΤΡΟΦΙΜΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα φρούτα και τα λαχανικά είναι σημαντικά στοιχεία μιας υγιεινής και ισορροπημένης διαίτας. Παρέχουν κυρίως υδατάνθρακες και λιγότερο πρωτεΐνες (<0,1%) και λίπος (2%) (Βουδούρης και Κοντομηνάς 1985), βιταμίνες, μέταλλα και ίνες, ελάχιστη ενέργεια (κυρίως υπό μορφή υδατανθράκων) καθώς επίσης και ορισμένα δευτερεύοντα συστατικά που αναφέρονται συχνά ως φυτοχημικά ή δευτερογενή προϊόντα τα οποία είναι ωφέλιμα για την υγεία μας. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι η υψηλή κατανάλωση φρούτων και λαχανικών σχετίζεται με χαμηλότερη επικινδυνότητα χρόνιων νοσημάτων, ιδιαίτερα καρδιαγγειακών νοσημάτων, επίσης διαβήτη τύπου 2 και ορισμένων καρκίνων π.χ. στόματος, φάρυγγα, λάρυγγα, οισοφάγου, στομάχου και πνεύμονα. Αυτή η ικανότητα των φρούτων και των λαχανικών έχει αποδοθεί στην παρουσία αντιοξειδωτικών υλών που λειτουργούν ως συλλέκτες ελευθέρων ριζών. Οι κυρίαρχες αντιοξειδωτικές ουσίες που απαντούν στα φρούτα και στα λαχανικά είναι το ασκορβικό οξύ και το β-καροτένιο (Rico et al 2007). Η Μεσογειακή διαίτα χαρακτηρίζεται από κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων φρούτων και λαχανικών και αναγνωρίζεται διεθνώς ως μια από τις καλύτερες στον κόσμο. Ως αποτέλεσμα αυτού οι Μεσογειακοί λαοί ανήκουν στους μακροβιότερους λαούς του κόσμου (Rice-Evans & Miller 1995).

Η αύξηση της κατανάλωσης φρούτων και λαχανικών τον τελευταίο αιώνα οδήγησε στην βελτίωση των συνθηκών μεταφοράς και αποθήκευσης μετά την συγκομιδή. Αυτό αποσκοπεί στην διατήρηση της ποιότητας των τροφίμων (Brummell & Harpster 2001). Ως ποιότητα ορίζεται το σύνολο των χαρακτηριστικών που καθορίζουν την αποδοχή αυτών από τους καταναλωτές και είναι η εμφάνιση, η υφή, η γεύση και η θρεπτική αξία (Kader 2002). Η ποιότητα και η σύσταση των φρούτων και λαχανικών εξαρτάται από την ποικιλία, το στάδιο ωριμότητας στο οποίο γίνεται η συγκομιδή, την θερμοκρασία, την τοποθεσία της καλλιέργειας και τις καλλιεργητικές φροντίδες (χρήση νερού, σύσταση του εδάφους και χρήση λιπασμάτων). Η συγκομιδή των οπωροκηπευτικών γίνεται στο κατάλληλο στάδιο ωριμότητας. Επιπλέον, η συντήρηση αποσκοπεί στην διατήρηση της οπτικής τους ποιότητας, του αρώματος και της θρεπτικής τους αξίας (Lister 1999). Σύμφωνα με τον Abbot (1999) η γενική εμφάνιση είναι το κύριο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό το οποίο χρησιμοποιούν οι καταναλωτές για την εκτίμηση της ποιότητας των οπωροκηπευτικών.

Η συσκευασία και η θερμοκρασία αποθήκευσης είναι δύο παράγοντες που συμβάλλουν στην διατήρηση της καλής ποιότητας των φρούτων και των λαχανικών. Η συσκευασία προστατεύει τα τρόφιμα από μικροβιολογικούς και μακροβιολογικούς (έντομα, τρωκτικά) κινδύνους, από επιμολυντές και ανεπιθύμητες οσμές, από την αποβολή ή την πρόσληψη υγρασίας, από τις μηχανικές καταπονήσεις και επίσης μπορεί να συμβάλλει και στην επιβράδυνση του ρυθμού της αναπνοής και της ωρίμανσης. Η θερμοκρασία αποθήκευσης έχει ως στόχο την επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης αλλοιογόνων και παθογόνων βακτηρίων και μυκήτων στην επιφάνεια των φρούτων και των λαχανικών, την επιβράδυνση της δραστηριότητας των ενζύμων (υπεροξειδάση και πολυφαινολοξειδάση) που μετέχουν σε βιοχημικές αντιδράσεις υποβάθμισης των φρούτων και των λαχανικών και την προστασία από φυσιολογικές βλάβες όπως θερμοπληξία, βλάβη λόγω ψύχους κ.τ.λ.

Πριν την συσκευασία και την αποθήκευση πραγματοποιείται πλύση των φρούτων και των λαχανικών με άφθονο νερό πλύσης που περιέχει απολυμαντικά μέσα με βάση το χλώριο και το βρώμιο (Spotts & Peters 1980). Η πλύση και η απολύμανση είναι απαραίτητες για την απομάκρυνση ρύπων, φυτοφαρμάκων, και αλλοιογόνων μικροοργανισμών (Sapers 2003). Οι πρακτικές αυτές όμως χαρακτηρίζονται από χαμηλή αποτελεσματικότητα εξαιτίας της αδυναμίας αυτών να δράσουν ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς που υπάρχουν μέσα στους καρπούς. Οι χημικές κατεργασίες που χρησιμοποιούνται στη διατήρηση φρέσκων προϊόντων έχουν το μειονέκτημα της δημιουργίας υπολειμμάτων και παραπροϊόντων (Spotts & Peters 1980). Συνεπώς, η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών, αποτελεσματικότερων και κυρίως ασφαλών μέσων εξυγίανσης στις βιομηχανίες τροφίμων καθίσταται απαραίτητη (Rice et al 1982, Perez et al 1999). Ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μέσα εξυγίανσης τα τελευταία χρόνια στην βιομηχανία τροφίμων είναι το υδατοειδές ή το αεριώδες όζον (Rice et al 1981, Rice et al 1982, Neff 1998, Rice 1999).

2. ΤΟ ΟΖΟΝ

Το όζον είναι ένα τριατομικό μόριο οξυγόνου το οποίο σχηματίζεται στην στρατόσφαιρα (15-35 km υψόμετρο) από την δράση του υπεριώδους φωτός στο διατομικό οξυγόνο και από ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις του τελευταίου. Ένα μικρό μέρος του όζοντος μεταφέρεται στην τροπόσφαιρα (15 km υψόμετρο). Περίπου το 10% του ατμοσφαιρικού όζοντος είναι παρόν στην τροπόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα υπάρχει ως παραπροϊόν της φωτοχημικής αντίδρασης μεταξύ υδρογονανθράκων, οξυγόνου και αζώτου που εκλύονται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων, τα δάση, τις βιομηχανίες και τα ηφαίστεια (Hovarth et al 1985).

Το όζον υπάρχει σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε όλη την ατμόσφαιρα της Γης σε τιμή 0,6 μέρη ανά εκατομμύριο (p.p.m.). Το 1795 ο Ολλανδός επιστήμονας Martinus Van Marum (1750-1837) διαπίστωσε ότι ο αέρας αποκτούσε μια διαφορετική οσμή κοντά σε μια ηλεκτροστατική γεννήτρια που πραγματοποιούνταν ηλεκτρικές εκκενώσεις. Η ίδια οσμή διαπιστώθηκε το 1840 και από τον Γερμανό επιστήμονα Christian Friedrich Schönbein (1799-1868) (εικόνα 1) κατά την ηλεκτρόλυση του ύδατος και την εκτέλεση πειραμάτων αργής οξείδωσης φωσφόρου. Η εκλυόμενη αυτή ουσία ονομάστηκε όζον (από το ρήμα της Αρχαίας Ελληνικής γλώσσας ὄζω που σημαίνει ὄμιμι). Το 1863 ο Ελβετός χημικός Jacques-Louis Soret (1827-1890) απέδειξε ότι το όζον αποτελείται από 3 άτομα οξυγόνου το οποίο επιβεβαιώθηκε και από τον Schönbein δύο χρόνια αργότερα. Η οσμή του όζοντος είναι οξεία, ομοιάζει με αυτήν του χλωρίου και είναι ανιχνεύσιμη από πολλούς ανθρώπους σε συγκεντρώσεις 20-40 p.p.b. στον αέρα.



Εικόνα 1. Christian Friedrich Schönbein (1799-1868).

3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Σε πρότυπες συνθήκες, το όζον είναι ένα ανοιχτό μπλε αέριο με μοριακή μάζα 48 και με πυκνότητα 2,14 g/L σε θερμοκρασία 0 °C και πίεση 101,3 kPa, η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα (1,28 g/L) κάτω από παρόμοιες συνθήκες (Wojtowicz 1996). Το όζον έχει 13 φορές μεγαλύτερη διαλυτότητα στο νερό σε σχέση με το οξυγόνο στους 0-30 °C (πίνακας 1) και αυξάνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας (Grimes et al 1983, Rice 1986). Η διαλυτότητα του όζοντος είναι μεγαλύτερη σε μη πολικούς διαλύτες όπως ο τετραχλωράνθρακας ή οι

φθοράνθρακες, όπου σχηματίζει μπλε διάλυμα. Η ταχύτητα αποικοδόμησης του όζοντος αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Rice et al 1981).

Πίνακας 1. Σχέση θερμοκρασίας και διαλυτότητας του όζοντος στο νερό (Rice et al 1981).

Θερμοκρασία (°C)	Διαλυτότητα (λίτρα όζοντος/λίτρα νερού)
0	0,640
15	0,456
27	0,270
40	0,112
60	0,000

Σε θερμοκρασία $-111,9^{\circ}\text{C}$ (σημείο υγροποίησης) και πίεση 101,3 kPa το όζον συμπυκνώνεται σε μπλε σκοτεινό υγρό (Oehlschlaeger 1978) με δείκτη διάθλασης 1,2226 το οποίο εάν θερμανθεί στο σημείο ζέσεώς του δημιουργεί εκρηκτικό μίγμα με το συμπυκνωμένο αέριο όζον. Το υγρό όζον εκρήγνυται εύκολα εάν στο μίγμα περιέχεται 20% περισσότερο όζον από οξυγόνο. Η έκρηξη μπορεί να αποτραπεί με ηλεκτρική εκτόνωση ή με απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας ή της πίεσης. Στην πράξη οι εκρήξεις συμβαίνουν πολύ σπάνια. Σε θερμοκρασία $-192,7^{\circ}\text{C}$ (σημείο στερεοποίησης) και πίεση 101,3 kPa σχηματίζει ένα μαύρο-βιολετί στερεό. Το όζον είναι ισχυρό οξειδωτικό με οξειδοαναγωγικό δυναμικό 2,07 mV (Brady and Humiston 1978) που το καθιστά ως τον τέτατρο πιο ισχυρό οξειδωτικό παράγοντα (πίνακας 2) που διατίθενται για εφαρμογές τροφίμων (Kim et al 2003). Αυτή η υψηλή του οξειδωτική ικανότητα καθιστά το όζον ικανό να καταστρέφει βλεννώδεις και αναπνευστικούς ιστούς στα ζώα, και επίσης τους ιστούς των φυτών, σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 ppb. Αυτή η ικανότητα χαρακτηρίζει το όζον ως έναν αναπνευστικό κίνδυνο και παράγοντα μόλυνσης κοντά στο έδαφος. Εντούτοις, το στρώμα του όζοντος είναι ωφέλιμο διότι παρεμποδίζει την καταστροφική επίδραση της υπερϊώδους ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης.

Το όζον σε θερμοκρασία δωματίου αποσυντίθενται πολύ γρήγορα και για το λόγο αυτό για να επιτευχθεί σταθερή συγκέντρωση πρέπει η τροφοδοσία να είναι συνεχής (Peleg 1976, Miller et al 1978). Το όζον έχει μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής στην αεριώδη κατάσταση (12 ώρες) απ'ότι στα υδατικά διαλύματα που ο χρόνος ημιζωής του όζοντος είναι μικρότερος εξαιτίας της

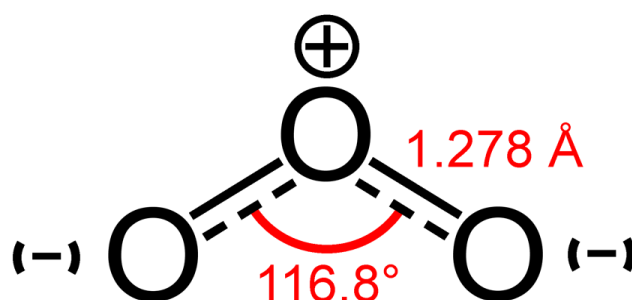
παρουσίας των αλάτων του νερού (Rice 1986, Rice et al 1982). Ο χρόνος ημιζωής του όζοντος σε αποσταγμένο νερό στους 20 °C είναι 20-30 min, ενώ στο πόσιμο νερό είναι 2 έως 4 min μικρότερος (Khadre et al 2001). Το όζον σε καθαρό νερό μετατρέπεται σε οξυγόνο γρήγορα και ακόμη πιο γρήγορα σε ακάθαρτα διαλύματα (Hill & Rice 1982). Ο χρόνος ημιζωής του όζοντος εξαρτάται επίσης και από το pH. Αύξηση της τιμής του pH καταλήγει σε ελάττωση του χρόνου ημιζωής εκτός αν χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετο το υδροχλωρικό οξύ (De Smedt et al 2001).

Πίνακας 2. Οξειδωτικοί παράγοντες και το δυναμικό οξειδοαναγωγής τους (Manley and Niegowski 1967).

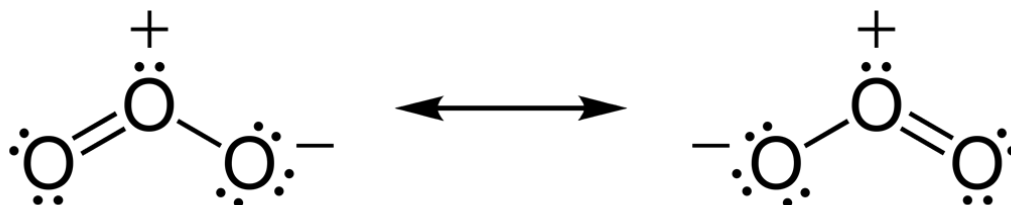
Οξειδωτικός παράγοντας	Οξειδοαναγωγικό δυναμικό (mv)
Φθόριο	3,06
Ρίζα υδροξυλίου	2,86
Άτομο οξυγόνου	2,42
Όζον	2,07
Υπεροξείδιο του υδρογόνου	1,78
Υπερμαγγανικό ιόν	1,67
Υποβρωμιώδες οξύ	1,59
Διοξείδιο του χλωρίου	1,50
Υποχλωριώδες οξύ	1,49
Αέριο χλώριο	1,36
Μοριακό οξυγόνου	1,23
Βρώμιο	1,09
Ιώδιο	0,54

Σύμφωνα με φασματοσκοπικές μεθόδους ανάλυσης το όζον έχει δομή ανεστραμμένου V (παρόμοια με αυτήν του νερού). Η απόσταση των ατόμων οξυγόνου είναι 1,278 Å

(Oehlschlaeger 1978) και η μεταξύ τους γωνία $116,8^\circ$ αντίστοιχα (Εικόνα 2). Το όζον είναι πολικό μόριο με διπολική ροπή 0,53 D. Οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων του οξυγόνου μπορούν να εκφραστούν ως ένα υβρίδιο συντονισμού με έναν απλό δεσμό στο ένα άκρο και έναν διπλό δεσμό στο άλλο άκρο (Εικόνα 3). Το τρίτο άτομο οξυγόνου είναι χαλαρά συνδεδεμένο και μπορεί εύκολα να αποσπασθεί από το μόριο. Στη συνέχεια αποδεσμεύεται γρήγορα και αντιδρά με άλλα μόρια. Η φυσική αποσύνθεση του όζοντος είναι μια λειτουργία του ασθενούς δεσμού στο τρίτο άτομο οξυγόνου.



Εικόνα 2. Μοριακή δομή του μορίου του όζοντος.



Εικόνα 3. Δομή συντονισμού του όζοντος.

Η εκτεταμένη χρήση του όζοντος αναφέρεται στην προετοιμασία των φαρμακευτικών, των συνθετικών λιπαντικών και πολλών άλλων χρήσιμων εμπορικά οργανικών ενώσεων, που χρησιμοποιούνται για να διασπούν δεσμούς άνθρακα-άνθρακα. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον αποχρωματισμό ουσιών και για την καταστροφή μικροοργανισμών στον αέρα και στο νερό. Έχει αναγνωριστεί ως ασφαλές μέσο για την επεξεργασία του νερού (FDA 1995) και έχει επιτραπεί η απευθείας χρήση του στα τρόφιμα ως αντιμικροβιακό μέσο, είτε σε

αέρια, είτε σε υγρή κατάσταση (FDA 2001). Πολλά δημοτικά συστήματα πόσιμου νερού καταστρέφουν βακτήρια με την χρήση του όζοντος αντί του χλωρίου. Σύμφωνα με τους Voidarou et al (2007) η επεξεργασία του νερού με όζον για 15 min μειώνει τον πληθυσμό των βακτηρίων για περισσότερο από 6 λογαριθμικούς κύκλους. Ολική αδρανοποίηση παρατηρήθηκε στο σπορογόνο βακτήριο *Clostridium perfringens*. Βέβαια για τον καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών δράσης του όζοντος απαιτούνται περαιτέρω μελέτες αφού υπάρχουν αλληλοεξαρτήσεις μεταξύ του μικροβιακού φορτίου, των χαρακτηριστικών του νερού και της δράσης του όζοντος. Το όζον δεν σχηματίζει οργανικές ενώσεις χλωρίου, ούτε παραμένει στο νερό μετά την επεξεργασία και μπορεί να σχηματίσει εστέρες βρωμίου σε νερό με υψηλές συγκεντρώσεις βρωμίου. Επιπλέον, το όζον οξειδώνει τα βαρέα μέταλλα, μετατρέπει πολλά μη βιοαποικοδομήσιμα οργανικά υλικά σε βιοαποικοδομήσιμα και συμβάλλει στην μείωση του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου (BOD) και του χημικά απαιτούμενου οξυγόνου (COD) στα λύματα (Hovarth et al 1985). Έτσι η χρήση του όζοντος περιορίζει στο ελάχιστο την συσσώρευση ανόργανων και οργανικών αποβλήτων στο περιβάλλον (Kim et al 1999). Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, η υψηλή αστάθεια του όζοντος αποτελεί βασικό μειονέκτημα όσο αφορά την χρήση του όζοντος ως απολυμαντικό μέσο (www.wikipedia.org/wiki/ozone). Αν και χαμηλά επίπεδα όζοντος έχουν διαφημισθεί για την χρήση τους ως απολυμαντικά σε σπίτια, η συγκέντρωση του όζοντος στον ξηρό αέρα που απαιτείται για να έχει ταχεία και ουσιώδη επίδραση, ξεπερνά τα όρια ασφαλείας που τίθενται από τον O.S.H.A. (Occupational Safety and Health Administration) και την E.P.A. (Environmental Protection Agency). Ο έλεγχος της υγρασίας μπορεί να βελτιώσει και την καταστροφική ικανότητα του όζοντος και τον ρυθμό διάσπασης αυτού σε οξυγόνο. Οι σπόροι των περισσότερων μικροοργανισμών είναι πολύ ανθεκτικοί στο ατμοσφαιρικό όζον σε συγκεντρώσεις που οι ασθματικοί αρχίζουν να παρουσιάζουν προβλήματα.

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία μετράται σε $\mu\text{mol/mol}$ (ppm, parts per million), nmol/mol (ppb, parts per billion), $\mu\text{g/m}^3$, mg/h ή mg/kg . Οι επιτρεπτές εφαρμοζόμενες συγκεντρώσεις ποικίλουν από 1 έως 5% στον αέρα και από 6 έως 14% σε οξυγόνο για παλαιότερες μεθόδους παραγωγής όζοντος. Οι νέες ηλεκτρολυτικές μέθοδοι μπορούν να πετύχουν πάνω από 20-30% συγκεντρώσεις διαλυτού όζοντος στο νερό. Η θερμοκρασία και η υγρασία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ποσότητα παραγωγής όζοντος με την χρήση

παραδοσιακών μεθόδων όπως η εκκένωση της κορόνας και η υπεριώδης ακτινοβολία. Οι παλαιές μέθοδοι έχουν μικρότερη απόδοση σε υγροποιημένο αέρα παρά σε πολύ ξηρό αέρα. Νέες γεννήτριες που χρησιμοποιούν ηλεκτρολυτικές μεθόδους μπορούν να πετύχουν υψηλότερη καθαρότητα και διάλυση με την χρήση μορίων νερού ως πηγή παραγωγής όζοντος.

4.1. ΕΚΚΕΝΩΣΗ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Αυτός είναι η πιο κοινός τύπος γεννήτριας όζοντος για βιομηχανικές και προσωπικές χρήσεις (Εικόνα 4). Έχει χαμηλό κόστος και δεν απαιτεί πηγή οξυγόνου παρά μόνο ατμοσφαιρικό αέρα για να παράγει συγκεντρώσεις όζοντος 3-6%. Διακυμάνσεις στον ατμοσφαιρικό αέρα οφειλόμενες στον καιρό ή άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες, προκαλούν μεταβολή στην παραγωγή του όζοντος. Εντούτοις, παράγουν επίσης οξείδια του αζώτου ως υποπροϊόν. Η χρήση ξηραντήρα αέρα μπορεί να ελαττώσει ή να εξαλείψει τον σχηματισμό οξειδίων του αζώτου μέσω απομάκρυνσης υδρατμών και να αυξήσει την παραγωγή του όζοντος. Η χρήση συμπυκνωτή οξυγόνου μπορεί να αυξήσει επιπλέον την παραγωγή του όζοντος και να μειώσει ακόμη περισσότερο την επικινδυνότητα σχηματισμού οξειδίων του αζώτου όχι μόνο με απομάκρυνση των υδρατμών αλλά και της συσσώρευσης του αζώτου.



Εικόνα 4. Εκκένωση κορόνας γύρω από ένα πηνίο υψηλής τάσης.

4.2. ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ ΦΩΣ

Οι υπεριώδεις γεννήτριες όζοντος ή οι υπεριώδεις γεννήτριες όζοντος-κενού χρησιμοποιούν μια πηγή φωτός που δημιουργεί μια στενή ζώνη υπεριώδους φωτός, ενός

υποσυνόλου που παράγεται από τον ήλιο. Ενώ τα πρότυπα των υπεριώδων γεννητριών όζοντος τείνουν να είναι λιγότερο ακριβά, συνήθως παράγουν όζον σε συγκέντρωση 0,5% ή λιγότερο. Ένα άλλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι οι μεγαλύτεροι χρόνοι έκθεσης αέρα στην πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Αυτό καθιστά τις υπεριώδεις γεννήτριες όζοντος ακατάλληλες για χρήση σε τοποθεσίες που υπάρχει κινούμενος αέρας ή ατμοί νερού. Οι υπεριώδεις γεννήτριες όζοντος-κενού εφαρμόζονται σε πισίνες και spa σε εκατομμύρια γαλόνια νερού. Οι υπεριώδεις γεννήτριες όζοντος-κενού δεν παράγουν επικίνδυνα υποπροϊόντα αζώτου και δουλεύουν άριστα σε περιβάλλον με υγρό αέρα. Δεν υπάρχει επίσης η ανάγκη για ακριβούς μηχανισμούς που δεν χρησιμοποιούν αέρια και για ξηραντήρες αέρα και συμπυκνωτές οξυγόνου που απαιτούν επιπλέον κόστος και συντήρηση.

4.3. ΚΡΥΟ ΠΛΑΣΜΑ

Σε αυτή την μέθοδο το αέριο οξυγόνο εκτίθεται σε πλάσμα που δημιουργείται από διηλεκτρική εκκένωση. Το οξυγόνο διασπάται σε απλά άτομα τα οποία στη συνέχεια συνδυάζονται και σχηματίζουν το όζον. Η μηχανή του κρύου πλάσματος χρησιμοποιεί καθαρό οξυγόνο ως πηγή και παράγει όζον σε μέγιστη συγκέντρωση περίπου 5%. Παράγει επιπλέον ποσότητες όζοντος σε δεδομένο χρονικό διάστημα σε σχέση με την μέθοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας. Επιπλέον, επειδή οι γεννήτριες όζοντος του κρύου πλάσματος είναι ακριβές χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους. Μερικές μονάδες κρύου πλάσματος έχουν επίσης την ικανότητα να παράγουν αλλοτροπικά είδη οξυγόνου στα οποία περιλαμβάνονται τα O₄, O₅, O₆, O₇ κλπ. Αυτά τα είδη είναι ακόμη πιο δραστικά από το συνηθισμένο όζον.

5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ

Το όζον χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1907 στις δημοτικές μονάδες ύδρευσης στην Νίκαια και το 1910 στην Αγία Πετρούπολη (Kogelschatz 1988). Το όζον βιομηχανικά χρησιμοποιείται στις εξής εφαρμογές :

1. Απολύμανση πλυντηρίων στα νοσοκομεία, στις βιομηχανίες τροφίμων κ.λπ.
2. Απολύμανση νερού αντί της χρήσης του χλωρίου.
3. Απόσμιση αέρα και ανεπιθύμητων οσμηρών ενώσεων που προέρχονται από το ξέσπασμα πυρκαγιάς.

4. Αποστείρωση των φιαλών εμφιάλωσης αναψυκτικών και μεταλλικού νερού.
5. Καταστροφή μικροοργανισμών που υπάρχουν στον αέρα και στις επιφάνειες των χώρων.
6. Καταστροφή βακτηρίων στα τρόφιμα και στις επιφάνειες.
7. Εξυγίανση ιαματικών πηγών.
8. Καταστροφή εντόμων σε αποθηκευμένους σπόρους.
9. Πλύση φρέσκων φρούτων και λαχανικών για καταστροφή ζυμών, ευρωτομυκήτων και βακτηρίων.
10. Απομάκρυνση χημικών μολυντών από το νερό (σίδηρος, αρσενικό, σουλφίδια, νιτρικά άλατα και μίγματα οργανικών ουσιών).
11. Δράση ως διαλυτικό μέσο.
12. Παραγωγή χημικών ενώσεων μέσω χημικής σύνθεσης.
13. Καθαρισμός και λεύκανση υφασμάτων.
14. Βοηθητικό στην προσκόλληση του μελανιού στην επεξεργασία των πλαστικών.
15. Καταστροφή υδρόβιων παράσιτων στην επιφάνεια των φυτών.

Το όζον είναι επίσης και ένα αντιδραστήριο το οποίο μετέχει σε πολλές οργανικές αντιδράσεις στο εργαστήριο και στην βιομηχανία. Η οζονόλυση είναι μια αντίδραση διάσπασης των αλκενίων σε καρβονυλικές ενώσεις. Πολλά νοσοκομεία στο κόσμο χρησιμοποιούν γεννήτριες όζοντος για την απολύμανση των χώρων που γίνονται τα χειρουργεία. Οι χώροι καθαρίζονται και έπειτα κλείνονται αεροστεγώς πριν πληρωθούν με όζον το οποίο καταστρέφει ή αδρανοποιεί όλα τα παραμένοντα βακτήρια. Το όζον χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό του χλωρίου στην λεύκανση του χαρτιού. Το όζον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οξείδωση της κυανικής ρίζας σε ισοκυανική ρίζα και τελικά σε διοξείδιο του άνθρακα.

6. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Η αντιμικροβιακή δράση του όζοντος περιορίζεται στην υδατική φάση της επιφάνειας των τροφίμων, επειδή αποσυντίθεται γρήγορα πάνω στην τελευταία (Kim et al 1999). Το όζον καταστρέφει τα νουκλεϊκά οξέα των βακτηρίων (Sawadaishi et al 1986). Η δομική ανάλυση του tRNA έχει δείξει ότι η υποβάθμιση συμβαίνει κατά προτίμηση στα υπολείμματα της γουανίνης (Shinriki et al 1981). Η οζονόλυση του κολλοειδούς DNA έχει επίσης αποδειχθεί (Sawadaishi et al 1986), και οι πρωτεΐνες μαζί με τα λιπίδια είναι σημαντικοί αντικειμενικοί στόχοι στην αντίδραση του όζοντος με τις βακτηριακές μεμβράνες (Pryor & Uppu 1993). Συγκεντρώσεις

όζοντος μικρότερες από 5 mg/ml σε άλμη μπορούν να προκαλέσουν λύση του DNA του κολοβακτηριδίου *Escherichia coli* και αφαίρεση του DNA από τον βακτηριοφάγο M13 μέσα σε 30 min (Hsing-Chen et al 1992). Στο DNA της *Escherichia coli*, οι βάσεις πυριμιδίνης υπέστησαν τροποποίηση με την επίδραση του όζοντος με τη θυμίνη να είναι πιο ευαίσθητη στο όζον σε σχέση με την κυτοσίνη και την ουρακίλη. Το όζον επίσης καταστρέφει και το ιικό RNA και μεταβάλλει τις πολυπεπτιδικές αλυσίδες των πρωτεϊνών που σχηματίζουν το ιικό καψίδιο (Kim et al 1999).

Το όζον κλασματοώνει τις πρωτεΐνες στα υπολείμματα της θρυπτοφάνης παρά τις διαφορές στα αμινοξέα και στο μοριακό βάρος (Pryor & Uppu 1993), οξειδώνει τις σουλφυδρυλικές ομάδες (-SH) και τα αμινοξέα των ενζύμων, των πεπτιδίων και των πρωτεϊνών σε μικρότερα πεπτιδία. Ενώ, η αντίδραση με τα λιπίδια συμβαίνει στους διπλούς δεσμούς στα ακόρεστα λιπαρά οξέα παράγοντας διαφορετικά τοξικά παράγωγα όπως το υπεροξειδίο, τα υδροϋπεροξειδία, οι αλδεϋδες και τα οξονίδια (Pryor & Uppu 1993, Legnani et al 1996, Victorin 1992). Η υποβάθμιση των ακόρεστων λιπιδίων του κυττάρου από το όζον οδηγεί σε διαταραχή των κυττάρων και επακόλουθη διαρροή των κυτταρικών περιεχομένων. Πλεονέκτημα του όζοντος έναντι άλλων απολυμαντικών παραγόντων όπως το χλώριο είναι ότι το χλώριο καταστρέφει επιλεκτικά ορισμένα ενζυμικά συστήματα εντός του κυττάρου, σε αντίθεση με το όζον που προκαλεί εκτεταμένη οξείδωση των εσωτερικών κυτταρικών πρωτεϊνών προκαλώντας ταχύ θάνατο των κυττάρων.

Μια ακόμη σημαντική επίδραση του όζοντος είναι η αναστολή της διαδικασίας της ωρίμανσης των φρούτων και των λαχανικών που αποθηκεύονται υπό ψύξη. Κατά την ωρίμανση τα φρούτα και τα λαχανικά παράγουν αιθυλένιο το οποίο επιταχύνει την διαδικασία της ωρίμανσης. Το όζον διασπά το αιθυλένιο και γενικά τα αλκένια (οξονόλυση αλκενίων) με άμεσο αποτέλεσμα την αναστολή της ωρίμανσης και την επέκταση του χρόνου ζωής του τροφίμου.

Οι παράγοντες που καθιστούν το όζον ως ένα πολύ χρήσιμο απολυμαντικό για την εξασφάλιση της μικροβιακής ασφάλειας των προϊόντων είναι η υψηλή του δραστηριότητα, η διαπερατότητά του και η αυθόρμητη αποσύνθεσή του σε οξυγόνο (Kim et al 1999). Το όζον στην αέρια και στην υγρή κατάστασή του, είναι αποτελεσματικό στην πλειοψηφία των μικροοργανισμών. Σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις και μικρά χρονικά διαστήματα επαφής είναι επαρκή για την αδρανοποίηση βακτηρίων, μυκήτων, ζυμών, ευρωτομυκήτων, παρασίτων και ιών. Οι εφαρμογές του όζοντος στην βιομηχανία των τροφίμων σχετίζονται με την αποσύνθεσή του στην επιφάνεια των προϊόντων και την επεξεργασία νερού. Το όζον έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην αδρανοποίηση της μικροχλωρίδας του κρέατος, των πουλερικών, των αυγών, των ψαριών, των φρούτων, των λαχανικών και των αποξηραμένων τροφίμων. Το όζον σε αέρια

μορφή είναι επίσης χρήσιμο στην αποτοξίνωση και στην εξάλειψη των μυκοτοξινών και των υπολειμμάτων των μυκητοκτόνων από τα γεωργικά προϊόντα. Υπερβολική χρήση του όζοντος μπορεί να προκαλέσει οξειδωση μερικών συστατικών στην επιφάνεια των τροφίμων. Αυτό συνήθως καταλήγει σε δυσχρωματισμό και αλλοίωση της γεύσης και του αρώματος των τροφίμων.

Το όζον είναι περίπου 13 φορές περισσότερο διαλυτό στο νερό από το οξυγόνο, και στο καθαρό νερό η συγκέντρωση του διαλυτού όζοντος είναι ισοδύναμη με το 26 % της συγκέντρωσης του όζοντος σε αέρια φάση σε κατάσταση ισορροπίας. Εντούτοις, αν το νερό περιέχει άλατα και βιομόρια, το όζον διασπάται ταχέως δημιουργώντας ένα μόριο οξυγόνου και ένα δραστικό άτομο οξυγόνου το οποίο λειτουργεί ως << μάρτυρας>> της υψηλής του δραστικότητας. Ανάλογα με την συγκέντρωση του όζοντος, η βασική αντίδραση (Recknagel & Turocy 1977, Pryor et al 1995) δημιουργεί υπεροξειδίο του υδρογόνου, υπεροξειδικές ρίζες και τελικά αλδεΐδες από τα ω-3 και τα ω-6 πολυακόρεστα λιπαρά οξέα. Παρουσία δισθενούς σιδήρου, οι πολύ δραστικές υδροξυλικές ρίζες, που έχουν χρόνο ημιζωής 10^{-9} sec, μπορούν να σχηματιστούν (Hoigné & Bader 1976) αλλά σε υδατικό περιβάλλον μπορούν να αντιδράσουν σε απόσταση μόνο 30 Angstroms (Hutchinson 1961). Το πολύ δραστικό άτομο οξυγόνου μπορεί να οξειδώσει είτε την εξωτερική λιπιδική μεμβράνη στα Gram αρνητικά βακτήρια, είτε την πεπτιδογλυκάνη του κυτταρικού τοιχώματος στα Gram θετικά βακτήρια. Στα Gram αρνητικά βακτήρια, τα στρώματα των λιποπρωτεϊνών και των λιποπολυσακχαριτών αποτελούν τα πρώτα μόρια-στόχους καταστροφής από το όζον με άμεσο αποτέλεσμα την μεταβολή της διαπερατότητας του κυττάρου και τελικά την λύση του. Μετά τις μεταβολές της μεμβράνης, η επιτυχής βακτηριακή αδρανοποίηση προκαλείται από αντιδράσεις διάσπασης που λαμβάνουν χώρα στον πυρήνα του κυττάρου (Thanomsub et al 2002).

Οι Staehelin & Hoigne (1985) αναφέρουν ότι το όζον αποικοδομείται σε διαλύματα με καθορισμένο τρόπο δίνοντας ρίζες υδροϋπεροξειδίου ($\cdot\text{HO}_2$), υδροξυλίου ($\cdot\text{HO}$) και υπεροξειδίου ($\cdot\text{O}_2$). Η δραστικότητα του όζοντος αποδίδεται στην πολύ υψηλή οξειδωτική ισχύ των ελεύθερων ριζών. Συγκεκριμένα η αποικοδόμηση του όζοντος περιλαμβάνει αντιδράσεις α) έναρξης, β) διάδοσης και γ) τερματισμού.

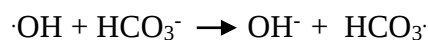
α) Κατά την έναρξη σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες όπως το ανιόν του υπεροξειδίου ($\cdot\text{O}_2^-$) και η ρίζα του υδροϋπεροξειδίου ($\cdot\text{HO}_2$) από ένα μόριο όζοντος. Ο σχηματισμός αυτών των ριζών καταλήγει στην δημιουργία της ρίζας υδροξυλίου ($\cdot\text{HO}$) που είναι πολύ δραστική.

β) Οι αντιδράσεις διάδοσης οδηγούν στον επανασχηματισμό ριζών υδροϋπεροξειδίου και υπεροξειδίου από ρίζες υδροξυλίων ($\cdot\text{HO}$), όπως φαίνεται παρακάτω:



γ) Ο τερματισμός αναφέρεται σε αντιδράσεις που οδηγούν στην αδρανοποίηση ριζών υδροξυλίου, χωρίς τον επανασχηματισμό της ρίζας του ανιόντος υπεροξειδίου.

Π. χ.:



Το όζον προκαλεί επίσης ταχεία οξειδωση των ακόρεστων αρωματικών και αλειφατικών ενώσεων προκαλώντας τάγγισμα στα λίπη, οξειδωση των αλδεϋδών σε οξέα με ταυτόχρονη μείωση του pH. Το όζον επιδρά επίσης και στις ολεφίνες και τις οξειδώνει σχηματίζοντας κυκλικές προσθήκες στους διπλούς δεσμούς (Urpu et al 1995). Επιπλέον, οξειδώνει τις σουλφυδρυλικές ομάδες (κυρίως της κυστεΐνης) που χαρακτηρίζουν τα μικροβιακά ένζυμα (Khadre et al 2001) και αδρανοποιεί ένζυμα όπως η καταλάση, η υπεροξειδάση, η πολυφαινολοξειδάση και τις αφυδρογονάσες (Κοτζεκίδου–Ρουκά 1993). Αντίθετα, το όζον αντιδρά με σχετικά χαμηλή ταχύτητα με τους πολυσακχαρίτες και τα κορεσμένα λιπαρά οξέα (Kim et al 1999). Όπως προαναφέρθηκε το όζον καταστρέφει τους ιούς, τα παράσιτα και τις βλαστικές μορφές και τα σπόρια των βακτηρίων, των ζυμών και των μυκήτων. Η αντιμικροβιακή του δράση επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες :

1. Την συγκέντρωση του όζοντος και τον χρόνο έκθεσης σε μια συγκεκριμένη συγκέντρωση όζοντος.

Στο υδατοειδές υπό μορφή φυσαλίδων όζον (bubbled aqueous ozone) σε δεδομένη θερμοκρασία και τιμή pH, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του όζοντος αυξάνεται και η απολυμαντική του ισχύς. Η αύξηση της απολυμαντικής του ισχύος λαμβάνει χώρα μέχρι το σημείο που δεν μπορεί να διαλυθεί περαιτέρω ποσότητα όζοντος, δηλαδή μέχρι το σημείο της μέγιστης διαλυτότητας (κορεσμού). Οι Olmez & Akbas (2009) μελέτησαν την απολυμαντική δράση υδατοειδούς όζοντος σε συγκεντρώσεις 0,5 έως 4,5 ppm για χρόνο 0,5 έως 3,5 min στην ελάττωση του πληθυσμού της *Listeria monocytogenes* σε ενοφθαλμισμένα φύλλα πράσινου μαρουλιού. Η λογαριθμική ελάττωση του πληθυσμού της *Listeria monocytogenes* αυξήθηκε με την συγκέντρωση του όζοντος μέχρι τιμή συγκέντρωσης 3 ppm. Αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος σε τιμές μεγαλύτερες από αυτό το επίπεδο δεν κατέληξε σε σημαντική μεταβολή του πληθυσμού της *Listeria monocytogenes*. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Koseki & Isobe (2006) και Garcia et al (2003). Σε επίπεδα όζοντος 0,5 ppm και 4,5 ppm παρατηρήθηκε ελάττωση στον πληθυσμό της *Listeria monocytogenes* κατά 0,2-0,8 λογαριθμικούς κύκλους και 1,5-2,4 λογαριθμικούς κύκλους αντίστοιχα ανάλογα με τον χρόνο έκθεσης (0,5-3,5 min). Η

λογαριθμική ελάττωση είχε μέγιστη τιμή σε χρονικά διαστήματα μεταξύ 2 και 3 min χρόνου έκθεσης. Δεν υπήρχε σημαντική αύξηση στην ελάττωση του πληθυσμού της *Listeria monocytogenes* σε χρόνο μεγαλύτερο από 2 min. Οι Rodgers et al (2004) παρατήρησαν ελάττωση κατά 5 λογαριθμικούς κύκλους στον πληθυσμό της *Listeria monocytogenes* σε μαρούλι που οξονίστηκε σε συγκέντρωση 3 ppm για 5 min. Από την άλλη πλευρά οι Yuk et al (2006) ανέφεραν ότι η εφαρμογή όζοντος συγκέντρωσης 5 ppm για 5 min δεν επηρέασε τον πληθυσμό της *Listeria monocytogenes* σε κομμένο μαρούλι iceberg αλλά ελάττωσε σημαντικά τον πληθυσμό της *Escherichia coli* O157:H7. Οι Singh et al (2002a) ανέφεραν επίσης ότι η επεξεργασία με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 9,7 και 16,5 ppm για 10 min ελάττωσε τον πληθυσμό της *Escherichia coli* κατά 1,4 έως 1,8 λογαριθμικούς κύκλους σε μαρούλι και καρότα. Οι Bialka & Demirci (2007) οξόνισαν νερό για 2-64 min και επιτύγχαναν συγκεντρώσεις από 1,7-8,9 ppm. Μετά από χρόνο επεξεργασίας 2 και 64 min παρατήρησαν ελάττωση στον πληθυσμό της *Escherichia coli* κατά 1,3 και 4,9 λογαριθμικούς κύκλους, αντίστοιχα.

Στην περίπτωση του αεριώδους όζοντος σε μια δεδομένη θερμοκρασία και σχετική υγρασία, όσο αυξάνεται η συγκέντρωση του όζοντος αυξάνεται και η απολυμαντική του ισχύς. Όσο αφορά τον χρόνο επαφής για το υδατοειδές όζον και τον χρόνο έκθεσης για το αεριώδες όζον όσο αυξάνεται ο χρόνος αυξάνεται και η απολυμαντική του ισχύς. Οι Singh et al (2002a) παρατήρησαν ότι η βακτηριοκτόνος δράση του αεριώδους όζοντος σε εύρη συγκεντρώσεων 2,1 - 7,6 ppb ενάντια της *Escherichia coli* O157:H7, αυξανόταν με την αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος και την αύξηση του χρόνου έκθεσης. Επίσης ανέφεραν ότι η επεξεργασία με όζον για 5 ή 10 min δεν μείωσε σημαντικά τον πληθυσμό της *Escherichia coli* O157:H7, εντούτοις μετά από 15 min χρόνο έκθεσης παρατηρήθηκαν μειώσεις στον πληθυσμό της *Escherichia coli* O157:H7 κατά 0,79-1,79 λογαριθμικούς κύκλους και 1,11-2,64 λογαριθμικούς κύκλους σε μαρούλι και καρότο αντίστοιχα.

2. Την κατάσταση του όζοντος.

Το όζον μπορεί να εφαρμοσθεί τόσο στην υδατοειδή του κατάσταση, όσο και στην αεριώδη του. Στην υδατοειδή του κατάσταση το όζον υπάρχει σε δύο μορφές : α) υδατοειδές υπό μορφή φυσαλίδων όζον και β) προοξονισμένο νερό. Διάφοροι ερευνητές έχουν αναφέρει ότι η επεξεργασία με υδατοειδές υπό μορφή φυσαλίδων όζον ήταν περισσότερο αποτελεσματική σε σχέση με το προοξονισμένο νερό (Kim et al 1999, Achen & Yousef 2001). Ο Olmez (2010) αναφέρει ότι κατά την επεξεργασία με κολλοειδές διάλυμα αερίου όζοντος για 2 min τεχνητά εμβολιασμένου μαρουλιού με *Escherichia coli* παρατηρήθηκε ελάττωση κατά 2 λογαριθμικούς

κύκλους, ενώ κατά την εμβάπτιση σε προοζονισμένο νερό για 2 min παρατηρήθηκε ελάττωση κατά 1 λογαριθμικό κύκλο. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την θεωρία του φιλμ η οποία δηλώνει ότι όταν το όζον είναι υπό την μορφή φυσαλίδων σε νερό, σχηματίζεται ένα υγρό φιλμ στην μεσεπιφάνεια αερίου-υγρού και το όζον γίνεται πιο συμπυκνωμένο σε αυτό το υγρό φιλμ απ'ότι σε έναν όγκο υγρού. Η χαμηλή διαλυτότητα του όζοντος στο νερό περιορίζει αυστηρά την αποτελεσματικότητα του υδατοειδούς όζοντος στην μικροβιακή αδρανοποίηση. Είναι επίσης γνωστό ότι το όζον στην αεριώδη του κατάσταση έχει μεγαλύτερο χρόνο ημιζωής και υψηλότερο ρυθμό διάχυσης από το όζον στην υδατοειδή του κατάσταση (Kim et al 1999). Επομένως, η χρήση ενός απολυμαντικού μέσου σε αέρια κατάσταση συνίσταται απ'ότι σε υδατοειδή (Vurma et al 2009). Τα προϊόντα που επεξεργάζονται με αεριώδεις όζον μπορούν να επεξεργαστούν σε χαμηλές δόσεις όζοντος (0,1-10 μl/l) για σχετικά μεγάλες περιόδους (ημέρες-μήνες) ή σε υψηλές δόσεις όζοντος (100-10000 μl/l) για μικρά χρονικά διαστήματα (min-h).

3. Το είδος και το γένος του μικροοργανισμού.

Τα Gram θετικά βακτήρια είναι περισσότερο ανθεκτικά στο όζον σε σχέση με τα Gram αρνητικά βακτήρια λόγω του παχύτερου στρώματος της πεπτιδογλυκάνης του κυτταρικού τοιχώματος (Kim et al 1999, Zuma et al 2009). Αντίθετα, οι Vaz-Velho et al (2009) ισχυρίζονται ότι τα Gram αρνητικά βακτήρια είναι πιο ανθεκτικά στο όζον από τα Gram θετικά βακτήρια. Οι Restaino et al (1995) παρατήρησαν ότι η *Listeria monocytogenes* ήταν σημαντικά πιο ευαίσθητη στο όζον από άλλα Gram θετικά βακτήρια (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* και *Bacillus cereus*) και Gram αρνητικά βακτήρια (*Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa* και *Yersinia enterocolitica*). Σύμφωνα με τους Ingam & Haines (2009) τα βακτήρια του γένους *Achromobacter* και *Pseudomonas* είναι τα πιο ανθεκτικά. Οι μύκητες είναι πιο ανθεκτικοί από τα βακτήρια. Στο σύνολο οι μύκητες και οι ζύμες είναι περίπου τόσο ευαίσθητα όσο τα βακτήρια.

4. Η φυσιολογική κατάσταση των μικροοργανισμών.

Οι μικροοργανισμοί που έχουν υποστεί καταπονήσεις από προηγούμενες επεξεργασίες και έχουν επιβιώσει αυτών, όπως το θερμικό σοκ κατά την έκθεση τους σε θερμοκρασίες παστερίωσης και αποστείρωσης και το ψυχρό σοκ κατά την έκθεση τους σε θερμοκρασίες ψύξης και κατάψυξης, παρουσιάζουν μικρότερη ανθεκτικότητα στο όζον σε σχέση με τους μικροοργανισμούς που δεν έχουν υποστεί καμία καταπόνηση.

5. Τον πληθυσμό των μικροοργανισμών ανά μονάδα μάζας ή όγκου τροφίμου.

Όσο αυξάνεται ο μικροβιακός πληθυσμός αυξάνεται και η ανθεκτικότητά τους στο όζον πιθανώς λόγω αύξησης των πιθανοτήτων ύπαρξης στελεχών με υψηλή ανθεκτικότητα και εξαιτίας δημιουργίας ενός βιοφίλμ από την συνάθροιση των μικροοργανισμών.

6. Η τοποθεσία των μικροοργανισμών στο τρόφιμο.

Ανάλογα με την τοποθεσία του τροφίμου στην οποία βρίσκονται οι μικροοργανισμοί έχουν διαφορετική ευαισθησία στην απολυμαντική ισχύ του όζοντος. Σε ένα τρόφιμο φυτικής προέλευσης οι μικροοργανισμοί που βρίσκονται στην επιφάνεια έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στο όζον σε σχέση με τους μικροοργανισμούς που εντοπίζονται σε περιοχές που δρουν ως κρυψώνες για αυτούς όπως π.χ. ο μίσχος λόγω περιορισμένης διαχυτικότητας του όζοντος σε αυτές τις περιοχές.

7. Το pH του μέσου.

Εφόσον το αρχικό στάδιο της διάσπασης του όζοντος περιλαμβάνει αντίδραση του όζοντος με υδροξυλιόντα η σταθερότητα του υδατοειδούς όζοντος εξαρτάται από το pH και ελαττώνεται με την αύξηση της αλκαλικότητας (Staehelin & Hoigne 1982, Roth & Sullivan 1983, Staehelin, Buehler & Hoigne 1984, Tomiyasu & Fukutomi 1985). Σε τιμές pH μεγαλύτερες του 8 ο ρυθμός εκκίνησης παρουσία συλλεκτών ριζών έχει δειχθεί ότι είναι ανάλογος της συγκέντρωσης του O_3 και των OH^- (Alder & Hill 1950, Hoigne et al 1985). Εντούτοις, σε όξινα διαλύματα η αντίδραση με OH^- δεν μπορεί να είναι το μόνο στάδιο εκκίνησης. Σε τιμή pH χαμηλότερη του 4 οι προβλεπόμενοι ρυθμοί αντίδρασης που περιλαμβάνουν μηχανισμούς που βασίζονται μόνο στην αντίδραση με OH^- είναι πολύ χαμηλότεροι από αυτούς που καθορίζονται πειραματικά. Σύμφωνα με τους Hewes et al (1973) σε υψηλές τιμές pH το όζον διασπάται εξαιτίας της καταλυτικής δράσης του υδροξυλιόντος. Το pH έχει επίσης επίδραση και στην διαλυτότητα του όζοντος. Σε χαμηλές τιμές pH η διαλυτότητα του όζοντος αυξάνεται. Εντούτοις, η διαλυτότητα δεν είναι απλά μόνο εξαρτημένη από το pH αλλά και από το μέσο που χρησιμοποιείται για την οξίνιση. Η χρήση HCl σε τιμή pH μικρότερη του 2 ελαττώνει την διαλυτότητα του όζοντος εξαιτίας της διάσπασης του όζοντος από τα ιόντα χλωρίου (De Smedt et al 2001).

8. Την θερμοκρασία.

Η σταθερότητα, η διαλυτότητα και η δραστικότητα του όζοντος είναι παράγοντες που επηρεάζουν την απολυμαντική του ικανότητα και εξαρτώνται από την θερμοκρασία. Αφού, η δραστικότητα του όζοντος είναι άμεσα ανάλογη με την θερμοκρασία, η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να αυξήσει τη μικροβιακή αδρανοποίηση. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει και την διάσπαση του όζοντος (Katzenelson et al 1974). Αλλά καθώς η διαλυτότητα και η σταθερότητα είναι αντιστρόφως ανάλογες με την θερμοκρασία αυτοί οι δύο παράγοντες αντισταθμίζουν την επίδραση της θερμοκρασίας στην δραστικότητα του όζοντος. Συνεπώς σε διαφορετικά εύρη θερμοκρασιών και σε διαφορετικά συστήματα επιτυγχάνονται διαφορετικά αποτελέσματα (Achen & Yousef 2001). Οι Olmez & Akbas (2009) μελέτησαν την απολυμαντική δράση υδατοειδούς όζοντος συγκέντρωσης 1 ppm για 2 min σε ενοφθαλμισμένα φύλλα πράσινου μαρουλιού με *Listeria monocytogenes* σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες 10°C, 18°C και 26°C. Οι πληθυσμοί της *Listeria monocytogenes* μειώθηκαν κατά 1,51, 1,35 και 1,45 λογαριθμικούς κύκλους σε θερμοκρασίες 10°C, 18°C και 26°C αντίστοιχα. Επίσης, οι Achen & Yousef (2001) και οι Muraca et al (1987) δεν παρατήρησαν σημαντική επίδραση της θερμοκρασίας στην μικροβιακή ελάττωση. Από την άλλη πλευρά οι Herbold et al (1989) ανέφεραν ότι η αποτελεσματικότητα του όζοντος στην αδρανοποίηση της *Escherichia coli* ελαττώθηκε σημαντικά καθώς η θερμοκρασία αυξήθηκε από 10°C σε 20°C. Οι Fan et al (2007) εμβολίασαν αιώρημα *Listeria innocua* σε potato dextrose άγαρ και nutrient άγαρ και έπειτα τα επεξεργάστηκαν με αεριώδες όζον (50 ή 100 nl/L) για 0-24 h σε 2 διαφορετικές θερμοκρασίες (5°C και 20°C). Η ανασταλτική επίδραση του όζοντος στους 20°C ήταν υψηλότερη από αυτήν στους 5°C. Ο μέσος χρόνος για ελάττωση 2 λογαριθμικών κύκλων ήταν 78 min στους 20°C και 150 min στους 5°C. Πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος (<10 μl/l) έχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες ανασταλτική επίδραση στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

9. Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό.

Η απολυμαντική δράση του όζοντος είναι χαμηλή σε συστήματα όπου το μέσο περιέχει οργανικές ουσίες που οξειδώνονται. Αρωματικές ενώσεις που περιέχουν στο μόριό τους ομάδες που δρουν ως δότες ηλεκτρονίων (-OH και -NH₂) έχουν υψηλή ηλεκτρονική πυκνότητα σε όρθο- και πάρα- θέσεις. Σε αυτές τις θέσεις οι αρωματικές ενώσεις αντιδρούν ταχέως και

δραστικά με το όζον. Συνεπώς η απολυμαντική δράση του όζοντος είναι χαμηλότερη απ'ότι είναι απουσία τέτοιων ενώσεων.

Πυρηνόφιλες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα όπου υπάρχει έλλειμμα ηλεκτρονίων και συγκεκριμένα σε ενώσεις άνθρακα που περιέχουν ομάδες που δρουν ως δέκτες ηλεκτρονίων (-COOH και -NO₂). Για ομάδες που δρουν ως δέκτες ηλεκτρονίων η ταχύτητα της αντίδρασης είναι πολύ χαμηλότερη. Συνεπώς η απολυμαντική δράση του όζοντος είναι υψηλότερη απ'ότι παρουσία ενώσεων που περιέχουν στο μόριό τους ομάδες που δρουν ως δότες ηλεκτρονίων.

Το όζον αντιδρά γρηγορότερα με ιονισμένες και οργανικές ενώσεις σε διάσταση σε σχέση με τις ενώσεις στην αδιάστατη μορφή τους. Για τις περισσότερες ανόργανες ενώσεις στο πόσιμο νερό η ταχύτητα αντίδρασης είναι σχετικά υψηλή. Ο κύριος μηχανισμός αντίδρασης για την οξείδωση ανόργανων ενώσεων είναι η αντίδραση μεταφοράς ενός εξτρά ατόμου οξυγόνου του όζοντος στις ανόργανες ενώσεις. Για τις ανόργανες ενώσεις η ταχύτητα αντίδρασης είναι επίσης υψηλότερη για ιονισμένες και σε διάσταση ενώσεις.

10. Την σχετική υγρασία του χώρου.

Η σχετική υγρασία είναι σημαντική παράμετρος στην εφαρμογή του αεριώδους όζοντος. Η παρουσία υδρατμών καταλήγει στον σχηματισμό άλλων οξειδωτικών ριζών όπως υδροξυλικές, υπεροξειδικές και υδροϋπεροξειδικές ρίζες που μπορούν να έχουν επιπρόσθετες επιδράσεις στην μικροβιακή αδρανοποίηση (Klockow & Keener 2009). Σύμφωνα με τους Kim et al (1999), σε χαμηλά επίπεδα όζοντος και σε επίπεδα σχετικής υγρασίας μικρότερα του 45%, το όζον δεν έδειξε ιδιαίτερη μικροβιοκτόνο δράση. Αντίθετα, η αύξηση της σχετικής υγρασίας κατέληξε σε σημαντική ελάττωση του αριθμού των βακτηρίων. Οι Elford & Ende (1942) ανέφεραν ότι σε τιμές σχετικής υγρασίας χαμηλότερες από 45%, η απολυμαντική δράση χαμηλών συγκεντρώσεων όζοντος ήταν αμελητέα. Ο Ewell (1946) ανέφερε ότι το αέριο όζον σκοτώνει τους μικροοργανισμούς πιο γρήγορα σε υγρή ατμόσφαιρα. Οι Kim & Yousef (2000) μελέτησαν τις επιδράσεις της σχετικής υγρασίας στην αδρανοποίηση του *Bacillus subtilis* και βρήκαν ότι η βέλτιστη σχετική υγρασία ήταν 90-95%. Οι Ozkan et al (2011) μελέτησαν την επίδραση του όζοντος σε τρεις διαφορετικές σχετικές υγρασίες στην θανάτωση των κονιδίων των μυκήτων *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* και *Botrytis cinerea*. Σε σχετική υγρασία 95% το 99% των κονιδίων των μυκήτων *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum* και *Botrytis cinerea* ήταν ανίκανο να αναπτυχθεί μετά από έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος 817, 732 ή 702 μl/l x h, αντίστοιχα, ενώ σε σχετική υγρασία 75% για παρόμοια αναστολή απαιτήθηκαν συγκεντρώσεις

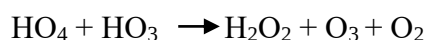
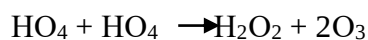
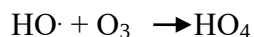
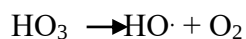
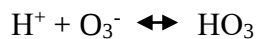
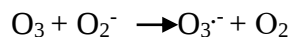
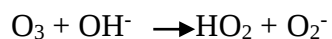
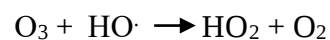
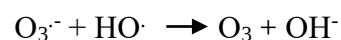
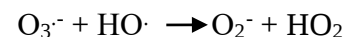
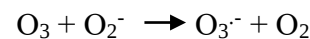
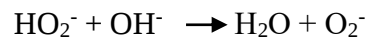
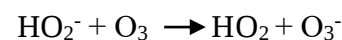
όζοντος 1781, 1274 ή 1262 $\mu\text{L/l} \times \text{h}$, αντίστοιχα, και σε σχετική υγρασία 35% απαιτήθηκε έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος 11410, 10775 ή 7713 $\mu\text{L/l} \times \text{h}$, αντίστοιχα.

11. Την μέθοδο κατανομής του όζοντος (ανάδευση, υπέρηχοι).

Η ανάδευση με υψηλή ταχύτητα κατά την διάρκεια του οζονισμού με υδατοειδές όζον ενισχύει αισθητά την ικανότητα του όζοντος να αδρανοποιεί τους μικροοργανισμούς. Οι υπέρηχοι επίσης βελτιώνουν την απολυμαντική ισχύ του όζοντος συγκριτικά με την ανάδευση σε χαμηλή ταχύτητα. Η ανάδευση υποβοηθά τον ρυθμό αποσύνθεσης του όζοντος σε δραστικές ρίζες. Οι Kim et al (1998) μελέτησαν την επίδραση του υδατοειδούς όζοντος συγκέντρωσης 2,0 mM στην μικροχλωρίδα κομμένου μαρουλιού υπό ανάδευση χαμηλής ταχύτητας (200 rpm), ανάδευση χαμηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με υπέρηχους και ανάδευση υψηλής ταχύτητας (300 rpm). Ο πληθυσμός της φυσικής μικροχλωρίδας ελαττώθηκε κατά 1,1 λογαριθμικούς κύκλους στο μαρούλι που οζονίστηκε υπό χαμηλή ταχύτητα ανάδευσης, κατά 1,43 λογαριθμικούς κύκλους στο μαρούλι που οζονίστηκε υπό χαμηλή ταχύτητα ανάδευσης και υπέρηχους και 1,88 λογαριθμικούς κύκλους στο μαρούλι που οζονίστηκε υπό υψηλή ταχύτητα ανάδευσης.

12. Τα πρόσθετα.

Είναι δύσκολο να προβλεφθεί πώς θα αντιδράσει το όζον παρουσία οργανικής ύλης. Το όζον έχει την δυνατότητα να δρά άμεσα με το να οξειδώνει ή να ιονίζει άμεσα την ένωση ή να δράσει έμμεσα μετά την αποσύνθεσή του σε ελεύθερες ρίζες και οξυγόνο. Στον άμεσο μηχανισμό δράσης το όζον δρα άμεσα ενάντια συγκεκριμένων ενώσεων και λειτουργικών ομάδων. Το όζον σχηματίζει οζονίδια κατά την αντίδρασή του με ακόρεστους δεσμούς σύμφωνα με τον μηχανισμό Criegee, όπου υφίστανται διπολική αντίδραση με τους διπλούς δεσμούς στις θέσεις 1 και 3, καταλήγοντας στον σχηματισμό οζονιδίων των αλκενίων και των ενδιάμεσων οξειδίων των αλδεϋδών ή των κετονών (Griegee 1975). Το όζον είναι ισχυρά ηλεκτρονιόφιλο και αντιδρά ταχέως με οργανικές και μη οργανικές ενώσεις. Η δραστικότητα ενισχύεται από ομάδες που δρουν ως ηλεκτρονιοδότες και ελαττώνεται από ομάδες που δρουν ως ηλεκτρονιοδέκτες. Στον έμμεσο μηχανισμό δράσης του όζοντος, το όζον διασπάται αργά σε πολλαπλά στάδια που περιλαμβάνουν σχηματισμό ριζών. Η διάσπαση είναι μια αλυσιδωτή διαδικασία και έχει περιγραφεί από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς, τον Hoigné-Staehelin-Bader (HSB) και Gordon-Tomiyasu-Fukutomi (GTF) (Διάγραμμα 1).

Hoigné-Staehelin-BaderGordon-Tomiyasu-Fukutomi

Διάγραμμα 1. Αλυσιδωτές αντιδράσεις διάσπασης όζοντος (Langlais et al 1991).

Στον μηχανισμό HSB το αρχικό στάδιο είναι μια μεταφορά ατόμου οξυγόνου από το όζον στο υδροξυλίον, ακολουθούμενη από ανεστραμμένη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου. Αντίθετα, στον μηχανισμό GTF αναφέρεται μόνο το στάδιο μεταφοράς ατόμου οξυγόνου. Εντούτοις, η κύρια αντίδραση και στους δύο μηχανισμούς είναι το αρχικό στάδιο, όπου το όζον αντιδρά με υδροξυλιόντα.

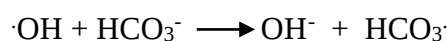
Οι μηχανισμοί αποσύνθεσης αυτού είναι σύνθετοι και εξαρτώνται από τον τύπο των ριζών που σχηματίζονται στο διάλυμα και τους διάφορους τύπους οργανικής ύλης που υπάρχουν στο τρόφιμο και αρχίζουν (εκκινητές), προωθούν (προωθητές) ή εμποδίζουν (αναστολείς) την αντίδραση σχηματισμού των ριζών.

Εκκινητές είναι ενώσεις που σχηματίζουν ανιόν υπεροξειδίου ($\cdot\text{O}_2^-$) και ρίζα υδροϋπεροξειδίου ($\cdot\text{HO}_2$) από ένα μόριο όζοντος. Παραδείγματα αυτών είναι τα ιόντα υδροξυλίου (OH^-), τα υδροϋπεροξειδικά ανιόντα (HO_2^-), το δισθενές ιόν σιδήρου (Fe^{+2}), το υπεροξείδιο του υδρογόνου (H_2O_2) και ένας αριθμός οργανικών ενώσεων όπως το μυρμηκικό και το χουμικό οξύ. Επιπλέον, για τις αλυσιδωτές αντιδράσεις του όζοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η υπεριώδης ακτινοβολία στα 254 nm.

Προωθητές είναι ενώσεις που αναγεννούν υπεροξειδικές ($\cdot\text{O}_2^-$) και υδροϋπεροξειδικές ($\cdot\text{HO}_2$) ρίζες από ρίζες υδροξυλίων ($\cdot\text{HO}$). Ενώσεις που δρουν ως προωθητές είναι το ίδιο το όζον, ενώσεις που έχουν στο μόριό τους θειολομάδα και αρυλομάδες (φαινύλιο, τολύλιο, ξυλύλιο, ναφθύλιο, θειενύλιο, ινδολύλιο κ.τ.λ.), πρωτοταγείς και δευτεροταγείς αλκοόλες και χουμικό οξύ.

Αναστολείς είναι ενώσεις που καταναλώνουν ρίζες υδροξυλίου χωρίς την αναγέννηση ανιόντων υπεροξειδίου (O_2^-) και επομένως επιβραδύνει την διάσπαση του όζοντος. Παραδείγματα αναστολέων αποτελούν οι τριτοταγείς αλκοόλες, ενώσεις με αλκυλομάδες, τα φωσφορικά ιόντα, τα ανθρακικά ιόντα και το οξικό οξύ. Οι Sehested et al (1987) αναφέρουν ότι η ρίζα οξικού ανιόντος αντιδρά με το όζον και δίνει ως προϊόντα CO_2 , $HCHO$ και O_2 . Από επακόλουθη αντίδραση των υπεροξειδικών ριζών με το όζον, η ρίζα οξικού ανιόντος αναγεννάται μέσω των υδροξυλικών ριζών. Η αλυσιδωτή αποσύνθεση του όζοντος λαμβάνει χώρα και τερματίζεται όταν η ρίζα του οξικού ιόντος αντιδρά με το οξυγόνο σχηματίζοντας μια μη δραστική υπεροξειδική ρίζα οξικού οξέος. Η ανασταλτική επίδραση του οξικού οξέος στην αποσύνθεση του όζοντος αιτιολογείται από την συλλογή υδροξυλιόντων από το οξικό οξύ και την διαδοχική αντίδραση των ριζών οξικού ιόντος με οξυγόνο.

Τα ανθρακικά ιόντα είναι αναστολέας που αναστέλλει ολοκληρωτικά την αλυσιδωτή αντίδραση των ριζών και επομένως αναγεννά όζον.



Συνεπώς, είναι δύσκολο να οριστικοποιηθεί με ποιο τρόπο μια συγκεκριμένη συγκέντρωση όζοντος θα είναι πάντα αποτελεσματική στην θανάτωση μιας καθορισμένης συγκέντρωσης μικροοργανισμών σε ένα τρόφιμο.

13. Την οργανική ουσία που περιβάλλει τα κύτταρα των μικροοργανισμών.

Συγκριτικά μικρές συγκεντρώσεις επαρκούν για να καταστρέψουν τα βακτήρια που αιωρούνται σε νερό. Σε συνθετικό μέσο απαιτούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για την αναστολή της βακτηριακής ανάπτυξης ενώ ακόμη μεγαλύτερες ποσότητες απαιτούνται σε θρεπτικό ζωμό (Ingram & Haines 1949). Σύμφωνα με τον Block (1982), η οργανική ύλη αντιδρά ταχέως με το όζον και ελαττώνει την απολυμαντική του ισχύ. Ο Kim (1998), αναφέρει ότι το όζον είναι λιγότερο αποτελεσματικό στην αδρανοποίηση των βακτηρίων σε ελάχιστα επεξεργασμένα λαχανικά απ'ότι σε καθαρό αιώρημα κυττάρων.

7. ΑΝΤΙΜΙΚΡΟΒΙΑΚΗ ΔΡΑΣΗ

Πρόσφατα, το όζον άρχισε να χρησιμοποιείται σε διάφορες μορφές και στην ιατρική (Alvarez et al 1997, Finch et al 1993, Morris et al 1997, Falcon Lincheta et al 1998, Komanapalli, & Lau 1998). Σε μια έρευνα αποδείχθηκε η αντιβακτηριδιακή του δράση στο είδος

S. aureus και η αντικτική του δράση στον ιό T1 σε συγκεντρώσεις 10 p.p.m. σε καθαριστή οδοντοστοιχίας (Benjamas-Thanomsub et al 2002). Ο Nagayoshi και οι συνεργάτες του (2004), μελέτησαν την επίδραση του οξονισμένου νερού στους μικροοργανισμούς της στοματικής κοιλότητας, στο είδος *Streptococcus mutans* και στην οδοντική πλάκα (Benjamas-Thanomsub et al 2002). Στα αποτελέσματα δεν ανιχνεύθηκαν μικροοργανισμοί μετά την επεξεργασία με οξονισμένο νερό συγκέντρωσης 4 mg/ml για 10 sec. Τα κύτταρα του *Streptococcus mutans* καταστράφηκαν ακαριαία στο οξονισμένο νερό. Επίσης όταν η πειραματική οδοντική πλάκα εκθέτονταν στο οξονισμένο νερό, ο αριθμός των βιώσιμων κυττάρων του *Streptococcus mutans* μειώθηκε. Το οξονισμένο νερό επίσης παρεμπόδισε ισχυρά την συσσώρευση οδοντικής πλάκας.

Η χρήση των αντιβιοτικών στην θεραπεία μεταδοτικών ασθενειών και η εμφάνιση ανθεκτικών βακτηρίων στα φάρμακα, οδήγησε τους ερευνητές στην μελέτη αντιμικροβιακών παραγόντων για τα απαραίτητα έλαια (Hammer et al 1999, Cox et al 2000, Dorman & Deans 2000). Το όζον δεν μολύνει την ατμόσφαιρα και καμία βακτηριακή αντίσταση δεν έχει ανακοινωθεί σε αυτό πρόσφατα. Η εφαρμογή αυτού του συστήματος μπορεί να είναι περισσότερο εκτεταμένη και να ποικίλει από την θεραπεία βαθιάς μολυσματικής ασθένειας όπως αυτές που προκαλούνται από τον *Helicobacter pylori* και τον *Staphylococcus aureus* (Yanayoshi & Tatsumi 1993, Lezcano et al 1998) έως την επιδερμίτιδα (Alvarez & O' Brien 1982). Διαφορετικά οξονισμένα διαλύματα έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς έναντι διαφόρων μολύνσεων όπως η ωτίτιδα και η κολίτιδα (Finch et al 1993, Gundarova et al 1996, Morris et al 1997). Το οξονισμένο ηλιέλαιο έχει σημαντικές αντιβακτηριακές ιδιότητες (Leznaco et al 1998) και δρα άμεσα στους παθογόνους μικροοργανισμούς χωρίς να καταστρέφει το επιθήλιο του ανθρώπου (Pryor & Uppu 1993). Σε έρευνα που διεξήχθη με σκοπό την δερματική τοξικότητα σε κουνέλια και ποντίκια διαπιστώθηκε ότι στα ποντίκια, συγκέντρωση όζοντος 2000 mg/Kg δεν είχε τοξική επίδραση (Martinez-Sanchez et al 1997). Το οξονισμένο ηλιέλαιο ήταν ελαφρώς ερεθιστικό, αλλά όλες οι ιστολογικές παράμετροι (συκώτι, νεφρά) ήταν φυσιολογικές. Η δράση του οξονισμένου ηλιέλαιου στα κουνέλια ήταν συγκρίσιμη με αυτή στα ποντίκια. Επίσης μελετήθηκε και η σταθερότητα του οξονισμένου ηλιέλαιου. Σε θερμοκρασίες -10°C έως 8°C το ηλιέλαιο ήταν σταθερό για διάστημα μεγαλύτερο του 1 έτους. Επιπλέον είναι σταθερό για πάνω από 6 μήνες σε θερμοκρασίες δωματίου (27-30°C). Μετά από αυτή την περίοδο οι αντιμικροβιακές ιδιότητες ελαττώνονται. Το pH ήταν επίσης σταθερό για πάνω από 1 χρόνο σε θερμοκρασίες -10°C έως 8°C, ενώ σε θερμοκρασία 30°C ήταν σταθερό για πάνω από 6 μήνες.

Ο Sechi et al (2001), μελέτησαν την επίδραση του οξονισμένου ηλιέλαιου σε μικροοργανισμούς που ανήκουν στα γένη *Mycobacterium*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* και *Escherichia*. Τα είδη που εξετάστηκαν ήταν 40 στελέχη του

Streptococcus pyogenes από το δέρμα διαφόρων ασθενών, 21 στελέχη του *Enterococcus faecium*, 27 στελέχη του *Escherichia coli* MDR και άλλα 13 στελέχη από το νοσοκομείο ‘Agostino Gemelli’ της Ρώμης, 50 στελέχη του *Staphylococcus aureus*, 19 στελέχη του *Staphylococcus epidermidis*, 40 κλινικά στελέχη του *Pseudomonas aeruginosa*, 3 στελέχη του *Mycobacterium tuberculosis* 3 στελέχη του *Mycobacterium avium*, 2 στελέχη του *Mycobacterium chelonae*, 2 στελέχη του *Mycobacterium fortuitum* και ένα στέλεχος του *Mycobacterium neoaurum*.

Το στέλεχος *Mycobacterium tuberculosis* H37Rv ήταν ευαίσθητο σε συγκεντρώσεις όζοντος 0,95 mg/ml, ενώ τα 2 στελέχη *Mycobacterium tuberculosis* MDR και τα 2 στελέχη του *Mycobacterium fortuitum* ήταν ευαίσθητα σε τιμές συγκέντρωσης όζοντος 0,95-2,37 mg/ml. Τα 3 στελέχη του *Mycobacterium avium* και τα 2 στελέχη του *Mycobacterium chelonae* ήταν ευαίσθητα σε τιμές συγκέντρωσης όζοντος 2,37 mg/ml (πίνακας 3).

Πίνακας 3. Ευαισθησία στο οζονισμένο έλαιο διαφόρων ειδών του γένους *Mycobacteria*.

Species (no. of strains)	MIC (mg ml ⁻¹)
<i>M. tuberculosis</i> H37 Rv (1)	0-95
<i>M. smegmatis</i> mc155 (1)	0-95
<i>M. abscessus</i> (1)	2-37
<i>M. aurum</i> (1)	0-95
<i>M. avium</i> (2)	2-37
<i>M. fortuitum</i> (2)	0-95–2-37
<i>M. chelonae</i> (2)	2-37
<i>M. tuberculosis</i> (1)	0-95
<i>M. tuberculosis</i> MDR (2)	0-95–2-37

Από το γένος *Enterococcus*, 3 στελέχη του *Enterococcus faecium* παρουσίασαν ευαισθησία σε συγκεντρώσεις όζοντος 9,5 mg/ml, 9 στελέχη σε συγκέντρωση 4,75 mg/ml, 6 στελέχη σε συγκέντρωση 2,37 mg/ml και 3 στελέχη σε συγκέντρωση 1,18 mg/ml (πίνακας 4).

Από το είδος *Streptococcus pyogenes* και τα 40 στελέχη ήταν ευαίσθητα σε συγκεντρώσεις 2,37-9,5 mg/ml. Το στέλεχος XL1 της *Escherichia coli* ήταν ευαίσθητο σε συγκέντρωση όζοντος μικρότερη από 1,18 mg/ml, ενώ το στέλεχος ATCC 25922 σε συγκέντρωση 4,75 mg/ml. Για τα κλινικά απομονωμένα στελέχη η ελάχιστη ανασταλτική συγκέντρωση όζοντος ήταν 4,75 mg/ml εκτός από 3 στελέχη στα οποία ήταν 2,37 mg/ml και από 2 στελέχη στα οποία ήταν 1,18 mg/ml. Ο *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 και ο *Staphylococcus epidermidis* ATCC 14990 ήταν ευαίσθητοι σε τιμές συγκέντρωσης 9,5 mg/ml. 19 στελέχη του *Staphylococcus epidermidis* εξετάστηκαν επίσης στην ευαισθησία τους στο όζον. Οι ελάχιστες ανασταλτικές συγκεντρώσεις ήταν από 2,37 mg/ml έως 9,5 mg/ml. Μόνο 4 στελέχη ήταν ευαίσθητα σε συγκέντρωση 2,37

mg/ml. Η *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 παρουσίασε ευαισθησία σε συγκέντρωση 4,75 mg/ml. Από τα 40 κλινικά απομονωμένα στελέχη της *Pseudomonas aeruginosa* όλα ήταν ευαίσθητα σε συγκέντρωση 4,75 mg/ml εκτός από 1 στέλεχος που ήταν ευαίσθητο σε συγκέντρωση 9,5 mg/ml (πίνακας 5).

Πίνακας 4. Ευαισθησία στο οξονισμένο έλαιο διαφόρων ειδών του γένους *Enterococcus*, *Staphylococcus* και διαφόρων στελεχών των ειδών *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC.

ATCC strains	MIC (mg ml ⁻¹)
<i>Ent. hirae</i> ATCC 9790	9·5
<i>Ent. faecalis</i> ATCC 35038	9·5
<i>Ent. faecium</i> ATCC 19474	9·5
<i>Ent. gallinarum</i> ATCC 49573	2·37
<i>Ent. casseliflavus</i> ATCC 25778	9·5
<i>Ent. maleodoratus</i> ATCC 43197	4·75
<i>Ent. durans</i> ATCC 19432	9·5
<i>Ent. solitarius</i> ATCC 49428	9·5
<i>Ent. pseudoavium</i> ATCC 49372	9·5
<i>Ent. avium</i> ATCC 14025	9·5
<i>Ent. saccharolyticus</i> ATCC 43076	9·5
<i>Ent. mundtii</i> ATCC 43186	2·37
<i>Staph. aureus</i> ATCC 29213	9·5
<i>Staph. epidermidis</i> ATCC 14990	2·37
<i>E. coli</i> ATCC 25922	4·75
<i>E. coli</i> XL1	1·18
<i>Ps. aeruginosa</i> ATCC 27853	4·75

Οι Lezcano et al (2000), μελέτησαν την επίδραση του οξονισμένου ηλιέλαιου στα ανθεκτικά και στα ευαίσθητα στη μεθικιλίνη στελέχη των ειδών *Staphylococcus aureus* και *Staphylococcus epidermidis*. Στα αποτελέσματά τους παρατήρησαν ότι το οξονισμένο ηλιέλαιο ήταν αποτελεσματικό και στα ευαίσθητα και στα ανθεκτικά στη μεθικιλίνη στελέχη με ελάχιστη ανασταλτική συγκέντρωση όζοντος 9,5 mg/ml ενώ η ελάχιστη βακτηριοκτόνος συγκέντρωση ήταν 356 mg/ml. Η μόνη διαφορά ήταν στον απαιτούμενο χρόνο έκθεσης των μικροβιακών στελεχών στο όζον. Ο απαραίτητος χρόνος έκθεσης στο όζον για τα ευαίσθητα στη μεθικιλίνη στελέχη ήταν 60 min, ενώ για τα ανθεκτικά στην μεθικιλίνη στελέχη ήταν 180 min.

Πίνακας 5. Ευαισθησία στο οξονισμένο έλαιο διαφορετικών κλινικά απομονωμένων στελεχών των ειδών *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* και *Pseudomonas aeruginosa*

Strains (no. of micro-organisms)	MIC (mg ml ⁻¹)		
	Range	50%	90%
<i>Ent. faecium</i> (21)	1·18–9·5	4·75	9·5
<i>Ent. faecalis</i> (10)	4·75–9·5	4·75	9·5
<i>Strep. pyogenes</i> (40)	2·37–9·5	4·75	9·5
<i>Staph. aureus</i> (50)	2·37–9·5	4·75	9·5
<i>Staph. epidermidis</i> (19)	2·37–9·5	4·75	9·5
<i>E. coli</i> (40)	1·18–9·5	4·75	9·5
<i>Ps. aeruginosa</i> (40)	4·75–9·5	4·75	4·75

Το όζον είναι ισχυρός οξειδωτικός και απολυμαντικός παράγοντας (Zeynep et al 2002). Υπάρχουν πολυάριθμες εφαρμογές του όζοντος στην βιομηχανία τροφίμων όπως η υγιεινή του εξοπλισμού για τα τρόφιμα φυτικής προέλευσης, η υγιεινή των επιφανειών και η επαναχρησιμοποίηση του νερού. Το όζον έχει χρησιμοποιηθεί σε Ευρωπαϊκές χώρες για μεγάλο χρονικό διάστημα και επανακρίθηκε ως G.R.A.S. (General Recognized As Safe) στις Η.Π.Α. (Kim et al 1999). Οι βακτηριακές επιδράσεις του όζοντος έχουν τεκμηριωθεί σε μια μεγάλη ποικιλία οργανισμών συμπεριλαμβανομένων των Gram θετικών βακτηρίων (*Clostridium*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Listeria*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus* κ.ά.), των Gram αρνητικών βακτηρίων (*Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Achromobacter*, *Psychrobacter*, *Brochothrix*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Shigella*, *Yersinia* κ.ά.), των σπόρων των σπορογόνων βακτηρίων και μυκήτων και των φυτικών κυττάρων. Από μελέτη έχει διαπιστωθεί ότι τα Gram αρνητικά βακτήρια είναι πιο ευαίσθητα στο όζον από τα Gram θετικά βακτήρια, ενώ και οι δύο αυτές κατηγορίες βακτηρίων ως προς τη χρώση Gram είναι πιο ευαίσθητα από τις ζύμες σε συγκέντρωση όζοντος 2 p.p.m. για 4 ώρες (Moore et al 2000). Η έκθεση αυτών των καλλιεργημένων βακτηρίων σε αυτήν την συγκέντρωση όζοντος για το ίδιο χρονικό διάστημα παρουσία γάλακτος υπερυψηλής παστερίωσης (UHT) κατέληξε σε μείωση της βακτηριακής βιωσιμότητας κατά 5,64 μέχρι 1,65 λογαριθμικούς κύκλους. Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή η ελάττωση ήταν σημαντικά λιγότερη από αυτή που επιτυγχάνεται απουσία οργανικών υλών, αν και ακόμη σημαντικά μεγαλύτερη από αυτή που παρατηρείται απουσία

όζοντος. Η ίδια παραπάνω επαναλαμβανόμενη διαδικασία παρουσία ζωμού κρέατος μείωσε την αποτελεσματικότητα του όζοντος σε σημαντική έκταση, αν και ο αριθμός των Gram αρνητικών βακτηρίων που επιβίωσαν ήταν ακόμη σημαντικά λιγότερος απ'ότι απουσία όζοντος. Όσο αφορά τις ζύμες λιγότερο από έναν λογαριθμικό κύκλο καταστράφηκε κατά την έκθεση κυττάρων ζυμών σε όζον παρουσία γάλακτος UHT και ζωμού κρέατος.

Ο Benjamas και οι συνεργάτες του (2002) μελέτησαν την ευαισθησία των Gram αρνητικών ειδών *Escherichia coli* και *Salmonella spp.* καθώς και των Gram θετικών ειδών *Staphylococcus aureus* και *Bacillus subtilis* σε συγκέντρωση όζοντος 0,167 mg/ml σε διαφορετικούς χρόνους (0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120 και 150 min). Χρησιμοποίησαν 5 διαφορετικούς αρχικούς βακτηριακούς πληθυσμούς (10^3 , 10^4 , 10^5 , 10^6 και 10^7 cfu/ml) από το κάθε είδος. Στα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η βιωσιμότητα των κυττάρων μεταβλήθηκε σε όλους τους τύπους των εξεταζόμενων ειδών με πληθυσμούς 10^3 , 10^4 , και 10^5 cfu/ml εντός 30 min μετά την έκθεση στο όζον. Εντούτοις, η αδρανοποίηση των βακτηριακών κυττάρων δεν ήταν σημαντική σε συγκεντρώσεις 10^6 και 10^7 cfu/ml ακόμη και μετά από 150 min. Μερικά βακτηριακά κύτταρα παρουσίασαν κατάρρευση και συρρίκνωση σε 60 min και σημαντική ρήξη και κυτταρική λύση μετά από 90 min έκθεσης στο όζον.

Ο Restaino και οι συνεργάτες του (1995) ερεύνησαν την αντιμικροβιακή επίδραση οζονισμένου νερού σε 3 Gram θετικά βακτήρια (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* και *Enterococcus faecalis*) σε 4 Gram αρνητικά βακτήρια (*Yersinia enterocolitica*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa* και *Escherichia coli*), σε 2 είδη ζυμών (*Zygosaccharomyces bailii* και *Candida albicans*) και στους σπόρους του *Aspergillus niger*. Η θανάτωση που παρατηρήθηκε στα είδη *Salmonella typhimurium* και *Escherichia coli* ήταν περισσότερο από 5 λογαριθμικούς κύκλους. Στο οζονισμένο νερό τα ποσοστά θανάτου μεταξύ των 4 Gram αρνητικών βακτηρίων *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa* και *Escherichia coli* δεν διέφεραν σημαντικά. Μεταξύ των Gram θετικών βακτηρίων η *Listeria monocytogenes* ήταν πιο ευαίσθητη από τον *Staphylococcus aureus* και τον *Enterococcus faecalis*. Περισσότερο από 4,5 λογαριθμικούς κύκλους ήταν το ποσοστό θανάτωσης του *Zygosaccharomyces bailii* και της *Candida albicans* στο οζονισμένο νερό, ενώ λιγότερο από 1 λογαριθμικό κύκλο ήταν το ποσοστό θανάτωσης των σπόρων του *Aspergillus niger* μετά από πεντάλεπτη έκθεση.

Οι Liew και Prange (1994) μελέτησαν την ευαισθησία του μύκητα που προκαλεί γκρι αλλοίωση στις φράουλες, του *Botrytis cinerea* και του ασκομύκητα *Sclerotinia sclerotiorum* που δημιουργεί βαμβακώδη αλλοίωση στα φυτά σε συγκεντρώσεις όζοντος 0, 7,5, 15, 30 και 60 μl/l σε καρότα. Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε αίθουσες που πληρώθηκαν με

μίγμα αέρα-όζοντος ταχύτητας 0,5 l/min για 8 h επί 28 ημέρες. Το πείραμα εκτελέστηκε 2 φορές σε θερμοκρασίες 2, 8 και 16 °C. Παρατηρήθηκε μείωση της ημερήσιας ανάπτυξης και των δύο ειδών στις υψηλότερες συγκεντρώσεις όζοντος, γεγονός που αποδεικνύει την μυκητοστατική δράση του όζοντος. Με την αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος επίσης αυξανόταν η αναπνοή των καρότων, η διαρροή των ηλεκτρολυτών και οι διαφορές του χρώματος.

Οι Zhao και Cranston (1995) μελέτησαν την επίδραση του όζοντος στην ολική μικροβιακή χλωρίδα κόκκων μαύρου πιπεριού και σκόνης μαύρου πιπεριού. Οι κόκκοι του μαύρου πιπεριού εμβάπτιστηκαν σε νερό και οζονίστηκαν σε συγκέντρωση όζοντος 6,7 mg/ml για 10 min. Η ελάττωση που παρατηρήθηκε στον πληθυσμό της ολικής μικροβιακής χλωρίδας ήταν 3-4 λογαριθμικοί κύκλοι. Το μαύρο πιπέρι με διάφορα επίπεδα υγρασίας οζονίστηκε για περισσότερο από 6 ώρες. Η ελάττωση που παρατηρήθηκε σε αυτήν την περίπτωση ήταν από 3 μέχρι 6 λογαριθμικούς κύκλους ανάλογα με την περιεκτικότητα υγρασίας. Η επεξεργασία με όζον του μαύρου πιπεριού σε σκόνη κατέληξε σε οξείδωση των πτητικών ελαίων ενώ δεν είχε σημαντική επίδραση στα πτητικά έλαια των κόκκων πιπεριού.

Η επεξεργασία των φρούτων και των λαχανικών με όζον έχει βρεθεί ότι αυξάνει τον χρόνο ζωής τους. Η εφαρμογή του όζοντος (σε αέρια μορφή) σε συγκέντρωση 5 p.p.m. για 60 min σε φρούτα βρέθηκε ότι καταστρέφει τον *Staphylococcus aureus* και την *Escherichia coli* (Najafi et al 2007). Σε μικροβιολογική ανάλυση δεν βρέθηκαν κύτταρα αυτών. Η Selma et al (2008), μελέτησαν την μείωση του πληθυσμού του βακτηρίου *Salmonella* και της μικροβιακής μικροχλωρίδας σε επεξεργασμένο με αέριο όζον πεπόνι. Το αέριο όζον σε συγκέντρωση 10.000 p.p.m. ελάττωσε τον πληθυσμό των βιώσιμων κυττάρων της *Salmonella* σε εμβολιασμένα ώριμα και μη ώριμα πεπόνια σε 4,2 και 2,8 λογαρίθμους/ 12,6 cm² αντίστοιχα. Η *Salmonella* που υπήρχε φυσιολογικά στο πεπόνι ήταν πιο ανθεκτική στο όζον απ'ότι κατά την αιώρησή της σε αποβουτυρωμένη σκόνη γάλακτος πριν την εμβολιασμό της στην φλούδα. Αυτό δείχνει ότι η οργανική ύλη επεμβαίνει στην επακόλουθη αντιμικροβιακή δραστηριότητα του αέριου όζοντος που εφαρμόζεται ως απολυμαντικός παράγοντας. Απουσία οργανικής ύλης η μείωση της βιωσιμότητας της *Salmonella* ήταν μεγαλύτερη στην εξωτερική ξηρή επιφάνεια απ'ότι στην υγρή επιφάνεια, επιτυγχάνοντας ελαττώσεις 2,8 και 1,4 λογαρίθμους/12,6 cm², αντίστοιχα. Η επεξεργασία φρεσκοκομμένου πεπονιού με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 5.000 και 20.000 p.p.m. για 30 min ελάττωσε τον πληθυσμό των κολοβακτηριδίων, της *Pseudomonas fluorescens*, των ζυμών και των βακτηρίων του γαλακτικού οξέος. Τελικά, το τεμαχισμένο πεπόνι που επεξεργάστηκε με αέριο όζον, διατήρησε μια αποδεκτή οπτική ποιότητα, άρωμα και ινώδη δομή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στους 5°C για 7 ημέρες. Το συμπέρασμα αυτής της μελέτης εξηγεί ότι το αέριο όζον είναι μια αποτελεσματική επιλογή στην ελάττωση της

επικινδυνότητας και του ελέγχου της αλλοίωσης του φρέσκου και του τεμαχισμένου πεπονιού. Η ταχεία ξήρανση σε συνδυασμό με το αέριο όζον μπορεί να αποτελούν συνδυασμένα βήματα στην ελαχιστοποίηση της ανοχής της *Salmonella* στην επιφάνεια των πεπονιών και στη μετάδοσή της κατά την διάρκεια της κοπής αυτών. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα, η καλύτερη επίδραση θα προλαμβανόταν σε άγουρα πεπόνια ενώ ώριμοι ιστοί μειώνουν την αποτελεσματικότητα αυτών των επεξεργασιών με αέριο όζον, μέσω οξειδωτικής αντίδρασης με τα διαλυτά στερεά. Η ισχυρή απολυμαντική ικανότητα του όζοντος μπορεί να αντικαταστήσει επάξια το χλώριο και είναι ικανό να αδρανοποιήσει 63 διαφορετικά παθογόνα βακτήρια (Bocci 2002), αν και μερικά πρωτόζωα, μύκητες και σπόροι απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο επαφής με το όζον σε σχέση με τα βακτήρια και τους ιούς (Ingram & Barnes 1954). Το όζον ενδέχεται να έχει θεραπευτικό ρόλο σε διάφορους τύπους μολύνσεων χάρις στην ικανότητά του να βιοσυνθέτει δραστικά παράγωγα οξυγόνου όπως οι υπεροξειδικές ρίζες, οι υδροϋπεροξειδικές ρίζες και το υπεροξείδιο του υδρογόνου (Badwey & Karnowsky 1980, Babior 2000, Margalit et al 2001). Εξαιτίας μιας προοδευτικής αύξησης της βακτηριακής αντίστασης στα αντιβιοτικά και στις βακτηριακές μολύνσεις των εσωτερικών ιστών και του δέρματος, αυτές οι βακτηριακές μολύνσεις έγιναν παγκόσμια ενδημικές στα νοσοκομεία και στις κοινότητες εξαιτίας των αυξημένων συμβάντων διαβήτη, παχυσαρκίας και χρόνιας αναιμίας σε άτομα προχωρημένης ηλικίας (Scott et al 2005, Miller et al 2005, Robinson et al 2005, Moran et al 2006, Klevens et al 2007, Popovich et al 2008).

Το όζον μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο μίγμα (μίγμα οξυγόνου και όζοντος) για την μετατροπή του μη πόσιμου νερού σε πόσιμο (Joss et al 2008), για την απολύμανση του νερού της πισίνας (Glauner et al 2005), και για την αποστείρωση του αέρα κλειστών δωματίων. Επίσης το όζον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κορεσμένο μίγμα με υδρατμούς μέσα σε ανθεκτικό στο όζον περιέκτη για την αύξηση της αποτελεσματικότητάς του, είτε ως οξονισμένο αποσταγμένο νερό, είτε σε άλμη ή με την μορφή οξονισμένων ελαίων για την θεραπεία τραυμάτων, αναερόβιων μολύνσεων, εγκαυμάτων και έλκους. Αποστήματα και χρόνιες φλεγμονές όπως πολιομυελίτιδα, περιτονίτιδα και κολπίτιδα βελτιώνονται ταχέως διότι τα οξονισμένα διαλύματα έχουν καθαριστική επίδραση και δρουν ως απολυμαντικά ικανά για την θανάτωση ανθεκτικών στα αντιβιοτικά βακτηρίων ή αναερόβιων βακτηρίων (Bocci 1999, Steinhart et al 1999, Nagayoshi et al 2004, Bocci 2006). Επιπλέον ο σχηματισμός οξυγόνου από την διάσπαση του όζοντος βελτιώνει τον μεταβολισμό των ιστών και μερικών χημικών ενώσεων, διεγείρει τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την επούλωση. Αυτές οι παρατηρήσεις (Bocci 2007a., Bocci 2007b) που δίνουν έμφαση στην χρήση του όζοντος σε

ανεπτυγμένες χώρες, ακόμη δεν έχουν ξεκαθαρίσει την στάση μεταξύ των κλινικών για την χρήση του όζοντος επικερδώς για αυτές.

8. ΤΟΞΙΚΟΤΗΤΑ

Η δραστικότητα του όζοντος και η υποβάθμιση της ποιότητας του επεξεργασμένου προϊόντος περιορίζει την χρήση αυτού ως απολυμαντικό στην επεξεργασία τροφίμων. Η οξείδωση της επιφάνειας των τροφίμων από το όζον καταλήγει σε αποχρωματισμό, δυσάρεστες οσμές και οξειδωτική υποβάθμιση (Kang et al 1999).

Ο Stockinger (1965), μελέτησε τις χρόνιες και έντονες επιδράσεις της υπερβολικής έκθεσης στο όζον. Μικρές συγκεντρώσεις αερίου όζοντος στον αέρα (30 p.p.b.) μπορούν να προκαλέσουν δυσφορία σε ευπαθείς ομάδες ανθρώπων. Συγκέντρωση όζοντος 0,1 p.p.m. είναι δυσάρεστη στον άνθρωπο εξαιτίας του ερεθισμού της μύτης, του λάρυγγα και των ματιών. Μόλις 20 έως 40 p.p.b. όζοντος μπορούν να ανιχνευθούν από τον άνθρωπο και παρατεταμένη έκθεση σε συγκέντρωση όζοντος 1000 p.p.m. ή μεγαλύτερη μπορεί να επιφέρει μέχρι και τον θάνατο (Scott and Leshner 1963). Το όζον μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στο αναπνευστικό σύστημα και πνευμονική συμφόρηση. Τα συμπτώματα που προκύπτουν από την έκθεση στο όζον περιλαμβάνουν πονοκέφαλο, ερεθισμό μύτης, λάρυγγα και ματιών (Stockinger 1965, Mustafa et al 1980). Η έκθεση σε συγκεντρώσεις όζοντος 2, 14, 15 και 95 p.p.m. για 1 h μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση συμπτωμάτων όπως ερεθισμός, τοξική δράση ή θάνατος αντίστοιχα. Σύμφωνα με κάποιους ερευνητές επανειλημμένες εκθέσεις έχουν προοδευτικά μικρότερες επιδράσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανοχή της έκθεσης στο όζον μπορεί να αναπτυχθεί (Nadel 1979).

Σύμφωνα, με τον Graham (2000) η οσμή του όζοντος γίνεται αντιληπτή από τον άνθρωπο σε συγκεντρώσεις τόσο χαμηλές όσο 10 p.p.b., ενώ σε υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούνται προσωρινά έντονα συμπτώματα. Ο σχετικά μικρός χρόνος ζωής του όζοντος ελαχιστοποιεί την παρουσία του όζοντος στο περιβάλλον και το όζον μετατρέπεται σε διατομικό οξυγόνο. Το όζον εξαιτίας του υψηλού δυναμικού οξείδωσής του μπορεί να δράσει σε μικρότερη συγκέντρωση και σε μικρότερο χρόνο έκθεσης.

Η χρήση και η παραγωγή του όζοντος στην βιομηχανία τροφίμων απαιτεί την τήρηση προφυλάξεων και ασφάλειας του προσωπικού. Για την ασφάλεια των εργαζομένων απαιτούνται συστήματα που ανιχνεύουν και καταστρέφουν το όζον καθώς και αναπνευστικές συσκευές. Επιπλέον, για τον έλεγχο της υπέρμετρης χρήσης του όζοντος στην επεξεργασία των τροφίμων

είναι αναγκαία η εφαρμογή κανόνων ορθής βιομηχανικής πρακτικής και η ανάλυση επικινδυνότητας και κρίσιμων σημείων ελέγχου.

Σύμφωνα με τους Razumovskii και Zaikov (1984) η μέγιστη συνιστώμενη συγκέντρωση στο εσωτερικό των κτηρίων οριοθετείται στα 47 p.p.b. Στις Η.Π.Α., τα όρια που έχουν θεσμοθετηθεί στο περιβάλλον εργασίας είναι 0,1 p.p.m. για εργασία 8 h την ημέρα ή 40 h την εβδομάδα (Code of Federal Regulations 1997). Συγκέντρωση όζοντος 5 p.p.m. θεωρείται άμεσα επικίνδυνη για την υγεία και την ζωή κι απαιτούνται αναπνευστήρες. Υψηλότερες συγκεντρώσεις από αυτήν είναι επικίνδυνες και χρειάζονται αυτόνομες συσκευές αναπνοής.

9. ΦΡΑΟΥΛΑ

Η φράουλα (*Fragaria ananassa*) είναι υβριδικό είδος του γένους *Fragaria* που εξάγεται από την Ισπανία και καλλιεργείται κυρίως στην επαρχία Huelva της Νοτιοδυτικής Ισπανίας. Άλλες χώρες στις οποίες καλλιεργείται η φράουλα είναι η Αμερική, η Τουρκία, η Αίγυπτος, το Μεξικό, η Ρωσσία, η Ιαπωνία, η Νότια Κορέα, η Πολωνία, η Γερμανία και η Ιταλία. Η φράουλα εκτιμάται για το χαρακτηριστικό της άρωμα, το ζωηρό ερυθρό της χρώμα, την χυμώδη υφή της και την γλυκύτητά της. Έρευνες έχουν δείξει ότι η κατανάλωση φράουλας μπορεί να σχετίζεται με μειωμένη επικινδυνότητα καρδιαγγειακών ασθενειών και αυτές οι φυτοχημικές ενώσεις που υπάρχουν στις φράουλες έχουν αντιφλεγμονώδη ή αντικαρκινικές ιδιότητες. Επιδημιολογικές μελέτες έχουν συσχετίσει την κατανάλωση της φράουλας με χαμηλότερους ρυθμούς υπέρτασης, φλεγμονών, καρκίνου και θανάτου από καρδιαγγειακές ασθένειες. Μερικές μελέτες επίσης έχουν προτείνει ότι η κατανάλωση φράουλας μπορεί να έχει ωφέλιμες επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου όπως μειωμένα επίπεδα LDL χοληστερόλης και ολικής χοληστερόλης και μειωμένη οξείδωση LDL χοληστερόλης. Η σύσταση της φράουλας είναι :

- Νερό 90,95%,
- Υδατάνθρακες 7,68%,
- Πρωτεΐνες 0,67%,
- Λιπαρά 0,3%,
- Υδατοδιαλυτές βιταμίνες θειαμίνη (B₁), ριβοφλαβίνη (B₂), νιασίνη (B₃), παντοθενικό οξύ (B₅), B₆, φολλικό οξύ B₉ και C,
- Λιποδιαλυτές βιταμίνες E και K,
- Μέταλλα ασβέστιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, σίδηρος, φώσφορος, κάλιο, νάτριο και ψευδάργυρος.

- Πολυφαινόλες που περιλαμβάνουν φλαβονοειδή όπως ανθοκυανίνες, φλαβανόλες, φλαβονόλες και φαινολικά οξέα όπως το υδροξυβενζοϊκό οξύ και το υδροξυκιναμικό οξύ. Η φράουλα περιέχει επίσης φισετίνη και κατέχει τα υψηλότερα επίπεδα από αυτά τα φλαβονοειδή σε σχέση με τα άλλα φρούτα. Ο γλυκοζίτης της πελαργονιδίνης είναι η κύρια ανθοκυανίνη στην φράουλα ενώ ο γλυκοζίτης της κυανιδίνης απαντά σε μικρότερες ποσότητες. Αν και η γλυκόζη φαίνεται να είναι το πιο κοινό σάκχαρο στους γλυκοζίτες, η ραμνόζη, η αραβινόζη και η ριτινόζη έχουν βρεθεί σε μερικές καλλιέργειες φράουλας.

Στον πίνακα 6 αναφέρονται οι πτητικές ενώσεις που απαντούν στην φράουλα.

Πίνακας 6. Πτητικές ενώσεις που απαντούν στην φράουλα.

1. Εστέρες	Οξικός μεθυλεστέρας
	(Z)-2-οξικός εξενυλεστέρας
	(Z)-3-οξικός εξενυλεστέρας
	Οξικός αμυλεστέρας
	Βουτυρικός αμυλεστέρας
	Οξικός βενζυλεστέρας
	Οξικός βουτυλεστέρας
	Βουτυρικός βουτυλεστέρας
	Εξανοϊκός βουτυλεστέρας
	Οξικός δεκυλεστέρας
	Βουτυρικός δεκυλεστέρας
	2-μέθυλοβουτανικός αιθυλεστέρας
	3-μέθυλοβουτανικός αιθυλεστέρας
	Οξικός αιθυλεστέρας
	Βενζοϊκός αιθυλεστέρας
	Βουτυρικός αιθυλεστέρας
	Δεκανικός αιθυλεστέρας
	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας

	Οκτανικός αιθυλεστέρας
	Πεντανικός αιθυλεστέρας
	Προπανικός αιθυλεστέρας
	2-εξενικός αιθυλεστέρας
2. Οργανικά οξέα	2-μέθυλο βουτανικό οξύ
	Βουτυρικό οξύ
	Οκτανικό οξύ
3. Αλδεΐδες	Βενζαλδεΐδη
4. Τερπενικοί υδρογονάνθρακες	D-λεμονένιο
	α-τερπινόλη
	Φουρανόλη
	γ-δεκαλακτόνη
	γ-δωδεκαλακτόνη

Η φράουλα είναι ένα από τα πιο ευπαθή φρούτα, ευαίσθητο στις μηχανικές βλάβες, στην φυσιολογική φθορά, στην απώλεια υγρασίας και στην αλλοίωση από μύκητες και τον ευρωτομύκητα *Botrytis cinerea*. Επομένως, απαιτούνται τα κατάλληλα μέτρα παρεμπόδισης της φθοράς κατά την διάρκεια της συσκευασίας και της μεταφοράς της φράουλας. Η εγκατάσταση γεννητριών όζοντος στους χώρους ψύξης της φράουλας έχει αυξηθεί, ενώ υπάρχουν λίγες αντικειμενικές πληροφορίες όσο αφορά την επίδραση του όζοντος στην ποιότητα της φράουλας. Επίσης, αποτελέσματα αναφερόμενα στις επιδράσεις του όζοντος δείχνουν ότι η αποτελεσματικότητα του όζοντος πρέπει να είναι εκτιμώμενη για κάθε διαφορετικό εμπόρευμα, λαμβάνοντας υπόψη την προτεινόμενη μετασυλλεκτική μεταχείριση και αποθήκευση. Η Perez και οι συνεργάτες της (1999) μελέτησαν την επίδραση του όζοντος συγκέντρωσης 0,35 p.p.m. στην ποιότητα της φράουλας. Οι φράουλες αποθηκεύτηκαν στους 2°C και μετά από 3 ημέρες μεταφέρθηκαν στους 20°C. Η επεξεργασία με όζον τις 3 πρώτες ημέρες στους 2°C ήταν εν μέρει αποτελεσματική στην παρεμπόδιση της ανάπτυξης του *Botrytis cinerea* μετά από 2 ημέρες στους

20°C. Παρόλα αυτά, μετά από 4 ημέρες αποθήκευσης στους 20°C, παρατηρήθηκε αλλοίωση από τον *Botrytis cinerea* στις οξονισμένες φράουλες με παρόμοια ποσοστά πολλαπλασιασμού στις οξονισμένες και στις μη οξονισμένες ντομάτες. Ο Ogawa και οι συνεργάτες του (1990) μετά από πειράματα σε ντομάτες κατέληξαν στην αδρανοποίηση των σπορίων του *Botrytis cinerea* από το όζον ενώ οι Liew και Prange (1994) κατέληξαν στο ότι η επίδραση του όζοντος στον *Botrytis cinerea* σε καρότα ήταν μυκητοστατική και όχι μυκητοκτόνος. Η προαποθήκευση σε ατμόσφαιρα όζοντος για άλλα φρούτα έχει αποδειχθεί αναποτελεσματική στην παρεμπόδιση μικροβιολογικής φθοράς (Perez et al 1999).

Παρατηρήθηκαν επίσης και σημαντικές διαφορές στην περιεκτικότητα σακχάρων και ασκορβικού οξέος στις οξονισμένες φράουλες. Η περιεκτικότητα της σακχαρόζης μειώθηκε από μια αρχική τιμή 19,9 mg/g σε 4,00 mg/g στις μη οξονισμένες φράουλες, ενώ στις οξονισμένες φράουλες σε τιμή 7,99 mg/g. Στα επίπεδα της γλυκόζης και της φρουκτόζης παρατηρήθηκε μια αύξηση από την έναρξη μέχρι την 5^η ημέρα της αποθήκευσης. Στην 3^η ημέρα η περιεκτικότητα της βιταμίνης C των οξονισμένων φραουλών ήταν τριπλάσια από αυτήν των μη οξονισμένων φραουλών. Η περιεκτικότητα της βιταμίνης C ήταν σημαντικά υψηλότερη την 5^η ημέρα. Εξαιτίας της υψηλής του οξειδωτικής ικανότητας και της ικανότητάς του να δημιουργεί τοξικά μοριακά είδη, το όζον δρα ως ένας φυτοτοξικός παράγοντας που προάγει αντιδράσεις άμυνας στα φυτά (Spotts & Cervantes 1992). Το όζον και οι ρίζες που προέρχονται από αυτό μπορεί να δεσμεύονται από χαμηλού μοριακού βάρους αντιοξειδωτικά των φυτικών κυττάρων όπως το ασκορβικό οξύ και οι πολυαμίνες (Schraudner et al 1992). Οι μεταβολές στην περιεκτικότητα των σακχάρων και της βιταμίνης C στις οξονισμένες φράουλες θα μπορούσε να είναι το αποτέλεσμα ενός αντιοξειδωτικού συστήματος που προωθεί την βιοσύνθεση της βιταμίνης C από αποθέματα υδατανθράκων. Στην περιεκτικότητα του κιτρικού και του μηλικού οξέος δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές.

Στο άρωμα των οξονισμένων φραουλών παρατηρήθηκαν ελαφρώς χαμηλότερα επίπεδα στην περιεκτικότητα του οξικού μεθυλεστέρα και του οξικού αιθυλεστέρα. Στην περιεκτικότητα της ακεταλδεϋδης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, ενώ η περιεκτικότητα της αιθανόλης ήταν σημαντικά χαμηλότερη από αυτήν των μη οξονισμένων φραουλών. Επίσης οι πτητικοί εστέρες ήταν 40% λιγότεροι σε σχέση με τις μη οξονισμένες φράουλες. Στην περιεκτικότητα των ανθοκυανινών, παρατηρήθηκε μια μείωση από 959,34 nmol/g σε 639,08 nmol/g στις οξονισμένες φράουλες και 811,34 nmol/g στις μη οξονισμένες φράουλες μετά από 3 ημέρες αποθήκευσης στους 2°C. Όταν οι φράουλες τοποθετήθηκαν στους 20°C, παρατηρήθηκε μια ελαφριά αύξηση στην συσσώρευση των ανθοκυανινών στις οξονισμένες και στις μη οξονισμένες φράουλες μετά από 4 ημέρες αποθήκευσης. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν και

από άλλους ερευνητές, στην περιεκτικότητα των ανθοκυανινών σε φράουλες που οξονίστηκαν σε συγκεντρώσεις όζοντος 1,6% w/w για 3 min και 7,8%w/w για 10 min αντίστοιχα (Tiwari et al 2009). Οι αντίστοιχες ελαττώσεις στις περιεκτικότητες των ανθοκυανινών για τις 2 αυτές επεξεργασίες ήταν 39,9% και 98,2% αντίστοιχα. Οι ανθοκυανίνες μπορεί να υποβαθμίζονται χάρη σε διαφόρους παράγοντες συμπεριλαμβανομένων του pH, του φωτός, των ενζύμων, του οξυγόνου και της θερμικής επεξεργασίας (Jackman et al 1987, Cemeroglu et al 1994, Wang & Xu 2007). Η θερμική υποβάθμιση των ανθοκυανινών έχει μελετηθεί εκτός από την φράουλα (Skrede et al 1992, Garzon & Wrolstad 2002), στο βατόμουρο (Wang & Xu 2007), στο ξινό κεράσι (Cemeroglu et al 1994), στο σμέουρο (Ochoa et al 1992) και στο ρόδι (Martí et al 2001). Η αλληλεπίδραση του ασκορβικού οξέος με ανθοκυανίνη καταλήγει σε υποβάθμιση και των δύο και σε μείωση του χρώματος και της θρεπτικής αξίας μέσω άμεσης αντίδρασης οξειδωσης του ασκορβικού οξέος και των ανθοκυανινών με το όζον (Markakis et al 1957). Έπισης σύμφωνα με άλλους ερευνητές δεν υπάρχει σημαντική επίδραση του όζοντος στην περιεκτικότητα των ανθοκυανινών στις φράουλες (Perez et al 1999).

Η υποβάθμιση των ανθοκυανινών ή του ασκορβικού οξέος παρουσία όζοντος, θα μπορούσε να οφείλεται εκτός από άμεση αντίδραση με το όζον και σε έμμεση αντίδραση με τα δευτερογενή οξειδωτικά παράγωγα. Η άμεση αντίδραση περιγράφεται από τον μηχανισμό Griegee (1975) όπου το όζον υφίστανται διπολική αντίδραση με τους διπλούς δεσμούς στις θέσεις 1 και 3, καταλήγοντας στον σχηματισμό οζονιδίων των αλκενίων και των ενδιάμεσων οξειδίων των αλδεϋδών ή των κετονών, τα οποία έχουν περιορισμένο χρόνο ημιζώης. Αυτό καταλήγει σε οξειδωτική αποσύνθεση των οζονιδίων και σχηματισμό καρβονυλικών ενώσεων, ενώ η οξειδωτική διαδικασία καταλήγει στον σχηματισμό καρβοξυλικών οξέων ή κετονών. Το όζον έχει επίσης επίδραση στην αναπνευστική δραστηριότητα, στην απώλεια βάρους, στην περιεκτικότητα της μηλονικής διαλδεϋδης και στην δραστικότητα των ενζύμων υπεροξειδάση και καταλάση (Zhang et al 2011). Σύμφωνα με τους Zhang και τους συνεργάτες του (2011), ο οζονισμός των φραουλών σε συγκέντρωση όζοντος 4 p.p.m. είναι ικανός να παρεμποδίσει την δραστικότητα των ενζύμων υπεροξειδάση και καταλάση, να ελαττώσει την απώλεια βάρους και την περιεκτικότητα της μηλονικής διαλδεϋδης και να αναστείλει τον γηρασμό των φραουλών, με χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής.

Για την διευκόλυνση της συντήρησης των ασταθών συστατικών πολλοί επεξεργαστές χυμών έχουν ερευνήσει εναλλακτικές λύσεις στην θερμική παστερίωση, συμπεριλαμβανομένων των μη παστεριωμένων χυμών χαμηλής διάρκειας με υψηλή εμπορική αξία. Αυτό εφαρμόστηκε και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Εντούτοις, οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις από τον F. D. A. απαιτούν από τους επεξεργαστές την επίτευξη ελάττωσης τουλάχιστον 5 λογαριθμικών κύκλων

στον πληθυσμό των πιο ανθεκτικών παθογόνων μικροοργανισμών στα τελικά προϊόντα. Η αιτία εφαρμογής αυτής της διάταξης, ήταν η αύξηση του αριθμού των ασθενειών που σχετίζονταν με την κατανάλωση μη επεξεργασμένων προϊόντων χυμού. Αυτή η διάταξη έχει επιταχύνει την έρευνα για την εφαρμογή μη θερμικής επεξεργασίας που μπορεί να διασφαλίσει την ασφάλεια των προϊόντων και την διατήρηση της θρεπτικής αξίας και των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών.

Η έγκριση του F.D.A. για το όζον ως ένα άμεσο πρόσθετο στα τρόφιμα το 2001, αποτέλεσε το έναυσμα για την εφαρμογή της επεξεργασίας με όζον στην βιομηχανία τροφίμων. Ένας αριθμός επεξεργαστών εμπορικού φρουτοχυμού στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη ξεκίνησε να εφαρμόζει το όζον για παστερίωση ακολουθώντας ως γνώμονα τις κατευθυντήριες οδηγίες που προέρχονται από τον F.D.A. (<http://www.cfsan.fda.gov/dms/juicgu13.html>). Εντούτοις, αυτές οι κατευθυντήριες οδηγίες θέτουν ως πρώτο μέλημα την ελάχιστη δυνατή επίδραση του όζοντος στην ποιότητα του χυμού (Tiwari et al 2008a). Το όζον έχει αναφερθεί ότι χρησιμοποιείται στην επεξεργασία διαφόρων φρουτοχυμών συμπεριλαμβανομένων του πορτοκαλοχυμού (Angelino et al 2003) και του μηλίτη μήλου (Steenstrup & Floros 2004, Choi & Nielsen 2005). Άλλοι ερευνητές μελέτησαν την επίδραση του όζοντος σε συνδυασμό με δικαρβοξυλικό διμεθυλεστέρα και H₂O₂ στην συντήρηση πορτοκαλοχυμού και μηλίτη μήλου (Williams et al 2005). Στα αποτελέσματά τους ανέφεραν την επίτευξη μείωσης 5 λογαριθμικών κύκλων στον πληθυσμό της *Escherichia coli* O157:H7 και της *Salmonella*. Το όζον έχει ερευνηθεί επίσης και στην απολύμανση των φραουλών και άλλων φρέσκων φρούτων (Bialka & Demirci 2007a, Bialka & Demirci 2007b).

10. ΣΤΑΦΥΛΙ

Τα σταφύλια μαζί με τα ροδάκινα αποτελούν τις κύριες σοδειές της κοιλάδας San Joaquín (Καλιφόρνια, Η.Π.Α.). Άλλες χώρες στις οποίες καλλιεργείται το σταφύλι είναι η Κίνα, η Γαλλία, η Ισπανία, η Χιλή, η Αργεντινή, το Ιράν, η Τουρκία, η Νότια Αφρική και η Ιταλία. Τα σταφύλια είναι μη κλιμακτηριακά φρούτα και είναι ο μόνος τύπος που αναπτύσσεται σε τσαμπιά και το χρώμα τους μπορεί να είναι βυσσινί, μαύρο, σκοτεινό μπλε, κίτρινο, πράσινο, πορτοκαλί και ροζ. Τα σταφύλια έχουν τυπικά ελλειψοειδές σχήμα που ομοιάζει με σφαιρικό ωοειδές. Τα λευκά σταφύλια είναι στην πραγματικότητα πράσινα και προέρχονται εξελικτικά από πορφυρά σταφύλια. Η μετάλλαξη σε δύο ρυθμιστικά γονίδια σταματά την παραγωγή ανθοκυανινών που είναι υπεύθυνες για το πορφυρό χρώμα των σταφυλιών. Οι ανθοκυανίνες και άλλες χρωστικές

ουσίες της μεγάλης οικογένειας των πολυφαινολών είναι υπεύθυνες για τις διάφορες αποχρώσεις του πορφυρού στα κόκκινα κρασιά. Η σύσταση του σταφυλιού είναι :

- Νερό 80,55%,
- Υδατάνθρακες 18,1%,
- Πρωτεΐνες 0,72%,
- Λιπαρά 0,16%,
- Υδατοδιαλυτές βιταμίνες θειαμίνη (B₁), ριβοφλαβίνη (B₂), νιασίνη (B₃), παντοθενικό οξύ (B₅), βιταμίνη B₆, φολλικό οξύ (B₉) και βιταμίνη C,
- Λιποδιαλυτές βιταμίνες E και K,
- Μέταλλα ασβέστιο, μαγνήσιο, μαγγάνιο, σίδηρος, φωσφόρος, κάλιο, νάτριο και ψευδάργυρος.
- Πτητικά συστατικά (πίνακας 7)

Πίνακας 7. Πτητικές ενώσεις που απαντούν στο σταφύλι

1. Αλκοόλες	Αιθανόλη
	2-εξέν-1-όλη
	1-εξανόλη
2. Αλδεΐδες	Βουτανάλη
	3-μεθυλο βουτανάλη
	2-μεθυλο βουτανάλη
	n-εξανάλη
	Trans-2-εξενάλη
	n-Επτανάλη
	Trans-2,4-εξαδιενάλη
	2,4-επταδιενάλη
	Φαινυλακεταλδεΐδη
	Εννεανάλη
	n-δεκανάλη

3. Κετόνες	2-προπανόνη
	3-βουτεν-2-όνη
4. Τερπενικοί υδρογονάνθρακες	a-πινένιο
	b-πινένιο
	d-καρένιο
	L-λεμονένιο
	Γερανιόλη
5. Αρωματικοί υδρογονάνθρακες	Βενζυλμεθανόλη
	Φαινυλακεταλδεΐδη
	2,4-δισ (1,1-διμέθυλαιθυλ) φαινόλη

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στον έλεγχο της φθοράς του συγκομισθέντος σταφυλιού, ήταν η απολύμανση με διοξείδιο του θείου σε συνδυασμό με πρόψυξη και το οποίο κατά την διάρκεια αποθήκευσής του πρέπει να διατηρείται στους 0°C (Combrink & Ginsburg 1972, Nelson 1985, Kokkalos 1986). Το διοξείδιο του θείου εφαρμόζεται είτε με βαθμιαία, συνεχή απελευθέρωση του αερίου από διαποτισμένο με μεταδισουλφίδιο χαρτί ή από περιοδική απελευθέρωση του αερίου από κυλίνδρους (Combrink & Ginsburg 1972, Nelson 1985, Kokkalos 1986). Δυστυχώς, οι ατμοί του διοξειδίου του θείου είναι αλλεργιογόνοι σε ένα μέρος του πληθυσμού (Bush et al 1986, Scanlon et al 1987, Miller 1991, Atkinson et al 1993) και για αυτό το λόγο η χρήση του έχει απαγορευτεί ή περιοριστεί σε κάποια εμπορεύματα. Οι πρακτικές ολοκληρωμένης μεταχείρισης εντόμων που περιλαμβάνουν την χρήση μυκητοκτόνων πριν και μετά την συγκομιδή, απαιτούνται ετησίως στον αποτελεσματικό έλεγχο των ασθενειών μετά την συγκομιδή. Προβλήματα που σχετίζονται με την χρήση συνθετικών εντομοκτόνων (π.χ. ανάπτυξη ανθεκτικών στελεχών) και την μόλυνση της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος έχουν αυξήσει την ανάγκη ανάπτυξης εναλλακτικών επεξεργασιών (Selma et al 2008). Μια υποψήφια εναλλακτική επεξεργασία είναι η εφαρμογή του όζοντος (Palou et al 2003, Rice 1999). Είναι αποτελεσματικό στην καταστροφή των μικροοργανισμών διαμέσου της οξειδωσης των κυτταρικών μεμβρανών τους (Cataldo 2003).

Στην Καλιφόρνια, τα επιτραπέζια σταφύλια μπορούν να κρατηθούν υπό ψύξη στους -1-0°C και σχετική υγρασία 90-95% για 4 μήνες, αλλά η γκρι αλλοίωση και η μελάνωση του μίσχου οφειλόμενη στην απώλεια βάρους, μπορούν να γίνουν σημαντικά προβλήματα περιορισμού της μακρόχρονης αποθήκευσης (Capellini et al 1986, Nelson 1991). Η απολύμανση των σταφυλιών με 2500 ή 5000 μl/l όζοντος την ώρα μειώνει κατά 50% την εμφάνιση του γκρι ευρώτα κατά την αποθήκευση συγκομισθέντων σταφυλιών (Mlikota et al 2010). Η επεξεργασία με όζον κατά την αποθήκευση μειώνει επίσης και την μόλυνση των ακτινιδίων από τον *Botrytis cinerea* (Barboni et al 2010). Συγκριτικά με το αέριο όζον, η επεξεργασία με οξονισμένο νερό είναι περισσότερο αποτελεσματική στην ελάττωση της αερόβιας μεσόφιλης βακτηριακής χλωρίδας. Ο ολικός πληθυσμός των ευρωτομυκήτων μειώνεται κατά 1,7 mg/l σε οξονισμένο νερό σε 7,5 min και αδρανοποιούνται πλήρως σε 15 min (Zorlugenc et al 2008). Ο έλεγχος της γκρι μούχλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης υπό ψύξη των επιτραπέζιων σταφυλιών μπορεί να επιτευχθεί με περιοδική απολύμανση με διοξείδιο του θείου. Εντούτοις, τα υπολείμματα των σχηματισθέντων εστέρων θείου στα προϊόντα και οι σχετικοί τραυματισμοί, όπως ο αποχρωματισμός είναι οι κύριες ανησυχίες που σχετίζονται με αυτήν την πρακτική (Spotts & Peters 1980, Smilanick et al 1990, Luvisi et al 1992). Σύμφωνα με άλλους ερευνητές (Sharpe et al 2009), η βιωσιμότητα των σπόρων του *Botrytis cinerea* μειώνεται κατά 99,5% μετά από έκθεση σε συγκέντρωση όζοντος 450-600 p.p.b. για 48 h στους 20°C. Επίσης, η σπορογονία του *Botrytis cinerea* παρεμποδίζεται σημαντικά από το όζον. Εντούτοις, το όζον δεν είχε σημαντική επίδραση στην μυκηλιακή ανάπτυξη του *S. sclerotiorum* in vitro.

Η επεξεργασία της ποικιλίας σταφυλιού *Bidaneh Qermez* με υδατικό διάλυμα όζοντος συγκέντρωσης 0,3 p.p.m. για χρόνους 5, 10 και 15 min μείωσε το ποσοστό φθοράς, την απώλεια βάρους, την αφυδάτωση, το ράγισμα, αύξησε την περιεκτικότητα των σακχάρων γλυκόζη και φρουκτόζη και την χρονική διάρκεια αποθήκευσης (Geransayeh et al 2011). Παρόμοιες επιδράσεις παρουσιάστηκαν στα καρότα και στις ντομάτες (Hildebrand et al 2008, Tzortzakidis 2007). Η ποσότητα της γλυκόζης σε επεξεργασμένες με όζον φράουλες (156 mg/m³) δεν είχε καμία σημαντική μεταβολή, αλλά η ποσότητα της φρουκτόζης μειώθηκε (Keutgen & Pawelzik 2008). Η αύξηση των σακχάρων είναι μια φυσιολογική διαδικασία που δρα ως δείκτης ανταπόκρισης (Rolland et al 2006). Τα σάκχαρα έχουν μικρή αντιοξειδωτική δράση αλλά αποτελούν συστήματα αντιοξειδωτικού ελέγχου. Η αύξηση των σακχάρων μπορεί να αυξήσει την αντίσταση των φυτών ενάντια στους παθογόνους μικροοργανισμούς, διότι μπορεί να επηρεάσει το συνολικό περιεχόμενο αντιοξειδωτικών του φρούτου. Γενικά, έχειδειχθεί ότι εξαιτίας της υψηλής οξειδωτικής ικανότητας του όζοντος και της ικανότητάς του να δημιουργεί

τοξικούς παράγοντες, αυτοί αναστέλλουν τις αντιδράσεις άμυνας των φυτών όπως είναι η παραγωγή φυτοαλεξινών συμπεριλαμβανομένης της ρεσβερατρόλης στα σταφύλια (Sarig et al 1996, Allende et al 2007).

Το 1997 ένα πάνελ εμπειρογνώμων επιθεώρησε την ασφάλεια και την δυναμική της χρήσης του όζοντος στην επεξεργασία των τροφίμων και δήλωσε ότι το όζον μπορεί να θεωρηθεί ως G.R.A.S. (General Recognized as Safe) για τις επαφές του με τα τρόφιμα στις Η.Π.Α. (Graham et. al., 1997). Πρόσφατα, ένα ερευνητικό κέντρο υπέβαλε αίτηση στην Διεύθυνση τροφίμων και φαρμάκων των Η.Π.Α. που θα επέτρεπε την επαφή του όζοντος με τα τρόφιμα. Για την επεξεργασία των φρέσκων φρούτων και λαχανικών μετά την συγκομιδή, το όζον μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια σύντομη επεξεργασία στον αέρα ή στο νερό κατά την προαποθήκευση ή την αποθήκευση, ή ως ένα αέριο συστατικό της ατμόσφαιρας κατά την αποθήκευση ή την μεταφορά. Το πλεονέκτημα της έλλειψης των υπολειμμάτων στα προϊόντα, κέρδισε το ενδιαφέρον πολλών παραγωγών.

Υπάρχουν πολυάριθμες αναφορές στα οφέλη και στην έλλειψη των οφελών του όζοντος στον αέρα και στους χώρους αποθήκευσης. Εντούτοις, λίγες έρευνες έχουν επικεντρωθεί στην επίδραση του όζοντος στα ροδάκινα ή στα σταφύλια και στις επιδράσεις των συνεχόμενων παροχών αερίου όζοντος σε συγκέντρωση 0,3 p.p.m., η οποία θα ήταν η υψηλότερη συγκέντρωση σε εμπορικές συνθήκες. Ο Sarig και οι συνεργάτες του (1996), ανέφεραν ότι το όζον παρεμποδίζει την ανάπτυξη του *Rhizopus stolonifer* στα σταφύλια και βοηθά στην συσσώρευση της ρεσβερατρόλης και των φυτοαλεξινών κάνοντάς τα έτσι πιο ανθεκτικά στις διάφορες μολύνσεις. Γενικά, το όζον στις κατάλληλες συγκεντρώσεις μπορεί να προσδώσει ανθεκτικότητα στα φυτά ενάντια στην επίθεση διαφόρων παθογόνων παραγόντων (Laurence 1981, Rusch & Laurence 1993, Kangasjarvi et al 1994). Οι πιθανές βιοχημικές αντιδράσεις των φυτών με το όζον είναι η παραγωγή πρωτεϊνών που προσδίδουν στα φυτά ανθεκτικότητα (Ernst et al 1992, Schraudner et al 1992), η εισαγωγή αιθυλενίου (Mehlhorn & Wellburn 1987) ή η συσσώρευση φυτοαλεξινών (Rosemann et al 1991). Αφού οι φυτοαλεξίνες που υπάρχουν στα σταφύλια είναι τα στιλβενοειδή ρεσβερατρόλη και πτεροστιλβίνη (Langcake 1981), θεωρήθηκε πιθανό ότι το όζον θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να προσδώσει αντίσταση στην φθορά των συγκομισθέντων σταφυλιών.

Η ποιότητα του σταφυλιού επηρεάζεται επίσης και από την φωτοσυνθετική ικανότητα των φύλλων και την αφομοίωση των συστατικών στο φυτό (Hunter et al 1994, Edson et al 1995a, Edson et al 1995b). Από την άλλη μεριά, ο αυξημένος γηρασμός των φύλλων είναι μια από τις

επικρατούσες επιδράσεις της έκθεσης του όζοντος στα φύλλα (Soja & Soja 1995, Paakkonen et al 1995). Επίσης η έκθεση στο όζον οποιασδήποτε πολυετούς σοδειάς επιταχύνει την φθινοπωρινή πτώση των φύλλων (Wiltshire et al 1993). Το περιβαλλοντικό φωτοοξειδωτικό στρες που υφίστανται οι ευαίσθητες στο όζον σοδειές π.χ. σιτάρι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, είναι άλλη μια αιτία ελάττωσης της απόδοσης των τελευταίων. Αυτά τα αποτελέσματα οδήγησαν στον καθορισμό μιας κρίσιμης συγκέντρωσης όζοντος στην οποία οι ελάττωση της απόδοσης της σοδειάς είναι σημαντική (Fuhrer & Achermann 1994). Από μια πρόσφατη έρευνα καθορίστηκε μια κρίσιμη συγκέντρωση όζοντος 3 p.p.m. την ώρα για μια ελάττωση της απόδοσης των σπόρων σιταριού κατά 5% (Karenlampi & Skarby 1996). Για την ελάττωση της απόδοσης του σταφυλιού κατά 10% υπολογίστηκε ότι η κρίσιμη συγκέντρωση όζοντος είναι 27 p.p.m. την ώρα (Soja et al 1997). Οι επιδράσεις του όζοντος είχαν επίσης αντίκτυπο και στον αυξημένο γηρασμό των φύλλων. Η απώλεια του πράσινου χρώματος των φύλλων, προκάλεσε σοβαρές μειώσεις στην εισαγωγή των υδατανθράκων στα σταφύλια.

11. ΒΕΡΙΚΟΚΟ

Το βερίκοκο (*Prunus armeniaca* L.) είναι ένα από τα πιο σημαντικά πυρηνόκαρπα φρούτα της Νοτιοανατολικής Ασίας. Προέρχεται από την Κίνα και εισήχθη στην Ευρώπη στις αρχές της Ρωμαϊκής εποχής (Crouzet et al 1990). Είναι μέλος της οικογένειας *Rosaceae*, ανήκει στην υποοικογένεια *Prunoideae* και στο υπογένος *Prunus* του γένους *Prunus*. Βοτανικά, το βερίκοκο είναι πυρηνόκαρπο στο οποίο ένα εξωτερικό τμήμα περιβάλλει έναν σκληρό πυρήνα με έναν σπόρο στο εσωτερικό. Το 2007 η παραγωγή ήταν περίπου 3,1 εκατομμύρια με 55% στην Ασία και 26% στην Ευρώπη. Η Τουρκία είναι η κύρια χώρα που παράγει βερίκοκο και παρέχει το 85% αποξηραμένων βερίκοκων και πυρήνων βερίκοκου σε όλο τον κόσμο. Στην Ευρώπη, η παραγωγή παραμένει συγκεντρωμένη στις περιοχές της Μεσογείου και οι τέσσερις κύριες χώρες που παράγουν βερίκοκο είναι η Ιταλία (6,9%), η Γαλλία (5,9%), η Ελλάδα (3,1%) και η Ισπανία (2,8%). Στην Γαλλία, η παραγωγή εντοπίζεται κυρίως στο Λάνγκεντον-Ρουσιγιόν και στην κοιλάδα du Rhone και 5 ποικιλίες αντιπροσωπεύουν το 65% περίπου της παραγωγής. Η κύρια ποικιλία είναι το Bergeron και αντιστοιχεί στο 50% περίπου της παραγωγής της Γαλλίας (Lichou et al 2003).

Το βερίκοκο ανήκει στα κλιμακτηριακά φρούτα (Biale 1960) και είναι μια άριστη πηγή σακχάρων, β-καροτένιου, ινών, σιδήρου, καλίου, θειαμίνης, ριβοφλαβίνης, νιασίνης, παντοθενικού οξέος, βιταμίνης A και βιταμίνης C (Leccese et al 2007). Ο χρόνος ζωής του είναι

περίπου 2-3 εβδομάδες (Sharma et al 1992) υπό αποθήκευση σε χαμηλές θερμοκρασίες (1° C) και υψηλή σχετική υγρασία (R.H. 90-95%). Ο μικρός χρόνος οφείλεται στον υψηλό ρυθμό αναπνοής και στον υψηλό ρυθμό ωρίμανσης. Η χρονική περίοδος από την ωρίμανση στην γήρανση είναι μεταξύ 3 και 5 ημερών ανάλογα με την ποικιλία (Amoros et al 1989). Κατά την διάρκεια της ωρίμανσης του βερίκοκου λαμβάνει χώρα μια σειρά από ένα σύνολο βιοχημικών αντιδράσεων οι οποίες καταλήγουν στην παραγωγή φαινολικών ενώσεων, καροτενοειδών και πτητικών ενώσεων. Τα καροτενοειδή είναι μια ομάδα χρωστικών που επικρατούν στη φύση, υπάρχουν σε όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς και είναι υπεύθυνες για το κίτρινο προς κόκκινο χρώμα των περισσότερων φρούτων και λουλουδιών. Το β-καροτένιο είναι το πιο άφθονο καροτενοειδές και δίνει ιδιαίτερο χρώμα στο βερίκοκο. Επίσης, είναι η πιο σημαντική προβιταμίνη Α εξαιτίας της αφθονίας της στα φυτικά τρόφιμα που καταναλώνονται από τον άνθρωπο και έχει υψηλή δραστικότητα (Buerfeind 1981).

Το βερίκοκο έχει επίσης υψηλή θρεπτική αξία (Pramer & Kaushal 1982) και παίζει σημαντικό ρόλο στην διατήρηση της ανθρώπινης υγείας εξαιτίας της περιεκτικότητάς του σε λυκοπένιο και καροτένιο που προστατεύουν την υγεία των ματιών και της καρδιάς καθώς επίσης παρεμποδίζουν πεπτικές διαταραχές όπως η εκκολπωμάτωση και έχουν αντιπυρετικές και αντισηπτικές ιδιότητες (Pramer & Kaushal 1982, Haydar et al 2007). Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις αντιοξειδωτικές ιδιότητες των καροτενοειδών και των πολυφαινόλων και στην ικανότητά τους στην καταπολέμηση χρόνιων ασθενειών (Dragović-Uzelac et al 2007). Έχει αποδειχθεί ότι τα αντιοξειδωτικά που απαντούν στους φυτικούς ιστούς, μπορεί να παρέχουν αποτελεσματική προστασία ενάντια σε οξειδωτικές καταστροφές σε ζωντανούς οργανισμούς (Lila 2004). Το βερίκοκο επίσης έχει και κάποια φαρμακολογική σημασία εξαιτίας των υψηλών ποσοτήτων σε αντιοξειδωτικά. Μια ημερήσια κατανάλωση 3 βερίκοκων έχει ανασταλτική δράση στην φλεγμονή των βλεννογόνων του στομάχου και στην εξέλιξη της χρόνιας ατροφικής γαστρίτιδας που προκαλείται από το *Helicobacter pylori* (Enomoto et al 2010). Ο σπόρος του βερίκοκου επίσης θεωρείται ως αναλγητικό, αντιασθματικό, αντισπασμωδικό και χρησιμοποιείται στην παραγωγή ελαίων, βενζαλδεϋδης, καλλυντικών, ενεργού άνθρακα και αρωματικών ενώσεων (Southon & Faulks 2002).

Στον πίνακα 8 αναγράφονται οι πτητικές ενώσεις που περιέχονται στο βερίκοκο.

Πίνακας 8. Πτητικές ενώσεις που περιέχονται στο βερίκοκο (Golias et al 2013).

1. Αλκοόλες	2-μεθυλο βουταν-1-όλη
	βουταν-1-όλη
	πενταν-1-όλη
	2-μεθυλο-1- πεντανόλη
	2-εξενόλη
	2-επτανόλη
	3-οκτεν-1-όλη
	Φαινυλ αιθανόλη
2. Αλδεΐδες	2-μεθυλο βουτανάλη
3. Εστέρες	Βουτανοϊκός εξυλεστέρας
	Βουτυρικός αιθυλεστέρας
4. Οργανικά οξέα	3-μεθυλοβουτυρικό οξύ
5. Λακτόνες	γ-καπρολακτόνη
	γ-οκταλακτόνη
6. Τερπένια	Λεμονένιο

12. ΜΑΡΟΥΛΙ

Το μαρούλι είναι ετήσιο φυτό της οικογένειας *Asteraceae*. Συχνά καλλιεργείται κυρίως ως φυλλώδες λαχανικό, αλλά μερικές φορές για τον μίσχο και τους σπόρους του. Το μαρούλι καλλιεργήθηκε για πρώτη φορά από τους Αρχαίους Αιγύπτιους οι οποίοι το παρήγαγαν από αγριόχορτο, του οποίου οι σπόροι χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ελαίου. Γενικά, το μαρούλι καλλιεργείται εύκολα, αν και απαιτεί σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες προς παρεμπόδιση της ταχείας άνθισης. Το μαρούλι μαστίζεται από ελλείψεις θρεπτικών συστατικών καθώς και βακτηριακές, μυκητιακές ασθένειες παράσιτα θηλαστικών και έντομα.

Το μαρούλι χρησιμοποιείται συχνά για σαλάτες, αν και συναντιέται σε άλλα είδη όπως σούπες και σάντουιτς, μπορεί επίσης και να ψηθεί. Το μαρούλι είναι πλούσια πηγή βιταμίνης Κ και βιταμίνης Α και μια μέτρια πηγή φυλλικού οξέος και σιδήρου. Τα μολυσμένα μαρούλια είναι συχνά πηγή βακτηριακών, ιικών και παρασιτικών εστιών για τους ανθρώπους συμπεριλαμβανομένων της *Escherichia coli* και της *Salmonella*. Επιπρόσθετα με την κύρια χρήση του ως φυλλώδες λαχανικό, έχει επίσης αποκτήσει ιατρική σημασία με το πέρασμα των αιώνων.

Οι Olmez & Akbas (2009) ανέφεραν ότι η επεξεργασία μαρουλιού με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 2 ppm για 2 min ελάττωσε τον πληθυσμό της *L. monocytogenes* και της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας κατά 2 και 1,5 c.f.u./g αντίστοιχα. Επίσης αυτή η συγκέντρωση και ο χρόνος ήταν οι ιδανικές συνθήκες για την διατήρηση της ολικής οπτικής ποιότητάς του σε άριστο επίπεδο. Αυτό οφείλεται στην ανασταλτική δράση που ασκεί το όζον σε ένζυμα που σχετίζονται με την αμαύρωση των φυτικών ιστών (Rico et al 2006, Koseki & Isobe 2006, An et al 2007).

Η επεξεργασία με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 12 mg/l για 15 min και θερμοκρασία 5°C σε μαρούλι ελάττωσε τον πληθυσμό της *E. coli* και της *L. innocua* κατά 2,07 log c.f.u./g (Karaca & Velioglu 2014). Η επεξεργασία μαρουλιού με οξονισμένο νερό σε συγκέντρωση 9,7 ή 16,5 mg/l για 10 min ελάττωσε τον πληθυσμό της *E. coli* O157:H7 κατά 1,4-1,8 λογαρίθμους (Singh et al 2002a). Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι η επεξεργασία μαρουλιού με οξονισμένο νερό σε συγκέντρωση 10 mg/l για 10 min ελάττωσε τον πληθυσμό της *E. coli* O157:H7 κατά 2,15 λογαρίθμους (Singh et al 2002b).

Η επεξεργασία μαρουλιού με όζον σε συγκέντρωση 10 και 20 mg/l ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα του κατά 1,8 λογαρίθμους με συσκευασία σε αέρα και κατά 2 λογαρίθμους με συσκευασία σε MAP αντίστοιχα. Επίσης, η επεξεργασία του ίδιου μαρουλιού συσκευασμένου σε αέρα με όζον στις παραπάνω συγκεντρώσεις ελάττωσε τον πληθυσμό των εντεροβακτηρίων κατά 2,2 λογαρίθμους σε συγκέντρωση 10 mg/l και κατά 4,2 λογαρίθμους σε συγκέντρωση 20 mg/l. Ενώ, σε συνθήκες MAP ο πληθυσμός των εντεροβακτηρίων ελαττώθηκε κατά 3 και 4,9 λογαρίθμους σε συγκέντρωση 10 και 20 mg/l αντίστοιχα (Beltran et al 2005). Ελάττωση στον πληθυσμό της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των εντεροβακτηρίων αναφέρθηκε και από τους Kumar Das et al (2011) κατά την επεξεργασία μαρουλιού με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 3 μl/l για 3 min.

Οι Garcia et al (2003) μελέτησαν την επίδραση του όζοντος στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα και στα ψυχρότροφα βακτήρια μαρουλιού και βρήκαν ότι σε συγκεντρώσεις 2,5-7,5 mg/l ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα και τα ψυχρότροφα βακτήρια κατά 0,6-0,8 λογαρίθμους. Οι Kim et al (1999a) μελέτησαν την επίδραση του όζοντος ως παράγοντα εξυγίανσης σε κομμένο μαρούλι. Το όζον σε συγκέντρωση 1,3 mmol/l ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 1,2 λογαρίθμους μετά από 3 min και κατά 4 λογαρίθμους μετά από 5 min. Η εμβάπτιση μαρουλιού σε οζονισμένο νερό συγκέντρωσης 0,5 mg/l ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 2 λογαρίθμους στα πρώτα 15 min και κατά 3,5 λογαρίθμους μετά από 30 min χρόνο έκθεσης (Alexopoulos et al 2013). Η επεξεργασία μαρουλιού με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 1,3 mmol/l για 3 min ελάττωσε τον πληθυσμό της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των ψυχρότροφων βακτηρίων κατά 1,4 και 1,8 log cfu/g αντίστοιχα. Μετά από χρόνο 5 min ο πληθυσμός της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των ψυχρότροφων βακτηρίων ελαττώθηκε κατά 3,9 και 4,6 log cfu/g αντίστοιχα (Kim et al 1999a).

Ο οζονισμός έχει επίσης επίδραση και στα θρεπτικά συστατικά του μαρουλιού. Οι Olmez & Akbas (2009) ανέφεραν ότι η επεξεργασία μαρουλιού με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 2 ppm για 2 min δεν ελάττωσε σημαντικά την περιεκτικότητα της βιταμίνης C. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν οι Koseki & Isobe (2006) και Akbas & Olmez (2007), Hassenberg et al (2007) και οι Karaca & Velioglu (2014). Οι Beltran et al (2005) ανέφεραν ότι η επεξεργασία μαρουλιού με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 20 mg/l ελάττωσε σημαντικά την περιεκτικότητα της βιταμίνης C. Αντίθετα, οι Hassenberg et al (2007) παρατήρησαν αύξηση της περιεκτικότητας της βιταμίνης C σε μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 3,6 ppm. Οι Olmez & Akbas (2009) βρήκαν επίσης ότι τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με υδατοειδές όζον συγκέντρωσης 2 ppm για 2 min παρουσίασαν απώλεια του β-καροτένιου κατά 35% την 12^η ημέρα της αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες (Akbas & Olmez 2007). Οι Zepplin & Elvehjein (1944), ανέφεραν ελάττωση της περιεκτικότητας της βιταμίνης C σε διάφορα φυλλώδη λαχανικά περίπου κατά 10% στις 6 πρώτες ημέρες της αποθήκευσης στους 6 °C.

13. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

Όπως είναι γνωστό, τα τρόφιμα κατά την αποθήκευσή τους υφίστανται διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση των οργανοληπτικών

χαρακτηριστικών και την ποιότητας αυτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φυσικοχημικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα είναι :

- Απώλεια υγρασίας στα φρούτα και στα λαχανικά μέσω των πόρων της εφυμενίδας αυτών που συμβαίνει κατά την διαπνοή. Η εκτεταμένη απώλεια υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την συρρίκνωση αυτών.
- Πρόσληψη υγρασίας από αποξηραμένα, τραγανά και σε σκόνη τρόφιμα όπως σνακς, κανέλα, κακάο, καφές, ζάχαρη, ξηροί καρποί κ.τ.λ. που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της τραγανότητας και τον σχηματισμό σβώλων από την δημιουργία κρυστάλλων.
- Ενζυμικές αντιδράσεις όπως η ενζυμική αμαύρωση των φρούτων και των λαχανικών που συμβαίνει κατά την οξείδωση των φαινολικών υποστρωμάτων μέσω του ενζύμου πολυφαινολοξειδάση παρουσία οξυγόνου και κατά την αντίδραση μεταφοράς δύο υδρογονοϋδίων από το φαινολικό υπόστρωμα σε ένα μόριο υπεροξειδίου μέσω του ενζύμου υπεροξειδάση. Αξιοσημείωτες είναι και οι πρωτεολυτικές διασπάσεις που προκαλούνται από πρωτεολυτικά ένζυμα σε τρόφιμα όπως ψάρια, ιχθυοσκευάσματα, κρέας, κρεατοσκευάσματα, γάλα, τυριά κ.τ.λ. και οι λιπολυτικές διασπάσεις που λαμβάνουν χώρα σε λιπαρά τρόφιμα όπως βούτυρο, έλαια, ελαιούχοι σπόροι, λιπαρά ψάρια, τυριά υψηλής λιποπεριεκτικότητας κ.τ.λ. Τα προϊόντα πρωτεόλυσης είναι ολιγοπεπτίδια τα οποία στην συνέχεια διασπώνται μέσω πεπτιδασών και διπεπτιδασών σε ελεύθερα αμινοξέα όπου μέσω αντιδράσεων οξείδωσης και αναγωγής μετατρέπονται σε πτητικά δύσοσμα οργανικά οξέα, πτητικές αμίνες, αμμωνία, μερκαπτάνες, μεταδισουλφίδιο, πουτρεσκίνη, καρβαεδίνη, ινδόλιο, σκατόλιο, υδρόθειο κ.ά. Τα προϊόντα λιπόλυσης είναι ακόρεστα λιπαρά οξέα τα οποία στην συνέχεια οξειδώνονται παρουσία οξυγόνου προς οξέα, αλδεϋδοξέα, αλδεϋδες, κετόνες, λακτόνες κ.ά.
- Απώλεια πτητικών ενώσεων χαρακτηριστικών των τροφίμων.
- Ανάπτυξη ανεπιθύμητων αλλοιογόνων μικροοργανισμών που εκκρίνουν πρωτεολυτικά και λιπολυτικά ένζυμα, παράγουν γλοιώδες υμένιο, και προκαλούν ανεπιθύμητες ζυμώσεις (οξική ζύμωση, βουτυρική ζύμωση κ.τ.λ.).

Για όλες τις παραπάνω φυσικοχημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στα τρόφιμα απαιτείται η λήψη μέτρων που ελαττώνουν την ταχύτητα εξέλιξης αυτών των χημικών και βιοχημικών μεταβολών και έτσι επιβραδύνουν τον ρυθμό υποβάθμισης των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της ποιότητας γενικότερα των τροφίμων. Η διαδικασία λήψης αυτών των μέτρων καλείται συντήρηση τροφίμων.

Οι μέθοδοι συντήρησης των τροφίμων κατηγοριοποιούνται στις παρακάτω κατηγορίες :

- **Φυσικές μέθοδοι συντήρησης**

Οι φυσικές μέθοδοι συντήρησης περιλαμβάνουν μεθόδους που :

1. Αυξάνουν την θερμοκρασία του τροφίμου
Παστερίωση, εμπορική αποστείρωση
2. Ελαττώνουν την θερμοκρασία του τροφίμου
Ψύξη, κατάψυξη
3. Δεν προκαλούν μεταβολή στην θερμοκρασία του τροφίμου
Ακτινοβολήση, οζονισμός, υψηλή πίεση, υπέρηχοι, παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

- **Χημικές μέθοδοι συντήρησης**

Οι χημικές μέθοδοι συντήρησης περιλαμβάνουν την προσθήκη χημικών συντηρητικών με σκοπό την παρεμπόδιση της μικροβιολογικής φθοράς των τροφίμων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικών συντηρητικών είναι το σορβικό οξύ και τα μετά Κ και Na άλατά του, το βενζοϊκό οξύ και το μετά Na άλας του, το προπιονικό οξύ και το μετά Ca άλας του, το οξικό οξύ, το κιτρικό οξύ κ.ά.

- **Βιολογικές μέθοδοι συντήρησης**

Οι βιολογικές μέθοδοι συντήρησης περιλαμβάνουν την προσθήκη καλλιέργειας ή καλλιεργειών οι οποίες ζυμώνουν τα σάκχαρα και παράγουν ενώσεις όπως οργανικά οξέα π.χ. γαλακτικό οξύ, αλκοόλες π.χ. αιθανόλη και βακτηριοσίνες (νισίνη, ναταμυκίνη κ.ά.) για την παρεμπόδιση της ανάπτυξης ανεπιθύμητων μικροοργανισμών. Τρόφιμα που συντηρούνται με βιολογικές μεθόδους είναι τα προϊόντα ζύμωσης όπως γιαούρτι, τυρί, τουρσί, αλλαντικά ωρίμανσης, κρασί κ.ά.

13.1. ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η εφαρμογή της θέρμανσης για την θανάτωση ή την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών στα φρούτα και στα λαχανικά μετά την συγκομιδή, δίνει την δυνατότητα ελέγχου μετασυλλεκτικών ασθενειών χωρίς την χρήση φυτοφαρμάκων. Η μετασυλλεκτική θέρμανση για τον έλεγχο της φθοράς εφαρμόζονται συχνά μόνο για 3-5 min διότι οι μικροοργανισμοί-στόχοι βρίσκονται στην επιφάνεια ή εντός λίγων εξωτερικών στρωμάτων του προϊόντος. Για την επίτευξη ενός σημαντικού βαθμού ελέγχου των παθογόνων η θερμότητα είναι απαραίτητη μόνο για τις εξωτερικές επιφάνειες.

Η επίδραση της θερμότητας μπορεί να είναι θανατηφόρα ή μη θανατηφόρα για τους παθογόνους μικροοργανισμούς (Bardy et al 1970). Η αντοχή των παθογόνων μικροοργανισμών

στην θερμότητα μπορεί να επηρεαστεί από την περιεκτικότητα της υγρασίας των σπόρων, την μεταβολική δραστηριότητα και την ηλικία τους (Edney & Burchill 1967, Doyle & Marth 1975), την χημική σύσταση (King 1969) και την ενεργότητα νερού του μέσου στο οποίο βρίσκονται. Ακόμη το μέσο στο οποίο καλλιεργούνται οι παθογόνοι μικροοργανισμοί μετά την θέρμανση μπορεί να επηρεάσει την φαινομενική βιωσιμότητά τους (Bardy et al 1970, Doyle & Marth 1975). Αρκετοί παράγοντες που τροποποιούν την επίδραση της θερμότητας στους παθογόνους μικροοργανισμούς μπορούν επίσης να επηρεάσουν και το υπόστρωμα. Οι γενετικές διαφορές μεταξύ των μυκήτων επηρεάζουν επίσης την ευαισθησία τους στις υψηλές θερμοκρασίες (Sommer et al 1967). Για ένα συγκεκριμένο είδος, η αδρανοποίηση των σπόρων αυξάνεται με την αύξηση και της θερμοκρασίας και του χρόνου έκθεσης. Η παρουσία νερού πριν ή κατά τη διάρκεια της έκθεσης στην θερμότητα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την μεταφορά αυτής και την επίδρασή της στους παθογόνους. Σε μια μελέτη σύγκρισης της θερμοαντοχής ξηρών και υγρών κονιδίων του μύκητα *Penicillium digitatum*, διαπιστώθηκε ότι σε θερμοκρασία 70°C για 30 min καταστράφηκε το 90% των υγρών σπόρων, ενώ μόλις το 10% των ξηρών σπόρων καταστράφηκε. Τα ξηρά κονίδια που επιβίωσαν μόλυναν τα εσπεριδοειδή αλλά η εμφάνιση των συμπτωμάτων καθυστέρησε 24 ώρες. Η υγρασία επηρεάζει επίσης και την φυσιολογική δραστηριότητα, όπως η εκβλάστηση των σπόρων. Οι σπόροι μυκήτων που έχουν βλαστήσει είναι σημαντικά πιο ευαίσθητοι στην θερμότητα σε σχέση με τους σπόρους που δεν έχουν βλαστήσει.

Η θερμότητα μπορεί να ελέγξει την ανάπτυξη των παθογόνων μέσω μετουσίωσης πρωτεϊνών, οξείδωσης των λιπιδίων, καταστροφής των ορμονών, ασφυξίας των ιστών, εξάντλησης των αποθεμάτων τροφής ή μεταβολικών βλαβών με ή χωρίς συσσώρευση τοξικών ενδιάμεσων προϊόντων (Baker 1962). Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες εμπλέκονται ταυτόχρονα. Οι δομικές μεταβολές σε θερμικά επεξεργασμένους σπόρους του *Monilinia fructicola* που δεν έχουν βλαστήσει δείχνουν προχωρημένη καταστροφή των μιτοχονδριακών ακρολοφίων, του δικτύου και των εξωτερικών μεμβρανών, αποδιοργάνωση των μεμβρανών των χυμοτοπίων και σχηματισμό κενών στο κυτόπλασμα του κονιδίου (Margosan & Phillips 1990). Η πιο ευαίσθητη τοποθεσία αδρανών κονιδίων του *Monilinia fructicola* στην θερμότητα μπορεί να είναι μέσα στα μιτοχόνδρια, πιθανόν στην εσωτερική μεμβράνη. Οι δομικές μεταβολές σε σπόρους του *Monilinia fructicola* που έχουν βλαστήσει δείχνουν μεταβολές στους πυρήνες ή στο κυτταρικό τοίχωμα ή και στα δύο και αυτό αποδεικνύει ότι ο πυρήνας μπορεί επίσης να υποστεί βλάβη σε σπόρους που έχουν βλαστήσει.

Οι θερμικές επεξεργασίες μπορούν να επηρεάσουν το υπόστρωμα με αλλοίωση της ωρίμανσης (Anthony et al 1989), του χρώματος, της διαρροής των ηλεκτρολυτών, του

μεταβολισμού των σακχάρων, της παραγωγής του αιθυλενίου, της δραστηριότητας των πεκτινολυτικών ενζύμων και της ευαισθησίας στους παθογόνους μικροοργανισμούς (Edney & Burchill 1967, Phillips & Harris 1979). Η πολύπλοκη δομή του υποστρώματος μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Η μεταφορά της θερμότητας από ιστό σε ιστό εντός του φύλλου, του μίσχου, της ρίζας ή του φρούτου ποικίλει σημαντικά. Αυτοί οι μορφολογικοί παράγοντες του υποστρώματος συμβάλλουν σε ασυνεπή αποτελέσματα. Τα έγχρωμα εξωτερικά στρώματα του φλοιού των εσπεριδοειδών μπορεί να έχουν μικρό ενδοκυτταρικό διάστημα και να μεταφέρουν την θερμότητα γρηγορότερα σε σχέση με τα υποκείμενα σπογγώδη λευκά νημάτια που ανακλούν την θερμότητα. Μια ρόγα σταφυλιού μπορεί να μεταφέρει την θερμότητα ταχύτερα σε σχέση με ιστούς από μηλοειδές φρούτο όπως το μήλο. Η θέση επάνω ή εντός του υποστρώματος μπορεί επίσης να επηρεάσει την απόκριση στην θερμότητα των παθογόνων μικροοργανισμών (Phillips & Harris 1979). Η εμβάπτιση σε θερμό νερό θερμοκρασίας 46-49°C για 4 min επηρέασε σημαντικά την ανάπτυξη του μύκητα *Phytophthora citrophthora* σε λεμόνια μόνο εφόσον δεν είχαν ακόμη διαπεράσει την εξωτερική στοιβάδα του φλοιού. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν πριν την περίοδο της συγκομιδής επηρεάζουν επίσης την ανθεκτικότητα των μυκήτων στην θερμότητα. Η ωριμότητα και η έμφυτη ανοχή της ποικιλίας στην θερμότητα σε συνδυασμό με τις περιβαλλοντικές συνθήκες πριν την συγκομιδή πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν πρόκειται να εφαρμοστεί θερμική επεξεργασία μετά την συγκομιδή.

Η θερμότητα μεταφέρεται συνήθως στο προϊόν μέσω του αέρα ή του νερού. Η περιεκτικότητα υγρασίας του αέρα επηρεάζει σημαντικά την μεταφορά της θερμότητας και ο θερμός υγρός αέρας συνήθως εξοντώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τον ξηρό αέρα στην ίδια θερμοκρασία (Teitel et al 1989). Η υγρή θερμότητα μπορεί να είναι περισσότερο αποτελεσματική από την ξηρή διότι οι υγροί σπόροι έχουν υψηλότερη φυσιολογική δραστηριότητα από τους ξηρούς σπόρους αλλά επίσης διότι ο υγρός αέρας μεταφέρει την θερμότητα περισσότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τον ξηρό αέρα. Όταν ο αέρας είναι ξηρός δεν σχηματίζεται συμπύκνωμα στο προϊόν και ο ρυθμός μεταφοράς εξαρτάται από την διαβίβαση του αέρα πάνω από την επιφάνεια του προϊόντος καθώς επίσης και από την θερμική αγωγιμότητά του. Όταν η υγρασία συμπυκνώνεται στο προϊόν η λανθάνουσα θερμότητα που μεταφέρεται από το νερό είναι σημαντική και η μεταφορά της θερμότητας εξαρτάται λιγότερο από την κίνηση του αέρα. Όταν ο αέρας είναι κορεσμένος με υδρατμούς, σχηματίζεται συμπύκνωμα στην επιφάνεια το οποίο είναι πιο ψυχρό από τον αέρα και η θερμότητα μεταφέρεται ταχέως στην επιφάνεια (Edney & Burchill 1967).

Οι αποτελεσματικές θερμοκρασίες νερού συνήθως είναι μεταξύ 46 και 60°C με χρόνους έκθεσης από 30 sec μέχρι 10 min. Οι επεξεργασίες που χρησιμοποιούν αέρα κυμαίνονται από 43 έως 54°C για 10-60 min. Τα τροπικά φρούτα μπορεί να είναι πιο θερμοάντοχα από τα φρούτα της εύκρατης ζώνης (Couey 1989). Η επίδραση της θερμότητας μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον συνδυασμό παθογόνου μικροοργανισμού-υποστρώματος. Για παράδειγμα η δραστηριότητα του πηκτινολυτικού ενζύμου μολυσμένων βερίκοκων με *Rhizopus* ακόμη και μετά την αποστείρωση και την κονσερβοποίηση. Εντούτοις, βραχύς χρόνος έκθεσης στη θερμότητα μπορεί να μειώσει σημαντικά την παραγωγή των πηκτινολυτικών ενζύμων μέσω θέρμανσης των σπόρων, είτε μέσω ελάττωσης της δραστηριότητας του πηκτινολυτικού ενζύμου του φρούτου. Οι βλάβες που προκαλούνται από την θερμική επεξεργασία περιλαμβάνουν αυξημένη απώλεια νερού, δυσχρωματισμό, αυξημένη ευαισθησία σε προσβολή από μικροοργανισμούς και ελάττωση του χρόνου αποθήκευσης (Edney & Burchill 1967). Οι επιβλαβείς επιδράσεις είναι αρκετά ασταθείς και επηρεάζονται από πολλούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι κυριότεροι περιορισμοί χρήσης της θερμότητας είναι η έλλειψη προστασίας στην επιμόλυνση με παθογόνους και ο τραυματισμός του υποστρώματος (Edney & Burchill 1967). Μερικοί παθογόνοι μπορεί να είναι θερμοανθεκτικοί αλλά η ανάπτυξη ανθεκτικότητας όπως συμβαίνει με την χρήση ορισμένων μυκητοκτόνων δεν προβλέπεται.

13.2. ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ

Η ακτινοβολήση ως μέθοδος συντήρησης των τροφίμων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1940 με την παράλληλη εξέλιξη πηγών ακτινοβολίας υψηλής ενέργειας και υψηλής έντασης. Κατάλληλες για την ακτινοβολήση των τροφίμων είναι οι ιονίζουσες ακτινοβολίες, δηλαδή αυτές που προκαλούν ιονισμό των ατόμων της ύλης μέσα από την οποία διέρχονται. Από τις ιονίζουσες ακτινοβολίες οι πλέον κατάλληλες για την επεξεργασία και την συντήρηση των τροφίμων είναι οι ακτίνες γ και οι δέσμες ηλεκτρονίων. Οι ακτίνες γ έχουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα αλλά έχουν περιορισμένη εφαρμογή λόγω υψηλού κόστους. Οι ακτίνες α , καθώς και τα νετρόνια και τα πρωτόνια προκαλούν βλάβες στα τρόφιμα και μπορούν επίσης να δημιουργήσουν δευτερογενή ραδιενέργεια. Συνεπώς δεν χρησιμοποιούνται στην ακτινοβολήση των τροφίμων.

Οι ακτίνες γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (10^{-14} έως 10^{-10} m), υψηλής ενέργειας και υψηλής διεισδυτικής ικανότητας, η οποία εκπέμπεται από τον πυρήνα ραδιενεργών ατόμων κατά την πορεία διάσπασής τους. Ως πηγές γ ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται το κοβάλτιο-60 (^{60}Co) που έχει χρόνο ημιζωής 5,3 χρόνια και το καίσιο-137

(^{137}Cs) που έχει χρόνο ημιζωής 30 χρόνια. Στις περισσότερες εφαρμογές χρησιμοποιείται το κοβάλτιο λόγω του αποδεκτού κόστους παραγωγής και λειτουργίας ως πηγή γ ακτινοβολίας από τις βιομηχανίες ακτινοβόλησης τροφίμων. Τα ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας παράγονται είτε με κατάλληλες διατάξεις επιτάχυνσης (καθοδικές ακτίνες), είτε από την διάσπαση ραδιενεργών σωμάτων (ακτίνες β). Ως πηγές ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι επιταχυντών ηλεκτρονίων που παράγουν ακτινοβολία ενέργειας μέχρι 10 MeV. Πλεονεκτούν στην ταχύτερη ακτινοβόληση, στην ευκολότερη μόνωση και στην λειτουργία κατά βούληση. Μειονεκτούν στο ότι έχουν μικρότερη διεισδυτική ικανότητα. Οι ακτίνες γ είναι όπως οι ακτίνες β με διαφορετική πηγή προέλευσης. Παράγονται σε κατάλληλες συσκευές με βομβαρδισμό βαρέων μετάλλων με καθοδικές ακτίνες.

Ως μονάδα μέτρησης δόσης της ακτινοβολίας χρησιμοποιείται το 1 Gray (1 Gy) που ισοδυναμεί με 1 Joule απορροφημένης ενέργειας από 1 Kg υλικού (1 Joule / Kg). Ανάλογα με την δόση ακτινοβόλησης που εφαρμόζεται στα τρόφιμα προκύπτουν οι εξής κατηγορίες :

- **Ήπια ραδιοπαστερίωση (δόση μέχρι 1 KGy)**

Αναστέλλει την βλάστηση σε τρόφιμα τα οποία αποτελούνται από βολβούς και κονδύλους (πατάτες, κρεμμύδια, σκόρδα κ.τ.λ.), καταστρέφει έντομα σε τρόφιμα όπως δημητριακά, όσπρια, αλεύρι, φρέσκα και αποξηραμένα φρούτα και λαχανικά, αποξηραμένα ψάρια και κρέας, φρέσκο χοιρινό κ.τ.λ. και αναστέλλει την ωρίμανση στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά.

- **Ραδιοπαστερίωση (δόση 1-10 KGy)**

Προκαλεί παστερίωση και εξοντώνει τους παθογόνους μικροοργανισμούς σε φρέσκα και κατεψυγμένα θαλασσινά, ωμά και κατεψυγμένα πουλερικά και λαχανικά κ.τ.λ.

- **Ραδιοαποστείρωση (δόση 10-50 KGy)**

Προκαλεί εμπορική αποστείρωση σε διάφορα τρόφιμα όπως κρέας, πουλερικά, θαλασσινά κ.τ.λ. και επίσης καταστρέφει μικροοργανισμούς που υπάρχουν σε διάφορα πρόσθετα και συστατικά των τροφίμων όπως καρυκεύματα, κόμμεα, έτοιμα ένζυμα κ.τ.λ., καταστρέφει και ιούς.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της ακτινοβόλησης στην εξόντωση των μικροοργανισμών, των παρασίτων και των ιών είναι :

1. Δόση ακτινοβολίας,
2. Ρυθμός ακτινοβόλησης (δόση/χρόνος),
3. Θερμοκρασία ακτινοβόλησης,
4. Ατμόσφαιρα ακτινοβόλησης,
5. Μέσο στο οποίο βρίσκονται οι μικροοργανισμοί,

6. Τύπος μικροοργανισμών και

7. Τύπος ακτινοβολίας.

Η ευαισθησία των μικροοργανισμών στην ακτινοβολήση αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Ορισμένοι μικροοργανισμοί πάλι γίνονται περισσότερο ευαίσθητοι όταν η υγρασία του τροφίμου είναι υψηλή. Αντίθετα η ευαισθησία των μικροοργανισμών στην ακτινοβολήση ελαττώνεται όταν ακτινοβολούνται σε θερμοκρασίες κατάψυξης. Η ακτινοβολήση απουσία οξυγόνου αυξάνει την ευαισθησία της αερόβιας μικροχλωρίδας στην ακτινοβολήση. Επίσης, οι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην ακτινοβολήση όταν βρίσκονται σε τρόφιμο, απ'ότι όταν βρίσκονται σε θρεπτικό ζωμό και καθαρό απιονισμένο νερό.

Η έκταση των χημικών μεταβολών που λαμβάνουν χώρα σε ένα τρόφιμο, κατά την διάρκεια της ακτινοβολήσης εξαρτάται από την δόση της ακτινοβολήσης. Η ακτινοβολήση σε δόσεις αποστείρωσης προκαλεί αισθητές αλλοιώσεις στην γεύση, στην οσμή και στο χρώμα. Το γάλα και τα γαλακτοκομικά προϊόντα είναι πολύ ευαίσθητα στην ακτινοβολήση και αποκτούν δυσάρεστη οσμή ακόμη και όταν ακτινοβοληθούν σε χαμηλές δόσεις. Η αποστείρωση με ακτινοβολήση του κρέατος εμφανίζει επίσης ανεπιθύμητες οσμές. Η εμφάνιση αυτών των οσμών ελαχιστοποιείται όταν η ακτινοβολήση του κρέατος γίνει σε θερμοκρασίες κατάψυξης και απουσία οξυγόνου. Στην περίπτωση των φρούτων και των λαχανικών παρατηρείται αποικοδόμηση των πηκτινών και μεταβολή της υφής τους κατά την ακτινοβολήση σε δόσεις τουλάχιστον 1 KGy. Αυτές οι ανεπιθύμητες οργανοληπτικές μεταβολές μπορούν να περιοριστούν με αλλαγές των συνθηκών επεξεργασίας. Ένας τρόπος είναι η μείωση της δόσης και ο συνδυασμός της δόσης με θερμική επεξεργασία ή με χημικά συντηρητικά. Ένας άλλος τρόπος είναι η ακτινοβολήση του τροφίμου σε κατεψυγμένη κατάσταση και συσκευασμένο υπό αδρανή ατμόσφαιρα ή με την προσθήκη αντιοξειδωτικών ουσιών που δρουν ως συλλέκτες ελευθέρων ριζών.

Οι λόγοι που παρεμποδίζουν την εκτεταμένη εφαρμογή της ακτινοβολήσης στην επεξεργασία και στην συντήρηση των τροφίμων είναι η απώλεια ορισμένων βασικών θρεπτικών συστατικών όπως η βιταμίνη B1 και η βιταμίνη C, ο κίνδυνος δημιουργίας ενώσεων με τοξικές ή καρκινογόνες ιδιότητες και ο κίνδυνος για την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται σε μονάδες ακτινοβολήσης.

13.3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΣΕ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

Οι βάσεις για την εφαρμογή τροποποιημένης σύστασης ατμοσφαιρικού αέρα σε στεγανοποιημένους χώρους τέθηκαν από τους Kidd και West (1930) στην Αγγλία για την συντήρηση μήλων και αχλαδιών. Στην συνέχεια δοκιμάστηκε η ελεγχόμενη ατμόσφαιρα από πολλά εργαστήρια του κόσμου στην συντήρηση φρούτων και λαχανικών. Η μέθοδος άρχισε να εφαρμόζεται σε εμπορική κλίμακα στην συντήρηση μήλων και αχλαδιών. Κατά την αποθήκευση αυτών σε ψυγεία με αεροστεγή τοιχώματα άρχιζαν να καταναλώνουν οξυγόνο και να παράγουν διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα αυξανόταν σε επιθυμητά επίπεδα, ενώ η περίσσεια αφαιρούνταν με εξαερισμό. Σε τέτοιες εγκαταστάσεις η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα αυξανόταν στο 5 ως 10% ενώ του οξυγόνου μειωνόταν στο 16 ως 11%. Αργότερα βρέθηκε ότι όταν τα επίπεδα του οξυγόνου ήταν 2-3% τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα, ενώ συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα πάνω από 3% προξενούσαν φυσιολογικές βλάβες σε ορισμένα είδη καρπών. Συνεπώς συγκεντρώσεις 2-3% οξυγόνο και 2-3% διοξείδιο του άνθρακα ήταν κατάλληλες για την συντήρηση των περισσότερων ποικιλιών μήλων και αχλαδιών.

Η εισαγωγή ή αφαίρεση αερίων στο χώρο συντήρησης των καρπών έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ατμόσφαιρας που διαφέρει από την κανονική σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι όροι “ Τροποποιημένη Ατμόσφαιρα ” (Modified Atmosphere, MA) και “ Ελεγχόμενη Ατμόσφαιρα ” (Controlled Atmosphere, CA) χρησιμοποιούνται για συντήρηση σε περιβάλλον με μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου και αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Η πρώτη (MA) διαφέρει από την δεύτερη (CA) στο ότι στην ελεγχόμενη ατμόσφαιρα υπάρχει συνεχής ρύθμιση και η σύσταση της ατμόσφαιρας παραμένει σταθερή σε ορισμένα επίπεδα αλλά στην τροποποιημένη ατμόσφαιρα η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαττώνεται ενώ του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται αλλά η τελική σύσταση δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από τον ρυθμό αναπνοής των καρπών και την διάχυση των αερίων διαμέσου του υλικού συσκευασίας που περιβάλλει τους καρπούς. Η τροποποιημένη ή ελεγχόμενη ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται συμπληρωματικά με την εφαρμογή της ψύξης και δεν μπορεί να αντικαταστήσει τους χειρισμούς του έλεγχου της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην διατήρηση της ποιότητας και επέκταση του χρόνου ζωής κατά την συντήρηση και μεταφορά των νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων.

Η σύσταση της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό των ιστών ενός προϊόντος εξαρτάται από τον ρυθμό αναπνοής, την παραγωγή αιθυλενίου, την διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών και την διαφορά μερικής πίεσης του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα μέσα και έξω από τον

φυτικό ιστό. Με την ελάττωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου παρατηρείται μείωση του ρυθμού της αναπνοής που έχει άλλοτε ωφέλιμες επιδράσεις και άλλοτε βλαβερές επιδράσεις στην μετασυλλεκτική ζωή του προϊόντος. Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για την δράση του αιθυλενίου (Burg & Burg 1967). Για την δράση του αιθυλενίου είναι απαραίτητη η σύνδεση αυτού με μια ουσία υποδοχέα η οποία εξαρτάται από την παρουσία οξυγόνου. Όταν η συγκέντρωση του οξυγόνου μειωθεί (<8%) παρεμποδίζεται η ένωση του αιθυλενίου με την ουσία υποδοχέα. Επίσης με την μείωση της συγκέντρωσης του οξυγόνου επιβραδύνεται και η παραγωγή του αιθυλενίου. Η αντίδραση μετατροπής της ουσίας 1-άμινοκυκλοπροπανιο-1-καρβοξυλικό οξύ (ACC) σε αιθυλένιο εξαρτάται από την παρουσία οξυγόνου (Adams & Yang 1979).

Κάτω από πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου οι ιστοί υφίστανται καταπόνηση. Τα είδη καταπονήσεων είναι τρία : **1. Ισχυρή καταπόνηση χαμηλού οξυγόνου** υφίστανται οι ιστοί που μέσα στα κύτταρα δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες και αν συνεχισθεί η κατάσταση για πολύ χρόνο οι ζημιές είναι μη αντιστρεπτές. **2. Μέτρια καταπόνηση χαμηλού οξυγόνου** υφίστανται οι ιστοί λίγο πιο πάνω από την κρίσιμη που δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες, οπωσδήποτε όμως και σε αυτήν την περίπτωση η ποιότητα του προϊόντος υφίστανται υποβάθμιση. **3. Ελαφριά καταπόνηση χαμηλού οξυγόνου**, οι τυχόν επιδράσεις είναι αντιστρέψιμες χωρίς ζημιές και με θετικά αποτελέσματα στην διατήρηση της καλής ποιότητας του προϊόντος.

Κατά την υπερβολική ελάττωση του οξυγόνου στο εσωτερικό των κυττάρων, η ουσία NADH_2 δεν μπορεί να οξειδωθεί σε NAD με αποτέλεσμα την διακοπή του κύκλου του κιτρικού οξέος. Η γλυκόζη μετατρέπεται σε πυροσταφυλικό οξύ και στην συνέχεια μεταβολίζεται σε αιθανόλη και ακεταλδεΐδη. Όταν τα προϊόντα αυτά συσσωρεύονται σε μεγάλες συγκεντρώσεις στα κύτταρα, γίνονται τοξικά. Προκαλούν αποδιοργάνωση των κυτταρικών μεμβρανών (Kiyosawa 1975) και με παρατεταμένη έκθεση επιφέρουν τον θάνατο των κυττάρων. Βασικός παράγοντας στην εκδήλωση των καταπονήσεων του μειωμένου οξυγόνου είναι η χαμηλή συγκέντρωση του οξυγόνου που αναπτύσσεται στο εσωτερικό των ιστών. Η συγκέντρωση αυτή εξαρτάται από την αντίσταση που προβάλλουν οι ιστοί στην διάχυση των αερίων, το στάδιο ανάπτυξης, το μέγεθος του προϊόντος, τον ρυθμό κατανάλωσης του οξυγόνου και από την διαφορά της συγκέντρωσης του οξυγόνου στο εσωτερικό και στον περιβάλλοντα χώρο. Λόγω της διαφορετικής σύστασης των ιστών των νωπών οπωροκηπευτικών δημιουργούνται διαφορές στην διάχυση των αερίων και επομένως τα διάφορα προϊόντα απαιτούν διαφορετικά επίπεδα μειωμένης εξωτερικής συγκέντρωσης οξυγόνου για την επίτευξη του άριστου αποτελέσματος. Τα πιο ογκώδη και συμπαγή προϊόντα είναι πιο επιρρεπή στην εμφάνιση πολύ μειωμένων

συγκεντρώσεων οξυγόνου στο εσωτερικό των ιστών. Συνεπώς, τα ογκώδη και συμπαγή προϊόντα απαιτούν υψηλότερες εξωτερικές συγκεντρώσεις μειωμένου οξυγόνου σε σχέση με τα μικρού όγκου και λιγότερο συμπαγή προϊόντα.

Η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου, που προκαλεί ήπια καταπνιξη, είναι δυνατόν να έχει τις ακόλουθες ευνοϊκές επιδράσεις στην διατήρηση της ποιότητας των οπωροκηπευτικών : (1) μείωση των μεταβολικών αντιδράσεων στα συγκομισμένα προϊόντα, με αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών σε αναπνευστικό υπόστρωμα και την παράταση της ζωής των οπωροκηπευτικών προϊόντων, (2) Επιβράδυνση της ωρίμανσης, (3) Αισθητή μείωση της παραγωγής του αιθυλενίου των κλιμακτηριακών καρπών και (4) Παρεμπόδιση της δράσης του αιθυλενίου να ευνοεί την σύνθεση των ενζύμων που είναι υπεύθυνα για το μαλάκωμα της σάρκας, έστω και αν η συγκέντρωση του αιθυλενίου βρίσκεται σε επίπεδα πάνω από τη συγκέντρωση που προκαλεί φυσιολογικές επιδράσεις. Τα ευνοϊκά αποτελέσματα της επίδρασης του μειωμένου οξυγόνου στην παράταση της ωρίμανσης αίρονται αν αυξηθεί η συγκέντρωση του αιθυλενίου στο χώρο των ψυγείων. Οι μειωμένες συγκεντρώσεις οξυγόνου είναι περισσότερο αποτελεσματικές στην αναστολή της ωρίμανσης των κλιμακτηριακών καρπών, εφόσον δεν έχει αρχίσει η αυτοκαταλυτική παραγωγή αιθυλενίου, ενώ σε καρπούς που παράγουν ήδη μεγάλες ποσότητες αιθυλενίου η επίδραση της μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου είναι λιγότερο αποτελεσματική.

Η περίσσεια του διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να προκαλέσει καταπνιξη που έχει ωφέλιμες ή βλαβερές επιδράσεις ανάλογα με την φύση του προϊόντος, την εσωτερική συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, τη διάρκεια έκθεσης και την συγκέντρωση του οξυγόνου. Αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα έχει δείχθει ότι παρεμποδίζει την αναπνοή και κυρίως την δραστηριότητα των ενζύμων του κύκλου του κιτρικού οξέος όπως η ηλεκτρική αφυδρογονάση (Hulme 1956, Knee 1973, Monning 1983). Η τοξική επίδραση της αυξημένης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα εκδηλώνεται με την εμφάνιση διαφόρων φυσιολογικών βλαβών. Οι σπουδαιότερες εξ' αυτών είναι η καστανή καρδιά (Smock 1977), το εσωτερικό καφέτισμα στα λάχανα (Isenberg & Sayles 1969), η καστανή κηλίδωση στα μαρούλια (Stewart & Uota 1971), η ανώμαλη ωρίμανση στις ντομάτες (Morris & Kader 1977), στα αχλάδια και στα ακτινίδια (Harman & McDonald 1983), η δυσάρεστη οσμή στις φράουλες (Couey & Wells 1970) και μπρόκολο (Lipton & Harris 1974). Μέτριες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα έχουν ωφέλιμη επίδραση στην συντήρηση ορισμένων οπωροκηπευτικών προϊόντων και ο συνδυασμός αυτής της μεταχείρισης με συντήρηση σε μειωμένα επίπεδα οξυγόνου έχει ακόμη καλύτερα αποτελέσματα. Σε άλλες περιπτώσεις σύντομη έκθεση του προϊόντος σε υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα έχει ευνοϊκή επίδραση στην μετέπειτα συντήρηση του προϊόντος.

Η συντήρηση των οπωροκηπευτικών με αυξημένη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται στην ανασταλτική επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα στην αναπνοή και κυρίως στο ένζυμο ηλεκτρική αφυδρογονάση (Frenkel & Patterson 1969). Μειωμένη αναπνευστική δραστηριότητα με την χρήση αυξημένης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα έχει παρατηρηθεί σε πολλά προϊόντα, όπως αβοκάντο, κεράσια, μήλα κ.λ.π., επίσης το διοξείδιο του άνθρακα ανταγωνίζεται την δράση του αιθυλενίου και καθυστερεί έτσι την ωρίμανση των καρπών (Burg & Burg 1967). Σε αυξημένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται η παραγωγή του αιθυλενίου σε καρπούς αβοκάντο (Metzidakis & Sfakiotakis 1989) και ακτινιδίου (Σταυρουλάκης 1991). Ο συνδυασμός της μειωμένης συγκέντρωσης οξυγόνου και αυξημένης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, έχει προσθετική επίδραση στην συντήρηση των νωπών οπωροκηπευτικών προϊόντων. Τα όρια ανοχής σε χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου και υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα εξαρτώνται από το είδος του προϊόντος. Συνήθως τα φρούτα δεν ανέχονται συγκεντρώσεις οξυγόνου χαμηλότερες από 2% (ως προς το διοξείδιο του άνθρακα ποικίλλουν), ενώ τα λαχανικά παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές εξαιτίας της διαφοροποίησης των ιστών τους.

Οι ευνοϊκές επιδράσεις της τροποποιημένης και ελεγχόμενης ατμόσφαιρας στην συντήρηση των οπωροκηπευτικών προϊόντων είναι :

1. Αναστολή της γήρανσης (ωρίμανσης) και όλων των βιοχημικών αντιδράσεων και φυσιολογικών μεταβολών π.χ. της αναπνοής, της παραγωγής και δράσης του αιθυλενίου, του μαλακώματος και γενικά της ελάττωσης των ποσοτικών και ποιοτικών απωλειών,
2. Ελάττωση της ευαισθησίας των ιστών στην επίδραση του αιθυλενίου,
3. Ελάττωση της έντασης της εμφάνισης ορισμένων φυσιολογικών ανωμαλιών π.χ. καφέτιασμα μήλων κ.λ.π.,
4. Αναστολή ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών που προκαλούν φθορές και απώλειες στο προϊόν και
5. Έλεγχος εντόμων που προσβάλλουν τα προϊόντα και προκαλούν μετασυλλεκτικές απώλειες.

Η αναστολή της ωρίμανσης των καρπών με την επίδραση της ελεγχόμενης ατμόσφαιρας για βραχύ χρονικό διάστημα (1-4 εβδομάδες ανάλογα με το είδος του καρπού) δεν έχει δυσμενή επίδραση στην ποιότητα, είτε ο καρπός καταναλίσκεται νωπός, είτε προορίζεται για βιομηχανική χρήση. Ο παρατεταμένος χρόνος συντήρησης (>4 εβδομάδες) υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα μπορεί να έχει δυσμενή επίδραση στην ποιότητα και οι καρποί μετά την έξοδό τους από την συντήρηση δεν αναπτύσσουν το επιθυμητό άρωμα και γεύση. Συνεπώς μια επιτυχημένη μεταχείριση με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα αναστέλλει την ωρίμανση χωρίς να έχει επιβλαβείς

επιπτώσεις στην ποιότητα και μετά την αφαίρεση των καρπών από αυτές τις συνθήκες ακολουθεί κανονική πορεία με ομοιόμορφη ωρίμανση. Για αυτό το λόγο η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε εμπορική κλίμακα απαιτεί την αξιολόγηση προς την κατεύθυνση της ποιότητας.

Η ελεγχόμενη/τροποποιημένη ατμόσφαιρα εφαρμόζεται για την διατήρηση της ποιότητας κατά την συντήρηση και μεταφορά πολλών οπωροκηπευτικών προϊόντων μετά την ανάπτυξη τεχνολογίας στην μεταφορά με ειδικά εμποροκιβώτια που επιτρέπουν την στεγανοποίηση και επεξεργασία με διάφορες συγκεντρώσεις O_2 , CO_2 και CO . Το CO σε συγκεντρώσεις 5 έως 10% σε συνδυασμό με μειωμένο O_2 χρησιμοποιείται ως άριστο μυκητοστατικό για τον έλεγχο ασθενειών που είναι ευαίσθητα σε υψηλές συγκεντρώσεις CO_2 . Η συντήρηση με ελεγχόμενη/τροποποιημένη ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται για αντικατάσταση κλασικών μεθόδων περιορισμού ορισμένων φυσιολογικών βλαβών με την χρήση χημικών ουσιών. Η χρήση χημικών ουσιών για την καταπολέμηση του επιφανειακού εγκαύματος στα μήλα μπορεί να αποφευχθεί με την εφαρμογή ελεγχόμενης ατμόσφαιρας με πολύ χαμηλό οξυγόνο (Sfakiotakis et al 1993). Η ελεγχόμενη ατμόσφαιρα περιορίζει επίσης και το καφέτιασμα στα ροδάκινα κατά την συντήρησή τους υπό ψύξη.

Η ελεγχόμενη/τροποποιημένη ατμόσφαιρα χρησιμοποιείται επίσης για την ασφαλέστερη συγκομιδή και εμπορία των νωπών καρπών δεδομένου ότι συμβάλει στον περιορισμό της υποβάθμισης της ποιότητας σε πολλά προϊόντα. Έτσι ο παραγωγός είναι σε θέση να συγκομίσει το προϊόν σε πιο προχωρημένο στάδιο, όταν θα έχει αναπτύξει το επιθυμητό άρωμα και γεύση και να γίνει η διακίνηση αυτού με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Με την ελεγχόμενη/τροποποιημένη ατμόσφαιρα η βιομηχανία είναι σε θέση να συγκομίσει μεγάλες ποσότητες προϊόντων στο κατάλληλο στάδιο και να τα επεξεργασθεί με ασφάλεια χωρίς τον κίνδυνο της υποβάθμισης για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι πιο συνηθισμένες δυσμενείς επιδράσεις από την εφαρμογή ελεγχόμενης/τροποποιημένης ατμόσφαιρας στην συντήρηση των οπωροκηπευτικών είναι :

1. Εμφάνιση ορισμένων φυσιολογικών ανωμαλιών όπως η καστανή καρδιά στα μήλα και στα αχλάδια και η μαύρη καρδιά στις πατάτες,
2. Ανώμαλη ωρίμανση στους καρπούς, όπως μπανάνες, αχλάδια, αβοκάντο και ντομάτα σε ατμόσφαιρα με συγκέντρωση οξυγόνου $<2\%$ και πολύ υψηλής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα $>5\%$,
3. Ανάπτυξη δυσάρεστης γεύσης και οσμής σε πολύ μειωμένη συγκέντρωση οξυγόνου ως αποτέλεσμα της δημιουργίας αναερόβιων συνθηκών και
4. Επιτάχυνση στην βλάστηση και καθυστέρηση στον σχηματισμό περιδέρματος στις πατάτες.

B. ANTIKEIMENO EPEYNAS

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη της επίδρασης του αερίου όζοντος στον χρόνο ζωής φρούτων και λαχανικών όπως το σταφύλι, το μαρούλι-σαλάτα, η φράουλα και το βερίκοκο κατά την αποθήκευση υπό ψύξη. Στο μαρούλι προστέθηκε επίσης κιτρικό οξύ και συσκευάστηκε υπό παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα. Στην φράουλα εφαρμόστηκε επίσης ήπια θερμική επεξεργασία και μελετήθηκε η επίδραση της γ-ακτινοβολίας στον χρόνο ζωής της. Επίσης μελετήθηκε και η επίδραση στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (απώλεια βάρους, οξύτητα, pH, ολικά διαλυτά στερεά, αντοχή στη διάτρηση, χρωματικές παράμετροι L^* , a^* και b^* , πτητικά συστατικά), στην μικροβιακή χλωρίδα (Ολική Μικροβιακή Χλωρίδα, ζύμες-μύκητες, εντεροβακτήρια, γαλακτικά βακτήρια) και στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση και οσμή).

Γ. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΥΛΙΚΑ ΜΕΘΟΔΟΙ ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ SULTANINA ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ

25 kg σταφύλια της ποικιλίας *Sultanina* ελήφθησαν από την τοπική λαχαναγορά Ιωαννίνων και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων. Κατά την έναρξη της μελέτης τα σταφύλια πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό βρύσης και κατανεμήθηκαν σε 4 ίσες παρτίδες. Η πρώτη παρτίδα (δείγματα control) αποθηκεύτηκε υπό ψύξη στους 2 °C με σχετική υγρασία 90% και οι υπόλοιπες 3 παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1,0 και 1,5 p.p.m. για 1 h και αποθηκεύτηκαν στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για 2 μήνες. Κάθε 7 μέρες λαμβανόταν δείγμα από την κάθε παρτίδα για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους, της αντοχής στη διάτρηση, του χρώματος, της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, του pH, των ολικών διαλυτών στερεών, την καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των μυκήτων και τον οργανοληπτικό έλεγχο. Επίσης στην πρώτη, την τελευταία και την ενδιάμεση ημέρα δειγματοληψίας του πειράματος πραγματοποιήθηκε και ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών. Πριν από κάθε δειγματοληψία η κάθε παρτίδα επεξεργαζόταν με αέριο όζον στις αντίστοιχες για την κάθε μία συγκεντρώσεις για 1 h.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΟΖΟΝΤΟΣ

Ο εξοπλισμός παραγωγής του όζοντος που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από 3 τμήματα : α) μια φιάλη οξυγόνου κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα, β) μια γεννήτρια όζοντος (C-Lascy Series, AirTree, Taiwan) και γ) έναν ανιχνευτή όζοντος. Το οξυγόνο μεταβιβάζονταν υπό πίεση 2,5 bar από την φιάλη μέσω χαλκοσωλήνα στην γεννήτρια όζοντος όπου μετατρέπεται το οξυγόνο σε όζον το οποίο στην συνέχεια διοχετεύεται μέσω πλαστικού σωλήνα μέσα στο ψυγείο στο οποίο γίνονταν οι οζονισμοί των σταφυλιών. Η συγκέντρωση του όζοντος μετράται με την χρήση ανιχνευτή ο οποίος τοποθετείται στην εσωτερική επιφάνεια της πόρτας του ψυγείου και κοντά στο άκρο του σωλήνα από το οποίο εξέρχεται το όζον.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

Για τον υπολογισμό της απώλειας βάρους σε κάθε δειγματοληψία από κάθε παρτίδα, 3 μικρά τσαμπιά τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικούς για το καθένα περιέκτες ζυγίζόντουσαν ανά 7 ημέρες σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % απώλεια βάρους σε σχέση με το αρχικό βάρος.

$$\text{Απώλεια βάρους (\%)} = (\text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος}) / (\text{αρχικό βάρος}) \times 100\%$$

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή των % απωλειών βάρους των 3 τσαμπιών.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Για την μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση χρησιμοποιήθηκαν 20 ρόγες από την κάθε παρτίδα. Η μέτρηση της υφής των σταφυλιών μετρήθηκε με τη χρήση του δυναμόμετρου INSTRON 4411 (Instron Ltd, Buckinghamshire, England, UK). Ο καθετήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο 1 mm και η ταχύτητα καθόδου του, ρυθμίστηκε στα 10 mm/min. Ως τελικό αποτέλεσμα στην κάθε παρτίδα λήφθηκε η μέση τιμή 20 μετρήσεων και εκφράστηκε σε Newton.

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

10 ρόγες από κάθε παρτίδα συμπίεστηκαν και ο χυμός τους τοποθετήθηκε στο γυάλινο πρίσμα ψηφιακού διαθλασιμέτρου (JENA, DDR, Germany) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών σακχάρων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % ολικά διαλυτά στερεά.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Το παραπάνω δείγμα χρησιμοποιήθηκε και για τον προσδιορισμό της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και του pH. Η τιτλοδοτούμενη οξύτητα προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση 5 ml σταφυλοχυμού με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 N παρουσία 2-3 σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνη 1% μετά την προσθήκη 45 ml απιονισμένου νερού. Στην κάθε παρτίδα η

οξύτητα προσδιορίστηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων και εκφράστηκε σε g τρυγικού οξέος/ 100 ml σταφυλοχυμού.

ΜΕΤΡΗΣΗ pH

Η τιμή του pH μετρήθηκε με την χρήση πεχαμέτρου (Microprocessor pH Meter, HANNA Instruments, Romania) με γυάλινο ηλεκτρόδιο. Στην κάθε παρτίδα το pH μετρήθηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των μετρήσεων.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Από κάθε παρτίδα ζυγίστηκαν 100 g σταφυλιού, πολτοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό αναμικτήρα και διηθήθηκαν με σουρωτήρι. Το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του χρώματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρωματόμετρου Hunter Lab model DP-9000 optical sensor (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, USA). Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν η παράμετρος L^* (διαβάθμιση λαμπρό(+)/σκοτεινό(-)), a^* (διαβάθμιση κόκκινο(+)/πράσινο(-)) και b^* (διαβάθμιση κίτρινο(+)/μπλε(-)). Για την βαθμονόμηση του χρωματόμετρου χρησιμοποιήθηκε λευκό και μαύρο πλακίδιο. Από την κάθε παρτίδα μετρήθηκαν 2 δείγματα και στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 5 αναγνώσεις. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθηκε η μέση τιμή 10 μετρήσεων.

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Από την κάθε παρτίδα ζυγίστηκαν 10 g σταφυλιού και διαλύθηκαν σε 90 ml πεπτονούχο νερό σε αποστειρωμένη σακούλα Stomacher. Στη συνέχεια ομογενοποιήθηκαν στη μηχανή Stomacher (Bag Mixer 400, Interscience, France) για 1 min και ακολούθησαν 4 διαδοχικές αραιώσεις. Στη συνέχεια μεταφέρθηκε από κάθε αραιώση 0,1 ml σε τρυβλία Petri με θρεπτικό υλικό Plate Count Agar (LAB 010, Lab M Limited Topley House, UK) για την καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και σε τρυβλία Petri με θρεπτικό υλικό Rose Bengal Chloramphenicol (LAB 036, Lab M Limited Topley House, UK) για την καταμέτρηση των μυκήτων-ζυμών. Η επώαση για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα και τους μύκητες έγινε στους 30 °C για 48 και 72 h αντίστοιχα. Η καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των μυκήτων-ζυμών στην κάθε παρτίδα πραγματοποιήθηκε σε 2 διαφορετικά δείγματα. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθη η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων.

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκε πάνελ το οποίο αποτελείτο από 7 κριτές. Οι κριτές ήταν εκπαιδευμένοι στην διάκριση μικρών διαφορών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μεταξύ των παρτίδων. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν η γενική εμφάνιση, η γεύση και η οσμή. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών έγινε σε κλίμακα από 1 έως 9 όπου : 9=άριστα, 7=πολύ καλό, 5=καλό, 3=μέτριο και 1=μη αποδεκτό. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε η τιμή 5.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ SPME

10 g αντιπροσωπευτικού δείγματος που προήλθε με πολτοποίηση σταφυλιών από την κάθε παρτίδα αποθηκεύτηκαν στους -20 °C μέχρι την ανάλυση. Ζυγίστηκαν 3 g δείγματος σε φιαλίδιο των 20 ml, προστέθηκαν 40 µl διαλύματος εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόνη, 10 µl/L) και ένας μικρός μαγνήτης. Τα φιαλίδια σφραγίστηκαν με αλουμινένιο πώμα εφοδιασμένου με septum από polytetrafluoroethylene/silicone. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση στους 45 °C για 20 min για την αποκατάσταση της εξισορρόπησης μεταξύ του υπερκείμενου χώρου και του δείγματος. Η εκχύλιση των πτητικών συστατικών έγινε με μικροεκχύλιση δια της στερεάς φάσης (SPME). Μετά τον χρόνο εξισορρόπησης των πτητικών μεταξύ του δείγματος και του υπερκείμενου χώρου, η ίνα (carboxen/polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 50/30 µm) εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 30 min για την προσρόφηση των πτητικών ενώσεων. Μετά το πέρας των 30 min η ίνα εισήχθη στον εγχυτή του αέριου χρωματογράφου.

GC/MS ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ταυτοποίηση και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών έγινε με την χρήση αέριου χρωματογράφου Agilent GC 7890A series σε συνδυασμό με φασματοόμετρο μαζών Agilent 5975C Mass. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε ήλιο με ταχύτητα 1,0 ml/min. Ο εγχυτής που χρησιμοποιήθηκε ήταν SPME 0,75 mm I.D. Ο διαχωρισμός των πτητικών ενώσεων έγινε με την χρήση της τριχοειδούς μη πολικής στήλης DB-5 MS (60m x 0,32 mm i.d. and 1 µm

film thickness, J&W Scientific, Agilent Technologies, USA). Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε σύμφωνα με τους Yang et al (2011) με κάποιες τροποποιήσεις : 45 °C για 3 min, αύξηση μέχρι τους 180 °C με ρυθμό 3 °C/min, αύξηση μέχρι τους 220 °C με ρυθμό 10 °C/min και παραμονή για 5 min. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του τετράπολου ήταν 230 °C και 150 °C αντίστοιχα και το εύρος σάρωσης μαζών 29-350. Η ταυτοποίηση των κορυφών έγινε με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης και τα φάσματα μαζών αυτών με αυτά της βιβλιοθήκης Wiley (Wiley7, Nist 05, J. Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England) σε ποσοστό τάυτισης 80%.

ΗΜΙΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός έγινε με την χρήση της συγκέντρωσης του εσωτερικού προτύπου 4-μέθυλο-2-πεντανόνη.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όλα τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε one-way ANOVA με την χρήση του προγράμματος SPSS 16. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το $p=0,05$.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΦΡΕΣΚΟΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΟΥ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ-ΣΑΛΑΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ

Για τον καθορισμό του κατάλληλου υλικού συσκευασίας με σκοπό την διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (κυρίως την εμφάνιση) φρεσκοτεμαχισμένου μαρουλιού-σαλάτα συσκευασμένου υπό παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε άριστο επίπεδο για το μέγιστο χρονικό διάστημα, δοκιμάστηκαν 2 διστρωματικά υλικά συσκευασίας. Τα διστρωματικά υλικά συσκευασίας που δοκιμάστηκαν ήταν το PA//LLDPE και το PET//LLDPE. Τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν με την χρήση του PET//LLDPE. Επίσης, 5 διαφορετικοί χρόνοι εμφάνισης σε διάλυμα κιτρικού οξέος 1% w/v δοκιμάστηκαν για την διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε άριστο επίπεδο και το υψηλότερο ποσοστό μικροβιακής αδρανοποίησης. Οι χρόνοι που δοκιμάστηκαν ήταν: 5 min, 3 min, 1 min, 45 sec και 30 sec. Τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν μετά από χρόνο εμφάνισης 30 sec. Για τον ίδιο σκοπό πραγματοποιήθηκαν επίσης δοκιμές και σε 3 διαφορετικούς χρόνους έκθεσης αερίου όζοντος συγκέντρωσης 0,5 ppm. Η επιλογή της συγκέντρωσης των 0,5 ppm οφείλεται στις ευεργετικές επιδράσεις που είχε στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά προηγούμενων γεωργικών προϊόντων. Οι χρόνοι που δοκιμάστηκαν ήταν: 60 min, 45 min και 30 min. Τα καλύτερα αποτελέσματα ελήφθησαν μετά από χρόνο έκθεσης 45 min.

15 kg μαρούλια χορηγήθηκαν από την τοπική λαχαναγορά Ιωαννίνων και μεταφέρθηκαν άμεσα στο Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων. Τα μαρούλια πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό βρύσης, στη συνέχεια αφαιρέθηκε ο πυρήνας τους, κόπηκαν σε μικρά κομμάτια με αποστειρωμένο, ατσάλινο και αιχμηρό μαχαίρι και η πλεονάζουσα υγρασία απομακρύνθηκε με τη χρήση περιστροφικού ξηραντήρα οικιακού τύπου. Μετά την απομάκρυνση της πλεονάζουσας υγρασίας, τα φύλλα αναμίχθηκαν καλά για την λήψη ομοιογενούς δείγματος. Στην συνέχεια τα φύλλα χωρίστηκαν σε 8 ίσες παρτίδες και ακολούθησαν οι εξής μεταχειρίσεις. Η πρώτη παρτίδα ήταν το δείγμα αναφοράς (control) και η δεύτερη παρτίδα εμβαπτίστηκε σε αποστειρωμένο διάλυμα κιτρικού οξέος 1% w/v για 30 sec. Οι επόμενες 3 παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον για 45 min σε συγκεντρώσεις 0,5, 1,0 και 1,5 p.p.m. αντίστοιχα και οι τελευταίες 3

παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον στις ίδιες συγκεντρώσεις για 45 min στην κάθε συγκέντρωση και εμβαπτίστηκαν σε αποστειρωμένο διάλυμα κιτρικού οξέος 1% w/v για 30 sec.

Στη συνέχεια μετά την απομάκρυνση της πλεονάζουσας υγρασίας όλες οι παρτίδες συσκευάστηκαν σε σακούλες PET//LLDPE (πάχους 12μm για τον PET και 40μm για το LLDPE) διαστάσεων 20x25 cm υπό παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα, όπου στην κάθε μια τοποθετήθηκαν 120 g φρεσκοκομμένου μαρουλιού και αποθηκεύτηκαν στους 4 °C με σχετική υγρασία 90% για 15 ημέρες. Ανά 3 ημέρες λαμβάνονταν δείγματα από την κάθε μεταχείριση για τον προσδιορισμό της μέτρησης αερίων του υπερκείμενου χώρου, του πληθυσμού της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας, των μυκήτων-ζυμών και των εντεροβακτηρίων, του pH, του χρώματος και του οργανοληπτικού ελέγχου. Επίσης στην πρώτη, την ενδιάμεση και την τελευταία ημέρα δειγματοληψίας του πειράματος πραγματοποιήθηκε και ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών των δειγμάτων από την κάθε παρτίδα.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΕΡΙΩΝ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ

2 σακούλες από την κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του υπερκείμενου χώρου. Οι σακούλες αυτές τρυπήθηκαν με υποδόρια βελόνα μέσω ενός ελαστικού, κολλώδους διαφράγματος. Ο προσδιορισμός της ποσοστιαίας σύστασης των αερίων έγινε με την χρήση αναλυτή αερίων (PBI Dansensor, CheckMate 9900, Denmark). Ως τελικό αποτέλεσμα καταγράφηκε ο μέσος όρος αυτών των 2 μετρήσεων.

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

10 g μαρουλιού από την κάθε μεταχείριση τοποθετήθηκαν υπό ασηπτικές συνθήκες σε σακούλες Stomacher και ομογενοποιήθηκαν με 90 ml πεπτονόχου νερού σε μηχανήμα Stomacher για 120 sec. Έπειτα ακολούθησαν 4 διαδοχικές αραιώσεις μέχρι την πέμπτη αραιώση. Ο κάθε δοκιμαστικός σωλήνας περιείχε 9 ml πεπτονόχο νερό και από την μια αραιώση μεταφέρθηκε 1 ml στην επόμενη. Από την κάθε αραιώση μεταφέρθηκε 0,1 ml σε τρυβλία με Plate Count Agar για την καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας (O.M.X.) και Rose Bengal Chloramphenicol για την καταμέτρηση των μυκήτων και ζυμών. Η επώαση για την ολική μεσόφιλη χλωρίδα πραγματοποιήθηκε στους 30 °C για 48 h και για τους μύκητες - ζύμες στους 30 °C για 72 h. Για την καταμέτρηση των Εντεροβακτηρίων και των γαλακτικών βακτηρίων τοποθετήθηκε από την κάθε αραιώση 1,0 ml αιωρήματος σε τρυβλία και ακολούθησε η τεχνική της ενσωμάτωσης με τα αντίστοιχα θρεπτικά υλικά. Τα θρεπτικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

για την καταμέτρηση των Εντεροβακτηρίων και των γαλακτικών βακτηρίων ήταν το Violet Red Bile Glucose Agar (LAB 088, Lab M Limited Topley House, UK) και το Man Rogosa Sharpe (LAB 093, Lab M Limited Topley House, UK) αντίστοιχα. Η επώαση για τα εντεροβακτήρια έγινε στους 37 °C για 24 h και για τα γαλακτικά βακτήρια στους 37 °C για 72 h. Η καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας, των μυκήτων-ζυμών και των Εντεροβακτηρίων στην κάθε παρτίδα πραγματοποιήθηκε σε 2 δείγματα. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθη η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

4 δείγματα μαρουλιού των 10 g από την κάθε μεταχείριση χρησιμοποιήθηκαν και για την μέτρηση του χρώματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρωματόμετρου Hunter Lab model DP-9000 optical sensor. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν η παράμετρος L* (διαβάθμιση λαμπρό(+)/σκοτεινό(-)), a* (διαβάθμιση κόκκινο(+)/πράσινο(-)) και b* (διαβάθμιση κίτρινο(+)/μπλε(-)). Για την βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκε λευκό και μαύρο πλακίδιο. Στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 5 αναγνώσεις (20 μετρήσεις). Τα αποτελέσματα υπολογίστηκαν ως ο μέσος όρος αυτών των 20 μετρήσεων.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ pH

10 g μαρουλιού από την κάθε μεταχείριση, ομογενοποιήθηκαν με 100 ml απιονισμένο νερό με την χρήση μπλέντερ οικιακής χρήσης και διηθήθηκαν. Το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του pH. Για την μέτρηση του pH χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο (Microprocessor pH Meter, HANNA Instruments, Romania) με γυάλινο ηλεκτρόδιο. Στην κάθε μεταχείριση μετρήθηκαν 2 δείγματα. Το αποτέλεσμα ήταν ο μέσος όρος αυτών των 2 μετρήσεων.

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκε πάνελ το οποίο αποτελείτο από 7 κριτές. Οι κριτές ήταν μη καπνιστές και ήταν εκπαιδευμένοι στην διάκριση μικρών διαφορών στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν η συνολική οπτική ποιότητα (overall visual quality), η αμαύρωση του ιστού (cut edge vascular tissue browning) και η απώλεια χαρακτηριστικής οσμής

(off-odor). Η συνολική οπτική ποιότητα εκτιμήθηκε για την στιλπνότητα, την φρεσκότητα και την ομοιομορφία και ένταση του χρώματος.

Η συνολική οπτική ποιότητα αξιολογήθηκε με την χρήση της κλίμακας 1-9 : 9=άριστο, 7=πολύ καλό, 5=καλό, 3=μέτριο και 1=μη αποδεκτό. Ο αριθμός 5 ορίστηκε ως όριο αποδοχής.

Η αμαύρωση του ιστού αξιολογήθηκε με την χρήση της κλίμακας 1-5 : 5= προχωρημένη, 4=αρκετή, 3=μέτρια, 2=ελαφριά και 1=καμία.

Η απώλεια χαρακτηριστικής οσμής αξιολογήθηκε με την χρήση της κλίμακας 1-5 : 1=καμία, 2=ελαφριά, 3=μέτρια, 4=αρκετή, και 5=προχωρημένη.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ SPME

10 g αντιπροσωπευτικού δείγματος από την κάθε παρτίδα αποθηκεύτηκαν στους -20 °C μέχρι την ανάλυση. Ζυγίστηκαν 0,5 g δείγματος σε φιαλίδιο των 20 ml, προστέθηκαν 1 ml απιονισμένου νερού, 20 µl διαλύματος εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόνη, 10 µl/L) και ένας μικρός μαγνήτης. Τα φιαλίδια σφραγίστηκαν με αλουμινένιο πώμα εφοδιασμένου με septum από polytetrafluoroethylene/silicone. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση στους 40 °C για 15 min για την αποκατάσταση της εξισορρόπησης μεταξύ του υπερκείμενου χώρου και του δείγματος. Η εκχύλιση των πτητικών συστατικών έγινε με μικροεκχύλιση δια της στερεάς φάσης. Μετά τον χρόνο εξισορρόπησης των πτητικών μεταξύ του δείγματος και του υπερκείμενου χώρου, η ίνα (carboxen/polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 50/30 µm) εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 15 min για την προσρόφηση των πτητικών ενώσεων. Μετά το πέρας της προσρόφησης των πτητικών η ίνα εισήχθη στον εγχυτή του αέριου χρωματογράφου.

GC/MS ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ταυτοποίηση και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών έγινε με την χρήση αέριου χρωματογράφου Agilent GC 7890A series σε συνδυασμό με φασματοόμετρο μαζών Agilent 5975C Mass. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε ήλιο με ταχύτητα 1,0 ml/min. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του εγχυτή ήταν 230 °C και 250 °C αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των πτητικών ενώσεων έγινε με την χρήση της τριχοειδούς μη πολικής στήλης DB-5 MS (60m x 0,32 mm i.d. and 1 µm film thickness, J&W Scientific, Agilent Technologies,

USA). Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε ως εξής : 40 °C για 2 min, αύξηση μέχρι τους 220 °C με ρυθμό 10 °C/min και παραμονή για 5 min. Η ταυτοποίηση των κορυφών έγινε με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης και τα φάσματα μαζών αυτών με αυτά της βιβλιοθήκης Wiley.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όλα τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε one-way ANOVA με την χρήση του προγράμματος SPSS 16. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το $p=0,05$.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (γ-ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ) ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

15 kg φράουλες αγοράστηκαν από Supermarket της Αθήνας. Οι φράουλες πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό βρύσης, η πλεονάζουσα υγρασία απομακρύνθηκε με την χρήση απορροφητικού χαρτιού και κατανεμήθηκαν σε 3 ίσες παρτίδες. Η πρώτη παρτίδα ήταν το δείγμα αναφοράς (δείγμα control), η δεύτερη παρτίδα ακτινοβολήθηκε στα 0,5 kGy και η τρίτη παρτίδα ακτινοβολήθηκε στα 1,0 kGy. Η ακτινοβολήση έγινε με πηγή 240 kCi (60 Co) και πραγματοποιήθηκε παρουσία αέρα σε θερμοκρασίες δωματίου στο Ινστιτούτο Φαρμακευτικής Έρευνας και Τεχνολογίας (Μάνδρα Αττικής, Ελλάδα). Οι δόσεις ακτινοβολίας μετρήθηκαν με την χρήση δοσιμέτρου Harwell Perspex, Hazwell, UK Polymethylmethacrylate (PMMA)-type Red 4034 FW. Ο ρυθμός ακτινοβολήσης ήταν 0.7 kGy/h για όλα τα δείγματα. Στη συνέχεια οι φράουλες μεταφέρθηκαν με ψυγείο εκδρομής στο εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και αποθηκεύτηκαν υπό ψύξη (1 °C και σχετική υγρασία 90%) για 20 ημέρες. Κάθε 5 μέρες λαμβανόταν δείγμα από την κάθε παρτίδα για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους, της αντοχής στη διάτρηση, του χρώματος, της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, του pH, των ολικών διαλυτών στερεών και για οργανοληπτικό έλεγχο. Επίσης στην πρώτη, στην 10^η και στην 15^η ημέρα δειγματοληψίας του πειράματος πραγματοποιήθηκε και ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

300 ± 5 g φράουλες τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικούς περιέκτες και ζυγίζονταν ανά 5 ημέρες καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Για τον υπολογισμό του ποσοστού της απώλειας βάρους χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απώλεια βάρους (\%)} = (\text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος}) / (\text{αρχικό βάρος}) \times 100\%$$

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή των % απωλειών βάρους των 3 αυτών περιεκτών.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Για την μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση χρησιμοποιήθηκαν 10 φράουλες από την κάθε μεταχείριση. Η μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση μετρήθηκε με τη χρήση του δυναμόμετρου INSTRON 4411. Ο καθετήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο 4 mm και η ταχύτητα καθόδου του ρυθμίστηκε στα 10 mm/min. Η αντοχή στη διάτρηση στην κάθε φράουλα μετρήθηκε και από τα 2 εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή 20 μετρήσεων και εκφράστηκε σε Newton.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Από κάθε παρτίδα ζυγίστηκαν 100 g φράουλας, πολτοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό αναμικτήρα και διηθήθηκαν με σουρωτήρι. Το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του χρώματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρωματόμετρου Hunter Lab model DP-9000 optical sensor. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν η παράμετρος L^* (διαβάθμιση λαμπρό(+)/σκοτεινό(-)), a^* (διαβάθμιση κόκκινο(+)/πράσινο(-)) και b^* (διαβάθμιση κίτρινο(+)/μπλε(-)). Για την διαβάθμιση του χρωματόμετρου χρησιμοποιήθηκε λευκό και μαύρο πλακίδιο. Από την κάθε παρτίδα μετρήθηκαν 2 δείγματα και στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 5 αναγνώσεις. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθη η μέση τιμή των 10 μετρήσεων.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Το ίδιο διήθημα χρησιμοποιήθηκε και για τον προσδιορισμό της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και του pH. 5 g από το διήθημα ομογενοποιήθηκαν με 50 ml απιονισμένου νερού και διηθήθηκαν και από αυτό το διήθημα 5 ml μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη προστέθηκαν 45 ml απιονισμένου νερού, 2-3 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνη 1% και τιτλοδοτήθηκαν με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 N. Στην κάθε παρτίδα η οξύτητα προσδιορίστηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων και εκφράστηκε σε g κιτρικού οξέος/ 100 g φράουλας.

ΜΕΤΡΗΣΗ pH

Η τιμή του pH μετρήθηκε με την χρήση πεχαμέτρου (Microprocessor pH Meter, HANNA Instruments, Romania) με γυάλινο ηλεκτρόδιο. Στην κάθε παρτίδα το pH μετρήθηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων.

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

10 φράουλες από κάθε παρτίδα συνθλίφθηκαν και ο χυμός τους τοποθετήθηκε στο γυάλινο πρίσμα ψηφιακού διαθλασιμέτρου (JENA, Germany) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών σακχάρων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % ολικά διαλυτά στερεά.

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκε πάνελ το οποίο αποτελείτο από 7 κριτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν η γενική εμφάνιση, η γεύση και η οσμή. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών οσμή, γεύση και εμφάνιση έγινε σε κλίμακα από 1 έως 9, όπου 9=άριστα, 7=πολύ καλό, 5=καλό, 3=μέτριο και 1=μη αποδεκτό. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε η τιμή 5.

Επίσης, έγινε και εκτίμηση του fungal decay ως εξής : σε 50 φράουλες από την κάθε μεταχείριση καταγράφηκαν οι φράουλες που παρουσίασαν μυκητιακή ανάπτυξη. Το ποσοστό (%) προέκυψε μετά από πολλαπλασιασμό με το 100 του πηλίκου που προέκυψε από την διαίρεση του συνόλου της φράουλας που εμφάνισε μυκητιακή ανάπτυξη, προς το αρχικό πλήθος.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ SPME

10 g αντιπροσωπευτικού δείγματος από την κάθε παρτίδα αποθηκεύτηκαν στους -20 °C μέχρι την ανάλυση. Ζυγίστηκαν 2 g δείγματος σε φιαλίδιο των 20 ml, προστέθηκαν 1 ml απιονισμένου νερού, 800 μl διαλύματος εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόνη, 10 μl/L) και ένας μικρός μαγνήτης. Τα φιαλίδια σφραγίστηκαν με αλουμινένιο πώμα εφοδιασμένου με

septum από polytetrafluoroethylene/silicone. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση στους 40 °C για 15 min για την αποκατάσταση της εξισορρόπησης μεταξύ του υπερκείμενου χώρου και του δείγματος. Η εκχύλιση των πτητικών συστατικών έγινε με μικροεκχύλιση δια της στερεάς φάσης. Μετά τον χρόνο εξισορρόπησης των πτητικών μεταξύ του δείγματος και του υπερκείμενου χώρου, η ίνα (carboxen/polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 50/30 μm) εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 15 min για την προσρόφηση των πτητικών ενώσεων. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η ίνα εισήχθη στον εγχυτή του αέριου χρωματογράφου.

GC/MS ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ταυτοποίηση και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών έγινε με την χρήση αέριου χρωματογράφου Agilent GC 7890A series σε συνδυασμό με φασματοόμετρο μαζών Agilent 5975C Mass. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε το ήλιο με ταχύτητα 1,0 ml/min. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του εγχυτή ήταν 230 °C και 250 °C αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των πτητικών ενώσεων έγινε με την χρήση της τριχοειδούς μη πολικής στήλης DB-5 MS (60m x 0,32 mm i.d. and 1 μm film thickness, J&W Scientific, Agilent Technologies, USA). Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε ως εξής : 40 °C για 1,5 min και αύξηση μέχρι τους 250 °C με ρυθμό 5 °C/min. Η ταυτοποίηση των κορυφών έγινε με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης και τα φάσματα μαζών αυτών με αυτά της βιβλιοθήκης Wiley.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όλα τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε one-way ANOVA με την χρήση του προγράμματος SPSS 16. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το $p=0,05$.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΖΕΜΑΤΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Για τον καθορισμό του κατάλληλου χρόνου έκθεσης σε αέριο όζον στην διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών σε άριστο επίπεδο για το μέγιστο χρονικό διάστημα, δοκιμάστηκαν τέσσερις διαφορετικοί χρόνοι έκθεσης σε συγκέντρωση όζοντος 0,5 p.p.m. Οι χρόνοι που δοκιμάστηκαν ήταν: 60 min, 50 min, 40 min και 30 min. Τα βέλτιστα αποτελέσματα ελήφθησαν μετά από χρόνο έκθεσης 40 min.

20 Kg φράουλες ελήφθησαν από την τοπική λαχαναγορά Ιωαννίνων και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Κατά την έναρξη της μελέτης οι φράουλες πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό βρύσης και κατανεμήθηκαν σε 8 ίσες παρτίδες. Η πρώτη παρτίδα αντιπροσώπευε το δείγμα αναφοράς (control), η δεύτερη παρτίδα ζεματίστηκε στους 55 °C για 15 sec οι υπόλοιπες 3 παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1,0 και 1,5 ppm για 40 min και οι 3 τελευταίες παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον στις ίδιες συγκεντρώσεις για 40 min και ζεματίστηκαν στην ίδια θερμοκρασία και τον ίδιο χρόνο. Τέλος όλες οι παρτίδες αποθηκεύτηκαν υπό ψύξη σε θερμοκρασία 2 °C και σχετική υγρασία 90% για 20 ημέρες. Κάθε 5 μέρες λαμβάνονταν δείγματα από την κάθε παρτίδα για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους, της αντοχής στη διάτρηση, του χρώματος, της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, του pH, των ολικών διαλυτών στερεών και τον οργανοληπτικό έλεγχο. Επίσης στην πρώτη, στην 10^η και στην 15^η ημέρα δειγματοληψίας του πειράματος πραγματοποιήθηκε και ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

300 ± 5 g φράουλες τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικούς περιέκτες και ζυγίζονταν ανά 5 ημέρες καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Για τον υπολογισμό του ποσοστού της απώλειας βάρους χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απώλεια βάρους (\%)} = (\text{αρχικό βάρος}-\text{τελικό βάρος})/(\text{αρχικό βάρος}) \times 100\%$$

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή των % απωλειών βάρους των 3 αυτών περιεκτών.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Για την μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση χρησιμοποιήθηκαν 10 φράουλες από την κάθε μεταχείριση. Η μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση μετρήθηκε με τη χρήση του δυναμόμετρου INSTRON 4411. Ο καθετήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο 4 mm και η ταχύτητα καθόδου του ρυθμίστηκε στα 10 mm/min. Η αντοχή στη διάτρηση στην κάθε φράουλα μετρήθηκε και από τα 2 εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή 20 μετρήσεων και εκφράστηκε σε Newton.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Από κάθε παρτίδα ζυγίστηκαν 100 g φράουλας, πολτοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό αναμικτήρα και διηθήθηκαν με σουρωτήρι. Το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του χρώματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρωματόμετρου Hunter Lab model DP-9000 optical sensor. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν η παράμετρος L^* (διαβάθμιση λαμπρό(+)/σκοτεινό(-)), a^* (διαβάθμιση κόκκινο(+)/πράσινο(-)) και b^* (διαβάθμιση κίτρινο(+)/μπλε(-)). Για την διαβάθμιση του χρωματόμετρου χρησιμοποιήθηκε λευκό και μαύρο πλακίδιο. Από την κάθε παρτίδα μετρήθηκαν 2 δείγματα και στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 5 αναγνώσεις. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθη η μέση τιμή των 10 μετρήσεων.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Το ίδιο διήθημα χρησιμοποιήθηκε και για τον προσδιορισμό της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και του pH. 5 g από το διήθημα ομογενοποιήθηκαν με 50 ml απιονισμένου νερού και διηθήθηκαν. Από αυτό το διήθημα 5 ml μεταφέρθηκαν σε κωνική φιάλη προστέθηκαν 45 ml απιονισμένου νερού, 2-3 σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλεΐνη 1% και τιτλοδοτήθηκαν με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 N. Στην κάθε παρτίδα η οξύτητα προσδιορίστηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων και εκφράστηκε σε g κιτρικού οξέος/ 100 g φράουλας.

ΜΕΤΡΗΣΗ pH

Η τιμή του pH μετρήθηκε με την χρήση πεχαμέτρου (Microprocessor pH Meter, HANNA Instruments, Romania) με γυάλινο ηλεκτρόδιο. Στην κάθε παρτίδα το pH μετρήθηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων.

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

10 φράουλες από κάθε παρτίδα συνθλίφθηκαν και ο χυμός τους τοποθετήθηκε στο γυάλινο πρίσμα ψηφιακού διαθλασιμέτρου (JENA, Germany) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών σακχάρων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % ολικά διαλυτά στερεά.

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκε πάνελ το οποίο αποτελείτο από 7 έμπειρους κριτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν η γενική εμφάνιση, η γεύση και η οσμή. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών (οσμή, γεύση και εμφάνιση), έγινε σε κλίμακα από 1 έως 9, όπου 9=άριστα, 7=πολύ καλό, 5=καλό, 3=μέτριο και 1=μη αποδεκτό. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε η τιμή 5.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ SPME

10 g αντιπροσωπευτικού δείγματος από την κάθε παρτίδα αποθηκεύτηκαν στους -20 °C μέχρι την ανάλυση. Ζυγίστηκαν 2 g δείγματος σε φιαλίδιο των 20 ml, προστέθηκαν 1 ml απιονισμένου νερού, 800 µl διαλύματος εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόνη, 10 µl/L) και ένας μικρός μαγνήτης. Τα φιαλίδια σφραγίστηκαν με αλουμινένιο πώμα εφοδιασμένου με septum από polytetrafluoroethylene/silicone. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση στους 40 °C για 15 min για την αποκατάσταση της εξισορρόπησης μεταξύ του υπερκείμενου χώρου και του δείγματος. Η εκχύλιση των πτητικών συστατικών έγινε με μικροεκχύλιση δια της στερεάς φάσης σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία/φασματοσκοπία

μάζας. Μετά τον χρόνο εξισορρόπησης των πτητικών μεταξύ του δείγματος και του υπερκείμενου χώρου, η ίνα (carboxen/polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 50/30 μm) εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 15 min για την προσρόφηση των πτητικών ενώσεων. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η ίνα εισήχθη στον εγχυτή του αέριου χρωματογράφου.

GC/MS ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ταυτοποίηση και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών έγινε με την χρήση αέριου χρωματογράφου Agilent GC 7890A series σε συνδυασμό με φασματοόμετρο μαζών Agilent 5975C Mass. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε ήλιο με ταχύτητα 1,0 ml/min. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του εγχυτή ήταν 230 °C και 250 °C αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των πτητικών ενώσεων έγινε με την χρήση της τριχοειδούς μη πολικής στήλης DB-5 MS (60m x 0,32 mm i.d. and 1 μm film thickness, J&W Scientific, Agilent Technologies, USA). Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε ως εξής : 40 °C για 1,5 min και αύξηση μέχρι τους 250 °C με ρυθμό 5 °C/min. Η ταυτοποίηση των κορυφών έγινε με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης και τα φάσματα μαζών αυτών με αυτά της βιβλιοθήκης Wiley.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Όλα τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε one-way ANOVA με την χρήση του προγράμματος SPSS 16. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το $p=0,05$.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

20 kg βερίκοκα της ποικιλίας Μπεμπέκου ελήφθησαν από την τοπική λαχαναγορά Ιωαννίνων και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Χημείας Τροφίμων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Κατά την έναρξη της μελέτης τα βερίκοκα πλύθηκαν με τρεχούμενο νερό βρύσης και κατανεμήθηκαν σε 4 ίσες παρτίδες. Η πρώτη παρτίδα (δείγμα control) αποθηκεύτηκε υπό ψύξη στους 2 °C με σχετική υγρασία 90% και οι υπόλοιπες 3 παρτίδες επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1,0 και 1,5 ppm για 1 h και αποθηκεύτηκαν στις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας για 2 μήνες. Κάθε 4 ημέρες λαμβανόταν δείγμα από την κάθε παρτίδα για τον προσδιορισμό της απώλειας βάρους, της αντοχής στη διάτρηση, του χρώματος, της τιτλοδοτούμενης οξύτητας, του pH, των ολικών διαλυτών στερεών, την καταμέτρηση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας και των μυκήτων και τον οργανοληπτικό έλεγχο. Επίσης στην πρώτη, την τελευταία και την ενδιάμεση ημέρα δειγματοληψίας του πειράματος πραγματοποιήθηκε και ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών συστατικών.

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

300 ± 5 g βερίκοκα τοποθετήθηκαν σε 3 διαφορετικούς περιέκτες και ζυγίζονταν ανά 4 ημέρες καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Για τον υπολογισμό του ποσοστού της απώλειας βάρους χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απώλεια βάρους (\%)} = (\text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος}) / (\text{αρχικό βάρος}) \times 100\%$$

Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή των % απωλειών βάρους των 3 αυτών περιεκτών.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Για την μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση χρησιμοποιήθηκαν 10 βερίκοκα από την κάθε μεταχείριση. Η μέτρηση της αντοχής στη διάτρηση μετρήθηκε με τη χρήση του δυναμόμετρου

INSTRON 4411. Ο καθετήρας που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο 8 mm και η ταχύτητα καθόδου του ρυθμίστηκε στα 10 mm/min. Η αντοχή στη διάτρηση στο κάθε βερίκοκο μετρήθηκε και από τα 2 εκ διαμέτρου αντίθετα σημεία. Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η μέση τιμή 20 μετρήσεων και εκφράστηκε σε Newton.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Από κάθε παρτίδα ζυγίστηκαν 100 g βερίκοκου, πολτοποιήθηκαν σε ηλεκτρικό αναμικτήρα και διηθήθηκαν με σουρωτήρι. Το διήθημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του χρώματος η οποία πραγματοποιήθηκε με την χρήση χρωματόμετρου Hunter Lab model DP-9000 optical sensor. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν ήταν η παράμετρος L^* (διαβάθμιση λαμπρό(+)/σκοτεινό(-)), a^* (διαβάθμιση κόκκινο(+)/πράσινο(-)) και b^* (διαβάθμιση κίτρινο(+)/μπλε(-)). Για την βαθμονόμηση του χρωματόμετρου χρησιμοποιήθηκε λευκό και μαύρο πλακίδιο. Από την κάθε παρτίδα μετρήθηκαν 2 δείγματα και στο κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκαν 5 αναγνώσεις. Ως τελικό αποτέλεσμα ελήφθηκε η μέση τιμή των 10 μετρήσεων.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Το ίδιο διήθημα χρησιμοποιήθηκε και για τον προσδιορισμό της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και του pH. Η τιτλοδοτούμενη οξύτητα προσδιορίστηκε με τιτλοδότηση 5 ml διηθήματος με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 N παρουσία 2-3 σταγόνων δείκτη φαινολοφθαλεΐνη 1% μετά την προσθήκη 45 ml απιονισμένου νερού. Στην κάθε παρτίδα η οξύτητα προσδιορίστηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων και εκφράστηκε σε g μηλικού οξέος/ 100 g βερίκοκου.

ΜΕΤΡΗΣΗ pH

Η τιμή του pH μετρήθηκε με την χρήση πεχαμέτρου (Microprocessor pH Meter, HANNA Instruments, Romania) με γυάλινο ηλεκτρόδιο. Στην κάθε παρτίδα το pH μετρήθηκε σε δύο δείγματα και ως τελικό αποτέλεσμα λήφθηκε η μέση τιμή αυτών των 2 μετρήσεων.

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΣΑΚΧΑΡΩΝ

10 βερίκοκα από κάθε παρτίδα συνθλίφθηκαν και ο χυμός τους τοποθετήθηκε στο γυάλινο πρίσμα ψηφιακού διαθλασιμέτρου (JENA, Germany) για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών σακχάρων. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν σε % ολικά διαλυτά στερεά.

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Για τον οργανοληπτικό έλεγχο χρησιμοποιήθηκε πάνελ το οποίο αποτελείτο από 7 έμπειρους κριτές. Τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν ήταν η γενική εμφάνιση, η γεύση και η οσμή. Η αξιολόγηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών έγινε σε κλίμακα από 1 έως 9 όπου : 9=άριστα, 7=πολύ καλό, 5=καλό, 3=μέτριο και 1=μη αποδεκτό. Ως όριο αποδοχής ορίστηκε η τιμή 5.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΤΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΣ SPME

10 g αντιπροσωπευτικού δείγματος από την κάθε παρτίδα αποθηκεύτηκαν στους -20 °C μέχρι την ανάλυση. Ζυγίστηκαν 2 g δείγματος σε φιαλίδιο των 20 ml, προστέθηκαν 1 ml απιονισμένου νερού, 500 μl διαλύματος εσωτερικού προτύπου (4-μέθυλο-2-πεντανόνη, 10 μl/L) και ένας μικρός μαγνήτης. Τα φιαλίδια σφραγίστηκαν με αλουμινένιο πώμα εφοδιασμένο με septum από polytetrafluoroethylene/silicone. Τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο υπό συνεχή ανάδευση στους 60 °C για 15 min για την αποκατάσταση της εξισορρόπησης μεταξύ του υπερκείμενου χώρου και του δείγματος. Ο προσδιορισμός των πτητικών συστατικών έγινε με μικροεκχύλιση δια της στερεάς φάσης σε συνδυασμό με αέρια χρωματογραφία/φασματοσκοπία μάζας. Μετά τον χρόνο εξισορρόπησης των πτητικών μεταξύ του δείγματος και του υπερκείμενου χώρου, η ίνα (carboxen/polydimethylsiloxane/divinylbenzene, 50/30 μm) εκτέθηκε στον υπερκείμενο χώρο για 15 min για την προσρόφηση των πτητικών ενώσεων. Μετά την αποκατάσταση της ισορροπίας η ίνα εισήχθη στον εγχυτή του αέριου χρωματογράφου.

GC/MS ΑΝΑΛΥΣΗ

Η ταυτοποίηση και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των πτητικών έγινε με την χρήση αέριου χρωματογράφου Agilent GC 7890A series σε συνδυασμό με φασματοόμετρο μαζών Agilent 5975C Mass. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε ήλιο με ταχύτητα 1,0 ml/min. Η θερμοκρασία της πηγής ιόντων και του εγχυτή ήταν 230 °C και 250 °C αντίστοιχα. Ο διαχωρισμός των πτητικών ενώσεων έγινε με την χρήση της τριχοειδούς μη πολικής στήλης DB-5 MS (60m x 0,32 mm i.d. and 1 μm film thickness, J&W Scientific, Agilent Technologies, USA). Η θερμοκρασία του φούρνου ρυθμίστηκε ως εξής : 40 °C για 2 min, αύξηση μέχρι τους 220 °C με ρυθμό 10 °C/min και παραμονή για 5 min. Η ταυτοποίηση των κορυφών έγινε με σύγκριση των χρόνων κατακράτησης και τα φάσματα μαζών αυτών με αυτά της βιβλιοθήκης Wiley.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

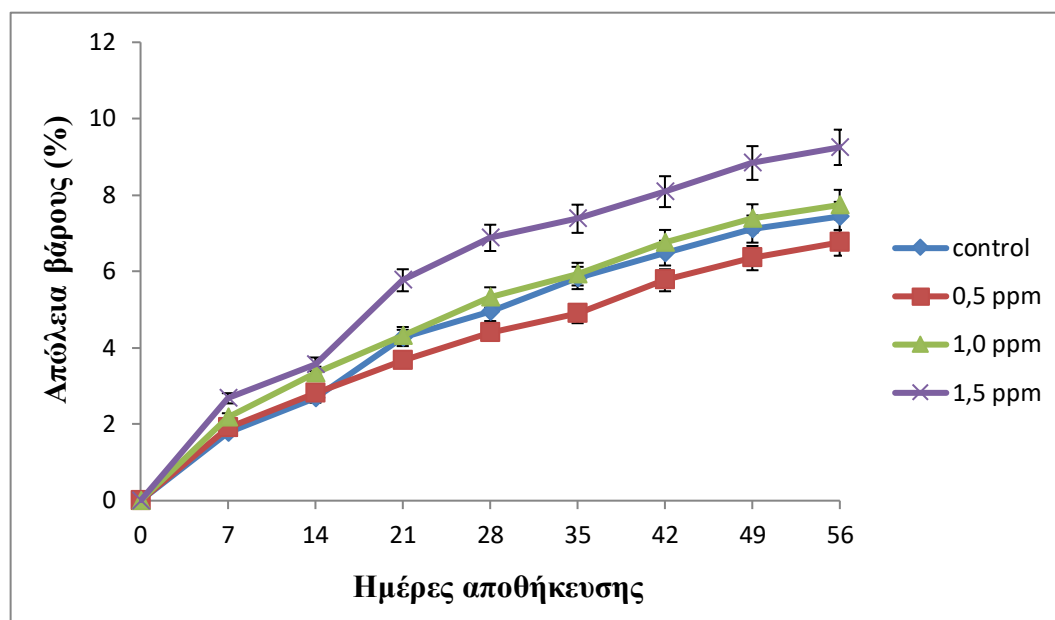
Όλα τα αποτελέσματα υποβλήθηκαν σε one-way ANOVA με την χρήση του προγράμματος SPSS 16. Ως επίπεδο σημαντικότητας ορίστηκε το $p=0,05$.

Δ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΣΤΑΦΥΛΙΩΝ ΤΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ SULTANINA ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

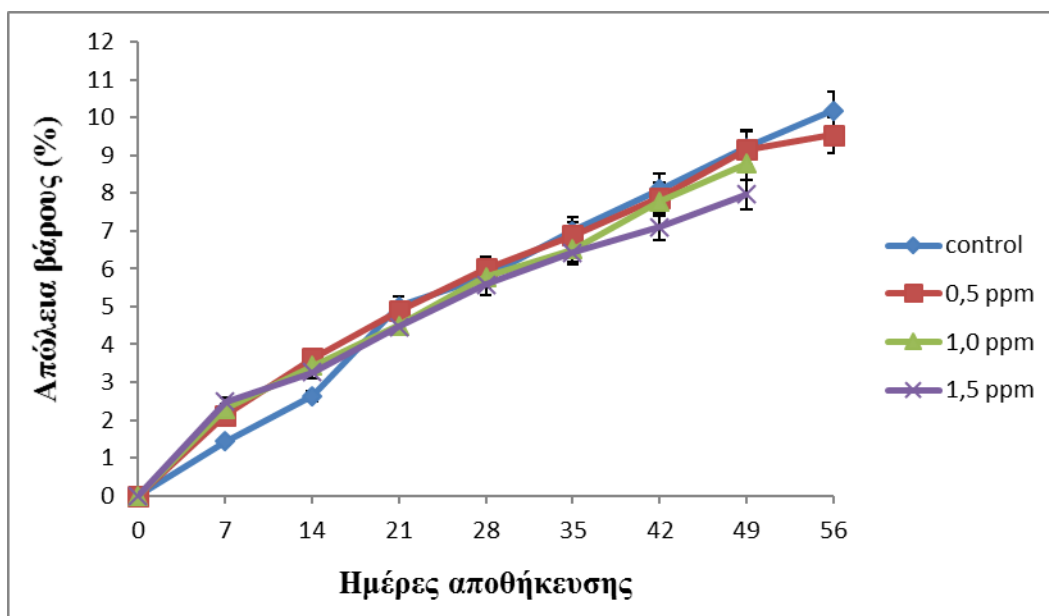
Τα αποτελέσματα της απώλειας βάρους των τσαμπιών και των ρογών φαίνονται στα διαγράμματα 1α και 1β αντίστοιχα.



Διάγραμμα 1α. Επίδραση του οζονισμού στην απώλεια βάρους των τσαμπιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρείται αύξηση στην απώλεια βάρους σε όλες τις μεταχειρίσεις εξαιτίας της απώλειας του νερού που λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της διαπνοής των σταφυλιών. Ο βαθμός της απώλειας βάρους εξαρτάται από τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αποθήκευσης. Τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm παρουσίασαν σημαντικά χαμηλότερη απώλεια βάρους ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) σε σχέση με τα δείγματα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 και 1,5 ppm παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερο ποσοστό απώλειας βάρους ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) σε σχέση με

τα δείγματα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η απώλεια βάρους των σταφυλιών που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm ήταν σημαντικά μεγαλύτερη ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) από την απώλεια βάρους που εμφάνισαν τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν στο 1,0 ppm.



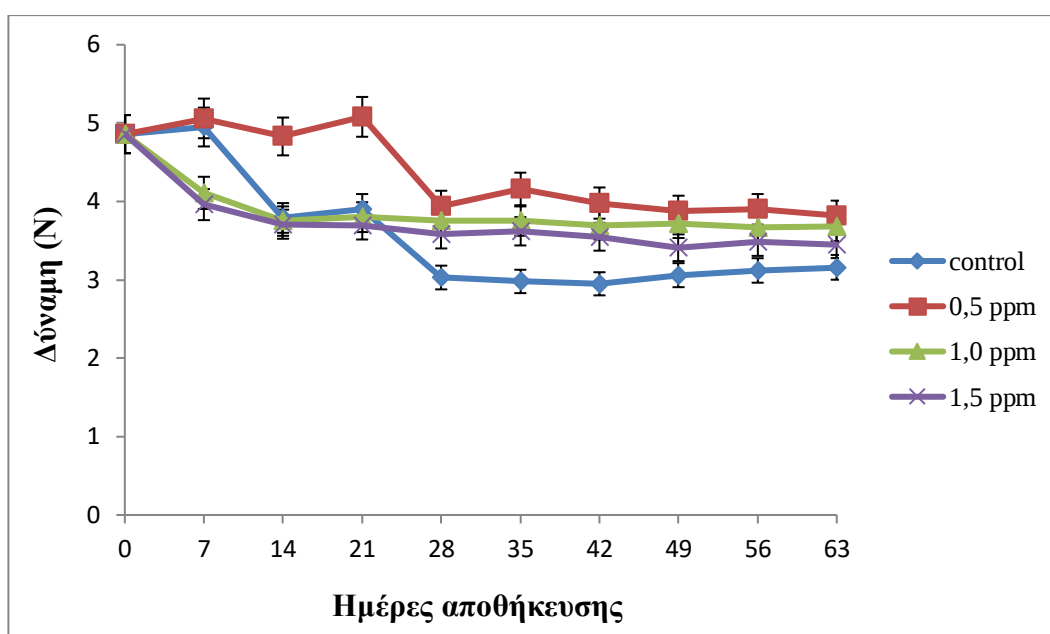
Διάγραμμα 1β. Επίδραση του οζονισμού στην απώλεια βάρους των ρογών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Οι Tzortzakis et al (2007) βρήκαν ότι η απώλεια βάρους ντοματών που αποθηκεύτηκαν σε χώρο με συγκέντρωση όζοντος 0,05 $\mu\text{mol/mol}$ δεν μεταβλήθηκε σημαντικά συγκριτικά με την απώλεια βάρους που εμφάνισαν οι ντομάτες που αποθηκεύτηκαν σε χώρο χωρίς όζον. Εντούτοις, ανέφεραν ότι οι ντομάτες που αποθηκεύτηκαν σε χώρο με συγκέντρωση όζοντος 1,0 $\mu\text{mol/mol}$ παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη απώλεια βάρους σε σχέση με τις ντομάτες που αποθηκεύτηκαν σε χώρο χωρίς όζον. Οι Geransayeh et al (2012) βρήκαν επίσης μικρότερες απώλειες βάρους σε επιτραπέζια σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,3 ppm για 10 και 15 min σε σύγκριση με τα ανεπεξέργαστα σταφύλια. Σε συγκέντρωση 1,5 ppm διαπιστώθηκε μια σημαντικά μεγαλύτερη απώλεια βάρους οφειλόμενη στην καταστροφή του επιδερμικού ιστού (Palou et al 2002). Οι Smock και Watson (1941) και οι Ridley και Sims (1967) βρήκαν ότι ροδάκινα εμφάνισαν τραυματισμένες περιοχές σε συγκέντρωση όζοντος 2 ppm με αμαυρώσεις στις περιοχές των στομάτων. Ο Barboni et al (2010) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στην απώλεια βάρους ακτινιδίων που αποθηκεύτηκαν σε χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος. Αυτό το γεγονός έχει υποστηριχθεί σε ένα μεγάλο εύρος προϊόντων όπως 'Howes'

κρανμπέρυ, δαμάσκηνα ‘Casselman’, ροδάκινα ‘Zee Lady’, κρεμμύδια και ντομάτες από προηγούμενες μελέτες (Norton et al 1968, Crisosto et al 1993, Palou et al 2001, Song et al 2000, Palou et al 2002, Shah et al 2004). Στην περίπτωση των ρογών δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) απώλεια βάρους στις ρόγες που επεξεργάστηκαν με όζον σε όλες τις συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς από την 35^η ημέρα της αποθήκευσης.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της αντοχής στη διάτρηση απεικονίζονται στο διάγραμμα 2.



Διάγραμμα 2. Επίδραση του οζονισμού στην αντοχή στη διάτρηση των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

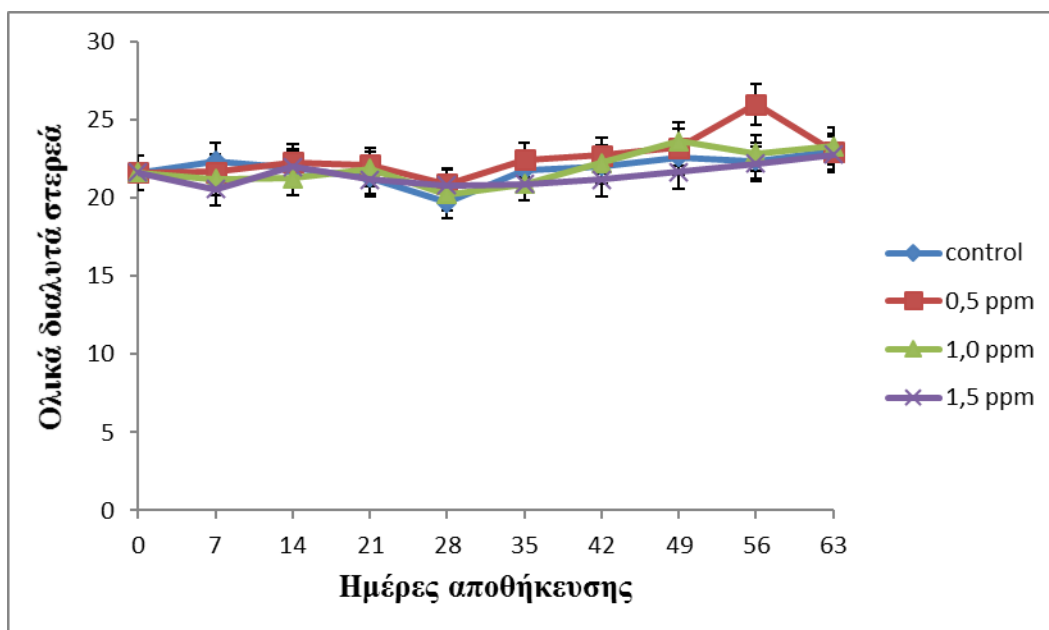
Παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην αντοχή στην διάτρηση συναρτήσει του χρόνου σε όλες τις μεταχειρίσεις οφειλόμενη στην διάσπαση της πρωτοπηκτικής από την δράση της πολυγαλακτουρονάσης που λαμβάνει χώρα κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Ο οζονισμός σε συγκέντρωση 0,5 ppm αύξησε σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την αντοχή στην διάτρηση συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αντίθετα, ο οζονισμός σε συγκέντρωση 1,0 ppm και 1,5 ppm δεν αύξησε σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την αντοχή στην διάτρηση συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η αύξηση της αντοχής στη διάτρηση στα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον θα μπορούσε να αποδοθεί στην αναστολή της παραγωγής του αιθυλενίου που με την σειρά της προκαλεί

επιβράδυνση στην δραστικότητα της πολυγαλακτουρονάσης κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Οι Jin et al (1989) ανέφεραν ελάττωση στην παραγωγή του αιθυλενίου σε ντομάτες και μανταρίνια που εκτέθηκαν σε όζον και αρνητικά ιόντα. Οι Nadas et al (2000) και Skog και Chu (2001) ανέφεραν υψηλότερη αντοχή στην διάτρηση σε αγγούρια και εσπεριδοειδή που επεξεργάστηκαν με όζον συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς. Οι Nadas et al (2003) βρήκαν ότι το όζον προκάλεσε αναστολή στο μαλάκωμα της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασία ψύξης και δωματίου. Οι Salvador et al (2006) βρήκαν επίσης υψηλότερη αντοχή στην διάτρηση σε λωτούς που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,15 ppm συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς.

ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ

Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών στερεών απεικονίζονται στο διάγραμμα 3.

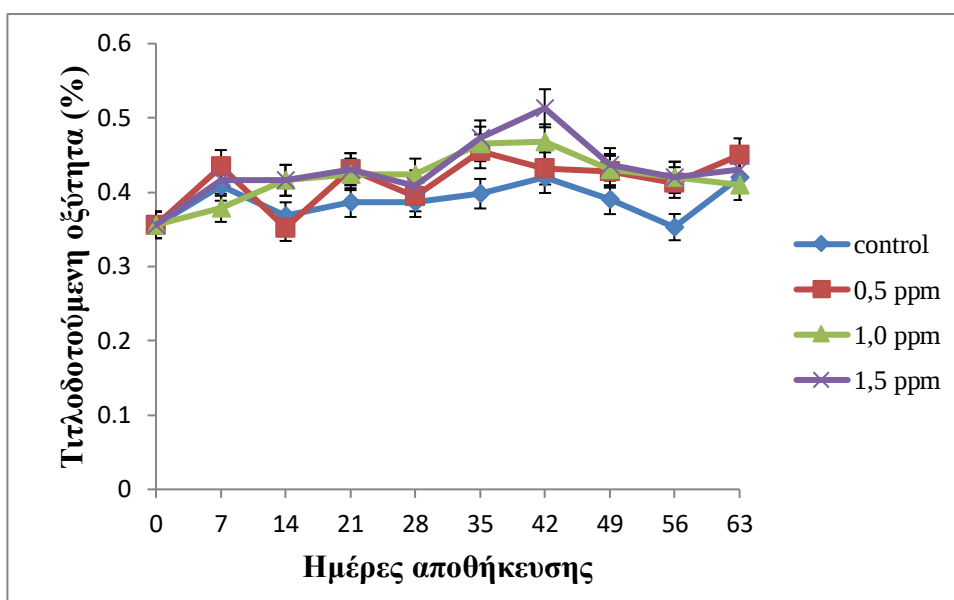
Τα ολικά διαλυτά στερεά αποτελούνται από σάκχαρα, πρωτεΐνες, αζωτούχες ενώσεις, ανόργανη ύλη κτλ. Μέχρι την 28^η ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελαφρά ελάττωση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών οφειλόμενη στην κατανάλωση των υδατανθράκων που συμβαίνει κατά την αναπνευστική δραστηριότητα των σταφυλιών. Μετά την 28^η ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελαφριά αύξηση της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών στερεών εξαιτίας της συμπύκνωσης αυτών στην υδατική φάση οφειλόμενη στην υψηλή απώλεια νερού γεγονός που καταγράφηκε και από άλλους ερευνητές (Paul & Chen 1987, Kumar 1994, Lydakis & Aked 2003, Mahajan et al 2003, Ray et al 2004). Η επεξεργασία με όζον σε όλες τις συγκεντρώσεις δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε οζονισμένο χυμό σταφυλιού (Tiwari et al 2009).



Διάγραμμα 3. Επίδραση του οζονισμού στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

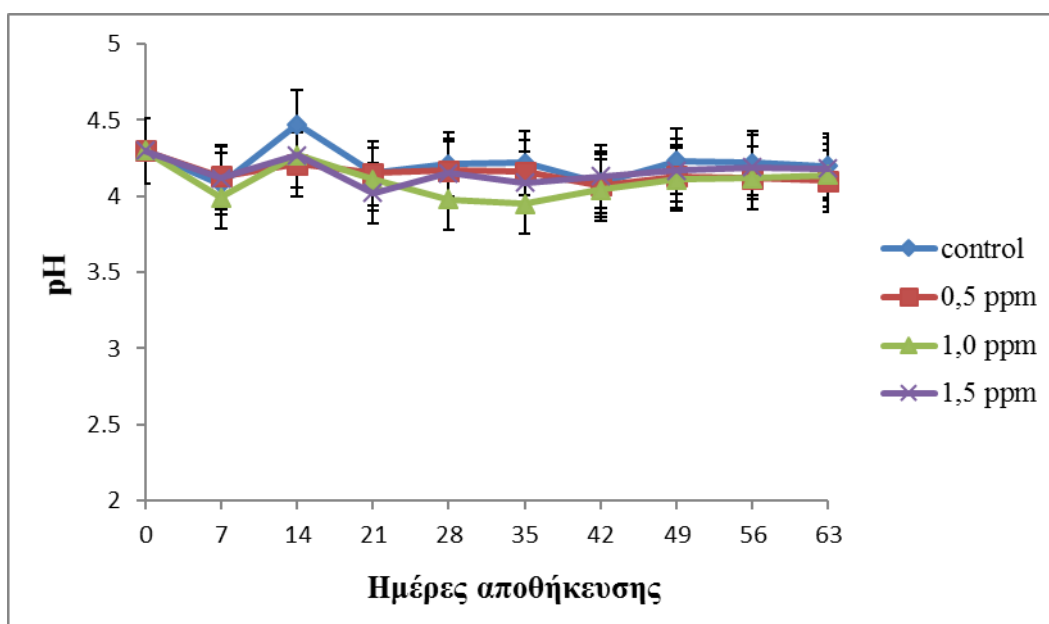
ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ ΚΑΙ pH

Τα αποτελέσματα της τιτλοδοτούμενης οξύτητας και του pH απεικονίζονται στα διαγράμματα 4α και 4β αντίστοιχα.



Διάγραμμα 4α. Επίδραση του οζονισμού στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η τιτλοδοτούμενη οξύτητα του δείγματος αναφοράς δεν παρουσίασε σημαντικές διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Στα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον παρατηρήθηκε μια αύξηση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα μέχρι την 42^η ημέρα της αποθήκευσης. Ο οξονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις αύξησε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την τιτλοδοτούμενη οξύτητα συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς. Σύμφωνα με τους Lydakis and Aked (2003) η αύξηση της τιτλοδοτούμενης οξύτητας συμπίπτει με την ελάττωση του βάρους του φρούτου. Κατά την απώλεια νερού ο κυτταρικός χυμός συμπυκνώνεται. Στα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον παρατηρήθηκε μια αύξηση συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς. Αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να αποδοθεί στην οξειδωτική επίδραση του όζοντος σε ενώσεις με διπλούς δεσμούς όπως οι ανθοκυανίνες (Tiwarei et al 2009). Τα μόρια του όζοντος υφίστανται 1-3 δίπολη κυκλική προσθήκη με τους διπλούς δεσμούς, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό οξονιδίων από τα αλκένια και το όζον με ενδιάμεσα προϊόντα τα οξειδία αλδεϋδών και κετονών (Grieger 1975). Αυτό καταλήγει στην οξειδωτική διάσπαση των οξονιδίων και στον σχηματισμό ενώσεων όπως τα καρβοξυλικά οξέα και οι κετόνες.



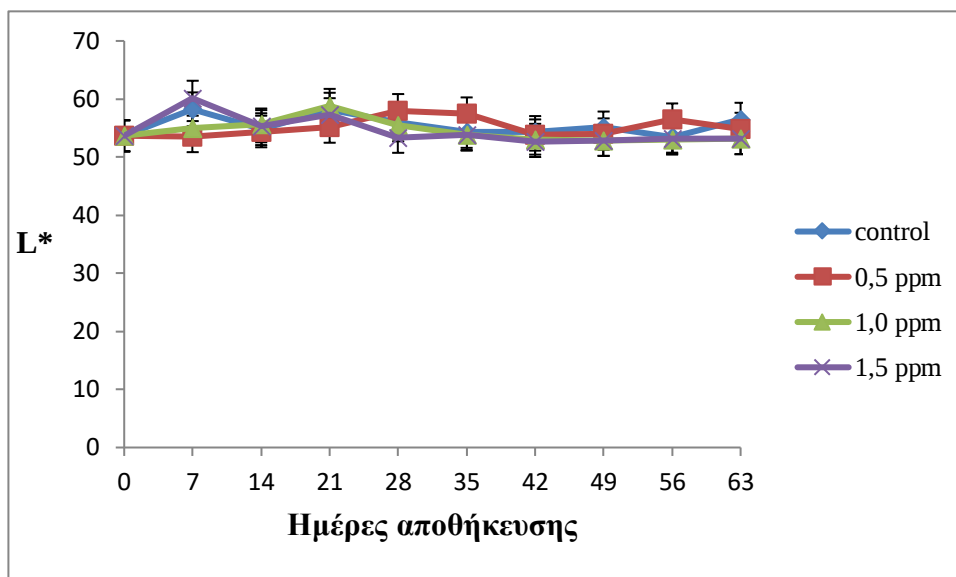
Διάγραμμα 4β. Επίδραση του οξονισμού στην τιμή του pH των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Στις τιμές του pH παρατηρήθηκε ελαφρά ελάττωση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Ο οξονισμός σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 1,0 ppm επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την τιμή του pH συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης. Ο οξονισμός σε συγκέντρωση 1,5 ppm δεν επηρέασε

στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την τιμή του pH συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα της παρούσης διατριβής συμφωνούν με αυτά των Tiwari et al (2009) και Barboni et al (2010). Οι Alexander et al (2012) ανέφεραν επίσης μη σημαντικές μεταβολές στην τιμή του pH φράουλας που επεξεργάστηκε με υδατοειδές όζον συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες.

ΧΡΩΜΑ

Τα αποτελέσματα των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* και b^* απεικονίζονται στα διαγράμματα 5α, 5β και 5γ αντίστοιχα.

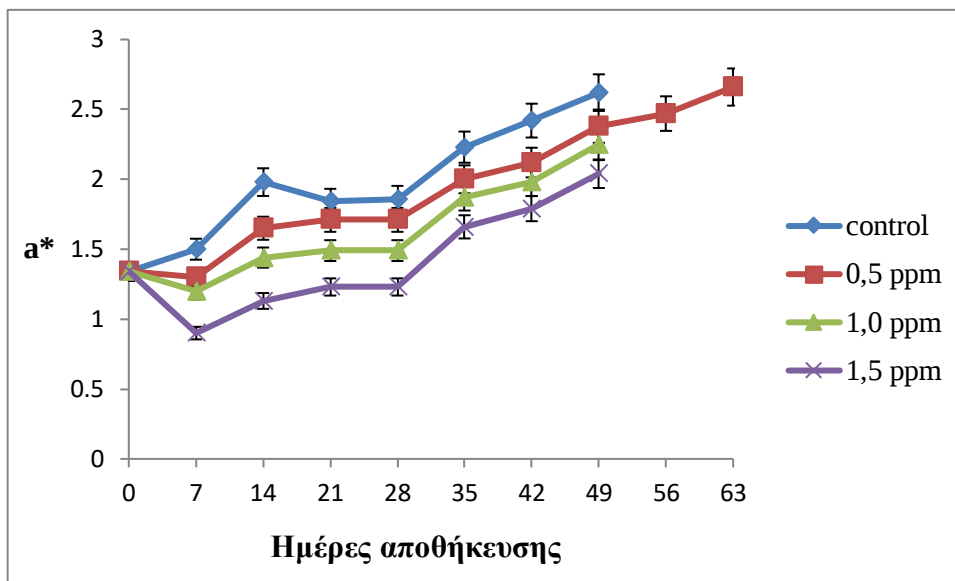


Διάγραμμα 5α. Επίδραση του οζονισμού στην τιμή L^* των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

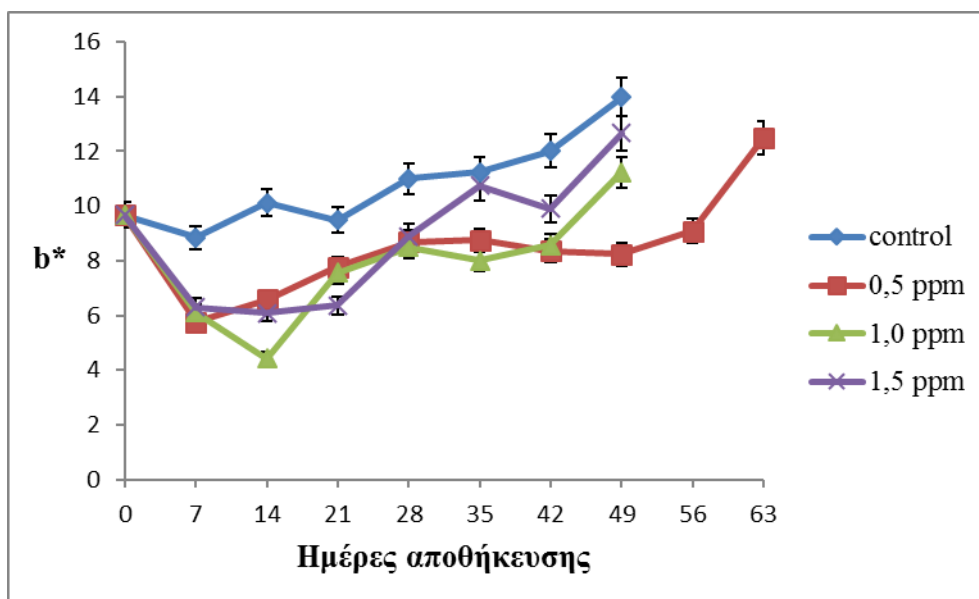
Οι τιμές L^* δεν μεταβλήθηκαν με σταθερό μοτίβο σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης. Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές L^* συγκριτικά με τα ανεπεξέργαστα σταφύλια κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Στις τιμές a^* παρατηρήθηκε μια αύξηση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην εξασθένιση του πράσινου χρώματος εξαιτίας της διάσπασης της χλωροφύλλης κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές a^* συγκριτικά με

τα μη επεξεργασμένα σταφύλια. Η ελάττωση αυτή αποδίδεται στην διάσπαση του αιθυλενίου που έχει ως επακόλουθο την αναστολή της ωρίμανσης.



Διάγραμμα 5β. Επίδραση του οζονισμού στην τιμή a^* των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 5γ. Επίδραση του οζονισμού στην τιμή b^* των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

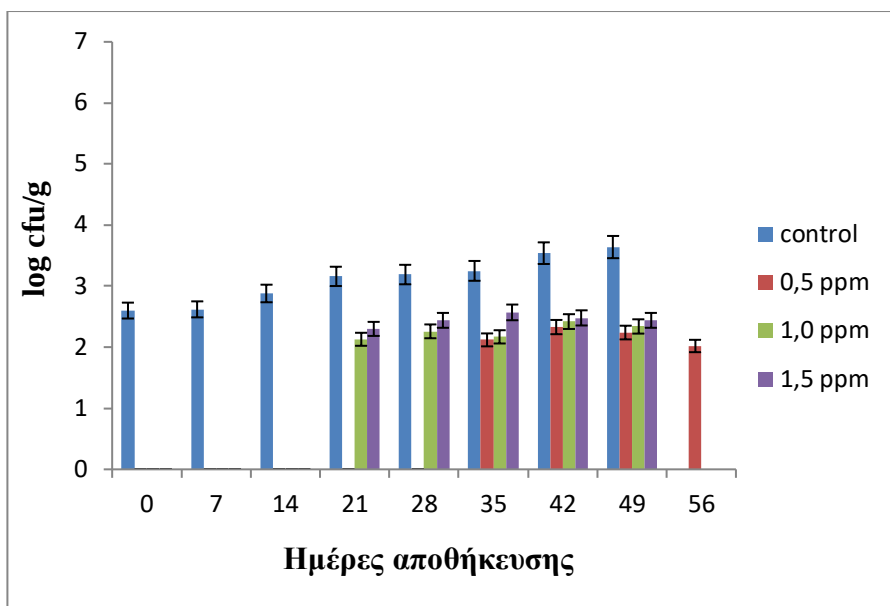
Στις τιμές b^* παρατηρήθηκε μια αύξηση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην επικράτηση του κίτρινου χρώματος των καροτενοειδών εξαιτίας της διάσπασης της χλωροφύλλης κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις ελάττωσε τις τιμές b^* συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα σταφύλια εξαιτίας της διάσπασης του αιθυλενίου και της αναστολής της ωρίμανσης. Ο οζονισμός στα 0,5 ppm ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές b^* συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα σταφύλια, ενώ ο οζονισμός στα 1,0 ppm και 1,5 ppm δεν ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές b^* συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα σταφύλια κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

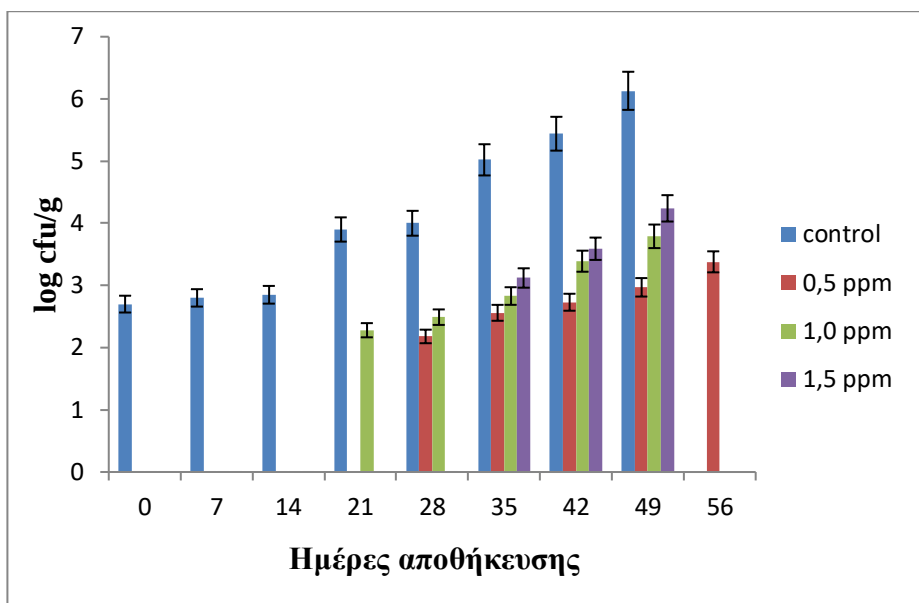
ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα διαγράμματα 6α και 6β φαίνεται η επίδραση του οζονισμού στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα και στους μύκητες-ζύμες αντίστοιχα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Τα επίπεδα της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας παρέμειναν κάτω από τα αποδεκτά όρια καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό το φαινόμενο αποδίδεται στην απολυμαντική ικανότητα του όζοντος, στο όξινο pH και στην παρουσία οργανικών οξέων. Η οξίνιση του κυτταροπλάσματος του βακτηριακού κυττάρου (Vitro et al 2005) που οφείλεται στην ικανότητα των οργανικών οξέων να διεισδύουν δια μέσου της κυτταρικής μεμβράνης (Wang et al 2013), είναι ο κύριος μηχανισμός αδρανοποίησης των μικροοργανισμών από τα οργανικά οξέα. Μέχρι και την 49^η ημέρα της δειγματοληψίας, η ολική μεσόφιλη χλωρίδα των σταφυλιών, που επεξεργάστηκαν με όζον ήταν χαμηλότερη από αυτήν των μη επεξεργασμένων ως ένδειξη των πολύ καλών απολυμαντικών ικανοτήτων του όζοντος.



Διάγραμμα 6α. Επίδραση του οζονισμού στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

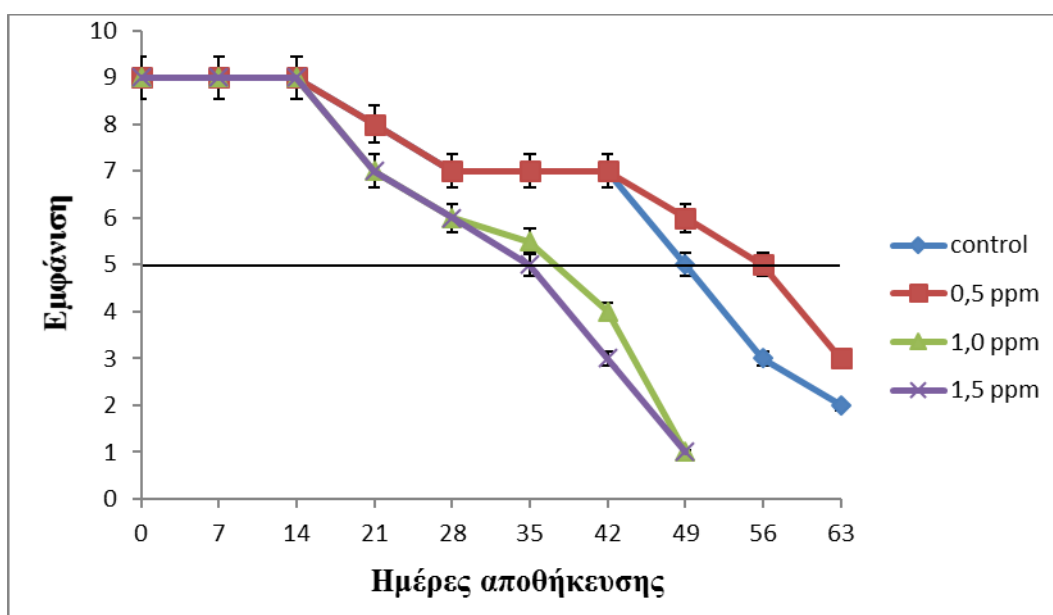


Διάγραμμα 6β. Επίδραση του οζονισμού στους μύκητες-ζύμες των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

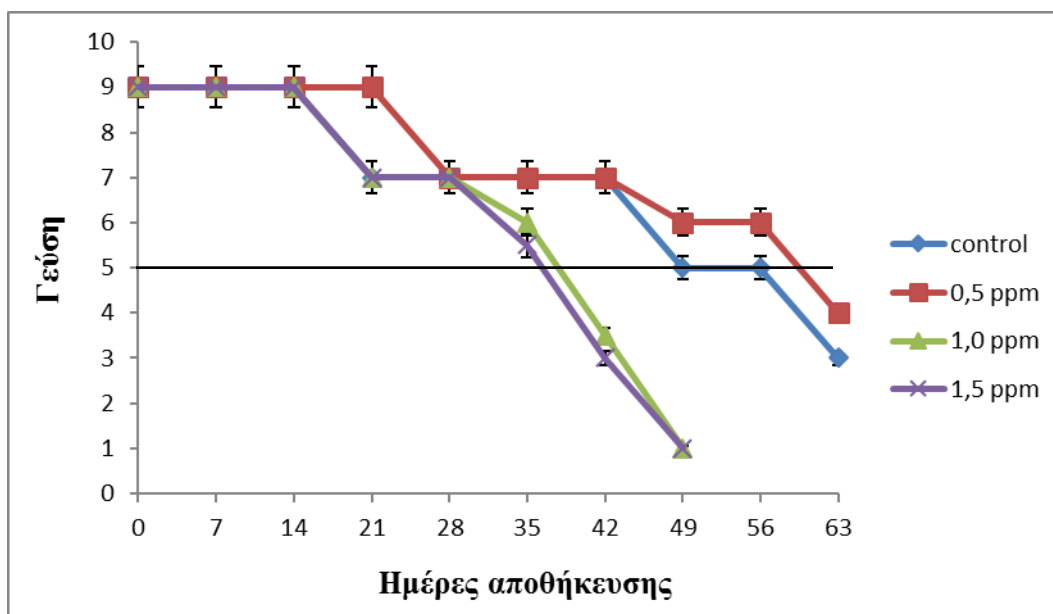
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Τα αποτελέσματα της γενικής εμφάνισης, της γεύσης και της οσμής απεικονίζονται στα διαγράμματα 7α, 7β και 7γ αντίστοιχα.

Τα μη επεξεργασμένα σταφύλια διατήρησαν την γενική τους εμφάνιση μέχρι την 49^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 ppm και 1,5 ppm διατήρησαν την γενική τους εμφάνιση μέχρι την 35^η ημέρα της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην ισχυρή οξειδωτική επίδραση που έχει το όζον σε υψηλές συγκεντρώσεις στα δομικά συστατικά των κυττάρων στους φυτικούς ιστούς. Τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm διατήρησαν την γενική τους εμφάνιση μέχρι την 56^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι Geransayeh et al (2012) βρήκαν επίσης ότι τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,3 ppm εμφάνισαν λιγότερα ραγίσματα συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα σταφύλια. Οι Gabler et al (2010) παρατήρησαν ότι η εμφάνιση επεξεργασμένων με όζον σταφυλιών σε συγκεντρώσεις 2500 $\mu\text{l/l}$ ή 5000 $\mu\text{l/l}$ για 1 h δεν παρουσίασαν τραυματισμένες περιοχές. Οι Sarig et al (1996) ανέφεραν ότι τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,1 mg/g για 20 έως 40 min δεν εμφάνισαν τραυματισμούς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

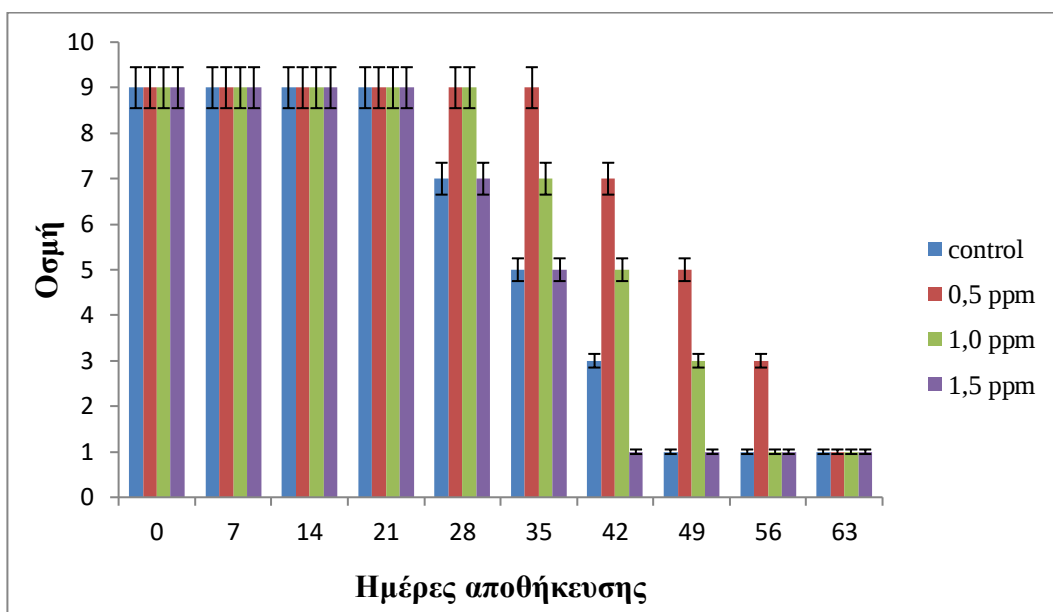


Διάγραμμα 7α. Επίδραση του οζονισμού στην γενική εμφάνιση των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 7β. Επίδραση του οζονισμού στην γεύση των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η γεύση των σταφυλιών που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 και 1,5 ppm διατηρήθηκε οργανοληπτικά αποδεκτή περίπου μέχρι την 38^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ τα μη επεξεργασμένα σταφύλια και τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm διατήρησαν την γεύση τους σε αποδεκτά όρια μέχρι την 56^η και 60^η ημέρα αποθήκευσης αντίστοιχα.



Διάγραμμα 7γ. Επίδραση του οζονισμού στην οσμή των σταφυλιών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η οσμή των μη επεξεργασμένων σταφυλιών και των σταφυλιών που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm διατηρήθηκε σε αποδεκτά επίπεδα μέχρι την 35^η ημέρα της αποθήκευσης. Αντίθετα, τα σταφύλια που επεξεργάστηκαν με συγκεντρώσεις όζοντος 0,5 και 1,0 ppm διατήρησαν την οσμή τους σε αποδεκτά επίπεδα μέχρι την 49^η και 42^η ημέρα της αποθήκευσης, αντίστοιχα.

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στην παρούσα διατριβή ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν ημιποσοτικά οι πτητικές ενώσεις δειγμάτων σταφυλιού, με την τεχνική μικροεκχύλισης δια στερεάς φάσης σε συνδυασμό με GC-MS. Τα δείγματα επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1 και 1,5 ppm για 60 min. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή, στην μέση και στο τέλος της διάρκειας της αποθήκευσης. Τα πτητικά συστατικά του σταφυλιού προέρχονται από τα λιπίδια, τα καροτενοειδή και τα αμινοξέα.

Τα αποτελέσματα των πτητικών δίνονται στους πίνακες 9α-9δ.

Αλδεΐδες :

Οι αλδεΐδες που βρέθηκαν είναι : βουτανάλη, 3-μέθυλο βουτανάλη, 2-μέθυλο βουτανάλη, n-εξανάλη, trans-2-εξενάλη, n-επτανάλη, trans-εξαδιενάλη, 2,4-επταδιενάλη, εννεανάλη και δεκανάλη. Η n-εξανάλη, η trans-2-εξενάλη και η trans-εξαδιενάλη προέρχονται από τη οξείδωση του λινελαϊκού οξέως μέσω της δράσης του ενζύμου λιποξυγενάση. Η δεκανάλη σχετίζεται με οσμή φυτού και φλούδας εσπεριδοειδούς (Flamini 2005).

Η συγκέντρωση των αλδεϋδών δεν επηρεάστηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου με εξαίρεση την n-εξανάλη και την trans-2-εξενάλη των οποίων η συγκέντρωση αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Τα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 0,5 ppm παρουσίασαν μεγαλύτερη αύξηση στην συγκέντρωση αυτών των δύο ενώσεων, ενώ στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm η συγκέντρωση αυτών των δύο ενώσεων αυξήθηκε την 21^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ την 49^η ημέρα της αποθήκευσης ελαττώθηκε.

Κετόνες :

Από τις κετόνες βρέθηκε μόνο η 2-προπανόνη. Η συγκέντρωση της 2-προπανόνης αυξήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου στα δείγματα αναφοράς και στα σταφύλια που

οζονίστηκαν σε συγκεντρώσεις 0,5 και 1,0 ppm. Ενώ, στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 1,5 ppm η 2-προπανόνη δεν ανιχνεύτηκε την 21^η και την 49^η ημέρα της αποθήκευσης.

Οργανικά οξέα :

Από τα οργανικά οξέα βρέθηκε το εξανοϊκό οξύ. Το εξανοϊκό οξύ πιθανόν να προέρχεται από την διάσπαση μικρών ποσοτήτων εξανάλης (Lee et al 2000).

Αλκοόλες :

Οι αλκοόλες που βρέθηκαν είναι : αιθανόλη, 1-εξανόλη, 2-εξεν-1-όλη και γερανιόλη. Η αιθανόλη παράγεται κατά την αλκοολική ζύμωση και αυξάνεται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Σε προηγούμενη μελέτη βρέθηκε ότι η συγκέντρωση της αιθανόλης αυξάνεται κατά την διάρκεια της ωρίμανσης του καρπού της ντομάτας (Καραουλάνης 2009). Η 1-εξανόλη και η 2-εξεν-1-όλη προέρχονται από τη οξείδωση του λινελαϊκού οξέως μέσω της δράσης του ενζύμου λιποξυγενάση. Οι αλκοόλες με 6 άτομα άνθρακα είναι κοινές σε πολλά φρούτα και συνεισφέρουν μαζί με τις αλδεΐδες με 6 άτομα άνθρακα στην βοτανώδη οσμή του σταφυλιού (Zabetakis & Holden 1997, Ruther 2000, Gulliot et al 2006, Watkins & Wijesundera 2006, Conde et al 2007).

Στα δείγματα αναφοράς η συγκέντρωση της αιθανόλης και της 2-εξεν-1-όλης αυξήθηκε σημαντικά κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η συγκέντρωση της 1-εξανόλης δεν επηρεάστηκε σημαντικά. Στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε όλες τις συγκεντρώσεις όζοντος παρατηρήθηκε μια σημαντική ελάττωση στις συγκεντρώσεις της 1-εξανόλης και της 2-εξεν-1-όλης. Στα δείγματα αναφοράς η συγκέντρωση της γερανιόλης δεν μεταβλήθηκε με την πάροδο του χρόνου, ενώ στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 0,5 ppm η συγκέντρωση της γερανιόλης αυξήθηκε σημαντικά. Στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm η γερανιόλη δεν ανιχνεύτηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης.

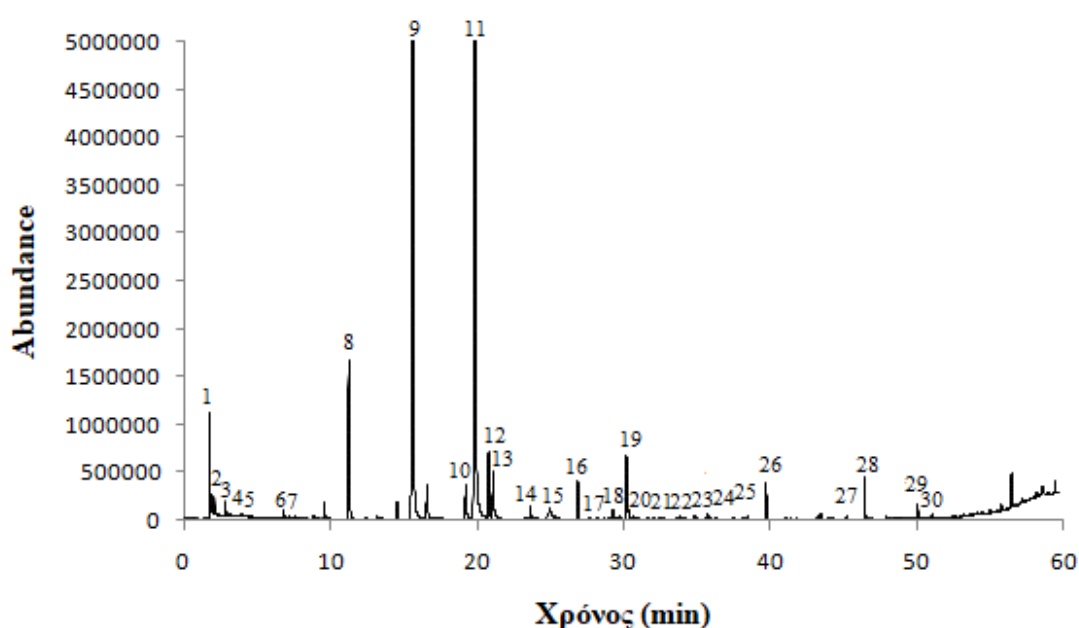
Αρωματικοί υδρογονάνθρακες :

Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες που βρέθηκαν είναι : βενζυλομεθανόλη και φαινυλακεταλδεΐδη.

Τερπένια :

Τα τερπένια που βρέθηκαν είναι τα : α-πινένιο, β-πινένιο, καμφένιο, δ-καρένιο και λεμονένιο. Τα τερπένια προέρχονται από την επίδραση των ενζύμων διοξυγενάσες των

καροτενοειδών στα καροτενοειδή (Pichersky et al 2006). Στα δείγματα αναφοράς η συγκέντρωση όλων των τερπενίων μεταβλήθηκε σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Τα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 0,5 ppm η συγκέντρωση όλων των τερπενίων αυξήθηκε σημαντικά συναρτήσει του χρόνου. Στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 1,0 ppm η συγκέντρωση του α-πινενίου παρουσίασε σημαντική ελάττωση την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης, ενώ η συγκέντρωση των άλλων τερπενίων δεν ελαττώθηκε σημαντικά. Στα σταφύλια που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 1,5 ppm η συγκέντρωση των τερπενίων αυξήθηκε σημαντικά την 21^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης ελαττώθηκε σε επίπεδα παρόμοια με αυτά της πρώτης ημέρας της αποθήκευσης.



Σχήμα 1. Αντιπροσωπευτικό χρωματογράφημα πτητικών συστατικών σταφυλιού.

Πίνακας 9α. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα μη επεξεργασμένα σταφύλια.

	ΕΝΩΣΕΙΣ	R.T.	R.I.	0 ^η ΗΜΕΡΑ	21 ^η ΗΜΕΡΑ	49 ^η ΗΜΕΡΑ
1	αιθανόλη	2,47	<800	2,15±0,33	9,2±0,23	22,8±0,23
2	2-προπανόνη	2,79	<800	8,10±0,27	n.d.	18,3±0,33
3	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,15	<800	1,65±0,22	5,5±0,19	5,6±0,19
4	Δισοξυαιθάνιο	3,24	<800	n.d.	5,8±0,32	n.d.
5	Βουτανάλη	3,86	<800	n.d.	1,03±0,24	1,40±0,26
6	3-μεθυλο βουτανάλη	6,80	<800	8,00±0,38	5,4±0,21	7,8±0,32

7	2-μεθυλο βουτανάλη	7,21	<800	2,60±0,16	1,7±0,17	2,1±0,17
8	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	11,26	<800	112	112	112
9	n-εξανάλη	15,64	926	510,00±2,33	610±3,47	630±5,32
10	7-Οξαδίκυκλο [4.1.0.] επτάνιο	19,23	1082	20,00±0,44	14,8±0,44	21,5±0,23
11	Trans-2-εξενάλη	19,91	1114	660,00±1,79	605±3,11	790±4,32
12	2-εξέν-1-όλη	20,79	1158	47,50±1,22	28±1,07	57,5±0,32
13	1-εξανόλη	21,10	1173	37,50±1,32	26,5±0,56	65±1,76
14	n-Επτανάλη	24,15	1339	0,90±0,09	0,90±0,12	0,97±0,16
15	Trans-2,4-εξαδιενάλη	24,96	1378	6,50±0,24	5,0±0,56	5,4±0,26
16	α-πινένιο	26,89	1492	32,50±1,14	31,6±0,87	37,6±0,34
17	Καμφένιο	28,25	1577	0,80±0,11	0,79±0,14	0,90±0,22
18	Εξανοϊκό οξύ	29,73	1676	1,50±0,13	0,17±0,05	n.d.
19	β-πινένιο	30,35	1717	7,30±0,22	7,2±0,26	8,1±0,28
20	δ-καρένιο	32,50	1857	1,34±0,15	1,24±0,19	1,38±0,17
21	2,4-επταδιενάλη	32,62	1864	0,85±0,12	0,75±0,16	0,82±0,14
22	L-λεμονένιο	33,90	1936	1,95±0,34	1,9±0,21	2,3±0,21
23	Βενζυλμεθανόλη	34,14	1949	0,41±0,12	n.d.	0,78±0,12
24	Φαινυλακεταλδεϋδη	34,86	1986	2,50±0,27	2,5±0,32	6,0±0,34
25	Νιτροβενζόλιο	37,61	-	n.d.	n.d.	2,4±0,22
26	Εννεανάλη	38,47	-	2,40±0,21	2,4±0,28	2,5±0,32
27	n-δεκανάλη	43,48	-	2,90±0,32	2,1±0,18	1,9±0,23
28	Γερανιόλη	45,20	-	1,38±0,22	0,63±0,22	1,25±0,19
29	3-βουτέν-2-ονη	50,78	-	0,59±0,09	n.d.	n.d.
30	2,4-δισ (1,1- διμέθυλαιθυλ) φαινόλη	51,09	-	3,30±0,14	1,49±0,39	3,7±0,39

Πίνακας 9β. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον σταφύλια σε συγκέντρωση 0,5 ppm.

	ΕΝΩΣΕΙΣ	R.T.	R.I.	0^η ΗΜΕΡΑ	21^η ΗΜΕΡΑ	49^η ΗΜΕΡΑ
1	αιθανόλη	2,47	<800	2,15±0,33	n.d.	n.d.

2	2-προπανόνη	2,79	<800	8,10±0,27	n.d.	17,30±0,24
3	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,15	<800	1,65±0,22	3,9±	14,51±0,31
4	Δισοξυαιθάνιο	3,24	<800	n.d.	n.d.	n.d.
5	Βουτανάλη	3,86	<800	n.d.	1,45±	3,82±0,23
6	3-μεθυλο βουτανάλη	6,80	<800	8,00±0,38	6,46±	24,25±0,34
7	2-μεθυλο βουτανάλη	7,21	<800	2,60±0,16	1,83±	5,83±0,38
8	4-μέθυλο-2- πεντανόνη	11,26	<800	112	112	112
9	n-εξανάλη	15,64	926	510,00±2,33	594,8±	951,3±2,67
10	7-Οξιδίκυκλο [4.1.0.] επτάνιο	19,23	1082	20,00±0,44	15±	28,72±0,67
11	Trans-2-εξανάλη	19,91	1114	660,00±1,79	606,23±	1082,5±4,23
12	2-εξέν-1-όλη	20,79	1158	47,50±1,22	23,09±	37,24±0,45
13	1-εξανόλη	21,10	1173	37,50±1,32	18,14±	28,73±0,41
14	n-Επτανάλη	24,15	1339	0,90±0,09	0,99±	1,77±0,19
15	Trans-2,4-εξαδιενάλη	24,96	1378	6,50±0,24	4,65±	4,32±0,23
16	α-πινένιο	26,89	1492	32,50±1,14	37,26±	62,22±1,67
17	Καμφένιο	28,25	1577	0,80±0,11	0,88	1,42±0,37
18	Εξανοϊκό οξύ	29,73	1676	1,50±0,13	n.d.	n.d.
19	β-πινένιο	30,35	1717	7,30±0,22	7,86±	12,91±0,68
20	δ-καρένιο	32,50	1857	1,34±0,15	1,28±	2,15±0,24
21	2,4-επταδιενάλη	32,62	1864	0,85±0,12	0,63±	2,09±0,32
22	L-λεμονένιο	33,90	1936	1,95±0,34	1,98±	3,72±0,27
23	Βενζυλμεθανόλη	34,14	1949	0,41±0,12	n.d.	2,59±0,21
24	Φαινυλακεταλδεϋδη	34,86	1986	2,50±0,27	1,40±	12,7±0,49
25	Νιτροβενζόλιο	37,61	-	n.d.	n.d.	n.d.
26	Εννεανάλη	38,47	-	2,40±0,21	2,13±	4,63±0,51
27	n-δεκανάλη	43,48	-	2,90±0,32	1,39±	4,59±0,34
28	Γερανιόλη	45,20	-	1,38±0,22	0,31±	2,96±0,44
29	3-βουτέν-2-ονη	50,78	-	0,59±0,09	n.d.	n.d.
30	2,4-δις (1,1- διμέθυλαιθυλ) φαινόλη	51,09	-	3,30±0,14	1,92±	5,90±0,67

Πίνακας 9γ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον σταφύλια σε συγκέντρωση 1,0 ppm.

	ΕΝΩΣΕΙΣ	R.T.	R.I.	0^η ΗΜΕΡΑ	21^η ΗΜΕΡΑ	49^η ΗΜΕΡΑ
1	αιθανόλη	2,47	<800	2,15±0,33	n.d.	n.d.
2	2-προπανόνη	2,79	<800	8,10±0,27	n.d.	18,94±0,76
3	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,15	<800	1,65±0,22	n.d.	1,87±0,23
4	Δισοξυαιθάνιο	3,24	<800	n.d.	5,64±0,56	n.d.
5	Βουτανάλη	3,86	<800	n.d.	n.d.	0,60±0,18
6	3-μεθυλο βουτανάλη	6,80	<800	8,00±0,38	3,48±0,31	4,34±0,22
7	2-μεθυλο βουτανάλη	7,21	<800	2,60±0,16	0,96±0,21	1,34±0,18
8	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	11,26	<800	112	112	112
9	n-εξανάλη	15,64	926	510,00±2,33	739,3±3,17	511,22±2,56
10	7-Οξαδίκυκλο [4.1.0.] επτάνιο	19,23	1082	20,00±0,44	21,24±0,78	11,37±0,91
11	Trans-2-εξενάλη	19,91	1114	660,00±1,79	803,08±2,24	488,97±1,56
12	2-εξέν-1-όλη	20,79	1158	47,50±1,22	30,66±0,82	26,16±0,88
13	1-εξανόλη	21,10	1173	37,50±1,32	28,01±0,87	23,52±0,48
14	n-Επτανάλη	24,15	1339	0,90±0,09	1,12±0,17	1,00±0,13
15	Trans-2,4-εξαδιενάλη	24,96	1378	6,50±0,24	5,46±0,24	3,24±0,21
16	α-πινένιο	26,89	1492	32,50±1,14	45,00±2,28	22,55±0,76
17	Καμφένιο	28,25	1577	0,80±0,11	1,08±0,18	0,54±0,16
18	Εξανοϊκό οξύ	29,73	1676	1,50±0,13	n.d.	n.d.
19	β-πινένιο	30,35	1717	7,30±0,22	9,61±0,32	5,27±0,32
20	δ-καρένιο	32,50	1857	1,34±0,15	1,52±0,25	1,03±0,15
21	2,4-επταδιενάλη	32,62	1864	0,85±0,12	1,02±0,21	n.d.
22	L-λεμονένιο	33,90	1936	1,95±0,34	2,31±0,26	1,54±0,27
23	Βενζυλμεθανόλη	34,14	1949	0,41±0,12	n.d.	0,57±0,12
24	Φαινυλακεταλδεΰδη	34,86	1986	2,50±0,27	1,72±	2,12±0,23
25	Νιτροβενζόλιο	37,61	-	n.d.	n.d.	0,56±0,17
26	Εννεανάλη	38,47	-	2,40±0,21	2,41±0,32	3,48±0,32

27	η-δεκανάλη	43,48	-	2,90±0,32	1,97±0,24	7,66±0,41
28	Γερανιόλη	45,20	-	1,38±0,22	1,09±0,22	n.d.
29	3-βουτέν-2-ονη	50,78	-	0,59±0,09	n.d.	n.d.
30	2,4-δισ (1,1- διμέθυλαιθυλ) φαινόλη	51,09	-	3,30±0,14	1,90±0,27	0,62±0,14

Πίνακας 9δ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον σταφύλια σε συγκέντρωση 1,5 ppm.

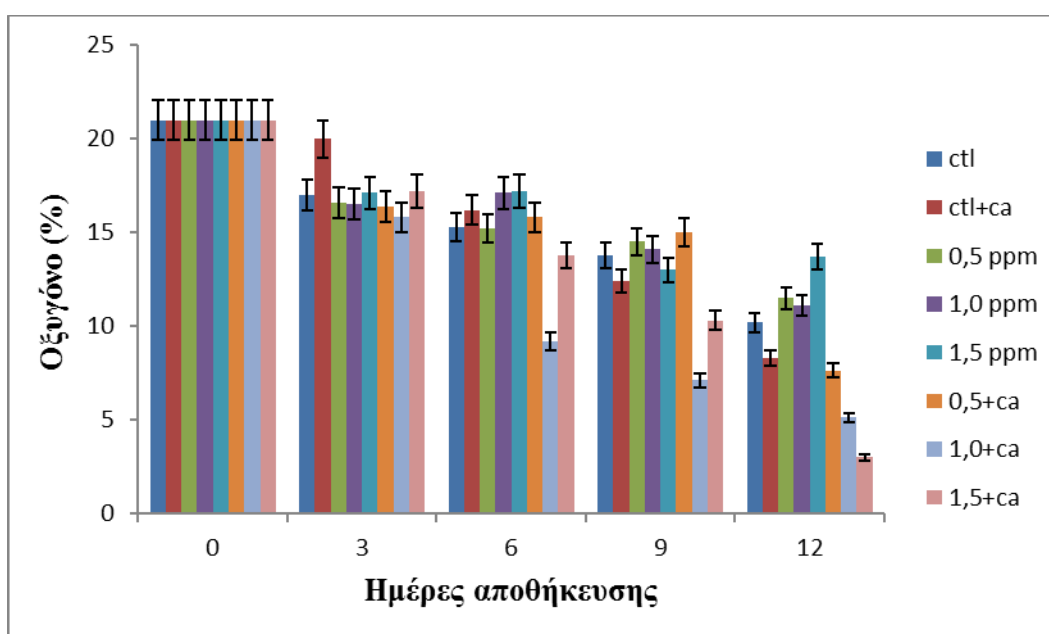
	ΕΝΩΣΕΙΣ	R.T.	R.I.	0^η ΗΜΕΡΑ	21^η ΗΜΕΡΑ	49^η ΗΜΕΡΑ
1	αιθανόλη	2,47	<800	2,15±0,33	10,31±0,32	5,31±0,23
2	2-προπανόνη	2,79	<800	8,10±0,27	n.d.	n.d.
3	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,15	<800	1,65±0,22	3,54±0,29	3,05±0,31
4	Δισοξυαιθάνιο	3,24	<800	n.d.	n.d.	3,51±0,27
5	Βουτανάλη	3,86	<800	n.d.	1,24±0,19	1,21±0,18
6	3-μεθυλο βουτανάλη	6,80	<800	8,00±0,38	7,29±0,36	6,99±0,45
7	2-μεθυλο βουτανάλη	7,21	<800	2,60±0,16	1,77±0,41	1,84±0,37
8	4-μέθυλο-2- πεντανόνη	11,26	<800	112	112	112
9	η-εξανάλη	15,64	926	510,00±2,33	921,26±3,45	528,88±2,67
10	7-Οξαδίκυκλο [4.1.0.] επτάνιο	19,23	1082	20,00±0,44	24,37±0,57	8,97±0,41
11	Trans-2-εξενάλη	19,91	1114	660,00±1,79	911,41±1,84	480,93±1,78
12	2-εξέν-1-όλη	20,79	1158	47,50±1,22	66,85±0,79	21,57±0,49
13	1-εξανόλη	21,10	1173	37,50±1,32	79,38±0,32	25,7±0,27
14	η-Επτανάλη	24,15	1339	0,90±0,09	1,51±0,30	0,86±0,21
15	Trans-2,4-εξαδιενάλη	24,96	1378	6,50±0,24	6,61±0,27	2,62±0,36
16	α-πινένιο	26,89	1492	32,50±1,14	53,25±0,22	32,39±0,35
17	Καμφένιο	28,25	1577	0,80±0,11	1,33±0,26	0,74±0,19
18	Εξανοϊκό οξύ	29,73	1676	1,50±0,13	n.d.	n.d.
19	β-πινένιο	30,35	1717	7,30±0,22	11,17±0,22	6,67±0,38
20	δ-καρένιο	32,50	1857	1,34±0,15	1,74±0,24	1,16±0,19

21	2,4-επταδιενάλη	32,62	1864	0,85±0,12	0,87±0,19	0,57±0,14
22	L-λεμονένιο	33,90	1936	1,95±0,34	2,73±0,27	1,67±0,31
23	Βενζυλμεθανόλη	34,14	1949	0,41±0,12	n.d.	n.d.
24	Φαινυλακεταλδεΰδη	34,86	1986	2,50±0,27	2,69±0,32	1,81±0,26
25	Νιτροβενζόλιο	37,61	-	n.d.	n.d.	n.d.
26	Εννεανάλη	38,47	-	2,40±0,21	3,89±0,35	3,38±0,30
27	n-δεκανάλη	43,48	-	2,90±0,32	1,86±0,40	6,93±0,32
28	Γερανιόλη	45,20	-	1,38±0,22	n.d.	n.d.
29	3-βουτέν-2-ονη	50,78	-	0,59±0,09	n.d.	n.d.
30	2,4-δισ (1,1- διμέθυλαιθυλ) φαινόλη	51,09	-	3,30±0,14	3,68±0,43	1,04±0,20

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΚΑΙ ΚΙΤΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΦΡΕΣΚΟΚΟΜΜΕΝΟΥ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΣΑΛΑΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΣΕ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

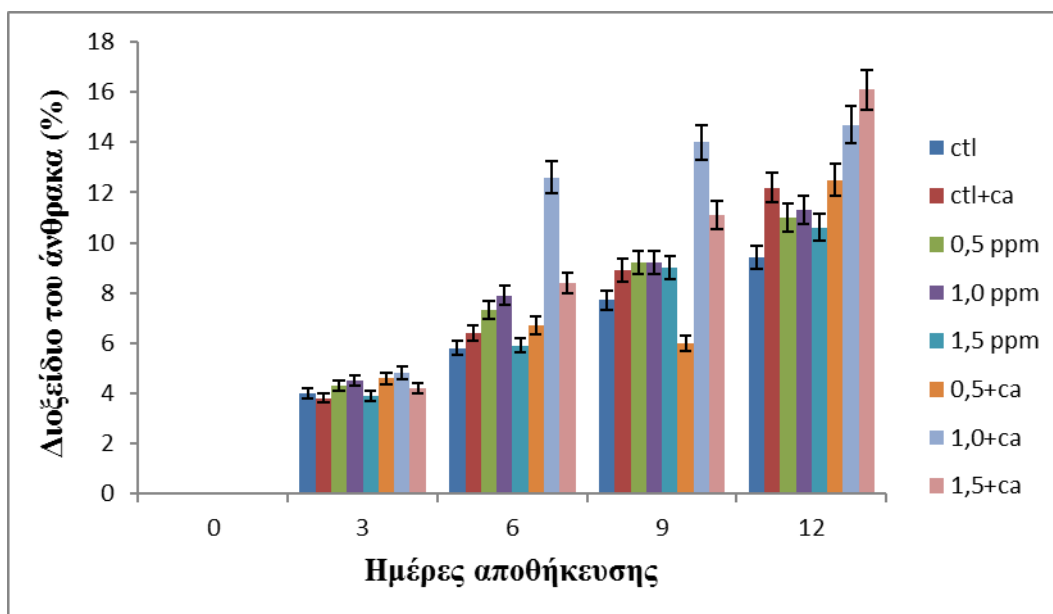
ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα αποτελέσματα της συγκέντρωσης του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα απεικονίζονται στα διαγράμματα 8α και 8β.



Διάγραμμα 8α. Επίδραση του οξονισμού και του κιτρικού οξέος στην συγκέντρωση του οξυγόνου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η αέρια σύσταση μέσα στη συσκευασία εξαρτάται από τον ρυθμό αναπνοής του μαρουλιού, την διαπερατότητα του υλικού συσκευασίας, τον όγκο του υπερκείμενου χώρου και την θερμοκρασία αποθήκευσης. Η συγκέντρωση του οξυγόνου ελαττώνεται μέσα στη συσκευασία, ενώ η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα αυξάνεται ως αποτέλεσμα της αναπνευστικής δραστηριότητας του μαρουλιού. Η επεξεργασία με όζον δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την κατανάλωση του οξυγόνου συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια.



Διάγραμμα 8β. Επίδραση του οξονισμού και του κιτρικού οξέος στην συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

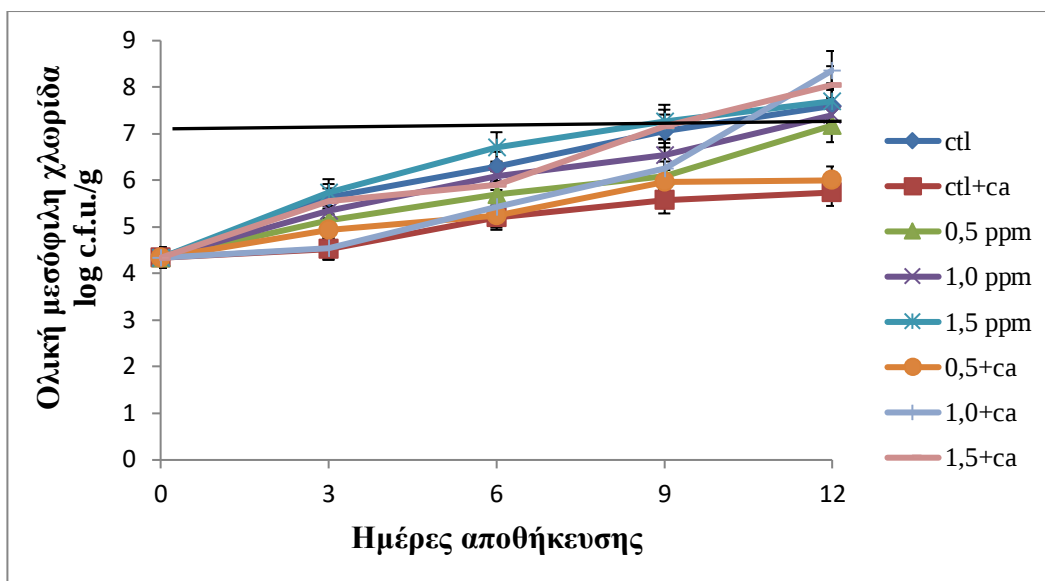
Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Beltran et al (2005), Zhang et al (2005) και Olmez και Akbas (2009). Οι Ong et al (2014) βρήκαν χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής σε επεξεργασμένη με όζον παπάγια συγκριτικά με την μη επεξεργασμένη. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να οφείλεται στην αβιοτική καταπόνηση που προκαλείται από την επεξεργασία με όζον η οποία ελαττώνει τον ρυθμό αναπνοής (Perez et al 1999, Saftner et al 2003, Aguayo et al 2006, Ong et al 2014). Σύμφωνα με τον Smilanick (2003) χαμηλά επίπεδα όζοντος δεν έχουν επίδραση στην αναπνοή των σταφυλιών και των ροδάκινων. Ο Gane (1936) ανέφερε επίσης ότι δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στον ρυθμό αναπνοής της ώριμης μπανάνας μετά την έκθεσή της σε όζον. Οι Tzortzakis et al (2007) ανέφεραν επίσης μη σημαντικές μεταβολές στον ρυθμό αναπνοής της ντομάτας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Από την άλλη, οι Jin et al (1989) ανέφεραν χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής σε ντομάτες αποθηκευμένες σε ατμόσφαιρα όζοντος. Πειράματα με όζον που διεξήχθησαν σε φράουλες έδειξαν χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες (Aday & Caner 2014, Zhang et al 2011). Ο ρυθμός κατανάλωσης του οξυγόνου επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm και κιτρικό οξύ. Στην παρούσα διατριβή στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm και κιτρικό οξύ και 1,5 ppm και κιτρικό οξύ παρατηρήθηκε υψηλότερος αλλά στατιστικά μη σημαντικός ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) ρυθμός κατανάλωσης οξυγόνου συγκριτικά με τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm και 1,5 ppm. Η ίδια απόκριση παρατηρήθηκε επίσης και στην παραγωγή του διοξειδίου του

άνθρακα. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην αποκαρβοξυλίωση του κιτρικού οξέος που λαμβάνει χώρα στα μιτοχόνδρια κατά την διάρκεια του βιοχημικού κύκλου του Krebs. Η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα αυξήθηκε σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 1,0 ppm συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Οι Liew and Prange (1994) ανέφεραν επίσης ελαφρά αύξηση στην παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα σε καρότα που επεξεργάστηκαν με όζον ανάλογα με τις δόσεις και τον χρόνο αποθήκευσης. Οι Aguayo et al (2004) βρήκαν υψηλότερο ρυθμό αναπνοής σε ολόκληρες ντομάτες που επεξεργάστηκαν με όζον. Σε τεμαχισμένες ντομάτες, συγκέντρωση όζοντος ίση με 7 $\mu\text{L/L}$ προκάλεσε έναν αρχικά υψηλότερο ρυθμό αναπνοής ο οποίος στη συνέχεια ελαττώθηκε. Σύμφωνα με τους Rico et al (2006) η αύξηση του ρυθμού αναπνοής σε μαρούλια επεξεργασμένα με όζον θα μπορούσε να αποδοθεί στην καταστροφή των φωτοσυνθετικών μηχανισμών η οποία μπορεί να αλλάζει την κατάσταση του μεταβολισμού.

ΜΙΚΡΟΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα αποτελέσματα των μικροβιολογικών αναλύσεων απεικονίζονται στα διαγράμματα 9α-9γ.

Η αντιμικροβιακή επίδραση του όζοντος οφείλεται στην οξείδωση και στην καταστροφή των βιώσιμων κυτταρικών συστατικών που απαρτίζουν το κυτταρικό τοίχωμα και την κυτταροπλασματική μεμβράνη. Ο πρώτος στόχος του όζοντος είναι η πεπτιδογλυκάνη του κυτταρικού τοιχώματος. Το αποτέλεσμα της οξείδωσης είναι ο σχηματισμός ρηγμάτων στο κυτταρικό τοίχωμα με κυτταρική διάσπαση. Μετά την οξείδωση του κυτταρικού τοιχώματος και της κυτταρικής μεμβράνης οι ελεύθερες οξειδωτικές ρίζες εισέρχονται στο κυτταρόπλασμα και τελικά διαπερνούν την κυτταρική μεμβράνη του πυρήνα και οξειδώνουν τα γενετικά υλικά των μικροοργανισμών (DNA και RNA). Η καταστροφή του βακτηριακού DNA εξαλείφει την πιθανότητα των βακτηρίων να αναπτύξουν αντίσταση στο όζον (Naito & Takahara 2006, Cullen et al 2010). Επιπλέον, το όζον έχει μεγάλη ικανότητα διάχυσης η οποία καθιστά ικανή την ταχεία διάχυσή του διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών. Η επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 1,0 ppm και η επεξεργασία με κιτρικό οξύ ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την ολική μεσόφιλη χλωρίδα σε σχέση με το δείγμα αναφοράς.

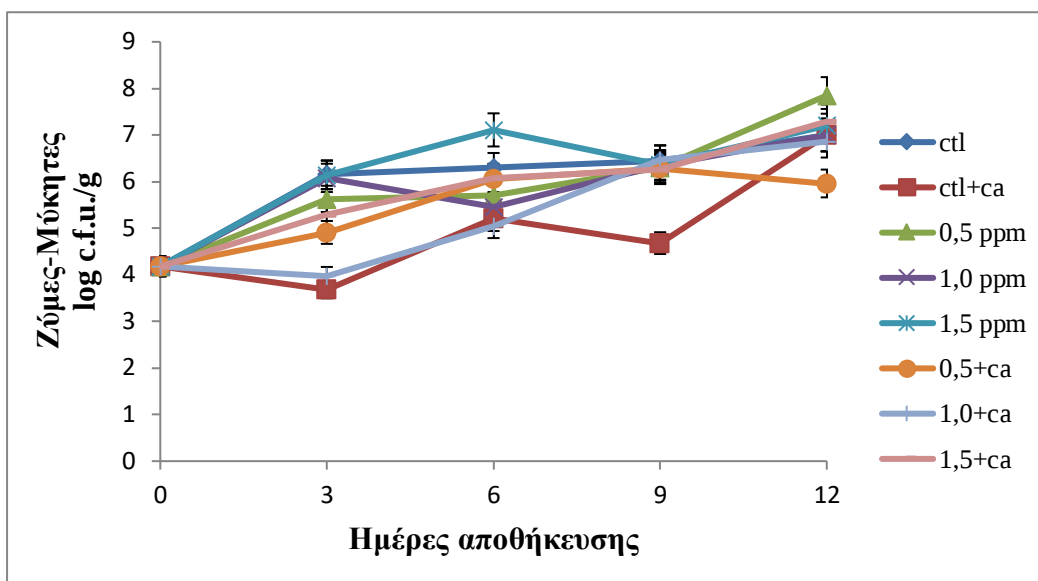


Διάγραμμα 9α. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην ολική μεσόφιλη χλωρίδα του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Οι Rahman et al (2011) βρήκαν επίσης ότι η εμβάπτιση καρότων σε διάλυμα κιτρικού οξέος συγκέντρωσης 1% w/v στους 20° C για 3 min ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 2,37 log₁₀ c.f.u./g. Η οξίνιση του κυτταροπλάσματος του βακτηριακού κυττάρου (Vitro et al 2005) που οφείλεται στην ικανότητα των οργανικών οξέων να διεισδύουν δια μέσου της κυτταρικής μεμβράνης (Wang et al 2013) είναι ο κύριος μηχανισμός αδρανοποίησης των μικροοργανισμών από τα οργανικά οξέα. Η αποτελεσματικότητα της δράσης του οργανικού οξέος εξαρτάται από το pH του περιβάλλοντος, την αδιάστατη μορφή του οξέος, το μήκος της ανθρακικής αλυσίδας, τον βαθμό διακλάδωσης, την φυσιολογία αλλά και τον μεταβολισμό των κυττάρων (Booth 1985, Doores 1995). Η επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την ολική μεσόφιλη χλωρίδα συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Στα μη επεξεργασμένα μαρούλια και σε αυτά που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm και 1,5 ppm με προσθήκη κιτρικού οξέος τα επίπεδα της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας ξεπέρασαν το όριο (7 log₁₀ c.f.u./g) την 9^η ημέρα της αποθήκευσης. Τα επίπεδα της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας των μαρουλιών που επεξεργάστηκαν με κιτρικό οξύ και 0,5 ppm όζον με προσθήκη κιτρικού οξέος παρέμειναν κάτω από το όριο μέχρι την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και προσθήκη κιτρικού οξέος παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) χαμηλότερα επίπεδα ολικής μεσόφιλης χλωρίδας συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Οι Baur et al (2004), ανέφεραν χαμηλότερη ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 0,5-1,0 λογαριθμικούς κύκλους σε κομμένα μαρούλια επεξεργασμένα με οζονισμένο νερό

σε συγκέντρωση 1 mg/l για 2 min στους 4 °C. Οι Koseki et al (2001) επίσης ανέφεραν παρόμοιο ρυθμό ελάττωσης σε κομμένα μαρούλια μετά την επεξεργασία με διάλυμα όζοντος σε συγκέντρωση 5 mg/l για 1 min. Οι Kim et al (1999) ανέφεραν επίσης ότι η επεξεργασία κομμένων μαρουλιών με οζονισμένο νερό ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 1,2 log₁₀ c.f.u./g μέσα σε 3 min. Οι Olmez and Akbas (2009), ανέφεραν ότι η επεξεργασία με οζονισμένο νερό στα 2 ppm για 2 min ελάττωσε σημαντικά την ολική μεσόφιλη χλωρίδα σε φρεσκοκομμένο πράσινο μαρούλι συγκριτικά με το μη επεξεργασμένο. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχουν επίσης αναφερθεί από τους Kim et al (1999), Koseki και Isobe (2006) και Hassenberg et al (2007). Γενικά, η αντιμικροβιακή δράση του όζοντος εκτός από την συγκέντρωση και τον χρόνο έκθεσης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του χώρου διατήρησης. Στην περίπτωση του αερίου όζοντος η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αύξηση της απόδοσης της αντίδρασης αποσύνθεσης του όζοντος σε ελεύθερες οξειδωτικές ρίζες, της διάχυσης και της δραστηριότητας του όζοντος. Αποτέλεσμα αυτών είναι η αύξηση της αντιμικροβιακής ικανότητας του όζοντος. Η αύξηση της σχετικής υγρασίας μπορεί να καθιστά ικανή την παραγωγή δραστικών οξειδωτικών ριζών από το όζον. Επίσης, η ισχυρή οξειδωτική ικανότητα του όζοντος είναι ικανή να οξειδώνει τις φαινολικές ενώσεις του μαρουλιού με αποτέλεσμα την ελάττωση των αντιμικροβιακών ιδιοτήτων αυτών και την εξασθένιση της βιοκτόνου δράσης του όζοντος. Η υψηλή ευαισθησία των ευοξειδωτών ενώσεων στην οξείδωση και η υψηλή αντιδραστικότητα του όζοντος ανταγωνίζονται την βακτηριοκτόνο δράση του όζοντος (Block 1982, Kim 1998, Kim et al 1999, Koseki et al 2001, Olmez & Akbas 2009, Alexopoulos et al 2013).

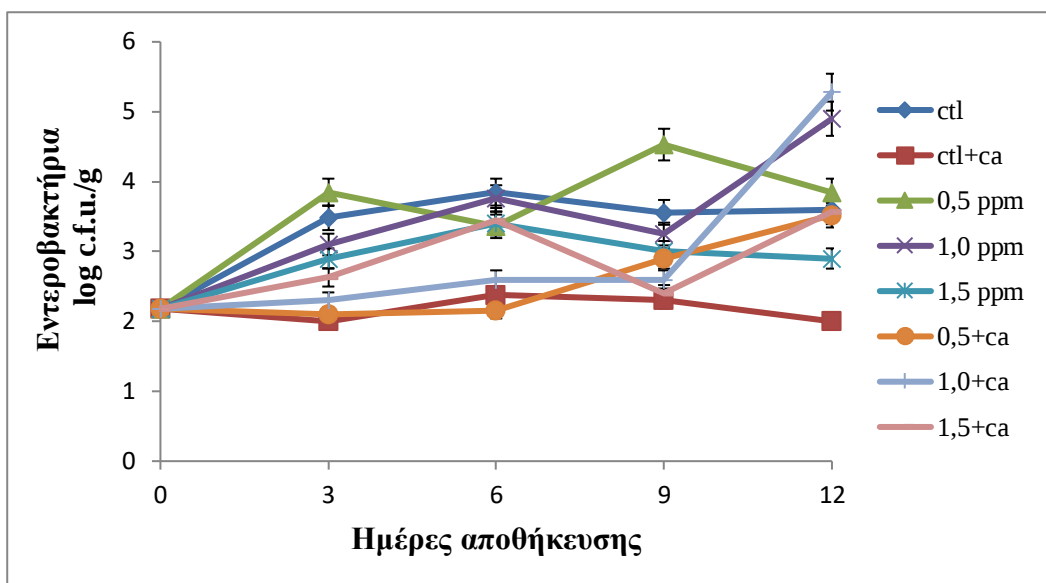
Ανεξάρτητα από την ολική μεσόφιλη χλωρίδα η επεξεργασία με όζον, κιτρικό οξύ και όζον με προσθήκη κιτρικού οξέος δεν επηρέασαν στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) τους μύκητες και τις ζύμες συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Οι Cullen et al (2010) ανέφεραν ότι οι μύκητες και οι ζύμες είναι πιο ανθεκτικοί στο όζον από τα βακτήρια εξαιτίας της διαφορετικής δομής της μεμβράνης. Σε προηγούμενη μελέτη (Alexopoulos et al 2013) βρέθηκε ότι η ελάττωση των κολοβακτηριδίων στα μαρούλια (2,47 log) και στις πιπεριές (3,66 log) ήταν μεγαλύτερη από την ελάττωση των μυκήτων και των ζυμών στα ίδια τα προϊόντα μετά την επεξεργασία με οζονισμένο νερό για ίδιο χρονικό διάστημα. Οι Selma et al (2008), επίσης ανέφεραν ότι η ελάττωση της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας σε αντίδι, καρότο και σπανάκι ήταν 6 log μετά από 20 min επεξεργασίας με όζον, ενώ η ελάττωση των μυκήτων και των ζυμών ήταν 2 και 3 log αντίστοιχα.



Διάγραμμα 9β. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στον πληθυσμό των μυκήτων και ζυμών του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Οι Rahman et. al. (2011), βρήκαν επίσης ότι η εμβάπτιση καρότων σε διάλυμα κιτρικού οξέος συγκέντρωσης 1% w/v στους 20° C για 3 min ελάττωσε τους μύκητες και τις ζύμες κατά 2,24 log₁₀ c.f.u./g. Οι Aguayo et al (2006), βρήκαν ότι η χρήση όζοντος σε συγκέντρωση 4 μl/l ελάττωσε την ολική μεσόφιλη χλωρίδα κατά 1,07 λογαριθμικές μονάδες, ενώ ελάττωσε κατά 0,5 λογαριθμικές μονάδες τους μύκητες και τις ζύμες. Σε προηγούμενη μελέτη οι Aguayo et al (2004), ανέφεραν ελαττώσεις κατά 3,6, 1,8 και 1,4 λογαριθμικές μονάδες στους πληθυσμούς της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας, των μυκήτων και των ζυμών αντίστοιχα. Οι Kim et al (1999), επίσης ανέφεραν ότι η βακτηριακή ελάττωση ήταν μεγαλύτερη από την μυκητιακή ελάττωση. Εντούτοις, οι Rice et al (1982) βρήκαν ότι οι ζύμες ήταν πιο ευαίσθητες στο όζον από τα βακτήρια και οι σπόροι των μυκήτων ήταν πιο ανθεκτικοί από τα βακτήρια. Κατά συνέπεια, για μεγαλύτερη αδρανοποίηση των μυκήτων και των ζυμών, απαιτούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όζοντος και χρόνοι έκθεσης σε αυτό.

Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με κιτρικό οξύ παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) χαμηλότερο πληθυσμό των Εντεροβακτηρίων συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Η επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 1,0 ppm δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) τον πληθυσμό των Εντεροβακτηρίων συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Την 12^η ημέρα της αποθήκευσης ο πληθυσμός των Εντεροβακτηρίων στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 1,0 ppm ήταν μεγαλύτερος συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα.



Διάγραμμα 9γ. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στον πληθυσμό των εντεροβακτηρίων του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Αυτές οι συγκεντρώσεις ήταν ανεπαρκείς για την αδρανοποίηση των Εντεροβακτηρίων στα φρεσκοκομμένα μαρούλια. Από την άλλη πλευρά η επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τον πληθυσμό των Εντεροβακτηρίων συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Οι Beltran et al (2005), ανέφεραν ελάττωση των κολοβακτηριδίων κατά 3,2 log σε φρεσκοκομμένα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με οζονισμένο νερό συγκριτικά με τα μαρούλια που πλύθηκαν με νερό. Ο πληθυσμός των κολοβακτηριδίων σε φρεσκοκομμένα μαρούλια συσκευασμένα υπό αέρα και ενεργητικά τροποποιημένη ατμόσφαιρα ήταν χαμηλότερος κατά 4,2 και 4,9 log συγκριτικά με τα μαρούλια που πλύθηκαν με νερό την 9^η ημέρα της αποθήκευσης αντίστοιχα. Οι Kumar et al (2011) ανέφεραν ότι η επεξεργασία με οζονισμένο νερό σε συγκέντρωση 3 μl/l για 180 sec σε φρεσκοκομμένο μαρούλι iceberg ελάττωσε τον πληθυσμό των Εντεροβακτηρίων συγκριτικά με τα μαρούλια που πλύθηκαν με νερό. Οι Baur et al (2004), ανέφεραν επίσης ότι μαρούλι iceberg που επεξεργάστηκε με οζονισμένο νερό σε συγκέντρωση 1 mg/l για 120 sec ελάττωσε κατά πολύ τον πληθυσμό των Εντεροβακτηρίων συγκριτικά με τα μαρούλια που πλύθηκαν με νερό. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα Εντεροβακτήρια είναι γενικά ευαίσθητα στην επεξεργασία με όζον διότι είναι Gram αρνητικά βακτήρια και έχουν λεπτότερο στρώμα πεπτιδογλυκάνης στο κυτταρικό τους τοίχωμα συγκριτικά με τα Gram θετικά (Zuma et al 2009). Η ευαισθησία των βακτηρίων στην επεξεργασία με όζον εξαρτάται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση και ο χρόνος έκθεσης στο όζον, η φυσική κατάσταση του όζοντος, η μέθοδος διανομής του όζοντος, η θερμοκρασία, το pH, η σχετική υγρασία, ο τύπος του προϊόντος, ο τύπος του μικροοργανισμού,

το μικροβιακό φορτίο, η θέση των μικροοργανισμών επάνω στο τρόφιμο και η φυσιολογική κατάσταση των κυττάρων (Rice 1999, Achen and Yousef 2001, Singh et al 2002a, Olmez and Akbas 2009). Στην παρούσα μελέτη δεν διαπιστώθηκε σημαντικά υψηλή μικροβιακή αδρανοποίηση με την χρήση αερίου όζοντος, ενώ σε προηγούμενες μελέτες με την χρήση οζονισμένου νερού υπό μορφή φυσαλίδων παρατηρήθηκε μεγαλύτερη μικροβιακή αδρανοποίηση. Είναι προφανές ότι ο ρυθμός μικροβιακής αδρανοποίησης είναι υψηλότερος στο οζονισμένο νερό υπό μορφή φυσαλίδων συγκριτικά με το αέριο όζον. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την θεωρία του φιλμ σύμφωνα με την οποία όταν το όζον υπάρχει υπό την μορφή φυσαλίδων στο νερό, σχηματίζεται ένα υγρό υμένιο στην μεσεπιφάνεια όζοντος-νερού, και το όζον είναι περισσότερο συμπυκνωμένο σε αυτό το υγρό υμένιο από ότι σε έναν όγκο υγρού και σε αέρια κατάσταση (Karaka & Velioglu 2014).

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Τα αποτελέσματα των χρωματικών παραμέτρων απεικονίζονται στους πίνακες 10α-10γ.

Στην χρωματική παράμετρο L^* παρατηρήθηκε μια ελάττωση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης οφειλόμενη στην οξείδωση των φαινολικών υποστρωμάτων που λαμβάνει χώρα κατά την ενζυμική αμαύρωση. Τα υπεύθυνα ένζυμα για την οξείδωση των φαινολικών υποστρωμάτων είναι η πολυφαινολοξειδάση και η υπεροξειδάση. Η υπεροξειδάση καταλύει την αντίδραση μεταφοράς δύο ατόμων υδρογόνου από το φαινολικό υπόστρωμα σε ένα μόριο υπεροξειδίου του υδρογόνου. Η πολυφαινολοξειδάση καταλύει την αντίδραση μονοφαινολών σε κινόνες σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο τα μονοφαινολικά υποστρώματα υδροξυλιώνονται σε διφαινολικά και στο δεύτερο στάδιο τα διφαινολικά υποστρώματα οξειδώνονται σε κινόνες. Η αντίδραση της υδροξυλίωσης είναι σχετικά βραδεία και καταλήγει στον σχηματισμό άχρωμων προϊόντων, ενώ η αντίδραση της οξείδωσης και τα προϊόντα της κίνονης είναι έγχρωμα. Στην συνέχεια οι κινόνες πολυμερίζονται και παράγουν τις μελανίνες οι οποίες είναι υπεύθυνες για το καφέ ή μαύρο χρώμα.

Πίνακας 10α. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην χρωματική παράμετρο L* του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Χρόνος (ημέρες)	L*							
	ctl	ctl+ca	0,5 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	0,5+ca	1,0+ca	1,5+ca
0	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69	48,83± 0,69
3	49,83± 0,76	51,2± 0,65	52,26± 0,34	52,5± 0,46	51,97± 0,53	51,52± 0,59	49,97± 0,67	49,16± 0,96
6	49,44± 0,91	51,05± 0,88	51,36± 0,63	48,74± 0,72	50,21± 0,77	48,33± 0,29	49,3± 0,48	48,73± 0,69
9	49,68± 0,61	50,51± 0,68	49,63± 0,82	48,08± 1,04	48,47± 0,54	47,75± 0,64	49,07± 1,02	48,41± 0,74
12	45,42± 0,49	48,99± 0,56	49,08± 0,89	47,32± 0,77	47,77± 0,64	46,96± 0,32	48,29± 1,02	47,47± 0,64

Καμία από όλες τις επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την χρωματική παράμετρο L* συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Η επεξεργασία με όζον αύξησε την χρωματική παράμετρο L* συγκριτικά τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην λευκαντική δράση του όζοντος που οφείλεται στην ισχυρή του οξειδωτική ικανότητα. Η λεύκανση αυτή επιτυγχάνεται είτε με απομάκρυνση της λιγνίνης ή με αποικοδόμηση της λιγνίνης. Ως συνέπεια αυτού, η ποσότητα του φωτός που απορροφάται ελαττώνεται και ο δείκτης διάθλασης αυξάνεται. Οι Aguayo et al (2006), ανέφεραν αύξηση της τιμής L* σε οζονισμένες ντομάτες μετά από 15 ημέρες αποθήκευσης. Οι Tiwari et al (2009), ανέφεραν επίσης αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L* σε οζονισμένες ντομάτες. Οι Tiwari et al (2008), ανέφεραν επίσης αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L* σε οζονισμένους πορτοκαλοχυμούς σε διάφορες συγκεντρώσεις όζοντος και χρόνους έκθεσης. Αντίθετα, οι Singh et al (2002a) και Olmez & Akbas (2009), παρατήρησαν δυσχρωματισμούς σε οζονισμένα μαρούλια. Δυσχρωματισμός σε οζονισμένο σπανάκι καταγράφηκε επίσης από τους Vurma et al (2009) and Klockow & Keener (2009). Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον και όζον με προσθήκη κιτρικού οξέος έδειξαν υψηλότερη τιμή L* καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης, οφειλόμενη στην ανασταλτική επίδραση του κιτρικού

οξέος στα ένζυμα αμαύρωσης όπως η πολυφαινολοξειδάση και η υπεροξειδάση (Jiang & Fu 1998, Whangchai et al 2006). Οι Goyeneche et al (2014), επίσης βρήκαν υψηλότερη τιμή L* σε τεμαχισμένο επεξεργασμένο με κιτρικό οξύ ραπανάκι συγκριτικά με το μη επεξεργασμένο.

Πίνακας 10β. Επίδραση του οξονισμού και του κιτρικού οξέος στην χρωματική παράμετρο a* του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Χρόνος (ημέρες)	a*							
	ctl	ctl+ca	0,5 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	0,5+ca	1,0+ca	1,5+ca
0	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45	-16,18± 0,45
3	-16,78± 0,56	-16,06± 0,37	-16,37± 0,76	-16,99± 0,62	-16,58± 0,89	-15,96± 0,92	-16,85± 0,46	-15,71± 0,57
6	-16,58± 1,07	-15,96± 0,87	-16,18± 0,75	-15,46± 0,52	-15,61± 0,69	-15,68± 0,96	-15,78± 0,85	-15,66± 0,35
9	-15,28± 1,03	-15,85± 0,54	-15,64± 0,48	-15,15± 0,65	-15,52± 0,38	-15,17± 0,83	-15,25± 0,76	-15,25± 0,44
12	-14,93± 0,61	-15,72± 0,87	-15,51± 0,57	-15,10± 0,97	-13,99± 0,76	-15,11± 0,67	-14,4± 0,55	-14,25± 0,87

Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου a* εξαιτίας της διάσπασης της χλωροφύλλης και της οξειδωσης των φαινολικών ενώσεων. Καμία από όλες τις επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την χρωματική παράμετρο a * συγκριτικά τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Οι Karaca & Veliloglu (2014) δεν παρατήρησαν επίσης σημαντική μεταβολή στην περιεκτικότητα της χλωροφύλλης σε επεξεργασμένο με αέριο όζον μαϊντανό. Οι Aguayo et al (2006) ανέφεραν ασημαντη μεταβολή στην περιεκτικότητα του λυκοπενίου σε επεξεργασμένες με αέριο όζον ολόκληρες και τεμαχισμένες ντομάτες. Επιπλέον, οι Keutgen & Pawelzik (2008) και Barth et al (1995), ανέφεραν ότι το όζον δεν επηρέασε την περιεκτικότητα των ανθοκυανινών σε φράουλες και βατόμουρα αντίστοιχα. Στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm παρατηρήθηκε μεγαλύτερη αύξηση στην χρωματική παράμετρο a* συγκριτικά με τα ανεπεξέργαστα μαρούλια πιθανώς λόγω της οξειδωτικής ικανότητας του όζοντος σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm έδειξαν μια

μικρότερη αύξηση στην χρωματική παράμετρο a^* . Αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να αποδοθεί στην αναστολή των ενζύμων αμαύρωσης όπως η πολυφαινολοξειδάση και η υπεροξειδάση σε χαμηλές συγκεντρώσεις όζοντος (Rico et al 2006). Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με κιτρικό οξύ έδειξαν μικρότερη αύξηση στην χρωματική παράμετρο a^* συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια.

Πίνακας 10γ. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην χρωματική παράμετρο b^* του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

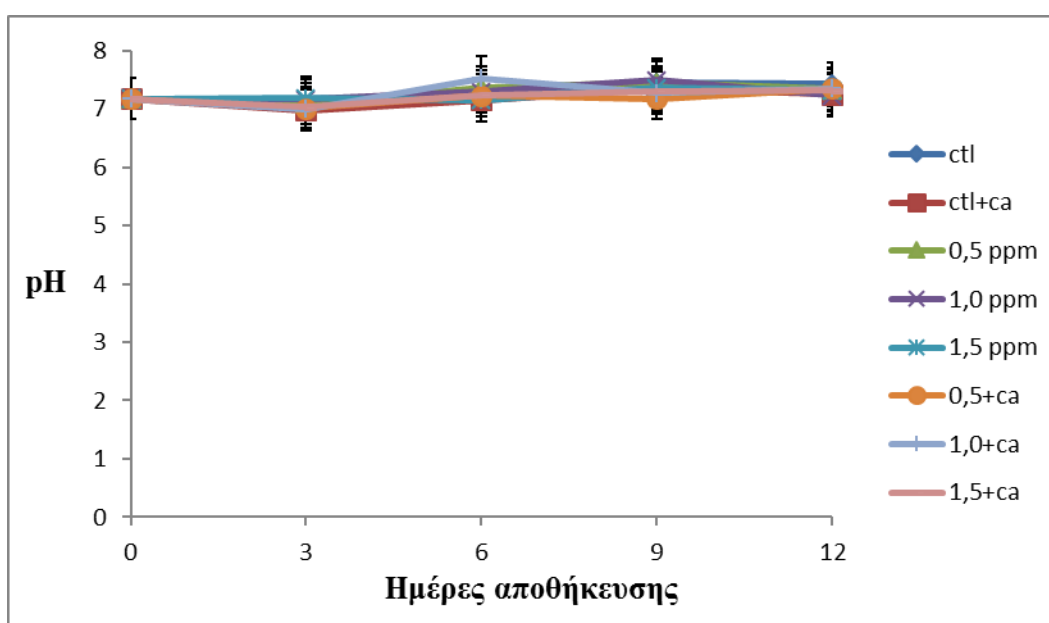
Χρόνος (ημέρες)	b^*							
	ctl	ctl+ca	0,5 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	0,5+ca	1,0+ca	1,5+ca
0	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54	35,33± 0,54
3	37,86± 0,66	36,99± 0,78	36,75± 0,88	37,74± 0,45	37,46± 0,52	35,18± 0,63	37,82± 0,89	35,24± 0,32
6	37,57± 0,56	35,81± 1,03	36,43± 0,98	35,68± 0,75	35,66± 0,68	35,10± 0,59	35,79± 0,42	34,80± 0,81
9	33,95± 0,62	35,79± 0,81	35,15± 0,77	33,84± 0,63	33,74± 0,47	34,84± 0,92	35,34± 0,57	34,64± 0,64
12	33,86± 0,54	35,50± 0,67	34,14± 0,78	32,96± 0,43	33,11± 0,83	33,99± 0,58	31,96± 0,67	32,83± 1,04

Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου b^* εξαιτίας της οξειδωσης των καροτενίων. Καμία από όλες τις επεξεργασίες που εφαρμόστηκαν δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p>0,05$, $F<F_{\text{κριτήριο}}$) την χρωματική παράμετρο b^* συγκριτικά τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Στο τέλος της αποθήκευσης οι τιμές b^* των μαρουλιών που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm ήταν χαμηλότερες συγκριτικά με τις τιμές b^* του δείγματος αναφοράς. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην οξειδωτική επίδραση του όζοντος σε ακόρεστες ενώσεις όπως είναι τα καροτένια. Επίσης ίδια παρατήρηση καταγράφηκε και στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm με προσθήκη κιτρικού οξέος. Οι Aguayo et al (2006), κατέγραψαν επίσης μικρή ελάττωση στην χρωματική παράμετρο b^* σε ντομάτες που είχαν επεξεργαστεί με όζον σε συγκέντρωση 4 $\mu\text{l/l}$ την 15^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι Barth et al (1995), δεν παρατήρησαν

μεταβολές στην χρωματική παράμετρο b^* σε βατόμουρα που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,3 ppm. Οι Tiwari et al (2009), επίσης ανέφεραν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος η χρωματική παράμετρος b^* ελαττωνόταν σε ντομάτες. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν σε προηγούμενη μελέτη τους που εφαρμόστηκε σε πορτοκαλοχυμό (Tiwari et al 2008).

pH

Τα αποτελέσματα των τιμών του pH απεικονίζονται στο διάγραμμα 10.



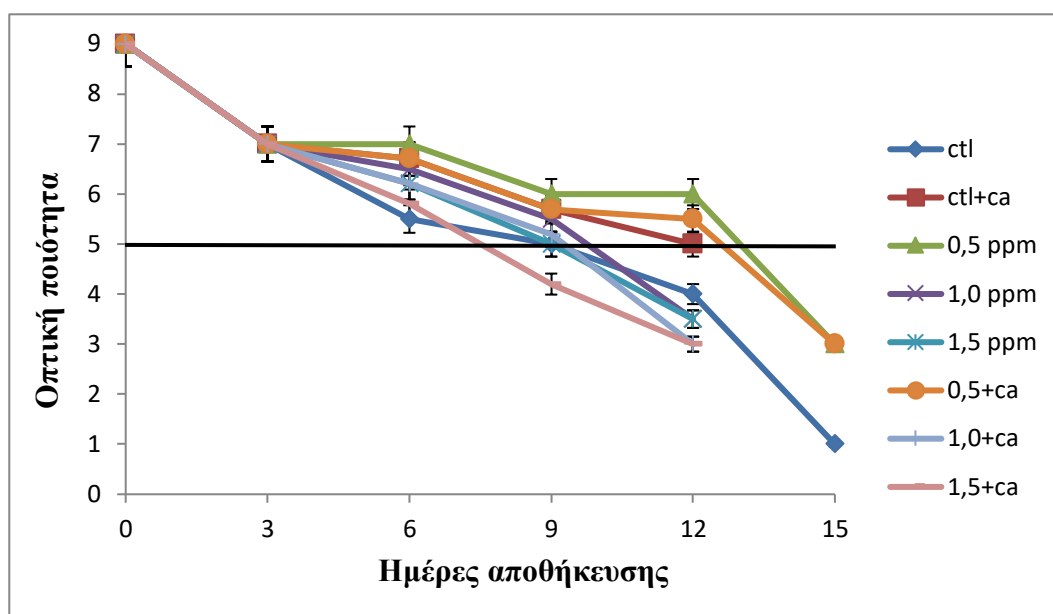
Διάγραμμα 10. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην τιμή του pH του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Στην τιμή του pH παρατηρήθηκε μια ελαφριά αύξηση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι King et al (1991) και Jacxsens et al (2003) ισχυρίζονται ότι η αύξηση του pH είναι αποτέλεσμα της παραγωγής βασικών ενώσεων από την διάσπαση πρωτεϊνών που πραγματοποιείται από τα Gram αρνητικά βακτήρια. Η τιμή του pH δεν μεταβλήθηκε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) σε καμία από αυτές τις μεταχειρίσεις συγκριτικά με τα ανεπεξέργαστα μαρούλια κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Alexander et al (2012) ανέφεραν επίσης μη σημαντικές μεταβολές στην τιμή του pH φράουλας που επεξεργάστηκε με υδατοειδές όζον συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Η εφαρμογή

επίσης άλλων οξειδωτικών μέσων όπως το διοξείδιο του χλωρίου σε μαρούλι και λάχανο δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στην τιμή του pH (Gomez-Lopez et al 2008).

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

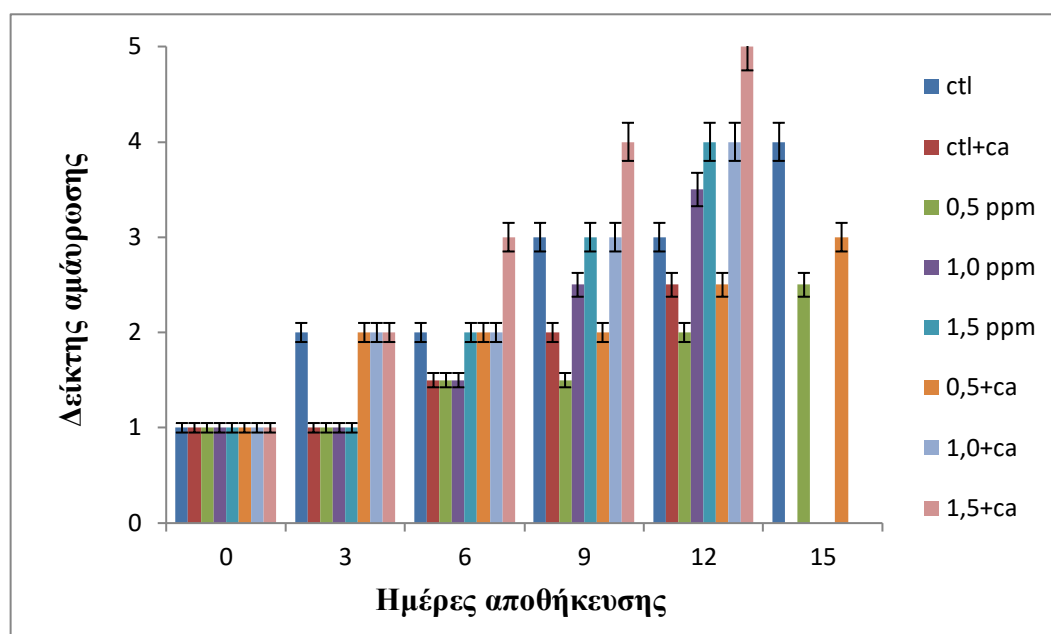
Τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται στα διαγράμματα 11α και 11β.



Διάγραμμα 11α. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην συνολική οπτική ποιότητα του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η συνολική οπτική ποιότητα είναι το κύριο χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται από τους καταναλωτές για την εκτίμηση της ποιότητας των φρούτων και των λαχανικών (Amerine 1965, Willocx 1995, Abbot 1999). Ο δείκτης αμαύρωσης είναι το βασικότερο ελάττωμα των ιστών και είναι υπεύθυνος για την υποβάθμιση της συνολικής οπτικής ποιότητας των προϊόντων σαλάτα. Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και 0,5 ppm με κιτρικό οξύ εμφάνισαν χαμηλότερο δείκτη αμαύρωσης συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Αντίθετα, τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm και 1,5 ppm και 1,0 ppm και 1,5 ppm με κιτρικό οξύ εμφάνισαν υψηλότερο δείκτη αμαύρωσης συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια ως απόδειξη της υψηλής οξειδωτικής ικανότητας του όζοντος. Επίσης, το κιτρικό οξύ συμπλοκοποιεί το μαγνήσιο του μορίου της χλωροφύλλης και μετατρέπει

την χλωροφύλλη σε γκρι-καφέ φαιοφυτίνη. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm. Παρόμοια αποτελέσματα επίσης βρήκαν και οι Beltran et al (2005), Olmez and Akbas (2009), Akbas and Olmez (2007) και Garcia et al (2003).



Διάγραμμα 11β. Επίδραση του οζονισμού και του κιτρικού οξέος στην αμάρωση των ιστών του μαρουλιού κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Ορισμένοι ερευνητές (Rico et al 2006) αποδίδουν την ικανότητα του όζοντος να διατηρεί τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μαρουλιού στην ανασταλτική επίδραση που ασκεί ενάντια στα ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την αμάρωση όπως η πολυφαινολοξειδάση και η υπεροξειδάση. Η επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm και 1,5 ppm παρουσίασε μια περισσότερο ταχεία υποβάθμιση στην συνολική οπτική ποιότητα των μαρουλιών οφειλόμενη πιθανώς στην ισχυρότερη οξειδωτική δράση του όζοντος σε υψηλές συγκεντρώσεις. Απώλεια χαρακτηριστικής οσμής δεν ανιχνεύτηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης.

Δεν υπήρχε καθαρή συσχέτιση μεταξύ των χρωματικών παραμέτρων και του οργανοληπτικού ελέγχου. Αυτή η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ των χρωματικών παραμέτρων και του οργανοληπτικού ελέγχου θα μπορούσε να αποδοθεί στην ύπαρξη ετερογένειας χρώματος στο μίγμα των φύλλων γεγονός που αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Sascha et al 2004, Rico et al 2006). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι ο οργανοληπτικός έλεγχος είναι περισσότερο αξιόπιστος από τις χρωματικές παραμέτρους.

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στην παρούσα διατριβή ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν ημιποσοτικά οι πτητικές ενώσεις δειγμάτων μαρουλιού, με την τεχνική της μικροεκχύλισης δια της στερεάς φάσης σε συνδυασμό με GC-MS.

Τα αποτελέσματα των πτητικών συστατικών δίνονται στους πίνακες 11α-11η.

Αλδεΐδες :

Οι αλδεΐδες που βρέθηκαν είναι : 2-μέθυλο προπανάλη, 3-μέθυλο βουτανάλη, 2-μέθυλο βουτανάλη, n-εξανάλη, trans-2-εξενάλη, 2,4-επταδιενάλη, εννεανάλη, δεκανάλη και b-κυκλοκιτράλη. Η 3-μέθυλο βουτανάλη και η 2-μέθυλο βουτανάλη προέρχονται από την ισολευκίνη και την λευκίνη (Baldwin et al 2000). Η αύξηση της δραστηριότητας της ακυλοϋδρολάσης επιταχύνει την απελευθέρωση του λινελαϊκού και του λινολενικού οξέος, υποστρωμάτων για την λιποξυγενάση υπό οξειδωτικές συνθήκες (Paliyath & Droillard 1992). Η αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης θα μπορούσε να επιτρέψει την οξείδωση του λινελαϊκού και του λινολενικού οξέος από το ένζυμο λιποξυγενάση παρουσία οξυγόνου δημιουργώντας υδροϋπεροξειδία τα οποία θα μπορούσαν να καταλήξουν στο σχηματισμό ενώσεων όπως αλδεΐδες με 6 άτομα άνθρακα (Chin & Lindsay 1993, Charron & Cantliffe 1995, Belitz et al 2004). Η trans-2-εξενάλη είναι αλδεΐδη που προέρχεται από τον κύκλο της λιποξυγενάσης και είναι ένωση κλειδί για το άρωμα του μαρουλιού (Arey et al 1991, Charron et al 1996). Οι Poll et al (2006) αναφέρουν ότι οι αλδεΐδες σε χαμηλές συγκεντρώσεις συνεισφέρουν στο χαρακτηριστικό άρωμα, αλλά σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητο άρωμα.

Η συγκέντρωση της trans-2-εξενάλης ελαττώνεται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η προσθήκη του κιτρικού οξέος αύξησε το ρυθμό ελάττωσης της trans-2-εξενάλης. Η εφαρμογή αερίου όζοντος σε όλες τις συγκεντρώσεις ελάττωσε την συγκέντρωση της trans-2-εξενάλης. Επίσης ίδια παρατήρηση καταγράφηκε και στην συνδυασμένη εφαρμογή αερίου όζοντος και κιτρικού οξέος. Η ελάττωση αυτή πιθανώς να οφείλεται στην οξειδωτική επίδραση του όζοντος στους ακόρεστους υδρογονάνθρακες. Στα δείγματα αναφοράς παρατηρήθηκε μια ελάττωση της συγκέντρωσης της 3-μέθυλο βουτανάλης, της εννεανάλης και της δεκανάλης. Η εφαρμογή όζοντος σε συγκέντρωση 0,5 ppm προκάλεσε αύξηση της συγκέντρωσης της 3-μέθυλο βουτανάλης και της εννεανάλης ενώ, προκάλεσε ελάττωση στην

συγκέντρωση της δεκανάλης. Στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm δεν ανιχνεύτηκε η 3-μέθυλο βουτανάλη την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης, ενώ προκλήθηκε μεγαλύτερη ελάττωση στις συγκεντρώσεις της εννεανάλης και της δεκανάλης. Η συγκέντρωση της 2-μέθυλο βουτανάλης αυξήθηκε κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στα δείγματα αναφοράς ενώ, στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm παρατηρήθηκε μια μεγαλύτερη αύξηση της συγκέντρωσής της. Στα μαρούλια που οξονίστηκαν σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm παρατηρήθηκε μια μεγαλύτερη ελάττωση της συγκέντρωσής της, ενώ δεν ανιχνεύτηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης.

Ο συνδυασμός κιτρικού οξέος και όζοντος σε όλες τις συγκεντρώσεις, προκάλεσε μια μεγαλύτερη ελάττωση στις συγκεντρώσεις της 3-μέθυλο βουτανάλης και της 2-μέθυλο βουτανάλης, ενώ στα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με κιτρικό οξύ και όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm αυτές δεν ανιχνεύτηκαν την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η συγκέντρωση της εννεανάλης ελαττώθηκε κατά την επεξεργασία με κιτρικό οξύ και όζον σε συγκεντρώσεις 0,5 και 1,0 ppm ενώ, κατά την εφαρμογή κιτρικού οξέος και όζοντος σε συγκέντρωση 1,5 ppm δεν ανιχνεύτηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην συγκέντρωση της δεκανάλης.

Αλκοόλες :

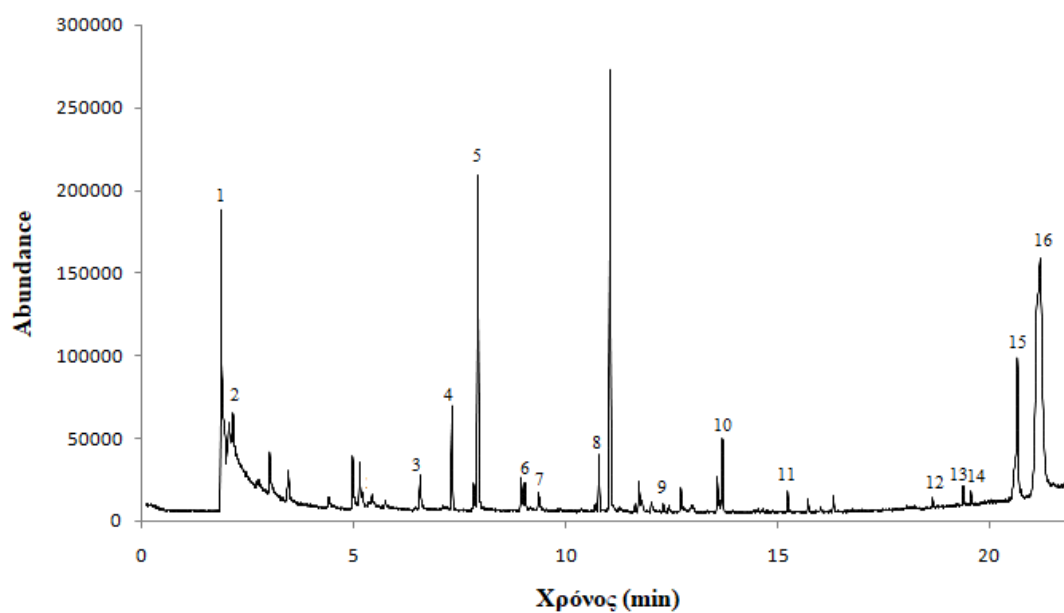
Οι αλκοόλες που βρέθηκαν είναι : 1-πεντεν-3-όλη και 3-μέθυλο-1-βουτανόλη. Η 3-μέθυλο-1-βουτανόλη παράγεται μέσω ενζυμικών αντιδράσεων από το αμινοξύ λευκίνη (Yu et al 1968, Tressl & Drawert 1973, Baldwin et al 1991).

Κετόνες :

Από τις κετόνες βρέθηκε μόνο η β-ιονόνη. Η β-ιονόνη παράγεται κατά την οξειδωτική υποβάθμιση του β-καροτένιου (Cole et al 1957, Buttery & Ling 1993, Simkin et al 2004). Η συγκέντρωση της β-ιονόνης ελαττώθηκε κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Τερπένια :

Από τα τερπένια βρέθηκε μόνο το α-πινένιο. Το α-πινένιο προσδιορίστηκε στην τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η εφαρμογή του κιτρικού οξέος, του αερίου όζοντος και η συνδυασμένη εφαρμογή αυτών αύξησε την συγκέντρωση του α-πινενίου σε σχέση με αυτήν του δείγματος αναφοράς.



Σχήμα 2. Αντιπροσωπευτικό χρωματογράφημα πτητικών συστατικών μαρούλιού.

Πίνακας 11α. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα ανεπεξέργαστα μαρούλια.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	467,19±2,45	1579,71±5,34
2	2-μέθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	n.d.	137,72±4,32
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	380,69±3,56	395,99±3,22
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	377,90±3,89	450,52±3,12
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	119,68±2,68	n.d.
6	3-μέθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	n.d.
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	102,54±2,44	n.d.
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	295,59±2,67	292,44±2,12
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	59,23±1,94
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	315,12±2,76	521,26±2,27
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	183,18±3,22	n.d.

13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	106,34±2,56	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	93,34±1,89	72,37±3,21
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	105,47±1,78	74,30±2,89
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	242,07±1,69	692,94±2,78

Πίνακας 11β. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με κιτρικό οξύ μαρούλια.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	595,09±2,18	1207,00±3,34
2	2-μέθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	119,26±1,45	124,19±2,42
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	319,40±2,56	276,33±3,12
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	426,14±5,12	364,25±4,55
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	n.d.	98,62±4,65
6	3-μέθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	n.d.
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	178,26±3,21	111,33±1,98
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	284,35±3,54	258,66±2,34
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	68,19±3,55
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	656,02±4,22	356,49±3,23
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	383,69±2,78	n.d.
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	143,05±2,78	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	n.d.	n.d.
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	n.d.	n.d.
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	567,65±4,12	166,31±2,82

Πίνακας 11γ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον μαρούλια σε συγκέντρωση 0,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	1167,12±5,32	1338,32±4,22
2	2-μέθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	n.d.	212,79±2,33
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	481,67±2,56	526,09±2,15
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	399,09±3,21	896,37±3,56
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	n.d.	110,24±1,55
6	3-μέθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	141,42±1,67
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	254,09±4,52	n.d.
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	233,69±3,45	175,72±2,24
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	64,31±1,12
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	116,95±4,45	192,61±2,25
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	314,64±3,23	n.d.
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	121,29±2,44	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	85,43±1,14	55,77±1,08
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	n.d.	n.d.
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	n.d.	n.d.

Πίνακας 11δ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον μαρούλια σε συγκέντρωση 1,0 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	1144,93±5,22	2093,61±3,94

2	2-μεθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	n.d.	n.d.
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	496,86±3,17	n.d.
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	345,91±2,45	n.d.
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	240,07±2,21	282,02±2,43
6	3-μεθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	100,22±1,78	n.d.
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	219,15±3,11	n.d.
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	151,74±1,87	n.d.
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	103,22±2,12
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	260,31±2,33	143,91±2,78
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	170,69±3,42	n.d.
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	96,22±2,54	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	99,48±1,89	n.d.
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	236,56±2,67	118,76±2,76
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	n.d.	n.d.

Πίνακας 11ε. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα με αέριο όζον μαρούλια σε συγκέντρωση 1,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	2133,68±3,67	684,74±3,55
2	2-μεθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	198,52±2,54	n.d.
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	139,51±2,67	n.d.
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	247,01±2,31	n.d.
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	119,36±3,18	162,64±2,43

6	3-μεθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	179,32±3,27	132,53±2,17
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	n.d.	n.d.
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	n.d.	n.d.
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	75,11±4,19	51,24±1,75
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	370,44±3,38	n.d.
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	78,17±2,89	n.d.
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	51,86±1,92	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	103,24±1,34	62,66±2,78
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	93,98±1,13	90,90±1,45
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	n.d.	n.d.

Πίνακας 11στ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα μαρούλια με κιτρικό οξύ και αέριο όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	638,16±2,29	283,56±3,15
2	2-μεθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	n.d.	n.d.
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	518,35±3,17	112,49±2,67
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	506,92±1,65	204,64±4,09
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	176,72±1,88	86,66±1,23
6	3-μεθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	n.d.
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	623,81±2,72	244,43±2,53
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	247,16±4,29	n.d.

10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	94,05±1,43
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	696,58±1,97	113,23±1,32
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	288,71±2,18	185,20±1,59
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	51,86±1,69	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	256,29±2,38	n.d.
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	276,00±2,85	51,25±1,49
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	489,97±3,36	182,12±2,70

Πίνακας 11ζ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα μαρούλια με κίτρικό οξύ και αέριο όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	1392,84±2,62	225,39±2,45
2	2-μέθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	264,97±2,16	n.d.
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	638,95±1,99	121,97±2,34
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	674,73±3,59	163,43±1,76
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	167,45±4,19	65,01±1,21
6	3-μεθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	71,85±2,17
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	η-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	297,00±5,22	68,67±2,36
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	230,99±1,76	n.d.
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	79,29±1,84
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	659,60±4,18	n.d.
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	317,89±3,54	81,87±1,43
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	88,63±3,24	n.d.

14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	101,59±2,67	n.d.
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	107,53±1,88	30,31±1,05
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	n.d.	n.d.

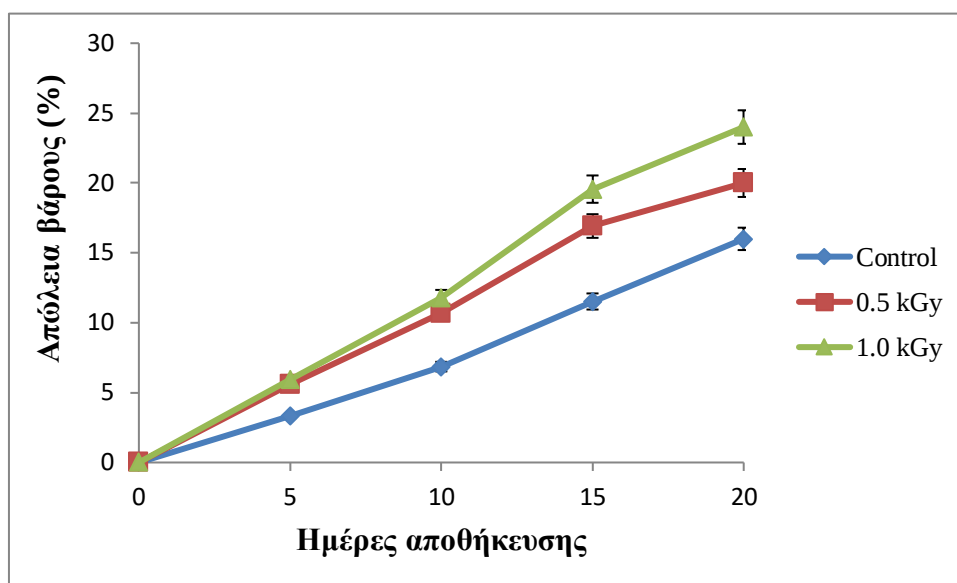
Πίνακας 11η. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στα επεξεργασμένα μαρούλια με κιτρικό οξύ και αέριο όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	6 d	12 d
1	Διμέθυλο σουλφίδιο	3,27	<800	383,71±2,27	603,91±3,23	172,75±1,29
2	2-μεθυλο προπανάλη	3,91	<800	n.d.	159,09±2,45	n.d.
3	3-μέθυλο βουτανάλη	6,63	<800	504,09±1,39	344,55±2,24	n.d.
4	2-μέθυλο βουτανάλη	6,92	<800	397,94±1,58	287,93±2,09	n.d.
5	1-πεντεν-3-όλη	7,44	<800	n.d.	141,15±1,85	67,77±0,98
6	3-μεθυλο-1-βουτανόλη	8,99	<800	n.d.	n.d.	n.d.
7	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	9,11	<800	320	320	320
8	n-εξανάλη	10,77	<800	234,35±1,17	214,78±2,65	439,50±1,26
9	Trans-2-εξενάλη	12,11	<800	305,32±3,22	n.d.	n.d.
10	α-πινένιο	14,01	862	n.d.	n.d.	80,08±0,86
11	2,4-επταδιενάλη	15,14	905	188,41±2,14	296,98±3,42	187,71±1,16
12	Εννεανάλη	17,05	1016	265,54±1,88	107,68±1,14	n.d.
13	Δεκανάλη	18,72	1060	165,64±1,74	n.d.	n.d.
14	β-κυκλοκιτράλη	19,21	1137	104,56±2,56	191,11±1,37	71,02±0,79
15	β-ιονόνη	22,88	1264	128,25±1,48	177,82±1,53	27,47±0,83
16	1,2-βενζοδικαρβοξυλικό οξύ	24,17	1334	1920,42±1,63	n.d.	n.d.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΟΝΙΖΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (γ-ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ) ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

Τα αποτελέσματα της απώλειας βάρους φαίνονται στο διάγραμμα 12.



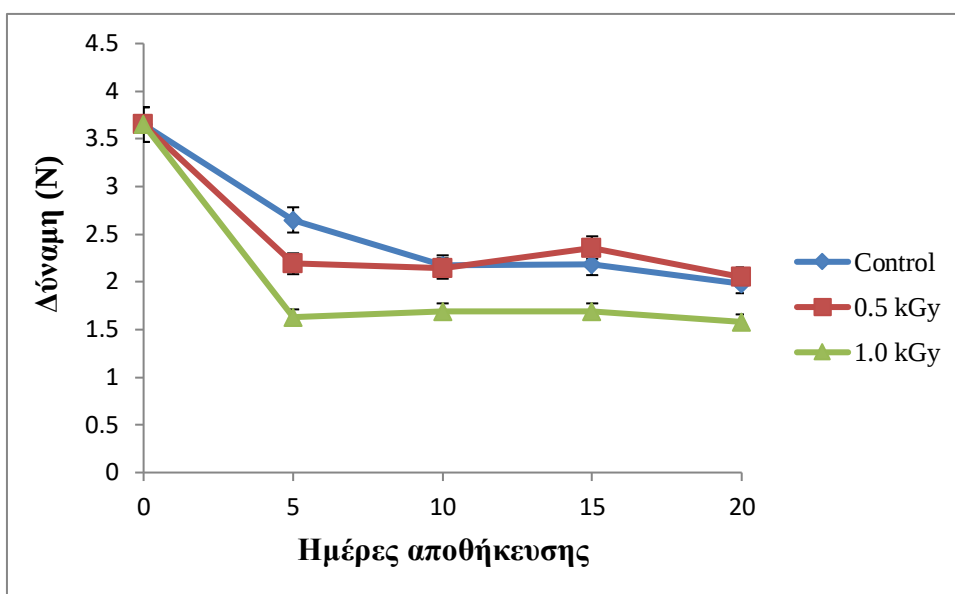
Διάγραμμα 12. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην απώλεια βάρους της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η απώλεια βάρους αυξάνεται σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, γεγονός που οφείλεται στην διαπνοή της φράουλας. Ο ρυθμός της διαπνοής εξαρτάται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας. Η ακτινοβολήση και στις 2 δόσεις που μελετήθηκαν αύξησε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την απώλεια βάρους συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Η απώλεια βάρους ήταν μεγαλύτερη στις φράουλες που επεξεργάστηκαν στα 1,0 kGy συγκριτικά με τις φράουλες που επεξεργάστηκαν στα 0,5 kGy. Η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy και στα 1,0 kGy αύξησε την απώλεια βάρους κατά 23% και 32,43% αντίστοιχα την 20^η ημέρα της αποθήκευσης. Ο Al-Bachir (1999) βρήκε επίσης ότι η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy του επιτραπέζιου σταφυλιού της ποικιλίας Baladi αύξησε την απώλεια βάρους συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς. Εντούτοις, η ακτινοβολήση αυτής της ποικιλίας στα 1,0 kGy δεν επηρέασε την απώλεια βάρους. Υπάρχουν

επίσης μελέτες που καταγράφουν μικρότερη απώλεια βάρους σε ακτινοβολημένα προϊόντα (Benoit et al 2000, Boynton et al 2005 & Hussain et al 2008) που οφείλεται στον χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της αντοχής στη διάτρηση δίνονται στο διάγραμμα 13.



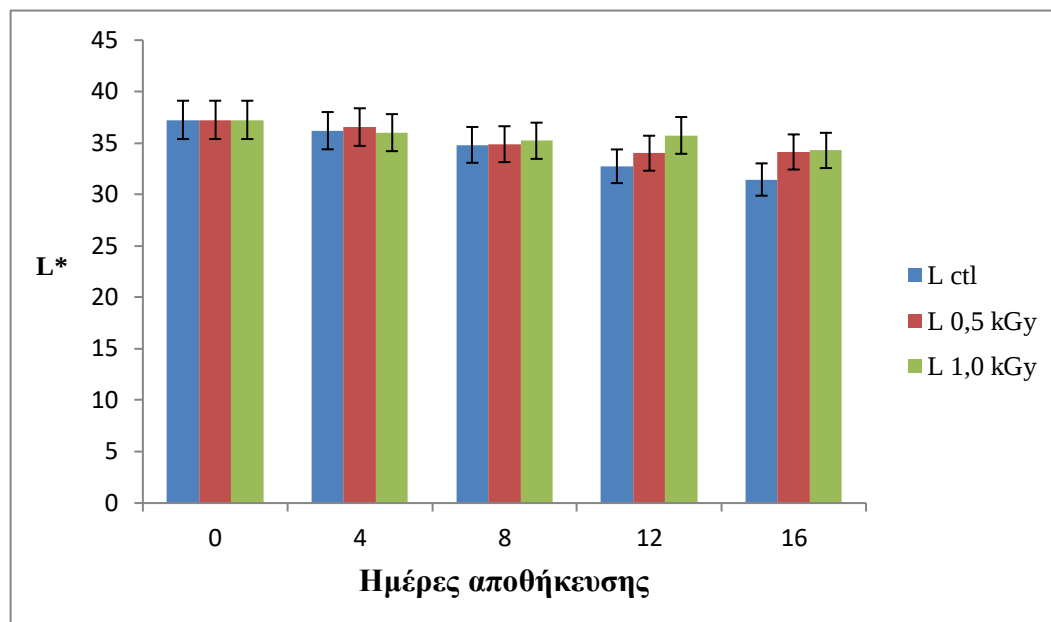
Διάγραμμα 13. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην αντοχή στη διάτρηση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην αντοχή στη διάτρηση σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ'όλη την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ενζυμικής διάσπασης των πηκτινών από το ένζυμο πολυγαλακτουρονάση που συμβαίνει κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την αντοχή στη διάτρηση, ενώ παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) ελάττωση στην αντοχή στη διάτρηση στις φράουλες που επεξεργάστηκαν στο 1,0 kGy συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτή η επίδραση πιθανώς αποδίδεται στην υδρόλυση του πολυγαλακτουρονικού οξέος και την κυτταρίνης του κυτταρικού τοιχώματος των κυττάρων της φράουλας από την γ-ακτινοβολία γεγονός που αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Maxie and Kader 1966, Echandi et al 1970, d'Amour et al 1993). Οι Jouki & Khazaei (2014) ανέφεραν επίσης χαμηλότερη αντοχή στη διάτρηση σε φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες που ήταν

συσκευασμένες υπό συνθήκες αέρα και υπό ενεργητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Sabato et al (2009), ανέφεραν επίσης χαμηλότερη αντοχή στη διάτρηση σε μάνγκο που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα. Ανάλογα αποτελέσματα έχουν επίσης αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Frylinck et al 1987, Gagnon et al 1993, Moreno et al 2006).

ΧΡΩΜΑ

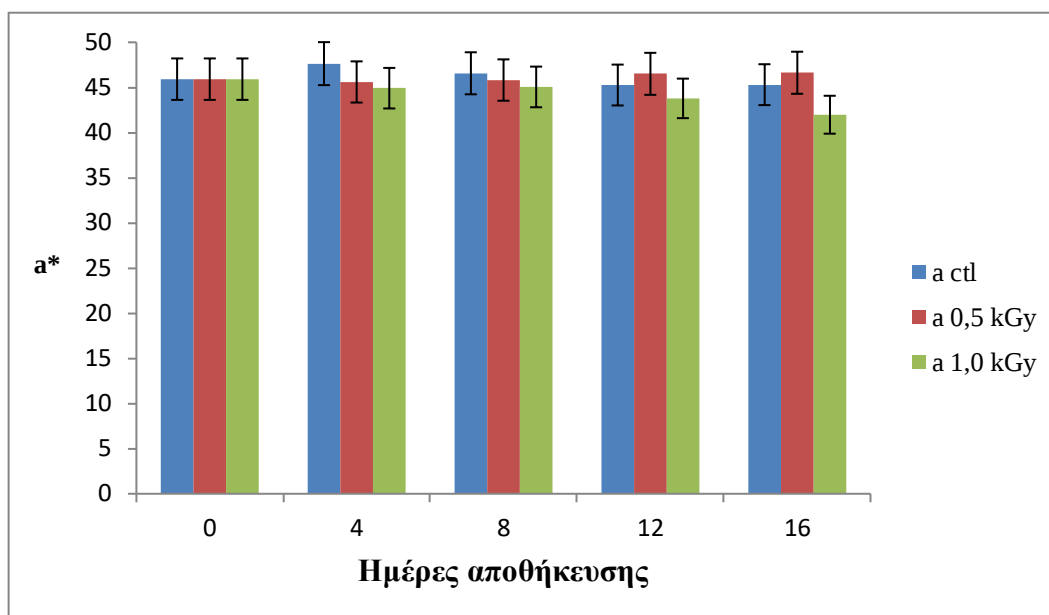
Τα αποτελέσματα των χρωματικών παραμέτρων απεικονίζονται στα διαγράμματα 14α-14γ.



Διάγραμμα 14α. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην χρωματική παράμετρο L^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην παράμετρο L^* σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η ελάττωση της παραμέτρου L^* οφείλεται στην οξείδωση των φαινολικών ενώσεων από ένζυμα αμαύρωσης παρουσία οξυγόνου. Αυτή η ελάττωση ήταν μικρότερη στις ακτινοβολημένες φράουλες σε σχέση με τις μη ακτινοβολημένες. Η ακτινοβολήση και στις 2 δόσεις που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή αύξησε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την παράμετρο L^* συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Οι Naresh et al (2015) βρήκαν ότι ο ακτινοβολημένος χυμός μάνγκο είχε υψηλότερη τιμή L^* σε σχέση με τον μη ακτινοβολημένο. Οι Shahbaz et al (2014) επίσης ανέφεραν ότι η

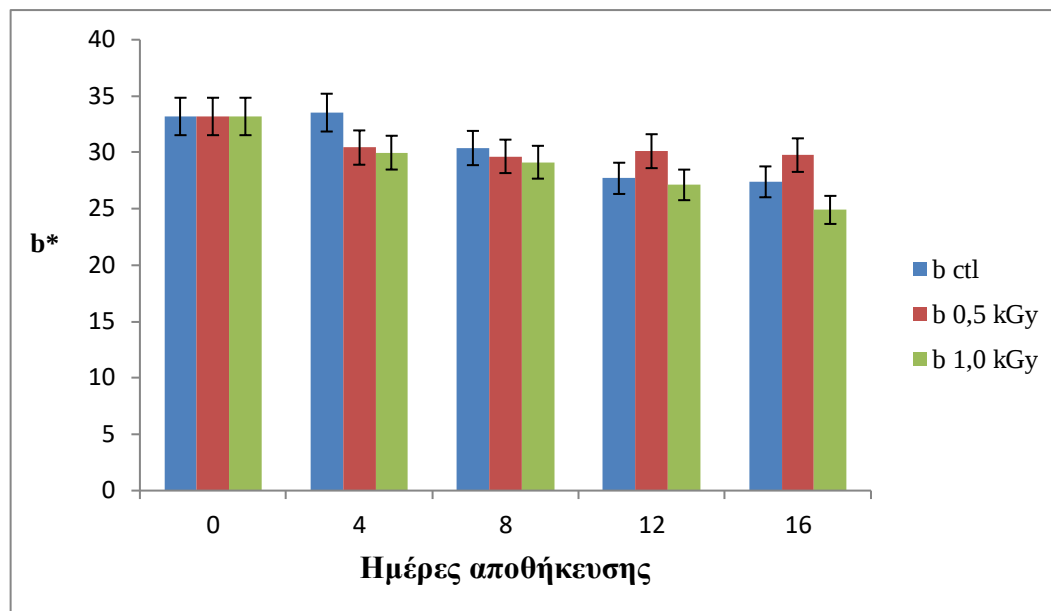
χρωματική παράμετρος L^* ελαττωνόταν σημαντικά καθώς η δόση της ακτινοβολίας αυξανόταν σε χυμό ροδιού. Οι Lee et al (2009) ανέφεραν επίσης ότι οι τιμές της παραμέτρου L^* σε χυμό οξυφοίνικα αυξάνονταν σημαντικά με την ακτινοβολήση. Σε μελιτζάνες που ακτινοβολήθηκαν σε δόσεις 0,5 kGy και 1,0 kGy παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές L^* σε σχέση με τις μη ακτινοβολημένες μελιτζάνες (Hussain et al 2014). Οι Arjeh et al (2015) βρήκαν υψηλότερες τιμές L^* σε ακτινοβολημένο χυμό κερασιού σε σχέση με τον μη ακτινοβολημένο χυμό.



Διάγραμμα 14β. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην χρωματική παράμετρο a^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η παράμετρος a^* δεν μεταβλήθηκε κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στις μη ακτινοβολημένες φράουλες και στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 0,5 kGy. Στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην παράμετρο a^* την 12^η και την 16^η ημέρα της αποθήκευσης. Η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την παράμετρο a^* συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Εντούτοις, παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) επίδραση στην παράμετρο a^* στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy. Οι Naresh et al (2015) βρήκαν ότι οι τιμές της παραμέτρου a^* αυξάνονταν με την δόση της ακτινοβολίας. Οι Shahbaz et al (2014) ανέφεραν επίσης ότι οι τιμές της παραμέτρου a^* σε χυμό ροδιού αυξάνονταν καθώς η δόση της ακτινοβολήσης αυξανόταν. Οι Lee et al (2009) βρήκαν ότι οι τιμές της παραμέτρου a^* ελαττώνονταν σημαντικά με την εφαρμογή ακτινοβολήσης σε χυμό οξυφοίνικα. Σε μελιτζάνες που ακτινοβολήθηκαν σε δόσεις 0,5 kGy και 1,0 kGy

παρατηρήθηκαν χαμηλότερες τιμές της παραμέτρου a^* σε σχέση με τις μη ακτινοβολημένες μελιτζάνες (Hussain et al 2014). Οι Arjeh et al (2015) βρήκαν χαμηλότερες τιμές a^* σε ακτινοβολημένο χυμό κερασιού σε σχέση με τον μη ακτινοβολημένο χυμό.



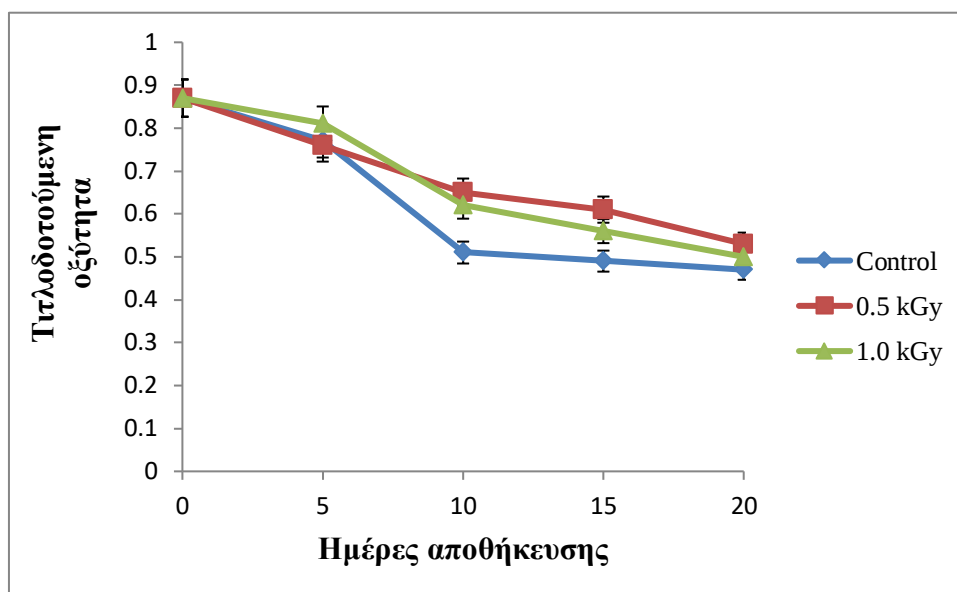
Διάγραμμα 14γ. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην χρωματική παράμετρο b^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση στην τιμή της χρωματικής παραμέτρου b^* σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτή η ελάττωση ήταν μικρότερη στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 0,5 kGy, ενώ στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy η ελάττωση ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την παράμετρο b^* συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Εντούτοις, παρατηρήθηκε μια στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) επίδραση στην παράμετρο b^* στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy. Οι Naresh et al (2015) βρήκαν ότι οι τιμές της παραμέτρου b^* αυξάνονταν με την δόση της ακτινοβολίας. Οι Shahbaz et al (2014) ανέφεραν ότι οι τιμές της παραμέτρου b^* σε χυμό ροδιού αυξάνονταν καθώς η δόση της ακτινοβολήσης αυξανόταν. Οι Lee et al (2009) βρήκαν ότι οι τιμές της παραμέτρου b^* ελαττώνονταν σημαντικά με την εφαρμογή ακτινοβολήσης σε χυμό ταμάρινδου. Σε μελιτζάνες που ακτινοβολήθηκαν σε δόσεις 0,5 kGy και 1,0 kGy παρατηρήθηκαν υψηλότερες τιμές της παραμέτρου b^* σε σχέση με τις μη ακτινοβολημένες μελιτζάνες (Hussain et al 2014). Οι Arjeh et al (2015) βρήκαν υψηλότερες

τιμές της παραμέτρου b^* σε ακτινοβολημένο χυμό κερασιού σε σχέση με τον μη ακτινοβολημένο χυμό.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Τα αποτελέσματα της τιτλοδοτούμενης οξύτητας απεικονίζονται στο διάγραμμα 15.



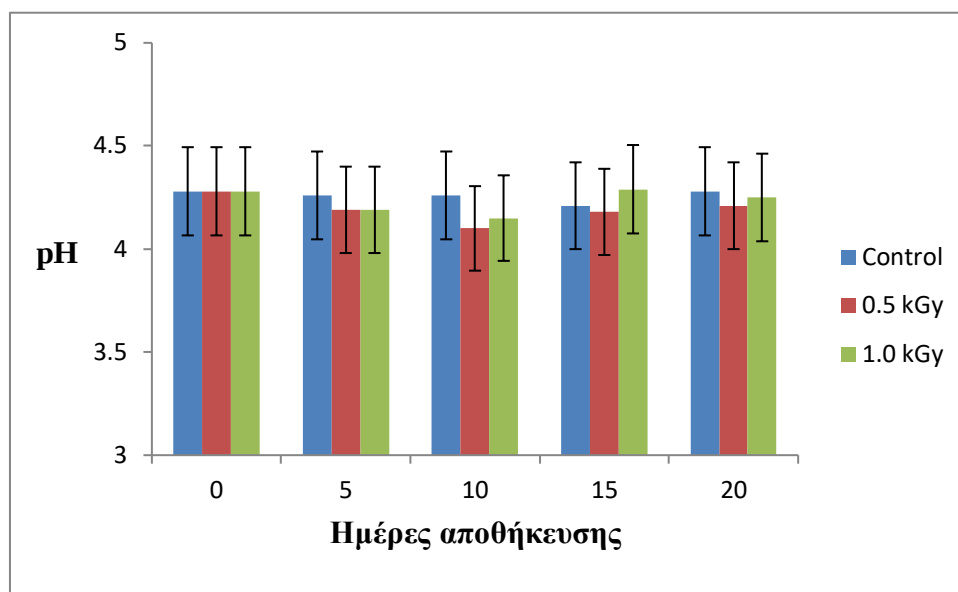
Διάγραμμα 15. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η ακτινοβολήση και στις 2 δόσεις που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή αύξησε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την τιτλοδοτούμενη οξύτητα συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Εντούτοις, οι Couture et al (1990), ανέφεραν στατιστικά μη σημαντικές μεταβολές στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε φράουλες που ακτινοβολήθηκαν σε δόσεις 0-4 kGy. Οι Bolyston et al (2002) βρήκαν στατιστικά μη σημαντική επίδραση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε επεξεργασμένη με ακτίνες X παπάγια, rambutans και πορτοκάλια kau gold. Σε ακτινοβολημένα μύρτιλα ‘Brigitta’ και σμέουρα ‘Maravilla’ σε δόσεις 0,15-1,00 kGy δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα (Golding et al 2014). Σε μύρτιλα που ακτινοβολήθηκαν σε χαμηλές δόσεις δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα (Miller et al 1994a, Miller & McDonald 1996). Οι Youssef et al (2002) ανέφεραν αύξηση στην

τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε πούλπα μάνγκο σε δόσεις 0-2 kGy. Οι Harder et al (2009) επίσης κατέγραψαν αύξηση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα στο νέκταρ ακτινιδίου σε δόση 0,5 kGy.

pH

Τα αποτελέσματα της τιμής του pH απεικονίζονται στο διάγραμμα 16.



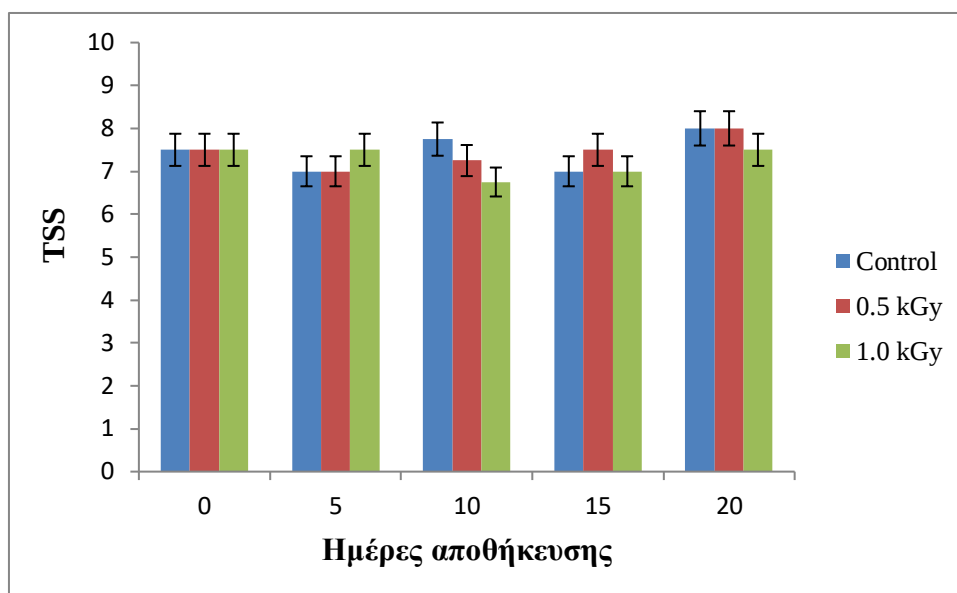
Διάγραμμα 16. Επίδραση της ακτινοβολήσης στην τιμή του pH της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Μέχρι την 8^η και 16^η ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελαφρά ελάττωση στην τιμή του pH στις ακτινοβολημένες και στις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) το pH στις φράουλες, ενώ η ακτινοβολήση στα 1,0 kGy δεν ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) το pH συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Οι Sabato et al (2009) ανέφεραν επίσης ότι η ακτινοβολήση σε μάνγκο σε δόσεις 0,4 kGy και 1,0 kGy προκάλεσε ελάττωση στο pH συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα φρούτα. Οι Couture et al (1990) ανέφεραν επίσης μη σημαντικές μεταβολές στο pH φράουλας που επεξεργάστηκε με γ-ακτινοβολία σε δόσεις 0-4 kGy. Οι Bolyston et al (2002) βρήκαν στατιστικά μη σημαντική επίδραση στο pH σε επεξεργασμένη με ακτίνες X παπάγια, rambutans και πορτοκάλια Kau Gold. Οι Naresh et al (2015) βρήκαν επίσης μη σημαντικές διαφορές στο pH μάνγκο που ακτινοβολήθηκαν σε δόσεις μέχρι 3 kGy. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν επίσης και οι Shahbaz et al (2014) στο pH ακτινοβολημένου χυμού ροδιού σε δόσεις 0.4 και 1.0 kGy. Οι Fan et al (2005) ανέφεραν ότι δεν

βρέθηκαν μεταβολές στο pH κομμένου μήλου μετά την ακτινοβόληση σε δόσεις 0,5 kGy και 1,0 kGy. Οι Miller & McDonald (1996) δεν ανέφεραν διαφορές στο pH μύρτιλων που επεξεργάστηκαν με γ-ακτινοβολία. Σε άλλη μελέτη οι Miller & McDonald (1999) βρήκαν ότι κατά την ακτινοβόληση χυμού παπάγια δεν παρατηρήθηκε μεταβολή στο pH. Οι Sadoughi et al (2012) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στο pH πουρέ κρεμμυδιού σε δόσεις 1-7 kGy. Οι Yu et al (1995) επίσης δεν κατέγραψαν διαφορές στο pH φράουλας που επεξεργάστηκε με ακτίνες ηλεκτρονίων μέχρι δόση 2,0 kGy.

ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ

Τα αποτελέσματα της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών στερεών απεικονίζονται στο διάγραμμα 17.



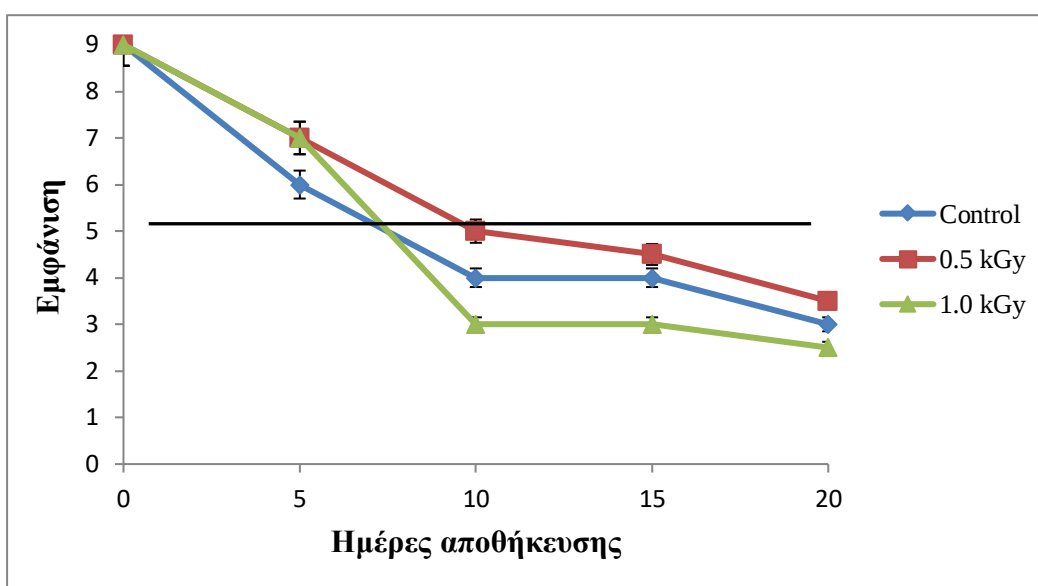
Διάγραμμα 17. Επίδραση της ακτινοβόλησης στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Τα ολικά διαλυτά στερεά αποτελούνται από σάκχαρα, ανόργανη ύλη, πρωτεΐνες, οργανικά οξέα κτλ. Μέχρι την 8^η ημέρα αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελάττωση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών που αποδίδεται στην κατανάλωση των σακχάρων που συμβαίνει κατά την αναπνευστική δραστηριότητα. Μετά την 8^η ημέρα αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελαφρά αύξηση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών, λόγω της συμπύκνωσης αυτών που προκαλείται από σημαντική απώλεια νερού γεγονός που αναφέρεται και από άλλους ερευνητές (Paul & Chen 1987, Kumar 1994, Lydakis & Aked 2003, Mahajan et al 2003, Ray et

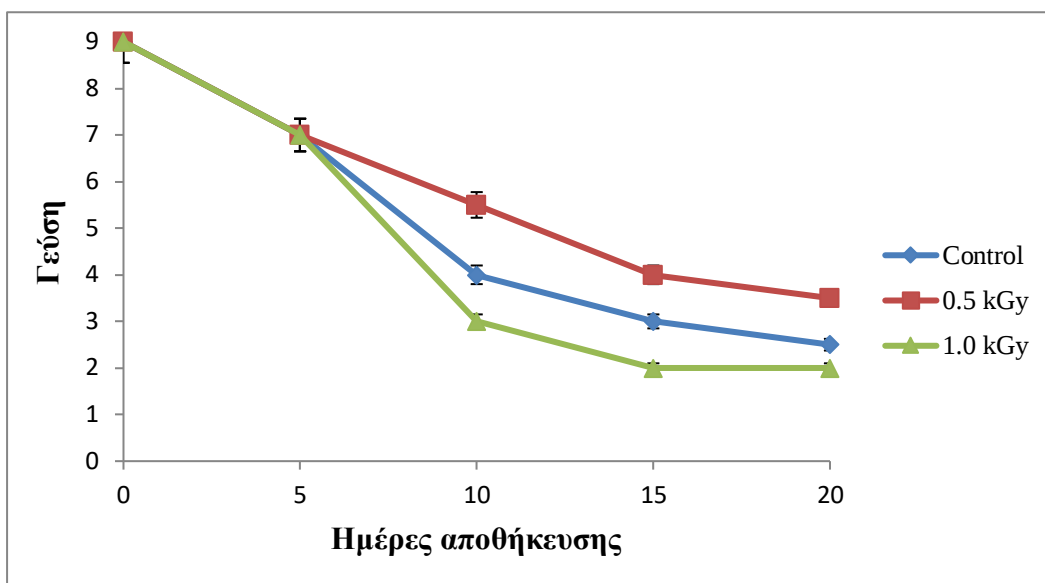
al 2004). Η ακτινοβόληση και στις 2 δόσεις που μελετήθηκαν στα πειράματα της παρούσας διατριβής δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) την περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε προηγούμενες μελέτες κατά την εφαρμογή χαμηλών δόσεων ιοντίζουσας ακτινοβολίας σε τρόφιμα φυτικής προέλευσης (Miller et al 1994a, Miller & McDonald 1996, Bolyston et al 2002, Prakash et al 2002, Fan et al 2005, Kim & Yook 2009, Sabato et al 2009, Hazare et al 2010, Sadoughi et al 2012, Pandey et al 2013, Majeed et al 2014, Golding et al 2014, Shahbaz et al 2014, Naresh et al 2015, Arjeh et al 2015).

ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

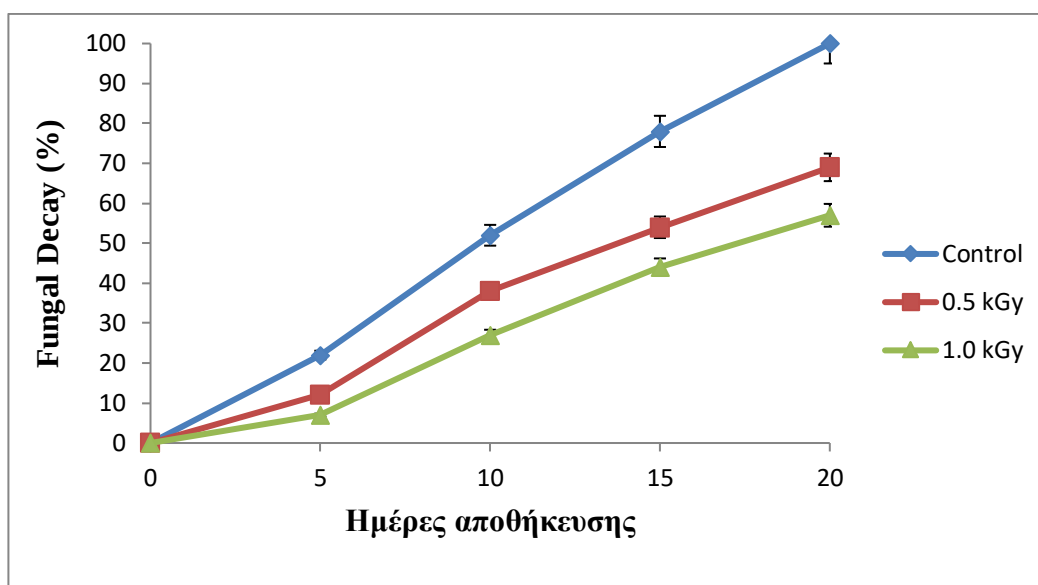
Τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται στα διαγράμματα 18α-18β.



Διάγραμμα 18α. Επίδραση της ακτινοβόλησης στην γενική εμφάνιση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 18β. Επίδραση της ακτινοβόλησης στην γεύση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 18γ. Επίδραση της ακτινοβόλησης στην μυκητιακή αποσύνθεση (fungal decay) της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η οπτική εμφάνιση των μη ακτινοβολημένων φραουλών έφτασε στο όριο της αποδοχής την 10^η ημέρα της αποθήκευσης. Ο ρυθμός υποβάθμισης της εμφάνισης των φραουλών που επεξεργάστηκαν στα 1,0 kGy ήταν ταχύτερος συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Ο μεγαλύτερος ρυθμός υποβάθμισης συνδέεται με την μεγαλύτερη ελάττωση του ινώδους συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Όπως έχει προαναφερθεί η πηκτίνη είναι

ευαίσθητη στην διάσπαση από την δράση της γ- ακτινοβολίας. Αυτή η υποβάθμισης καθιστά τις φράουλες ευαίσθητες στις μηχανικές βλάβες και την μικροβιακή προσβολή (Mahto & Das 2013). Αντίθετα, οι φράουλες που επεξεργάστηκαν στα 0.5 kGy παρουσίασαν πιο βελτιωμένη εμφάνιση συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες και έφτασαν στο όριο της αποδοχής την 13^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι φράουλες που επεξεργάστηκαν στα 0.5 kGy επίσης “κατείχαν υψηλότερο σκορ” συγκριτικά με τις φράουλες που επεξεργάστηκαν στα 1.0 kGy και τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Οι ακτινοβολημένες φράουλες και στις 2 δόσεις είχαν ελαφρά πιο ξινή γεύση συγκριτικά με τις μη ακτινοβολημένες φράουλες. Off-odor δεν ανιχνεύτηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις καθ’όλη την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η ακτινοβόληση στα 0,5 και 1,0 kGy ελάττωσε το fungal decay κατά 31% και 43% αντίστοιχα κατά την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης (διάγραμμα 18γ). Αυτό είναι μια απόδειξη της μυκητοκτόνου επίδρασης της γ-ακτινοβολίας (Del Mastro 1999, Fellows 2006).

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στην παρούσα μελέτη ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν ημιποσοτικά οι πτητικές ενώσεις δειγμάτων φράουλας, με την τεχνική μικροεκχύλισης δια στερεάς φάσης σε συνδυασμό με GC-MS. Το άρωμα της φράουλας είναι πολύ περίπλοκο, καθώς το χαρακτηριστικό της άρωμα αποδίδεται σε ένα μίγμα τουλάχιστον 360 πτητικών ενώσεων που υπάρχουν σε διάφορες συγκεντρώσεις και σε μια συγκεκριμένη ισορροπία μεταξύ τους (Dirink et al 1981, Kader 1991, Latrasse 1991, Perez et al 1993, Zabetakis & Holden 1997, Ayala-Zavala 2004). Οι κύριες ενώσεις που συμμετέχουν στο άρωμα της φράουλας ανήκουν στις κατηγορίες των εστέρων, των αλδεϋδών και των αλκοολών (Perez et al 1993, Zabetakis & Holden 1997). Οι πιο σημαντικές ενώσεις που συνεισφέρουν στο άρωμα της φράουλας φαίνεται να είναι οι μεθυλεστέρες και οι αιθυλεστέρες

Τα αποτελέσματα των πτητικών ενώσεων δίνονται στους πίνακες 12α-12γ.

Εστέρες:

Οι περισσότερες από τις πτητικές ενώσεις που ανιχνεύτηκαν ήταν εστέρες που έχουν ήδη ταυτοποιηθεί και από άλλους ερευνητές (Mawele et al 1992, Siegmund et al 2001, Hakala et al 2002, Azodanlou et al 2004). Οι μεθυλεστέρες και οι αιθυλεστέρες φαίνεται ότι είναι οι πιο σημαντικές ενώσεις που συνεισφέρουν στο άρωμα της φράουλας (Zabetakis & Holden 1997,

Sanz et al 1997). Αρκετές έρευνες έχουν ισχυριστεί ότι τα αμινοξέα, τα σάκχαρα και τα λιπίδια είναι οι κύριες πρόδρομες ενώσεις των εστέρων. Τα ένζυμα που συμμετέχουν στην σύνθεση των εστέρων είναι οι αλκοολικές ακυλοτρανσφεράσες και οι αλκοολικές αφυδρογονάσες. Αρχικά, τα αμινοξέα, τα σάκχαρα και τα λιπίδια μετατρέπονται σε οξέα, αλδεΐδες ή αλκοόλες και στην συνέχεια σε εστέρες. Επιπλέον, η μετατροπή μεταξύ αλδεϋδών και αλκοολών χρειάζεται την συμμετοχή της αλκοολικής αφυδρογονάσης, η οποία παρέχει τις πρόδρομες ενώσεις των εστέρων και άλλων αρωματικών συστατικών (Yamashita 1977, Charles 2000). Οι αλκοολικές ακυλοτρανσφεράσες είναι ένζυμα-κλειδιά της εστεροποίησης των αλκοολών και το είδος των υποστρωμάτων καθορίζει τα προϊόντα του εστέρα. Η αλλοίωση του αρώματος έχει συσχετιστεί με την αυξημένη παραγωγή οξικού αιθυλεστέρα (Larsen and Watkins 1995, Perez & Sanz 2001, Berna et al 2007). Στην παρούσα μελέτη η συγκέντρωση του εξανικού και του βουτυρικού μεθυλεστέρα ελαττώθηκε. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Pelayo et al (2002) και Williams et al (2005).

Οι εστέρες που βρέθηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν : οξικός μεθυλεστέρας, οξικός αιθυλεστέρας, βουτανοϊκός μεθυλεστέρας, βουτανοϊκός αιθυλεστέρας, εξανοϊκός μεθυλεστέρας, εξανοϊκός αιθυλεστέρας και οξικός εξυλεστέρας. Οι εστέρες διαδραματίζουν τον κυρίαρχο ρόλο τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά (Pyysalo et al 1977, Schreier 1980). Ο βουτανοϊκός μεθυλεστέρας, ο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας, ο εξανοϊκός μεθυλεστέρας και ο εξανοϊκός αιθυλεστέρας είναι οι κύριοι εστέρες που συνεισφέρουν στο άρωμα της φράουλας όπως έχει αποδειχθεί και από άλλες μελέτες (Perez et al 1992, Perez et al 1997, Zhang et al 2009). Ο εξανοϊκός μεθυλεστέρας και ο εξανοϊκός αιθυλεστέρας έχουν άρωμα ανανά, ο βουτανοϊκός μεθυλεστέρας και ο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας έχουν άρωμα μπανάνας, μήλου και ανανά σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Kan 2002, Berna et al 2007). Στα δείγματα αναφοράς οι συγκεντρώσεις όλων των εστέρων αυξάνονται κατά την διάρκεια της αποθήκευσης με εξαίρεση τον βουτανοϊκό μεθυλεστέρα και τον εξανοϊκό μεθυλεστέρα. Η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε τις συγκεντρώσεις όλων των εστέρων με εξαίρεση τον οξικό μεθυλεστέρα. Η συγκέντρωση του βουτανοϊκού μεθυλεστέρα ελαττώθηκε κατά την διάρκεια της αποθήκευσης στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν σε δόση 1,0 kGy.

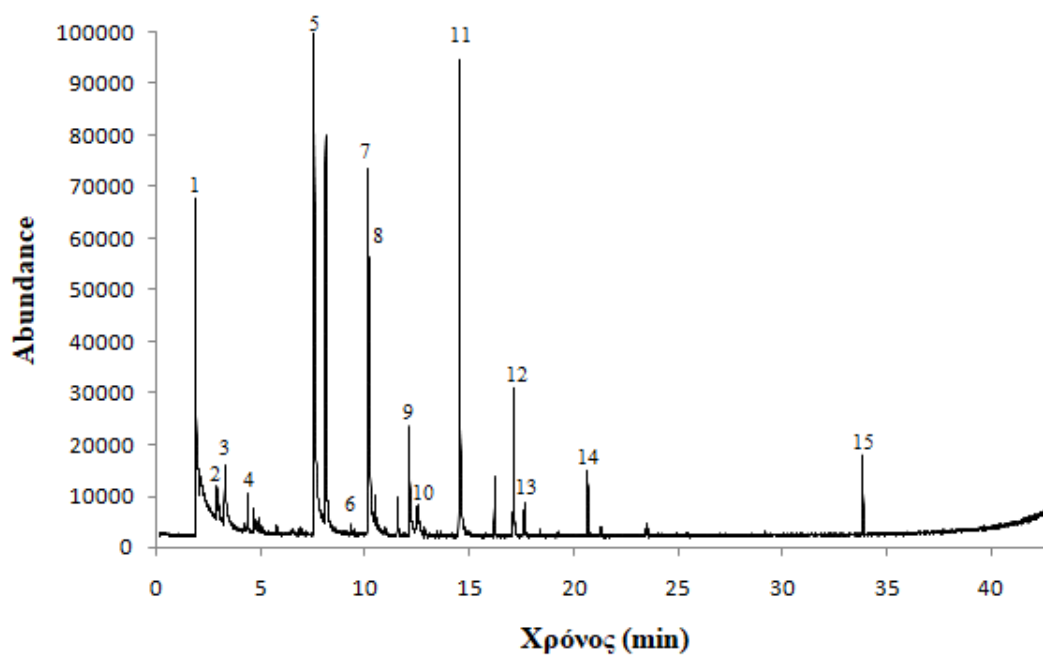
Αλδεΐδες:

Οι αλδεΐδες που βρέθηκαν στα δείγματα που αναλύθηκαν ήταν : n-εξανάλη, trans 2-εξενάλη και ακεταλδεΐδη. Η αλλοίωση του αρώματος της φράουλας έχει συσχετιστεί με την συσσώρευση ακεταλδεΐδης και αιθανόλης (Larsen and Watkins 1995, Perez & Sanz 2001,

Berna et al 2007). Η εξανάλη έχει λιπαρό άρωμα και προέρχεται από τα λιπίδια, κυρίως από τα ακόρεστα λιπαρά οξέα μέσω οξειδωσης όταν τα κύτταρα αποδιοργανώνονται. Το ενζυμο λιποξυγενάση μαζί με την υπεροξειδική λύση και ένα ένζυμο που διασπά τα υπεροξείδια μετατρέπει το λινελαϊκό οξύ σε εξανάλη (Yilmaz 2001). Στα δείγματα αναφοράς της παρούσας διατριβής η συγκέντρωση της trans 2-εξανάλης παρέμεινε σταθερή κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε την συγκέντρωσή της. Η n-εξανάλη εμφανίστηκε μόνο την πρώτη ημέρα της δειγματοληψίας. Η ακεταλδεΐδη και στις 3 μεταχειρίσεις προσδιορίστηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε την συγκέντρωση της ακεταλδεΐδης. Η αυξημένη συγκέντρωση της ακεταλδεΐδης στις ακτινοβολημένες φράουλες θα μπορούσε να αποδοθεί στον χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής (Benoit et al 2000, Boynton et al 2005 & Hussain et al 2008) που εμφανίζουν τα ακτινοβολημένα φυτικά προϊόντα.

Αλκοόλες:

Οι αλκοόλες που βρέθηκαν ήταν : αιθανόλη, λιναλοόλη και φαρνεσόλη. Η αλλοίωση του αρώματος της φράουλας έχει συσχετιστεί με την συσσώρευση ακεταλδεΐδης και αιθανόλης (Berna et al 2007). Οι Ke et al (1994) ισχυρίζονται ότι το άρωμα της φράουλας μπορεί να αλλάξει όχι μόνο από την υπερπαραγωγή ακεταλδεΐδης και αιθανόλης αλλά και από την ελαττωμένη παραγωγή ορισμένων πτητικών εστέρων. Η αιθανόλη και στις 3 μεταχειρίσεις προσδιορίστηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε την συγκέντρωση της αιθανόλης. Η αυξημένη συγκέντρωση της αιθανόλης στις ακτινοβολημένες φράουλες θα μπορούσε επίσης να αποδοθεί στον χαμηλότερο ρυθμό αναπνοής (Benoit et al 2000, Boynton et al 2005 & Hussain et al 2008) που εμφανίζουν τα ακτινοβολημένα φυτικά προϊόντα.



Σχήμα 3. Αντιπροσωπευτικό χρωματογράφημα πτητικών συστατικών φράουλας.

Πίνακας 12α. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στις ανεπεξέργαστες φράουλες.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεϋδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,60±0,08
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,66±0,10
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,25	<800	0,65±0,11	0,39±0,09	1,91±0,15
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,63	<800	n.d.	0,28±0,11	17,35±0,16
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	9,37±0,88	2,67±0,14	2,67±0,19
6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,09	<800	3,2	3,2	3,2
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,12	<800	2,69±0,37	7,92±0,23	7,03±0,27
8	n-εξανάλη	10,17	<800	2,89±0,73	n.d.	n.d.
9	2-μεθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	0,80±0,13	1,54±0,24
10	Trans 2-εξενάλη	12,10	<800	1,08±0,12	1,02±0,18	1,10±0,17

11	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,51	881	3,96±0,56	1,97±0,25	2,69±0,31
12	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	1,21±0,42	6,45±0,28	5,80±0,32
13	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,30±0,08	0,30±0,07	2,09±0,22
14	Λιναλοόλη	20,66	1151	0,50±0,13	n.d.	n.d.
15	Φαρνεσόλη	33,85	1933	0,62±0,12	n.d.	n.d.

Πίνακας 12β. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 0,5 kGy.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεϋδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,74±0,16
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,78±0,13
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,25	<800	0,65±0,11	0,88±0,15	1,41±0,24
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,63	<800	n.d.	9,26±0,21	26,68±0,25
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	9,37±0,88	14,17±0,18	10,21±0,22
6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,09	<800	3,2	3,2	3,2
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,12	<800	2,69±0,37	32,06±0,17	35,44±0,32
8	n-εξανάλη	10,17	<800	2,89±0,73	n.d.	n.d.
9	2-μεθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	0,98±0,11	3,06±0,16
10	Trans 2-εξενάλη	12,10	<800	1,08±0,12	3,49±0,30	3,25±0,21
11	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,51	881	3,96±0,56	9,46±0,22	14,29±0,18
12	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	1,21±0,42	11,43±0,31	24,49±0,20
13	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,30±0,08	3,02±0,14	5,71±0,24
14	Λιναλοόλη	20,66	1151	0,50±0,13	n.d.	n.d.
15	Φαρνεσόλη	33,85	1933	0,62±0,12	n.d.	n.d.

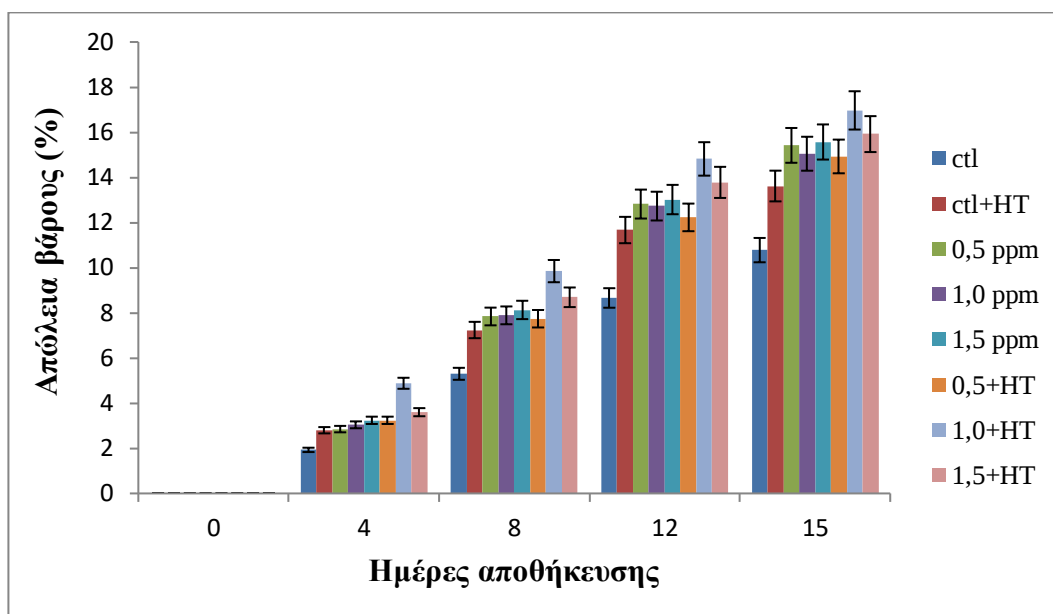
Πίνακας 12γ. Πτητικά συστατικά (μg/kg) στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1,0 kGy.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	1,14±0,16
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	2,86±0,25
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,25	<800	0,65±0,11	1,08±0,12	1,83±0,23
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,63	<800	n.d.	18,13±0,15	46,67±0,35
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	9,37±0,88	7,16±0,19	4,52±0,19
6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,09	<800	3,2	3,2	3,2
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,12	<800	2,69±0,37	23,41±0,22	30,25±0,22
8	n-εξανάλη	10,17	<800	2,89±0,73	n.d.	n.d.
9	2-μεθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	1,98±0,18	3,29±0,28
10	Trans 2-εξενάλη	12,10	<800	1,08±0,12	1,75±0,17	3,87±0,17
11	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,51	881	3,96±0,56	4,70±0,23	4,86±0,23
12	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	1,21±0,42	15,97±0,34	18,30±0,24
13	Οξικός εθυλεστέρας	17,57	1007	0,30±0,08	0,83±0,12	2,72±0,16
14	Λιναλοόλη	20,66	1151	0,50±0,13	n.d.	n.d.
15	Φαρνεσόλη	33,85	1933	0,62±0,12	n.d.	n.d.

ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΟΖΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΖΕΜΑΤΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΗΣ ΦΡΑΟΥΛΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

Τα αποτελέσματα της απώλειας βάρους απεικονίζονται στο διάγραμμα 19.



Διάγραμμα 19. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην απώλεια βάρους της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

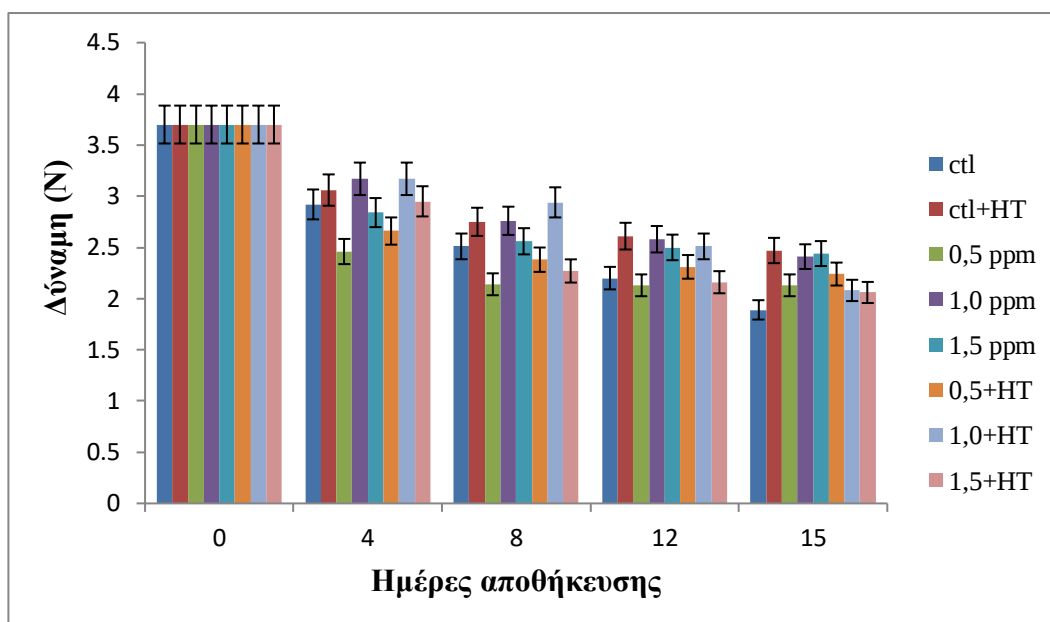
Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε αύξηση στην απώλεια βάρους σε όλες τις μεταχειρίσεις, οφειλόμενη στην απώλεια νερού που λαμβάνει χώρα διαμέσου των στομάτων κατά την διαπνοή. Ο ρυθμός απώλειας νερού εξαρτάται από τον ρυθμό διαπνοής, τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας. Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) αύξηση της απώλειας βάρους σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η μεγαλύτερη απώλεια βάρους στις φράουλες που ζεματίστηκαν θα μπορούσε να αποδοθεί στην μετουσίωση των πρωτεϊνών και στην διάσπαση των υδρόφοβων δεσμών που συγκρατούν τις υδρόφοβες ουρές των λιπιδίων της κυτταρικής μεμβράνης. Αυτά τα δύο φαινόμενα προκαλούν αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης που έχει ως επακόλουθο την αύξηση της ικανότητας

διάχυσης της υγρασίας και την αύξηση της διαρροής ηλεκτρολυτών διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης.

Η μεγαλύτερη απώλεια βάρους στις φράουλες που οξονίστηκαν θα μπορούσε να αποδοθεί στην υψηλή οξειδωτική ισχύ του όζοντος. Οι ελεύθερες ρίζες που παράγονται κατά την αποσύνθεση του όζοντος ευνοούν την διάσπαση των πολυσακχαριτών που απαρτίζουν το κυτταρικό τοίχωμα. Επιπλέον οι ρίζες αυτές διασπούν τους δισουλφιδικούς δεσμούς που συγκρατούν την τριτοταγή δομή των πρωτεϊνών και επίσης οξειδώνουν και τα ακόρεστα λιπίδια της κυτταρικής μεμβράνης. Με αυτόν τον τρόπο προκαλείται αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης, αύξηση της ικανότητας διάχυσης της υγρασίας και της διαρροής ηλεκτρολυτών διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Από προηγούμενες μελέτες επίσης, έχει βρεθεί ότι σε υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος σε φρούτα παρουσιάστηκαν μεγαλύτερες απώλειες βάρους σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα φρούτα λόγω καταστροφής του επιδερμικού ιστού και εμφάνισης τραυματισμένων περιοχών (Smock και Watson 1941, Ridley και Sims 1967, Palou et al 2002).

ANTOXH ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της αντοχής στη διάτρηση απεικονίζονται στο διάγραμμα 20.



Διάγραμμα 20. Επίδραση του οξονισμού και του ζεματίσματος στην αντοχή στη διάτρηση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

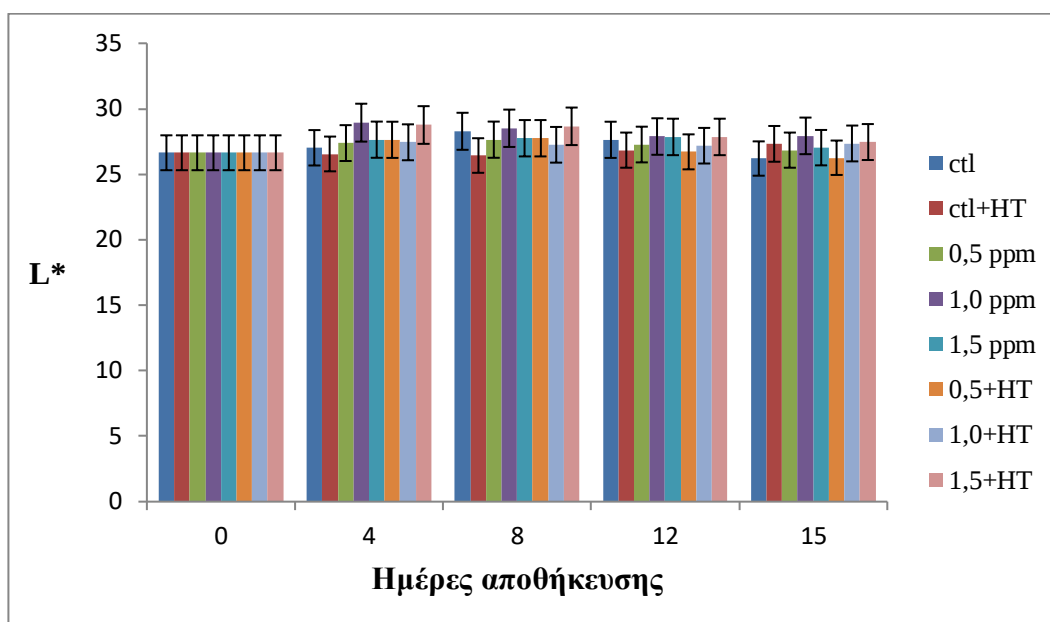
Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρείται ελάττωση της αντοχής στη διάτρηση σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η ελάττωση αυτή είναι αποτέλεσμα της διάχυσης μορίων ύδατος από το κυτταρόπλασμα στο κυτταρικό τοίχωμα διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης λόγω ελάττωσης της ωσμωτικής πίεσης. Η ελάττωση της ωσμωτικής πίεσης προκαλείται εξαιτίας της ενζυμικής υδρόλυσης των πηκτινικών υλών που λαμβάνει χώρα από το ένζυμο πολυγαλακτουρονάση κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με ζεμάτισμα μόνο, όζον στα 1,0 ppm και όζον στα 1,0 ppm και ακολούθως ζεμάτισμα, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) μεγαλύτερη αντοχή στη διάτρηση συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Dotto et al (2011) επεξεργάστηκαν θερμικά σε φούρνο φράουλες στους 45°C για 3 h και βρήκαν μικρότερο ινώδες σε σχέση με τις ανεπεξέργαστες φράουλες μετά από μια μέρα αποθήκευση. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Vicente et al (2005). Επίσης το ινώδες φραουλών που ζεματίστηκαν σε θερμοκρασίες 55°C, 60°C και 65°C ήταν υψηλότερο από το ινώδες μη επεξεργασμένων φραουλών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης (Jing et al 2008). Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Garcia et al (1995). Οι Lara et al (2006) ανέφεραν επίσης ότι οι θερμικές επεξεργασίες συντηρούν το ινώδες της φράουλας. Οι Santos et al (2006) ζεμάτισαν φράουλες στους 60°C και βρήκαν ότι είχαν μεγαλύτερο ινώδες σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Κατά την θερμική επεξεργασία τα ένζυμα πολυγαλακτουρονάση και β-γαλακτοσιδάση αδρανοποιούνται και έτσι ο ρυθμός διάσπασης των πηκτινικών υλών επιβραδύνεται (Pan et al 2004, Vicente et al 2005). Αυτά τα ένζυμα σχετίζονται με τον μεταβολισμό της πηκτίνης και η επίδραση της θερμικής επεξεργασίας σε αυτά εξηγεί την χαμηλότερη διαλυτοποίηση της πηκτίνης στα θερμικά επεξεργασμένα φρούτα (Vicente et al 2005). Επίσης το όζον διασπά το αιθυλένιο και έτσι επιβραδύνει τον ρυθμό διάσπασης των πηκτινικών υλών κατά την ωρίμανση.

ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Τα αποτελέσματα των χρωματικών παραμέτρων απεικονίζονται στα διαγράμματα 21α-21γ.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L^* σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι την 8^η ημέρα αποθήκευσης, ενώ από την 8^η ημέρα μέχρι την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση της τιμής της χρωματικής παραμέτρου L^* . Η αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L^* θα μπορούσε να

αποδοθεί στην ενζυμική υδρόλυση των πηκτινικών ενώσεων από το ένζυμο πολυγαλακτουρονάση που συμβαίνει κατά την ωρίμανση.

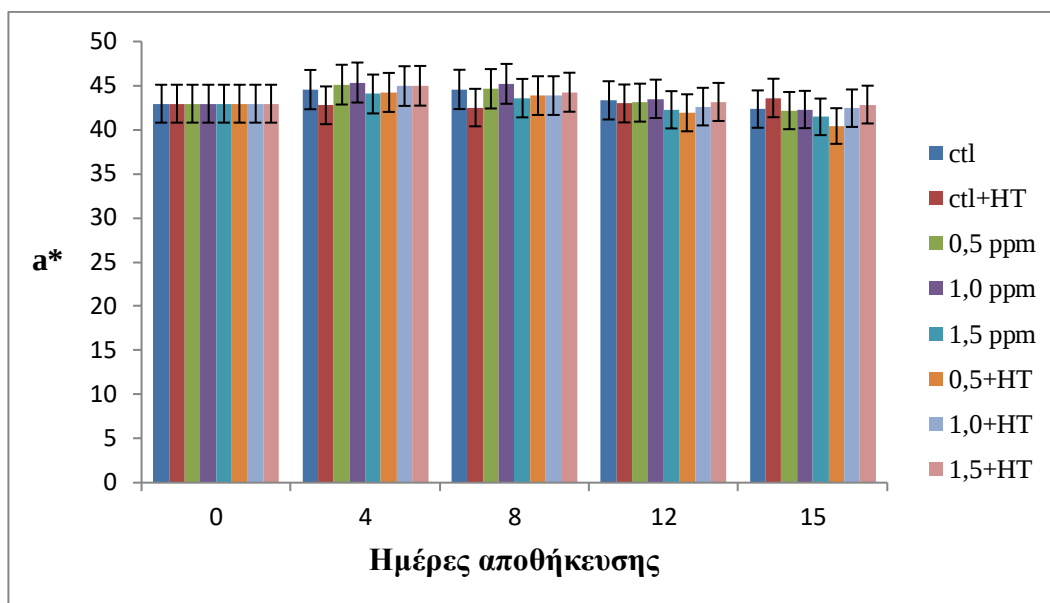


Διάγραμμα 21α. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην χρωματική παράμετρο L^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η υδρόλυση των πηκτινικών ενώσεων αυξάνει την ποσότητα της έντασης της ακτινοβολίας που απορροφάται και έτσι η φωτεινότητα αυξάνεται. Η ελάττωση της χρωματικής παραμέτρου L^* θα μπορούσε να αποδοθεί στην οξείδωση των φαινολικών υποστρωμάτων σε κινόνες από το ένζυμο πολυφαινολοξειδάση, οι οποίες στην συνέχεια πολυμερίζονται και σχηματίζουν τις μελανίνες που είναι σκουρόχρωμες ενώσεις με αποτέλεσμα την ελάττωση της φωτεινότητας.

Οι φράουλες που ζεματίστηκαν παρουσίασαν μια ελαφριά αύξηση κατά 0,68 μονάδες στην τιμή L^* κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην αδρανοποίηση των ενζύμων πολυγαλακτουρονάση και πολυφαινολοξειδάση. Οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm και στα 1,5 ppm και στη συνέχεια ζεμάτισμα, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) μεγαλύτερη τιμή L^* συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η μεγαλύτερη τιμή L^* στις οζονισμένες φράουλες θα μπορούσε να αποδοθεί στην διασπαστική επίδραση που έχουν οι ελεύθερες ρίζες που παράγονται κατά την αποσύνθεση του όζοντος στις πηκτινικές ενώσεις και γενικότερα στους πολυσακχαρίτες. Σε οζονισμένες ντομάτες βρέθηκε αύξηση της τιμής L^* μετά από 15 ημέρες αποθήκευσης (Aguayo et al 2006). Οι Tiwari et al (2009), ανέφεραν επίσης

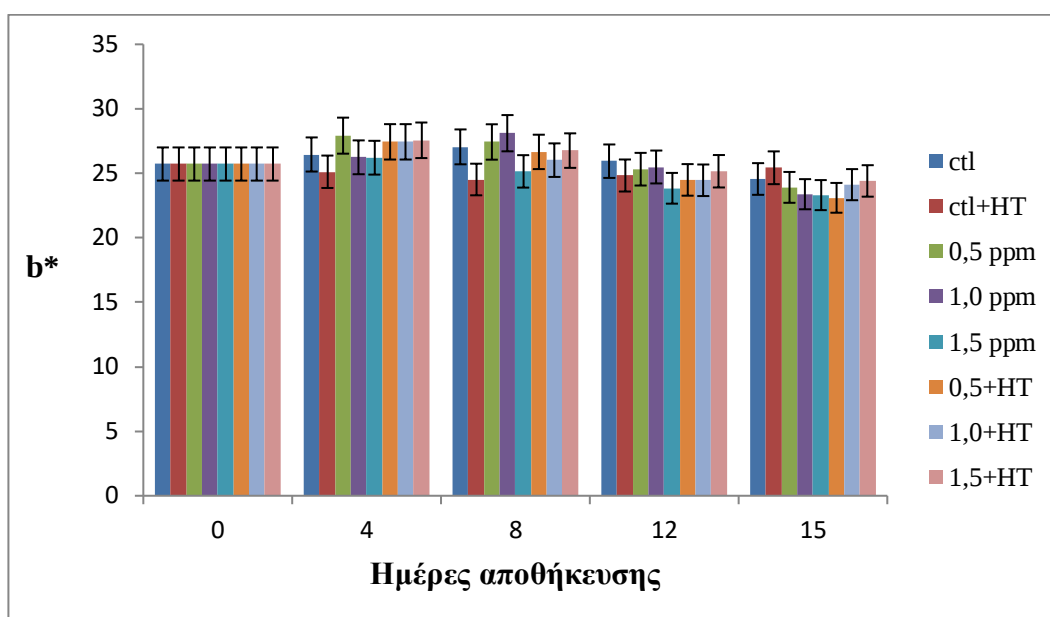
αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L^* σε οξονισμένες ντομάτες. Επίσης σε οξονισμένους πορτοκαλοχυμούς παρουσιάστηκε αύξηση της χρωματικής παραμέτρου L^* σε διάφορες συγκεντρώσεις όζοντος και χρόνους έκθεσης (Tiwari et al 2008).



Διάγραμμα 21β. Επίδραση του οξονισμού και του ζεματίσματος στην χρωματική παράμετρο a^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου a^* σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι την 4^η ημέρα της αποθήκευσης, που αποδίδεται στην διάσπαση της χλωροφύλλης που λαμβάνει χώρα κατά την ωρίμανση. Στην συνέχεια η τιμή της χρωματικής παραμέτρου a^* ελαττώθηκε εξαιτίας της ενζυμικής αμαύρωσης της φράουλας. Οι φράουλες που ζεματίστηκαν παρουσίασαν μια ελαφρά αύξηση κατά 0,65 μονάδες στην τιμή a^* κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm δεν παρουσίασαν στατιστικά σημαντική μεταβολή της χρωματικής παραμέτρου a^* συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Aguayo et al (2006) ανέφεραν ασήμαντη μεταβολή στην περιεκτικότητα του λυκοπενίου σε επεξεργασμένες με αέριο όζον ολόκληρες και τεμαχισμένες ντομάτες. Επίσης, οι Keutgen & Pawelzik (2008) και Barth et al (1995), ανέφεραν ότι το όζον δεν επηρέασε την περιεκτικότητα των ανθοκυανινών σε φράουλες και βατόμουρα αντίστοιχα. Αντίθετα, οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) υψηλότερη τιμή a^* σε σύγκριση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον

σε συγκέντρωση 1,5 ppm και 1,5 ppm με ακόλουθο ζεμάτισμα, παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) χαμηλότερη τιμή a^* συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η χαμηλότερη τιμή a^* θα μπορούσε να αποδοθεί στην οξειδωτική επίδραση του όζοντος σε ενώσεις με διπλούς δεσμούς όπως οι ανθοκυανίνες (Tiwari et al 2009). Τα μόρια του όζοντος υφίστανται 1-3 δίπολη κυκλική προσθήκη με τους διπλούς δεσμούς, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό οζονιδίων από τα αλκένια με ενδιάμεσα προϊόντα τα οξείδια αλδευδών και κετονών (Grieger 1975).



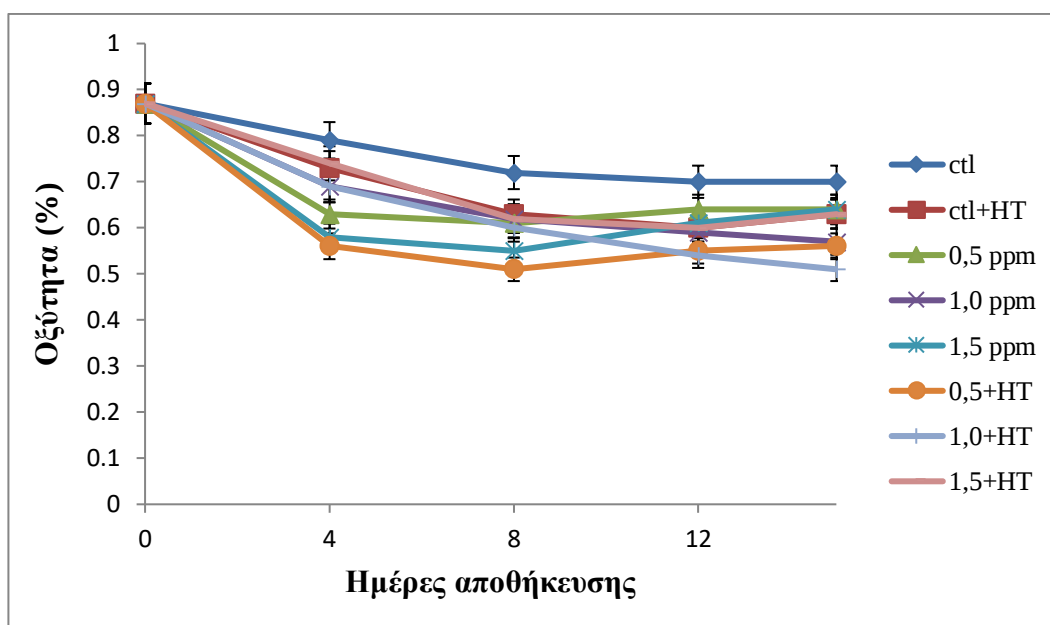
Διάγραμμα 21γ. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην χρωματική παράμετρο b^* της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου b^* σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι την 8^η ημέρα της αποθήκευσης. Από την 8^η ημέρα μέχρι την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση της τιμής της χρωματικής παραμέτρου b^* . Η επεξεργασία με ζεμάτισμα και ο οζονισμός σε συγκέντρωση 1,5 ppm ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την χρωματική παράμετρο b^* συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην μεγάλη ευαισθησία των καροτενίων στην οξείδωση εξαιτίας της υψηλής ακορεστότητας. Οι Aguayo et al (2006), κατέγραψαν επίσης μικρή ελάττωση στην χρωματική παράμετρο b^* σε ντομάτες που είχαν επεξεργαστεί με όζον σε συγκέντρωση 4 $\mu\text{l/l}$ την 15^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι Barth et al (1995), δεν παρατήρησαν μεταβολές στην χρωματική παράμετρο b^* σε βατόμουρα που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,3 ppm.

Οι Tiwari et al (2009), επίσης ανέφεραν ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος η χρωματική παράμετρος b^* ελαττώνονταν σε ντομάτες. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφεραν επίσης σε προηγούμενη μελέτη τους που πραγματοποιήθηκε σε πορτοκαλοχυμό (Tiwari et al 2008).

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Τα αποτελέσματα της τιτλοδοτούμενης οξύτητας απεικονίζονται στο διάγραμμα 22.

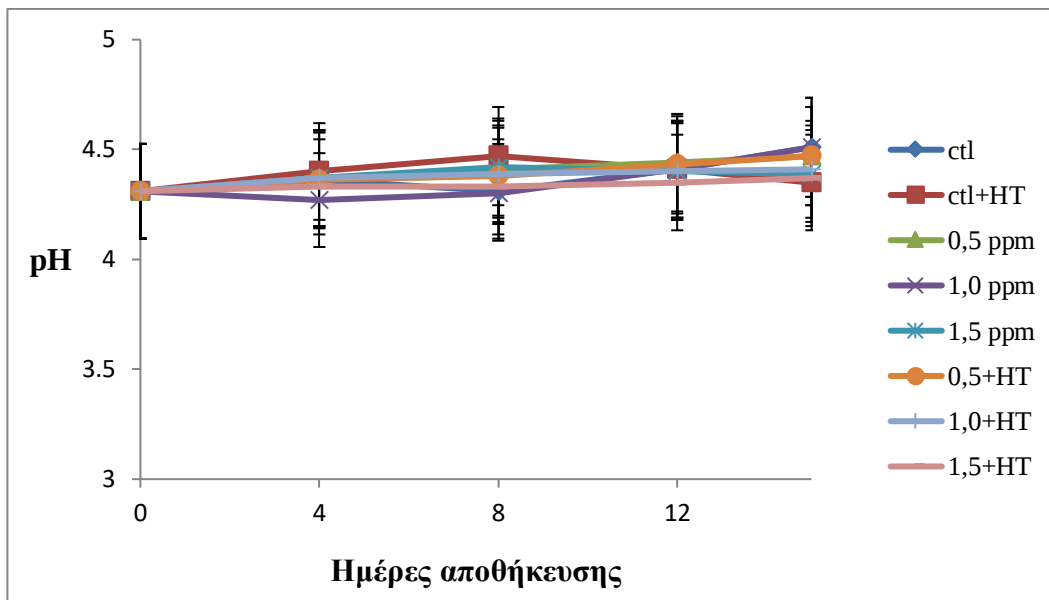


Διάγραμμα 22. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε όλες τις μεταχειρίσεις λόγω της διάσπασης των οργανικών οξέων που συμβαίνει κατά την ωρίμανση της φράουλας. Σε όλες τις μεταχειρίσεις ο ρυθμός ελάττωσης της οξύτητας αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Wszelaki & Mitcham (2003) ανέφεραν επίσης μεγαλύτερη οξύτητα σε ανεπεξέργαστες φράουλες σε σχέση με τις φράουλες που ζεματίστηκαν στους 63°C για 12 sec καθόλη την διάρκεια της αποθήκευσης.

pH

Τα αποτελέσματα της τιμής του pH απεικονίζονται στο διάγραμμα 23.



Διάγραμμα 23. Επίδραση του οξονισμού και του ζεματίσματος στο pH της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

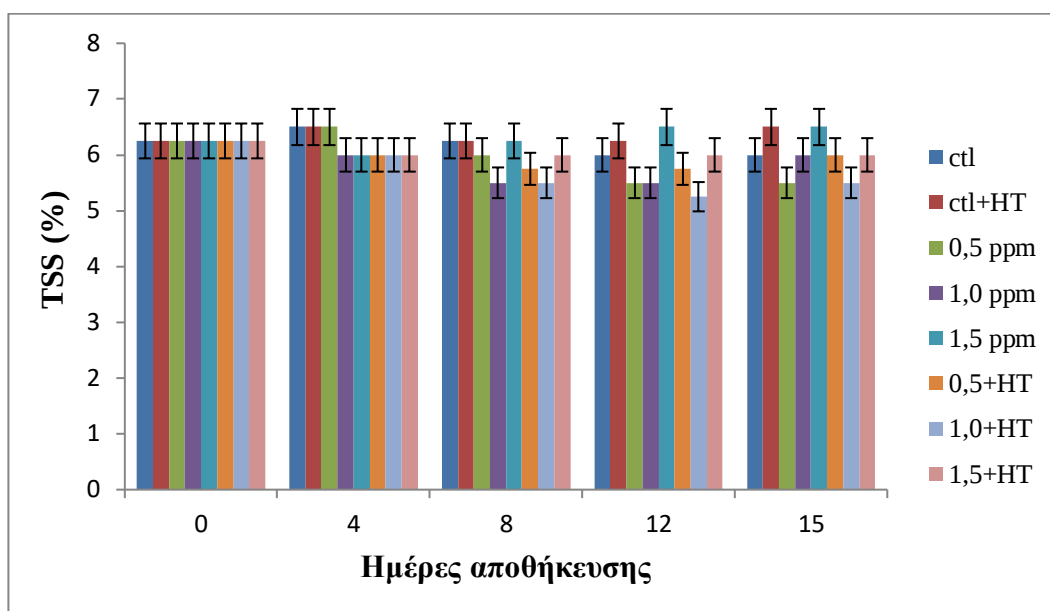
Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε αύξηση της τιμής του pH σε όλες τις μεταχειρίσεις. Το pH επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) στις φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm και στα 1,5 ppm με επακόλουθο ζεμάτισμα σε σύγκριση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Ο Alexander et al (2012) ανέφεραν μη σημαντικές μεταβολές στην τιμή του pH φράουλας που επεξεργάστηκε με υδατοειδές όζον. Η εφαρμογή επίσης άλλων οξειδωτικών μέσων όπως το διοξείδιο του χλωρίου σε μαρούλι και λάχανο δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές στην τιμή του pH (Gomez-Lopez et al 2008).

ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ

Τα αποτελέσματα των ολικών διαλυτών στερεών απεικονίζονται στο διάγραμμα 24.

Στα ολικά διαλυτά στερεά περιλαμβάνονται οι υδατάνθρακες (μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες), οι πρωτεΐνες, τα ελεύθερα αμινοξέα και η ανόργανη ύλη. Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών σε

όλες τις μεταχειρίσεις, λόγω της κατανάλωσης των υδατανθράκων που συμβαίνει κατά την αερόβια αναπνοή του φρούτου.



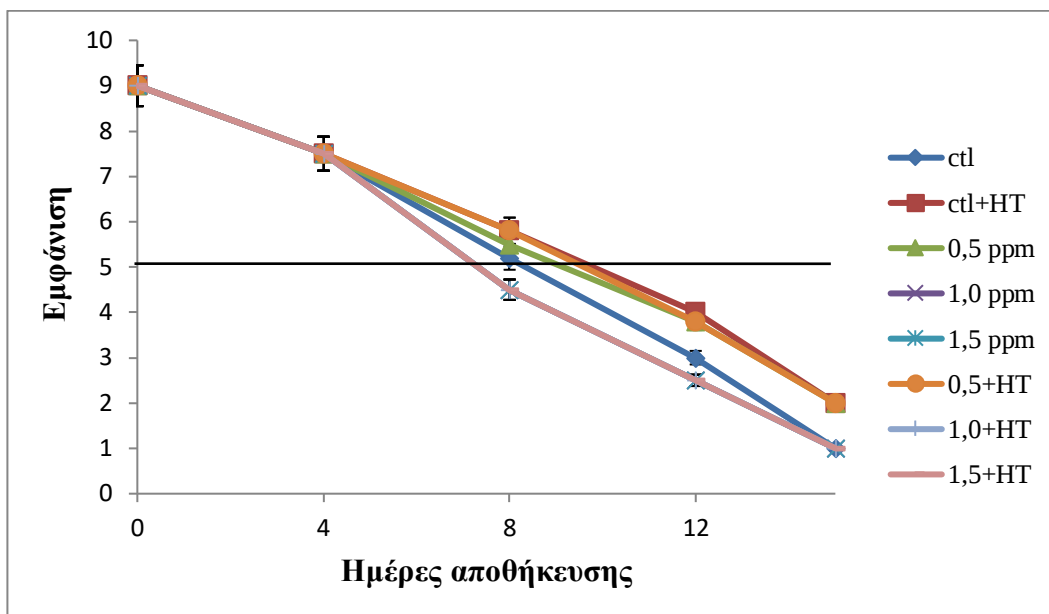
Διάγραμμα 24. Επίδραση του οξονισμού και του ζεματίσματος στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Το ζεμάτισμα, ο οξονισμός στα 0,5 ppm και στα 1,0 ppm και ο οξονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις με επακόλουθο ζεμάτισμα προκάλεσαν μια στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) ελάττωση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Η αύξηση του ρυθμού ελάττωσης της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών στερεών στις ζεματισμένες και οξονισμένες φράουλες θα μπορούσε να αποδοθεί στην μερική αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης που προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας και την οξειδωτική επίδραση του όζοντος. Η αποδιοργάνωση της κυτταρικής μεμβράνης προκαλεί αύξηση της διάχυσης του οξυγόνου μέσα στα κύτταρα με αποτέλεσμα ο ρυθμός αναπνοής και ο ρυθμός ελάττωσης των υδατανθράκων να αυξάνεται.

Οι Wszelaki & Mitcham (2003) ζεμάτισαν φράουλες στους 63°C για 12 sec και βρήκαν χαμηλότερη περιεκτικότητα διαλυτών στερεών σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες μετά από 5 ημέρες αποθήκευσης. Μετά από 14 ημέρες οι ζεματισμένες φράουλες είχαν σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα διαλυτών στερεών σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες.

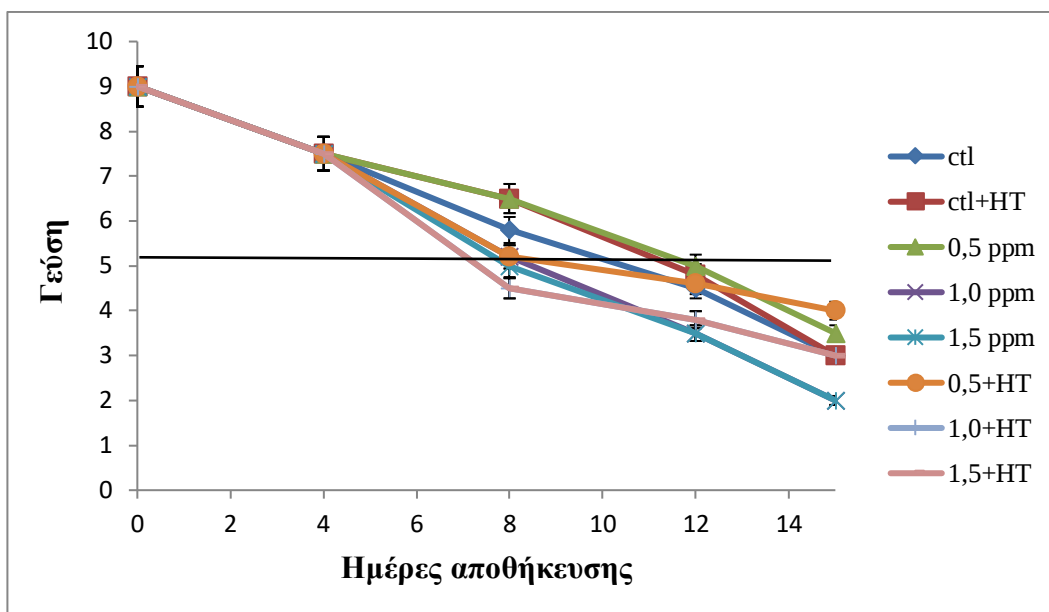
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται στα διαγράμματα 25α-25γ.



Διάγραμμα 25α. Επίδραση του οξονισμού και του ζεματίσματος στην εμφάνιση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

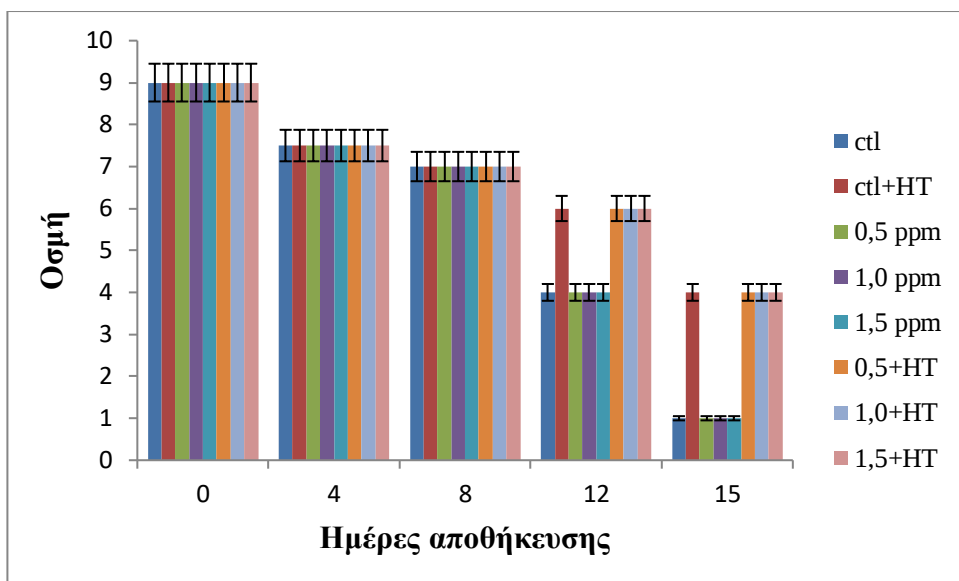
Οι μη επεξεργασμένες φράουλες διατήρησαν την εμφάνισή τους σε οριακά αποδεκτά επίπεδα μέχρι την 8^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι φράουλες που ζεματίστηκαν, επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και με όζον στα 0,5 ppm και ζεμάτισμα είχαν ελαφρά καλύτερη εμφάνιση στην κλίμακα αξιολόγησης και διατήρησαν την εμφάνιση τους οριακά αποδεκτή μέχρι την 9^η ημέρα της αποθήκευσης. Αντίθετα, ο οξονισμός σε συγκεντρώσεις 1,0 ppm και 1,5 ppm και στις ίδιες συγκεντρώσεις με ακόλουθο ζεμάτισμα προκάλεσε επιτάχυνση της υποβάθμισης της εμφάνισης η οποία διατηρήθηκε οριακά αποδεκτή μέχρι την 7^η ημέρα της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην ισχυρή οξειδωτική δράση του όζοντος και στην μεγάλη ευπάθεια της φράουλας. Αυτές οι φράουλες εμφάνισαν επίσης και μεγαλύτερη μυκητιακή αλλοίωση σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες. Οι οξειδωτικές μεταβολές που προκαλεί το όζον στα κύτταρα επιφέρουν διαρροή ωφέλιμων για την ανάπτυξη μυκήτων θρεπτικών συστατικών από τον ενδοκυτταρικό στον εξωκυτταρικό χώρο. Με αυτό τον τρόπο ευνοείται περισσότερο η εύκολη και ταχύτερη ανάπτυξη μυκήτων.



Διάγραμμα 25β. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην γεύση της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Οι μη επεξεργασμένες φράουλες και οι φράουλες που επεξεργάστηκαν σε συγκέντρωση 0,5 ppm με επακόλουθο ζεμάτισμα διατήρησαν την γεύση τους σε οριακά αποδεκτά επίπεδα μέχρι την 11^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι φράουλες που ζεματίστηκαν και επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm εμφάνισαν ελαφρά καλύτερη γεύση στην κλίμακα αξιολόγησης και διατήρησαν την γεύση τους οριακά αποδεκτή μέχρι την 12^η ημέρα της αποθήκευσης. Αντίθετα, ο οζονισμός σε συγκεντρώσεις 1,0 ppm και 1,5 ppm προκάλεσε επιτάχυνση της υποβάθμισης της γεύσης, που διατηρήθηκε οριακά αποδεκτή μέχρι την 8^η ημέρα της αποθήκευσης. Οι φράουλες που οζονίστηκαν σε συγκεντρώσεις 1,0 ppm και 1,5 ppm με ακόλουθο ζεμάτισμα διατήρησαν επίσης οριακά αποδεκτή την γεύση τους μέχρι την 8^η ημέρα της αποθήκευσης.

Οι μη επεξεργασμένες φράουλες και οι φράουλες που οζονίστηκαν σε όλες τις συγκεντρώσεις όζοντος εμφάνισαν οσμή γλεύκους την 15^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ οι φράουλες που ζεματίστηκαν εμφάνισαν λιγότερο έντονη οσμή γλεύκους. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην αδρανοποίηση των ενζύμων που μετέχουν στις αντιδράσεις σχηματισμού πτητικών ενώσεων από ζύμωση, που είναι υπεύθυνες για την οσμή του γλεύκους.



Διάγραμμα 25γ. Επίδραση του οζονισμού και του ζεματίσματος στην οσμή της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στην παρούσα διατριβή ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν ημιποσοτικά οι πτητικές ενώσεις δειγμάτων φράουλας, με την τεχνική μικροεκχύλισης δια στερεάς φάσης σε συνδυασμό με GC-MS. Τα δείγματα επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1 και 1,5 ppm για 40 min, ενώ ένα μέρος των δειγμάτων επεξεργάστηκαν με αέριο όζον στις ίδιες συγκεντρώσεις και τον ίδιο χρόνο και στη συνέχεια εμβαπτίστηκαν σε ζέον υδατόλουτρο στους 55° C για 15 sec. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή, στην μέση και στο τέλος της διάρκειας της αποθήκευσης.

Τα αποτελέσματα των πτητικών ενώσεων απεικονίζονται στους πίνακες 13α-13η.

Εστέρες:

Οι εστέρες που ταυτοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν : οξικός μεθυλεστέρας, βουτανοϊκός μεθυλεστέρας, βουτανοϊκός αιθυλεστέρας, οξικός βουτυλεστέρας, βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας, εξανοϊκός μεθυλεστέρας, βουτανοϊκός βουτυλεστέρας, οξικός εξυλεστέρας, οξικός εστέρας της 2 εξεν-1-όλης και βουτανοϊκός οκτυλεστέρας. Ο εξανοϊκός μεθυλεστέρας και ο εξανοϊκός αιθυλεστέρας έχουν άρωμα ανανά ο βουτανοϊκός μεθυλεστέρας και ο βουτανοϊκός αιθυλεστέρας έχουν άρωμα μπανάνας, μήλου και ανανά σε χαμηλές συγκεντρώσεις (Kan 2002). Οι διακλαδισμένοι εστέρες προέρχονται από τον μεταβολισμό των αμινοξέων μέσω του κύκλου

του Krebs (Berna 2007). Η αλλοίωση του αρώματος έχει συσχετιστεί με την αυξημένη παραγωγή οξικού αιθυλεστέρα (Larsen and Watkins 1995, Perez & Sanz 2001, Berna et al 2007). Στα πειράματα της παρούσης διατριβής η συγκέντρωση του εξανοϊκού και του βουτυρικού μεθυλεστέρα ελαττώθηκε. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν επίσης οι Pelayo et al (2002) και Williams et al (2005).

Στα δείγματα αναφοράς η συγκέντρωση όλων των εστέρων ελαττώθηκε με εξαίρεση του οξικού αιθυλεστέρα, του βουτανοϊκού αιθυλεστέρα και του εξανοϊκού αιθυλεστέρα. Η επεξεργασία με όζον και η επεξεργασία με όζον και ζεμάτισμα αύξησε τις συγκεντρώσεις του οξικού μεθυλεστέρα, του οξικού αιθυλεστέρα, του βουτανοϊκού αιθυλεστέρα, του οξικού βουτυλεστέρα, του εξανοϊκού μεθυλεστέρα, του βουτανοϊκού βουτυλεστέρα, του εξανοϊκού αιθυλεστέρα και του οξικού εθυλεστέρα.

Αλδεϋδες:

Οι αλδεϋδες που ταυτοποιήθηκαν στα δείγματα φράουλας που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή ήταν: εξανάλη, trans-2-εξενάλη και ακεταλδεϋδη. Η αλλοίωση του αρώματος της φράουλας έχει συσχετιστεί με την συσσώρευση ακεταλδεϋδης και αιθανόλης (Larsen and Watkins 1995, Perez & Sanz 2001, Berna et al 2007). Η εξανάλη έχει λιπαρό άρωμα και προέρχεται από τα λιπίδια, κυρίως από τα ακόρεστα λιπαρά οξέα μέσω οξειδωσης όταν τα κύτταρα αποδιοργανώνονται. Το ένζυμο λιποξυγενάση μαζί με την υπεροξειδική λυάση ένα ένζυμο που διασπά τα υπεροξειδία, μετατρέπει το λινολεϊκό οξύ σε εξανάλη (Yilmaz 2001).

Η ακεταλδεϋδη και στις 8 μεταχειρίσεις προσδιορίστηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η οξονισμός καθώς και ο συνδυασμός του ζεματίσματος με τον οξονισμό σε όλες τις συγκεντρώσεις αύξησε την συγκέντρωση της ακεταλδεϋδης. Στις φράουλες που ζεματίστηκαν δεν προσδιορίστηκε η ακεταλδεϋδη την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η συγκέντρωση της trans-2-εξενάλης και της εξανάλης αυξήθηκε τις 10 πρώτες ημέρες και την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης ελαττώθηκε ξανά σε τιμή χαμηλότερη της πρώτης ημέρας της δειγματοληψίας. Η θερμική επεξεργασία, ο οξονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις και ο συνδυασμός θερμικής επεξεργασίας προκάλεσαν αύξηση της συγκέντρωσης της trans-2-εξενάλης και της εξανάλης.

Αλκοόλες:

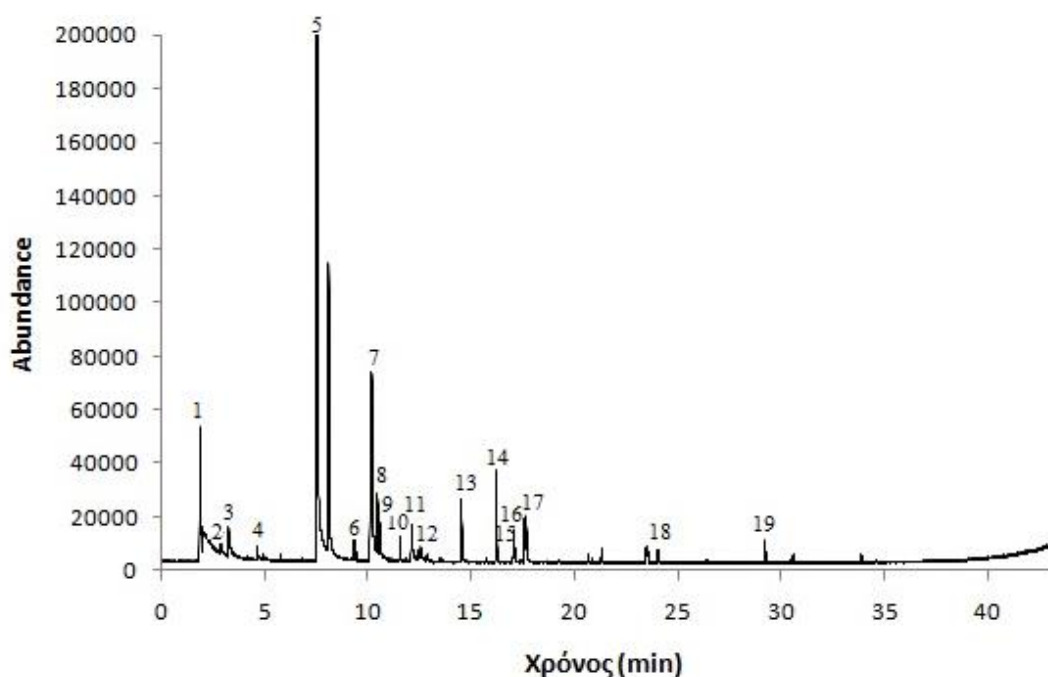
Από τις αλκοόλες βρέθηκε μόνο η αιθανόλη. Η αλλοίωση του αρώματος της φράουλας έχει συσχετιστεί με την συσσώρευση ακεταλδεϋδης και αιθανόλης (Berna et al 2007). Οι Ke et al (1994) ισχυρίζονται ότι το άρωμα της φράουλας μπορεί να αλλάξει όχι μόνο από την

υπερπαραγωγή ακεταλδεΐδης και αιθανόλης αλλά και από την ελαττωμένη παραγωγή ορισμένων πτητικών εστέρων.

Η αιθανόλη και στις 8 μεταχειρίσεις προσδιορίστηκε την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης. Η οξονισμός καθώς και ο συνδυασμός του ζεματίσματος με τον οξονισμό σε όλες τις δόσεις αύξησε την συγκέντρωση της αιθανόλης. Στις φράουλες που ζεματίστηκαν δεν προσδιορίστηκε η αιθανόλη την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης.

Οξέα:

Από τα οργανικά οξέα βρέθηκε μόνο το 2-μέθυλο βουτανοϊκό οξύ.



Σχήμα 4. Αντιπροσωπευτικό χρωματογράφημα πτητικών συστατικών φράουλας.

Πίνακας 13α. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις μη επεξεργασμένες φράουλες.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,42±0,13
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,57±0,18
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	n.d.	n.d.
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,64	<800	n.d.	1,16±0,24	21,6±0,88

5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	6,79±0,67	n.d.
6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	3,62±0,45	3,43±0,56
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	5,57±0,37	3,01±0,43
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	1,04±0,26	n.d.
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	0,34±0,11	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	0,25±0,07	2,03±0,12
12	Trans-2-εξανάλη	12,10	<800	0,87±0,23	1,42±0,27	0,48±0,17
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,42±0,14	n.d.
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	0,41±0,12	n.d.
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	n.d.	1,21±0,23
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,49±0,15	n.d.
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	0,71±0,21	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	n.d.	n.d.
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

Πίνακας 13β. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που ζεματίστηκαν.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεϋδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	n.d.
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	n.d.
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,45±0,16	0,56±0,13
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,63	<800	n.d.	6,11±0,26	14,89±2,78
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	2,85±0,33	4,03±0,33

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	11,00±1,87	18,33±2,13
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	8,23±0,58	8,91±0,45
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	1,54±0,41	1,32±0,23
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	n.d.	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	0,87±0,19	1,44±0,28
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	1,83±0,25	2,02±0,24
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,97±0,31	1,04±0,13
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	0,70±0,29	0,58±0,09
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	1,70±0,22	4,50±1,12
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,44±0,11	0,56±0,11
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	0,60±0,12	0,57±0,16
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	n.d.	n.d.
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

Πίνακας 13γ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον στα 0,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,43±0,14
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,88±0,14
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	1,12±0,08	0,72±0,22
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	10,89±1,02	29,10±3,64
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	3,26±0,20	1,42±0,23

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	7,75±0,33	17,99±2,56
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	6,06±0,26	10,67±2,33
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	0,86±0,15	1,06±0,17
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	n.d.	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	n.d.	2,19±0,25
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	1,31±0,16	2,06±0,22
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,89±0,13	1,08±0,13
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	n.d.	n.d.
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	0,64±0,21	4,53±1,12
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,44±0,17	0,59±0,14
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	n.d.	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	n.d.	0,51±0,11
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

Πίνακας 13δ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	1,86±0,47
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	1,83±0,32
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,99±0,21	0,54±0,23
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	6,63±0,43	29,22±1,88
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	8,06±0,54	2,68±0,43

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	12,56±2,77	33,03±3,21
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	7,77±0,45	10,85±0,65
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	1,91±0,54	2,55±0,34
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	0,52±0,13	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	1,01±0,29	2,57±0,27
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	2,39±0,34	1,13±0,18
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,64±0,22	1,23±0,14
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	0,47±0,16	1,39±0,17
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	0,77±0,26	10,94±0,67
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,83±0,32	1,57±0,35
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- Όλης	17,65	1011	0,59±0,17	0,99±0,24	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	n.d.	2,08±0,22
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	0,43±0,14	0,59±0,13

Πίνακας 13ε. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,85±0,22
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,98±0,32
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,76±0,22	2,18±0,23
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	8,38±0,34	46,21±2,34
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	7,09±0,45	5,79±0,88

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	15,59±1,37	59,33±3,56
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	9,36±0,39	11,15±1,34
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	2,06±0,55	6,24±0,76
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	n.d.	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	1,22±0,27	4,93±0,65
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	2,54±0,31	3,60±0,32
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,69±0,26	3,55±0,43
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	0,49±0,15	1,63±0,34
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	1,58±0,32	22,76±1,27
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,39±0,12	6,22±0,34
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	n.d.	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	n.d.	5,47±0,56
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

Πίνακας 13στ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που ζεματίστηκαν και επεξεργάστηκαν με όζον στα 0,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	0,97±0,12
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	0,76±0,16
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,60±0,15	1,55±0,34
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	7,55±0,45	28,92±2,24
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	2,31±0,24	4,70±0,45

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	8,45±0,32	21,92±3,45
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	4,68±0,45	9,34±0,56
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	0,98±0,23	2,29±0,42
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	n.d.	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	0,88±0,27	2,34±0,39
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	0,79±0,21	3,03±0,32
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,84±0,23	2,05±0,36
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	n.d.	n.d.
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	2,70±0,24	6,95±0,44
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,34±0,13	1,07±0,31
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	n.d.	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	0,99±0,23	0,83±0,17
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

Πίνακας 13ζ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που ζεματίστηκαν και επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm.

	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	1,52±0,42
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	2,74±0,52
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,94±0,15	1,04±0,32
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	8,67±1,33	43,85±5,13
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	6,28±1,04	3,69±0,43

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	20,49±2,26	32,82±3,37
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	8,90±0,59	12,95±2,23
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	2,93±0,62	3,34±0,78
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	0,46±	n.d.
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	1,33±0,23	3,96±0,58
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	1,88±0,43	3,10±0,61
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	1,23±0,31	1,50±0,35
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	1,18±0,16	n.d.
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	3,87±0,34	9,75±0,54
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,86±0,17	2,50±0,34
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	n.d.	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	1,07±0,23	3,51±0,22
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	0,58±0,19	0,64±0,12

Πίνακας 13η. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στις φράουλες που ζεματίστηκαν και επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,5 ppm.

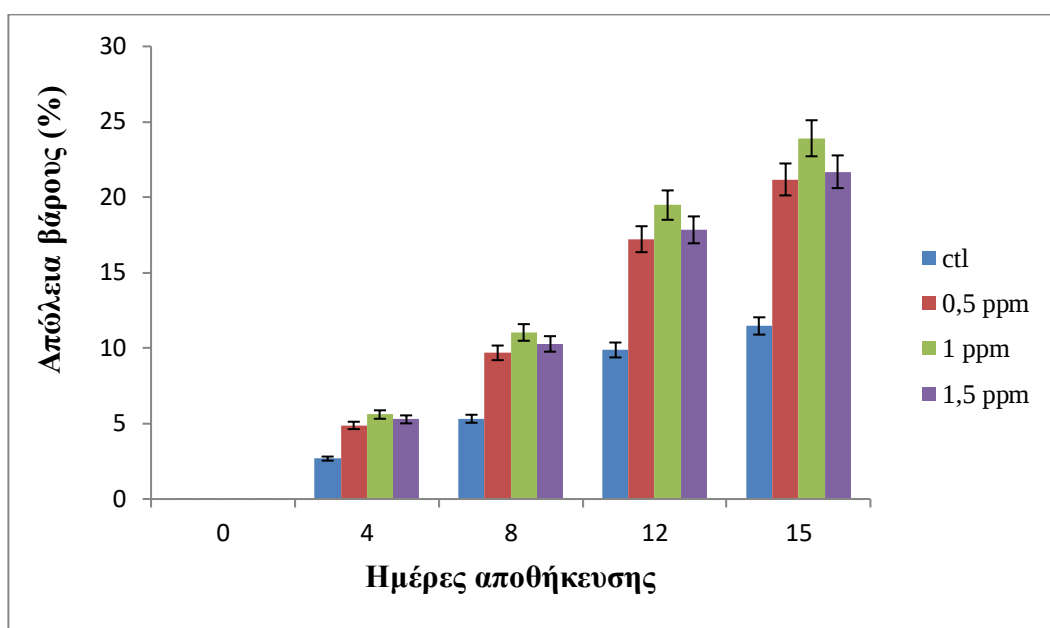
	Ένωση	R.T.	R.I.	0 d	10 d	15 d
1	Ακεταλδεΐδη	2,21	<800	n.d.	n.d.	1,95±0,37
2	Αιθανόλη	2,56	<800	n.d.	n.d.	1,69±0,22
3	Οξικός μεθυλεστέρας	3,26	<800	0,42±0,10	0,89±0,27	1,46±0,19
4	Οξικός αιθυλεστέρας	4,62	<800	n.d.	11,46±1,19	33,92±2,11
5	Βουτανοϊκός μεθυλεστέρας	7,52	<800	11,18±0,83	3,59±0,48	5,04±0,43

6	4-μέθυλο-2-πεντανόνη	8,10	<800	3,20	3,20	3,20
7	Βουτανοϊκός αιθυλεστέρας	10,13	<800	1,57±0,34	13,54±1,23	27,44±1,34
8	Εξανάλη	10,18	<800	3,56±0,79	7,09±0,45	9,74±0,33
9	Οξικός βουτυλεστέρας	10,58	<800	0,57±0,13	2,02±0,34	2,60±0,41
10	Βουτανοϊκός ισοπροπυλεστέρας	11,55	<800	0,31±0,12	0,47±0,13	0,63±0,21
11	2 μέθυλο βουτανοϊκό οξύ	11,86	<800	n.d.	1,51±0,29	2,38±0,31
12	Trans-2-εξενάλη	12,10	<800	0,87±0,23	1,43±0,16	3,15±0,26
13	Εξανοϊκός μεθυλεστέρας	14,52	881	0,94±0,29	0,83±0,14	1,48±0,17
14	Βουτανοϊκός βουτυλεστέρας	17,03	984	0,32±0,08	n.d.	n.d.
15	Εξανοϊκός αιθυλεστέρας	17,12	988	n.d.	2,15±0,33	7,23±0,40
16	Οξικός εξυλεστέρας	17,57	1007	0,38±0,11	0,42±0,11	1,21±0,23
17	Οξικός εστέρας της 2 εξεν-1- όλης	17,65	1011	0,59±0,17	n.d.	n.d.
18	Οξικός οκτυλεστέρας	24,00	1324	n.d.	0,49±0,12	0,99±0,18
19	Βουτανοϊκός οκτυλεστέρας	29,19	1639	0,31±0,10	n.d.	n.d.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟ ΟΖΟΝ ΣΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΒΕΡΙΚΟΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΥΠΟ ΨΥΞΗ

ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ

Τα αποτελέσματα της απώλειας βάρους απεικονίζονται στο διάγραμμα 26.



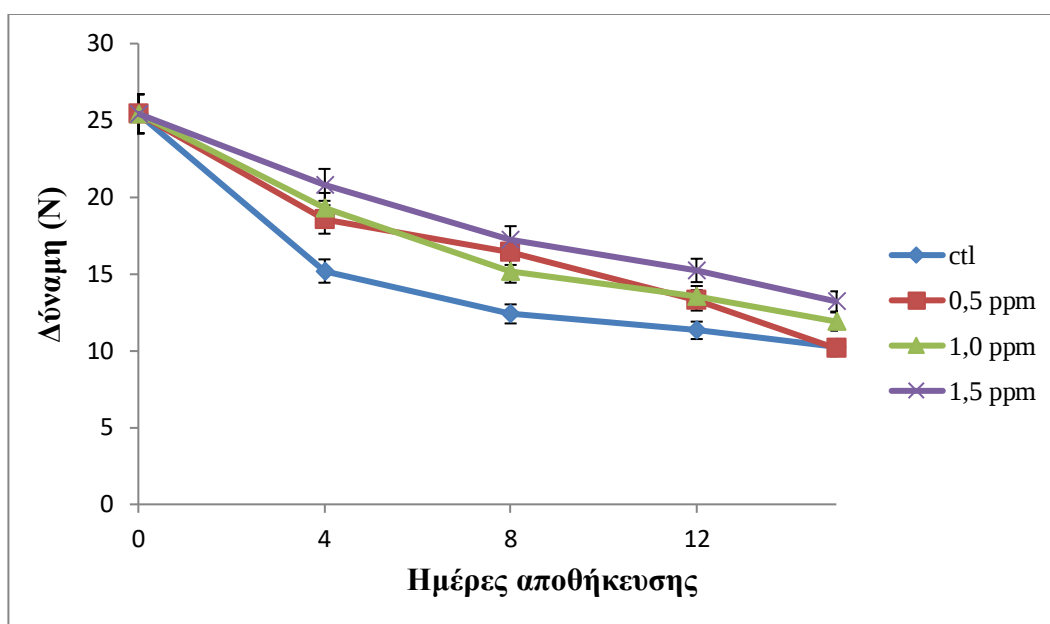
Διάγραμμα 26. Επίδραση του οζονισμού στην απώλεια βάρους του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε αύξηση στην απώλεια βάρους σε όλες τις μεταχειρίσεις, οφειλόμενη στην απώλεια νερού που λαμβάνει χώρα διαμέσου των στομάτων και του επιδερμικού ιστού κατά την διαπνοή. Ο ρυθμός απώλειας νερού εξαρτάται από τον ρυθμό διαπνοής, τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας. Σε όλες τις μεταχειρίσεις παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) αύξηση της απώλειας βάρους σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Ακόμα και στην χαμηλότερη συγκέντρωση όζοντος η απώλεια βάρους ήταν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα. Το όζον προκαλεί δομικές μεταβολές στα κύτταρα των φυτικών ιστών όπως η οξειδωτική διάσπαση των πηκτινικών υλών, η διάσπαση των δισουλφιδικών δεσμών των πρωτεϊνών και η οξείδωση των

ακόρεστων λιπιδίων της πλασματικής μεμβράνης. Οι δομικές μεταβολές που υφίσταται ένα προϊόν εκτός από την συγκέντρωση είναι ανάλογες και από τον χρόνο έκθεσης στο όζον. Είναι φανερό ότι η έκθεση σε αέριο όζον για 60 min είναι ικανή να προκαλέσει δομικές μεταβολές στα κύτταρα ώστε να αυξηθεί σημαντικά η απώλεια βάρους σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα. Από αρκετές προηγούμενες μελέτες επίσης, έχει βρεθεί ότι κατά την εφαρμογή μεγάλων συγκεντρώσεων όζοντος σε φρούτα παρουσιάστηκαν μεγαλύτερες απώλειες βάρους σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα φρούτα λόγω καταστροφής του επιδερμικού ιστού και εμφάνισης τραυματισμένων περιοχών (Smock & Watson 1941, Ridley & Sims 1967, Palou et al 2002).

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Τα αποτελέσματα της αντοχής στη διάτρηση απεικονίζονται στο διάγραμμα 27.



Διάγραμμα 27. Επίδραση του οζονισμού στην αντοχή στη διάτρηση του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση της αντοχής στη διάτρηση σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό είναι το αποτέλεσμα της ενζυμικής διάσπασης των πηκτινικών υλών που υπάρχουν στο κυτταρικό τοίχωμα από την δράση του ενζύμου πολυγαλακτουρονάση. Με την διάσπαση των πηκτινικών υλών ελαττώνεται η ωσμωτική πίεση και μεταφέρεται νερό από το κυτταρόπλασμα στο κυτταρικό τοίχωμα

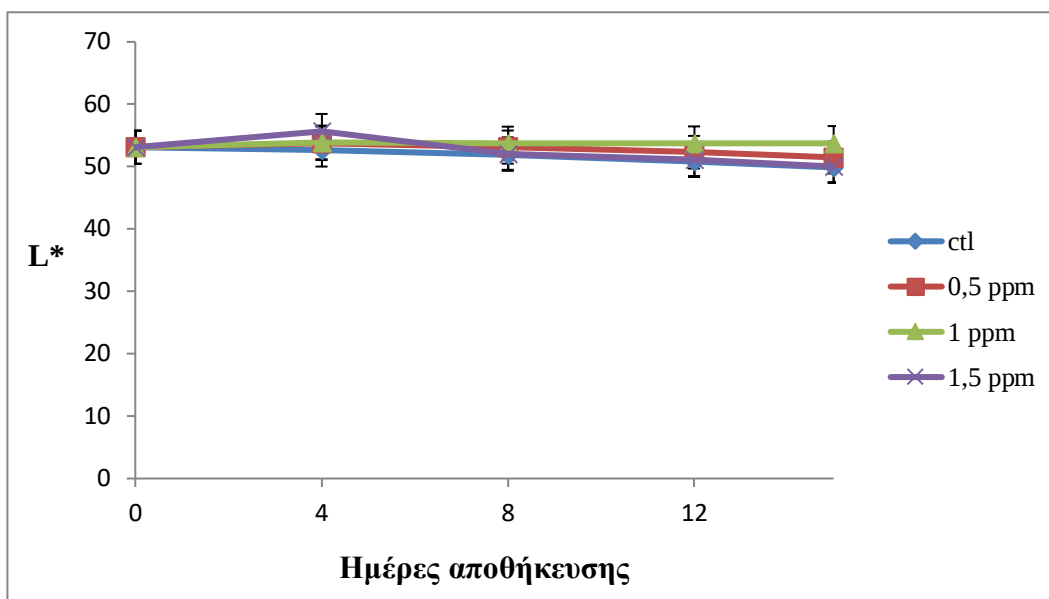
διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης. Το νερό δρα ως πλαστικοποιητής στα βιοπολυμερή και έτσι αυξάνεται η κινητικότητα των πολυμερικών αλυσίδων. Με την αύξηση της ευκαμψίας των πολυμερικών αλυσίδων ελαττώνεται η αντοχή στη διάτρηση.

Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις αύξησε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την αντοχή στη διάτρηση συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Το όζον διασπά το αιθυλένιο που παράγεται κατά την ωρίμανση των φρούτων (οζονόλυση αλκενίων) και έτσι αναστέλλεται η δράση του. Με την αναστολή της δράσης του αιθυλενίου αναστέλλεται και η δραστηριότητα του ενζύμου πολυγαλακτουρονάση επί των πηκτινών του κυτταρικού τοιχώματος. Οι Jin et al (1989) ανέφεραν ελαττωμένη παραγωγή αιθυλενίου σε ντομάτες και μανταρίνια που εκτέθηκαν σε όζον και αρνητικά ιόντα. Οι Nadas et al (2000) και Skog & Chu (2001) ανέφεραν μεγαλύτερη αντοχή στην διάτρηση σε αγγούρια και εσπεριδοειδή που οζονίστηκαν, συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς. Οι Nadas et al (2003) βρήκαν ότι το όζον επιβράδυνε το μαλάκωμα της φράουλας κατά την διάρκεια της αποθήκευσης σε θερμοκρασία ψύξης και δωματίου. Οι Salvador et al (2006) βρήκαν επίσης υψηλότερη αντοχή στην διάτρηση σε λωτούς που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 0,15 ppm συγκριτικά με τα δείγματα αναφοράς.

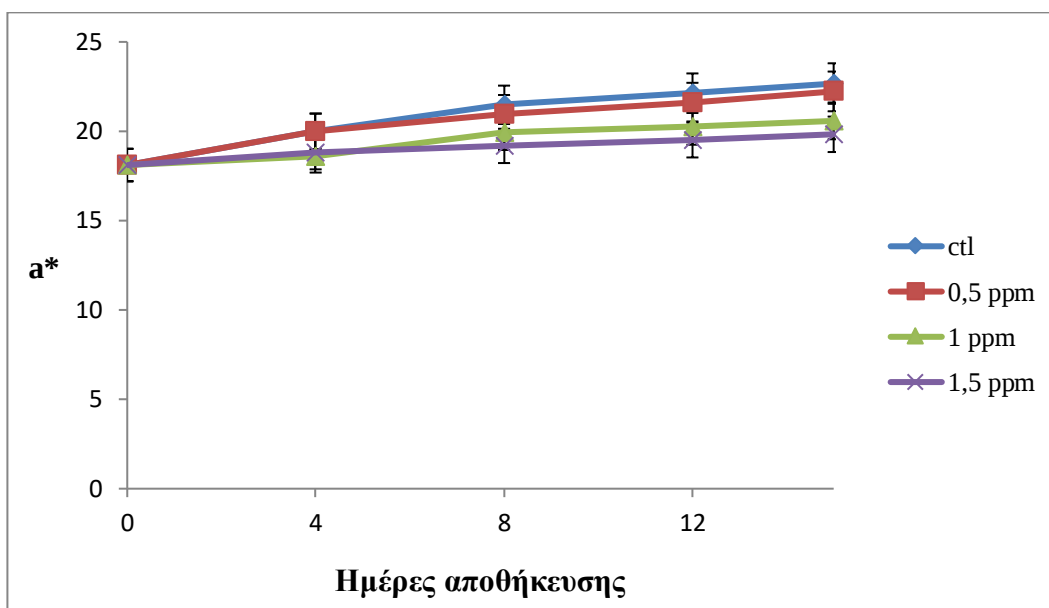
ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Τα αποτελέσματα των χρωματικών παραμέτρων απεικονίζονται στα διαγράμματα 28α-28γ.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια ελάττωση της χρωματικής παραμέτρου L^* σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η ελάττωση αυτή ξεκίνησε από την 4^η ημέρα της αποθήκευσης στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον. Η ελάττωση αυτή οφείλεται στην ενζυμική αμαύρωση των φυτικών ιστών που λαμβάνει χώρα κατά την επίδραση του ενζύμου πολυφαινολοξειδάση σε φαινολικά υποστρώματα (Satpute and Annapure 2013). Τα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον σε όλες τις συγκεντρώσεις εμφάνισαν στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) υψηλότερες τιμές L^* σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην λευκαντική ικανότητα του όζοντος η οποία οφείλεται στην διασπαστική ικανότητα που έχουν οι ελεύθερες οξειδωτικές ρίζες που παράγονται κατά την αποσύνθεση του όζοντος επί των βιοπολυμερών που απαρτίζουν το κυτταρικό τοίχωμα των κυττάρων.



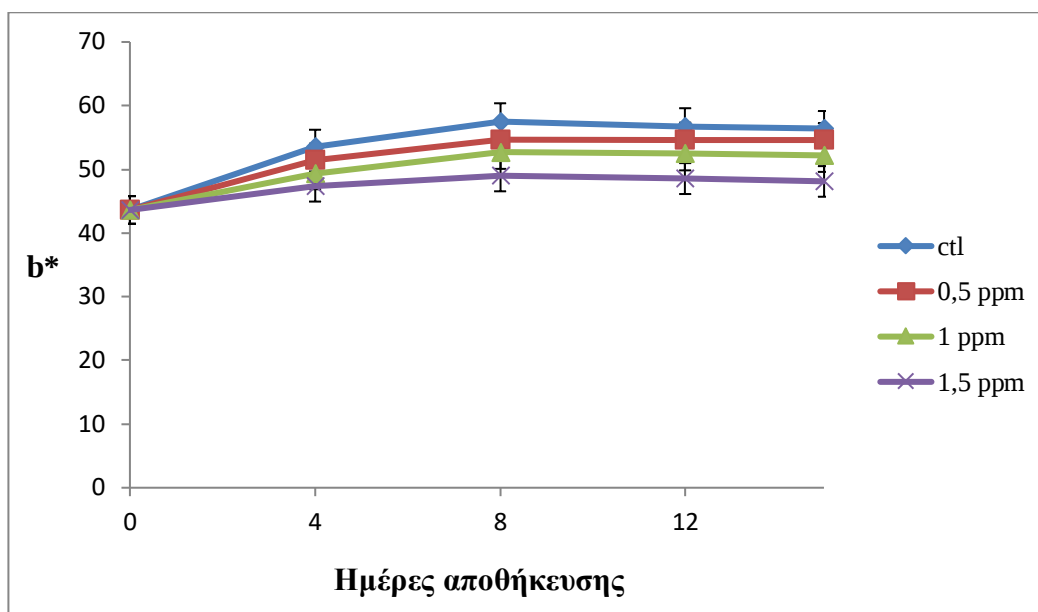
Διάγραμμα 28α. Επίδραση του οζονισμού στην παράμετρο L^* του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.



Διάγραμμα 28β. Επίδραση του οζονισμού στην παράμετρο a^* του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου a^* σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτή η αύξηση αποδίδεται στην ενζυμική διάσπαση της χλωροφύλλης από το ένζυμο χλωροφυλλάση που λαμβάνει χώρα κατά την ωρίμανση (Abaci

and Asma 2013). Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές a^* σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτή η ελάττωση αποδίδεται στην αναστολή της ωρίμανσης που προκαλεί το όζον και στην οξειδωτική διάσπαση των περιεχόμενων ερυθρών φλαβονοειδών από το όζον εξαιτίας της ακορεστότητας τους.



Διάγραμμα 28γ. Επίδραση του οζονισμού στην παράμετρο b^* του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

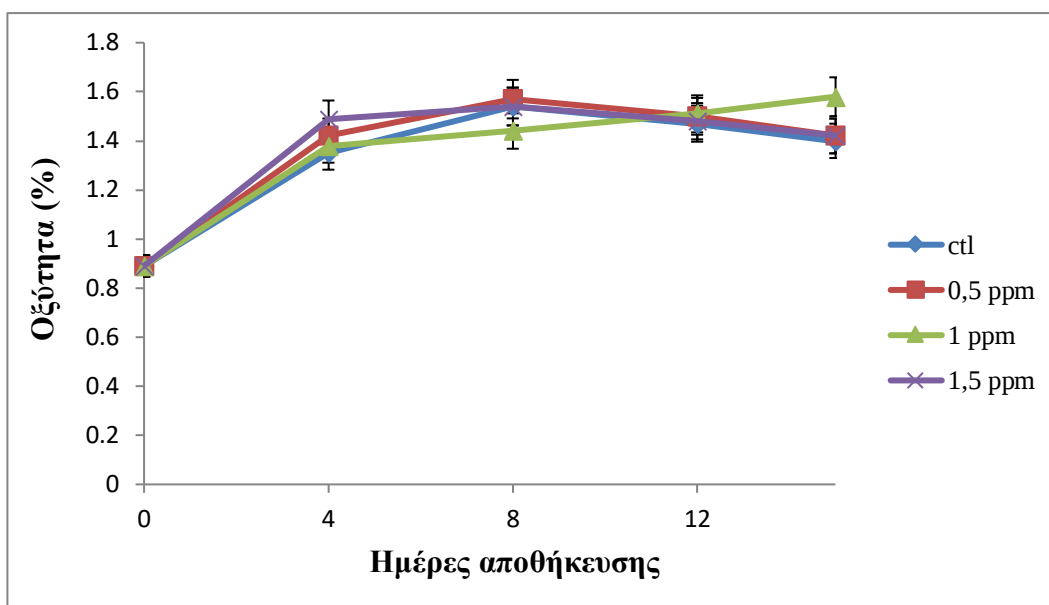
Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση της χρωματικής παραμέτρου b^* σε όλες τις μεταχειρίσεις. Αυτή η αύξηση αποδίδεται στην διάσπαση της χλωροφύλλης που λαμβάνει χώρα κατά την ωρίμανση. Ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις ελάττωσε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) τις τιμές b^* σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στην διασπαστική ικανότητα του όζοντος επί των ακόρεστων ενώσεων όπως τα καροτένια.

ΤΙΤΛΟΔΟΤΟΥΜΕΝΗ ΟΞΥΤΗΤΑ

Τα αποτελέσματα της τιτλοδοτούμενης οξύτητας απεικονίζονται στο διάγραμμα 29.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε μια αύξηση στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η επεξεργασία με αέριο όζον σε συγκέντρωση 0,5 και 1,5

ppm επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) την οξύτητα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, ενώ η οξύτητα των βερίκοκων που υπέστηκαν επεξεργασία με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

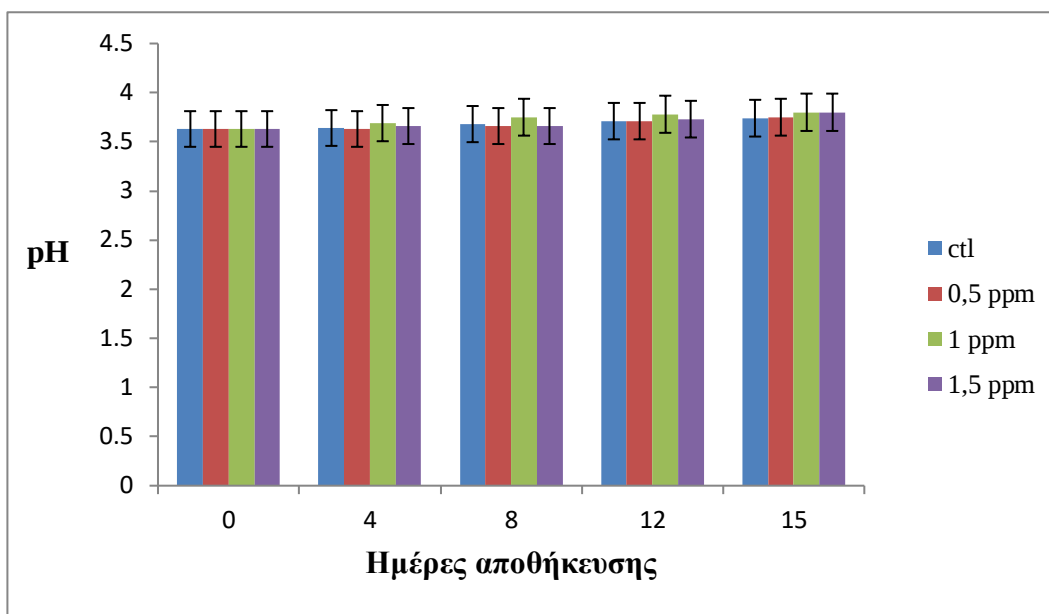


Διάγραμμα 29. Επίδραση του οζονισμού στην τιτλοδοτούμενη οξύτητα του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

pH

Τα αποτελέσματα της τιμής του pH απεικονίζονται στο διάγραμμα 30.

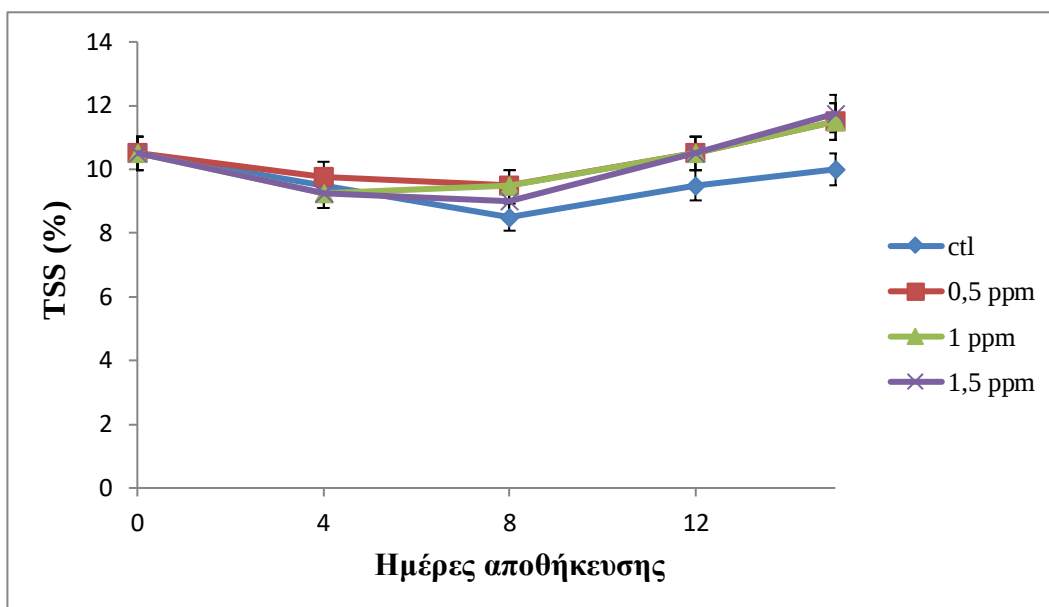
Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε αύξηση της τιμής του pH σε όλες τις μεταχειρίσεις. Το pH επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά ($p < 0,05$, $F > F_{\text{κριτήριο}}$) στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm και στα 1,5 ppm σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Το pH των βερίκοκων που επεξεργάστηκαν με όζον στα 0,5 ppm δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Alexander et al (2012) ανέφεραν επίσης μη σημαντικές μεταβολές στην τιμή του pH φράουλας που επεξεργάστηκε με υδατοειδές όζον. Η εφαρμογή άλλων οξειδωτικών μέσων όπως το διοξείδιο του χλωρίου σε μαρούλι και λάχανο δεν παρουσίασε επίσης σημαντικές διαφορές στην τιμή του pH (Gomez-Lopez et al 2008).



Διάγραμμα 30. Επίδραση του οζονισμού στο pH του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

ΟΛΙΚΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΣΤΕΡΕΑ

Τα αποτελέσματα των ολικών διαλυτών στερεών απεικονίζονται στο διάγραμμα 31.

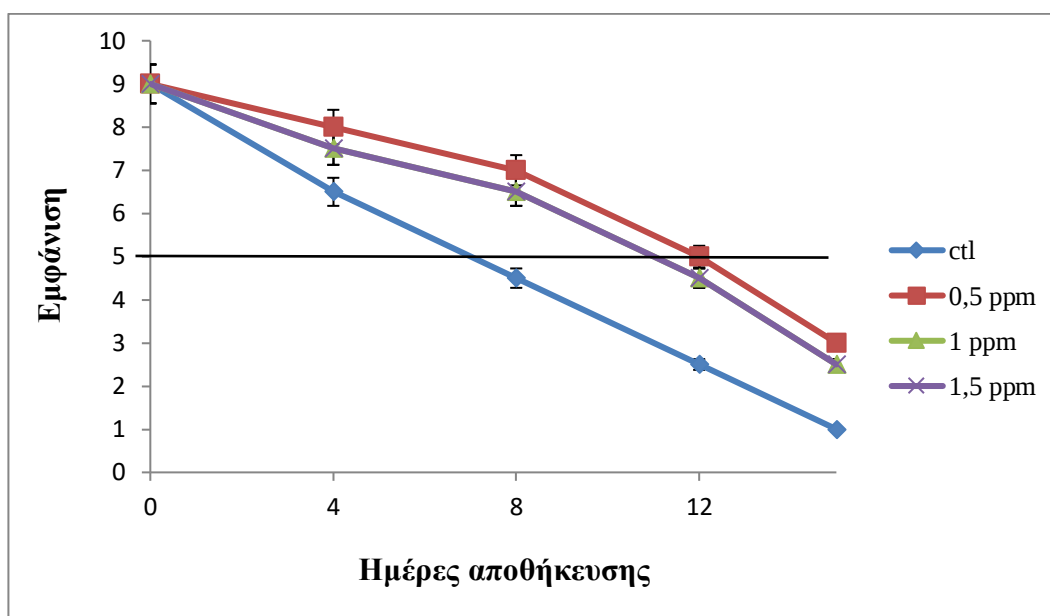


Διάγραμμα 31. Επίδραση του οζονισμού στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης παρατηρήθηκε ελάττωση στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών σε όλες τις μεταχειρίσεις μέχρι την 8^η ημέρα της αποθήκευσης. Ενώ, από την 8^η ημέρα μέχρι την τελευταία ημέρα της αποθήκευσης παρατηρήθηκε αύξηση της περιεκτικότητας των ολικών διαλυτών στερεών εξαιτίας της συμπύκνωσης αυτών που συμβαίνει στην υδατική φάση οφειλόμενη στην υψηλή απώλεια νερού. Η επεξεργασία με όζον σε όλες τις συγκεντρώσεις δεν προκάλεσε στατιστικά σημαντική αύξηση ($p > 0,05$, $F < F_{\text{κριτήριο}}$) στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών συγκριτικά με το δείγμα αναφοράς κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί εν μέρει στην υψηλότερη απώλεια βάρους, συνεπώς υψηλότερη συμπύκνωση, που παρουσίασαν τα οζονισμένα βερίκοκα σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα. Παρόμοιες μεταβολές αναφέρονται και από άλλους ερευνητές (Paul & Chen 1987, Kumar 1994, Lydakis & Aked 2003, Mahajan et al 2003, Ray et al 2004).

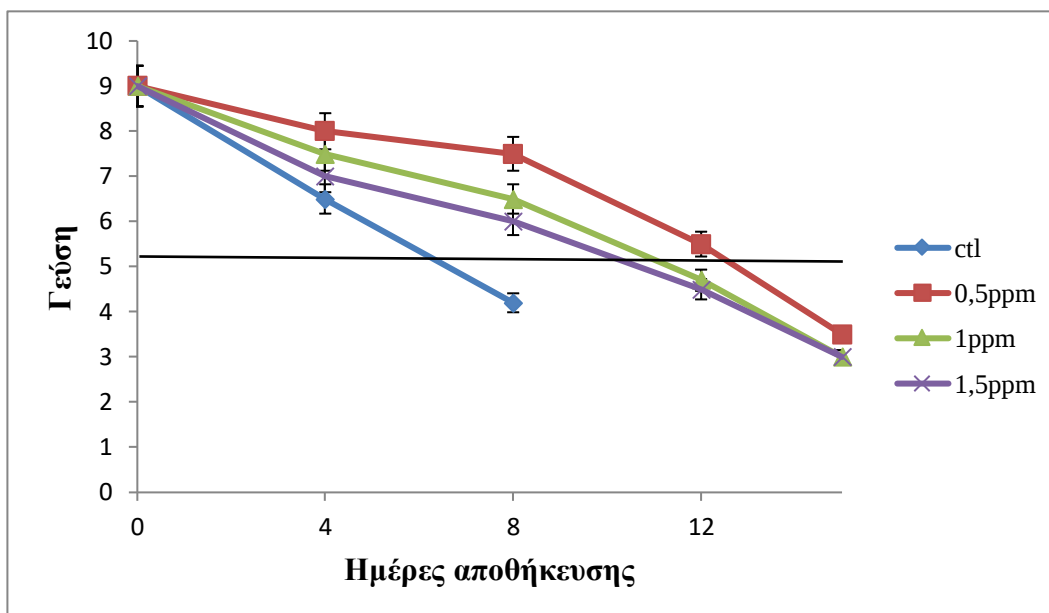
ΟΡΓΑΝΟΛΗΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Τα αποτελέσματα των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών απεικονίζονται στα διαγράμματα 32α-32β.



Διάγραμμα 32α. Επίδραση του οζονισμού στην εμφάνιση του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η εμφάνιση ενός τροφίμου αποτελεί το βασικότερο οργανοληπτικό χαρακτηριστικό καθώς ο καταναλωτής είναι το πρώτο που παρατηρεί και ελέγχει για την αγορά του. Στα δείγματα που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή η εμφάνιση των μη επεξεργασμένων βερίκοκων αρχίζει και αλλοιώνεται από την 7^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ η εμφάνιση των βερίκοκων που επεξεργάστηκαν με όζον σε όλες τις συγκεντρώσεις άρχισε να αλλοιώνεται από την 11^η ημέρα. Η εμφάνιση των βερίκοκων που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm ήταν ελαφρώς καλύτερη από την εμφάνιση των βερίκοκων που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm. Επίσης και άλλοι ερευνητές ισχυρίζονται ότι η επεξεργασία φρούτων με αέριο όζον σε χαμηλές συγκεντρώσεις συνέβαλε στην διατήρηση της εμφάνισης αυτών (Sarig et al 1996, Geransayeh et al 2012).



Διάγραμμα 32β. Επίδραση του οζονισμού στην γεύση του βερίκοκου κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Η γεύση των βερίκοκων που δεν υπέστηκαν επεξεργασία άρχισε να αλλοιώνεται από την 6^η ημέρα της αποθήκευσης. Η γεύση των βερίκοκων που υπέστηκαν επεξεργασία με αέριο όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm διατηρήθηκε σε οργανοληπτικά αποδεκτά όρια μέχρι και την 13^η ημέρα της αποθήκευσης, ενώ η γεύση των βερίκοκων που επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 1,0 και 1,5 ppm διατηρήθηκε αντίστοιχα μέχρι και την 11^η ημέρα της αποθήκευσης.

ΠΤΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Στην παρούσα μελέτη ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν ημιποσοτικά οι πτητικές ενώσεις δειγμάτων βερίκοκου, με την τεχνική μικροεκχύλισης δια στερεάς φάσης σε συνδυασμό με GC-MS. Τα δείγματα επεξεργάστηκαν με αέριο όζον σε συγκεντρώσεις 0,5, 1 και 1,5 ppm για 60 min. Οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή, στην μέση και στο τέλος της διάρκειας της αποθήκευσης.

Τα αποτελέσματα των πτητικών απεικονίζονται στους πίνακες 14α-14δ.

Αλδεϋδες :

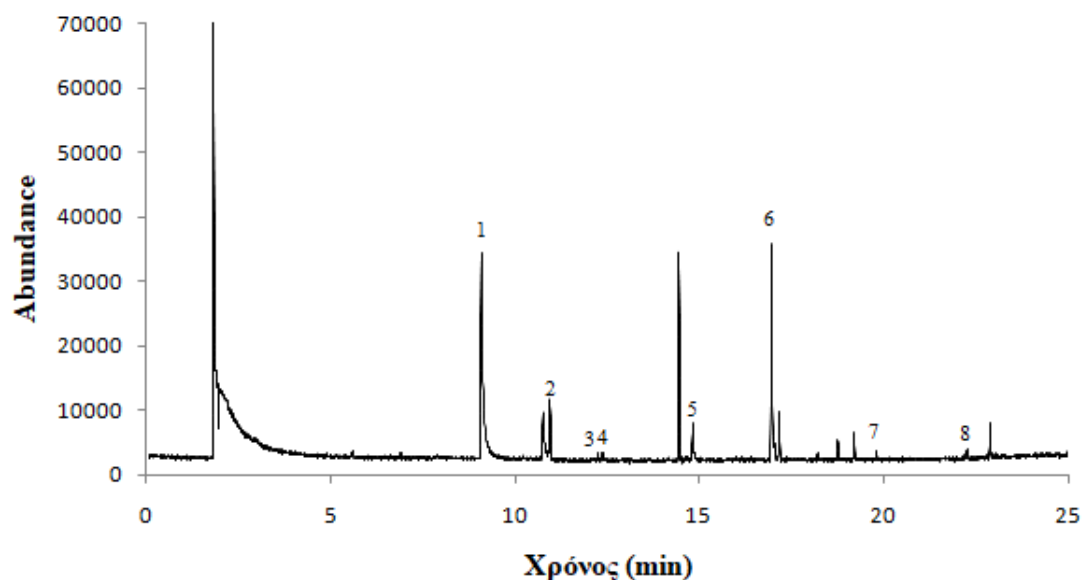
Οι αλδεϋδες που ανιχνεύτηκαν είναι : εξανάλη, βενζαλδεϋδη, trans-2-εξενάλη και β-κυκλοκιτράλη. Η βενζαλδεϋδη ανιχνεύτηκε στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,0 ppm ενώ, η trans-2-εξενάλη και η β-κυκλοκιτράλη ανιχνεύτηκαν στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 1,5 ppm. Η εξανάλη και η trans-2-εξενάλη παράγονται από την οξείδωση του λινελαϊκού οξέος μέσω της δράσης του ενζύμου λιποξυγενάση. Η συγκέντρωση της εξανάλης αυξήθηκε σε όλες τις μεταχειρίσεις κατά την διάρκεια της αποθήκευσης και επίσης αυξήθηκε και με την αύξηση της συγκέντρωσης του όζοντος, δείγμα της οξειδωτικής επίδρασης του όζοντος επί των ακόρεστων ενώσεων.

Αλκοόλες :

Οι αλκοόλες που ανιχνεύτηκαν είναι : α-τερπινόλη και 1-εξανόλη. Η 1-εξανόλη προέρχεται από τη οξείδωση του λινολεϊκού οξέος μέσω της δράσης του ενζύμου λιποξυγενάση. Η 1-εξανόλη προσδιορίστηκε μόνο στα οζονισμένα δείγματα

Κετόνες :

Οι κετόνες που ανιχνεύτηκαν είναι : 6-μεθυλο-5-επτεν-2-όνη και β-ιονόνη. Αυτές οι δύο κετόνες προσδιορίστηκαν στα βερίκοκα που οζονίστηκαν σε συγκέντρωση 1,5 ppm. Σύμφωνα με τους Shu et al (1997) η οζονόλυση της λιναλοόλης οδηγεί στον σχηματισμό της 6-μεθυλο-5-επτεν-2-όνης. Η β-ιονόνη παράγεται κατά την οξειδωτική διάσπαση του β-καροτένιου (Cole et al 1957, BATTERY & LING 1993, Simkin et al 2004).



Σχήμα 5. Αντιπροσωπευτικό χρωματογράφημα πτητικών συστατικών βερίκοκου.

Πίνακας 14α. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στα ανεπεξέργαστα βερίκοκα.

	Ένωση	R.T.	0d	10d	15d
1	4-μεθυλο-2-πεντανόνη	9,10	1,2	1,2	1,2
2	Εξανάλη	10,77	0,31±0,08	0,67±0,11	-
3	α-τερπινόλη	16,95	0,74±0,13	1,02±0,15	-

Πίνακας 14β. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον στα 0,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	0d	10d	15d
1	4-μεθυλο-2-πεντανόνη	9,10	1,2	1,2	1,2
2	Εξανάλη	10,77	0,31±0,10	0,83±0,16	0,70±0,14
3	1-εξανόλη	12,37	n.d.	0,44±0,11	0,56±0,13
4	α-τερπινόλη	16,95	0,74±0,15	1,52±0,20	0,91±0,21

Πίνακας 14γ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,0 ppm.

	Ένωση	R.T.	0d	10d	15d
1	4-μεθυλο-2-πεντανόνη	9,10	1,2	1,2	1,2
2	Εξανάλη	10,77	0,31±0,09	0,89±0,17	0,76±0,14
3	1-εξανόλη	12,37	n.d.	0,40±0,12	0,64±0,13
4	Βενζαλδεϋδη	14,61	n.d.	n.d.	0,50±0,17
5	α-τερπινόλη	16,95	0,74±0,13	0,99±0,15	1,16±0,19

Πίνακας 14δ. Πτητικά συστατικά (mg/kg) στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον στα 1,5 ppm.

	Ένωση	R.T.	0d	10d	15d
1	4-μεθυλο-2-πεντανόνη	9,10	1,2	1,2	1,2
2	Εξανάλη	10,77	0,31±0,07	0,78±0,15	1,37±0,19
3	Trans-2-εξανάλη	12,10	n.d.	n.d.	0,39±0,10
4	1-εξανόλη	12,37	n.d.	0,35±0,11	0,41±0,12
5	6-μεθυλο-5-επτεν-2-όνη	14,82	n.d.	n.d.	0,21±0,09
6	α-τερπινόλη	16,95	0,74±0,12	1,42±0,19	1,40±0,22
7	β-κυκλοκιτράλη	19,19	n.d.	n.d.	0,14±0,05
8	β-ιονόνη	22,87	n.d.	n.d.	1,59±0,12

Δ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα σταφύλια ο οζονισμός στα 0,5 ppm βελτίωσε την εμφάνιση και την γεύση τους και αύξησε τον χρόνο ζωής τους κατά 7 ημέρες συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα. Αντίθετα, η εφαρμογή υψηλότερων συγκεντρώσεων της τάξης των 1,0 και 1,5 ppm ελάττωσε τον χρόνο ζωής των σταφυλιών, επιταχύνοντας τον ρυθμό υποβάθμισης της εμφάνισης, της γεύσης και της οσμής αυτών. Είναι φανερό ότι σε αυτές τις δύο συγκεντρώσεις κυριάρχησε η υψηλή οξειδωτική ικανότητα του όζοντος και προκάλεσε ανεπιθύμητες και μη αναστρέψιμες οξειδωτικές μεταβολές στα σταφύλια που εκδηλώθηκαν ως επιφανειακές κηλίδες και λύση του επιδερμικού ιστού. Αντίθετα, ο οζονισμός στα 0,5 ppm πιθανόν να ανέστειλε την δράση των ενζύμων που υποβαθμίζουν την ποιότητα του σταφυλιού όπως η πολυφαινολοξειδάση, η υπεροξειδάση και η απαμινάση της φαινυλαλανίνης. Η καλύτερη διατηρησιμότητα των σταφυλιών που οζονίστηκαν στα 0,5 ppm μπορεί να αποδοθεί και εν μέρει στον χαμηλότερο ρυθμό απώλειας βάρους που παρουσίασαν σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα σταφύλια.

Στα μαρούλια η οπτική εμφάνιση παρουσίασε σημαντικές βελτιώσεις μετά την προσθήκη κιτρικού οξέος, τον οζονισμό στα 0,5 ppm και τον οζονισμό στα 0,5 ppm με προσθήκη κιτρικού οξέος σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα μαρούλια. Η βελτίωση αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στην ανασταλτική επίδραση του όζοντος σε χαμηλές συγκεντρώσεις και του κιτρικού οξέος στα ένζυμα υποβάθμισης της εμφάνισης που προαναφέρθηκαν. Ο χρόνος ζωής αυξήθηκε κατά 4 ημέρες με την εφαρμογή των παραπάνω επεξεργασιών. Σημαντική ήταν επίσης και η συμβολή αυτών των τριών επεξεργασιών στην ελάττωση της Ολικής Μεσόφιλης Χλωρίδας και των Εντεροβακτηρίων κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Οι Ζύμες και οι Μύκητες παρουσίασαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην επίδραση αυτών των τριών επεξεργασιών εξαιτίας της διαφορετικής μοριακής δομής της κυτταρικής τους μεμβράνης.

Στις φράουλες η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy βελτίωσε ελάχιστα την εμφάνιση και την γεύση της σε σχέση με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Τα ίδια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στις φράουλες που ζεματίστηκαν, οζονίστηκαν στα 0,5 ppm και οζονίστηκαν στα 0,5 ppm με ζεμάτισμα. Εδώ είναι εμφανής και η ανασταλτική επίδραση του ζεματίσματος επί των ενζύμων υποβάθμισης της εμφάνισης των γεωργικών προϊόντων. Ο χρόνος ζωής της φράουλας αυξήθηκε κατά 2 ημέρες. Αντίθετα, οι μεγαλύτερες δόσεις ακτινοβολήσης και οζονισμού επιτάχυναν τον ρυθμό υποβάθμισης της εμφάνισης και της γεύσης συγκριτικά με τις μη επεξεργασμένες φράουλες κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Στα βερίκοκα παρατηρήθηκε ότι ο οζονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις που εφαρμόστηκε (0,5, 1,0 και 1,5 ppm) βελτίωσε την εμφάνιση και την γεύση των βερίκοκων συγκριτικά με τα μη επεξεργασμένα βερίκοκα κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν στα βερίκοκα που επεξεργάστηκαν με όζον σε συγκέντρωση 0,5 ppm και προκάλεσε αύξηση του χρόνου ζωής κατά 5 ημέρες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η επίδραση του αερίου όζοντος στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στον χρόνο ζωής του σταφυλιού, της φράουλας, του βερίκοκου και φρεσκοκομμένου μαρουλιού υπό συνθήκες ψύξης. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση της ακτινοβόλησης σε δύο δόσεις (0,5 και 1,0 kGy) στα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά και στον χρόνο ζωής της φράουλας υπό συνθήκες ψύξης. Τα σταφύλια, τα βερίκοκα, οι φράουλες και τα μαρούλια οζονίστηκαν σε τρεις διαφορετικές συγκεντρώσεις όζοντος 0,5, 1,0 και 1,5 ppm για 60, 60, 40 και 45 min αντίστοιχα. Οι φράουλες και τα μαρούλια υποβλήθηκαν επίσης σε ήπια θερμική επεξεργασία και προσθήκη κιτρικού οξέος αντίστοιχα. Μια παρτίδα φράουλας υποβλήθηκε σε ήπια θερμική επεξεργασία με εμβάπτιση σε θερμό νερό στους 55° C για 15 sec και τρεις παρτίδες φράουλας οζονίστηκαν και παράλληλα υποβλήθηκαν σε θερμική επεξεργασία. Στα μαρούλια μια παρτίδα εμβαπτίστηκε σε διάλυμα κιτρικού οξέος 1% w/v για 30 sec και τρεις παρτίδες μαρουλιού οζονίστηκαν και ακολούθως εμβαπτίστηκαν σε κιτρικό οξύ. Στην συνέχεια τα μαρούλια συσκευάστηκαν υπό παθητική τροποποιημένη ατμόσφαιρα σε σακούλες PET//LLDPE. Κατά την διάρκεια της αποθήκευσης εκτιμήθηκαν τα ακόλουθα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά : απώλεια βάρους, αντοχή στη διάτρηση, χρωματικές παράμετροι (L^* , a^* και b^*), ολικά διαλυτά στερεά, ολική οξύτητα, pH και πτητικά συστατικά. Επίσης, εκτιμήθηκαν και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (εμφάνιση, γεύση και οσμή). Επί πλέον, στα σταφύλια προσδιορίστηκαν η ολική μεσόφιλη χλωρίδα και οι μύκητες-ζύμες ενώ στα μαρούλια πραγματοποιήθηκε ανάλυση του υπερκείμενου χώρου (συγκεντρώσεις O_2 και CO_2) και προσδιορίστηκαν η ολική μεσόφιλη χλωρίδα, οι μύκητες-ζύμες και τα εντεροβακτήρια.

Η απώλεια βάρους ήταν στατιστικά σημαντική ($p < 0,05$) στα σταφύλια, στις φράουλες και στα βερίκοκα που υποβλήθηκαν σε όλες τις μεταχειρίσεις. Στα σταφύλια η επεξεργασία με όζον στα 0,5 ppm αύξησε στατιστικά σημαντικά την αντοχή στη διάτρηση. Οι φράουλες που επεξεργάστηκαν με ζεμάτισμα, όζον στα 1,0 ppm και όζον στα 1,0 ppm και ακολούθως ζεμάτισμα παρουσίασαν στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή στη διάτρηση. Στα βερίκοκα η αντοχή στη διάτρηση αυξήθηκε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις που υποβλήθηκαν. Στα σταφύλια ο οζονισμός δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά ($p > 0,05$) τις τιμές της χρωματικής παραμέτρου L^* . Ο οζονισμός στα 0,5 ppm ελάττωσε στατιστικά σημαντικά τις τιμές της χρωματικής παραμέτρου b^* . Στις φράουλες ο οζονισμός στα 1,0 ppm και 1,5 ppm σε συνδυασμό με ζεμάτισμα επηρέασε στατιστικά σημαντικά την χρωματική παράμετρο L^* . Η χρωματική παράμετρος a^* επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά από τον οζονισμό στα 1,0 ppm και 1,5 ppm και 0,5 ppm με επακόλουθο ζεμάτισμα. Η χρωματική παράμετρος b^* επηρεάστηκε στατιστικά

σημαντικά από το ζεμάτισμα και τον οξονισμό στα 1,5 ppm. Στα βερίκοκα ο οξονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις αύξησε σημαντικά την χρωματική παράμετρο L^* , ενώ ελάττωσε σημαντικά τις χρωματικές παραμέτρους a^* και b^* . Η περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών δεν επηρεάστηκε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν στα σταφύλια και στις φράουλες με εξαίρεση τον οξονισμό στα 1,5 ppm στην φράουλα. Αντίθετα, στα βερίκοκα ο οξονισμός σε όλες τις συγκεντρώσεις προκάλεσε σημαντική μεταβολή στην περιεκτικότητα των ολικών διαλυτών στερεών. Η οξύτητα του σταφυλιού, της φράουλας και του βερίκοκου επηρεάστηκε σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις. Το όξον δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά την τιμή του pH στα βερίκοκα, ενώ τα σταφύλια που οξονίστηκαν στα 0,5 και 1,0 ppm παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Επίσης και οι φράουλες που οξονίστηκαν στα 1,0 ppm και στα 1,5 ppm με ζεμάτισμα παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην τιμή του pH. Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με όξον στα 0,5 και 1,0 ppm παρουσίασαν στατιστικά σημαντική αύξηση στην παραγωγή CO_2 . Τα μαρούλια που επεξεργάστηκαν με κιτρικό οξύ, όξον στα 0,5 ppm και 1,0 ppm και όξον στα 0,5 ppm και κιτρικό οξύ παρουσίασαν στατιστικά σημαντική ελάττωση στον πληθυσμό της ολικής μεσόφιλης χλωρίδας. Ο πληθυσμός των μυκήτων-ζυμών δεν επηρεάστηκε στατιστικά σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις. Η επεξεργασία με κιτρικό οξύ ελάττωσε στατιστικά σημαντικά την τιμή του pH, ενώ η επεξεργασία με όξον και όξον και προσθήκη κιτρικού οξέος δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά την τιμή του pH. Καμία από τις μεταχειρίσεις δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά τις χρωματικές παραμέτρους L^* , a^* και b^* . Στις φράουλες η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε σημαντικά το ποσοστό της απώλειας βάρους και την τιτλοδοτούμενη οξύτητα. Η ακτινοβολήση στα 0.5 kGy δεν επηρέασε σημαντικά την αντοχή στη διάτρηση, τα ολικά διαλυτά στερεά και το pH της φράουλας, ενώ παρατηρήθηκε μια σημαντική ελάττωση σε αυτές τις παραμέτρους στα 1.0 kGy. Η ακτινοβολήση και στις δύο δόσεις αύξησε σημαντικά ($p < 0.05$) μόνο την παράμετρο L^* της φράουλας. Εντούτοις, παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση ($p < 0.05$) για τις παραμέτρους a^* και b^* στις φράουλες που ακτινοβολήθηκαν στα 1.0 kGy.

Όσο αφορά τον χρόνο ζωής, η επεξεργασία με όξον στα 0,5 ppm αύξησε το χρόνο ζωής του σταφυλιού, του μαρουλιού και του βερίκοκου κατά 7, 4 και 5 ημέρες αντίστοιχα. Ο οξονισμός στα 0,5 ppm και η ακτινοβολήση στα 0,5 kGy στην φράουλα δεν επέφερε ουσιαστική αύξηση στον χρόνο ζωής της.

ABSTRACT

In the present study the effect of gaseous ozone treatment on physicochemical characteristics and shelf life of grape, strawberry, apricot and fresh-cut lettuce under refrigerated conditions was investigated. Also, the effect of γ -irradiation treatment at two doses (0.5 and 1.0 kGy) on physicochemical characteristics and shelf life of strawberry under refrigerated conditions was investigated. Grapes, apricots, strawberries and lettuces were ozonated at three different ozone concentrations 0.5, 1.0 and 1.5 ppm for 60, 60, 40 and 45 min respectively. Strawberries and lettuces were subjected to mild thermal treatment and citric acid addition respectively. One batch of strawberries was immersed into water at 55° C for 15 sec, three batches were ozonated and afterwards were immersed into water. One batch of lettuces was immersed into citric acid solution 1% w/v for 30 sec, three batches were ozonated and afterwards were immersed into citric acid solution. Lettuces were packaged under passive modified atmosphere packaging into PET//LLDPE packages. During storage the following physicochemical characteristics were estimated: weight loss, firmness, color parameters (L^* , a^* και b^*), total soluble solids (TSS), titreatable acidity, pH and volatile compounds. Sensory analysis was also performed (appearance, taste and odor). Moreover, total mesophilic counts and yeast-mold counts were estimated in grapes, while headspace analysis, total mesophilic counts, yeast-mold counts and *Enterobacteriaceae* counts were monitored on lettuces.

Weight loss was statistically significant in grapes, strawberries and apricots on all treatments subjected. Ozone treatment at 0.5 ppm increase significantly ($p < 0.05$) the firmness of grapes. Strawberries blanched and ozonated at 1.0 ppm and 1.0 ppm plus blanching presented statistically significant higher firmness. Apricots presented significant higher firmness in all treatments. In grapes, L^* value was not affected significantly ($p > 0.05$) between ozone treatments and control sample. Ozonation at 0.5 ppm reduce significantly ($p < 0.05$) b^* values compared to control samples during cold storage. In strawberries ozonation at 1.0 ppm and 1.5 ppm plus blanching affect significantly ($p < 0.05$) L^* color parameter. Color parameter a^* was significantly affected ($p < 0.05$) by ozonation treatments at 1.0 ppm, 1.5 ppm and 0.5 ppm plus blanching. Color parameter b^* was significantly affected ($p < 0.05$) by blanching and ozonation treatment at 1.5 ppm. In apricots ozonation at all concentrations resulted in a significant ($p < 0.05$) increase in TSS content and L^* color parameter. However, a^* and b^* color values were reduced significantly ($p < 0.05$). TSS content did not affected significantly in all treatments applied to grapes and strawberries except for ozonation at 1.5 ppm in strawberry. Titreatable acidity of grape, strawberry and apricot did not change significantly in all treatments. Ozone did not affect

significantly pH value of apricot while, grapes ozonated at 0.5 and 1.0 ppm presented statistically significant differences. Also, strawberries ozonated at 1.0 ppm and 1.5 ppm plus blanching presented statistically significant differences in pH value. A significant increase ($p < 0.05$) in carbon dioxide production rate was occurred in samples treated with ozone at 0.5 ppm and 1.0 ppm. Samples treated with citric acid, ozone at concentrations 0.5 ppm and 1.0 ppm and ozone at 0.5 ppm plus citric acid presented a significantly lower ($p < 0.05$) total mesophilic counts. Yeast and mold counts were not affected significantly ($p > 0.05$) compared to untreated lettuces in all treatments. Citric acid treatment cause a significant ($p < 0.05$) decrease in pH value, but ozone treatment and ozone treatment with citric acid did not affected significantly ($p > 0.05$) the pH value. L^* , a^* and b^* parameters were also not affected significantly ($p > 0.05$) compared to untreated lettuces in all treatments. In strawberries irradiation at both doses increased significantly ($p < 0.05$) the weight loss percentage and titratable acidity. Irradiation at 0.5 kGy did not affect significantly ($p > 0.05$) the firmness, total soluble solid content and pH values of strawberries, while a significant decrease ($p < 0.05$) was observed in the aforementioned parameters during irradiation at 1.0 kGy. Irradiation at both doses increased significantly ($p < 0.05$) only the L^* values of strawberries. However, a significant effect ($p < 0.05$) was observed for a^* and b^* values in strawberries treated with 1.0 kGy.

Ozone treatment at 0.5 ppm increase shelf life of grape, lettuce and apricot by 7, 4 and 5 days respectively. Ozone treatment at 0.5 ppm and irradiation at 0.5 kGy did not induce essential increase in shelf life of strawberry.

E. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A. ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abaci Z. T. & Asma B. M. (2013). Examination of some physiological and biochemical changes based on ripening in fruits of different types of apricots. *African Journal of Agricultural Research*, **8(21)**, 2582-2586.
2. Abbot J. A. (1999). Quality measurements of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, **15**, 207-225.
3. Achen M. & Yousef A. E. (2001). Efficacy of ozone against *Escherichia coli* O157:H7 on apples. *Journal Food Science*, **66**, 1380-1384.
4. Adams D. O. & Yang S. F. (1979). Ethylene biosynthesis : Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **76**, 170.
5. Aday M. S. & Caner C. (2014). Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life. *Food Science and Technology*, **57**, 344-351.
6. Aguayo E., Escalona V. H. & Artez F. (2004). Quality of fresh-cut tomato as affected by kind of cut, packaging, temperature and storage time. *European Food Research and Technology*, **219**, 492-499.
7. Aguayo E., Escalona V. H. & Artes F. (2006). Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, **39**, 169–177.
8. Akbas M. Y. & Olmez H. (2007). Effectiveness of organic acids, ozonated water and chlorine dippings on microbial reduction and storage quality of fresh-cut iceberg lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **87**, 2609-2616.
9. Al-Bachir (1999). Effect of gamma irradiation on storability of two cultivars of Syrian grapes (*Vitis vinifera*). *Radiation Physics and Chemistry*, **55**, 81-85.
10. Alder M. G. & Hill G. R. (1950). *Journal of the American Chemical Society*, **72**, 1884-1886.
11. Alexander E. M. C., Brandao T. R. S. & Silva C. L. M. (2012). Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*, **108**, 417-426.
12. Alexopoulos A., Plessas S., Ceciu S., Lazar V., Mantzourani I., Voidarou C., Stavropoulou E. & Bezirtzoglou E. (2013). Evaluation of ozone efficacy on the reduction of microbial

- population of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa*) and green bell pepper (*Capsicum annuum*). *Food Control*, **30**, 491-496.
13. Allende A., Marin A., Buendia B., Tomas-Barbean F. & Gil M.I. (2007). Impact of combined postharvest treatments (UV-C light , gaseous O₃ , super atmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, **46**, 201-211.
 14. Alvarez M. & O'Brien R. T. (1982). Mechanisms of inactivation of poliovirus by chlorine dioxide and iodine. *Applied and Environmental Microbiology* **44**, 1064–1071.
 15. Alvarez R., Menendez S., Peguera M. & Turrent J. (1997). Treatment of primary pioderma with ozonized sunflower oil. In Second International Symposium on Ozone Applications, Havana. Cuba, March 24–26. p. 76. National Center for Scientific Research, Havana, Cuba.
 16. Amerine M. A., Pangborn R. M. & Roessler E. B. (1965). Principles of Sensory Evaluation of Food. Academic Press, New York, N.Y.
 17. Amoros A., Serrano M., Riquelme F. & Romajaro F. (1989). Fruits, **44**, 171-175.
 18. An J., Zhang M. & Lu Q. (2007). Changes in some quality indexes in fresh-cut green asparagus pretreated with aqueous ozone and subsequent modified atmosphere packaging. *Journal of Food Engineering*, **78**, 340-344.
 19. Angelino P. D., Golden A. & Mount J. R. (2003). Effect of ozone treatment on quality of orange juice. In: IFT Annual Meeting Book of Abstract, 2003, Abstract No. 76C–2. Chicago, IL: Institute of Food Technologists.
 20. Anthony B. R., Phillips D. J., Badr S. & Aharoni Y. (1989). Decay control and quality maintenance after moist air heat treatment of plastic wrapped nectarines. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **114**, 946-949.
 21. Arey J., Winer A. M., Atkinson R., Aschmann S. M., Long W. D. & Morrison C. L. (1991). The emission of (Z)-3-hexen-1-ol, (Z)-3-hexenylacetate and other oxygenated hydrocarbons from agricultural plants species. *Atmospheric Environment* 5/6. 1063-1076.
 22. Arjeh E., Barzegar M. & Sahari M. A. (2015). Effects of gamma irradiation on physicochemical properties, antioxidant and microbial activities of sour cherry juice. *Radiation Physics and Chemistry*, **114**, 18-24.
 23. Artes-Hernandez F., Tomas-Bardera F. A. & Artes F. (2006). Modified atmosphere packaging preserves quality of SO₂-free ‘Superior seedless’ table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **39(2)**, 146-154.

24. Artes-Hernandez F., Aguayo E. & Artes F. (2004). Alternative atmosphere treatments for keeping quality of 'Autumn seedless' table grapes during long-term cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, **31**, 59–67.
25. Atkinson D. A., Sim T. C. & Grant J. A. (1993). Sodium metabisulfite and SO₂ release : an under-recognized hazard among shrimp fishermen. *Annals of Allergy*, **71**, 563-566.
26. Ayala-Zavala J. F., Wang S. Y., Wang C. Y. & Gonzalez-Aguilar G. A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *Lebensmittel-Wissenschaft und –Technologie*, **37**, 687-695.
27. Azodanlou R., Darbellay C., Luisier J. L., Villettaz J. C. & Amado R. (2004). Change in flavor and texture during the ripening of strawberries. *European Food Research and Technology*, **218**, 167-172.
28. Babior B. M. (2000). Phagocytes and oxidative stress. *American Journal of Medicine*, **109**, 33–44.
29. Badwey J. A. & Karnowsky M. L. (1980). Active oxygen species and functions of phagocytic leukocytes. *Annual Review of Biochemistry*, **49**, 695–726.
30. Baker K. F. (1962). Thermotherapy of planting material. *Phytopathology*, **52**, 1244-1255.
31. Baldwin E. A., Nisperos-Carriedo M. O. & Moshonas M. G. (1991). Quantitative analysis of flavor and other volatiles and certain constituents of two tomatoes cultivars during ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **116**, 265-269.
32. Baldwin E. A., Scott J. W., Shewmaker C. K. & Schuch W. (2000). Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *Hortscience*, **35**, 1013-1022.
33. Barboni T., Cannac M. & Chiaramonti N. (2010). Effect of cold storage and ozone treatment on physiochemical parameters, soluble sugars and organic acids in *Actinidia deliciosa*. *Food Chemistry*, **121**, 946-951.
34. Bardy R. W., Sommer N. F. & Buckley P. M., (1970). Recovery of viability and radiation resistance by heat injure conidia of *Penicillium expansum* Lk. Ex Thom. V. *Journal of Bacteriology*, **102**, 514-520.
35. Barth M. M., Zhou C., Mercier J. & Panyne F. A. (1995). Ozone storage effect on anthocyanin content and fungal growth in blackberries. *Journal of Food Science*, **60**, 1286-1288.
36. Baur S., Klaiber R., Hammes W. P. & Carle R. (2004). Sensory and microbiological quality of shredded, packaged iceberg lettuce as affected by pre-washing procedures with

- chlorinated and ozonated water. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **5**, 45-55.
37. Belitz H. D., Grosch W. & Schieberle P. (2004). *Food Chemistry*, third ed. Springer, Berlin,
 38. Beltran D., Selma Maria V., Marin A. & Gil Maria I. (2005). Ozonated water extends the Shelf Life of Fresh-Cut Lettuce. *Journal Agriculture Food Chemistry*, **53(14)**, 5654-5663.
 39. Benjamas T., Vipavee A., Silchai C., Thanomrat W., Raksawan P. & Chuda S. (2002). Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria. *The Journal of General and Applied Microbiology*, **48**, 193-199.
 40. Benoit M. A., Aprano J. D. & Lacroix M. (2000). Effect of gamma irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content and respiration of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Journal Agriculture Food Chemistry*, **48**, 6312-6316.
 41. Berna Z. A., Geysen S., Li S., Verliden B. E., Lammertyn J. & Nicolai B. M. (2007). Headspace fingerprint mass spectrometry to characterize strawberry aroma at super-atmospheric oxygen conditions. *Postharvest Biology and Technology*, **46**, 230-236.
 42. Biale J. B. (1960). Respiration of fruits. In: Ruhland, W. (Ed.), *Encyclopedia of Plant Physiology*, vol. 12. Springer, Berlin, pp. 536-592.
 43. Bialka K. L. & Demirci A. (2007). Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on blueberries using ozone and pulsed UV-light. *Journal Food Science* **72**, 391-396.
 44. Bialka K. L. & Demirci A. (2007a). Efficacy of aqueous ozone for the decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on raspberries and strawberries. *Journal of Food Protection*, **70**, 1088–1092.
 45. Bialka K. L. & Demirci A. (2007b). Utilisation of gaseous ozone for the decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on raspberries and strawberries. *Journal of Food Protection*, **70**, 1092–1098.
 46. Block J. C. (1982). Removal of bacteria and viruses by ozonization. In *Ozonization Manual for Water and Wastewater Treatment* (W.J. Masschelein, ed.) pp. 66-68, Wiley-Interscience, New York.
 47. Bocci V. (1999). Biological and clinical effects of ozone. Has ozone therapy a future in medicine? *British Journal of Biomedical Science*, **56**, 270–279.
 48. Bocci V. (2002). *Oxygen–Ozone Therapy. A Critical Evaluation*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
 49. Bocci V. A. (2006). Scientific and medical aspects of ozone therapy. State of the art. *Archives of Medical Research*, **37**, 425–435.

50. Bocci V. A. (2007a). Tropospheric ozone toxicity vs. usefulness of ozone therapy. *Archives of Medical Research*, **38**, 265–267.
51. Bocci V. (2007b). Can ozone therapy be performed if the biochemistry of the process cannot be controlled? *Archives of Medical Research*, **38**, 584–585.
52. Bollyky L. J. (1977). Ozone Treatment of Cyanide-Bearing Wastes, EPA Report 600/2-77-104. Research Triangle Park, N.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
53. Bolyston T. D., Reitmeier C. A., Moy J. H., Mosher G. A. & Taladriz L. (2002). Sensory quality and nutrient composition of three Hawaiian fruits treated by X-irradiation. *Journal Food Quality*, **25**, 419-433.
54. Booth I. R. (1985). Regulation of cytoplasmic pH of bacteria. *Microbiological Reviews*, **49**, 359-378.
55. Boynton B. B., Welt B. A., Sims C. A., Brecht J. K., Balaban M. O. & Marshall M. A. (2005). Effect of low dose electron beam irradiation on respiration, microbiology, color and texture of fresh-cut Cantaloupe. *Horticulture Technology*, **15**(4), 802-807.
56. Brandy J. E. & Humiston G. E. (1978). “General Chemistry Principles and Structure”, 2nd edn. John Wiley & Sons, New York.
57. Brummell D. A. & Harpster M. H. (2001). Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*, **47**, 311-340.
58. Burg S. P. & Burg E. A. (1967). Molecular requirements for the biological activity of ethylene. *Plant Physiology*, **42**, 144.
59. Burleson G. R., Murray T. M., & Pollard M. (1975). Inactivation of Viruses and Bacteria by Ozone, With and Without Sonication. *Applied and Environmental Microbiology*, **29**, 340-344.
60. Bush R. K., Taylor S. L. & Busse W. (1986). A critical evaluation of clinical trials in reaction to sulphites. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **78**, 191-202.
61. Buerfeind J. C. (1981). *Carotenoids as Colorant and Vitamins A Precursors. Technical and Nutritional Applications* (p. 111). New York: Academic Press Inc.
62. Buttery R. G. & Ling L. C. (1993). Volatile components of tomato fruits and plant parts : relationship and biogenesis. In : Bioactive Volatile Compounds From Plants. (Eds. : Terenishi, R., Buttery, R.G. & Sugisawa, H.), ACS, Washington, p: 22-23.
63. [CDFA] California Department of Food and Agriculture (2002). Resource Directory; California Agriculture: A Tradition of Innovation. Sacramento, CA. 180 p.
64. Capellini R. A., Ceponis M. J. & Lightner G. W. (1986). Disorders in table grape shipments to the New York market, 1972–1984. *Plant Disease*, **70**, 1075–1079.

65. Cataldo F. (2003). On the action of ozone on proteins. *Polymer Degradation and Stability*, 82:105-114. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00170-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00170-8).
66. Cemeroglu B., Velioglu S. & Isik S. (1994). Degradation kinetics of anthocyanins in sour cherry juice and concentrate. *Journal of Food Science*, **59**, 1216–1218.
67. Charles F., Willy K. & Michael J. (2000). The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity and storage. *Hortscience*, **35**, 1022-1026.
68. Charron C. S. & Cantliffe D. J. (1995). Volatile emission from plants. *Horticultural Reviews*, **17**, 43-72.
69. Charron C. S., Cantliffe D. J., Wheeler R. M., Manukian A. & Heath R. R. (1996). A system and methodology for measuring volatile organic compounds produced by hydroponic lettuce in a controlled environment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **121**, 483-487.
70. Chiam L. L. & Robert K. P. (1994). Effect of Ozone and Storage Temperature on Postharvest Diseases and Physiology of Carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **119**, 563-567.
71. Chin H. W. & Lindsay R. C. (1993). Volatile sulfur compounds formed in disrupted tissues of different cabbage cultivars. *Journal of Food Science*, **4**, 835-839.
72. Choi L. H. & Nielsen S. S. (2005). The effects of thermal and non-thermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, **28**, 13–29.
73. Civello P. M., Martinez G. A., Chaves A. R. & Anon M. C. (1997). Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **45**, 4589-4594.
74. Cole E. R. & Kapur N. S. (1957). The stability of lycopene. I. Degradation by oxygen. II. Oxidation during heating of tomato pulps. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **8**, 360-366.
75. Combrink J. C. & Ginsburg L. (1972). Methods to prevent post-harvest decay of table grapes. *The Deciduous Fruit Grower*, **22**, 186-189.
76. Conde C., Silva P., Fontes N., Dias A. C. P., Tavares R. M., Sousa M. J., Agasse A., Derlot S. & Geros H. (2007). Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food*, **1**, 1-22.
77. Couey H. M. & Wells J. M. (1970). Low oxygen and high carbon dioxide atmospheres to control post-harvest decay of strawberries. *Phytopathology*, **60**, 47-49.

78. Couey M. H. (1989). Heat treatment for control of postharvest diseases and insect pests of fruits. *Hortscience*, **24**, 198-202.
79. Couture R., Makhlouf J., Cheour F. & Willemot C. (1990). Production of CO₂ and C₂H₄ after gamma irradiation of strawberry fruit. *Journal Food Quality*, **13**, 385-393.
80. Cox S. D., Mann C. M. & Markham J. L., Bell H. C., Gustafson J. E., Warmington J. R. & Wyllie S. G. (2000). The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia*. *Journal of Applied Microbiology*, **88**, 170–175.
81. Crisosto C. H., Retzlaff W. A., Williams L. E., DeJong T. M. & Zoffoli J. P. (1993). Postharvest performance evaluation of plum (*Prunus salicina* Lindel., ‘Casselman’) fruit grown under three ozone concentrations. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **118**, 497–502.
82. Crouzet J., Etievant P. & Bayonove C. (1990). Stoned fruit: Apricot, plum, peach, cherry. In I. D. Morton & A. J. Macleod (Eds.), *Food flavors parts C. The flavours of fruits* (pp. 43-91). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
83. Cullen P. J., Valdramidis B. K., Tiwari B. K., Patil S., Bourke P. & O’ Donell C. P. (2010). Ozone processing for food preservation: an overview on fruit juice treatments. *Ozone: Science and Technology*, **32**, 166-179.
84. d’Amour J., Gosselin C., Arul J., Castaigne F. & Willemot C. (1993). Gamma irradiation affects cell wall composition of strawberries. *Journal of Food Science*, **58**, 182-185.
85. De Smedt F., De Gendt S., Heyns M. M. and Vinckier C. (2001). The Ozone Solubility and its Decay in Aqueous Solutions: Crucial Issues in Ozonated Chemistries for Semiconductor Cleaning. *Solid State Phenomena*, Vols 76-77, pp. 211-214.
86. Del Mastro N. L. (1999). Development of food irradiation in Brazil. *Progress in NuclearEnergy*, 35(3–4), 229–248.
87. Dirinck P. J., De Poorter H. I., Willaert G. A. & Schamp N. M. (1981). Flavor quality of cultivated strawberries: the role of the sulphur compounds. *Journal Agriculture of Food Chemistry*, **29**, 316-321.
88. Doores S. (1995). Organic acids. In A. L. Branen & P. M. Davidson (Eds.), *Antimicrobials in foods* (pp. 91-127). New York: Marcel Dekker.
89. Dorman H. J. D. & Deans S. G. (2000). Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils. *Journal of Applied Microbiology*, **88**, 308–316.
90. Dotto M. C., Pombo M. A., Martinez G. A. & Civello P. M. (2011). Heat treatments and expansin gene expression in strawberry fruit. *Scientia Horticulture*, **130**, 775-780.

91. Doyle M. P. & Marth E. H. (1975). Thermal inactivation of conidia from *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. Effects of moist heat, age of conidia and sporulation medium. *Journal Milk Food Technology*, **38**, 678-682.
92. Dragovits-Uzelac V., Levaj B., Mrkic V., Bursac D. & Boras M. (2007). The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chemistry*, **102**, 966-975.
93. Echandi R. J., Chase B. R. & Massey L. M. (1970). Effect of γ -irradiation on polysaccharides and calcium distribution in carrot cell walls. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **18**, 878-880.
94. Edney K. L. & Burchill R. T. (1967). The use of heat to control the rotting of Cox's Orange Pippin apples by *Gloeosporium* spp. *Annals of Applied Biology*, **59**, 389-400.
95. Edson C. E., Howell G. S. & Flore J. A. (1995a). Influence of crop load on photosynthesis and dry matter partitioning of Seyval grapevines. 2. Seasonal changes in single leaf and whole vine photosynthesis. *American Journal of Enology and Viticulture*, **46**, 469-477.
96. Edson C. E., Howell G. S. & Flore J. A. (1995b). Influence of crop load on photosynthesis and dry matter partitioning of Seyval grapevines. 3. Seasonal changes in dry matter partitioning, vine morphology, yield, and fruit composition. *American Journal of Enology and Viticulture*, **46**, 478 – 485.
97. El Ghaouth A., Arul J., Ponnampalam R. & Boulet M. (1991). Chitosan coating effect on storability and quality of strawberries. *Journal Food Science*, **56**, 1618–1620.
98. Elford W. & Ende J. (1942). An investigation of the merits of ozone as an aerial disinfectant. *Journal Hygiene*, **42**, 240-265.
99. Enomoto S., Yanaoka K., Utsunomiya H., Niwa T., Inada K., Deguchi H., Ueda K., Mukoubayashi C., Inoue I., Maekita T., Nakazawa K., Iguchi M., Tamai H., Fujishiro M., Oka M. & Ichinose M. (2010). Inhibitory effects of Japanese Apricot (*Prunus Mume* Siebold ET Zucc.; Ume), on *Helicobacter pylori*-related chronic gastritis. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **7**, 478.
100. Ernst D., Schraudner M., Langebartels C. & Sandermann H. (1992). Ozone-induced changes of mRNA levels of b-1,3-glucanase, chitinase and 'pathogenesis-related' protein 1b in tobacco plants. *Plant Molecular Biology*, **20**, 673-682.
101. Ewell A. W. (1946). Recent ozone investigations. *Journal of Applied Physics*, **17**, 908-912.

102. Falcon Lincheta L., Menendez Cepero S., Simon R. D., Garbayo Otano E., Moya Duque S. & Abreu Garcia M. (1998). Aceite ozonizado en Dermatologia. Experiencia de 9 anos. *Revista CENIC Ciencias Biologicas*, **29**, 192–195.
103. Fan X., Niemera B. A., Mattheis J. P., Zhuang H. & Olson D. W. (2005). Quality of fresh cut apple slices as affected by low-dose ionizing radiation and calcium ascorbate treatment. *Journal of Food Science*, **70**, 143-148.
104. Fan L., Song J., Mcrae K. B., Walker B. A. & Sharpe D. (2007). Gaseous ozone treatment inactivates *Listeria innocua* in vitro. *Journal Applied Microbiology*, **103**, 2657-2663.
105. FDA. FDA Guidance to Industry (2004). Recommendations to processors of apple juice or cider on the use of ozone for pathogen reduction purposes. Available online <http://www.cfsan.fda.gov/dms/juicgu13.html>.
106. Fellows P. J. (2006). Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática (2nded.). Porto Alegre: Artmed (602 pp.).
107. Finch G. R., Black E. K., Labatiuk C. W., Gyurek L. & Belosevic M. (1993). Comparison of *Giardia lamblia* and *Giardia muris* cyst inactivation by ozone. *Applied and Environmental Microbiology*, **59**, 3674–3680.
108. Flamini R. (2005). Some advances in the knowledge of grape, wine and distillates chemistry as achieved by mass spectrometry. *Journal of Mass Spectrometry*, **40**, 705-713.
109. Frenkel C. & Patterson M. E. (1969). The effect of carbon dioxide on succinic dehydrogenase in pears during cold storage. *Hortscience*, **4**, 165.
110. Frylinck L., Dubery I. A. & Schabort J. C. (1987). Biochemical changes involved in stress response and ripening behavior of γ -irradiated mango fruit. *Phytochemistry*, **26(3)**, 684-686.
111. Fuhrer J. & Achermann B. (1994). Critical Levels for Ozone. - Schriftenreihe der FAC Bern-Liebefeld 16, 328 p.
112. Gabler F. M., Smilanick J. L., Mansour M. F. & Karaca H. (2010). Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **55(2)**, 85-90.
113. Gagnon M., Lacroix M., Pringsulaka V., Latreille B., Jobin M., Nouchpramool K., Prachasitthisak Y., Charoen S., Adulyathan P., Lettre J. & Grad B. (1993). Effect of gamma irradiation combined with hot water dip and transportation from Thailand to Canada on biochemical and physical characteristics of Thai mangoes (Nahng Glahng Wanh variety). Radiation. *Physics and Chemistry*, **42(1-3)**, 283-287.
114. Gane R. (1936). The respiration of bananas in presence of ethylene. *New Phytology*, **36**, 170-178.

115. Garcia J. M., Aguilera C. & Albi M. A. (1995). Postharvest heat treatment on Spanish strawberry (*Fragaria × ananassa* cv. Tudla). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **43**, 1489–1492.
116. Garcia A., Mount J. R. & Davidson R. M. (2003). Ozone and chlorine treatment of minimally processed lettuce. *Journal of Food Science*, **67**, 2747-2751.
117. Garzon G. A. & Wrolstad R. E. (2002). Comparison of the stability of pelargonidinbased anthocyanins in strawberry juice and concentrate. *Journal of Food Science*, **67**, 1288–1299.
118. Geransayeh M., Mostofi Y., Abdossi V. & Nejatian M. A. (2012). Effects of Ozonated Water on Storage Life and Postharvest Quality of Iranian Table Grape (cv. Bidaneh Qermez). *Journal of Agricultural Science*, **4**, 31-38.
119. Ghasemnezhad M., Shiri M. A. & Sanavi M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal Environment Science*, **8**, 25-33.
120. Glauner T., Waldmann P., Frimmel F. H. and Zwiener C. (2005) Swimming pool water-fractionation and genotoxicological characterization of organic constituents. *Water Research*, **39**, 4494–4502.
121. Golias J., Letal J., Dokoupil L. & Krska B. (2013). Physico-chemical changes and volatile constituents observed in 10 apricot cultivars (*Prunus armeniaca* L.) during post-harvest ripening. *Horticultural Science*, **40(3)**, 102-110.
122. Golding J. B., Blades B. L., Satyan S., Jessup A. J., Spohr L. J., Harris A. M., Banos C. & Davies J. B. (2014). Low dose gamma irradiation does not affect the quality, proximate or nutritional profile of ‘Brigitta’ blueberry and ‘Maravilla’ raspberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **96**, 49-52.
123. Gomez-Lopez V. M., Ragaert P., Jeyachandran V., Debevere J. & Devlieghere F. (2008). Shelf-life of minimally processed lettuce and cabbage treated with gaseous chlorine dioxide and cysteine. *International Journal of Food Microbiology*, **121(1)**, 74-83.
124. Goyeneche R., Agüero M. V., Roura S. & Karine Di S. (2014). Application of citric acid and mild heat shock to minimally processed sliced radish: Color evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, **93**, 106-113.
125. Graham D. M., Pariza M., Glaze W. H., Newell G. W., Erdman J. W. & Borzelleca J. F. (1997). Use of ozone for food processing. *Food Technology*, **51**, 72–76.
126. Graham D.M. (2000). Direct food additive petition Ozone as an antimicrobial agent for the treatment, storage and processing of food in gas and aqueous phases. Submitted to FDA on 2 August, 2000; approved June 2001.

127. Griegee R. (1975). Mechanism of Ozonolysis. *Angewandte Chemie-International Edition In English*, **14**, 745.
128. Grimes H. D., Perkins K. K. & Boss W. F. (1983). Ozone degrades into hydroxyl radicals under physiological contrortions. *Plant Physiology*, **72**, 1016-1020.
129. Guillot S., Peytavi L., Bureau S., Boulanger R., Lepoutre J. P., Crouzet J. & Schorr-Galindo S. (2006). Aroma characterization of various apricot varieties using headspace-solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography-oflactometry. *Food Chemistry*, **96**, 147-155.
130. Gundarova R. A., Khoroshilova-Maslova I. P., Bordiugova G. G., Ilatovaskaia L. V. & Lapina I. M. (1996). Experimental validation of using ozonized physiological solutions in intraocular infection. *Vestnik Oftalmologii*, **112**, 9–11.
131. Hakala M. A., Lapvetelainen A. T. & Kallio H. P. (2002). Volatile compounds of selected strawberry varieties analyzed by purge-and-trap headspace GC-MS. *Journal Agriculture Food Chemistry*, **50**, 1133-1142.
132. Hammer K. A., Carson C. F. & Riley T. V. (1999). Antimicrobial activity of essential oils and other plants extracts. *Journal of Applied Microbiology*, **86**, 985–990.
133. Harder M., De Toledo T., Ferreira A. & Arthur V. (2009). Determination of changes induced by gamma irradiation in nectar of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Radiation Physics and Chemistry*, **78**, 579-582.
134. Harman J. E. & McDonald B. (1983). Controlled atmosphere storage of kiwifruit: Effects on storage life and fruit quality. *Acta Horticulturae*, **138**, 195-201.
135. Hassenberg K., Idler C., Molloy E., Geyer M., Plochl M. & Barnes J. (2007). Use of ozone in a lettuce-washing process: an industrial trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **87**, 914-919.
136. Haydar H., Ibrahim G., Mehmet O. M. & Bayram M. (2007). Postharvest chemical and physicochemical properties of some apricots varieties cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering*, **79**, 364-373.
137. Hazare S. N., Saxena S., Kumar S., Wadhawan S., More V., Mishre B. B., Parte M. N., Gautam S. & Sharma A. (2010). Quality profile of litchi (*Litchi chinensis*) cultivars from India and effect of radiation processing. *Radiation Physics and Chemistry*, **79**, 994-1004.
138. Herbold K., Flehmig B. & Botzenhart K. (1989). Comparison of ozone inactivation in flowing water, of hepatitis A virus, poliovirus 1 and indicator organisms. *Applied and Environmental Microbiology*, **55**, 2949-2953.

139. Hewes C. G. & Davison R. R. (1973). Renovation of waste water by ozonation. Institute of Chemical Engineering, **69(129)**, 71-80.
140. Hildebrand P. D., Forney C. F., Song J., Fan L. & McRae K. B. (2008). Effect of a continuous low exposure (50nl l^{-1}) on decay and quality of stored carrots. *Postharvest Biology and Technology*, **49**, 397-402. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.012>.
141. Hill A. G. & Rice R. G. (1982). Historical background, properties and applications. In R.G. Rice (Ed.), *Ozone treatment of water for cooling application* (pp 1-37). Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science Publishers.
142. Hoigné J. & Bader H. (1976). The role of hydroxyl radical reactions in ozonation processes in aqueous solutions. *Water Research*, **10**, 377–386.
143. Hoigné J., Bader H., Haag W. R. & Staehelin J. (1985). Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water—III. Inorganic compounds and radicals. *Water Research*, **19**, 993-1004.
144. Hoigné J. (1998). *Handbook of Environmental Chemistry*, Vol. 5 part C. Berlin: Springer-Verlag. pp. 83–141.
145. Hovarth M., Bilitzky L. & Huttner J. (1985). Fields of utilization of ozone. In R.J.H Clark (ed.), *Ozone*. Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York, p. 257-316.
146. Hsing-Chen C., Shih-Hao H., Micheal W. M. & Shann-Tzong J. (1992). Bacteriocidal and Mutagenic Effects of Ozone on Shrimp (*penaeus monodon*) Meat. *Journal of Food Science*, **57**, 923-927.
147. Hulme A. C. (1956). Carbon dioxide injury and the presence of succinic acid in apples. *Nature*, **178**, 218-219.
148. Hunter J. J., Skrivan R. & Ruffner H. P. (1994). Diurnal and seasonal physiological changes in leaves of *Vitis vinifera* L.: CO₂ assimilation rates, sugar levels and sucrolytic enzyme activity. – *Vitis*, **33**, 189-195.
149. 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)**, 473-481.
150. Hussain P. R., Omeera A, Suradkar P. P. & Dar M. A. (2014). Effect of combination treatment of gamma irradiation and ascorbic acid on physicochemical and microbial quality of minimally processed eggplant (*Solanum melongena* L.). *Radiation Physics and Chemistry*, **103**, 131-141.
151. Hutchinson F. (1961). Molecular basis for action of ionizing radiations. *Science*, **134**, 533–538.

152. Ingram M. & Barnes E. M. (1954). Sterilization by means of ozone. *Journal of Applied Microbiology*, **17**, 246–271.
153. Ingram M. & Haines R. B. (1949). Inhibition of bacterial growth by pure ozone in the presence of nutrients. *Journal of Hygiene (Cambr.)*, **47**, 146-158.
154. Ingram M. & Haines R. B. (2009). Inhibition of bacterial growth by pure ozone in the presence of nutrients. *Journal of Hygiene*, **47**, 146-158.
155. Isenberg F. M. & Sayles R. M., (1969). Modified atmosphere storage of Danish cabbage. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **94**, 447-449.
156. Jackman R. L., Yada R. Y., Tung M. A., & Speers R. A. (1987). Anthocyanins as food colourants-a review. *Journal of Food Biochemistry*, **11**, 201–247.
157. Jacxsens L., Devlieghere F., Ragaert P., Vanneste E. & Debevere J. (2003). Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. *International Journal of Food Microbiology*, **83**, 263-280.
158. Jin L., Xiaoyu W., Honglin Y., Zonggan W. & Yaguang L. (1989). Influence of discharge products on post-harvest physiology of fruits. Proc. 6th International Symposium High Voltage Engineering 28 August-1 September 1989, New Orleans, LA, p.4.
159. Jing W., Tu K., Shao X. F., Su Z. P., Zhao Y., Wang S. & Tang J. (2008). Effect of postharvest short hot-water rinsing and brushing treatment on decay and quality of strawberry fruit. *Journal of Food Quality*, **33**, 262-272.
160. Jing W., Tu K., Shao X. F., Su Z. P., Zhao Y., Wang S. & Tang J. (2010). Effect of postharvest short hot-water rinsing and brushing treatment on decay and quality of strawberry fruit. *Journal of Food Quality*, **33**, 262–272.
161. Jiang Y. M. & Fu J. (1998). Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. *Food Chemistry*, **62**, 49-52.
162. Joss A., Siegrist H. & Ternes T. A. (2008) Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants? *Water Science and Technology*, **57**, 251–255.
163. Jouki M. & Khazaei N. (2014). Effects of low-dose gamma irradiation and active equilibrium modified atmosphere packaging on shelf life extension of fresh strawberry fruits. *Food Packaging and Shelf life* **1**, 49-55.
164. Kader A. A. (1991). Quality and its maintenance in relation to the postharvest physiology of strawberry. In: Dale, A., Luby, J.J. (Eds), *The strawberry into the 21st century*. Proceedings of the Third North American Strawberry Conference. Houston, Texas, 14-16 February, 1990, pp. 145-152.

165. Kader A. A. (2002). Quality parameters of fresh fruits and vegetables products. In O. Lamikanra (Ed.), *Fresh fruits and vegetables. Science, technology and market*. Boca Raton, FL: CRC Press.
166. Kangasjarvi J., Talvinen J., Utriainen M. & Karjalainen R. (1994). Plant defence systems induced by ozone. *Plant Cell and Environment*, **17**, 783-794.
167. Kan J. Q. (2002). *Food Chemistry*. China Agricultural University Press, Beijing. pp.330-344. (in Chinese)
168. Kang A. A., Oh J. Y. & Chung J. K. (1999). Changes of antioxidant enzyme activities in leaves of lettuce exposed to ozone. *Journal of the Korean Society Horticultural Science*, **40** (5), 541-544.
169. Karaca H. & Velioglu Y. S. (2014). Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach and parsley. *Postharvest Biology and Technology*, **88**, 46-53.
170. Karenlampi L. & Skarby L. (1996). Critical Levels for ozone in Europe: Testing and finalizing the concepts. UN-ECE Workshop Report. - University of Kuopio, 363 p.
171. Katzenelson E., Kletter B. & Shuval H. I. (1974). Inactivation kinetics of viruses and bacteria in water by use of ozone. *Journal of American Water Works Association*, **66**, 725-729.
172. Ke D., Zhou L. & Kader A. A. (1994). Mode of O₂ and CO₂ action on strawberry ester biosynthesis. *Journal of the American Society for Horticulture Science*, **119**, 971-975.
173. Keutgen A. J. & Pawelzik E. (2008). Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under stimulated retail conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 49:10-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.12.003>.
174. Khadre M. A., Yousef A. E. & Kim J. G. (2001). Microbial aspects of ozone applications in food: A review. *Journal of Food Science*, **66**(9), 1242-1252.
175. Kidd F. & West C. (1930). The gas storage of fruit. II Optimum temperature and atmospheres. *Journal of Pomology and Horticultural Science*, **8**, 67.
176. Kilpatrick M. L., Herrick C. C. & Kilpatrick M. (1956). "The Decomposition of Ozone in Aqueous Solution," *Journal of American Chemical Society*, **78**, 1784.
177. Kim J. G. (1998). Ozone as a antimicrobial agent in minimally processed foods. Dissertation. The Ohio State University, Columbus.
178. Kim J. G., Yousef A. E. & Grady W. C. (1999a). Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *Journal of Food Safety*, **19**, 17-34.

179. Kim J. G., Yousef A. E. & Dave S. (1999). Application of Ozone for Enhancing the Microbiological Safety and Quality of Foods: A Review. *Journal of Food Protection*, **62**, 1071-1087.
180. Kim J. G. & Yousef A. E. (2000). Inactivation kinetics of foodborne spoilage and pathogenic bacteria by ozone. *Journal of Food Science*, **65**, 521-528.
181. Kim J. G., Yousef A. E. & Khadre M. A. (2003). Ozone and its current and future application in the food industry. *Advances Food Nutrition Research*, **45**, 167-218.
182. Kim K. H. & Yook H. S. (2009). Effect of gamma irradiation of quality of kiwifruit (*Actinidiadeliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward). *Radiation Physics and Chemistry*, **78**, 414-421.
183. King D. A., Michener H. D. & Ito K. A. (1969). Control of *Byssochlamys* and related heat-resistant fungi in grape products. *Applied Microbiology*, **18**, 166-173.
184. King A., Magnunson J., Torok T. & Goodman N. (1991). Microbial flora and storage quality of partially processed lettuce. *Journal of Food Science*, **56**, 459-461
185. Kittur F. S., Saroja N. & Habibunnisa Tharanathan R. N. (2001). Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. *European Food Research and Technology*, **213**, 306–311.
186. Kiyosawa K. (1975). Studies on the effects of alcohols on membrane water permeability of *Nitella*. *Protoplasma*, **86**, 243-251.
187. Klevens R. M., Morrison M. A., Nadle J., Petit S., Gershman K., Ray S., Harrison L. H., Lynfield R., Dumyati G., Townes J. M., Craig A. S., Zell E. R., Fosheim G. E., McDougal L. K., Carey R. B. & Fridkin S. K. and Active Bacterial Core surveillance (ABCs) MRSA Investigators. (2007) Invasive methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in the United States. *JAMA* 298, 1763–1771.
188. Klockow P. A. & Keener K. M. (2009). Safety and quality assessment of packaged spinach treated with a novel ozone-generation treatment. *Food Science Technology*, **42**, 1047-1053.
189. Knee M. (1973). Effects of controlled atmosphere storage on respiratory metabolism of apple fruit tissue. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **24**, 1289-1298.
190. Kogelschatz U. (1988). Advanced ozone generation. In S. Stucki (Ed.), *Process technologies for water treatment* (pp. 87-120). New York: Plenum Publishers.
191. Kokkalos T. I. (1986). Postharvest decay control of grapes by using sodium metabisul®te in cartons enclosed in plastic bags. *American Journal of Enology and Viticulture*, **37**, 149-151.

192. Komanapalli I. R. & Lau B. H. (1998). Inactivation of bacteriophage *lambda*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans* by ozone. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **49**, 766–769.
193. Koseki S., Yoshida K., Isobe S. & Itoh K. (2001). Decontamination of lettuce using acidic electrolyzed water. *Journal Food Protection*, **64**, 652-658.
194. Koseki S. & Isobe S. (2006). Effect of ozonated water treatment on microbial control and on browning of Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Protection*, **69**, 154-160.
195. Kumar N. (1994). Studies on growth pattern, respiration and shelf life of litchi (*Litchichinensis* Sonn.) fruits. Thesis, M. Sc. (Ag), Horticulture. G. B. Pant University Agriculture and Technology, Pantnagar 139 p.
196. Kumar Das B., Kim Gang J. & Choi Weon J. (2011). Edge browning and microbial quality of fresh-cut lettuce with different sanitizers and contact times. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, **17**, 55-62.
197. Langcake P. (1981). Disease resistance of *Vitis* spp. and the production of the stress metabolites resveratrol, e-viniferin, a-viniferin and pterostilbene. *Physiological Plant Pathology*, **18**, 213-226.
198. Langlais B., Reckhow D. A. & Brink D. R. (1991). Ozone in water treatment: application and engenering. Lewis publishers inc.
199. Lara I., Garcia P. & Vendrell M. (2006). Post-harvest heat treatments modify cell wall composition of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) fruit. *Science Horticulture*, **109**, 48–53.
200. Larsen M. & Watkins C. B. (1995). Firmness and concentration of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, **5**, 39-50.
201. Latrasse A. (1991). Fruit III. In H. Maarse (Ed.), *Volatile compounds in foods and beverages* (pp. 329-387). New York: Marcel Dekker.
202. Laurence J. A. (1981). Effects of air pollutants on plant-pathogen interactions. *Zeitschrift fuXr Panzenkrankheiten und Panzenschutz* **88**, 156-172.
203. Leccese A., Bartolini S. & Viti R. (2007). Total antioxidant capacity and phenolic content in apricot fruits. *International Journal of Fruit Science*, **7(2)**, 3-16.
204. Lee K., Mitchell A. & Shibamoto T. (2000). Determination of antioxidant properties of aroma extracts from various beans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **48(10)**, 4819-4820.

205. Lee S. K. & Kader A. A., (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, **20**, 207–220.
206. Lee J. W., Kim J. K., Srinivasan P., Choi J., Kim J. H., Han S. B., Kim D. J. & Byun M. W. (2009). Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color to ready to use tamarind juice during storage. *LWT-Food Science and Technology*, **42**, 101-105.
207. Lezcano I., Nunez N., Gutierrez M., Molerio J., Regeiferos M. G. & Diaz W. (1998). Actividad in vitro del aceite de girasol ozonizado (Oleozon) frente a diferentes especies bacterianas. *Revista CENIC Ciencias Biologicas*, **29**, 46–49.
208. Lezcano I., Nuñez N., Espino M. & Gómez M. (2000). Antibacterial Activity of Ozonized Sunflower Oil, Oleozón, Against *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. *The Journal of the International Ozone Association*, **22**, 207-214.
209. Legnani P. P., Leoni E., Baraldi M., Pinelli G. & Bisbini P. (1996). Evaluation of disinfection treatment systems for municipal wastewater reclamation and reuse. *Zentralblatt fur Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene Series A - Medical Microbiology Infections* **98**, 552–566.
210. Lichou J., Vaysse P., Jay M. & Lespinasse N. (2003). Apricot. In *Recognizing apricot varieties* (pp. 86-87). Paris: Ctifl.
211. Liew C. L. & Prange R. K. (1994). Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **119**, 563-567.
212. Lila M. A. (2004). Anthocyanin and human health: in vitro investigative approach. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, **5**, 306-313.
213. Lipton W. J. & Harris C. M. (1974). Controlled atmosphere effects on the market quality of stored broccoli (*Brassica oleracea*, L. Italica group). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **99**, 320-323.
214. Lister C. (1999). Natural antioxidant in fruit and vegetables. *Leatherhead Food RA Food Industry Journal*, **2**, 251-264.
215. Luvisi D. A., Shorey H. H., Smilanick J. L., Thompson J. F., Gump B. H. & Knutson J. (1992). Sulfur Dioxide Fumigation of Table Grapes. Bulletin 1932. University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA, p. 21.
216. Lydakis D. & Aked J. (2003). Vapor heat treatment of *Sultanina* table grapes. II: Effect on postharvest quality. *Postharvest biology and technology*, **27**, 117-126.

217. Mahajan B. V. C., Dhatt A. S., Dhatt R. K. & Sharma R. C. (2003). Effect of sulphur dioxide fumigation on the color retention and quality of litchi cv. *Calcuttia* during cold storage. *Haryana Journal of Horticulture and Science*, **32(1&2)**, 47-49.
218. Mahto R. & Das M. (2013). Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli' stored at 20 °C. *Postharvest Biology and Technology*, **86**, 447-455.
219. Majeed A., Muhammad Z., Majid A., Shah A. H. & Hussain M. (2014). Impact of low doses of gamma irradiation on shelf life and chemical quality of strawberry (*Fragaria ananassa*) cv. 'Corona'. *Journal of Animal & Plant Science*, **24(5)**, 1531-1536.
220. Manley T. C. & Niegowski S. J. (1967). Ozone. In Encyclopedia of chemical technology (Vol. 14 2nd ed. pp. 410-432). Wiley: New York.
221. Margalit M., Attias E., Attias D., Elstein D., Zimran A. & Matzner Y. (2001) Effect of ozone on neutrophil function in vitro. *Clinical and Laboratory Hematology*, **23**, 243-247.
222. Margosan D. A. & Phillips D. J., (1990). Ultrastructural changes in dormant *Monilinia fructicola* conidia with heat treatment. (Abstr.) *Phytopathology*, **80**, 1052.
223. Markakis P., Livingston G. E. & Fellers C. R. (1957). Quantitative aspects of strawberry pigment degradation. *Food Research*, **22**, 117-130.
224. Martí N., Pérez-Vicente A., & García-Viguera C. (2001). Influence of storage temperature and ascorbic acid addition on pomegranate juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **82**, 217-222.
225. Martínez Sanchez G., Fernandez O. S. L. & Rodriguez Torres C. (1997). Toxicidad aguda dermica del aceite ozonizado 'Oleozone' en ratas y conejos rol de los radicales libres CENIC. *Ciencias Biológicas*, **28**, 35-35.
226. Martínez-Romero D., Guillén F., Castillo S., Valero D. & Serrano M. (2006). Modified Atmosphere Packaging Maintains Quality of Table Grapes. *Journal of Food Science*, **68(5)**, 1838-1843.
227. Mawele Shamaila M., Powrie W. D. & Skura B. J. (1992). Analysis of volatile compounds from strawberry fruits stored under modified atmosphere packaging (MAP). *Journal of Food Science*, **57**, 1173-1176.
228. Maxie E. C. & Kader A. A. (1966). Food irradiation physiology of fruits related to feasibility of the technology. *Advances in Food Research*, **15**, 105-108.
229. Mehlhorn H. & Wellburn A. R. (1987). Stress ethylene formation determines plant sensitivity to ozone. *Nature* **327**, 417-418.

230. Metzidakis J. & Sfakiotakis E. (1989). The control of autocatalytic ethylene production and ripening in avocado fruit by temperature, low oxygen and high carbon dioxide. In: Clijsters et. al. (eds.), *Biochemical and Physiological Aspects of Ethylene Production in Lower and Higher Plants*, p. 201-210. Kluger Academic Publishers.
231. Milad A. S. (2012). Study of Effect Different of Ozone Doses on Sugars Content in Tomatoes at Different Stages of Ripening. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **64**, 954-956.
232. Miller G. W., Rice R. G., Robson C. M., Scullin R. I., Kuhn W. & Wolf H. (1978). An assessment of ozone and chlorine dioxide technologies for treatment of municipal water supplies. U.S. Environmental Protection Agency Report No. EPA-600/2-78-147. Washington, DC: U.S. Government printing Office.
233. Miller S. A. (1991). Food additives and contaminants. In: Amdur MO, Doull J, Klaassen CD, eds. *Casarett and Doull's Toxicology : The Basic Science of Poisons*. New York: Pergamon Press, 819-853.
234. Miller W. R., McDonald R. E., McCollum T. G. & Smittle B. J. (1994a). Quality of 'Climax' blueberries after low dosage electron beam irradiation. *Journal of Food Quality*, **17**, 71-79.
235. Miller W. R. & McDonald R. E. (1996). Quality of "Brightwell" and "Tifblue" blueberries after gamma irradiation for quarantine treatment. *Hortscience*, **31**, 1234.
236. Miller W. R. & McDonald R. E. (1999). Irradiations, stage of maturity at harvest and storage temperature during ripening affect papaya fruit quality. *Hortscience*, **34**, 1112-1115.
237. Miller M. L., Obert C. A., Gao G., Daw N. C., Flynn P. & Tuomanen E. (2005) Cephalosporin-resistant pneumococci and sickle cell disease. *Emerging Infectious Disease*, **11**, 1192–1196.
238. Mlikota G. F., Smilanick J. L., Mansour M. F., & Karaca H. (2010). Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on post-harvest gray mold and fungicide residues on table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **55**, 85-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.09.004>.
239. Monning A. (1983). Studies on the reaction of Krebs cycle enzymes from apple tissue (cv. Cox Orange) to increased levels of CO₂. *Acta Horticulturae*, **138**, 113-119.
240. Moore G., Griffith C. & Peters A. (2000). Bactericidal Properties of Ozone and Its Potential Application as a Terminal Disinfectant. *Journal of Food Protection*, **63(7)**: 1100-1106.

241. Moran G. J., Krishnadasan A., Gorwitz R. J., Fosheim G. E., McDougal L. K., Carey R. B. & Talan D. A. and EMERGEncy ID Net Study Group. (2006) Methicillin-resistant *S. aureus* infections among patients in the emergency department. *The New England Journal Medicine*, **355**, 666–674.
242. Moreno M. A., Castell-Perez M. E., Gomes C., DaSilva P. & Moreira R. G. (2006). Effects of electron beam irradiation on physical, textural and microstructural properties of “Tommy Atkins” mangoes (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Science*, **71**, 80-86.
243. Morris L. L. & Kader A. A. (1977). Commodity requirements and recommendations for transport and storage-Selected vegetables. Michigan State Univ. Hort. Rept., **28**, 266.
244. Morris G. & Menendez S. (1997). Oleozon in gynecology. In Second International Symposium on Ozone Applications, Havana, Cuba, March 24–26. p. 73. National Center for Scientific Research, Havana, Cuba.
245. Muraca P., Stout J. E. & Yu V. L. (1987). Comparative assessment of chlorine, heat, ozone and UV light for Killing *Legionella pneumophila* within a model plumping system. *Applied and Environmental Microbiology*, **53**, 447-453.
246. Mustafa M. G., Faeder E. J. & Lee S. D. (1980). Biochemical basis of pulmonary response to ozone and nitrogen dioxide injury. In “Molecular Basis of Environmental Toxicity” (R.S. Bhatnagar, ed.) pp. 151-172. Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI.
247. Nadas A., Olmo M., Martinez M. C. & Garcia J. M. (2000). El ozono en la conservación de los cítricos. *Levante agrícola* **35(2)**, 251–258.
248. Nadas A., Olmo M. & Garcia J. M. (2003). Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmospheres. *Journal of Food Science*, **68(5)**, 1798–1802.
249. Nadel J. A. (1979). Airway hyperirritability induced by ozone. Report to the California Air Resources Control Board, Contract A8-053-30.
250. Nagayoshi M., Fukuizumi T., Kitamura C., Yano J., Terashita M. & Nishihara T. (2004). Efficacy of ozone on survival and permeability of oral microorganisms. *Oral Microbiology and Immunology*, **19**, 240-246.
251. Naito S. & Takahara H. (2006). Ozone contribution in food industry in Japan. *Ozone: Science & Engineering*, **28**, 425-429.
252. Najafi M. B. H. & Khodaparast M. H. H. (2007). Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. *Food Control*, **20**, 27-30.
253. Naresh K., Varakumar S., Variyar P. S., Sharma A. & Reddy O. V. S. (2015). Effect of γ -irradiation on physic-chemical and microbiological properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice from eight Indian cultivars. *Food Bioscience*, **12**, 1-9.

254. Neff J. (1998). New disinfectant from out of the blue. *Food Processing*, 135-137.
255. Nelson K. E. (1985). Harvesting and Handling California Table Grapes for Market. University of California Bulletin no. 1913.
256. Nicole Folchetti, ed. (2003) [1977]. "22". Chemistry: The Central Science (9th ed.). Pearson Education. pp. 882–883.
257. Norton J. S., Charig A. J. & Demoranville I. E. (1968). The effect of ozone on storage of cranberries. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, **93**, 792-796.
258. Ochoa M. R., Kessler A. G., Vullioud M. B., & Lozano J. E. (1992). Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: Storage effect on composition and color. *LWT-Food Science and Technology*, **32**, 149–153.
259. Oehlschlaeger H. F. (1978). Reactions of ozone with organic compounds. In: R.G. Rice & J.A. Cotruvo (Eds.), *Ozone/chlorine dioxide oxidation products of organic material*, Cleveland: Ozone Press International, p:20-37.
260. Ogawa J. M., Feliciano A. J. & Manji B. T. (1990). Evaluation of ozone as disinfectant in postharvest dumpk tank treatments for tomato. *Phytopathology*, **80**, 1020.
261. Olmez H. & Akbas M. Y. (2009). Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce. *Journal of Food Engineering*, **90**, 487-494.
262. Olmez H. (2010). Effect of different sanitizing methods and incubation time and temperature on inactivation of *Escherichia coli* on lettuce. *Journal Food Safety*, **30**, 288-299.
263. Ong Mei K., Ali A., Alderson Peter G. & Forney Charles F. (2014). Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. *Scientia Horticulture*, **179**, 163-169.
264. Oshima, R. J., Braegelman P. J., Baldwin D. W. & Taylor O. C. (1976). Effect of ozone on yield and biomass of a commercial variety of tomato. *Journal of Environmental Quality*, **4**, 463-464.
265. Ozkan R., Smilanick J. L. & Karabulut O. A. (2011). Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, **60**, 47-51.
266. Paakkonen E., Holopainen T. & Karenlampi L. (1995). Ageing-related anatomical and ultrastructural changes in leaves of birch (*Betula pendula* Roth) clones as affected by low ozone exposure. – *Annals of Botany*, **75**, 285-294.
267. Paliyath G. & Droillard M. J. (1992). The mechanism of membrane deterioration and disassembly during senescence. *Plant Physiology and Biochemistry*, **30**, 789-812.

268. Palou L., Smilanick J. L., Crisosto C. H. & Mansour M. (2001). Effects of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. *Plant Disease*, **85**, 632-638.
269. Palou L., Crisosto C. H., Smilanick J. L., Adaskaveg J. E. & Zoffoli J. P. (2002). Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, **24**, 39–48.
270. Palou L., Smilanick J. L., Crisosto C. H., Mansour M. & Plaza P. (2003). Ozone gas penetration and control of the sporulation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. *Crop Protection*, **22**, 1131-1134.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194\(03\)00145-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0261-2194(03)00145-5).
271. Pan J., Vicente A. R., Martinez G. A., Chaves A. R. & Civello P. M. (2004). Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **84**, 1831–1838.
272. Pandey N., Joshi S. K., Singh C. P., Kumar S., Rajput S. & Khandal R. K. (2013). Enhancing shelf life of litchi (*Litchi chinensis*) fruit through integrated approach of surface coating and gamma irradiation. *Radiation Physics and Chemistry*, **85**, 197-203.
273. Paul R. E. & Chen J. N. (1987). Effect of storage temperature and wrapping on quality characteristics of litchi fruit. *Science of Horticulture*, **33**, 223-236.
274. Pelayo C., Ebeler S. E. & Kader A. A. (2002). *Postharvest Biology and Technology*, **27**, 171.
275. Peleg M. (1976). Review paper: The chemistry of ozone in the treatment of water. *Water Research*, **10**, 361-365.
276. Perez Ana G., Rios Jose' J., Sanz C. & Olias Jose' M. (1992). Aroma components and free amino acids in strawberry variety Chandler during ripening. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **40**, 2232-2235.
277. Perez Ana G., Rios Jose' J., Sanz C. & Olias Jose' M. (1993). Estudio comparativo de los perfiles aromaticos de manzana, platano y fresa. *Revista Espanola de Ciencia y Tecnologia de Alimentos*, **33**, 665-677.
278. Perez Ana G., Sanz C. & Olias Jose' M. (1997). Aroma quality evaluation of strawberry cultivars in southern Spain. *Acta Horticulturae*, **439**, 337-340.
279. Perez Ana G.,* Sanz C., Rios Jose' J., Olias R., & Olias Jose' M. (1999). Effects of Ozone Treatment on Postharvest Strawberry Quality. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **47**, 1652–1656.

280. Perez Ana G.* & Sanz C. (2001). Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, **49**, 2370-2375.
281. Phillips D. J. & Harris C. M. (1979). Postharvest brown rot of peaches and inoculum density of *Monilinia fructicola* (Wint.) Honey U.S. Dep. Agric. Agric. Res. Rep. W-9. 12 pp.
282. Pichersky E., Noel J. P. & Dudareva N. (2006). Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*, **311(5762)**, 808-811.
283. Poll L., Nielsen G. S., Varming C. & Petersen M. A. (2006). Aroma changes from raw to processed products in fruits and vegetables. In: Bredieand, W.L.P., Petersen, M. A. (Eds.), *Flavour Science: Recent Advances and Trends*. Elsevier, the Netherlands, pp. 239-244.
284. Pool R., Kimball K., Watson J. & Einset J. (1979). Grape varieties for New York State. *Plant Science*, **80**, 1-6.
285. Popovich K. J., Weinstein R. A. & Hota B. (2008) Are community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) strains replacing traditional nosocomial MRSA strains? *Clinical Infectious Diseases*, **46**, 787–794.
286. Prakash A., Manley J., Decosta S., Caporaso F. & Foley D. (2002). The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. *Radiation Physics and Chemistry*, **63**, 387-390.
287. Pramer R. C. & Kaushal M. K. (1982). *Wild fruits of Sub-Himayalyan Region* Kalyani Publishers, New Delhi, India.
288. Pryor W. A. & Uppu R. M. (1993). A kinetic model for the competitive reaction of Ozone with amino acid residues in proteins in reverse micelles. *Journal of Biological Chemistry*, **268**, 3120–3126.
289. Pryor W. A., Squadrito G. L. & Friedman M. (1995) The cascade mechanism to explain ozone toxicity: the role of lipid ozonation products. *Free Radical Biology and Medicine*, **19**, 935–941.
290. Pyysalo T., Suihko M. & Honkanen E. (1977). Odour thresholds the major volatiles identified in cloudberry (*Rubus chamaenous L.*) and artic bramble (*Rubus articus L.*). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, **10**, 36-40.
291. Rahman S. M. E. Jin Y. & Oh D. (2011). Combination treatment of alkaline electrolyzed water and citric acid with mild heat to ensure microbial safety, shelf-life and sensory quality of shredded carrots. *Food Microbiology*, **28**, 484-491.
292. Rao M. V., Kozh J. R. & Davis K. R. (2000). Ozone: a tool for probing cell death in plants. *Plant Molecular Biology*, **44**, 345-358.

293. Ray P. K., Rani R. & Singh S. K. (2004). Effect of temperature and sulfur treatments on storage behavior of litchi fruits. *Indian Journal of Horticulture*, **61**(4), 292-295.
294. Razumovskii S. D. & Zaikov E. G. (1984). Studies in organic chemistry: ozone and its reactions with organic compounds, vol 15, Elsevier, New York.
295. Recknagel R. O. & Turocy Y. (1977) Fatal susceptibility of a free-swimming paramecium to peroxidizing rat liver microsomes. *Experimental and Molecular Pathology*, **27**, 93–105.
296. Restaino L., Frampton E. W., Hemphill J. B. & Palnikar P. (1995). Efficacy of ozonated water against various food-related microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology*, **61**, 3471-3475.
297. Ribeiro C., Vicente A. A., Teixeira J. A. & Miranda C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology*, **44**, 63–70.
298. Rice R. G., Robson C. M., Miller G. M. & Hill A. G. (1981). Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal of the American Water Works Association*, **73**(1), 44-57.
299. Rice R. G., Farquhar J. W. & Bollyky L. J. (1982). Review of the applications of ozone for increasing storage times of perishable foods. *Ozone Science Engineering*, **4**, 147-163.
300. Rice R. G. (1986). Application of ozone in water and waste water treatment. In R.G. Rice & M.J. Browning (Eds.), *Analytical aspects of ozone treatment of water and waste water* (pp.7-26). Syracuse, NY: The Institute.
301. Rice-Evans C. & Miller J. N. (1995). Antioxidants-the case for fruits and vegetables in the diet. *British Food Journal*, **97**, 35-40.
302. Rice R. G. (1999). Ozone in the United States. *Ozone Science & Engineering*, **21**, 99-118. <http://dx.doi.org/10.1080/01919519908547244>.
303. Rico D., Martín-Diana A. B., Frías J. M., Henahan Gary T. M. & Barry-Ryan C. (2006). Effect of ozone and calcium lactate treatments on browning and texture properties of fresh-cut lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **86**, 2179-2188.
304. Ridley J. D. & Sims E. T. (1967). The Response of Peaches to Ozone During Storage. Technical Bulletin 1027. South Carolina Agricultural Experiment Station, Clemson University, Clemson, SC, p. 24).
305. Robinson D. A., Kearns A. M., Holmes A., Morrison D., Grundmann H., Edwards G., O'Brien F. G., Tenover F. C. et al. (2005). Re-emergence of early pandemic *Staphylococcus aureus* as a community-acquired methicillin-resistant clone. *Lancet*, **365**, 1256–1258.

306. Rocculi P., Romani S., Dalla Rosa M., Tonnutti P. & Bacci A. (2004). Influences of ozonated water on the structure and some quality parameter of whole strawberries in modified atmosphere packaging (MAP). *Acta horticulture*, **682**, 1781-1788.
307. Rodgers S. L., Cash J. N., Siddip M. & Ryser E. T. (2004). A comparison of different chemical sanitizers for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in solution and on apple, lettuce, strawberries & cantaloupe. *Journal of food protection*, **67**, 721-731.
308. Rolland F., Gonzalez E. & Sheen J. (2006). Sugar sensing and signaling in plants: Conserved and Novel Mechanisms. *Annual Review of Plant Biology*, **57**, 675-709.
<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105441>.
309. Rosemann D., Heller W. & Sandermann H. (1991). Biochemical plant responses to ozone. II Induction of stilbene biosynthesis in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings. *Plant Physiology*, **97**, 1280-1286.
310. Roth J. A. & Sullivan D. E. (1983). Ozone: *Science & Engineering*, **5**, 37-49.
311. Rusch H. & Laurence J. A. (1993). Interactive effects of ozone and powdery mildew on pea seedlings. *Phytopathology*, **83**, 1258-1263.
312. Ruther J. (2000). Retention index database for identification of general green leaf volatile in plants by coupled capillary gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, **890**, 313-319.
313. Sabato S. F., Silva J. M., Cruz J. N., Broisler P. O., Rela P. R., Salmieri S. & Lacroix M. (2009). Advances in commercial application of gamma irradiation in tropical fruits at Brazil. *Radiation Physics and Chemistry*, **78**, 655-658.
314. Sadoughi N., Karim R., Hashim D. M., Zainuri A. & Ghazali H. M. (2012). Effect of γ -irradiation on the physicochemical properties, and microbial and sensory qualities of cold-stored onion puree. *Journal of Food Processing and Preservation*, **37**, 889-898.
315. Saftner R. A., Bai J., Abbott J. A., & Lee Y. S. (2003). Sanitary dips with Calcium propionate, calcium chloride or calcium amino acid chelates maintain quality of shelf stability of fresh-cut honeydew chunks. *Postharvest Biology and Technology*, **29**, 257-269.
316. Salvador Alexandra, Abad Isabel, Arnal Lucia & Martinez-Javega J.M. (2006). Effect of ozone on postharvest quality of persimmon. *Journal of Food science*, **71(6)**, 443-446.
317. Sandermann H., Ernst D., Heller W. & Langebartels C. (1998). Ozone: an abiotic elicitor of plant defense reactions. *Trends in Plant Science*, **3**, 47-50.
318. Santos Pedro D. M., Alexandre E. M. C., Fundo J., Brandao T. R. S. & Silva C. L. M. (2006). Effect of Ultrasonication, thermosonication and ultraviolet irradiation on the quality

- of strawberries (*Fragaria ananassa*) and red bell peppers (*Capsicum annuum* L.). 3rd Central European Congress on Food, Sofia, 1-5.
319. Sanz C., Olias J. M. & Perez A. G. (1997). Aroma biochemistry of fruits and vegetable. In F. Tomas-Barberan & R. J. Robins (Eds.), *Phytochemistry of fruits and vegetables* (pp. 125-155). Oxford: Oxford University Press.
 320. Sapers G. M. (2003). Washing and sanitizing raw materials for minimally processed fruit and vegetable products. In J.S. Novak, G.M. Sapers, V.K. Juneja (Eds.), *Microbial safety of minimally processed foods* (pp. 221-253). Boca Raton, New York: CRC Press.
 321. Satpute M. & Annapure U. (2013). Approaches for delivery of heat sensitive nutrients through food systems for selection of appropriate processing techniques: A review. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, **4**, 71–92.
 322. Sarig P., Zahavi T., Zutkhi Y., Yannai S., Lisker N. & Ben-Arie R. (1996). Ozone for control of postharvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, **48**, 403-415. <http://dx.doi.org/10.1006/pmpp.1996.0032>.
 323. Sascha B., Ralph K., Walter P. H. & Reinhold C. (2004). Sensory and microbiological quality of shredded, packaged iceberg lettuce as affected by pre-washing procedures with chlorinated and ozonated water. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **5**, 45-55.
 324. Sawadaishi K., Miura K., Ohtsuka E., Ueda T., Shinriki N. & Ishizaki K. (1986). Structure- and sequence-specificity of ozone degradation of supercoiled plasmid DNA. *Nucleic Acid Research* **3**, 1159–1169.
 325. Scanlon P. D., Seltzer J., Ingram R. H., Reid L. & Drazen J. M. (1987). Chronic exposure to sulfur dioxide. *American Review of Respiratory Disease*, **135**, 831-839.
 326. Schraudner M., Ernst D., Langerbartels C. & Sandermann H. (1992). Biochemical plant responses to ozone III. *Plant Physiology*, **99**, 1321-1328.
 327. Schreier P. (1980). Quantitative composition of volatile constituents in cultivated strawberries *Fragaria ananassa* CV, *Senga sengana*, *Senga litessa* and *Senga gourmella*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **31**, 487-492.
 328. Scott D. B. M. & Leshner E. C. (1963). Effect of ozone on survival and permeability of *Escherichia coli*. *Journal of Bacteriology*, **85**, 567-576.
 329. Scott K., Fridkin M. D., Jeffrey C., Hageman M. H. S., Melissa Morrison M. P. H., Laurie Thomson Sanza R. N., Kathryn Como-Sabetti M. P. H., John A. Jernigan M. D., Kathleen Harriman Ph. D., Lee H. Harrison M. D., Ruth Lynfield M. D. and Monica M. Farley M. D.

- (2005). Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* disease in three communities. *New England Journal of Medicine* **352**, 1436–1444.
330. Sechi L. A., Lezcano I., Nunez N., Espim M., Duprè I., Pinna A., Molicotti P., Fadda G. & Zanetti S. (2001). Antibacterial activity of ozonized sunflower oil (Oleozon). *Journal of Applied Microbiology*, **90**, 279-284.
331. Sehested K., Holeman J., Bjergbakke E. & Hart E. J. (1987). Ozone decomposition in aqueous acetate solutions. *Journal of Physical Chemistry*, **91**, 2359-2361.
332. Selma M. V., Ibáñez A. M., Cantwell M. & Suslow T. (2008). Reduction by gaseous ozone of *Salmonella* and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. *Food Microbiology*, **25**, 558-565.
333. Selma M. V., Allende A., Lopez-Galvez F., Conesa M. A. & Gil M. I. (2008). Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry. *Food Microbiology*, **25**, 809-814.
334. Sfakiotakis E., Niklis N., Stavroulakis G. & Vassiliadis T. (1993). Efficacy of controlled atmosphere, ultra-low oxygen and low ethylene storage on keeping quality and scald control in “Starkling Delicious” apples. *Acta Horticulture*, **326**, 191-203.
335. Shah N. G., Zambre S. S., Venkatesh K. V. & Anantheswaran R. C. (2004). Ozone gas exposure to extend shelf life of tomatoes in hot and humid region. Institute of Food Technologists (IFT). In: Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, USA, 12-16 July.
336. Shahbaz H. M., Ahn J. J., Akram K., Kim H. Y., Park E. J. & Kwon J. H. (2014). Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment. *Food Chemistry*, **145**, 312-318.
337. Sharma T. R., Sekhon K. S. & Saini S. P. S. (1992). Studies on canning of apricot. *Journal of Food Science and Technology*, **29**, 22-25.
338. Sharpe D., Fan L., McRae K., Walker B., MacKay R. & Doucette C. (2009). Effects of ozone treatment on *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* in relation to horticultural product quality. *Journal and Food Science*, **74**, M250-M257.
339. Shinriki N., Ishizaki K. & Ikehata A. (1981). Degradation of nucleic acid with ozone. *Biochimica et Biophysica Acta* **655**, 323–328.
340. Shu Y., Kwok E. S. C., Tuazon E. C., Atkinson R. & Arey J. (1997). Products of the gas-phase reactions of linalool with OH radicals, NO₃ radicals and O₃. *Environmental Science and Technology*, **31**, 896-904.
341. Siegmund B., Derler K. & Pfannhauser W. (2001). Changes in the aroma of a strawberry drink during storage. *Journal Agriculture Food Chemistry*, **49**, 3244-3252.

342. Simkin A. J., Schwarts S. H., Auldrige M., Taylor M. G. & Klee H. J. (2004). The tomato carotenoid cleavage dioxygenase 1 genes contribute to the formation of the flavor volatiles beta-ionone, pseudoionone, and geranylacetone. *The Plant Journal*, **40**, 882-892.
343. Singh N., Singh R. K., Bhunia A. K. & Stroshine R. L. (2002a). Efficacy of chlorine dioxide, ozone and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *Food Science Technology*, **35**, 720-729.
344. Singh N., Singh R. K., Bhunia A. K. & Stroshine R. L. (2002b). effect of inoculation and washing methods on the efficacy of different sanitizers against *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Food Microbiology*, **19**, 183-193.
345. Sjöström Eero (1993). Wood Chemistry: Fundamentals and Applications. San Diego, CA: Academic Press, Inc.
346. Skog J. L. & Chu C. L. (2001). Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. *Canadian Journal of Plant Science*, **81**, 773-778.
347. Skrede G., Wrolstad R. E., Lea P. & Enersen G. (1992). Color stability of strawberry and blackcurrant syrups. *Journal of Food Science*, **57**, 172-177.
348. Smilanick J. L. (2003). Postharvest Use of Ozone on Citrus Fruit. Packinghouse Newsletter 199, USA, pp. 1-6.
349. Smilanick J. L., Harvey J. M., Hartsell P. L., Hensen D. J., Harris C. M., Fouse D. C. & Assemi M. (1990). Factors influencing sulfite residues in table grapes after sulfur dioxide fumigation. *American Journal of Enology and Viticulture*, **41**, 131-136.
350. Smock R. M. (1977). Nomenclature for internal storage disorders of apples. *Hortscience*, **12**, 306.
351. Smock R. M. & Watson R. D. (1941). Ozone in apple storage. *Refrigeration Engineering*, **42**, 97-101.
352. Soja G. & Soja A. M. (1995). Ozone effects on dry matter partitioning and chlorophyll fluorescence during plant development of wheat. - *Water, Air and Soil Pollution*, **85**, 1461-1466.
353. Soja G., Eid M., Gangl H. & Redl H. (1997). Ozone Sensitivity of Grapevine (*Vitis vinifera* L.): Evidence for a Memory Effect in a Perennial Crop Plant?. *Phyton* (Austria) Special issue: "Free Radicals", **37**, 265-270.
354. Sommer N. F., Fortlage R. J., Buckley P. M. & Maxie E. C. (1967). Radiation-heat synergism.
355. Song J., Fan L., Hildebrand P. D. & Forney C. F. (2000). Biological effects of corona discharge on onions in a commercial storage facility. *HortTechnology*, **10**, 608-612.

356. Sotelo J. L., Beltran F. J., Benitez F. J. & Beltran-Heredia J. (1987). "Ozone Decomposition in Water: Kinetic Study," *Ind. Engineering Chemistry Research*, **26**, 39.
357. Southon S. & Faulks R. (2002). Health benefits of increased fruit and vegetable consumption. In: Jongen, W. (Ed.), *Fruit and Vegetable Processing: Improving Quality* (2-19). CRC Press, Washington, DC.
358. Spotts R. A. & Peters B. B. (1980). Chlorine and chlorine dioxide for control of d'Anjou pear decay. *Plant Disease*, **64**, 1095-1097.
359. Spotts R. A. & Cervantes L. A. (1992). Effect of ozonated water on postharvest pathogens of pear in laboratory and packinghouse tests. *Plant Disease*, **76**, 256-259.
360. Staehelin J. & Hoigne J. (1982). *Environmental Science and Technology*, **16**, 676-81.
361. Staehelin J., Buehler R. E. & Hoigne J. (1984). *Journal of Physical Chemistry*, **88**, 5999-6004.
362. Staehelin J. & Hoigne J. (1985). Decomposition of ozone in water in the presence of organic solutes acting as promoters and inhibitors of radical chain reactions. *Environmental Science and Technology*, **19**, 1206-1213.
363. Steenstrup L. D. & Floros J. D. (2004). Inactivation of *E. coli* 0157:H7 in apple cider by ozone at various temperatures and concentrations. *Journal of Food Processing Preservation*, **28**, 103-116.
364. Steeves Susan A. (January 30, 2003). "Ozone may provide environmentally safe protection for grains". Purdue News.
365. Steinhart H., Schulz S. & Mutters R. (1999) Evaluation of ozonated oxygen in an experimental animal model of osteomyelitis as a further treatment option for skull-base osteomyelitis. *European Archives of Oto-Rhino-laryngology*, **256**, 153-157.
366. Stewart J. K. & Uota M. (1971). Carbon dioxide injury and market quality of lettuce in controlled atmospheres. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **96**, 27-30.
367. Stockinger H. E. (1965). Ozone toxicology. A review of research and industrial experience: 1954-1964. *Archives Environmental Health*, **10**, 719-731.
368. Teitel D. C., Aharoni Y. & Barkai-Golan R. (1989). The use of heat treatments to extend the shelf life of 'Galia' melons. *Journal of Horticultural Science*, **64**, 367-372.
369. Tiwari B. K., Muthukumarappan K., O'Donnell C. P. & Cullen P. J. (2008). Kinetics of freshly squeezed orange juice quality changes during ozone processing. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, **56**, 6416-6422.

370. Tiwari B. K., Muthukumarappan K., O'Donnell C. P. & Cullen P. J. (2008a). Modeling color degradation of orange juice by ozone treatment using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, **88**, 553–560.
371. Tiwari B. K., O'Donnell C. P., Patras A., Brunton N. & Cullen P. J. (2009). Effect of ozone processing on anthocyanins and ascorbic acid degradation of strawberry juice. *Food Chemistry*, **113**, 1119–1126.
372. Tiwari B. K., O'Donnell C. P., Patras A., Brunton N. & Cullen P. J. (2009). Anthocyanins and color degradation in ozonated grape juice. *Food and Chemical Toxicology*, **47**, 2824–2829.
373. Tomiyasu H., Fukutomi H. & Gordon G. (1985). *Inorganic Chemistry*, **24**, 2962–2966.
374. Tressl R. & Drawert F. (1973). Biogenesis of banana volatiles. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **21**, 560–565.
375. Tzortzakis N. G. (2007). Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **8**, 111–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2006.08.001>.
376. Tzortzakis N., Borland A., Singleton I. & Barnes J. (2007). Impact of atmospheric ozone-enrichment on quality-related attributes of tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, **45**, 317–325.
377. United States Food and Drug Administration (1997). Substances generally recognized as safe, proposed rule. *Federal Register*, **62(74)**, 18937–18964.
378. Uppu R. M., Cueto R., Squadrito G. L., & Pryor W. A. (1995). What does ozone react with air/lung interface? Model studies using human red blood cell membranes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **319**, 257–266.
379. USDA (1997). Code of Federal Regulations, Title 9, Part 381–386. Poultry products temperatures and chilling and freezing procedures. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, Washington, D.C.
380. Vaz-Velho M., Silva M., Pessoa A. & Gibbs P. (2006). Inactivation by ozone of *Listeria innocua* on salmon trout during cold-smoke processing. *Food Control*, **17**, 609–616.
381. Victorin K. (1992). Review of the genotoxicity of ozone. *Mutation Research*, **227**, 221–238.
382. Vicente A. R., Costa M. L., Martinez G. A., Chaves A. R. & Civello P. M. (2005). Effect of heat treatments on cell wall degradation and softening in strawberry fruit. *Postharvest biology and technology*, **38**, 213–222.

383. Vitro R., Sanz D., Alvarez I., Condon & Raso J. (2005). Inactivation kinetics of *Yersinia enterocolitica* by citric acid and lactic acid at different concentrations. *International Journal of Food Microbiology*, **103**, 251-257.
384. Voidarou C., Tzora A., Skoufos I., Vassos D., Galogiannis G., Alexopoulos A. & Bezirtzoglou E. (2007). Experimental Effect of Ozone upon Some Indicator Bacteria for Preservation of an Ecologically Protected Watery System.
385. Vurma M., Pandit R. B., Sastry S. K. & Yousef A. E. (2009). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and natural microbiota on spinach leaves using gaseous ozone during vacuum cooling and simulating transportation. *Journal Food Protection*, **72**, 1538-1546.
386. Wang W. & Xu S. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, **82**, 271–275.
387. Wang C., Wang S., Chang T., Shi L., Yang H., Shao Y., Feng W. & Cui M. (2013). Efficacy of lactic acid in reducing foodborne pathogens in minimally processed lotus sprouts. *Food Control*, **30**, 721-726.
388. Watkins P. & Wijesundera C. (2006). Application of zNose™ for the analysis of selected grape aroma compounds. *Talanta*, **70**, 595-601.
389. Whangchai K., Saengnil K. & Uthaibutra J. (2006). Effect of ozone in combination with some organic acids on the control of postharvest decay and pericarp browning of longan fruit. *Crop Protection*, **25**, 821-825.
390. Williams A., Ryan D., Guasca A. O., Marriott P. & Pang E. (2005). Analysis of strawberry volatiles using comprehensive two-dimensional gas chromatography with headspace solid-phase microextraction. *Journal of chromatography B*, **817**, 97-107.
391. Williams Robert C., Sumner Susan S. & Golden David A. (2005). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* in Apple Cider and Orange Juice Treated with Combinations of Ozone, Dimethyl Dicarbonate, and Hydrogen Peroxide. *Journal of Food Science*, **70**, M197–M201.
392. Willocx F. (1995). Evaluation of microbial and visual quality of minimally processed foods: a case study on the product life cycle of cut endive. Doctoral Thesis, Catholic University of Leuven.
393. Wiltshire J. J. J., Wright C. J., Unsworth M. H. & Craigon J. (1993). The effect of ozone episodes on autumn leaf fall in apple. *New Phytology*, **124**, 433-437.
394. Wojtowicz J.A. (1996). Ozone. In “Encyclopedia of Chemical Technology” (R.E. Kirk and D.E. Othmer, eds), 4th edn, **17**, 953-994. Wiley-Interscience, New York.

395. Wszelaki A. L. & Mitcham E. J. (2003). Effect of combinations of hot water dips, biological control and controlled atmospheres for control of gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biology and Technology*, **27**, 255-264
396. Yamayoshi T. & Tatsumi N. (1993). Microbiocidal effects of ozone solution on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Drugs Experimental and Clinical Research*, **19**, 59–64.
397. Yamashita I., Iino K. & Nemoto Y. (1977). Studies on flavor development in strawberries. Biosynthesis of volatile alcohol and ester from aldehyde during ripening. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **25**, 1165-1168.
398. Yang C., Wang Y., Wu B., Fang J. & Li S. (2011). Volatile compounds evolution of three table grapes with different flavour during and after maturation. *Food Chemistry*, **128**, 823-830.
399. Yilmaz E. (2001). Oxylipin pathway in the biosynthesis of fresh tomato volatiles. *Turk. Journal Biology*, **25**, 351-360.
400. Youssef B. M., Asker A. A., El-Samahy S. K. & Swailam H. M. (2002). Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. *Food Research International*, **35**, 1-13.
401. Yuk H. G., Yoo M. Y., Yoon J. W., Moon K. D., Marshall D. L. & Oh D. H. (2006). Effect of combined ozone and organic acid treatment for control of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on lettuce. *Journal of Food Science*, **71**, 83-87.
402. Yu M. H., Olson L. E. & Sahmkhe D. K. (1968). Precursors of volatiles components in tomato fruit. II. Enzymatic production of carbonyl compounds. *Phytochemistry*, **7**, 555.
403. Yu L., Reitmeier C. A., Gleason M. L., Nonnecke G. R., Olson D. G. & Gladon R. J. (1995). Quality of electron beam irradiated strawberries. *Journal of Food Science*, **60**, 1084-1087.
404. Zabetakis I. & Holden M. A. (1997). Strawberry flavour: Analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **74**, 421-434.
405. Zepplin M. & Elvehjein C. A. (1944). Effect of refrigeration on retention of ascorbic acid in vegetables. *Food Research*, **9**, 100-111.
406. Zeynep B. G. S., Annel K. G. & Seydim A. C. (2002). Use of ozone in the food industry. *LTW-Food Science and Technology*, **4**, 453-460.
407. Zhang L., Lu Z., Yu Z. & Cao X. (2005). Preservation of fresh-cut-celery by treatment of ozonated water. *Food Control*, **16**, 279-283.

408. Zhang Yun-tao, Wang Gui-xia, Dong Jing, Zhong Chuan-fei, Kong Jin, Li Tian-zhong & Han Zhen-hai (2009). Analysis of Volatile Components in Strawberry Cultivars Xingdu 1 and Xingdu 2 and Their Parents. *Agricultural Sciences in China*, **8(4)**, 441-446.
409. Zhang X., Zhang Z., Wang L., Zhang Z., Li Jing, Zhao C. (2011). Impact of ozone on quality of strawberry during cold storage. *Frontiers of Agriculture in China*, **5**, 356-360.
410. Zhao J. & Cranston Peter M. (1995). Microbial decontamination of black pepper by ozone and the effect of the treatment on volatile oil constituents of the spice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **68**, 11-18.
411. Zorlugenc B., Zorlugenc F. K., Oztekin S. & Evliya B. (2008). The influence of gaseous ozone and ozonated water on microbial flora and degradation of Aflatoxin B₁ in dried figs. *Food and Chemical Toxicology*, **46**, 3593-3597.
412. Zuma F., Lin J., & Jonnalagadda S. B. (2009). Ozone-initiated disinfection kinetics of *Escherichia coli* in water. *Journal Environmental Science Health, Part A* **44**, 48-56.
413. http://www.harvesttotable.com/2007/06/apricot_varieties_the_best_pla/
414. <http://strawberryplants.org/2011/03/popular-strawberry-varieties/>
415. www.wikipedia.org/wiki/List_of_strawberry_cultivars.
416. www.wikipedia.org/wiki/ozone.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βουδούρης Ε. & Κοντομηνάς Μ. Γ. (1985). <<Εισαγωγή στη Χημεία Τροφίμων>>, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
2. Καραουλάνης Γ. Δ. (2009). Βιολογία και Τεχνολογία Οπωροκηπευτικών μετά την Συγκομιδή, Εκδόσεις Σταμούλη.
3. Κοντομηνάς Μ. Γ. & Ρηγανάκος Κ. Α. (2014). <<Συντήρηση και συσκευασία τροφίμων>>, Ιωάννινα.
4. Κοτζεκίδου – Ρούκα Π. (1993). Μικροβιολογία Τροφίμων, Θεσσαλονίκη.
5. Σταυρουλάκης Ε. Γ. (1991). Η επίδραση της θερμοκρασίας, του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα στην ενεργοποίηση με προπυλένιο της ωρίμανσης και βιοσύνθεσης του αιθυλενίου καρπών ακτινιδίου ποικιλίας "Hayward". Διδακτορική Διατριβή. Επιστ. Επετ. του Τμήματος Γεωπονίας, Α.Π.Θ., 27: Παράρτημα 24.
6. Τασιούλα-Μάργαρη Μ. & Κοντομηνάς Μ. Γ. (2003). Ποιοτικός έλεγχος και Οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τροφίμων. Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο. Ιωάννινα.