ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Ανάπτυξη Μεθόδου Μέτρησης Χρώματος Νωπών Αγροτικών Προϊόντων με Ανάλυση Ψηφιακών Εικόνων

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ Γ. ΧΑΤΖΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΟΣ
ΜΔΕ: Συντήρηση Νωπών Αγροτικών Προϊόντων

ΑΘΗΝΑ 2015

-Η ποιότητα είναι μία καθημερινή συνήθεια και όχι μία στιγμιαία πράξη.

-Ποιότητα είναι να είσαι περήφανος για αυτό που κάνεις.

-Ποιότητα είναι να σέβεσαι τελικά τον εαυτό σου.

Αριστοτέλης

Τη Διατριβή μου αυτή την αφιερώνω στον αείμνηστο

Πατέρα μου, Γιώργο,

και στην Οικογένεια μου.

Η εκπόνηση της παρούσης διατριβής ενισχύθηκε οικονομικά με υποτροφία από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Διδακτορικού Διπλώματος της Ειδίκευσης: *Συντήρηση Νωπών Αγροτικών Προϊόντων.*

Επιτροπή Αξιολόγησης

Δρ. Γρ. Λαμπρινός, Καθηγητής ΓΠΑ, (Εισηγητής/ Επιβλέπων)
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Δρ. Γ. Μαυρογιαννόπουλος, Ομότιμος Καθηγητής ΓΠΑ

Δρ. Στ. Γιαννιώτης, Καθηγητής ΓΠΑ
Εργαστήριο Μηχανικής Τροφίμων, Επεξεργασίας και Συντήρησης Γεωργικών Προϊόντων, Τμ. Επιστήμης & Τεχνολογίας Τροφίμων.

Δρ. Κ. Ακουμιανάκης, Καθηγητής ΓΠΑ
Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής.

Δρ. Κ. Αρβανίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΓΠΑ
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Δρ. Γ. Ξανθόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

Δρ. Σ. Φουντάς, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής.

AGRICULTURAL UNIVERITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES MANAGEMENT &
AGRICULTURAL ENGINEERING

Development of a new method for colour estimation of agricultural products based on image analysis

Ph.D Thesis

ELEFTHERIOS G. CHATZIS
AGRONOMIST, MSc

ATHENS, 2014

Committee Assessment

Dr Gr. Lambrinos, Professor, (Promoter), AUA
Laboratory of Farm Machinery, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering

Dr G. Mavrogiannopoulos, Emeritus Professor, AUA

Dr. St. Yianniotis, Professor, AUA
Laboratory of Food Process Engineering, Processing and Preservation of Agricultural Products, Department of Food Science & Technology

Dr K. Akoumianakis, Professor
Laboratory of Vegetable Production, Faculty of Crop Science, AUA

Dr K. Arvanitis, Associate Professor, AUA
Laboratory of Farm Machinery, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering

Dr G. Xanthopoulos, Assistant Professor, AUA
Laboratory of Farm Machinery, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering

Dr S. Fountas, Assistant Professor, AUA
Laboratory of Farm Machinery, Department of Natural Resources Management & Agricultural Engineering

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα μου καθηγητή κο Γ. Λαμπρινό για την υποστήριξη και τη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την πορεία πραγματοποίησης της διδακτορικής αυτής διατριβής. Ευχαριστίες οφείλω και στα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής παρακολούθησης, στην καθηγήτρια κα Ε. Μανωλοπούλου και στον καθηγητή κο Στ. Γιαννιώτη καθώς και στα υπόλοιπα μέλη της εφταμελούς επιτροπής αξιολόγησης.

Επιπλέον ευχαριστίες οφείλω σε όλους όσους συνεργάστηκα και ειδικά στα μέλη της ερευνητικής ομάδας κο Ε. Αραβαντινό Καρλάτο και κο Γ. Ξανθόπουλο.

Ευχαριστώ το Ίδρυμα κρατικών Υποτροφιών για το σύνολο της υποστήριξης και συνεργασίας.

Τέλος ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη που είχα σε όλες μου τις προσπάθειες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια οι απαιτήσεις ποιοτικού ελέγχου έχουν να κάνουν με την έρευνα και τη βελτιστοποίηση, κυρίως, μη καταστροφικών μεθόδων. Λόγω των νέων απαιτήσεων, η χρήση της ψηφιακής κάμερας στον ποιοτικό έλεγχο της εμφάνισης των φυτικών οργάνων και τροφίμων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην παρούσα εργασία και με σκοπό την ανάπτυξη μίας αντικειμενικής μεθόδου εκτίμησης του χρώματος των αγροτικών προϊόντων, πραγματοποιήθηκε κατασκευή διάταξης λήψης εικόνων και αναπτύχθηκε λογισμικό ανάλυσης για τον προσδιορισμό του χρώματος.

Στη μελέτη/αξιολόγηση της διάταξης και της μεθόδου πραγματοποιήθηκαν πειράματα δοκιμών μέτρησης χρώματος αγροτικών προϊόντων με παράλληλη χρήση/σύγκριση χρωματομέτρου. Τα προϊόντα προς αξιολόγηση, καθώς και οι χειρισμοί που πραγματοποιήθηκαν, επιλέχθηκαν με τα παρακάτω κύρια κριτήρια:

1. Μορφολογία φυτικού οργάνου.
2. Χρωματισμός.
3. Μετασυλλεκτική συμπεριφορά κατά τη συντήρηση.

Επιπλέον των μετρήσεων χρώματος, στα πειράματα αυτά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και σε κάποιες άλλες ποιοτικές παραμέτρους για έλεγχο της αξιοπιστίας της νέας μεθόδου. Η αντικειμενική μέθοδος εκτίμησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων, η οποία αναπτύχθηκε, έχει τα παρακάτω βασικά πλεονεκτήματα έναντι του χρωματομέτρου:

1. Εξασφαλίζει αντικειμενικότερη αξιολόγηση λόγω του ότι εκτιμά το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων.
2. Εξασφαλίζει γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων σε μορφή έτοιμη για άμεση επεξεργασία.
3. Δεν έχει μεγάλο κόστος.

ABSTRACT

In the recent years, quality control requirements are associated with research and improvement, which mainly focused on non-destructive techniques. According to this fact, the use of digital cameras for enhancing quality control of agricultural products and foods, is of particularly interesting. In the present work, in order to develop an objective method for colour assessment of agricultural products, an image capturing rig was manufactured in our lab accompanied from a tailor made image analysis software for the colour determination.

In the context of this study a series of experiments was carried out for the colour measurement of agricultural products employing a conventional colourimeter. The tested agricultural products namely lettuce, mushroom, tomato and apple were selected based on the following criteria:

1. Morphology of the plant organ.
2. Coloration.
3. Post - harvest behavior of the product during cold storage.

In addition to the colour taken measurements, tests were also performed for other quality control parameters to investigate the reliability of the new proposed method. The new objective method that was developed has the following main advantages compared to the colourimeter:

1. Has faster export results in a readily use form in terms of processing data.
2. Has lower initial and operational cost.
3. Ensures objectiveness of samples' evaluation mainly due to the fact that colour is appreciated in almost the whole surface of the product and not locally compared to the colourimeter protocol.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ……13

1. Ποιότητα νωπών αγροτικών προϊόντων……14

1.1 Φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά-Προϊόντα με ελάχιστη επεξεργασία…….15

1.2 Οι ιδιαιτερότητες των προϊόντων με ελάχιστη εξεργασία……15

2. Εκτίμηση-μέτρηση της ποιότητας……16

2.1 Υποκειμενικές μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης……..16

2.2 Αντικειμενικές μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης……..17

2.2.1 Ποιοτική αξιολόγηση με καταστροφικές (destructive) μεθόδους……17

2.2.2 Ποιοτική αξιολόγηση με μη καταστροφικές (non destructive) μεθόδους…….19

2.3 Χρώμα και μέθοδοι μέτρησης του……20

2.3.1 Ορισμός……..20

2.3.2 Φωτισμός και χρώμα……23

2.4 Χρωματομετρία…….. …23

2.4.1 Χρωματικά μοντέλα…….. ….24

2.5 Μέθοδοι μέτρησης του χρώματος……28

2.6 Ποιοτική αξιολόγηση με χρήση της όρασης μικροϋπολογιστών-Computer Vision……29

2.6.1 Γενικά…… . 29

2.6.2 Τεχνικές με λήψη ψηφιακών εικόνων…… 32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ……35

1. Γενικά…… …… …….. 36

2. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μαρουλιού…… 36

2.1 $1^{η}$ πειραματική σειρά-Μετρήσεις σε μη ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού…… 36

2.2 Το νέο λογισμικό ψηφιακής ανάλυσης……39

2.3 Σχεδιασμός και κατασκευή κλωβού λήψης ψηφιακών εικόνων…….. 40

3. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος ολόκληρου και με τεμαχισμένου μανιταριού…… …..46

4. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος τομάτας…..47

5. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μήλου με ελάχιστη επεξεργασία……. .48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ…….. ..55

Περίληψη…… 56
1.Εισαγωγή……57
2. Υλικά και Μέθοδοι…… 59
2.1 Συγκομιδή και χειρισμοί…….. 59
2.2 Μέτρηση χρώματος……61
2.2.1 Μέτρηση με χρωματόμετρο…… 62
2.2.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων…….. 63
2.2.3 Μέτρηση απώλειας υγρασίας…….. 64
2.3 Στατιστική ανάλυση…… 64
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση…… 64
3.1 Μεταβολή χρώματος…… 64
3.1.1 1^{η} Πειραματική σειρά…… 64
3.1.2 2^{η} Πειραματική σειρά…… 71
3.2 Μεταβολή υγρασίας και χρώμα……78
4. Συμπεράσματα……82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΛΕΥΚΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ….83
Περίληψη……84
1. Εισαγωγή……84
2. Υλικά και Μέθοδοι…… 85
2.1 Προετοιμασία δειγμάτων…….. 85
2.2 Μέτρηση χρώματος……86
2.2.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο…… 87
2.4.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων…… 87
2.6 Στατιστική ανάλυση…… 87
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση…… 88
3.1 Χρωματικοί παράγοντες ΔΕ*, L*…… 88
3.1.1 Ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ*…… 87
3.1.2 Χρωματικός παράγοντας L*……88
4. Συμπεράσματα…… 99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ……..101
Περίληψη……..102
1. Εισαγωγή……103

1.1 Χρώμα Καρπών Τομάτας……103
2. Υλικά και Μέθοδοι…… 106
2.1 Συγκομιδή της Α΄ ύλης και χειρισμοί……106
2.2 Μέτρηση χρώματος…… 107
2.2.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο…… . .107
2.2.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων…….. ……. 108
2.3 Στατιστική ανάλυση…… 108
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση…… 109
3.1 Ολική μεταβολή χρώματος ΔE^*……109
3.2 Μεταβολή πηλίκου χρωματικών παραγόντων a^* και b^* (a^*/b^*)……116
4. Συμπεράσματα…… 122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΗΛΩΝ GOLDEN DELICIOUS ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ…… 123
Περίληψη…… 124
1. Εισαγωγή…… 125
2. Υλικά και Μέθοδοι…… 127
2.1 Συγκομιδή και χειρισμοί…… 127
2.2 Προετοιμασία ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων……128
2.3 Ποιοτικός έλεγχος…… 128
2.4 Μέτρηση χρώματος……127
2.4.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο…… 129
2.4.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων…… 130
2.4.3 Οργανοληπτικός έλεγχος…… 130
2.5 Στατιστική ανάλυση…… 131
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση…… 131
3.1 Χρωματικοί παράγοντες ΔE^*, BI και L^*…… 131
3.1.1 Παραγοντική ανάλυση διασποράς ΔE^* και BI…… 131
3.1.2 Μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων ΔE^* και BI…… 133
3.1.3 Μεταβολές της φωτεινότητας L^*…… 144
3.2 Μελέτη ορίων εμπιστοσύνης μέσων τιμών L^*, ΔE^*, BI…… 149
4. Συμπεράσματα…… 153
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ…… 155
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ…… 157

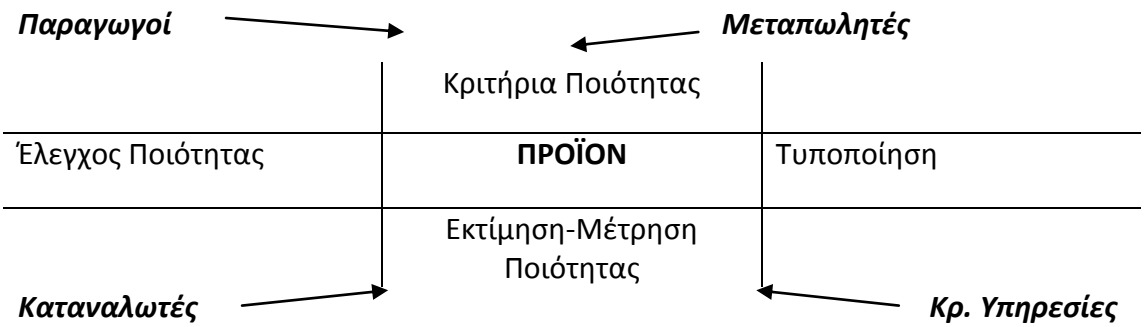
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Ποιότητα των νωπών αγροτικών προϊόντων

Ποιότητα είναι ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων εκείνων του τροφίμου τα οποία θεωρούνται σημαντικά για τον προσδιορισμό του βαθμού αποδοχής του από τον καταναλωτή (Kader, 2002). Έτσι μπορούμε να ορίσουμε ως ποιότητα ενός προϊόντος τον βαθμό που αυτό ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του καταναλωτή (Καρμίρης, 1967; Abbott, 1999; Αρβανιτογιάννης, Σάνδρου, & Κούρτης, 2001). Οι παράμετροι που ορίζουν την ποιότητα είναι: η εξωτερική εμφάνιση, η υφή, η γεύση και η θρεπτική αξία και επειδή οι καταναλωτές «αγοράζουν» με τα μάτια (Abott,1999), Κατ΄ επέκταση, εκτός των άλλων, ποιότητα σημαίνει το προϊόν να είναι απαλλαγμένο από ελαττώματα τα οποία θα έχουν σαν αποτέλεσμα τη δυσαρέσκεια του καταναλωτή (Juran, 1999)

Η ποιότητα είναι ένας όρος ο οποίος πολύ συχνά χρησιμοποιείται για να χαρακτηριστούν νωπά αγροτικά προϊόντα, στα διάφορα στάδια που ακολουθούν μετά τη συλλογή έως και την κατανάλωση τους (Swewfelt, 1999). Ο όρος ποιότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διαφορετικούς τρόπους όσον αφορά στα φρέσκα φρούτα και λαχανικά και έτσι μπορούμε να διακρίνουμε την «εμπορική» ποιότητα, την «εδώδιμη», τη «θρεπτική», την «αγοραστική», την «εσωτερική», την «εμφανισιακή» κ.λ.π (Kader, 2002). Η ερμηνεία του όρου διαφέρει ανάλογα με τη θέση που κατέχει ο προσδιορίζων στην αλυσίδα διανομής (Σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1 Η έννοια της ποιότητας όπως εμφανίζεται να καλύπτει ανάγκες για ορισμό κριτηρίων, ελέγχου, εκτίμησης-μέτρησης και τυποποίησης που ικανοποιούν διάφορους χρήστες (παραγωγοί, μεταπωλητές, κράτος και καταναλωτές).

Έτσι για τον *παραγωγό* η ποιότητα σχετίζεται με την εμφάνιση και την έλλειψη ορατών ελαττωμάτων. Αναφερόμενος στην ποικιλία θεωρεί καλής

ποιότητας αυτή που παράγει μεγάλη ποσότητα, είναι ανθεκτική στις προσβολές, συγκομίζεται εύκολα και μπορεί να μεταφερθεί χωρίς προβλήματα. Για τον *έμπορο* και το *μεταπωλητή* η εμφάνιση είναι υψίστης σημασίας. Τον ενδιαφέρει η υφή και η διάρκεια συντήρησης. Για τον *καταναλωτή,* καλής ποιότητας είναι τα φυτικά όργανα που έχουν καλή εμφάνιση, είναι σκληρά, καλής γεύσης και υψηλής θρεπτικής αξίας (Μανωλοπούλου, 2004a). Για τους καταναλωτές εκτός των άλλων μεγάλη σημασία αποτελεί η σιγουριά για ασφαλή προϊόντα (Kader, 1992a). Για τον *διαιτολόγο* η ποιότητα ενός προϊόντος ορίζεται με βάση την περιεκτικότητα του σε ορισμένα θρεπτικά χημικά συστατικά όπως υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, βιταμίνες και ανόργανα άλατα. Τέλος η ποιότητα ενδιαφέρει και τις κρατικές υπηρεσίες που ελέγχουν αν τα προϊόντα πληρούν τις ποιοτικές προδιαγραφές κατά τις διάφορες συναλλαγές (Σφακιωτάκης, 2004). Η επίλυση του προβλήματος της έλλειψης ακριβούς και αποδεκτής από όλους ερμηνείας του όρου «ποιότητα», θα είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των προϊόντων τα οποία φτάνουν στον καταναλωτή (Shewfelt, 1999).

Η ποιότητα των νωπών αγροτικών προϊόντων εξαρτάται από πολλούς βιολογικούς και βιοχημικούς παράγοντες καθώς και από το συνδυασμό αυτών, με αποτέλεσμα, χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ιδιότητες αυτών να προσδιορίζουν την εμπορική αξία έως και την τελική χρήση των προϊόντων (Artes, 2004).

1.1 Φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά-Προϊόντα με ελάχιστη επεξεργασία

Οι σύγχρονες ανάγκες για ευκολία και ταχύτητα στην προετοιμασία φρέσκων οπωρολαχανικών (σαλατών) έχει οδηγήσει τελευταία σε ένα νέο τύπο προϊόντων, τα οποία είναι γνωστά ως ελαφρώς επεξεργασμένα προϊόντα (minimally processed fruits and vegetables ή lightly processed fruits and vegetables ή partially processed fruits and vegetables ή 4ème gamme) (Μανωλοπούλου, 2004b; Goularte et al. 2004; Watada et al. 1996).

1.2 Οι ιδιαιτερότητες των προϊόντων με ελάχιστη επεξεργασία

Η κατανόηση των διεργασιών οι οποίες επηρεάζουν την ποιοτική υποβάθμιση των προϊόντων μετά την όποια επεξεργασία, και κυρίως μετά τον τεμαχισμό, είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της τεχνολογίας που σκοπό έχει την

διατήρηση της ποιότητας κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας όσο και της διανομής (Wiley, 1994; Ahvenainen, 1996).

Τα ελαφρώς επεξεργασμένα προϊόντα παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα ρυθμού ποιοτικής υποβάθμισης διότι οι βλάβες της προετοιμασίας (πλύσιμο, τρίψιμο, τεμαχισμός) προκαλούν αύξηση του ρυθμού αναπνοής, παραγωγή αιθυλενίου λόγω stress και επιτάχυνση διαφόρων βιοχημικών αντιδράσεων όπως είναι ή αλλαγή του χρώματος κυρίως λόγω της οξείδωσης των φαινολικών συστατικών, της γεύσης, της υφής αλλά και της θρεπτικής αξίας (Μανωλοπούλου, 2004b; Watada et al. 1996; Ahvenainen, 1996). Τέλος ο υψηλός ρυθμός ποιοτικής υποβάθμισης των ελαφρώς επεξεργασμένων προϊόντων οφείλεται και στην αυξημένη ευκολία προσβολής από μικροοργανισμούς λόγω της θραύσης των κυττάρων κατά τον τεμαχισμό (Watada et al. 1996; Μανωλοπούλου, 2004b; Zhang et al. 2005).

2. Εκτίμηση-μέτρηση της ποιότητας

Η εκτίμηση – μέτρηση της ποιότητας είναι απαραίτητη στην τυποποίηση και εμπορία των αγροτικών προϊόντων. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να πραγματοποιείται άμεσα με υποκειμενικούς και έμμεσα με αντικειμενικούς τρόπους. Οι υποκειμενικοί τρόποι στηρίζονται σε άμεση εκτίμηση της ποιότητας με δοκιμές από τους καταναλωτές η δοκιμαστές. Αντικειμενικά η εκτίμηση της ποιότητας γίνεται με όργανα, που η λειτουργία τους στηρίζεται σε φυσικά ή χημικά χαρακτηριστικά (Σφακιωτάκης, 2004).

2.1 Υποκειμενικές μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης

Οι υποκειμενικές μέθοδοι εξαρτώνται από την προσωπική εκτίμηση ενός ατόμου. Τέτοιες μετρήσεις πραγματοποιούνται με μεγάλο αριθμό εκτιμητών, οι οποίοι μπορεί να είναι πρόσωπα που διαθέτουν πείρα ή και απλώς καταναλωτές. Υποκειμενικούς τρόπους για την ποιοτική εκτίμηση χρησιμοποιούμε για χαρακτήρες που δεν είναι δυνατό να μετρηθούν με άλλους τρόπους όπως τη συνολική γευστική ποιότητα και την ολική οπτική ποιότητα.

Οι υποκειμενικοί τρόποι δεν δίνουν μεγάλη ακρίβεια, πλεονεκτούν όμως στο γεγονός ότι δεν απαιτούν ειδικά όργανα, είναι γρήγοροι και συνήθως συνδέονται με

την προτίμηση του καταναλωτή (Σφακιωτάκης, 2004). Η υποκειμενική εκτίμηση βασίζεται σε πληροφορίες που παίρνουμε όταν ερχόμαστε σε επαφή με τον προϊόν μέσω των αισθητηρίων μας και που επεξεργάζονται από τον εγκέφαλο.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των μεθόδων αυτών είναι τα εξής (Gunasekaran and Ding, 1994; Lu and Da-Wen, 2000; Studman, 2001; Brosnan and Da-Wen, 2002):

- Χρονοβόρες διαδικασίες
- Μέθοδοι οι οποίες είναι πολύ κοπιαστικές για το ερευνητικό προσωπικό
- Μη αξιόπιστα αποτελέσματα, λόγω της υποκειμενικότητας, η οποία οφείλεται στην περιορισμένη οπτική ικανότητα (το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι περιορισμένο) του ανθρώπου.
- Ανάγκη ύπαρξης αρκετών ανθρώπων (εκτιμητών) με πείρα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα υποκειμενικής αξιολόγησης είναι ο προσδιορισμός του χρώματος που συνδέεται τόσο με το στάδιο ωριμότητας όσο και με την ποιότητα του προϊόντος και είναι το πιο βασικό κριτήριο που έλκει τον καταναλωτή.

Στην εκτίμηση του χρώματος, χρησιμοποιούνται πρότυπα χρώματα. Η μέθοδος βασίζεται στην σύγκριση του βασικού χρώματος του προϊόντος με σειρά αποχρώσεων οι οποίες υπάρχουν σε χρωματικούς χάρτες (Σύστημα Munsell - Munsell Color System). Με το σύστημα αυτό αξιολογείται το χρώμα των προϊόντων συγκρίνοντας το με πρότυπα ταυτοποιημένα χρώματα τα οποία υπάρχουν σε ειδικά εγχειρίδια. Για την όσο το δυνατόν καλύτερη αξιολόγηση η σύγκριση πραγματοποιείται με προκαθορισμένο φωτισμό και θέση του κριτή ως προς το υπό εξέταση προϊόν (Martens and Baardseth, 1987; Giese, 2003).

Οι υποκειμενικοί τρόποι ποιοτικής αξιολόγησης δεν δίνουν μεγάλη ακρίβεια, αλλά πλεονεκτούν στο ότι δεν απαιτούν ειδικά όργανα, είναι γρήγοροι τρόποι και συνήθως ακολουθούν την προτίμηση του καταναλωτή (Σφακιωτάκης, 2004).

2.2 Αντικειμενικές μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης

2.2.1 Ποιοτική αξιολόγηση με καταστροφικές (destructive) μεθόδους

Εκτίμηση υφής

Κατά την εκτίμηση της υφής με αντικειμενικό τρόπο (χρήση οργάνων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ολόκληρο το φρούτο είτε ένα δείγμα ιστού. Στην

δεύτερη περίπτωση το αποτέλεσμα της μέτρησης μπορεί να αναφέρεται σε συγκεκριμένη περιοχή ενός φρούτου ενώ στην πρώτη αναφέρεται σε ολόκληρο το φρούτο (Harker et al, 1997). Στην διαδικασία εκτίμησης της υφής πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα σφάλματα που μπορεί να προέρχονται από διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας του καρπού κατά την δοκιμή (Johnston et al, 2001) και από τους χειριστές των οργάνων (Lehman-Salada, 1996).

Η υφή του οργάνου προσδιορίζεται είτε από την αντίσταση που παρουσιάζει το παρέγχυμα στη διείσδυση ενός εμβόλου (firmness puncture test) μεγέθους ανάλογου με το μέγεθος του καρπού π.χ 11 mm για τα μήλα, 8 mm για τ' ακτινίδια , 2 mm για μικρούς καρπούς, ή από την παραμόρφωση του καρπού όταν εφαρμόζεται σ΄ αυτόν μία ορισμένη δύναμη. Ο προσδιορισμός της υφής μπορεί να γίνει είτε με φορητά όργανα (δυναμόμετρα) όπως το Magness-Taylor και το Effegi (Bourne, 1974) που παρέχουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησής τους στον αγρό, είτε με εργαστηριακά επιτραπέζια όργανα, πιο σύνθετα και με περισσότερες δυνατότητες και καλύτερη επαναληψιμότητα, όπως π.χ. το Texture Analyser. Στην περίπτωση του οργάνου αυτού μπορούν να ρυθμιστούν πολλοί παράμετροι όπως η ταχύτητα καθόδου του εμβόλου, το βάθος εισόδου, η ταχύτητα εξόδου κλπ. Από τα χαρακτηριστικά διαγράμματα δύναμης – παραμόρφωσης μπορούν να υπολογισθούν διάφορα ειδικά χαρακτηριστικά/ παράγοντες της υφής (Blahovec, 2003).

Προσδιορισμός χημικών συστατικών

Είναι γνωστό ότι η ποιότητα και ειδικά η γευστική ποιότητα των νωπών αγροτικών προϊόντων σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών σε αυτά, (Total Soluble Solids, TSS, ºbrix). Το μεγαλύτερο μέρος των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών είναι σάκχαρα, τα οποία υπολογίζονται με ειδικές συσκευές γνωστές ως διαθλασίμετρα (Refractometers) λόγω του ότι η λειτουργία τους στηρίζεται στο φαινόμενο της διάθλασης του φωτός σε δείγμα χυμού του προϊόντος του οποίου θέλουμε να εκτιμήσουμε την ποιότητα. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών των φρούτων αποτελεί κριτήριο συγκομιδής που εφαρμόζεται με επιτυχία στα ακτινίδια, δαμάσκηνα και κεράσια.

Στα σταφύλια, τα κεράσια, τις πιπεριές και τα πράσινα λαχανικά, ο προσδιορισμός του χρώματος μπορεί να γίνει με χημικό τρόπο προσδιορίζοντας δηλ. την ποσότητα των χαρακτηριστικών χρωστικών των προϊόντων αυτών. Ο προσδιορισμός των χρωστικών μπορεί να γίνει με φασματοφωτομετρία, με υγρή χρωματογραφία (HPLC) η αέρια χρωματογραφία, (Mozeti, Trebe and Hribar, 2002).

Ο προσδιορισμός των χρωστικών με χημικό τρόπο χρησιμοποιείται για την μέτρηση του χρώματος σε σταφύλια, κεράσια και κόκκινες πιπεριές.

Οι πτητικές ουσίες σε φρούτα και λαχανικά οι οποίες δίνουν το χαρακτηριστικό άρωμα των καρπών, προσδιορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά με χρήση αέριας χρωματογραφίας (Gas chromatography-oflactometry, GC-O) (Saskia, 2001).

Η περιεκτικότητα σε καροτίνια και ασκορβικό οξύ προσδιορίζεται με χημική ανάλυση και αποτελεί σταθερό κριτήριο ποιότητας σε πολλά προϊόντα. Σε πολλά είδη φρούτων και λαχανικών, η ανάλυση των χρωστικών της σάρκας (ανθοκυάνες) είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και ως κριτήριο συλλεκτικής ωριμότητας. Ο προσδιορισμός των ανθοκυανών γίνεται με διάφορους αναλυτικούς τρόπους όπως η αέρια χρωματογραφία, η χρωματογραφία υγρής στήλης (HPLC) και η φασματοφωτομετρία (Mozeti, Trebe and Hribar, 2002).

2.2.2 Ποιοτική αξιολόγηση με μη καταστροφικές (non destructive) μεθόδους

Φυσιολογικές διαδικασίες όπως είναι η απώλεια υγρασίας, η παραγωγή αιθυλενίου και η αναπνευστική δραστηριότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ποιοτικού ελέγχου φρούτων και λαχανικών. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι ασθένειες ψύχους σχετίζονται με όλες τις παραπάνω φυσιολογικές διαδικασίες. Σε λαχανικά ευαίσθητα στο ψύχος (π.χ τροπικά), αυξημένοι ρυθμοί απώλειας υγρασίας, αναπνοής και παραγωγής αιθυλενίου σχετίζονται με την εμφάνιση ασθενειών ψύχους (Hakim and Purvis, 1999).

Οι μη καταστροφικοί μέθοδοι προσδιορισμού της ποιότητας των νωπών οπωρολαχανικών παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι μας επιτρέπουν να παρακολουθούμε τις μεταβολές στο ίδιο φυτικό όργανο και έτσι να μειώνεται το πειραματικό σφάλμα λόγω της διαφορετικής ατομικότητας των καρπών. Μη

καταστροφικές μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης αναφέρονται στη μελέτη διάδοσης ηχητικών κυμάτων για τον προσδιορισμό της υφής σε πεπόνια, καρπούζια, mango, ή γενικότερα σε φρούτα (Hakim and Purvis, 1997; Mizrach, 2001; Al-Hag and Sugiyama, 2004), στη χρήση ειδικών οργάνων κρούσης (Impact) για την εκτίμηση της υφής (Studman, 2001; Diezma, 2004), στη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Stout, 1988; Studman, 2001), στη χρήση ακτινών Χ για τον προσδιορισμό της εσωτερικής ποιότητας και κυρίως των εσωτερικών βλαβών διαφόρων φυτικών οργάνων (Hakim and Purvis, 1997; Abbot, 1999; Haff RP & Toyofuku N. 2008), στη χρήση τεχνολογίας Πυρηνικού Μαγνητικού Συντονισμού-NMR (Nuclear Magnetic Resonance) για τον προσδιορισμό εσωτερικών βλαβών όπως: watercore, breakdown, chilling injury,bruising κλπ (Abbot, 1999).

Ιδιαίτερη αναφορά στην κατηγορία αυτή των μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης γίνεται στη μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων. Οι οπτικές ιδιότητες αναφέρονται σε δυο φυσικά γνωρίσματα τα οποία έχουν να κάνουν με την εξωτερική εμφάνιση των φυτικών οργάνων , δηλ το χρώμα και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (λαμπρότητα, στιλπνότητα, σχήμα, καθαρότητα του χρώματος (Arthey, 1975) τα οποία καθορίζουν την αποδοχή των προϊόντων από τους καταναλωτές καθώς και την εμπορική τους αξία (Λαμπρινος & Μητρόπουλος, 2000).

Οι σύγχρονες απαιτήσεις του ποιοτικού ελέγχου στις μέρες μας έχει να κάνει με την έρευνα και βελτιστοποίηση μη καταστροφικών *(non destructive)* μεθόδων (Hakim and Purvis, 1997; Liu et al. 1999; Zhang et al. 2014). Λόγω των νέων απαιτήσεων η χρήση της ψηφιακής κάμερας, με ανάλυση ή και επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, στον ποιοτικό έλεγχο της εμφάνισης των φυτικών οργάνων και τροφίμων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον (Du and Sun, 2004).

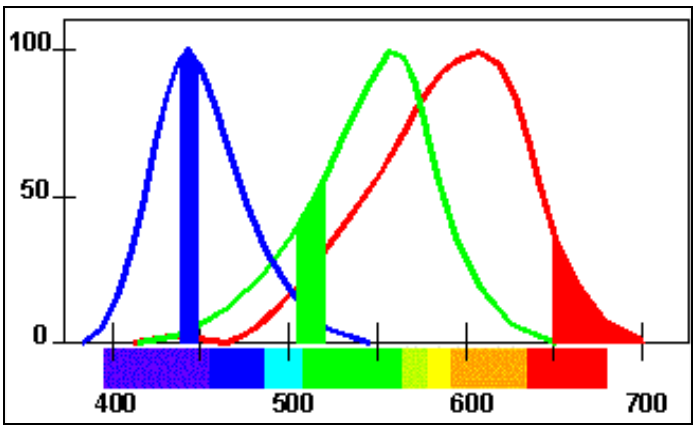
2.3 Χρώμα και μέθοδοι μέτρησης του

2.3.1 Ορισμός

Το φυσικό αίτιο που προκαλεί την αντίληψη του χρώματος είναι τα διαφορετικά μήκη κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας που περιέχονται στο ορατό φάσμα. Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος αντιστοιχούν στο κόκκινο και τα μικρότερα

στο ιώδες. Γι' αυτό και οι ακτινοβολίες αμέσως έξω από τα όρια του ορατού φάσματος ονομάζονται υπέρυθρες και υπεριώδεις, αντίστοιχα.

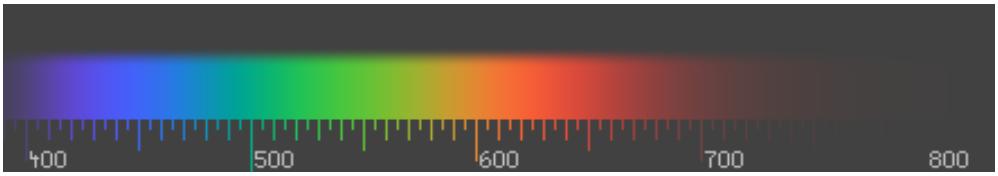
Στο ανθρώπινο μάτι, και συγκεκριμένα στον αμφιβληστροειδή, υπάρχουν δύο ειδών ευαίσθητα στο φως κύτταρα, οι ράβδοι και οι κώνοι. Οι ράβδοι μετράνε την ποσότητα του φωτός που φτάνει στο μάτι, δεν έχουν όμως ευαισθησία στο χρώμα, έτσι μόνο με αυτά θα βλέπαμε σε άσπρο μαύρο. Την αίσθηση των χρωμάτων μας δίνουν οι κώνοι, άλλοι από τους οποίους είναι ευαίσθητοι (κυρίως) στο κόκκινο (Red), άλλοι στο πράσινο (Green) και άλλοι στο μπλε (Blue), σύμφωνα με το πιο κάτω διάγραμμα (Σχ. 2.1) (Hutchings, 1994; Cornelius, 2001).



Σχήμα 2.1 Ευαισθησία κώνων ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

Η ίδια κατανομή του φάσματος της ορατής ακτινοβολίας σε αντιστοίχηση με τις βασικές χρωματικές αποχρώσεις τις οποίες αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1.:

Πίνακας 2.1 Το χρώμα που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι σε αντιστοιχία με μήκη κύματος και συχνότητες φωτεινής ακτινοβολίας



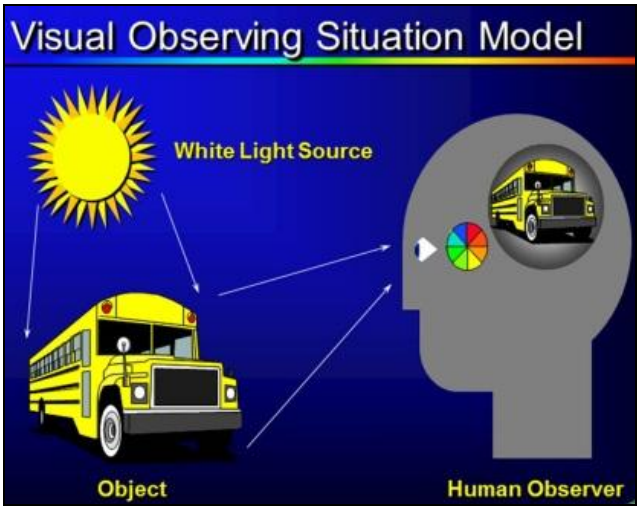
Χρώμα	Μήκος κύματος	Συχνότητα
Κόκκινο	~700–630 nm ~	430–480 THz
Πορτοκαλί	~ 630–590 nm ~	480–510 THz
Κίτρινο	~ 590–560 nm ~	510–540 THz
Πράσινο	~ 560–490 nm ~	540–610 THz
Μπλε	~ 490–450 nm ~	610–670 THz
Ιώδες	~ 450–400 nm ~	670–750 THz

Πηγή: Craig F. Bohren, 2006

Για να γίνει αντιληπτό το χρώμα απαιτείται η ταυτόχρονη ύπαρξη τριών παραγόντων (HunterLab, 2000; Cornelius, 2001):

- Μιας φωτεινής πηγής (Light)
- Ενός αντικειμένου (Object)
- Ενός παρατηρητή (Observer) ο οποίος καταγράφει το χρώμα υποκειμενικά, ή μιας συσκευής μέτρησης του χρώματος που θεωρείται και αντικειμενικός παρατηρητής.

Επομένως χρώμα δεν μπορεί να υπάρξει χωρίς έναν από τους παραπάνω τρεις παράγοντες και αυτό παρουσιάζεται παραστατικά στην εικόνα 2.1.



(Πηγή: HunterLab, 2001)

Εικόνα 2.1 Σχηματική παρουσίαση των απαραίτητων παραγόντων για την ύπαρξη χρώματος

Το χρώμα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια ποιοτικής αξιολόγησης της εμφάνισης (Βουδούρης και Κοντομηνάς, 1983; Hutchings, 1994; Kays, 1999; Luzuriaga and Balaban, 2002; Felfldi and Szepes, 2002; Χατζής κ.α, 2005) αφού αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό της συνολικής οπτικής εμφάνισης των προϊόντων με το οποίο έρχεται σε επαφή ο καταναλωτής προκειμένου να λάβει την τελική, αρνητική ή θετική απόφαση, για την αγορά τους. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά αυτής είναι το σχήμα και το μέγεθος (Martens and Baardseth, 1987; Abbott, 1999; Paulus I. & Schrevens E. 1999; Kokai et al. 2000; Jahns et al. 2001). Το χρώμα αποτελεί πάντοτε σημαντικό ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης του σταδίου ωριμότητας (ή γήρανσης) και της φρεσκάδας των νωπών φυτικών προϊόντων (Χατζής κ.α, 2005) και χρησιμοποιείται για την διαλογή πολλών προϊόντων σε εμπορική κλίμακα (Abbott, 1999).

Τέλος είναι αξιοσημείωτο ότι το χρώμα είναι ένα ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιούμενο ποιοτικό κριτήριο αξιολόγησης για όλα τα νωπά αγροτικά προϊόντα (Marti, 2003).

2.3.2 Φωτισμός και χρώμα

Η φωτεινή ακτινοβολία μπορεί να εκπέμπεται από διάφορες πηγές όπως είναι ο ήλιος, οι λάμπες πυρακτώσεως ή οι λαμπτήρες φθορισμού κ.α. Τα μήκη κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας που περιέχονται στο ορατό φάσμα αποτελούν ένα πολύ μικρό ποσοστό του εύρους του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος το οποίο

περιλαμβάνει τις ακτίνες X (X-Rays), την υπεριώδη (ultraviolet) ακτινοβολία, την υπέρυθρη (infrared) ακτινοβολία και τα ραδιοκύματα (radio waves). Το μήκος κύματος του ορατού φάσματος για το ανθρώπινο μάτι κυμαίνεται από 400 έως 700 nanometers (nm) (HunterLab, 2000).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο τύπος του φωτισμού στον οποίο εκτίθεται οποιοδήποτε αντικείμενο αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την εμφάνιση του. Αυτό σημαίνει ότι ο τύπος του φωτισμού υπό τον οποίο χαρακτηρίζεται ένα χρώμα είναι σημαντικός αφού ουσιαστικά επηρεάζει το πως αυτό θα γίνει αντιληπτό από τον παρατηρητή (Hutchings, 1994; Gunasekaran, 1999; HunterLab, 2000; Cornelius, 2001).

Για τον ακριβή προσδιορισμό του χρώματος θα πρέπει πρώτα να έχει καθοριστεί η πηγή φωτισμού. Για τον λόγο αυτό ο οργανισμός CIE (Commission Internationale de l' Eclairge, or International Commission on in Illumination) έχει καθορίσει πρότυπους τύπους φωτισμού για την αξιολόγηση του χρώματος, οι οποίοι εκπέμπουν σε προκαθορισμένα μήκη κύματος φωτεινής ακτινοβολίας. Παρακάτω αναφέρονται τα σημαντικότερα πρότυπα συστήματα φωτισμού (Minolta, 1995; HunterLab, 2000; HunterLab, 2001; CIE, 2004):

- D65 – φωτισμός κοντά στον μέσο όρο του παγκοσμίως υπάρχοντος μεσημβρινού φωτισμού.
- D50 – φωτισμός ο οποίος προσομοιάζει προς το φυσικό φωτισμό του ήλιου, κατά την ανατολή ή την δύση του.
- C – φωτισμός ο οποίος προσομοιάζει προς το μέσο ημερήσιο φυσικό φωτισμό.

2.4 Χρωματομετρία

Όπως αναφέρθηκε, το χρώμα είναι μια φυσική ιδιότητα των σωμάτων, η οποία γίνεται μεν κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, πλην όμως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί.

Η ακρίβεια μεγέθους αντίληψης της ιδιότητας αυτής εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων του παρατηρητή, αλλά και από τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης. Έτσι ένας παρατηρητής με σωστή και ακριβή όραση θα αντιλαμβάνεται κατά το ίδιο ποσοστό τυχόν αύξηση ή

μείωση της έντασης του φωτός και για τα R (red), G(green) και B (blue) πράγμα το οποίο όμως είναι σχεδόν αδύνατο.

Το αποτέλεσμα συνεπώς εντοπίζεται εκτός των άλλων και στην ικανότητα του φωτός να διεγείρει τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, ώστε να γεννηθούν οι σωστές διεγέρσεις R, G και B (Ορφανάκος, 2004).

Χρωματομετρία (colorimetry) είναι η επιστήμη που ασχολείται με τον ποσοτικό προσδιορισμό και την φυσική περιγραφή της ανθρώπινης αντίληψης του χρώματος (Ohno, 2000).

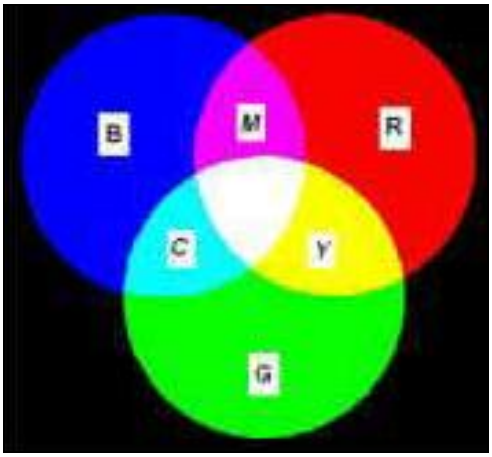
Η χρωματομετρία ως επιστήμη εμφανίστηκε το 1930 από τον CIE με τη διεξαγωγή πειραμάτων οπτικής (Hunterlab, 2000; Ohno, 2000; Schanda, 2000). Τα χρωματομετρικά συστήματα της CIE είναι τα μόνα παγκοσμίως αποδεκτά για τη μέτρηση του χρώματος με συνέπεια όλα τα διεθνή πρότυπα να είναι βασισμένα σε αυτά που ορίζονται από αυτή (Ohno, 2000).

Το χρώμα εκφράζεται από την CIE με μαθηματικές τιμές οι οποίες προκύπτουν από μαθηματικές εξισώσεις (Ohno, 2000; Cornelious, 2001). Η προσπάθεια να προσδιοριστεί επακριβώς το χρώμα ξεκίνησε στις αρχές του 19^{ου} αιώνα με τη δημιουργία *χρωματικών μοντέλων,* χώρων δηλαδή που σε κάθε χρώμα αντιστοιχούν αριθμητικές συντεταγμένες (Susstrunk, Buckley and Swen, 1999). Τελικά, περίπου το 1930, η CIE εισαγάγει το χρωματικό μοντέλο RGB με βάση την αρχή των τριών διεγέρσεων του ανθρώπινου οφθαλμού στο κόκκινο (Red) στο πράσινο (Green) και στο μπλε (Blue) (Ohno, 2000).

2.4.1 Χρωματικά μοντέλα

Το χρωματικό μοντέλο RGB

Το χρωματικό μοντέλο RGB βασίζεται στα τρία βασικά χρώματα: Κόκκινο (R), Πράσινο (G) και Μπλε (B) και στο γεγονός πως προσθέτοντας στις κατάλληλες αναλογίες τα τρία αυτά χρώματα μπορούμε να πάρουμε οποιοδήποτε άλλο. Ειδικά συνδυάζοντάς τα ανά δύο παίρνουμε τα τρία δευτερεύοντα χρώματα, Κίτρινο (Y) (Κόκκινο και Πράσινο) , Κυανούν (C) (Πράσινο και Μπλε) και Ιώδες (M) (Μπλε και Κόκκινο) όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2:



Εικόνα 2.2 Μετατροπές των βασικών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε

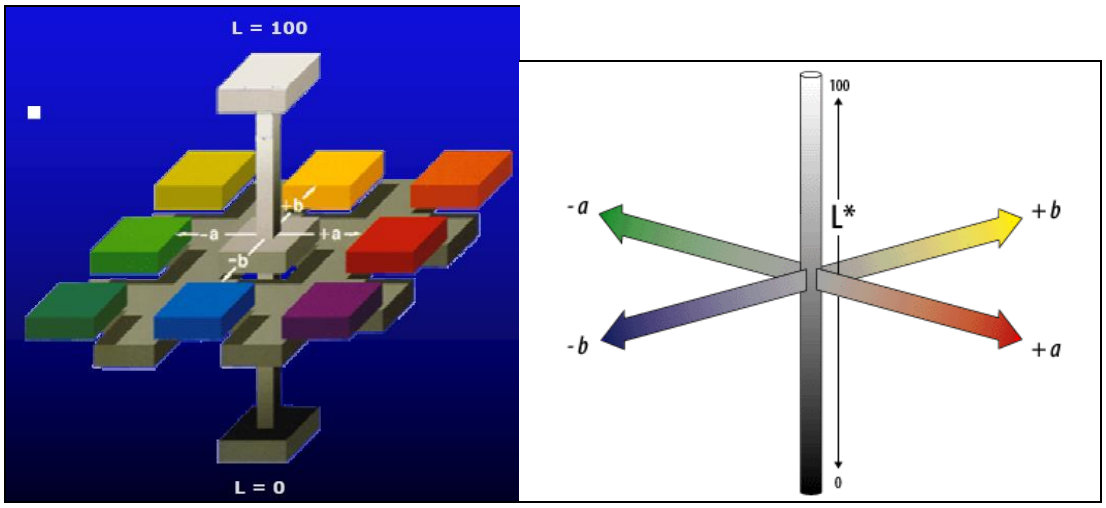
Η απόχρωση, η φωτεινότητα και ο κορεσμός ενός χρώματος στο χρωματικό μοντέλο RGB εξαρτώνται από τις τρεις συντεταγμένες. Αλλάζοντας οποιαδήποτε από αυτές αλλάζουν και τα τρία χαρακτηριστικά του χρώματος. Αυτό αποτελεί ένα σχετικό μειονέκτημα του μοντέλου ως προς την επεξεργασία απέναντι σε άλλα. Το RGB είναι όμως πιο κοντά από κάθε άλλο μοντέλο στο επίπεδο της φυσικής λειτουργίας των μέσων απεικόνισης όπως οι τηλεοράσεις και οι οθόνες των υπολογιστών. Ένα άλλο μειονέκτημα του μοντέλου είναι ότι είναι "device dependent", εξαρτάται δηλαδή από τη συσκευή απεικόνισης με αποτέλεσμα ίδιες συντεταγμένες να δίνουν διαφορετικά χρώματα σε διαφορετικές συσκευές, ή με διαφορετικές ρυθμίσεις της ίδιας συσκευής (Susstrunk, Buckley and Swen, 1999; Broadbent, 2003).

Εκτός του RGB υπάρχουν και άλλα χρωματικά μοντέλα όπως το CIEL*a*b*, το CMY(K), το HSB κ.α τα οποία χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία ψηφιακής εικόνας. Από όλα αυτά τα χρωματικά μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί θα γίνει αναλυτικότερη αναφορά μόνο στο CIEL*a*b*, λόγω της ευρείας χρήσης του στην αντικειμενική ποιοτική αξιολόγηση του χρώματος των τροφίμων (Martens and Baardseth, 1987; Hutchings, 1994; Nieto-Sandoval et al. 1998; Μητρόπουλος και Λαμπρινός 2000; Papadakis and Yam, 2000; Giese,2003; Macdougall, 2010).

Το χρωματικό μοντέλο CIELab

Το χρωματικό μοντέλο CIEL*a*b* ή L*, a*, b* παρουσιάστηκε από την CIE το 1976 (http://cie.co.at/index.php?i_ca_id=485). Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο,

οπτικά χρωματικό χώρο *(uniform color space),* ο οποίος προσομοιάζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα ή μοντέλα στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωματικών διαφορών (Abbott, 1999). Το κάθε χρώμα περιγράφεται από 3 κανάλια ή συντεταγμένες ή παράγοντες όπως και στον χρωματικό χώρο RGB. Στο CIEL*a*b* χρωματικό μοντέλο ή σύστημα οι χρωματικές συντεταγμένες ή χρωματικοί παράγοντες ονομάζονται L*, α* και b*, (γι' αυτό και η ονομασία) και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Ο παράγοντας L* *(Lightness)* αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό) ενώ οι παράγοντες a* και b* την πληροφορία χρώματος χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια. Θετικές τιμές του a* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου (Σχ. 2.4). Αρνητικές τιμές του a* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου. Αρνητικές τιμές b* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του μπλε (Abbott, 1999; Papadakis and Yam, 2000; Yam and Papadakis, 2004).



(Πηγή: HunterLab, 2001)

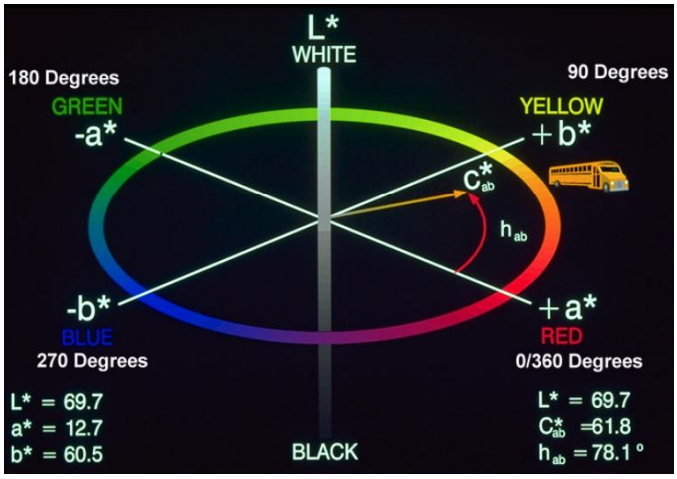
Σχήμα 2.4 L* =100 (λευκό)- L*=0 (μαύρο) Β. a* πράσινο / κόκκινο C. b* μπλε / Κίτρινο

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό αυτού του χρωματικού μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρώματος, που μας δίνει πάρα πολλές δυνατότητες. Ο παράγοντας L* δηλαδή περιγράφει την άσπρη μαύρη εκδοχή του προς εξέταση αντικειμένου με διευρυμένο συνήθως φάσμα.

Το μοντέλο CIEL*a*b* είναι ένας τεράστιος χρωματικός χώρος. Είναι υπερσύνολο και του RGB και του CMYK καθώς και όλων των άλλων χρωματικών μοντέλων. Αν φτάσουμε στα όριά του, προκύπτουν χρώματα πρωτόγνωρα ή εξωπραγματικά, έξω από τις δυνατότητες πολλών συσκευών απεικόνισης. Τέλος πολύ σημαντικό είναι ότι το χρωματικό μοντέλο CIEL*a*b* είναι 'device independent' ανεξάρτητο δηλαδή από ιδιότητες συσκευών καταγραφής ή απεικόνισης κάτι που δεν συμβαίνει με τα υπόλοιπα χρωματικά μοντέλα (Hutchings, 1994; Rose, 2002; Yam and Papadakis, 2004).

Το χρωματικό μοντέλο που περιγράφεται CIEL*a*b*, μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο CIE L*, C, h (Σχ. 1.5). Όπου:

- L* είναι η φωτεινότητα *(Lightness)*
- C (*Chroma): Χρωματική πυκνότητα:* Προσδιορίζει την συγκέντρωση δηλαδή την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος ή διαφορετικά τη σχέση μεταξύ της έντασης και της φωτεινότητας της μελετώμενης απόχρωσης (McGuire, 1992; Anon. 1995; Anon. 2001b; Ορφανάκος, 2004).
- Χροιά h *(hue angle):* Μετράται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση (Σχ. 2.5) παίρνοντας τιμές 0^o για το κόκκινο-πορφυρό, 90^o για το κίτρινο, 180^o για το πράσινο και 270^o για το μπλέ (McGuire, 1992; Minolta, 1995; HunterLab, 2001).



(Πηγή: HunterLab, 2001)

Σχήμα 2.5 Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIEL*a*b* σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων L*, C* και h

Ο παράγοντας C^* υπολογίζεται από την εξίσωση:

- $C^* = \sqrt{(\alpha^*)^2 + (b^*)^2)}$

Για τον υπολογισμό του παράγοντα h διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- $h = \tan^{-1}(\frac{b^*}{\alpha^*})$ όταν $a^*>0$ και $b^*\geq 0$
- $h=0^o$ όταν $a^*=0$ και $b^*=0$
- $h=90^o$ όταν $a^*=0$ και $b^*>0$
- $h = 180^o + \tan^{-1}(\frac{b^*}{\alpha^*})$ όταν $a^*<0$
- $h=270^o$ όταν $\alpha^*=0$ και $b^*<0$
- $h = 360^o + \tan^{-1}(\frac{b^*}{\alpha^*})$ όταν $a^*>0$ και $b^*<0$

2.5 Μέθοδοι μέτρησης του χρώματος

Τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του χρώματος είναι τα εξής:

Χρωματόμετρο (Color meter)

Με βάση την αρχή της ισοδύναμης διέγερσης των R, G και B δημιουργήθηκαν διάφορα όργανα μέτρησης των χρωμάτων, τα οποία βελτιώνονται με το χρόνο με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφορετικών και περισσότερο εξελιγμένων οργάνων μέτρησης, με αρχή τα τριχρωματικά χρωματόμετρα ή χρωματόμετρα τριπλής διέγερσης *(Tristimulus Colormeter).*

Τα νεότερα και βελτιωμένα όργανα παίρνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μήκη κύματος δίνοντας αποτελέσματα των χρωματικών παραγόντων ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο χρωματικό μοντέλο π.χ CIEL*a*b*. Με τα όργανα αυτά είναι δυνατή η μέτρηση μιας απόχρωσης άρα και των διαφόρων αποχρώσεων.

Οι αισθητήρες των χρωματομέτρων με τη βοήθεια ειδικών φίλτρων προσομοιάζουν την λειτουργία του ανθρώπινου οφθαλμού και οι μετρήσεις γίνονται με προκαθορισμένη φωτεινή πηγή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι συνθήκες αξιολόγησης του χρώματος να είναι πάντα οι ίδιες ανεξάρτητα με τις εξωτερικές συνθήκες (νύχτα ή μέρα, εσωτερικός ή εξωτερικός χώρος) (Minolta, 1995; Abbott, 1999; Giese, 2003). Η χρωματομετρική αυτή μέθοδος αξιολογεί πολύ μικρές μόνο

επιφάνειες των προϊόντων κάθε φορά, με αποτέλεσμα η αξιοπιστία της να είναι συνάρτηση της πυκνότητας των λαμβανομένων χρωματομετρικών μετρήσεων, που τελικά οδηγούν σε αδιέξοδο χρονοεργασιακό (Hutcings 1994; Χατζής κ.α, 2005).

Φασματοφωτόμετρο (Spectrophotometer)

Τα όργανα αυτά δεν απομονώνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μόνο μήκη κύματος του φάσματος του ορατού φωτός, αλλά δίνουν πληροφορίες για όλα τα μήκη κύματος του. Επιτρέπουν δε παράλληλα με μια μέτρηση μιας απόχρωσης να πάρουμε όλες τις χρωματικές παραμέτρους για περισσότερες της μιας πρότυπες πηγές φωτισμού. Τα φασματοφωτόμετρα είναι περισσότερο ακριβά και δαπανηρά όργανα από τα χρωματόμετρα (Giese, 2003; Ορφανάκος, 2004)

Η επιλογή για το πιο όργανο θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται από το προϊόν και τον τύπο της εφαρμογής (Abbott, 1999; Giese, 2003).

Σύστημα Munsell

Το σύστημα Munsell θεωρείται ως το πλέον ενδιαφέρον σύστημα διάταξης αποχρώσεων, τόσο στα αυθαίρετα όσο και στα μετρούμενα συστήματα, με αποτέλεσμα τόσο η μεθοδολογία όσο και η φιλοσοφία του να χρησιμοποιούνται από πολλά άλλα συστήματα, στην ανάπτυξη των οποίων μάλιστα γίνεται και αναφορά της αντιστοιχίας τους με αυτό.

Αρχικά το σύστημα περιελάμβανε μια μεγάλη σειρά δοκιμίων τα οποία είχαν καταταγεί ανά απόχρωση σε ακτινωτή διάσταση πυκνότητας της απόχρωσης. Στη συνέχεια και σε συνδυασμό με τη θεωρία CIE$L^*a^*b^*$ (1931) έγινε η μετατροπή του σε χρωματομετρικό σύστημα, κάτω από την ίδια αρχική φιλοσοφία διάταξης όλων των αποχρώσεων και τη συμπλήρωση των κενών που υπήρχαν (Ορφανάκος, 2004).

2.6 Ποιοτική αξιολόγηση με χρήση της όρασης μικροϋπολογιστών-Computer Vision

2.6.1 Γενικά

Η προσπάθεια αναζήτησης νέων αντικειμενικότερων μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης εμφανίστηκε από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Deshpande and Salunkhe, 2000). Παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας, μεγάλη έρευνα έχει πραγματοποιηθεί για τον τρόπο αξιοποίησης εικόνων σε ηλεκτρονική μορφή με

χρήση μικροϋπολογιστών, σε εφαρμογές νέων μη καταστροφικών (non destructive) μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης των αγροτικών προϊόντων *(Computer Vision Methods)* (Lu and Da-Wen, 2000; Brosman and Da-Wen, 2002; Zhang et al. 2014). Με τις μεθόδους αυτές, έχοντας αναπτύξει μαθηματικές βάσεις δεδομένων, με την εφαρμογή ειδικών αλγόριθμων πραγματοποιούνται μετασχηματισμοί, ώστε οι ερευνητές να μπορούν με αυτοματοποιημένες διαδικασίες να αναλύουν και να επεξεργάζονται εικόνες έτσι ώστε μέσα από αυτές να αξιολογούνται ποιοτικά τα προϊόντα (Gunasekaran, 1994).

Στις μέρες μας η έρευνα έχει προχωρήσει σε τεχνικές οι οποίες μέσω της ψηφιακής πλέον εικόνας βρίσκουν πολλές εφαρμογές σε τομείς της επιστήμης όπως είναι η διαγνωστική ιατρική, διάφοροι αυτοματισμοί στη βιομηχανία, σε συστήματα ελέγχου, σε μη επανδρωμένα οχήματα και στη ρομποτική.

Οι τεχνικές ποιοτικής αξιολόγησης αγροτικών προϊόντων, μέσω ψηφιακών εικόνων με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών στις μέρες μας, πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με επεξεργασία ψηφιακής εικόνας *(Image processing)*
- Με ανάλυση ψηφιακής εικόνας *(Image analysis)*

Ένα βιομηχανικό σύστημα ποιοτικής αξιολόγησης/ διαλογής υπολογίζει τις πληροφορίες από τις ακατέργαστες εικόνες που λαμβάνονται από ψηφιακές κάμερες σύμφωνα με την ακόλουθη σειρά των βημάτων:

1. Απόκτηση της εικόνας
2. Επεξεργασία - ανάλυση εικόνας
3. Εξαγωγή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων-αποτελεσμάτων
4. Λήψη αποφάσεων

Αν και οι άνθρωποι μπορούν να κάνουν την εργασία καλύτερα από τις μηχανές σε πολλές περιπτώσεις, γεγονός το οποίο αποδεικνύεται από το ότι στα συσκευαστήρια όσο τέλεια μηχανήματα και αν χρησιμοποιούνται για την ποιοτική κατάταξη των καρπών, πάντοτε υπάρχουν εξειδικευμένα άτομα που θα κάνουν την τελική επίβλεψη, όμως είναι πιο αργοί και κουράζονται γρήγορα. Επιπλέον είναι δύσκολο να βρεθεί το ειδικευμένο προσωπικό και να μείνει σε μια βιομηχανία ή ένα εργαστήριο. Το εξειδικευμένο προσωπικό για να μπορεί να ανταποκριθεί στα

καθήκοντα του θα πρέπει να υφίσταται συνεχή εκπαίδευση. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που η επιθεώρηση είναι κουραστική ή δύσκολη, ακόμη και για τους καλύτερους εμπειρογνώμονες.

2.6.2 Τεχνικές με λήψη ψηφιακών εικόνων

Οι αυξημένες απαιτήσεις για αντικειμενικότητα, αποτελεσματικότητα και ταχύτητα στην ποιοτική αξιολόγηση, δημιούργησε την ανάγκη της χρήσης κάμερας και ηλεκτρονικών υπολογιστών καθιστώντας πολύ σημαντικό μέσο την ανάλυση της ψηφιακής εικόνας (Zhang et al. 2014) με την οποία εξάγονται πολύτιμες πληροφορίες για το ποιοτικό επίπεδο των προϊόντων (Glasbey and Horgan,1995; Giese, 2003; Du and Sun, 2004) αφού έτσι δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης συγχρόνως των βασικών εξωτερικών χαρακτηριστικών των προϊόντων τα οποία είναι: το χρώμα, το μέγεθος, το σχήμα, η επιφανειακή υφή καθώς και τυχόν αλλοιώσεις (Du and Sun, 2004).

Η ψηφιακή κάμερα δεν χρησιμοποιείται μόνον στη διαλογή για ποιοτική αξιολόγηση αλλά και εργαστηριακά για προσδιορισμό φυσικών και άλλων χαρακτηριστικών (Du and Sun, 2004). Ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις βιβλιογραφικές αναφορές της χρήσης τεχνικών ποιοτικής αξιολόγησης με χρήση ανάλυσης ψηφιακών εικόνων:

Μήλα

Η μελέτη συστημάτων διαλογής *(shorting)* μήλων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων έχει προσελκύσει πολύ το ενδιαφέρον και μπορεί να θεωρηθεί ότι απεικονίζει την πρόοδο της τεχνολογίας στη διαλογή φρούτων (Leemans et al. 1998; Li et al. 2002; Unay et al. 2004; Urosevic et al. 2005). Επιπλέον αναφορές υπάρχουν για ανάλυση φασματικών και υπερφασματικών απεικόνισεων (Lunadei et al. 2011; Mendoza et al. 2011; Huang et al. 2012)

Μαρούλι

Ποιοτική αξιολόγηση με κριτήριο το χρώμα (Χατζής κ.α. 2005; Pace et al. 2014)

Τομάτα

Ποιοτική αξιολόγηση (Laykin et al. 2002, Velioğlu et al. 2011)

Μανιτάρια

Προσδιορισμός βλαβών και καστάνωσης (Lu and Da-Wen, 2000; Aguirre et al. 2009; Weijn et al. 2009)

Κεράσια

Κυρίως για τον προσδιορισμό του σχήματος (Beyer, 2002)

Σιτάρι

Διαλογή (Utku and Koksel 1998; Wan et al. 2002) και ποιοτικός έλεγχος με ανάλυση υπερφασματικών απεικονίσεων (Shahin et al. 2013)

Πατάτα

Ποιοτική αξιολόγηση (Noordam et al. 2000; Gökmen, 2007; Mendoza, 2007).

Αξιοσημείωτο είναι η έλλειψη βιβλιογραφικών αναφορών συγκριτικής μελέτης μεθόδου ανάλυσης ψηφιακών εικόνων με χρωματόμετρο.

Συλλογή φρούτων

Ο αυτόματος προσδιορισμός της θέσης φρούτων κατά τη συγκομιδή σε συνδυασμό με τις ικανότητες των ρομπότ βελτιώνει τις ικανότητες μηχανικής συγκομιδής (Κασαπάκης, 2003).

Συστήματα αξιολόγησης με χρήση ανάλυσης ή επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων έχουν χρησιμοποιηθεί για τις εξής παραμέτρους: (Gunasaceran, 1999):

- Ακριβή μέτρηση διαστάσεων
- Εξακρίβωση παρουσίας επιθυμητών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων
- Ανίχνευση ελαττωμάτων
- Αναγνώριση: καθορισμός της ταυτότητας ενός αντικειμένου
- Εντοπισμός: καθορισμός της θέσης ενός προϊόντος

Τα πλεονεκτήματα των μεθόδων ποιοτικής αξιολόγησης και ελέγχου φρούτων και λαχανικών με ανάλυση ψηφιακής εικόνας και με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι τα εξής (Jayas et al. 2000; Chatzis et al. 2013):

- Η εξασφάλιση δεδομένων περιγραφής με ακρίβεια
- Η ταχύτητα
- Η αντικειμενικότητα
- Η πιστότητα των αποτελεσμάτων
- Το χαμηλό λειτουργικό κόστος

- Η αυτοματοποίηση πολλών διαδικασιών και η δυνατότητα άμεσης καταγραφής επιτρέποντας την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων.

Σε μια εποχή όπου το κόστος εργασίας είναι υψηλό, η οικονομική αιτιολόγηση για την εγκατάσταση συστημάτων Οπτικής Επιθεώρησης (Automatic Visual Inspection-AVI), όπως αναφέρονται, προκύπτει από την αντικατάσταση των επιθεωρητών (Κασαπάκης, 2003).

Εκτός των παραπάνω οι νέες αυτές διατάξεις σε σχέση με τις παλαιότερες μεθόδους χρωματομέτρησης με χρωματόμετρα παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δίνουν τη δυνατότητα αξιολόγησης του συνόλου της επιφάνειας των προϊόντων με αποτέλεσμα το μικρό χρονοεργασιακό κόστος (Giese, 2003; Chatzis et al. 2013)
- Οι μετρήσεις σε προϊόντα που παρουσιάζουν χρωματική και επιφανειακή ανομοιομορφία είναι περισσότερο αξιόπιστες.
- Λόγω του ότι δεν υπάρχει επαφή με τα υπό εξέταση προϊόντα, η προκαλούμενη σε αυτά φθορά είναι μηδενική (Giese, 2003).

Τα μειονεκτήματα των μεθόδων αυτών είναι κυρίως η απαίτηση κατάλληλου τεχνητού φωτισμού και η δυσκολία ταυτοποίησης αντικειμένων που δεν παρουσιάζουν ομοιογένεια (Χατζής κ.α, 2005)

Με δεδομένα τα πλεονεκτήματα τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω οι νέες μέθοδοι ποιοτικής αξιολόγησης, τείνουν να αντικαταστήσουν τις παλαιότερες οι οποίες βασίζονταν στην ανθρώπινη κρίση (Lu and Da-Wen, 2000; Studman, 2001; Brosman and Da-Wen, 2002).

Απαιτήσεις φωτισμού

Για την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων από την ανάλυση ψηφιακών εικόνων για οποιοδήποτε σκοπό, μεγάλη σημασία έχουν η απόδοση της ψηφιακής κάμερας καθώς και το σύστημα φωτισμού (βλ. παρ. 2.3.2). Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα φωτισμού μπορεί να βοηθήσει και να βελτιώσει την ακρίβεια και την επιτυχία της ανάλυσης της εικόνας με την ενίσχυση της αντίθεσης της εικόνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η τεχνική μέτρησης χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων φυτικών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν.

Ο αρχικός σχεδιασμός και οι βελτιώσεις της διάταξης έγιναν για τους παρακάτω λόγους:

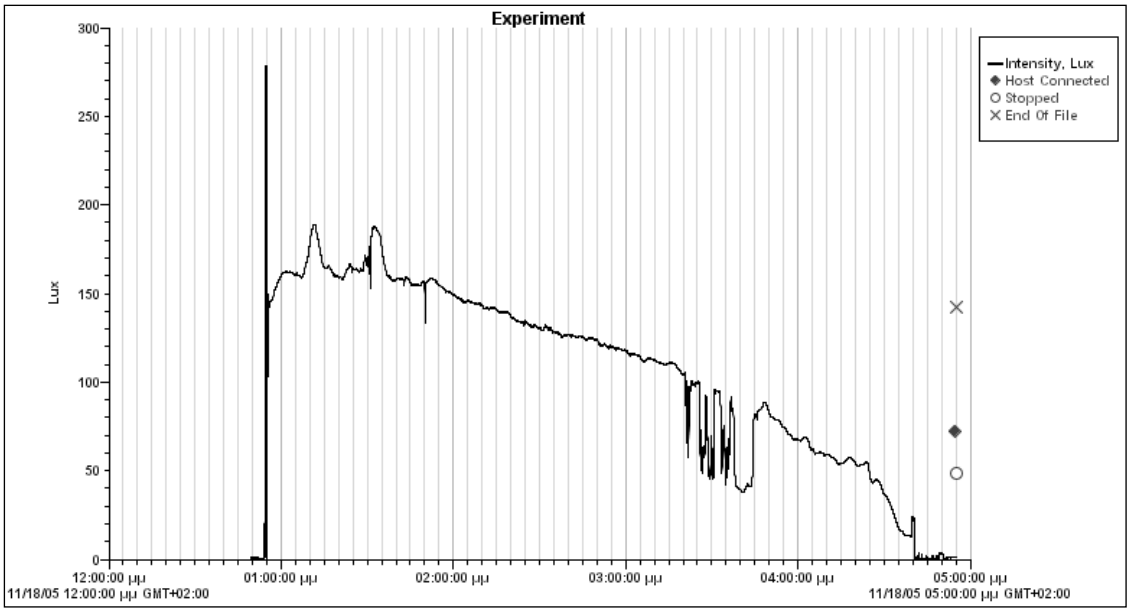
- Βελτιστοποίηση αντικειμενικότητας μέτρησης μέσα από την επίτευξη αύξησης της επιφάνειας του δείγματος στην οποία μετράται το χρώμα σε σχέση με σχέση με την κλασσική χρωματομετρική μέθοδο.
- Βελτίωση συνθηκών μέτρησης χρώματος (μείωση συστηματικών σφαλμάτων), λόγω σταθεροποίησης των συνθηκών φωτισμού.
- Μείωση τυχαίων σφαλμάτων, λόγω σταθεροποίησης των συνθηκών λήψης εικόνων.
- Βελτίωση της ταχύτητας εξαγωγής αποτελεσμάτων μέτρησης χρώματος.

2. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μαρουλιού

Τα φύλλα μαρουλιού, επιλέχθηκαν εξαιτίας της διακύμανση που παρουσιάζουν στην απόχρωση τους αλλά και λόγω της μορφολογίας των φύλλων η οποία δυσκολεύει την μέτρηση χρώματος με το χρωματόμετρο στις περιοχές κοντά στις νευρώσεις αυτών.

2.1 1η πειραματική σειρά-Μετρήσεις σε μη ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού

Οι ψηφιακές εικόνες ελήφθησαν από ψηφιακή φωτογραφική κάμερα Konica Minolta Dimage Z2, σε μη ελεγχόμενες συνθήκες φωτισμού (διάχυτος φυσικός φωτισμός). Όπως ήταν αναμενόμενο η ένταση του φωτισμού δεν ήταν σταθερή κατά την διάρκεια λήψης των ψηφιακών εικόνων. Η μεταβολή αυτή (μείωση) της έντασης φωτισμού μετρήθηκε με ειδικό καταγραφικό έντασης φωτισμού HOBOware U12, κατά την διάρκεια φωτογράφησης. Η μεταβολή αυτή παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1.



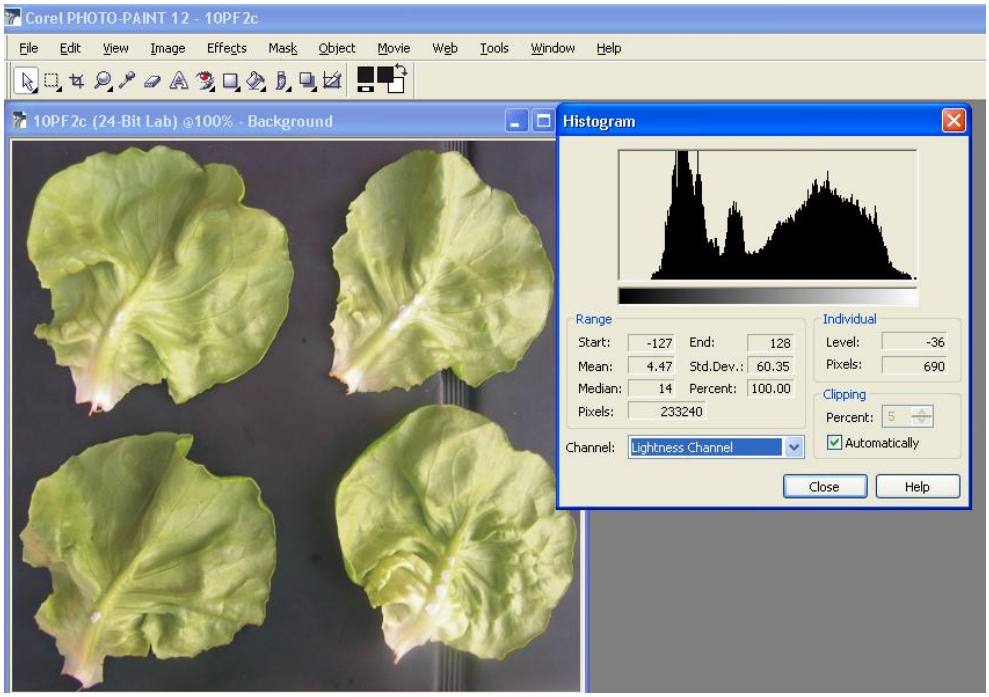
Εικόνα 2.1 Η μεταβολή της έντασης του φυσικού διάχυτου φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπως αυτή καταγράφηκε (ώρες καταγραφής) από το καταγραφικό έντασης φωτισμού HOBOware U12

Η μέθοδος μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων περιγράφεται στη συνέχεια και παρουσιάζεται διαγραμματικά στην εικόνα 2.2.

Σε αυτή την πειραματική σειρά δεν έγινε καμιά πρόσθετη ρύθμιση στην λειτουργία της κάμερας (ταχύτητα κλείστρου και φωτεινότητα φακού). Το επίπεδο ποιότητας ρυθμίστηκε σε High Quality με διαστάσεις αυτής 640x480 pixel

Αρχικά, έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των χρωματικών παραμέτρων με πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων. Γνωρίζοντας ότι τα εξελιγμένα και πλέον γνωστά προγράμματα επεξεργασίας εικόνων έχουν παρόμοιες δυνατότητες, χρησιμοποιήθηκε το Corel Draw θέλοντας να επιτύχουμε τελικά την ποιοτική αξιολόγηση των δειγμάτων που απεικόνιζαν οι ψηφιακές εικόνες, κάνοντας όμως χρήση του χρωματικού μοντέλου CIEL*a*b*.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης με το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας Corel Draw (Εικ.2.2) φαίνεται ότι η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τα παρακάτω μειονεκτήματα:



Εικόνα. 2.2 Ανάλυση ψηφιακής εικόνας με πρόγραμμα επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων (Corel Draw)

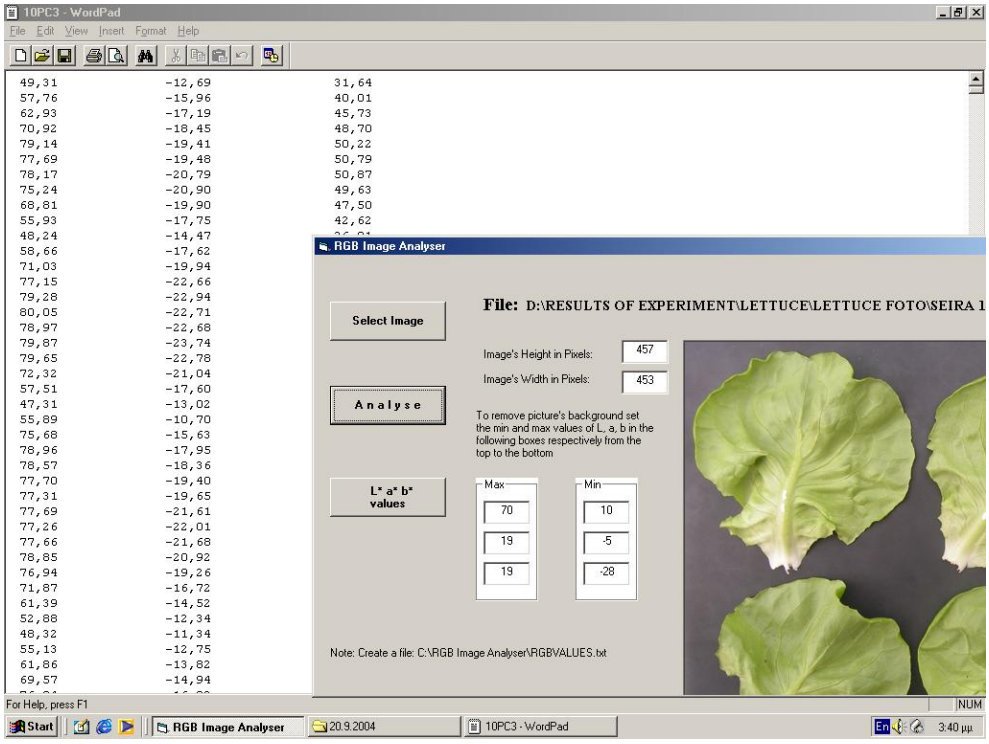
1. Αξιολογείται το σύνολο της εικόνας μαζί όμως με το φόντο και όχι το τμήμα αυτής το οποίο αναφέρεται και αντιστοιχεί στα προς αξιολόγηση δείγματα.
2. Σε περίπτωση αποκοπής, απεικόνισης και επεξεργασίας συγκεκριμένων τμημάτων των δειγμάτων με την βοήθεια του σχετικού ειδικού εργαλείου του προγράμματος, αφ΄ενός μεν επηρεάζεται η ποιότητα της εικόνας (Clelland and Eismann, 2001), αφ΄ετέρου δε είναι αδύνατη η ύπαρξη επαναληψιμότητας, αφού δεν είναι δυνατό να αποκόπτεται κάθε φορά το ίδιο ακριβώς τμήμα του εξεταζόμενου δείγματος.
3. Η επεξεργασία με τη συγκεκριμένη μέθοδο είναι χρονοβόρα και δεν μπορεί δώσει την δυνατότητα ποσοτικής αξιολόγησης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας στατιστικής επεξεργασίας και συμπερασματολογίας.

Επιπλέον των παραπάνω, αιτία *για την* απαίτηση σταθερών συνθηκών φωτισμού στη λήψη εικόνων, αποτέλεσε η παρατήρηση ότι ενώ υπήρξε ισχυρή έως πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση με τον χρόνο συντήρηση στις μεταβολές των παραμέτρων h_{CHM} & ΔE^*_{CHM}, το ίδιο δεν διαπιστώθηκε και για την περίπτωση των $h_{IA.Cm}$ & $\Delta E^*_{IA.Cm}$. Στα αποτελέσματα της τεχνικής IA.Cm ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις (βλ. Κεφ. 3, Παρ. 3.1.1).

Λόγω των παραπάνω διαπιστώσεων σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ειδικός κλωβός λήψης εικόνων σε σταθερές συνθήκες φωτισμού ενώ για την ανάλυση των εικόνων αναπτύχθηκε ειδικό λογισμικό ανάλυσης.

2.2 Το νέο λογισμικό ψηφιακής ανάλυσης

Το λογισμικό αυτό επιτυγχάνει πλήρη χρωματική ανάλυση των μικροσκοπικών τετραγωνιδίων *(picture elements ή pixels)* των ψηφιακών εικόνων (McLelland and Eismann, 2001) εξάγοντας για κάθε ένα απ΄αυτά τους αντίστοιχους χρωματικούς παράγοντες L^*, a^*, b^*. Η ανάλυση πραγματοποιείται με πρότυπους μαθηματικούς μετασχηματισμούς της διεθνούς επιτροπής φωτισμού CIE (Minolta. 1995; Hunter Lab 2000; CIE, 2004) ώστε τα αποτελέσματα να προσαρμόζονται στο μοντέλο CIE$L^*a^*b^*$ σε γλώσσα προγραμματισμού visual basic. Έχοντας από την αρχή καθορίσει τους χρωματικούς παράγοντες του φόντου *(background)* της εικόνας το πρόγραμμα διαχωρίζει αυτόματα όλα τα pixels με τα χαρακτηριστικά του φόντου και εξάγει σε txt αρχείο τα τετραγωνίδια (pixels) που αντιστοιχούν στους χρωματικούς παράγοντες L^*, a^* και b^* μόνο των προς αξιολόγηση δειγμάτων (Εικ. 2.3).



Εικόνα 2.3 Το νέο λογισμικό ανάλυσης ψηφιακής εικόνας με τα αντίστοιχα δεδομένα των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* μετά την ανάλυση ψηφιακής εικόνας

Το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων Corel Draw χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον προσδιορισμό των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* του φόντου (*background)* έτσι ώστε μετά την ανάλυση να έχουμε τους χρωματικούς παράγοντες L^*, a^* και b^* μόνο των δειγμάτων του μαρουλιού.

Στην 1η πειραματική σειρά η επιλογή του μαύρου χρώματος ως φόντου έγινε υποκειμενικά.

Μετά από ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην συνέχεια, διαπιστώθηκε ότι τα διαστήματα των τιμών L^*, a^* και b^* φόντου και δειγμάτων μαρουλιού ήταν σε διαστήματα στα οποία υπήρχε πιθανότητα αλληλοεπικάλυψης, έστω και σε πολύ μικρό ποσοστό (Πιν. 2.1).

Πίνακας 2.1 Διαστήματα τιμών L^*, a^* και b^* φόντου (*background)* και δειγμάτων 1ης πειραματικής σειράς

Φόντο *background*	*Min*	*max*	**Δείγματα μαρουλιού**	*min*	*max*
L^*	6	48	**L^***	45	90
a^*	1	19	**a^***	-17	2
b^*	-28	17	**b^***	18	53

Η αξιολόγηση της μεθόδου έγινε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα αυτής με τα αποτελέσματα από την κλασσική μέθοδο χρωματομέτρησης (Χατζής κ.α 2005).

2.3 Σχεδιασμός και κατασκευή κλωβού λήψης ψηφιακών εικόνων

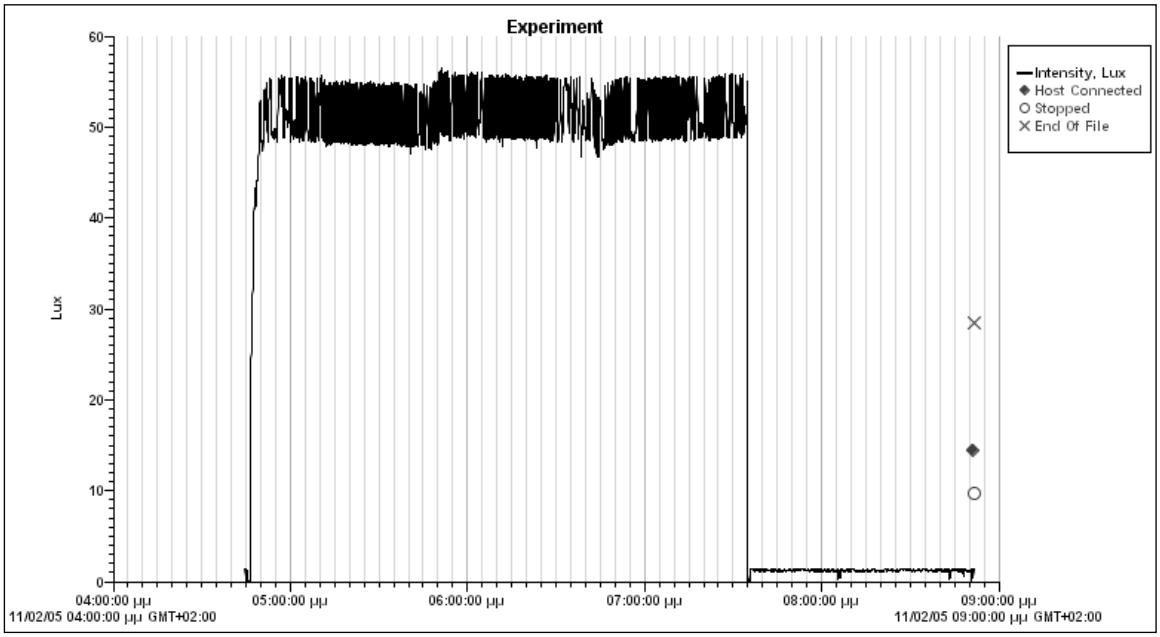
Στην δεύτερη πειραματική σειρά δοκιμών στο μαρούλι, έχοντας υπόψη τα αποτελέσματα της πρώτης σειράς, επιδιώχτηκε να επιτευχθεί φωτισμός συνεχούς εκπομπής και να αποφευχθεί τόσο η επίδραση της μεταβολής της έντασης του φυσικού φωτισμού όσο και η επίδραση της απομάκρυνσης των δειγμάτων από το εργαστήριο. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε κατασκευή ειδικού φωτογραφικού κλωβού (Εικ. 2.4), (Χατζής, Ξανθόπουλος και Λαμπρινός, 2009).

Εικόνα 2.4 Ο πειραματικός φωτογραφικός κλωβός

Ο φωτογραφικός κλωβός (Εικ. 2.4) αποτελείται από μεταλλικό πλαίσιο (1) διαστάσεων (73cm x 62cm x 60cm) του οποίου τα πλευρικά τοιχώματα είναι κλειστά από αδιαφανές χάρτινο υλικό για καλύτερη διάχυση και ομογενοποίηση του φωτισμού. Ο φωτογραφικός κλωβός περιλαμβάνει (Εικ.2.6):

- ✓ Τέσσερις λαμπτήρες φθορισμού OSRAM L18W/965 1000 lm (1α, 1β, 1γ, 1δ) συνεχούς μήκους κύματος ακτινοβολίας, τοποθετημένους σε ύψος 37cm επάνω από την βάση τοποθέτησης των δειγμάτων (κάτω οριζόντια επιφάνεια) στην οποία η ένταση του φωτισμού κυμαίνεται από 50 έως 54 Lux.
- ✓ Ψηφιακή κάμερα Konica Minolta Dimage Z6 (2) λήψης εικόνων (Clelland and Eismann, 2001)
  - Τοποθετήθηκε σε σταθερή βάση ύψους 46cm επάνω από το γεωμετρικό κέντρο της κάτω οριζόντιας επιφάνειας προσαρμοσμένη σε ειδική βάση της άνω οριζόντιας επιφάνειας).
- ✓ Το φόντο (χαρτί 100gr διαστάσεων 50cm x 50cm) (3).

Ο φωτισμός από τους τέσσερις λαμπτήρες φθορισμού OSRAM L18W/965 1000 lm, εξασφάλισε συνεχή μήκος κύματος ακτινοβολίας. Η ένταση του σταθεροποιημένου πλέον φωτισμού καταγράφτηκε (Εικ. 2.5) με το ειδικό καταγραφικό HOBOware U12.



Εικόνα 2.5 Η ένταση του τεχνητού φωτισμού (lux), όπως αυτή καταγράφτηκε από το ειδικό καταγραφικό HOBOware U12

Μετά από την λήψη, των ψηφιακών φωτογραφιών από τα δείγματα, αυτές μεταφέρονται ενσύρματα (4) μέσω θύρας USB σε υπολογιστή (5) στον οποίο πραγματοποιείται η ανάλυση τους με το ειδικό λογισμικό που αναφέρθηκε προηγουμένως. Από την ανάλυση εξάγονται οι χρωματικές παράμετροι των pixel των εικόνων των υπό αξιολόγηση δειγμάτων, κάνοντας χρήση του ευρέως χρησιμοποιούμενου στην ποιοτική αξιολόγηση τροφίμων χρωματικού μοντέλου CIEL*a*b*. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η περαιτέρω στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

Η κάμερα (2), η οποία χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα, είναι της εταιρείας Konica Minolta (μοντέλο Dimage Z2) με προεπιλεγμένες ρυθμίσεις σε ότι αφορά τον χρόνο έκθεσης (ταχύτητα κλείστρου) σε 1/100 s, την φωτεινότητα του φακού f.5, το υψηλότερο επίπεδο ποιότητας εικόνας (High Quality) με διαστάσεις αυτής 640x480 pixels. Η οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση ρυθμίστηκε σε 72dpi και η λήψη πραγματοποιήθηκε με μηδενική εστίαση (zoom) χωρίς τη χρήση φλας. Οι ρυθμίσεις

επιλέχθηκαν μετά από πολλαπλές δοκιμές με σκοπό την έλλειψη αλλοιώσεων. Η λήψη των εικόνων πραγματοποιήθηκε από ύψος 37cm. Η αρχική απεικόνιση του χρώματος των λαμβανομένων ψηφιακών εικόνων βασίζεται στο χρωματικό μοντέλο sRGB.

Συνοψίζοντας, η διάταξη προσδιορισμού των χρωματικών παραμέτρων L^*, a^* και b^* περιγράφεται από τις εξής φάσεις (Εικ. 2.6):

Φάση Ι: Ενεργοποίηση των λαμπτήρων φωτισμού του φωτογραφικού κλωβού (1α, 1β, 1γ, 1δ).

Φάση ΙΙ: Μετά από αναμονή περίπου πέντε λεπτών (για σταθεροποίηση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας) τα δείγματα τοποθετούνται επάνω στο φόντο (3) βάσης το οποίο έχει απολύτως διαφορετικό χρώμα (λευκό) από τα φυτικά όργανα (τεμαχισμένα και ολόκληρα φύλλα μαρουλιού) τα οποία φωτογραφίζονται στο εσωτερικό του κλωβού. Το φόντο επιλέχτηκε κατόπιν δοκιμών αρχικής φωτογράφισης των δειγμάτων και προσδιορισμού του χρώματος αυτών.

Φάση ΙΙΙ: Λαμβάνονται οι ψηφιακές εικόνες από την κάμερα (2) με τις ρυθμίσεις που έχουν προαναφερθεί.

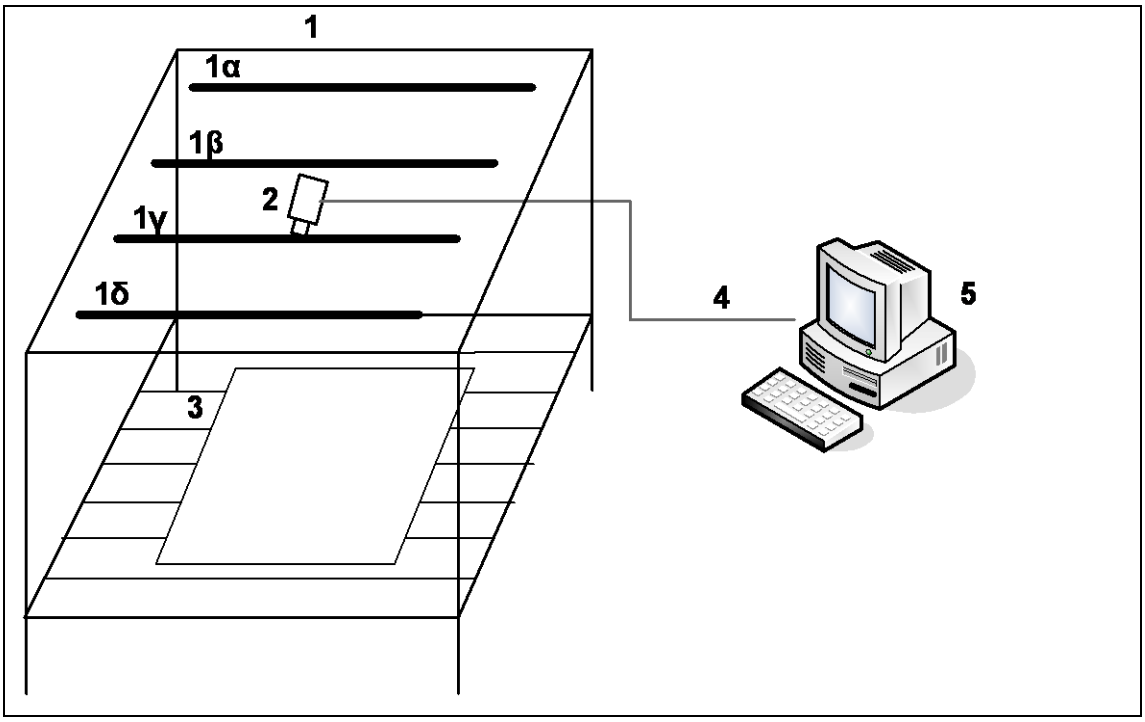
Φάση ΙV: Οι ψηφιακές φωτογραφίες μεταφέρονται ενσύρματα (4) μέσω της θύρας USB σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (5) όπου και αναλύονται με το ειδικό λογισμικό του οποίου η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη διαφοροποίηση και διαχωρισμό των χρωματομετρικών παραμέτρων φόντου και δειγμάτων, ώστε τελικά μετά την ανάλυση να προκύπτουν μόνο οι χρωματομετρικές παράμετροι του τμήματος της φωτογραφίας που αποτυπώνει το υπό εξέταση δείγμα του φυτικού οργάνου.

Με την παραπάνω μέθοδο μετρήθηκε το χρώμα, περίπου στο 100% της επιφάνειας των δειγμάτων μαρουλιού, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό με το χρωματόμετρο.

Η συσκευή είναι χαμηλού κόστους, δίνει την δυνατότητα μεταφοράς (Χατζής, Μανωλοπούλου και Αραβαντινός, 2012) στη περίπτωση λειτουργίας με φορητό υπολογιστή, είναι μικρού βάρους και έχει δυνατότητα αξιόπιστης μέτρησης μεγάλου αριθμού δειγμάτων σε μικρό χρονικό διάστημα. Επιπλέον συμβάλλει στη

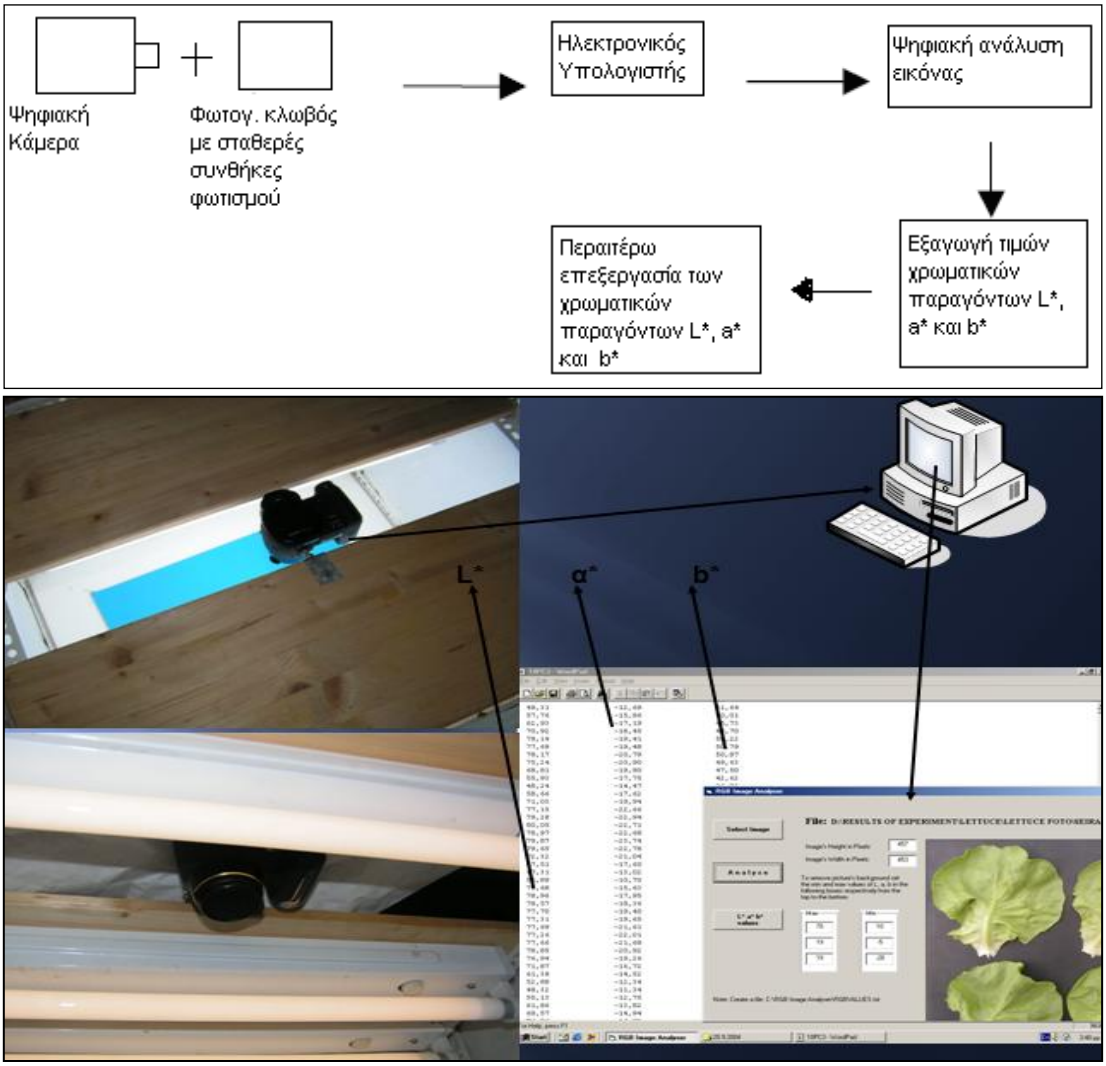
μικρότερη υποβάθμιση των δειγμάτων αφού λειτουργεί εντός του εργαστηρίου με αποτέλεσμα να μην μεταφέρονται τα δείγματα εκτός αυτού.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η σχέση του χρόνου εξαγωγής των αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τη κλασσική μέθοδο χρωματομετρίας με χρωματόμετρο άγγιξε το 1 προς 25 λόγω έλλειψης μηχανογραφικής ψηφιοποίησης των δεδομένων (Χατζής, Ξανθόπουλος και Λαμπρινός, 2009).



Εικόνα 2.6 Σχηματική παρουσίαση διάταξης και μεθόδου μέτρησης χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων για την εξαγωγή των χρωματικών παραγόντων L^* a^* και b^*, πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό το οποίο ήδη αναπτύχθηκε και για τα πειράματα της πρώτης πειραματικής σειράς. Χρησιμοποιήθηκε επίσης και το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων COREL DRAW για τον προσδιορισμό των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* του background. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* παρουσιάζεται σχηματικά στην εικόνα 2.7.



Εικόνα 2.7 Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας εξαγωγής των αριθμητικών τιμών L^*, a^* και b^* με την τεχνική IA.Cm.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στα πειράματα της 2ης πειραματικής σειράς χρησιμοποιήθηκε λευκού χρώματος υλικό για φόντο, με τιμές χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* τέτοιες ώστε να αποφευχθεί κάθε πιθανότητα αλληλοεπικαλύψεως με τους αντίστοιχους χρωματικούς παράγοντες των δειγμάτων μαρουλιού, όπως συνέβη στα πειράματα της 1ης πειραματικής σειράς (Πιν. 2.2).

Το χρώμα επιλέχθηκε μετά από πολλαπλές μετρήσεις με το χρωματόμετρο σε όλη την επιφάνεια του υλικού με παράλληλη λήψη εικόνων προς ανάλυση από το λογισμικό.

Πίνακας 2.2 Διαστήματα τιμών L^*, α^* και b^* φόντου (*background)* και δειγμάτων 2ης πειραματικής σειράς

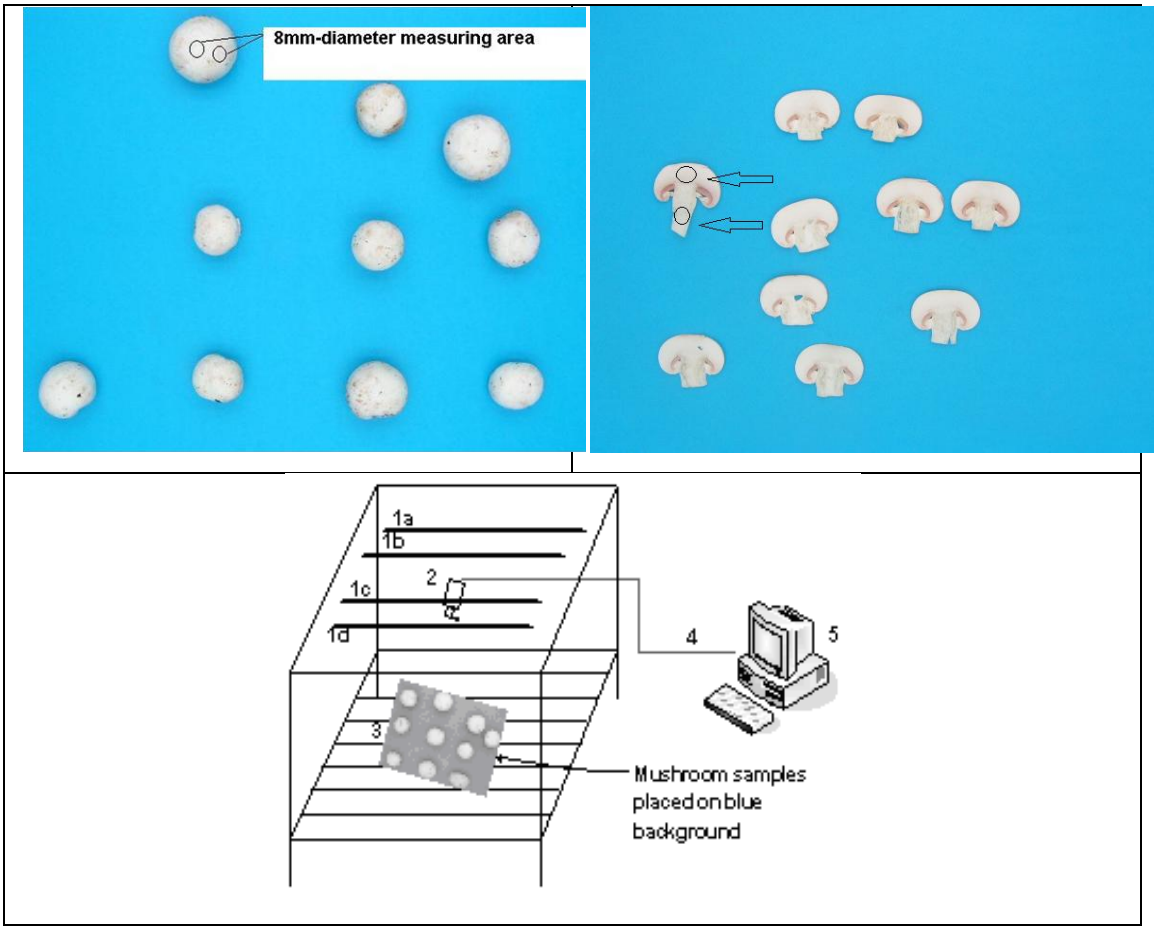
Φόντο *Background*	*Min*	*max*	**Δείγματα μαρουλιού**	*min*	*max*
L^*	93	99	**L^***	45	90
a^*	-3	2	**α^***	-16	1
b^*	-3	3	**b^***	16	50

Χατζής κ.α. 2013

3. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος ολόκληρου και τεμαχισμένου μανιταριού

Στις πειραματικές σειρές των μανιταριών χρησιμοποιήθηκε η διάταξη που περιγράφεται στις παραγράφους 2.1.3 & 2.1.4 χωρίς τροποποιήσεις.

Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζονται εικόνες δειγμάτων σε ολόκληρο και και σε τεμαχισμένο μανιτάρι στα οποία έγινε λήψη προς ανάλυση και μέτρηση του χρώματος με την τεχνική IA.Cm. Στη συνέχεια το χρώμα εκτιμήθηκε με χρωματόμετρο.



Εικόνα 3.1 Σχηματική παρουσίαση μετρήσεων με το χρωματόμετρο

Η λήψη δύο μετρήσεων ανά δείγμα (σε κάθε μέτρηση μετράται το χρώμα 50,24 mm^2 επιφάνειας δείγματος), (Minolta, 1995) στόχευσε στο να μετρηθεί το χρώμα σε κατά το δυνατό μεγαλύτερη επιφάνεια, χωρίς αλληλεπικαλύψεις.

Στην παραπάνω εικόνα είναι εμφανής η ικανότητα της τεχνικής IA.Cm μέτρησης χρώματος σε επιφάνεια δείγματος σημαντικά μεγαλύτερου από την αντίστοιχη επιφάνεια μέτρησης χρώματος με το χρωματόμετρο.

4. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος τομάτας

Στην περίπτωση των πειραμάτων μέτρησης του χρώματος σε συντηρούμενη τομάτα χρησιμοποιήθηκε η διάταξη ανάλυσης ψηφιακών εικόνων όπως και στην προηγούμενη περίπτωση χωρίς τροποποίηση.

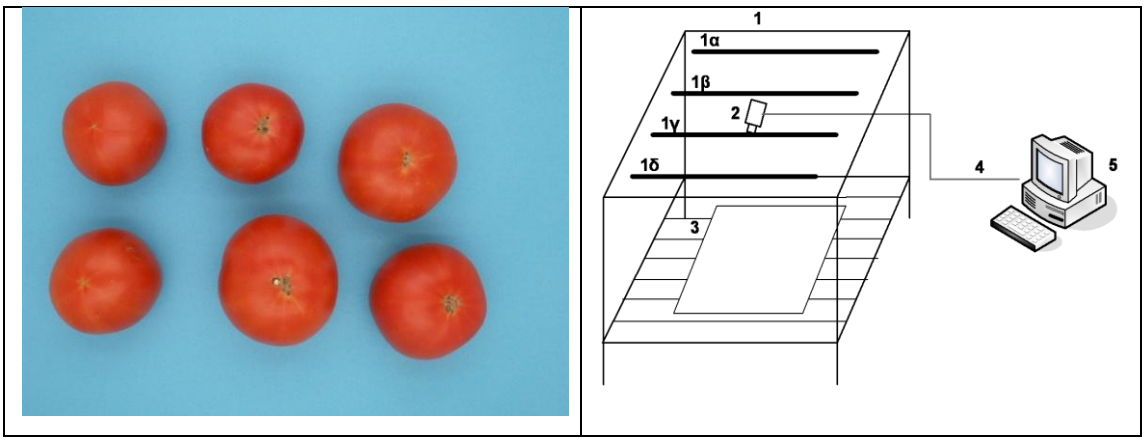
Η επιλογή του φόντου, πραγματοποιήθηκε μετά από έξι συγκριτικές δοκιμές. Από τις δοκιμές προέκυψε ότι κατάλληλο χαρτί ήταν αυτό των 100gr διαστάσεων 50cm x 50cm μπλε χρώματος με χρωματικές παραμέτρους:

$63 \leq L \leq 90$

$-24 \leq a \leq -3,0$

$-30 \leq b \leq 0,0$

Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζονται δείγματα τομάτας εντός του φωτογραφικού κλωβού κατά διάρκεια λήψης εικόνων.



Εικόνα 4.1 Ψηφιακή εικόνα δειγμάτων τομάτας

5. Η τεχνική ανάλυσης των ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μήλου με ελάχιστη επεξεργασία

Στις πειραματικές σειρές ποιοτικού ελέγχου μήλων η διάταξη λήψης και ανάλυσης εικόνων αναβαθμίστηκε με τους κάτωθι σκοπούς:

1. Βελτιστοποίηση των συνθηκών φωτισμού λήψης εικόνων.
2. Βελτίωση της ταχύτητας ανάλυσης των εικόνων και εξαγωγής αποτελεσμάτων.
3. Ύπαρξη δυνατότητας φορητότητας συστήματος (Χατζής κ.α 2010)
4. Ύπαρξη δυνατότητας επιλογής κατηγορίας φωτισμού και γωνίας λήψης εικόνων (Χατζής κ.α 2009).

Η μέθοδος μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων παρουσιάζεται στην εικόνα 5.1. Η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει:

1. Φωτογραφικό κλωβό-στούντιο *(Colour Viewer)* Graphic Lite GLE PDV-3eTR με λαμπτήρες πρότυπου συστήματος φωτισμού D65 [1] (GTI Graphic Technology, 2008). Το πρότυπο σύστημα φωτισμού D65 επιλέχθηκε με βάση το πρότυπο ISO 10526 (ISO/CIE 10526:2007) το οποίο αποτελεί ένα από τα συνιστώμενα πρότυπα συστήματα φωτισμού χρωματομετρίας.
2. Ψηφιακή κάμερα *Konica Minolta Dimage Z6* [2] με προεπιλεγμένες ρυθμίσεις σε ότι αφορά στον χρόνο έκθεσης (ταχύτητα κλείστρου) σε 1/15 sec, στην φωτεινότητα του φακού f.5 και στο υψηλότερο επίπεδο ποιότητας εικόνας (High Quality) με διαστάσεις αυτής 640x480 pixel (Clelland and Eismann, 2001). Η οριζόντια και κατακόρυφη ανάλυση ήταν 72dpi και η λήψη πραγματοποιήθηκε με μηδενική εστίαση (zoom) χωρίς τη χρήση φλας (Chatzis et al. 2009). Η αρχική απεικόνιση του χρώματος των λαμβανομένων ψηφιακών εικόνων βασίζεται στο χρωματικό μοντέλο sRGB (Konica Minolta, 2005) ενώ η γωνία λήψης είναι η (Standard Observer) 10^{o} με την υποστήριξη ειδικού τρίποδα.
3. Φόντο μπλε χρώματος [3] (χαρτί 100gr διαστάσεων 50cm x 50cm) με χρωματικές παραμέτρους τελείως διαφορετικές από τα προς αξιολόγηση δείγματα τα οποία τοποθετούνταν πάνω σε αυτό πριν την φωτογράφισή τους. Οι χρωματικοί παράμετροι του φόντου προσδιορίστηκαν με το πρόγραμμα CorelDRAW Graphics Suite X4 μετά από φωτογράφιση του στο

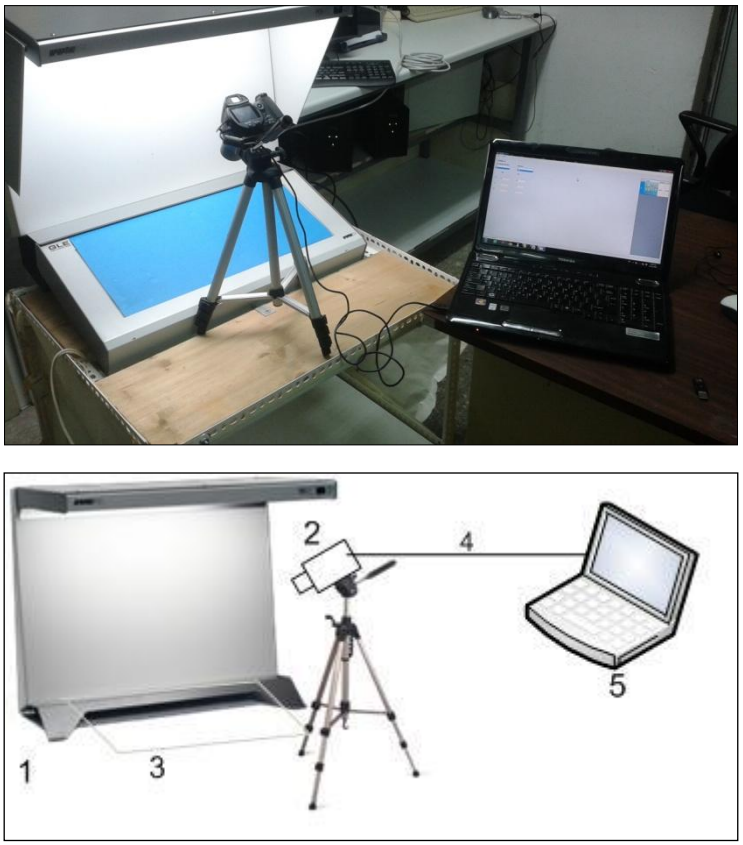
στούντιο λήψης. Οι χρωματικοί παράγοντες της μπλε απόχρωσης φόντου οι οποίοι προσδιορίστηκαν είναι:

$63 \leq L^{*} \leq 90$

$-24 \leq a^{*} \leq -3,0$

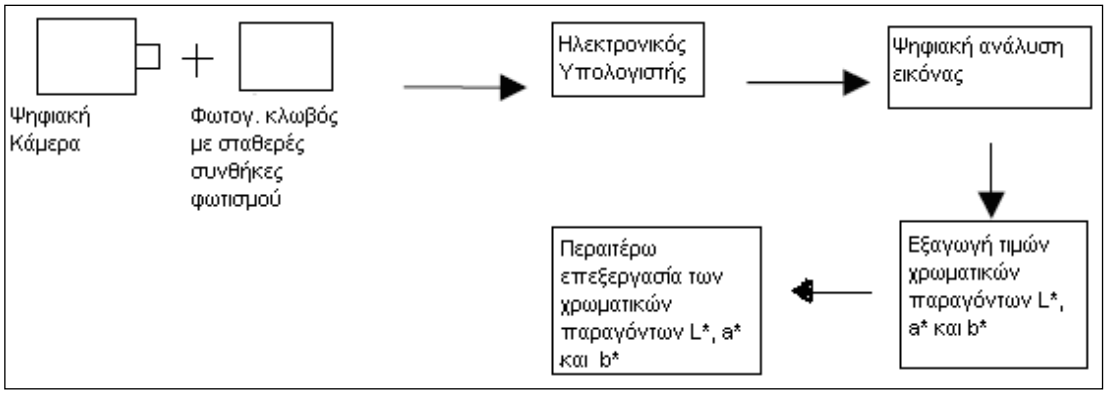
$-30 \leq b^{*} \leq 0,0$

4. Ενσύρματη [4] σύνδεση κάμερας με υπολογιστή μέσο θύρας USB.
5. Υπολογιστής Toshiba AMD Turion™ 64x2 Mobile Technology TL-58 1.90 GHz [5] στον οποίο οι εικόνες αναλύονται με λογισμικό σε περιβάλλον C Sharp.

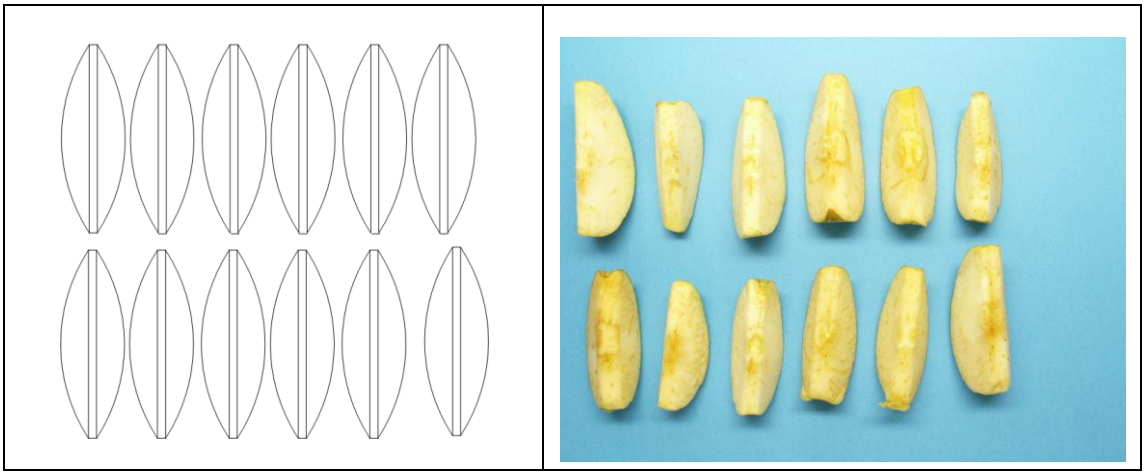


Εικ. 5.1 Απεικόνιση διάταξη καθώς και διαγραμματική παρουσίαση της αυτής για τη μέτρηση του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Με τη μέθοδο ανάλυσης ψηφιακών εικόνων η οποία σχηματικά παρουσιάζεται στην εικόνα 5.2, προσδιορίστηκαν οι χρωματικές παράμετροι L^{*}, a^{*} και b^{*} της επιφάνειας των δειγμάτων όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 5.3.



Εικ. 5.2 Σχηματική παρουσίαση της διαδικασίας προσδιορισμού των τιμών των χρωματικών παραγόντων L^*, a^* και b^* με την ψηφιακή ανάλυση εικόνας



Εικ. 5.3 Επιφάνεια δειγμάτων μήλου της οποίας το χρώμα προσδιοριζόταν με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

2.4.3 Λογισμικό ανάλυσης

Το λογισμικό ανάλυσης, σε σχέση με την αρχική του έκδοση, αναβαθμίστηκε έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργεί με λειτουργικό σύστημα Windows 7. Επιπλέον στα πλαίσια της αναβάθμισης δίνετε πλέον η δυνατότητα προεπιλογής δύο πρότυπων συστημάτων φωτισμού D65 και C καθώς και γωνιών λήψης φωτογραφίας CIE 2^o & 10^o Standard Observer.

Η ανάλυση των χρωματικών δεδομένων πραγματοποιείται με τους ίδιους πρότυπους μαθηματικούς μετασχηματισμούς της διεθνούς επιτροπής φωτισμού CIE (HunterLab, 2008) ώστε τα αποτελέσματα να προσαρμόζονται στο αντίστοιχο χρωματικό μοντέλο CIE$L^*a^*b^*$, όπως και στην παλαιότερη έκδοσή του.

Παρακάτω παρουσιάζεται διαδοχικά η τεχνική μετατροπής των τιμών R, G, B (sRGB) των pixel των δειγμάτων όπως αυτές ανακτώνται από τις ψηφιακές φωτογραφίες, στις τιμές των αντίστοιχων χρωματικών παραμέτρων L^*, a^* & b^*

σύμφωνα και με τις τιμές των μεταβλητών οι οποίες καθορίζονται από τον πρότυπο σύστημα φωτισμού και τη γωνία λήψης (Πίν. 5.1) οι οποίες λαμβάνονται για το νέο λογισμικό καθώς και οι πρότυπες εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα του λογισμικού ανάλυσης (όπου R, G, B οι χρωματικοί παράγοντες των pixels του τμήματος των εικόνων με τα δείγματα):

```
var_R = ( R / 255 )          //R from 0 to 255
var_G = ( G / 255 )          //G from 0 to 255
var_B = ( B / 255 )          //B from 0 to 255

if ( var_R > 0,04045 )  var_R = ( ( var_R + 0,055 ) / 1,055 ) ^ 2,4
αλλιώς                   var_R = var_R / 12,92

if ( var_G > 0,04045 )  var_G = ( ( var_G + 0,055 ) / 1,055 ) ^ 2,4
αλλιώς                   var_G = var_G / 12,92

if ( var_B > 0,04045 )  var_B = ( ( var_B + 0,055 ) / 1,055 ) ^ 2,4
αλλιώς                   var_B = var_B / 12,92

var_R = var_R * 100
var_G = var_G * 100
var_B = var_B * 100

Στη συνέχεια πραγματοποιείται αντικατάσταση για την εύρεση των X, Y,
Z

X=var_R*0,4124+var_G*0,3576+var_B*0,1805
Y=var_R*0,2126+var_G*0,7152+var_B*0,0722
Z=var_R*0,0193+var_G*0,1192+var_B*0,9505
```

Πίνακας 5.1 Τιμές των X_n, Z_n βάσει των συνθηκών φωτογράφισης (Y_n=100 σταθερό)

CIE 2° STANDRARD OBSERVER		
ILLUMINANT	**X_n**	**Z_n**
C	98,04	118,11
D_{65}	95,02	108,82
CIE 10° STANDRARD OBSERVER		
ILLUMINANT	**X_n**	**Z_n**
C	97,30	116,14
D_{65}	94,83	107,38

Πηγή: HunterLab, 2008

Η ανάπτυξη του λογισμικού στηρίζεται στην εφαρμογή των παρακάτω εξισώσεων από τις οποίες οι τιμές των χρωματικών παραμέτρων L^*, a^*, b^*:

$$L^* = 116\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 16 if\ \frac{Y}{Y_n} > 0.00856$$

$$L^* = 903.3\left(\frac{Y}{Y_n}\right) if\ \frac{Y}{Y_n} \le 0.00856$$

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right] if\ \frac{X}{X_n} \,\&\, \frac{Y}{Y_n} > 0.00856$$

$$a^* = 500\left[7.87\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{16}{116} - \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right] if\ \frac{X}{X_n} \le 0.00856 \,\&\, \frac{Y}{Y_n} > 0.00856$$

$$a^* = 500\left[\left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 7.87\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - \frac{16}{116}\right] if\ \frac{X}{X_n} > 0.00856 \,\&\, \frac{Y}{Y_n} \le 0.00856$$

$$a^* = 3935\left(\frac{X}{X_n} - \frac{Y}{Y_n}\right) if\ \frac{X}{X_n} \,\&\, \frac{Y}{Y_n} \le 0.00856$$

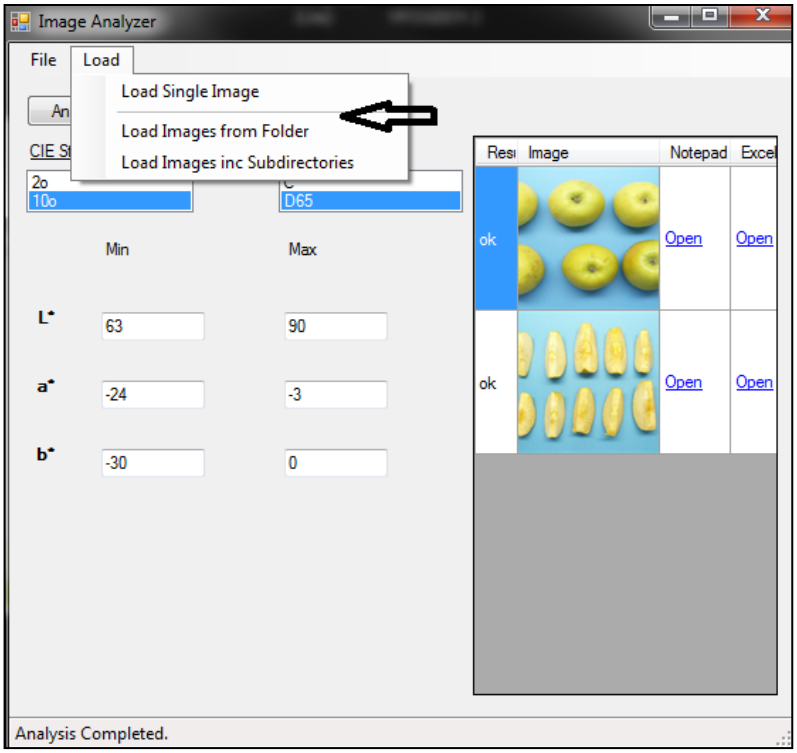
$$b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right] if\ \frac{Z}{Z_n} \,\&\, \frac{Y}{Y_n} > 0.00856$$

$$b^* = 200\left[7.787\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{16}{116} - \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}}\right] if\ \frac{Z}{Z_n} > 0.00856 \,\&\, \frac{Y}{Y_n} \le 0.00856$$

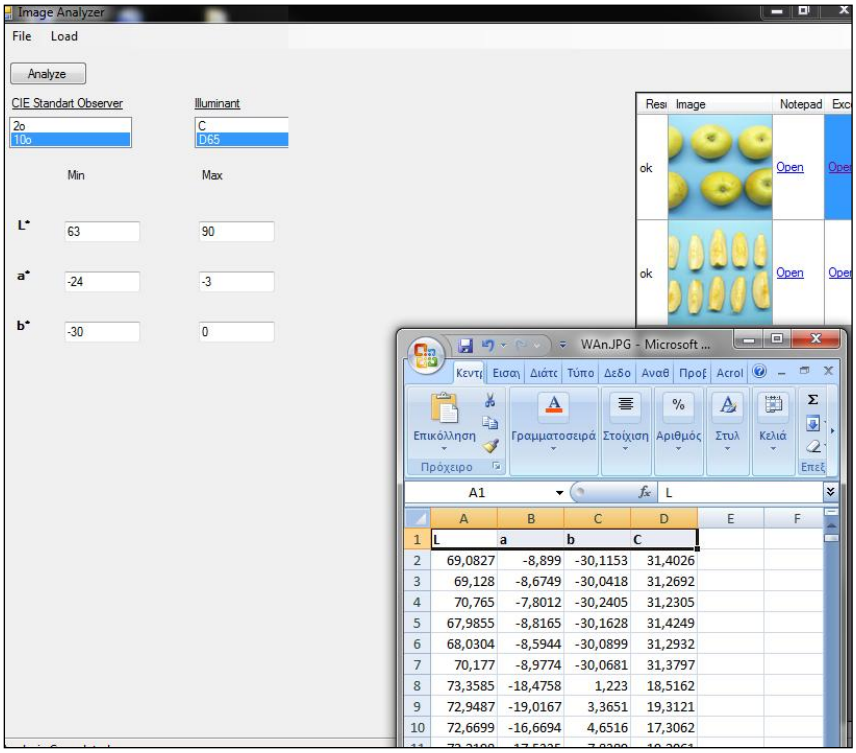
$$b^* = 200\left[\left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} - 7.87\left(\frac{Z}{Z_n}\right) - \frac{16}{116}\right] if\ \frac{Z}{Z_n} \le 0.00856 \,\&\, \frac{Y}{Y_n} > 0.00856$$

$$b^* = 1574\left(\frac{Y}{Y_n} - \frac{Z}{Z_n}\right) if\ \frac{Y}{Y_n} \le 0.00856 \,\&\, \frac{Z}{Z_n} < 0.00856$$

Επιπλέον των παραπάνω με το νέο λογισμικό επιτεύχθηκε σημαντική μείωση του χρόνου ανάλυσης εικόνων και έκδοσης των αποτελεσμάτων. Αυτό έγινε διότι πλέον αναλύονται εικόνες μαζικά με ταυτόχρονη εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε xlsx (Εικόνα 5.4).



Εικ. 5.4 Απεικόνιση δυνατότητας λογισμικού για πολλαπλή ανάλυση εικόνων.



Εικ. 5.5 Το νέο λογισμικό ανάλυσης εικόνων και τα αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος

Στην εικόνα 5.5 παρουσιάζεται το νέο λογισμικό κατά τη λειτουργία του σε ανάλυση εικόνας δείγματος μήλων καθώς και τα αποτελέσματα μέτρησης του χρώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΑΡΟΥΛΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Περίληψη

Στην εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε μέτρηση του χρώματος φυτικών οργάνων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων *(Image Analysis technique)* και σύγκριση της τεχνικής αυτής με την κλασσική μέθοδο του χρωματομέτρου. Ως δείγματα στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ολόκληρα φύλλα καθώς και «ελάχιστα επεξεργασμένα» φύλλα μαρουλιού. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν παράλληλα σε κατάλληλα συσκευασμένα και μη συσκευασμένα δείγματα. Παράλληλα με τις μετρήσεις του χρώματος προσδιορίστηκε και η μεταβολή της υγρασίας των συντηρούμενων δειγμάτων.

Το χρωματικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το ευρέως χρησιμοποιούμενο στα τρόφιμα CIEL*a*b* ενώ οι χρωματικές παράμετροι οι οποίες μελετήθηκαν ήταν: η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* και η χροιά (h).

Η λήψη των εικόνων έγινε υπό συνθήκες φυσικού φωτισμού (1^{η} πειρ. σειρά) αλλά και υπό συνθήκες σταθερού φωτισμού, σε τεχνητό κλωβό φωτογράφισης (2^{η} πειρ. σειρά). Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές για κάθε πειραματική σειρά.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η ύπαρξη κατάλληλου τεχνητού φωτισμού κατά τη λήψη ψηφιακών εικόνων επηρεάζει σημαντικά (σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05) την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης στις μεταβολές του χρώματος. Έτσι στην 1η πειραματική σειρά η ισχύς της γραμμικής συσχέτισης των $h_{IA.Cm}$ και $\Delta E^*_{IA.Cm}$ παρουσιάζει αστάθεια σε αντίθεση με την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης h_{CM} και ΔE_{CM}. Στην 2η πειραματική σειρά, (λήψη ψηφιακών εικόνων εντός φωτογραφικού κλωβού), η ισχύς της γραμμικής συσχέτισης των $h_{IA.Cm}$ και $\Delta E^*_{IA.Cm}$ είναι πολύ ισχυρή εκτός μιας περίπτωσης στην οποία είναι ισχυρή.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η διαφορά των μέσων τιμών της χροιάς που προσδιορίσθηκαν με τις δυο τεχνικές δεν ξεπέρασε το 2,9% στην 1^{η} πειραματική σειρά και το 2,2% στη 2^{η} πειραματική σειρά. Το αποτέλεσμα αυτό θεωρείται πολύ σημαντικό, διότι αναφέρεται σε μία παράμετρο που σχετίζεται με την οπτική αντίληψη του ανθρώπου για το προϊόν.

Η συσκευασία των δειγμάτων σε κάθε περίπτωση δεν επηρέασε τη μεταβολή του χρώματος (επίπεδο σημαντικότητας 0,05). Τα όρια εμπιστοσύνης (CL) των μέσων τιμών που προέκυψαν από τη νέα μέθοδο είναι σημαντικά μικρότερα από τα

αντίστοιχα του χρωματομέτρου. Για τον παράγοντα ΔE^* (ολική μεταβολή χρώματος) τα όρια εμπιστοσύνης είναι 21-41 φορές μικρότερα, ενώ για τον παράγοντα h (χροιά) τα όρια εμπιστοσύνης είναι τουλάχιστον 8 φορές μικρότερα.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι σημαντικό πλεονέκτημα της νέας τεχνικής είναι η ανάλυση του χρώματος στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων. Η επιφάνεια κάθε μέτρησης με το χρωματόμετρο είναι 50,24 mm^2, (Minolta, 1995).

1. Εισαγωγή

Το χρώμα παίζει καθοριστικό ρόλο για την εμπορική αξία των φυτικών οργάνων και μαζί με την υφή προσδιορίζουν τη φρεσκάδα των περισσότερων λαχανικών. Το χρώμα χρησιμοποιείται σαν κριτήριο ωριμότητας ή γήρανσης καθώς και σαν δείκτης φυσιολογικών, μηχανικών ή παθολογικών βλαβών (Kader, 2002).

Η αντίληψη του χρώματος οφείλεται στην ύπαρξη χρωστικών. Τα φρούτα και λαχανικά είναι πλούσια σε χρωστικές και σ' αυτές οφείλεται η προσέλκυση των αγοραστών. Η χλωροφύλλη είναι η χρωστική της φωτοσύνθεσης και βρίσκεται σε όλα τα πράσινα φυτικά μέρη. Η αποικοδόμηση της κατά την ωρίμαση, επεξεργασία ή κατά τη γήρανση των φυτικών ιστών έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του χρώματος από ζωηρό πράσινο χαρακτηριστικό χρώμα της ποικιλίας, σε ελαιώδες καστανό κατά την επεξεργασία ή κίτρινο, καφετί κατά τη γήρανση

Η μείωση της έντασης του πράσινου χρώματος στα λαχανικά συνδέεται με τη γήρανση, τη μείωση της θρεπτικής αξίας και γενικά της ποιότητάς τους (Cantwell and Kasmire, 2002). Το αρχικό στάδιο της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως: το υδατικό stress, τις μεταβολές της θερμοκρασίας, το φως, το αιθυλένιο ή το συνδυασμό αυτών (Heaton and Marangoni, 1996).

Τα λαχανικά αποτελούν σπουδαίο παράγοντα της ανθρώπινης διατροφής Μετά τη συλλογή τους υφίστανται μία σειρά φυσιολογικών αλλαγών που επηρεάζουν την ποιότητα. Οι αλλαγές αυτές δεν μπορούν να σταματήσουν μπορούν όμως να ελεγχθούν μέσα σε ορισμένα όρια χρησιμοποιώντας σωστούς μετασυλλεκτικούς χειρισμούς. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένας από τους σημαντικότερους χειρισμούς για την αύξηση του χρόνου της εμπορικής τους ζωής και τη διατήρηση της ποιότητάς τους. Οι Cantwell *et al* (1998), αναφέρουν ότι η θερμοκρασία είναι ο μόνος

σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει τη μετασυλλεκτική ποιότητα των φυλλωδών πράσινων λαχανικών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία συντήρησης τόσο γρηγορότερη είναι η φθορά και τόσο βραχύτερη η διάρκεια της εμπορικής ζωής. Η χαμηλή θερμοκρασία (στα όρια ανοχής) και η υψηλή σχετική υγρασία αυξάνουν την εμπορική ζωή των περισσότερων φρέσκων λαχανικών (Cantwell and Kasmire, 2002), καθυστερώντας την αποικοδόμηση της χλωροφύλλης (Pogson and Morris, 1997).

Τα «ελάχιστα επεξεργασμένα» λαχανικά είναι προϊόντα τα οποία διατηρούν τις ιδιότητες και την ποιότητα τους παρόμοια με αυτή των φρέσκων προϊόντων (Alzamora et al. 2000).

Η ποιότητα των «ελάχιστα επεξεργασμένων» λαχανικών είναι ένας συνδυασμός φυσιολογικών και οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τα οποία καθορίζουν την αξία τους για τον καταναλωτή. Οι ποιοτικοί παράμετροι περιλαμβάνουν την εμφάνιση, την υφή τη γεύση και τη θρεπτική αξία. Τα «ελάχιστα επεξεργασμένα» προϊόντα παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό ποιοτικής υποβάθμισης διότι η διαδικασία προετοιμασίας (αποφλοίωση, τεμαχισμός κ.λ.π) προκαλεί αύξηση του ρυθμού αναπνοής, παραγωγή αιθυλενίου και επιτάχυνση διαφόρων βιοχημικών αντιδράσεων (Watada et al. 1996; Ahvenainen, 1996, Gonzalez-Aguilar et al. 2005). Το κύριο πρόβλημα των προϊόντων αυτών είναι ο αποχρωματισμός των κομμένων επιφανειών λόγω ενζυμικής καστάνωσης, το κιτρίνισμα των πράσινων λαχανικών και η μείωση της φωτεινότητας του χρώματος (Watada and Qi, 1999). Τα «ελάχιστα επεξεργασμένα» μαρούλια παρουσιάζουν καστανή κηλίδωση (edge browning) και κόκκινη κηλίδωση (russet spotting) που υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα του προϊόντος (Lopez-Galvez et al. 1996).

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να μελετηθεί η μεταβολή του χρώματος κατά τη διάρκεια της συντήρησης, ολόκληρων και τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού, με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων και παράλληλη χρήση χρωματόμετρου. Αυτό έγινε αποσκοπώντας στην έρευνα ύπαρξης δυνατότητας χρήσης της νέας τεχνικής στον ποιοτικό έλεγχο της φυλλωδών λαχανικών. Το χρωματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το CIEL*a*b* (HunterLab, 1996), η δε μεταβολή του χρώματος αποδόθηκε από την ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* και τη χροιά h.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφορά, στη χρήση τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση του χρώματος μαρουλιού, γίνεται από τους Zhou et al. το 2004 καθώς και από τον Pace et al. 2014. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν βρέθηκε αναφορά παράλληλης χρήσης χρωματομέτρου και τεχνικής ανάλυσης ψηφιακών εικόνων στη μέτρηση χρώματος μαρουλιού.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Στον πίνακα 2.1 καταγράφονται οι επεξηγήσεις των συμβόλων των χρησιμοποιηθέντων παραμέτρων.

Πίνακας 2.1. Επεξήγηση και ερμηνεία συμβόλων

Συμβολισμός	Εξίσωση Υπολογισμού/ Μονάδα Μέτρησης	Ερμηνεία
ΔE	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$	Ολική μεταβολή χρώματος
h	$h = [180 + \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})]^o$	Χροιά
Δh	$\Delta h = h_{IA.Cm} - h_{CM}$	Απόλυτη μεταβολή της χροιάς
UF	M/E	Φύλλα χωρίς συσκευασία
UC	M/E	Φύλλα με ελάχιστη επεξεργασία χωρίς συσκευασία
PF	M/E	Συσκευασμένα φύλλα
PC	M/E	Συσκευασμένα φύλλα με ελάχιστη επεξεργασία
θ	^oC	Θερμοκρασία
t_{sp}	Ημέρες	Χρόνος συντήρησης δειγμάτων
CM	Μέθοδος χρωματομέτρου	Τεχνική μέτρησης χρώματος με χρωματόμετρο
IA.Cm	Μέθοδος ανάλυσης ψηφιακών εικόνων	Τεχνική μέτρησης χρώματος ανάλυση ψηφιακών εικόνων
dH	% μείωση υγρασίας	Απώλεια υγρασίας

2.1 Συγκομιδή και χειρισμοί

Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν μαρούλια (Lactuca sativa var. capitata L.) κεφαλωτού τύπου (Butterhead type) της κατηγορίας 'Looseleaf' γνωστά ως 'γαλλική

σαλάτα' των οποίων η συγκομιδή έγινε στο στάδιο της «εμπορικής ωριμότητας» από καλλιέργεια στο Μαραθώνα Αττικής. Αμέσως μετά τη συγκομιδή τους, συντηρήθηκαν στους 0°C και RH=95%. Την επόμενη ημέρα , υπέστησαν όλους τους απαραίτητους χειρισμούς για την προετοιμασία των δειγμάτων. Στην αρχή έγινε διαλογή των κεφαλών ώστε αυτές να είναι ομοιόμορφου μεγέθους χωρίς εξωτερικά ελαττώματα. Για την προετοιμασία των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα των τριών εξωτερικών σειρών κάθε κεφαλής. Τα φύλλα αυτά απολυμάνθηκαν με ειδικές για το σκοπό αυτό ταμπλέτες σταθεροποιημένου χλωρίου Suma Tab D4 tab (JOHNSONDINERSEY). Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε ως εξής:

1. Πρόπλυση με νερό θερμοκρασίας 14^{o}C.
2. Προσθήκη 1 ταμπλέτας Suma Tab D4 tab (JOHNSON DIVERSEY) σε 20 λίτρα νερού.
3. Εμβάπτιση δειγμάτων για 5 λεπτά.
4. Ξέβγαλμα με καθαρό νερό.
5. Στέγνωμα δειγμάτων σε φυγόκεντρο. μηχανή σαλάτας για την απομάκρυνση του πλεονάζοντος νερού.

Τα φύλλα που απολυμάνθηκαν χωρίστηκαν σε δύο ομάδες:

1. Η πρώτη ομάδα περιλάμβανε ολόκληρα φύλλα
2. Η δεύτερη ομάδα περιελάμβανε φύλλα τα οποία τεμαχίστηκαν με απολυμασμένο ειδικό κοπτικό εργαλείο.

Για την συσκευασία χρησιμοποιήθηκε διάτρητο φιλμ πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Η κάθε συσκευασία περιείχε 6 ολόκληρα φύλλα ή περίπου 120 g τεμαχισμένων φύλλων.

Η συσκευασία χρησιμοποιήθηκε μόνο για την προστασία των δειγμάτων από την αφυδάτωση και όχι για τη δημιουργία τροποποιημένης ατμόσφαιρας.

Οι συνθήκες συντήρησης των δειγμάτων ήταν: 0°C και 10°C με σχετική υγρασία RH=95%.

Οι ομάδες που δημιουργηθήκαν τελικά ήταν:

- Ολόκληρα ασυσκεύαστα φύλλα στους 0°C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 0°C(6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)

- Ολόκληρα ασυσκεύαστα φύλλα στους 10°C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Ολόκληρα συσκευασμένα φύλλα στους 10°C (6 δείγματα με 6 φύλλα/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκεύαστα φύλλα στους 0°C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 0°C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120g/ δείγμα)
- Τεμαχισμένα ασυσκεύαστα φύλλα στους 10°C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120g/ δείγμα).
- Τεμαχισμένα συσκευασμένα φύλλα στους 10°C (6 δείγματα με μάζα περίπου 120g/ δείγμα).

Τα ασυσκεύαστα τεμαχισμένα και ολόκληρα φύλλα μαρουλιού τοποθετήθηκαν σε ταψάκια αλουμινίου τα οποία μαζί με τα πλαστικά σακουλάκια των συσκευασμένων δειγμάτων τοποθετήθηκαν σε διάτρητα τελάρα. Η διάρκεια συντήρησης των δειγμάτων ήταν 10 ημέρες. Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε λαμβάνοντας όλα τα προβλεπόμενα μέτρα ορθής υγιεινής πρακτικής.

2.2 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα μετρήθηκε με δύο τεχνικές μέτρησης. Τη κλασική χρωματομετρική με χρωματόμετρο, CM αλλά και τη νέα μέθοδο μέτρησης με ανάλυση ψηφιακών εικόνων, IACm (Βλ. Κεφ. 2 Παρ. 2.1). Στα πειράματα πραγματοποιήθηκαν δύο πειραματικές σειρές:

$1^{η}$ πειραματική σειρά: λήψη εικόνων σε συνθήκες φυσικού φωτισμού.

$2^{η}$ πειραματική σειρά: λήψη εικόνων σε συνθήκες σταθερού φωτισμού λήψη εικόνων από ψηφιακή κάμερα σε φωτογραφικό κλωβό.

Για τη μέτρηση του χρώματος και με τις δυο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε, το χρωματικό μοντέλο CIE$L^*a^*b^*$ (HunterLab, 1996) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην αξιολόγηση των τροφίμων (Martnes and Baardseth, 1987; Hutchings, 1994; Nieto-Sandoval et al. 1998; Giese,2003; Yam and Papadakis, 2004). Ο παράγοντας L^* δίνει τιμές φωτισμού με κλίμακα (0) για το μαύρο έως (100) για το λευκό, ο παράγοντας a^* αντιστοιχεί σε αποχρώσεις πράσινου για αρνητικές τιμές (-) έως

κόκκινου για θετικές (+). Ο παράγοντας *b* αντιστοιχεί σε αποχρώσεις μπλε για αρνητικές τιμές (-) έως κίτρινου για θετικές (+). (McGuire, 1992; HunterLab, 1996; Yam & Papadakis, 2004).

Οι χρωματικοί παράγοντες οι οποίοι εξετάσθηκαν είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* και η χροιά (hue) h σύμφωνα με το πολικό μοντέλο απεικόνισης L^*, C^*, h του βασικού μοντέλου CIE L^*, a^*, b^*. Ο χρωματικός παράγοντας h επιλέχθηκε για να διευκολυνθεί η διαδικασία αξιολόγησης της νέας μεθόδου, λόγω της ιδιότητας αυτής της παραμέτρου να δίνει οπτική απεικόνιση των αποχρώσεων στο χώρο.

Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε:

$$h = [180 + \tan^{-1}(\frac{b^*}{a^*})]^o$$

διότι για το συγκεκριμένο τύπο μαρουλιού είναι $a^*<0$ (βλ. παρ. 2.4.1 γεν. μέρους).

2.2.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο

Το χρώμα και στις δύο πειραματικές σειρές μετρήθηκε με χρωματόμετρο Minolta CR-300 (Εικ.2.21). Πριν από κάθε χρήση το χρωματόμετρο βαθμονομήθηκε με χρήση της πρότυπης πλάκας CR-A43 (Yxy, χρωματικό μοντέλο) όπως προβλέπεται από το εγχειρίδιο του οργάνου (Minolta, 1995). Το χρώμα μετρήθηκε σε τέσσερα προεπιλεγμένα δείγματα τεμαχισμένων ή ολόκληρων φύλλων μαρουλιού από κάθε δείγμα (ταψάκι ή σακουλάκι). Σε κάθε φύλλο ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις με το χρωματόμετρο όπως αυτές παρουσιάζονται στην εικόνα 2.1.

Εικόνα 2.1. Το χρωματόμετρο Minolta CR-300 και διαγραμματική παρουσίαση σημείων μέτρηση χρώματος

Σε κάθε επιμέρους δείγμα τεμαχισμένου φύλλου πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις. Η λήψη των τεσσάρων συνολικά μετρήσεων (σε κάθε μέτρηση μετράται το χρώμα 50,24 mm^2 επιφάνειας δείγματος), (Minolta, 1995), στα ολόκληρα φύλλα, πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να επιτευχτεί η κατά το δυνατό μεγαλύτερη αξιολογούμενη επιφάνεια δειγμάτων. Ο αριθμός των τεσσάρων μετρήσεων επιλέχθηκε με βάση τις διαφορετικές αποχρώσεις της επιφάνειας των δειγμάτων (μείωση σφαλμάτων σε σχέση με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων με την οποία μετράται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων).

2.2.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Η τεχνική μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2, παρ. 2.

2.2.3 Μέτρηση απώλειας υγρασίας

Οι μετρήσεις της απώλειας μάζας λόγω αφυδάτωσης τόσο στα συσκευασμένα όσο και ασυσκεύαστα δείγματα φύλλων μαρουλιού πραγματοποιήθηκε με αναλυτικό ζυγό FA-2000 της εταιρίας AND με ακρίβεια 0.01g. Η % απώλεια μάζας προσδιορίστηκε από τη σχέση:

$$\frac{M_a - M_\tau}{M_a} \times 100$$

όπου M_α η αρχική μάζα μαρουλιού την ημέρα της παραλαβής και έναρξης της συντήρησης και M_τ η μάζα την ημέρα στην οποία λάμβανε χώρα κάθε μέτρηση.

2.3 Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion με παραγοντική ανάλυση διασποράς (Multifactor Anova) καθώς και με απλή συσχέτιση (Simple Regression) δύο παραγόντων.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Μεταβολή χρώματος

3.1.1 1η Πειραματική σειρά

Στον πίνακα 3.1 καταγράφονται οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα ($SE_{\bar{x}}$) και τα όρια εμπιστοσύνης (CL) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% των χρωματικών παραγόντων ΔE^* και h των ασυσκεύαστων (UF) και συσκευασμένων (PF) φύλλων μαρουλιού που υπολογίστηκαν από την επεξεργασία των δεδομένων των δυο τεχνικών CM και IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης t_{sp} στις δύο θερμοκρασίες 0°C και 10°C.

Πίνακας 3.1. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των χρωματικών παραμέτρων ΔE* και h που υπολογίσθηκαν βάσει των τεχνικών CM & IA.Cm σε ασυσκεύαστα (UF) και συσκευασμένα ολόκληρα φύλλα (PF) που συντηρήθηκαν στους 0°C και 10°C

1η πειραματική σειρά, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
θ=0°C, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	118,22	0,33	0,65	108,74	0,03	0,06
4	1,23	0,38	0,28	0,54	0,01	0,02	116,93	0,31	0,60	110,53	0,02	0,04
10	0,44	0,45	0,22	0,43	0,01	0,02	116,83	0,55	1,08	113,75	0,03	0,06
θ=10°C, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	118,28	0,34	0,66	108,74	0,03	0,06
4	2,31	0,42	0,82	5,11	0,03	0,06	116,98	0,31	0,60	110,46	0,03	0,05
10	3,02	0,38	0,75	3,96	0,03	0,06	116,84	0,24	0,48	113,71	0,03	0,06
1η πειραματική σειρά, Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
θ=0°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	116.32	0.35	0.69	108.52	0.02	0.04
4	1.40	0.29	0.57	7.40	0.01	0.02	116.22	0.38	0.75	109.87	0.03	0.07
10	1.21	0.33	0.64	6.09	0.01	0.02	117.03	0.33	0.65	113.20	0.03	0.06
θ=10°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	113,30	0,33	0,63	112,05	0,02	0,04
4	2,34	0,33	0,64	3,11	0,02	0,05	114,30	0,33	0,64	107,64	0,02	0,04
10	2,70	0,31	0,60	5,09	0,02	0,04	114,80	0,37	0,72	112,47	0,03	0,05

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 3.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα όρια εμπιστοσύνης (CL) των χρωματικών παραμέτρων ΔE* και h μεταξύ των δυο τεχνικών. Τα όρια εμπιστοσύνης (CL) της τεχνικής CM παρουσιάζουν σημαντικά μεγαλύτερες τιμές. Η παρατήρηση αυτή αποδίδεται στην ύπαρξη μεγαλύτερου αριθμού μετρήσεων στην περίπτωση της νέας τεχνικής (IA.Cm). Το στοιχείο αυτό τεκμηριώνει την ύπαρξη μεγαλύτερης

αξιοπιστίας στα αποτελέσματα της νέας τεχνικής (IA.Cm). Στον πίνακα 3.2 καταγράφονται τα ίδια αποτελέσματα που αναφέρονται στον πίνακα 3.1 αλλά για τα ασυσκεύαστα (UC) και συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PC) μαρουλιού.

Πίνακας 3.2. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των χρωματικών παραμέτρων ΔE και h που υπολογίστηκαν βάσει των δεδομένων των τεχνικών CM & IA.Cm σε ασυσκεύαστα (UC) και συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PC) που συντηρήθηκαν στους 0°C και 10°C.

1η πειραματική σειρά, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
θ=0°C, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	116,33	0,35	0,69	108,12	0,05	0,10
4	2,10	0,28	0,54	4,22	0,01	0,01	115,57	0,33	0,64	111,35	0,07	0,13
10	6,12	0,31	0,60	3,64	0,01	0,01	112,89	0,38	0,75	113,19	0,06	0,11
θ=10°C, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	112,09	0,31	0,60	112,64	0,05	0,10
4	1,23	0,22	0,43	4,24	0,01	0,01	113,84	0,38	0,75	109,84	0,07	0,13
10	2,60	0,28	0,54	9,34	0,01	0,02	115,55	0,37	0,72	110,98	0,06	0,11
1η πειραματική σειρά, Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PF)												
θ=0°C, Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	114,40	0,35	0,69	105,80	0,05	0,10
4	1,20	0,30	0,58	7,40	0,01	0,02	113,08	0,33	0,65	107,99	0,06	0,12
10	0,63	0,25	0,50	11,93	0,01	0,01	116,13	0,40	0,78	103,10	0,06	0,11
θ=10°C, Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,93	0,31	0,60	111,64	0,05	0,11
4	2,54	0,25	0,49	6,89	0,01	0,02	111,78	0,32	0,62	107,56	0,05	0,11
10	1,48	0,22	0,43	4,59	0,01	0,01	116,57	0,29	0,57	110,76	0,06	0,11

Από τον πίνακα 3.2 προκύπτει το ίδιο συμπέρασμα που προκύπτει και από τον πίνακα 3.1 ότι δηλαδή σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στα διαστήματα εμπιστοσύνης (CL) των αποτελεσμάτων των δυο τεχνικών.

Από τους πίνακες 3.1 και 3.2 παρατηρούμε ότι η νέα μέθοδος προσδιορίζει σε όλες τις περιπτώσεις αποχρώσεις στην περιοχή του πράσινου (103≤h≤114) (βλ. κεφ 1-παρ. 2.4). Στις ίδιες αποχρώσεις, εντός της περιοχής του πράσινου, καταλήγει και η ανάλυση των δεδομένων του χρωματομέτρου (112≤h≤118).

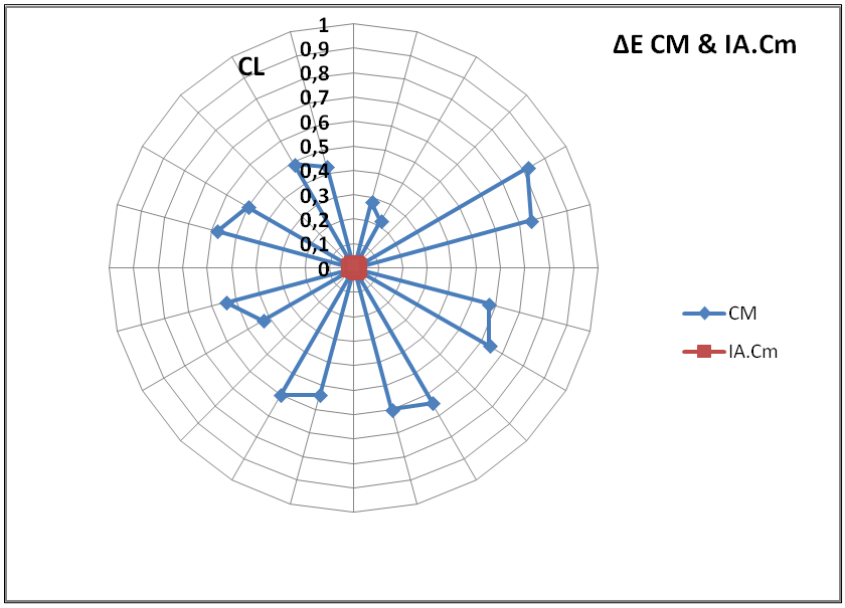
Διαπιστώνεται έτσι ότι η νέα μέθοδος, παρά το ότι εφαρμόστηκε σε συνθήκες μη σταθερού φωτισμού, καταλήγει τελικά σε αποδεκτές αποχρώσεις στην περιοχή του πράσινου. Η επί της εκατό, απόλυτη διαφορά του παράγοντα της γωνίας χροιάς, $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CM}$ κυμαίνεται από 0,5% έως 4,2%. Σε κάθε άλλη περίπτωση η χρήση της μεθόδου θα ήταν απορριπτέα υπό αυτές τις συνθήκες.

Η νέα μέθοδος χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι οι μέσοι όροι προκύπτουν από μεγάλο αριθμό μετρήσεων (μέτρηση ανά pixel ψηφιακής απεικόνισης δείγματος). Με το μεγάλο αριθμό μετρήσεων αυξάνεται η αξιοπιστία της μέτρησης του χρώματος του δείγματος. Με δεδομένο ότι ο βαθμός αυτός εμπιστοσύνης στις μετρήσεις αποτελεί θεμελιώδη παράμετρο είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε έναν αλγόριθμο για την ποσοτική μέτρηση του βαθμού εμπιστοσύνης σε κάθε δεδομένη σειρά πειραματικών μετρήσεων. Στο πλαίσιο αυτό έγινε χρήση του ορίου εμπιστοσύνης (Confidence Limit-CL) για όλες τις περιπτώσεις μετρήσεων οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τις τεχνικές CM & IA.Cm (βλ. Πίν.: 3.1 & 3.2).

Το όριο εμπιστοσύνης (Snedecor και Cochran, 1989) δίνει το ανώτατο και κατώτατο όριο της μέσης τιμής της μετρούμενης παραμέτρου με τις δύο τεχνικές. Ο προσδιορισμός του CL αποτελεί δείκτη αξιοπιστίας στην εκτίμηση τελικά του πραγματικού μέσου με την χρησιμοποιούμενη τεχνική (CM ή IA.Cm).

Από τα αποτελέσματα των πινάκων 3.1 & 3.2 διαπιστώνεται ότι τα όρια εμπιστοσύνης CL, όπως έχει αναφερθεί, στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm είναι πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM. Η παρατήρηση αυτή οφείλεται, πρακτικά, στο ότι με την τεχνική CM το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης προέκυψε από μικρό αριθμό επιμέρους μετρήσεων (36). Στην περίπτωση όμως της τεχνικής IA.Cm το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε από πολλές χιλιάδες μετρήσεις που αντιστοιχούν στις χρωματικές παραμέτρους κάθε pixel ψηφιακής εικόνας (περίπου 20000-30000 στα τεμαχισμένα φύλλα και περίπου 90000-110000 στα ολόκληρα φύλλα).

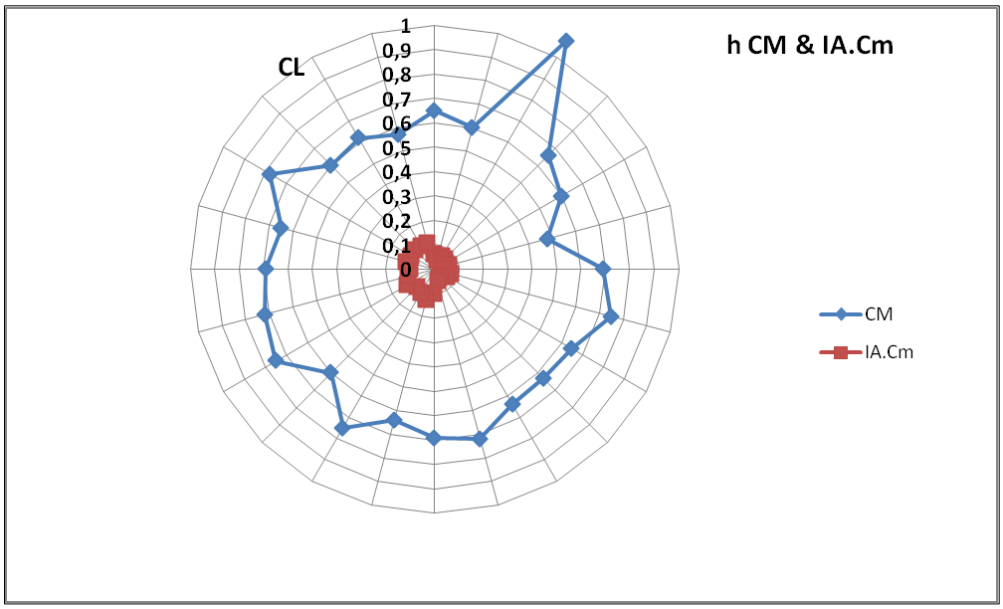
Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα όρια εμπιστοσύνης CL του χρωματικού παράγοντα ΔE^* όλων των μετρήσεων και στις δύο θερμοκρασίες που ελήφθησαν με τις δύο τεχνικές CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.1. Συγκεντρωτική παρουσίαση των ορίων εμπιστοσύνης CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα ΔE^* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι τα όρια εμπιστοσύνης CL της χρωματικής παραμέτρου ΔE^* που υπολογίστηκε με τη μέθοδο CM διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο IA.Cm. Έτσι ενώ στην περίπτωση της τεχνικής CM οι μέγιστες τιμές του CL φτάνουν το 0,82 στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι αντίστοιχες τιμές του δεν ξεπερνούν το 0,02 (41 φορές μικρότερες).

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα h που υπολογίστηκε με τα δεδομένα των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.2. Συγκεντρωτική παρουσίαση ορίων CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα h με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Από το ανωτέρω σχήμα προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης CL του χρωματικού παράγοντα h στην περίπτωση των μετρήσεων της τεχνικής CM είναι 1,08 ενώ στην περίπτωση των μετρήσεων της τεχνικής IA.Cm είναι 0,13 (8.3 φορές μικρότερο). Όπως και στην περίπτωση του χρωματικού παράγοντα ΔE^* έτσι και στην περίπτωση της χροιάς (h), τα διαστήματα εμπιστοσύνης των μετρήσεων οι οποίες προέκυψαν με χρήση της νέας τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα.

Πλέον των παραπάνω διενεργήθηκε έλεγχος της δυναμικής γραμμικότητας των ΔE^* και h σε συνάρτηση με τον χρόνο στα αποτελέσματα και των δυο τεχνικών. Τα αποτελέσματα ελέγχου της γραμμικότητας των μεταβολών των παραμέτρων ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, h_{CM}, και $h_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών ως προς το χρόνο συντήρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστής συσχέτισης του Pearson αφού πρόκειται για ζεύγη ποσοτικών μεταβλητών. Από την ανάλυση διαπιστώθηκε η ύπαρξη ισχυρής έως πολύ ισχυρής γραμμικότητας στις μεταβολές των παραμέτρων h & ΔE^* της τεχνικής CM. Το ίδιο δεν διαπιστώθηκε και για την περίπτωση της τεχνικής IA.Cm όπου ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Ισχυρή γραμμική συσχέτιση επιπέδου g δεν εμφανίζεται στις περισσότερες των περιπτώσεων.

Πίνακας 3.3. Συντελεστές α και β της γραμμικής σχέσης $\Delta E^*=\alpha t_{sp}+\beta$ και $h=\alpha t_{sp}+\beta$ των παραμέτρων ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, h_{CM} και $h_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων (t_{sp}) και συντελεστές της γραμμικής συσχέτισης αυτών

0°C	**h_{CM}**			**$h_{IA.Cm}$**			**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**		
	α	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	-0,13	117,9	0,85[g]	0,50	108,6	0,99[g]	0,10	0,0	0,76[f]	0,77	0,0	0,32[d]
UC	-0,35	116,5	0,98[g]	0,49	108,5	0,93[g]	0,60	0,0	0,99[g]	0,46	0,0	0,37[d]
PF	0,07	116,2	0,87[g]	-0,7	110,1	0,84[f]	0,15	0,0	0,66[e]	0,78	0,0	0,32[d]
PC	0,2	113,6	0,91[g]	0,24	106,9	0,57[e]	0,10	0,0	0,85[g]	1,3	0,0	0,92[g]
10°C	**h_{CM}**			**$h_{IA.Cm}$**			**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**		
t_p	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**R**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	0,19	115,2	0,95[g]	-0,1	111,1	0,32[d]	0,35	0,0	0,99[g]	1,16	0,0	0,49[e]
UC	0,34	112,2	0,99[g]	-0,1	111,8	0,48[d]	0,27	0,0	0,99[g]	0,95	0,0	0,49[e]
PF	0,14	113,4	0,95[g]	0,1	110,2	0,31[d]	0,31	0,0	0,92[g]	0,55	0,0	0,80[g]
PC	0,39	111,9	0,73[f]	-0,1	110,2	0,30[d]	0,21	0,0	0,91[g]	0,63	0,0	0,33[d]

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

$0.3 \leq r < 0.5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: d

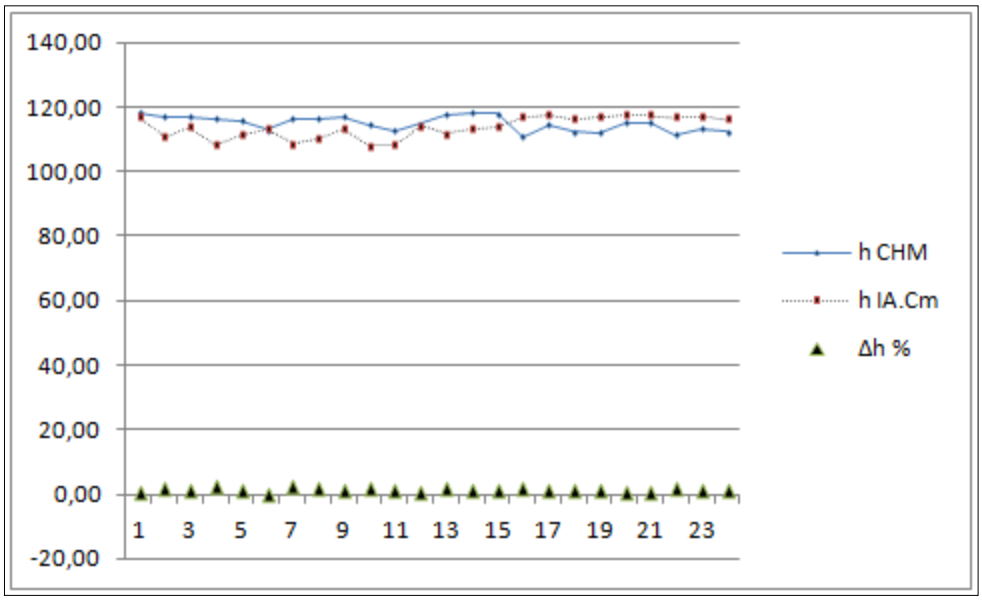
$0.5 \leq r < 0.7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: e

$0.7 \leq r < 0.8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: f

$0.8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: g

Στα αποτελέσματα της τεχνικής IA.Cm η μεγάλη διακύμανση στην ισχύ της γραμμικής συσχέτισης οφείλεται κυρίως στην έλλειψη σταθερού φωτισμού κατά τη λήψη των εικόνων οι οποίες αναλύθηκαν. Το παραπάνω δεν ισχύει στην περίπτωση της τεχνικής CM για την οποία παρατηρείται πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση στις περισσότερες περιπτώσεις.

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι τιμές της χροιάς h των τεχνικών CM & IA.Cm καθώς και η επί τοις εκατό απόλυτη διαφορά της χροιάς αυτών $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CM}$, κατ΄ αντιστοιχία (Ορφανάκος, 2004).



Σχήμα 3.3 Τιμές χροιάς (h) των τεχνικών IA.Cm & CM για κάθε περίπτωση καθώς και η επί τοις εκατό απόλυτη διαφορά γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CM}$

Η μεγαλύτερη απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς (Δh=2,9%) εμφανίζεται στην περίπτωση συσκευασμένου δείγματος φύλλων μαρουλιού που συντηρήθηκε στους 10^{o}C. Η μικρότερη απόλυτη διαφορά (0,3%) παρουσιάζεται στην περίπτωση ασυσκεύαστων φύλλων που συντηρήθηκαν στους 0^{o}C.

Το παραπάνω αποτέλεσμα της τόσο μικρής διαφοράς στην παράμετρο της χροιάς, παραμέτρου που σχετίζεται με τον τρόπο αντίληψης του χρώματος από τον άνθρωπο, αποδεικνύει ότι η νέα μέθοδος είναι αξιόπιστη, παρά το γεγονός ότι η φωτογράφιση έγινε υπό συνθήκες ελεγχόμενου μη σταθερού φωτισμού (διάχυτος εξωτερικός φωτισμός).

3.1.2 2^{η} Πειραματική σειρά

Στη 2^{η} πειραματικά σειρά ο σχεδιασμός και η προετοιμασία των δειγμάτων ήταν η ίδια ακριβώς με αυτήν της 1^{ης} πειραματικής σειράς, χωρίς αλλαγές στα χρησιμοποιούμενα υλικά.

Στον πίνακα 3.4 καταγράφονται οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και τα όρια εμπιστοσύνης (CL σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) των χρωματικών παραγόντων ΔE* και h, των ασυσκεύαστων (UF) και συσκευασμένων (PF) φύλλων μαρουλιού, που υπολογίστηκαν από τα δεδομένα των δυο τεχνικών CM και IA.Cm, συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στις δύο θερμοκρασίες συντήρησης 0°C και 10°C.

Πίνακας 3.4 Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των παραμέτρων ΔE^* και h των τεχνικών CM & IA.Cm, στην περίπτωση ασυσκεύαστων (UF) και σκευασμένων φύλλων (PF) που συντηρήθηκαν στους 0 °C & 10°C

2η πειραματική σειρά, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
θ=0°C, Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,26	0,32	0,62	108,74	0,03	0,05
4	2,32	0,14	0,26	5,11	0,12	0,02	115,99	0,30	0,59	110,46	0,03	0,05
10	3,02	0,15	0,29	3,96	0,18	0,01	114,85	0,35	0,69	113,71	0,03	0,05
θ=10°C. Ασυσκεύαστα φύλλα (UF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,71	0,35	0,69	107,47	0,02	0,05
4	2,10	0,15	0,29	3,16	0,11	0,02	118,36	0,32	0,62	108,97	0,03	0,05
10	1,39	0,17	0,33	5,20	0,17	0,02	117,16	0,38	0,75	111,50	0,03	0,06
2η πειραματική σειρά. Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
θ=0°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,17	0,31	0,60	108,52	0,03	0,05
4	2,22	0,16	0,31	4,67	0,13	0,02	114,90	0,32	0,62	109,87	0,02	0,04
10	4,07	0,17	0,33	5,67	0,12	0,02	116,10	0,35	0,69	101,25	0,03	0,05
θ=10°C, Συσκευασμένα φύλλα (PF)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,14	0,35	0,69	116,96	0,02	0,05
4	2,84	0,17	0,32	0,72	0,14	0,02	110,65	0,37	0,72	117,55	0,03	0,05
10	4,00	0,17	0,33	1,88	0,15	0,01	114,05	0,32	0,62	117,41	0,03	0,05

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 3.1.5 παρατηρούνται όπως και στην 1η πειραματική σειρά σημαντικές διαφορές στα όρια εμπιστοσύνης (CL) των αποτελεσμάτων των δυο τεχνικών σε όλες τις περιπτώσεις.

Στον πίνακα 3.5 καταγράφονται τα ίδια αποτελέσματα όπως και στον πίνακα 3.6 για τα ασυσκεύαστα (UC) και συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PC) μαρουλιού που συντηρήθηκαν στους 0°C & 10°C.

Πίνακας 3.5 Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των χρωματικών παραμέτρων ΔE* και h των τεχνικών CM & IA.Cm, ασυσκεύαστων (UC) και συσκευασμένων τεμαχισμένων φύλλων (PC) που συντηρήθηκαν στους 0°C και 10°C.

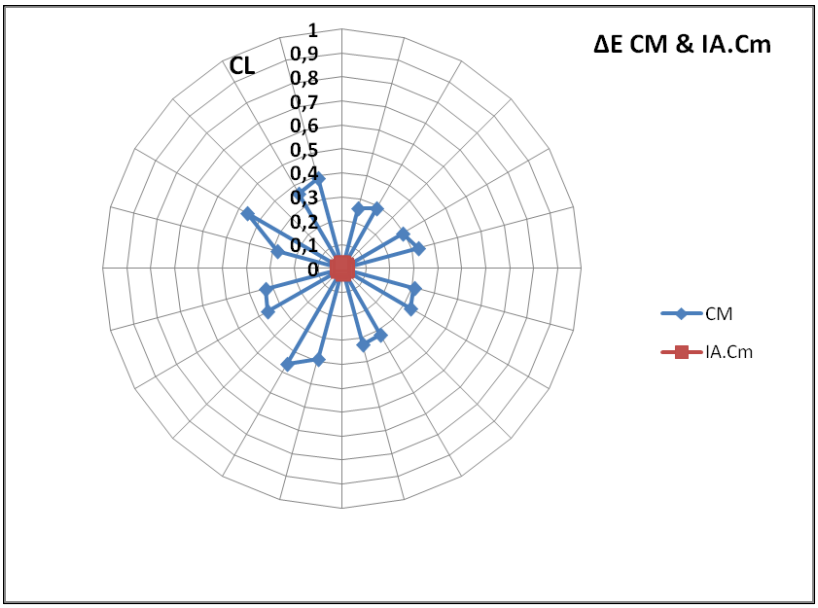
2η πειραματική σειρά, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
θ=0°C, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	115,64	0,42	0,82	108,12	0,05	0,10
4	2,24	0,20	0,39	4,25	0,01	0,01	114,44	0,38	0,75	111,35	0,05	0,10
10	4,18	0,23	0,46	4,62	0,01	0,01	111,62	0,37	0,72	113,19	0,05	0,11
θ=10°C, Ασυσκεύαστα τεμαχισμένα φύλλα (UC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,28	0,40	0,78	117,09	0,05	0,10
4	2,77	0,18	0,36	3,40	0,01	0,02	113,33	0,38	0,75	119,77	0,05	0,10
10	2,06	0,17	0,33	4,52	0,01	0,01	111,05	0,43	0,85	116,27	0,05	0,10
2η πειραματική σειρά. Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PF)												
θ=0°C, Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**h_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	113,05	0,33	0,65	105,80	0,05	0,11
4	3,14	0,14	0,28	6,84	0,01	0,02	112,52	0,42	0,82	105,02	0,05	0,10
10	4,06	0,23	0,46	8,50	0,01	0,01	113,51	0,42	0,82	103,06	0,05	0,10
θ=10°C, Συσκευασμένα τεμαχισμένα φύλλα (PC)												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	h_{CM}	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$h_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	110,01	0,33	0,65	116,82	0,05	0,10
4	2,14	0,18	0,36	3,97	0,01	0,01	111,74	0,37	0,72	116,87	0,05	0,10
10	5,02	0,20	0,39	8,73	0,01	0,02	110,97	0,35	0,69	116,19	0,05	0,10

Όπως και στην 1η πειραματική σειρά, ομοίως από τους πίνακες 3.4 και 3.5 παρατηρούμε ότι η νέα μέθοδος προσδιορίζει σε όλες τις περιπτώσεις αποχρώσεις στην περιοχή του πράσινου (103,06≤h≤119,77) (βλ. κεφ 1-παρ. 2.4). Στις ίδιες αποχρώσεις, εντός της περιοχής του πράσινου, καταλήγει και η ανάλυση των δεδομένων του χρωματομέτρου (109,14≤h≤118,36).

Τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm, είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM όπως και στην 1η πειραματική

σειρά Το γεγονός αυτό οφείλεται (ομοίως με την 1η πειραματική σειρά) στο μεγαλύτερο αριθμό μετρήσεων (περίπου 20000-30000 στα τεμαχισμένα και περίπου 90000-110000 στα ολόκληρα φύλλα).

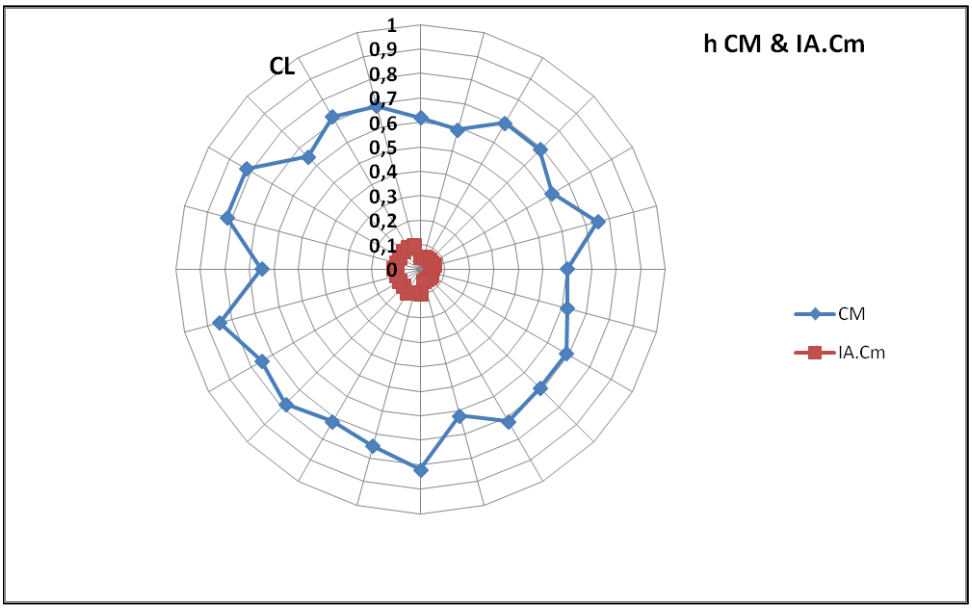
Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα όρια εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα ΔE* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.4 Συγκεντρωτική παρουσίαση CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα ΔE* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στα όρια εμπιστοσύνης CL της χρωματικής παραμέτρου ΔE* μεταξύ των δύο τεχνικών υπολογισμού της. Έτσι στην περίπτωση της τεχνικής CM οι τιμές του CL φτάνουν το 0,42, ενώ στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές δεν ξεπερνούν 0,02 (21 φορές μικρότερο).

Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα h των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.5 Συγκεντρωτική παρουσίαση των ορίων εμπιστοσύνης (CL) του χρωματικού παράγοντα h, που υπολογίστηκε για τις δύο τεχνικές CM & IA.Cm

Από το ανωτέρω σχήμα προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης CL της χρωματικής παραμέτρου h στην περίπτωση των μετρήσεων με τη τεχνική CM είναι 0,85 ενώ στην περίπτωση των μετρήσεων με την τεχνική IA.Cm είναι 0.1 (8,5 φορές μικρότερο). Όπως και στην περίπτωση του χρωματικού παράγοντα ΔE^* έτσι και στην περίπτωση της χροιάς h, τα διαστήματα εμπιστοσύνης των μετρήσεων οι οποίες προέκυψαν με τη χρήση της νέας τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα (Χατζής κ.α 2013).

Ακολουθώντας τη μέθοδο επεξεργασίας της $1^{ης}$ πειραματικής σειράς διενεργήθηκε ο έλεγχος της γραμμικής ισχύος των παραμέτρων ΔE^* και h που υπολογίστηκαν από τις δύο τεχνικές, σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης. Τα αποτελέσματα ελέγχου της ισχύος γραμμικότητας των μεταβολών των παραμέτρων ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, h_{CM}, και $h_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών ως προς το χρόνο συντήρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.6. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστή συσχέτισης του Pearson αφού πρόκειται για ζεύγη ποσοτικών μεταβλητών. Από την ανάλυση διαπιστώθηκε η ύπαρξη ασθενούς έως πολύ ισχυρής γραμμικότητας στις μεταβολές των παραμέτρων h & ΔE^* της τεχνικής CM. Στην περίπτωση της νέας τεχνικής IA.Cm διαπιστώθηκε η πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση για κάθε χειρισμό και θερμοκρασία, εκτός από την περίπτωση UC-0^oC στην οποία η μεταβολή παρουσιάζει ισχυρή γραμμική συσχέτιση.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η σημαντικότερη διαφορά στη μέθοδο χρωματομέτρησης των 2 πειραματικών σειρών είναι η ύπαρξη σταθερού, κατάλληλου φωτισμού (2^{η} πειραματική σειρά), συμπεραίνουμε ότι αυτό αποτελεί την αιτία για την παραπάνω παρατήρηση.

Πίνακας 3.6 Συντελεστές α και β της γραμμικής σχέσης $\Delta E^*=\alpha t_{sp}+\beta$ και $h= \alpha t_{sp}+\beta$ των παραμέτρων ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, h_{CM} και $h_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων (t_{sp}) καθώς και οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης αυτών

0°C	**h_{CM}**			**$h_{IA.Cm}$**			**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**		
	α	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	-0,23	117,1	0,97^{g}	0,50	108,6	0,99^{g}	0,34	0,00	0,70^{e}	0,52	0,00	0,78^{f}
UC	-0,41	115,8	0,99^{g}	0,49	108,5	0,99^{g}	0,44	0,00	0,92^{g}	0,54	0,00	0,80^{g}
PF	0,10	114,9	0,81^{g}	0,40	107,4	0,99^{g}	0,42	0,00	0,98^{g}	0,56	0,00	0,96^{g}
PC	0,06	112,8	0,55^{e}	-0,,27	105,9	0,99^{g}	0,46	0,00	0,88^{g}	0,88	0,00	0,99^{g}
10°C	**h_{CM}**			**$h_{IA.Cm}$**			**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**		
t_p	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**
UF	0,03	117,3	0,32^{d}	0,22	111,9	0,95^{g}	0,19	0,00	0,57^{e}	0,33	0,00	0,96^{g}
UC	0,04	111,4	0,14	0,11	117,0	0,95^{g}	0,27	0,00	0,48^{d}	0,69	0,00	0,97^{g}
PF	0,04	117,2	0,63^{e}	0,50	108,9	0,99^{g}	0,44	0,00	0,84^{g}	0,19	0,00	0,99^{g}
PC	0,08	110,5	0,45^{d}	-0,07	117,0	0,88^{g}	0,51	0,00	0,99^{g}	0,19	0,00	0,90^{g}

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

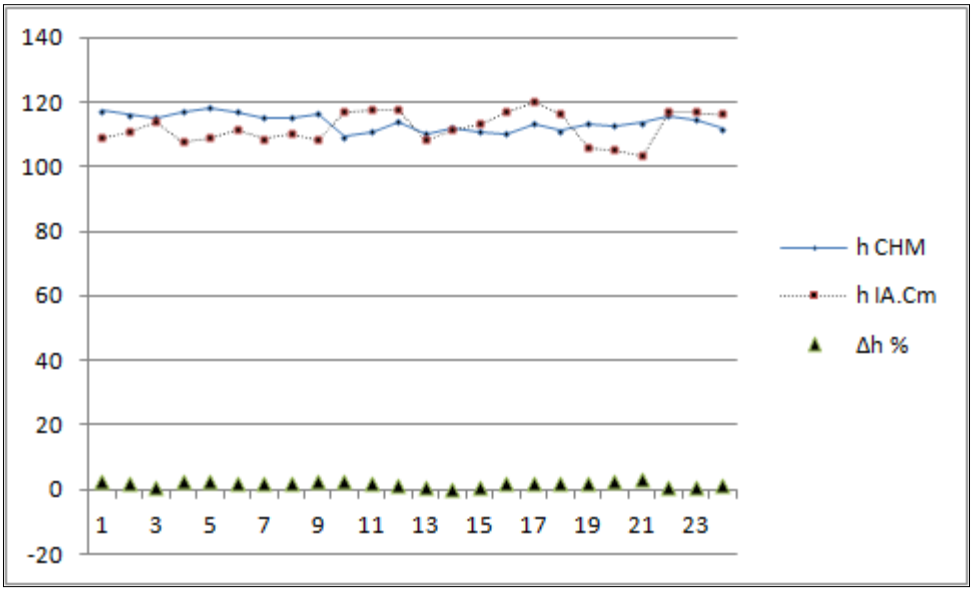
$0.3 \leq r < 0.5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: d

$0.5 \leq r < 0.7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: e

$0.7 \leq r < 0.8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: f

$0.8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: g

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται οι τιμές της χροιάς (h) που υπολογίστηκαν με τις τεχνικές CM & IA.Cm καθώς και η επί τοις εκατό απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CM}$, κατά αντιστοιχία, για κάθε χειρισμό.



Σχήμα 3.6 Τιμές γωνίας χροιάς(h) των τεχνικών IA.Cm & CM για κάθε περίπτωση καθώς και η επί τοις εκατό απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς αυτών $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CM}$

Η μεγαλύτερη απόλυτη διαφορά της γωνίας χροιάς Δh=2.2% εμφανίζεται στην περίπτωση του συσκευασμένου δείγματος τεμαχισμένων φύλλων μαρουλιού στους 0^{o}C. Η μικρότερη απόλυτη διαφορά, Δh=0.1% παρουσιάζεται στην περίπτωση των ασυσκεύαστων τεμαχισμένων φύλλων στους 0^{o}C.

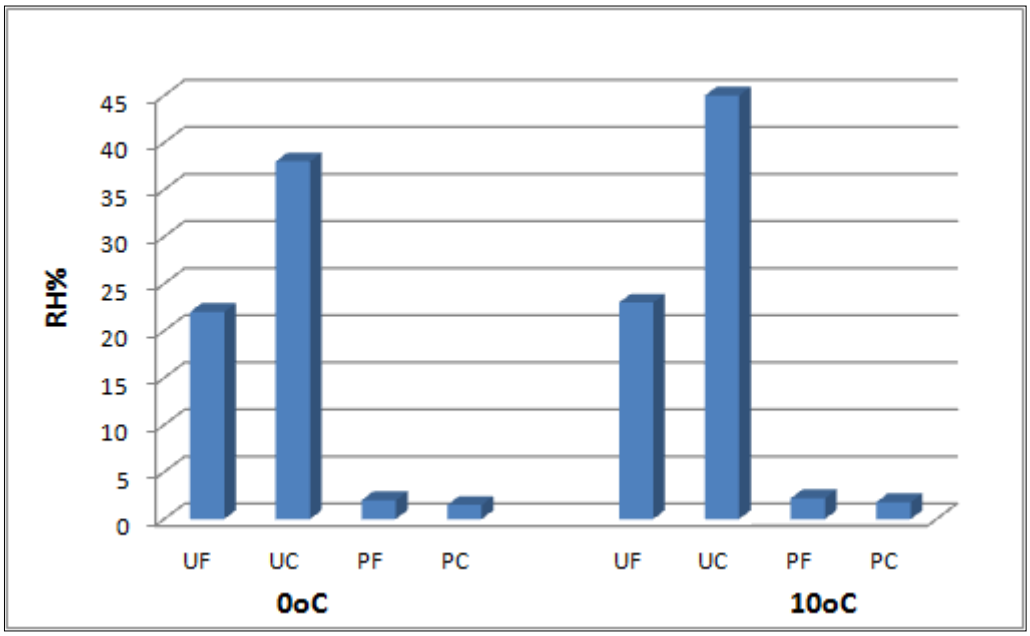
Θα πρέπει να τονιστεί ότι το παραπάνω αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με αυτό της $1^{ης}$ πειραματικής σειράς. Η επανάληψη της παρατήρησης αυτής τεκμηριώνει τη μεγάλη αξιοπιστία της νέας μεθόδου.

Η ύπαρξη σταθερού τεχνητού φωτισμού στη $2^{η}$ πειραματική σειρά όπου η λήψη των εικόνων έγινε σε φωτογραφικό κλωβό, επηρεάζει στατιστικά σημαντικά (σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05) την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης των μεταβολών της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^{*} και της χροιάς h στην περίπτωση της νέας τεχνικής IA.Cm.

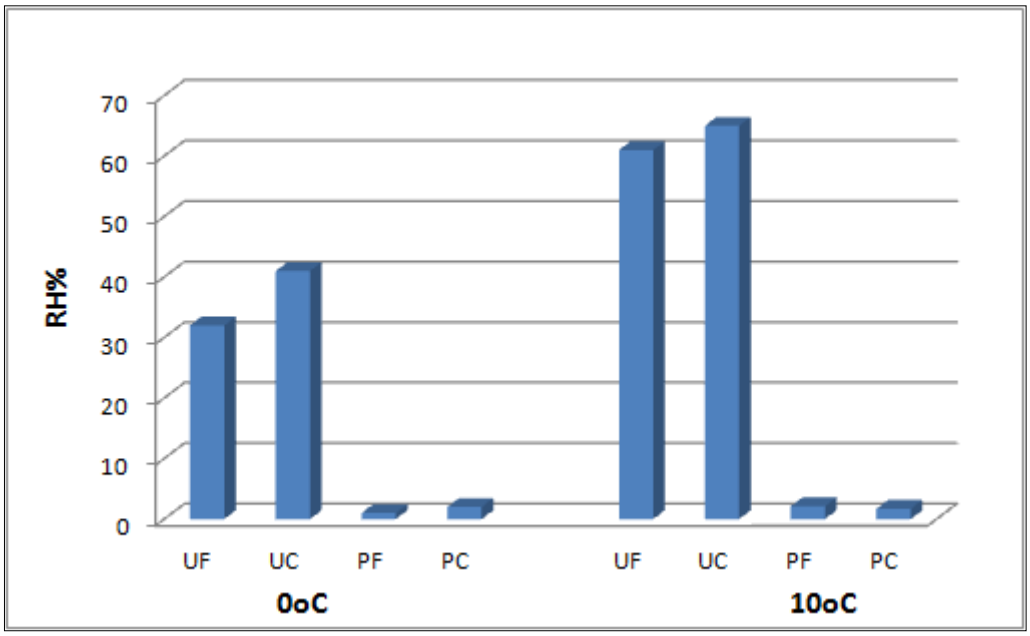
3.2 Μεταβολή υγρασίας και χρώμα

Η % απώλεια υγρασίας (% dH) των ασυσκεύαστων και συσκευασμένων ολόκληρων και τεμαχισμένων φύλλων στους 0°C και 10°C παρουσιάζεται στα σχήματα 3.7 και 3.8 Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η συσκευασία επηρέασε σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας (0,05) την απώλεια υγρασίας.

Τα ασυσκεύαστα ολόκληρα (UF) και τεμαχισμένα φύλλα (UC) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απώλειες καθ΄όλη τη διάρκεια συντήρησης και στις δυο θερμοκρασίες των δύο πειραματικών σειρών (επίπεδο σημαντικότητας 0,05). Αντίθετα τα συσκευασμένα ολόκληρα (PF) και τεμαχισμένα φύλλα (PC) χαρακτηρίζονται από στατιστικά μικρότερη απώλεια μάζας (p=0,05).



Σχήμα 3.7 Απεικόνιση των απωλειών μάζας στο τέλος της συντήρησης των τεσσάρων χειρισμών στους 0°C και 10 °C της 1ης πειραματικής σειράς



Σχήμα 3.8 Απεικόνιση των απωλειών μάζας στο τέλος της συντήρησης των τεσσάρων χειρισμών στους 0°C και10°C της 2ης πειραματικής σειράς

Η μεταβολή της υγρασίας σε κάθε περίπτωση είναι γραμμική με πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση. Η γραμμική μεταβολή είναι της μορφής $RH=\alpha*t_{sp}$ (Πίν.3.7)

Πίνακας 3.7 Κλίσεις (α) και αντίστοιχοι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης (r) της γραμμικής μεταβολής των απωλειών μάζας των φύλλων μαρουλιού σ΄ όλες τις θερμοκρασίες και χειρισμούς

Θερμοκρασία συντήρησης (°C)	Χειρισμός	1η πειραματική σειρά		2η πειραματική σειρά	
		α	r	α	r
0°C	UF	2,63	0,93	3,75	0,85
	UC	4,17	0,96	4,80	0,90
	PF	0,42	0,81	0,41	0,80
	PC	0,11	0,94	0,12	0,90
10°C	UF	3,16	0,90	6,90	0,98
	UC	5,60	0,99	7,96	0,96
	PF	0,20	0,99	0,20	0,99
	PC	0,20	0,99	0,33	0,93

Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης διασποράς σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05 των παραμέτρων ΔE^* και h τα οποία προέκυψαν από τις δυο μεθόδους μέτρησης του χρώματος CM και IACm στη θερμοκρασία 0°C.

Πίνακας 3.8 Αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης διασποράς για τους χρωματικούς παράγοντες ΔE* & h των δυο τεχνικών της 1ης & 2ης πειραματικής σειράς στη θερμοκρασία 0°C.

Αξιολ/νος παράγοντας	Ανεξάρτητος παράγοντας	Sum of Square	F-ratio	P-value
ΔE^*_{CM} 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	778,05	22,32	0,75
ΔE^*_{CM} 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	699,84	2,24	0,65
$\Delta E^*_{IA.Cm}$ 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	689,58	7,75	0,45
$\Delta E^*_{IA.Cm}$ 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	69,71	1,58	0,49
h_{CM} 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	994,25	2,85	0,69
h_{CM} 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	450,82	4,27	0,48
$h_{IA.Cm}$ 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	830,95	9,86	0,75
$h_{IA.Cm}$ 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1100,91	8,45	0,78
dH 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1132,45	79,45	**0,01**
dH 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1586,25	84,32	**0,02**

Με κόκκινη επισήμανση επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση.

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνεται ότι η συσκευασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά (p=0,05) τις χρωματικές παραμέτρους ΔE* και h και στις δύο τεχνικές υπολογισμού τους (CM & IACm), κατά την συντήρηση στους 0°C. Η συσκευασία στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας επηρέασε μόνο την απώλεια υγρασίας dH.

Στον πίνακα 3.9, (όπως και στον πίνακα 3.8), παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης διασποράς σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05, των παραμέτρων ΔE* και h τα οποία προέκυψαν από τις δυο μεθόδους μέτρησης του χρώματος CM και IACm στην περίπτωση των δειγμάτων που συντηρήθηκαν στους 10°C.

Πίνακας 3.9 Αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης διασποράς για τους χρωματικούς παράγοντες ΔE* & h των δυο τεχνικών (CM και IACm**) της 1ης & 2ης πειραματικής σειράς στη θερμοκρασία 10°C.**

Αξιολ/νος παράγοντας	Ανεξάρτητος παράγοντας (συσκευασία)	Sum of Square	F-ratio	P-value
ΔE^*_{CM} 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	778,05	33,39	0,68
ΔE^*_{CM} 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	589,84	3,32	0,59
$\Delta E^*_{IA.Cm}$ 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	586,58	8,82	0,64
$\Delta E^*_{IA.Cm}$ 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	79,74	4,62	0,63
h_{CM} 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	882,32	3,23	0,56
h_{CM} 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	556,45	6,32	0,63
$h_{IA.Cm}$ 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	739,81	9,86	0,75
$h_{IA.Cm}$ 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1095,94	6,49	0,68
dH 1η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1099,45	69,45	**0,02**
dH 2η πειρ. σειρά	Συσκευασία	1482,32	74,99	**0,02**

Με κόκκινη επισήμανση επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση. Με* σημαίνεται η ύπαρξη ταυτόχρονης επίδρασης από τους αναφερόμενους ανεξάρτητους παράγοντες.

Από τον πίνακα 3.9 προκύπτει ότι η συσκευασία δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά (p=0,05) την ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* και την γωνία χροιάς h των δυο τεχνικών CM & IACm, των δειγμάτων που συντηρήθηκαν στους 10°C. Η συσκευασία στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας επηρέασε μόνο την απώλεια υγρασίας dH.

4. Συμπεράσματα

1. Η γωνία χροιάς $h_{IA.Cm}$ κυμαίνεται σε διαστήματα τιμών πράσινης απόχρωσης όπως και οι αντίστοιχες τιμές h_{CHM}, και στις δύο πειραματικές σειρές. Το αποτέλεσμα αυτό δείχνει ότι η νέα αντικειμενική μέθοδος δεν παρουσιάζει σημαντικά σφάλματα.
2. Με τη νέα μέθοδο μέτρησης του χρώματος εκτιμάται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων μαρουλιού (κάθε μέτρηση με χρωματόμετρο προσδιορίζει το χρώμα σε επιφάνεια μόνο 50,24 mm^2). Αυτό αποτελεί βασική αιτία των υπαρχουσών διαφορών στα αποτελέσματα των δύο τεχνικών.
3. Τα όρια εμπιστοσύνη CL των μέσων τιμών που προέκυψαν από τη νέα μέθοδο είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα του χρωματομέτρου. Για τον παράγοντα ΔE^* το όριο εμπιστοσύνης είναι 21-41 φορές μικρότερο και για τον παράγοντα το όριο εμπιστοσύνης h είναι έως 8,5 φορές μικρότερο.
4. Η επί της εκατό, απόλυτη διαφορά του παράγοντα της γωνίας χροιάς, $\Delta h=h_{IA.Cm}-h_{CHM}$ κυμαίνεται από 0,3% έως 2,9% στην περίπτωση λήψης και ανάλυσης εικόνας σε συνθήκες φυσικού φωτισμού ($1^{η}$ πειραματική σειρά). Στη $2^{η}$ πειραματική σειρά (λήψη εικόνων με τεχνητό φωτισμό σε φωτογραφικό κλωβό), η προαναφερόμενη απόλυτη διαφορά κυμαίνεται από 0,1% έως 2,2%.
5. Η ύπαρξη συσκευασίας επηρέασε σημαντικά μόνο την απώλεια υγρασίας και όχι την μεταβολή του χρώματος όπως αυτή έχει εκφραστεί από τις χρωματικές παραμέτρους ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* και χροιάς h για τις δύο τεχνικές και όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση.
6. Η ύπαρξη σταθερού τεχνητού φωτισμού, επηρεάζει σημαντικά (σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05) την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης των μεταβολών της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* και της χροιάς h στην περίπτωση της νέας τεχνικής IA.Cm.
7. Η νέα μέθοδος είναι χαμηλότερου κόστους και σημαντικά γρηγορότερη σε σχέση με τη μέθοδο του χρωματομέτρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΛΕΥΚΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Περίληψη

Στη μελέτη η οποία πραγματοποιήθηκε, εξετάστηκε η εφαρμογή της τεχνικής μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων *(Image Analysis technique)* σε λευκό μανιτάρι. Η μεταβολή του χρώματος μελετήθηκε, συγκριτικά, με παράλληλες μετρήσεις με χρωματόμετρο.

Οι χρωματικές παράμετροι οι οποίες μελετήθηκαν είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* καθώς και η παράμετρος της φωτεινότητας L^*. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των δύο μεθόδων προσδιορισμού του χρώματος προκύπτει ότι, η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*, είναι γραμμική συνάρτηση του χρόνου συντήρησης των δειγμάτων. Επιπλέον παρατηρήθηκε ισχυρή γραμμική συσχέτιση του παράγοντα L^* των δυο τεχνικών L^*_{CM} & $L^*_{IA.Cm}$ με το χρόνο συντήρησης.

Η παραγοντική ανάλυση διασποράς *(Multifactor Anova)* έδειξε ότι οι παράμετροι ΔE^* και L^*, επηρεάζονται σημαντικά από το χρόνο συντήρησης καθώς και από τη θερμοκρασία συντήρησης (επίπεδο σημαντικότητας 0,95).

Τα όρια εμπιστοσύνης (CL) στην περίπτωση της τεχνικής ανάλυση ψηφιακών εικόνων (IA.Cm) είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου (CM) (28 φορές στα αποτελέσματα της ολικής μεταβολής του χρώματος (ΔE^*) και 22 φορές στην περίπτωση του χρωματικού παράγοντα L^*). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η νέα τεχνική (IA.Cm) εκτιμά το χρώμα όλης σχεδόν της επιφάνειας και όχι μόνο μίας μικρής επιφάνειας.

1. Εισαγωγή

Υψηλής ποιότητας λευκά μανιτάρια χαρακτηρίζονται αυτά τα οποία είναι φρέσκα, χωρίς αλλοιώσεις και χτυπήματα, είναι καθαρά και ομοιόμορφου σχήματος. Το χρώμα των μανιταριών είναι το πιο σημαντικό κριτήριο ποιότητας για τους καταναλωτές. Η καλλιεργούμενη ποικιλία μανιταριού (Agaricus bisporus) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη σε χρωματικές αλλοιώσεις που μπορούν να προκληθούν εξαιτίας φυσιολογικής υποβάθμισης αλλά και λόγω βακτηριδιακών ή και μυκητολογικών προσβολών (Vizhanyo & Felfoldi, 2000).

Ο ρυθμός αναπνοής των μανιταριών είναι υψηλός σε σύγκριση με άλλα οπωρολαχανικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον αυξημένο ρυθμό ποιοτικής υποβάθμισης μετά την συγκομιδή τους (Weijn et al. 2009; Μανωλοπούλου et al.

2005). Κατά την συντήρηση του λευκού μανιταριού, η ποιότητα του υποβαθμίζεται εξαιτίας κυρίως καστάνωσης (Lukasse & Polderdijk, 2003).

Το χρώμα, όπως έχει αναφερθεί, είναι μια πολύ σημαντική ποιοτική ιδιότητα (Luzuriage & Balaban 2002; Kays, 1999). Ειδικά για τα λευκά μανιτάρια το χρώμα είναι το πιο σημαντικό κριτήριο αποδοχής από τον καταναλωτή (Weijn et al. 2013; Bobelyn et al. 2006; Brennan & Gormley, 1998). Ο αποχρωματισμός προκαλείται από το ένζυμο τυροσινάση, το οποίο αποτελεί καταλύτη της οξείδωσης φαινολικών συστατικών οδηγώντας στο σχηματισμό μελανίνης.

Στην περίπτωση του λευκού μανιταριού (Agaricus bisporus), η ανάλυση της εικόνας έχει χρησιμοποιηθεί στην ποιότητα και την αξιολόγηση του μεγέθους κατά τη διάρκεια της συγκομιδής από ρομποτικά συστήματα (Brosnan & Sun 2002). Επιπλέον, μελετήθηκε η καστάνωση κατά τη συντήρηση λευκού μανιταριού με ανάλυση ψηφιακών εικόνων από τους Aguirre et al. (2009).

Σκοπός της εργασίας ήταν να δοκιμαστεί η αξιοπιστία της νέας μεθόδου (προσαρμοσμένης και προγραμματισμένης στο CIEL*a*b*) μέτρησης του χρώματος ολόκληρων και τεμαχισμένων λευκών μανιταριών. Για το σκοπό αυτό έγινε σύγκριση της νέας μεθόδου με αυτή του χρωματομέτρου.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Στον πίνακα 2.1 καταγράφονται οι επεξηγήσεις των συμβόλων των χρησιμοποιηθέντων παραμέτρων.

Πίνακας 2.1 Επεξήγηση και ερμηνεία συμβόλων

Συμβολισμός	Εξίσωση Υπολογισμού/ Μονάδα Μέτρησης	Ερμηνεία
ΔE^*	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$	Ολική μεταβολή χρώματος
L^*		Χρωματικός παράγοντας L^* (λευκό)
θ	^oC	Θερμοκρασία
t_{sp}	Ημέρες	Χρόνος συντήρησης δειγμάτων
a		Ρυθμός αποχρωματισμού (συντελεστής γραμμικής εξίσωσης μεταβολής του χρώματος)
CM		Τεχνική μέτρησης χρώματος με χρωματόμετρο
IA.Cm		Τεχνική μέτρησης χρώματος

		ανάλυση ψηφιακών εικόνων
S		Τεμαχισμένο μανιτάρι
W		Ολόκληρο μανιτάρι

2.1 Προετοιμασία δειγμάτων

Φρέσκα μανιτάρια (καλλιεργούμενου μανιταριού Agaricus bisporus, στέλεχος X–28, στάδιο 2 στην ανάπτυξη) συλλέχθηκαν από έναν τοπικό καλλιεργητή (Βασιλικά Ευβοίας). Μανιτάρια ολόκληρα και κατάλληλα προτεμαχισμένα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο μια μέρα μετά την συγκομιδή τους σε περιέκτες υπό ψύξη (θ<5^{o}C). Κατά την παραλαβή του πειραματικού υλικού στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος με κριτήρια την εμφάνιση και το μέγεθος.

Κατεστραμμένα, μεγάλου μεγέθους καθώς και πολύ μικρά τεμαχισμένα και ολόκληρα μανιτάρια απορρίφθηκαν. Μετά τη διαλογή τα μανιτάρια τοποθετήθηκαν σε περιέκτες, κατάλληλους για επαφή με τρόφιμα, (περίπου 100 g προϊόντων ανά δίσκο) ως τεμαχισμένα σε ισομεγέθης φέτες (S), και δέκα τεμάχια ανά δίσκο ως μη τεμαχισμένα (W). Η αποθήκευση πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες 0^{o}C, 5^{o}C, 10^{o}C και 20^{o}C (90% < RH < 95%). Τέλος σε όλους τους περιέκτες χρησιμοποιήθηκε κάλυψη με πλαστική μεμβράνη (12 μm) για προστασία των δειγμάτων και κύριο σκοπό την ελαχιστοποίηση της απώλειας υγρασίας. Σε κάθε θερμοκρασία και χειρισμό δημιουργήθηκαν έξι δείγματα. Το πείραμα επαναλήφθηκε τρεις φορές.

Η προετοιμασία των δειγμάτων έγινε λαμβάνοντας όλα τα προβλεπόμενα μέτρα ορθής υγιεινής πρακτικής.

2.2 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα μετρήθηκε με δύο τεχνικές μέτρησης:

- ✓ Χρωματόμετρο
- ✓ Ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Για τη μέτρηση του χρώματος και με τις δυο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε, το χρωματικό μοντέλο CIEL*a*b* (HunterLab, 1996) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στην αξιολόγηση των τροφίμων (Yam and Papadakis, 2004; Chatzis et. al, 2007) (βλ. Παρ. 2.4.1, 1^{ου} κεφαλαίου).

Οι μελετηθέντες παράγοντες και στις δύο τεχνικές ήταν η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* και η φωτεινότητα L*:

$$\Delta E^{*} = \sqrt{(\Delta L^{*})^{2} + (\Delta a^{*})^{2} + (\Delta b^{*})^{2}} \quad (2.1)$$

2.2.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο

Οι μετρήσεις του χρώματος των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν σε προκαθορισμένες ημερομηνίες όπως επεξηγείται στον Πίνακα 2.2 (10 φέτες τεμαχισμένου μανιταριού-2 μετρήσεις/ φέτα) από το σύνολο των 100 g που περιέχονται σε κάθε ένα από τους τρεις περιέκτες.

Πίνακας. 2.2 Ημέρες μέτρησης χρώματος (0°C, 5°C, 10°C, 20°C)

Θ	t_{sp}					
0°C & 5°C	1η Μέρα διαλογής & ποιοτικού ελέγχου	4η	7η	12η	15η	18η
10 °C		3η	6η	11η		
20°C		3η	6η			

Παρόμοιο σχέδιο μέτρησης εφαρμόστηκε και στην περίπτωση των ολόκληρων μανιταριών.

Το χρωματόμετρο Minolta CR-300 πριν από κάθε έναρξη μετρήσεων βαθμονομήθηκε με χρήση της πρότυπης πλάκας CR-A43 (Yxy, χρωματικό μοντέλο) όπως προβλέπεται από τις οδηγίες χρήσης του οργάνου (Minolta, 1995).

2.2.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Οι μετρήσεις του χρώματος με τη νέα τεχνική πραγματοποιήθηκαν πριν ακρβώς από τις μετρήσεις του χρωματομέτρου. Η σειρά επιλέχθηκε προς αποφυγή πιθανής καστάνωσης στα σημεία επαφής και μέτρησης του χρώματος με το χρωματόμετρο η οποία θα είχε ως συνέπεια αλλοίωση των αποτελεσμάτων μέτρησης του χρώματος με την τεχνική IA.Cm.

Η τεχνική μέτρησης περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 3 του 2ου κεφαλαίου.

2.3 Στατιστική ανάλυση

Η επίδραση της θερμοκρασίας (θ) και του χρόνου συντήρησης (t_{sp}) στην ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^{*} μελετήθηκε με ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Στα

πλαίσια αυτής χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή LSD (Mahony, 1986) με λογισμικό Statgraphics Plus 5.1.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Χρωματικοί παράγοντες ΔE^*, L^*

3.1.1 Ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση ($p<0.05$) της θερμοκρασίας συντήρησης θ στην ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*_{CM} & $\Delta E^*_{IA.Cm}$.

Η ολική μεταβολή του χρώματος, η οποία οφείλεται στην σταδιακή καστάνωση των δειγμάτων, μεταβάλλεται γραμμικά τόσο για τα ολόκληρα (W) όσο και για τα τεμαχισμένα (S) μανιτάρια σύμφωνα με την σχέση 3.1.

$$\Delta E^* = a * t_{sp} \qquad (3.1)$$

Τα παραπάνω ισχύουν τόσο για τα αποτελέσματα μέτρησης με χρωματόμετρο (CM) όσο και για τα αποτελέσματα μέτρησης με ανάλυση εικόνας (IA.Cm) στις θερμοκρασίες 0 ^oC, 5 ^oC, 10 ^oC και 20 ^oC (Σχ. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

Η γραμμική συσχέτιση των αποτελεσμάτων της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^*, η οποία προκύπτει από τα πειραματικά δεδομένα των δύο τεχνικών, είναι θετική με υψηλούς συντελεστές συσχέτισης όπως αυτοί παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Σε κάθε περίπτωση η γραμμική συσχέτιση είναι πολύ ισχυρή. Η παρατήρηση αυτή οφείλεται στην μονοχρωματική λευκή χροιά των δειγμάτων (βλ. εικ.3.1). Επιπλέον από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι σε κάθε περίπτωση με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται ο ρυθμός (a) μεταβολής του χρώματος των δειγμάτων κάτι το οποίο είναι αναμενόμενο εξαιτίας της φυσιολογίας του προϊόντος. Ο μεγαλύτερος αποχρωματισμός εμφανίζεται στην περίπτωση της IA.Cm στους 20^oC.

Πίνακας 3.1. Ρυθμός μεταβολής και συντελεστές γραμμικής συσχέτισης της εξίσωσης 2.3 για τις τεχνικές CM & IA.Cm σε κάθε θερμοκρασία.

Θ	a W-IA.Cm	r	A W–CM	r	a S-IA.Cm	r	a S–CM	r
0 °C	0,30	0,92[g]	0,53	0,94[g]	0,34	0,95[g]	0,78	0,98[g]
5 °C	0,58	0,97[g]	0,90	0,98[g]	1,13	0,97[g]	0,78	0,97[g]
10 °C	1,64	0,98[g]	2,02	0,98[g]	1,89	0,99[g]	1,76	0,99[g]
20 °C	4,60	0,98[g]	2,50	0,94[g]	4,14	0,99[g]	3,26	0,99[g]

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

$0,3 \leq r < 0,5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: d

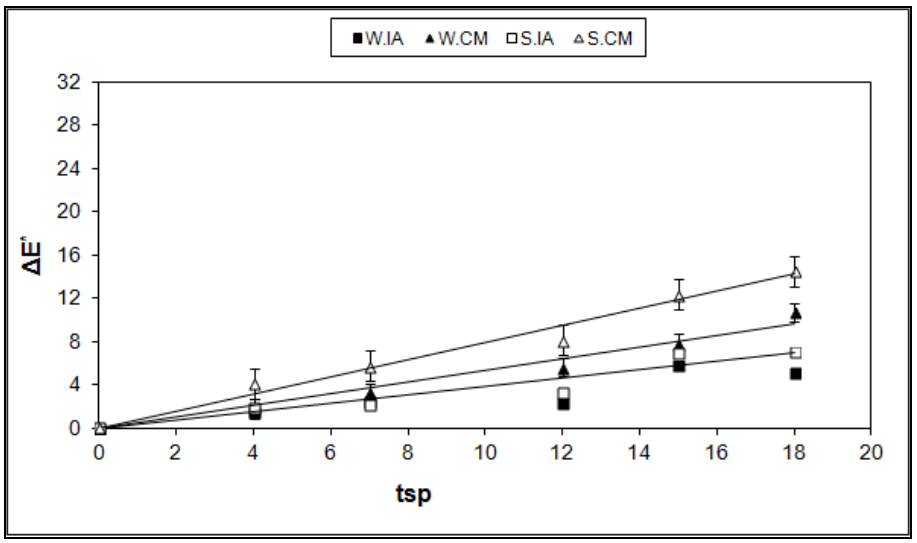
$0,5 \leq r < 0,7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: e

$0,7 \leq r < 0,8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: f

$0,8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: g

Στην περίπτωση των 20 °C η επιφανειακή καστάνωση ήταν εντονότερη κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και με τις δύο τεχνικές (Εικ.3.4).

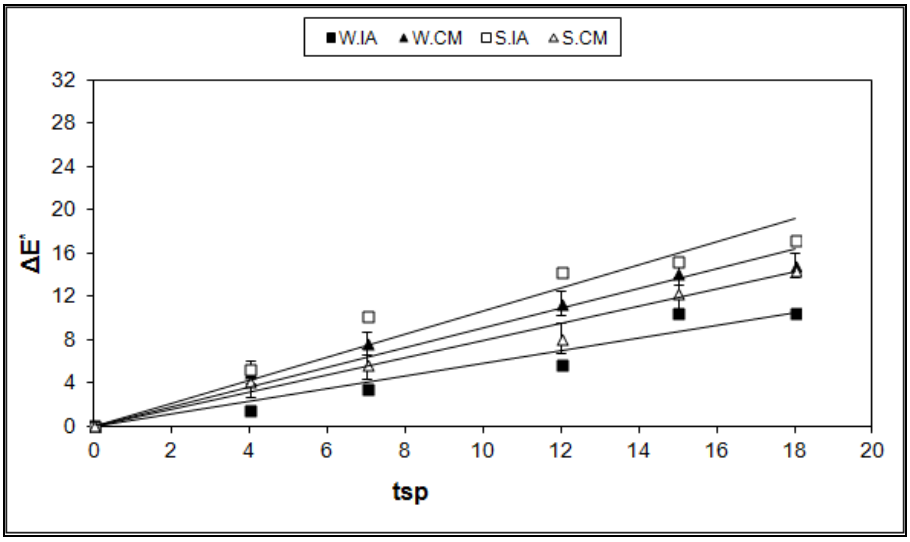
Οι διαφοροποιήσεις στους ρυθμούς μεταβολής του χρώματος οφείλεται στο ότι οι τεχνικές υποστηρίζονται από διαφορετικές διατάξεις (διαφορετικά τυχαία και συστηματικά σφάλματα) διαφορετικό φωτισμό λήψης εικόνων (HunterLab, 2000; Yang & Rodrıguez, 1997). Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί, η τεχνική ανάλυσης εικόνας IA.Cm αξιολογεί σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια δείγματος σε σχέση με την τεχνική CM (50,24 mm^2 ανά μέτρηση) (Minolta, 1995).



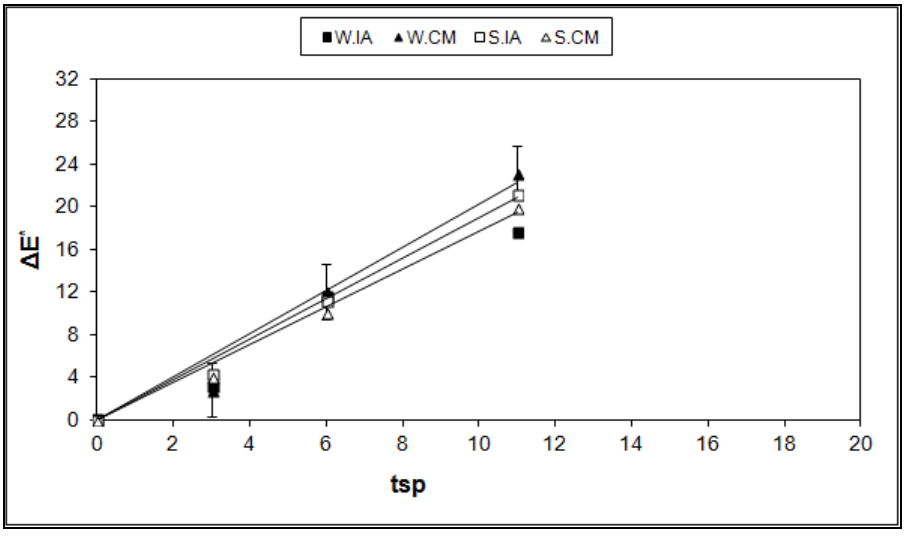
Σχήμα 3.1 Μεταβολή του παράγοντα ΔE^* ολόκληρων (W) & τεμαχισμένων (S) μανιταριών (W.IA.Cm ■; W.CM ▲; S. IA.Cm □; S.CM △) στους 0°C. Διακρίνονται τα διαστήματα της στατιστικής δοκιμής LSD.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων των δύο τεχνικών έδειξε ότι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* στους 10°C & 20 °C (Σχ. 3.3 & 3.4) είναι στατιστικά σημαντική ($p<0.05$) μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες τιμές στις θερμοκρασίες 0°C και 5°C (Σχ. 3.1 & 3.2), όπως ήταν αναμενόμενο.

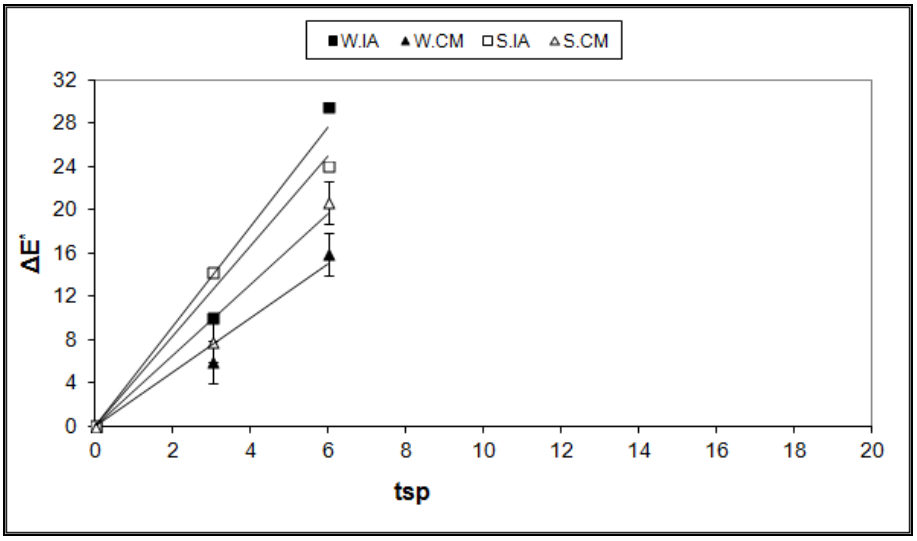
Η δοκιμή LSD ($p<0,05$) έδειξε ότι το χρώμα μεταβλήθηκε σημαντικά σε κάθε χειρισμό και θερμοκρασία, ανάμεσα στην 1η έως και την τελευταία μέρα μετρήσεων. Αυτό ισχύει και για τις δυο τεχνικές IA.Cm & CM.



Σχήμα 3.2 Μεταβολή του παράγοντα ΔE^* ολόκληρων (W) & τεμαχισμένων (S) μανιταριών (W.IA.Cm ■; W.CM ▲; S. IA.Cm □; S.CM △) στους 5°C. Διακρίνονται τα διαστήματα της στατιστικής δοκιμής LSD.



Σχήμα 3.3 Μεταβολή του παράγοντα ΔE^* ολόκληρων (W) & τεμαχισμένων (S) μανιταριών (W.IA.Cm ■; W.CM ▲; S. IA.Cm □; S.CM △) στους 10°C. Διακρίνονται τα διαστήματα της στατιστικής δοκιμής LSD.

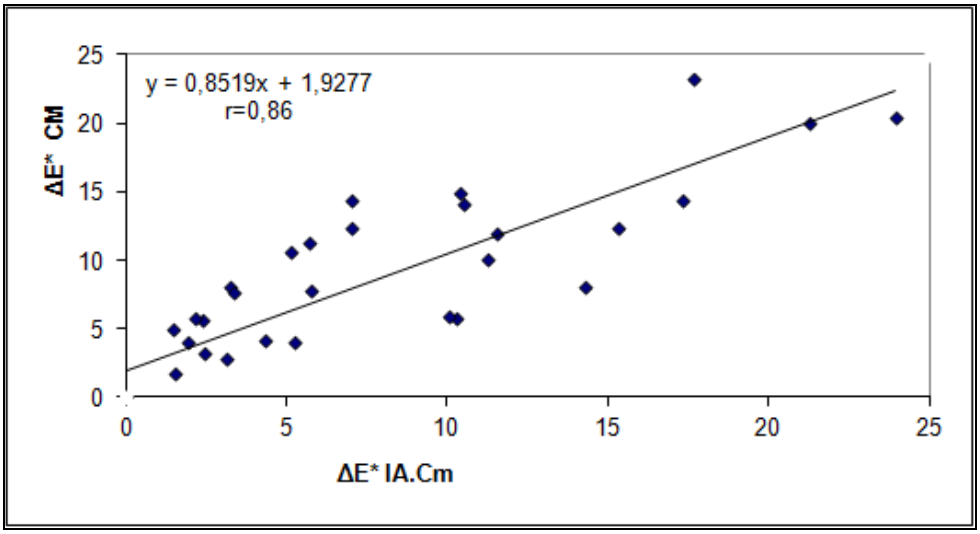


Σχήμα 3.4 Μεταβολή του παράγοντα ΔE* ολόκληρων (W) & τεμαχισμένων (S) μανιταριών (W.IA.Cm ■; W.CM ▲; S. IA.Cm □; S.CM △) στους 20°C. Διακρίνονται τα διαστήματα της στατιστικής δοκιμής LSD.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι παράμετροι $\Delta E^*_{IA.Cm}$ και ΔE^*_{CM} συσχετίζονται με ισχυρή γραμμική συσχέτιση r=0,86 (Σχ.3.5) της μορφής:

$$y = 0{,}8519x + 1{,}9277 \qquad (3.2)$$

όπου y: ΔE^*_{CM} και x: $\Delta E^*_{IA.Cm}$



Σχήμα 3.5 Συσχέτιση της ολικής μεταβολής χρώματος ΔE^*_{CM} & $\Delta E^*_{IA.Cm}$ εκτιμημένης με τις δύο τεχνικές.

Ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος a^* επηρεάζεται σημαντικά σε επίπεδο p<0,05 από τη θερμοκρασία συντήρησης θ σε κάθε περίπτωση.

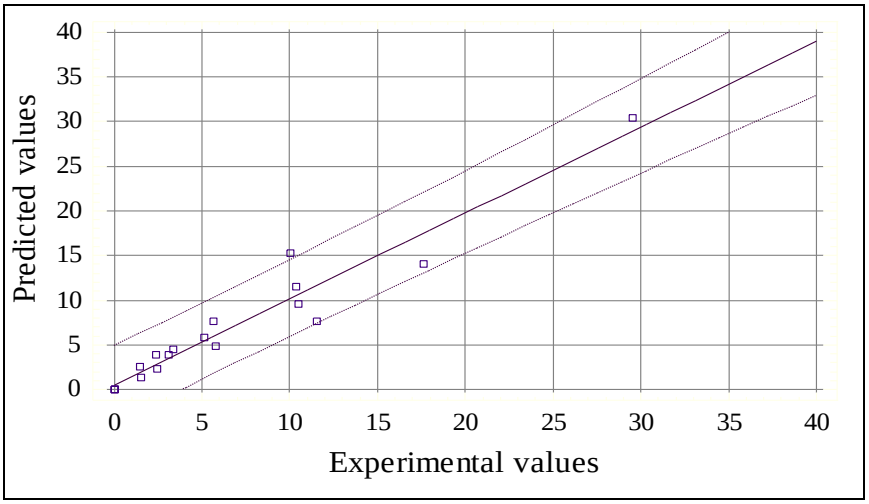
Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* που προέκυψε από την νέα τεχνική IA.Cm περιγράφεται από τα μοντέλα των σχέσεων 3.3 & 3.4 για τα ολόκληρα (W) και τεμαχισμένα (S) μανιτάρια αντίστοιχα.

W-IA $$\Delta E^* = (e^{-1.13538+0.138\theta}) \cdot t \quad (3.3)$$

S-IA $$\Delta E^* = (e^{-0.7489+0.117\theta}) \cdot t \quad (3.4)$$

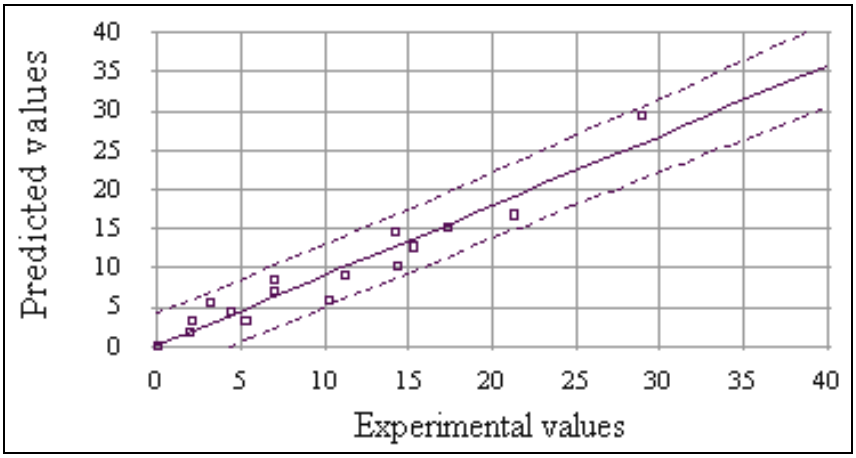
Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* επηρεάζεται από τις ανεξάρτητες παραμέτρους της θερμοκρασίας θ και του χρόνου συντήρησης t (F-Test, $p<0.01$).

Το μαθηματικό μοντέλο το οποίο περιγράφεται από την εξίσωση 3.3 παρουσιάζει υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R^2=95,11%, SEE=1,714 και RMSE=1,629. Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζονται διαγραμματικά οι προβλεπόμενες τιμές που προκύπτουν από το μοντέλο έναντι των πειραματικών (p=0,05).



Σχήμα 3.6 Πειραματικές τιμές έναντι προβλέψιμων από το μαθηματικό μοντέλο της σχέσης 3.3 για την τεχνική IA.Cm στα ολόκληρα μανιτάρια (W).

Το μαθηματικό μοντέλο το οποίο περιγράφεται από την σχέση 3.4, για τα τεμαχισμένα μανιτάρια (S), παρουσιάζει επίσης υψηλό συντελεστή προσδιορισμού R^2=94,31%, SEE=1,85 & RMSE=2,108. Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζονται οι προβλεπόμενες τιμές που προκύπτουν από το μοντέλο έναντι των πειραματικών (p=0,05).



Σχήμα 3.7 Πειραματικές τιμές έναντι προβλέψιμων από το μαθηματικό μοντέλο της σχέσης 3.4 για την τεχνική IA.Cm στα ολόκληρα μανιτάρια (S).

Εικ. 3.1 Ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια στην έναρξη του πειράματος

Εικ. 3.2 Ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια την 6η μέρα συντήρησης στους 0°C

Εικ. 3.3 Ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια την 6η μέρα συντήρησης στους 10°C

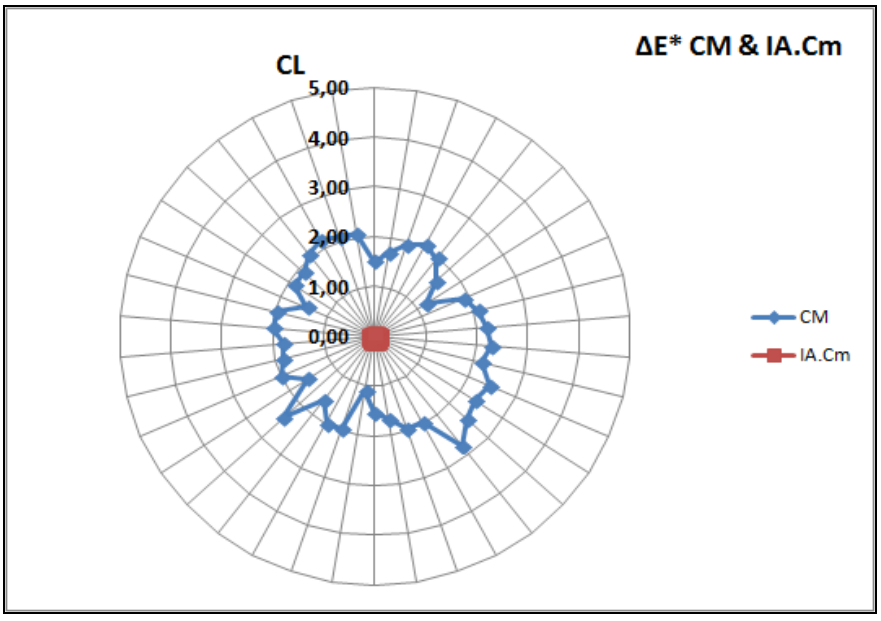
Εικ. 3.4 Ολόκληρα μανιτάρια την 6η μέρα συντήρησης στους 20°C

Εικ. 3.5 Ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια την 10η μέρα συντήρησης στους 0°C

Εικ. 3.6 Ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια την 10η μέρα συντήρησης στους 10°C

Τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.8) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα όρια εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα ΔE^* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.8 Συγκεντρωτική παρουσίαση ορίων εμπιστοσύνης CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα ΔE^* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Η ανάλυση έδειξε ότι ενώ στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές του CL δεν ξεπερνούν το 0,1 στην περίπτωση της τεχνικής CM η μέγιστη τιμή είναι 2,78 (28 φορές περίπου μεγαλύτερη).

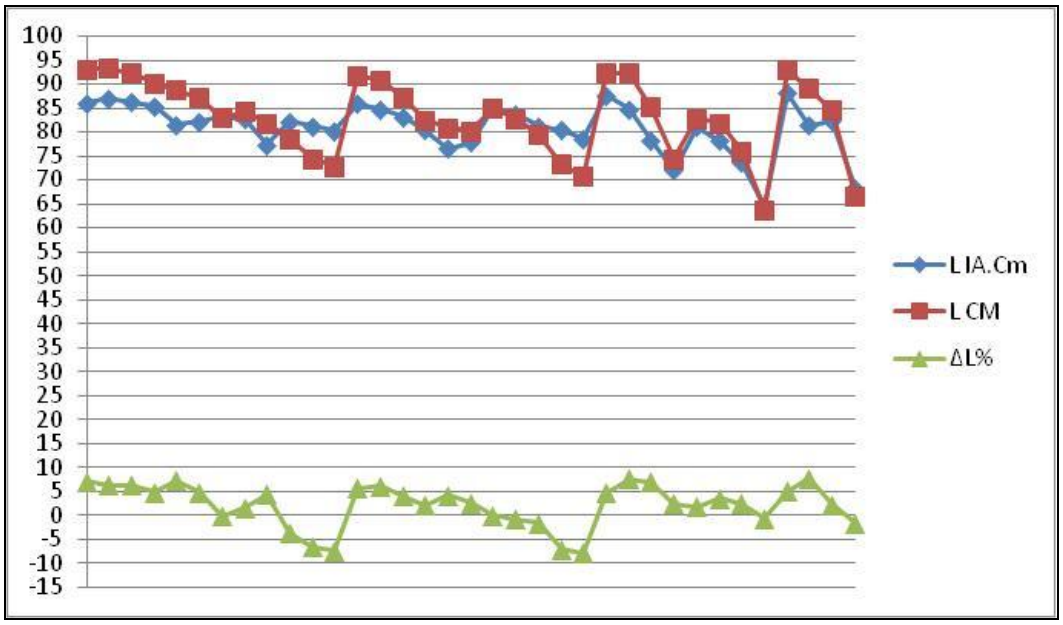
3.1.2 Χρωματικός παράγοντας L^*

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζονται οι τιμές των $L_{IA.Cm}$ & L_{CM} σε κάθε μέτρηση καθώς και η επί τοις εκατό διαφορά των παραπάνω αποτελεσμάτων:

$$\Delta L^*\% = L^*_{CM} - L^*_{IACm}$$

Από την ανάλυση προκύπτει ότι με το χρωματόμετρο κατά κανόνα υπερεκτιμάται ο παράγοντας L^* (Σχ. 3.9) κυρίως εξαιτίας της πολύ μικρής επιφάνειας μέτρησης του χρώματος σε σχέση με την τεχνική IA.Cm.

Η μέγιστη διαφορά του παράγοντα L^* που μετρήθηκε με τις δυο τεχνικές είναι 7,67%. Η διαφορά αυτή εμφανίζεται στην περίπτωση των ολόκληρων μανιταριών στου 20^{o}C.



Σχήμα 3.9 Μέσοι όροι χρωματικού παράγοντα L^* των δυο τεχνικών μετρήσεων IA.Cm & CM καθώς και αντίστοιχοι μέσοι όροι διαφορών $\Delta L^*\%$.

Η μέση διαφορά $\Delta L^*\%$ είναι 4,2%. Η τιμή αυτή κρίνεται ως ιδιαίτερα μικρή ενισχύοντας την αξιοπιστία της μεθόδου μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων στον ποιοτικό έλεγχο λευκού μανιταριού.

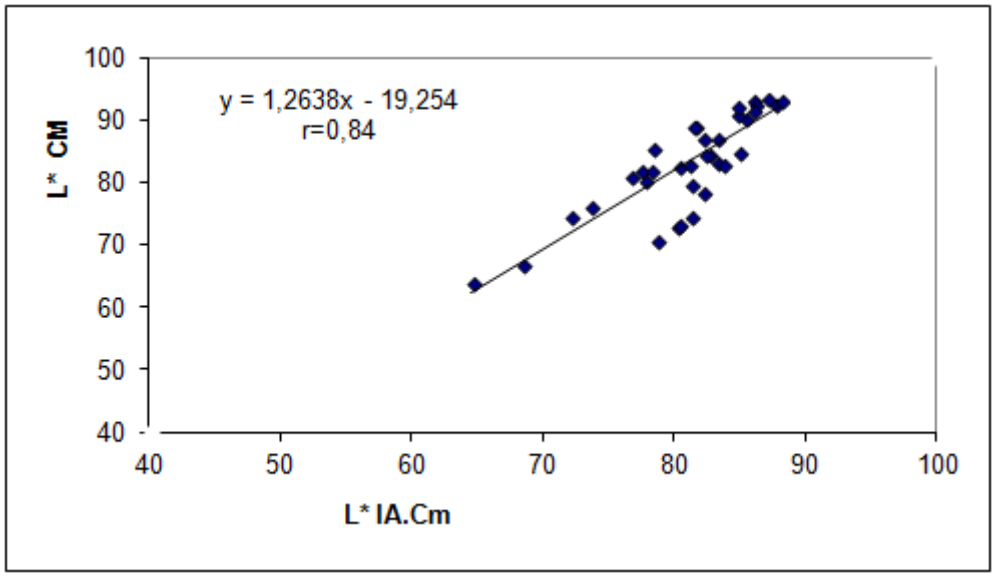
Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι οι παράμετροι L^*_{CM} & $L^*_{IA.Cm}$ συσχετίζονται με πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση r=0,84 (Σχ.3.10) της μορφής:

$$y = 1{,}2638x - 19{,}254 \qquad (3.5)$$

όπου y: L^*_{CM} και x: $L^*_{IA.Cm}$

Ο παράγοντας L^* σύμφωνα με τους Gormley και Mc Canna {Gormley (1976); Mc Canna & Gormley (1968)} αποτελεί σημαντικό ποιοτικό κριτήριο ποιοτικού

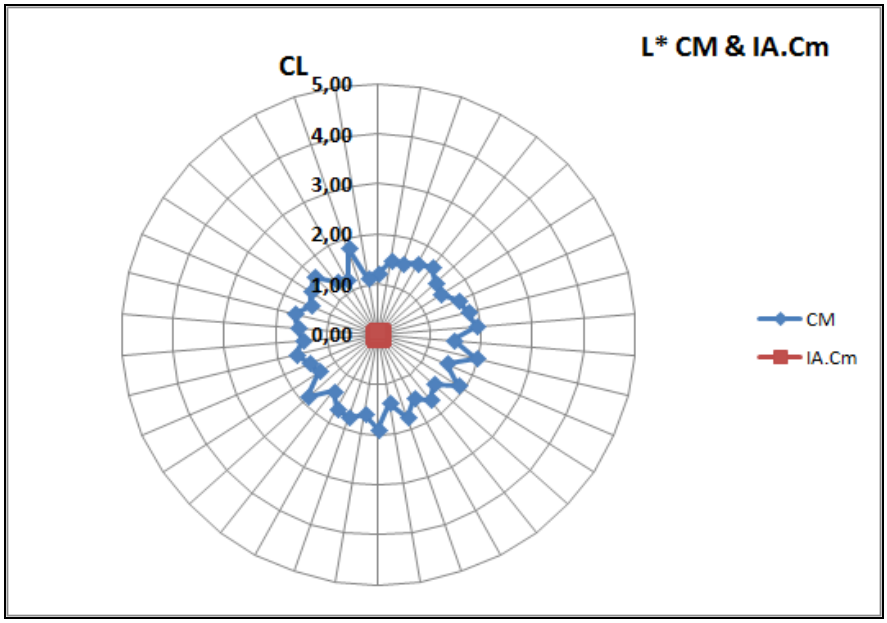
ελέγχου των μανιταριών. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται {Gormley (1975) και Burton et al. (1987)} ότι ο παράγοντας L^* σχετίζεται άμεσα με την επιλογή του προϊόντος από τους καταναλωτές στην αγορά.



Σχήμα 3.10 Συσχέτιση του χρωματικού παράγοντα L^*_{CM} τεχνικής με χρωματόμετρο έναντι του χρωματικού παράγοντα $L^*_{IA.Cm}$ της τεχνικής με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm για το χρωματικό παράγοντα L^* είναι, όπως και για το χρωματικό παράγοντα ΔE^*, σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM. Το γεγονός αυτό οφείλεται, σε κάθε περίπτωση, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο ότι με την τεχνική CM το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης προέκυψε από μικρότερο αριθμό επιμέρους μετρήσεων, ενώ στην περίπτωση της IA.Cm το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε από πολλές χιλιάδες μετρήσεις (Snedecor και Cochran, 1989) που αντιστοιχούν στις χρωματικές παραμέτρους L^*, a^* & b^* κάθε pixel ψηφιακής εικόνας των δειγμάτων μανιταριού (30000-40000 για τα τεμαχισμένα μανιτάρια και 90000-110000 για τα ολόκληρα).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.11) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα όρια εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα L^* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.11 Συγκεντρωτική παρουσίαση ορίων εμπιστοσύνης CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα L^* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Η ανάλυση έδειξε ότι ενώ στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές του CL δεν ξεπερνούν το 0,09 στην περίπτωση της τεχνικής CM η μέγιστη τιμή είναι 1,95 (22 φορές περίπου μεγαλύτερη).

4. Συμπεράσματα

1. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*, των δυο τεχνικών μέτρησης, μεταβάλλεται με ισχυρή γραμμική συσχέτιση με το χρόνο συντήρησης σε κάθε χειρισμό και θερμοκρασία. Η παρατήρηση αυτή οφείλεται στην μονοχρωματική λευκή χροιά των δειγμάτων.
2. Με τη νέα τεχνική εκτιμάται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων σε αντίθεση με το χρωματομέτρο, το οποίο αξιολογεί μόνο ένα μικρό μέρος της επιφάνειας των δειγμάτων.
3. Τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM (28 φορές στα αποτελέσματα του ΔE^* και 22 φορές μικρότερα στην περίπτωση του χρωματικού παράγοντα L^*). Το γεγονός αυτό οφείλεται στον μικρό αριθμό επιμέρους μετρήσεων με το χρωματόμετρο.
4. Ο ρυθμός μεταβολής του χρώματος επηρεάζεται σημαντικά σε επίπεδο $p<0,05$ από τη θερμοκρασία συντήρησης θ σε κάθε περίπτωση.
5. Η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* που προέκυψε από τις μετρήσεις των δυο τεχνικών, επηρεάζεται από τις ανεξάρτητες παραμέτρους της θερμοκρασίας θ και του χρόνου συντήρησης.
6. Από την ανάλυση προέκυψαν δυο νέα μαθηματικά μοντέλα προσδιορισμού της ολικής μεταβολής του χρώματος για τα ολόκληρα και τεμαχισμένα μανιτάρια με υψηλούς συντελεστές συσχέτισης R^2=95,11% & R^2=94,31% αντίστοιχα.
7. Οι παράγοντες ΔE^* και L^* των δύο τεχνικών IA.Cm και CM συσχετίζονται με το χρόνο συντήρησης γραμμικά με πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση (0,86 και 0,84 αντίστοιχα).
8. Η μέγιστη διαφορά του παράγοντα L^* των δύο τεχνικών είναι 7,67%. Η μέση διαφορά είναι 4,2%. Οι διαφορές αυτές κρίνονται πολύ μικρές ενισχύοντας την αξιοπιστία της νέας τεχνικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΤΟΜΑΤΑΣ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Περίληψη

Στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκε μέτρηση του χρώματος τομάτας βιολογικής καλλιέργειας με ανάλυση ψηφιακών εικόνων με παράλληλη χρήση χρωματόμετρου.

Ως Α' ύλη, χρησιμοποιήθηκαν τομάτες βιολογικής καλλιέργειας (υβρίδιο: Alma) σταδίου ωριμότητας 2, (Breaker) (Saltveit, 2005; Sargent and Moretti, 2004) οι οποίες καλλιεργήθηκαν υπό κάλυψη στην περιοχή Αγ. Στέφανου Αττικής. Το πείραμα επαναλήφθηκε 3 φορές.

Αμέσως μετά τη συγκομιδή οι τομάτες μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκε διαλογή. Οι κατάλληλοι για συντήρηση καρποί απολυμάνθηκαν με νερό που περιείχε 1 ταμπλέτα Suma Tab D4 tab (JOHNSON DIVERSEY) (1 ταμπλέτα ανά 20 λίτρα νερού). Η περίσσεια υγρασία απομακρύνθηκε με απορροφητικό χαρτί και οι καρποί τοποθετήθηκαν ασυσκεύαστοι σε ειδικά πλαστικά τελάρα που αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους θερμοκρασίας 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C.

Οι μετρήσεις του χρώματος των καρπών έγιναν με χρωματόμετρο MINOLTA CR–300. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν σε τέσσερα σημεία περιμετρικά από τη βάση του καρπού. Το χρωματικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το ευρέως χρησιμοποιούμενο στα τρόφιμα CIEL*a*b*, ενώ οι χρωματικές παράμετροι που μελετήθηκαν είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* (Total Colour Difference) (Minolta, 1995, HunterLab, 2001) όπως αυτός περιγράφεται από την εξίσωση: $\Delta E^{*} = \sqrt{(\Delta L^{*})^2 + (\Delta a^{*})^2 + (\Delta b^{*})^2}$ και ο λόγος a*/b*.

Για τη λήψη των ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Konica Minolta Dimage Z6 σε σταθερές συνθήκες φωτισμού. Η ανάλυση των ψηφιακών εικόνων πραγματοποιήθηκε με ειδικό λογισμικό ανάλυσης σε περιβάλλον Visual Basic.

Η παραγοντική ανάλυση διασποράς *(Multifactor Anova)* των αποτελεσμάτων της μέτρησης με χρωματόμετρο έδειξε ότι οι παράμετροι ΔE* και a*/b*, επηρεάζονται σημαντικά από το χρόνο καθώς και από τη θερμοκρασία συντήρησης. Σε όμοια αποτελέσματα κατέληξαν τα πειράματα και στην περίπτωση της χρωματομέτρησης με ανάλυση ψηφιακών εικόνων.

Η μεταβολή του χρώματος των τοματών στις τρεις θερμοκρασίες συντήρησης και με τις δύο μεθόδους προσδιορισμού δεν διαφέρει ποιοτικά. Το κύριο πλεονέκτημα της νέας μεθόδου είναι ότι αξιολογώντας πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια από αυτή της κλασσικής χρωματομετρικής μεθόδου, καθίσταται περισσότερο αντικειμενική κάτι το οποίο τεκμηριώνεται από τα σημαντικά μικρότερα όρια εμπιστοσύνης CL, σε κάθε περίπτωση.

1. Εισαγωγή

Οι μη συμβατικές πρακτικές καλλιέργειας γίνονται όλο και περισσότερο δημοφιλείς, με τη βιολογική γεωργία να αποτελεί σήμερα ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο τομέα της γεωργικής βιομηχανίας, σε πολλά μέρη του κόσμου. Η βιολογική γεωργία στηρίζεται σε βιολογικές, φυσικές και καλλιεργητικές τεχνικές για τη λίπανση των φυτών και την καταπολέμηση των ασθενειών τους, και αποτελεί μια εναλλακτική λύση (Vincent and Fleury, 2015). Η ανάπτυξη της βιολογικής γεωργίας επομένως σέβεται το οικοσύστημα, αποφεύγοντας τη χρήση αγροχημικών και φυτοφαρμάκων, ενώ συμβάλλοντας στην παραγωγή προϊόντων χωρίς χημικά υπολείμματα συνεισφέρει στη βελτίωση της ασφάλειας των τροφίμων (Carvalho P. F., 2006).

Οι καρποί της τομάτας είναι ευαίσθητοι στις χαμηλές θερμοκρασίες. Ώριμοι καρποί, αποθηκεύτηκαν στους 10 °C, χωρίς ορατά συμπτώματα ασθενειών ψύχους, αν και παρατηρήθηκαν δυσμενείς επιπτώσεις στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (άρωμα και γεύση) (Xanthopoulos et al. 2014). Στα ορατά συμπτώματα ασθενειών ψύχους περιλαμβάνονται οι κηλιδώσεις (pitting), η ανομοιόμορφη ωρίμαση και οι αλλοιώσεις κατά την αποθήκευση.

Ως προς τη σχετική υγρασία, στη συντήρηση της τομάτας η υψηλή σχετική υγρασία 90-95% είναι καθοριστική (μείωση στο έλλειμμα πίεσης υδρατμών) όπως και στα περισσότερα φρούτα και λαχανικά, για εξασφάλιση μετασυλλεκτικά της μέγιστης ποιότητας και κυρίως για την πρόληψη απωλειών ύδατος (αφυδάτωση). Απώλεια βάρους ίση με 7% υποβαθμίζει την ποιότητα (π.χ. συρρικνώσεις, εμφανή σημάδια μάρανσης κ.α.) και τους καθιστά χαμηλής εμπορευσιμότητας. Η έκθεση σε υψηλότερα ποσοστά υγρασίας για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορεί να ενθαρρύνει την ανάπτυξη μουχλών στην επιφάνεια των καρπών (Acedo and Thanh, 2006b).

1.1 Χρώμα Καρπών Τομάτας

Ο χρωματισμός των καρπών της τομάτας αποδίδεται σε δύο χρωστικές, τα καρωτινοειδή (κίτρινο) και τη λυκοπινη (κόκκινο) και επηρεάζεται από τη μεταξύ τους σχέση και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η καλύτερη θερμοκρασία για την ανάπτυξη του κόκκινου χρώματος είναι 18-25 °C (Αγγίδης, 1996; Stinco et al. 2013).

Τα καρωτινοειδή είναι μεταξύ των σημαντικότερων χρωστικών ουσιών που απαντώνται στα φρούτα. Εκτός από βασικό τους ρόλο ως συνεργατικοί παράγοντες στη φωτοσύνθεση (δεσμευτές φωτός) και ως αντιοξειδωτικά στοιχεία (πρόδρομοι της βιταμίνης Α), τα καρωτινοειδή αποτελούν τους χρωματικούς παράγοντες των φρούτων και των ανθέων. Το

λυκοπένιο σε υψηλές συγκεντρώσεις (περίπου 30 – 100 mg/g του νωπού βάρους), προσδίδει το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα στις τομάτες. Η συσσώρευση του λυκοπενίου στους καρπούς εξαρτάται από το βαθμό ωρίμασής τους και από τη συγκέντρωση αιθυλενίου (Lewinsohn *et al.*, 2005).

Η ακρίβεια στην πρόβλεψη της ανάπτυξης του χρώματος στις τομάτες εξαρτάται από το στάδιο ωριμότητάς τους. Για τομάτες στο αρχικό στάδιο ωριμότητας (Mature Stage) η πρόβλεψη μεταβολής του χρώματος και η διατήρηση της ποιότητας είναι λιγότερο ακριβής συγκριτικά με τομάτες στο στάδιο Breaker. Η ανάπτυξη του χρώματος των τοματών κατά τη διάρκεια της ωρίμασης και της μετασυλλεκτικής συντήρησης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων του χρόνου, της θερμοκρασίας, της φυσιολογικής ωριμότητας, της ποικιλίας και των μηχανικών τραυματισμών. Κάτω από κανονικές συνθήκες μεταφοράς και αποθήκευσης, η ανάπτυξη του χρώματος εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία, το αρχικό στάδιο ωριμότητας και τη διάρκεια συντήρησης (Tijskens and Evelo, 1994).

Η μεταβολή του κόκκινου χρώματος των τοματών περιγράφεται συχνά από το λόγο a/b. Σε τομάτες που έφθασαν το Pink ή Turning στάδιο ωριμότητας οι τιμές a/b μεταβλήθηκαν από αρνητικές σε θετικές (Batu Ali, 2004).

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του χρώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση της επίδρασης της θερμοκρασίας συντήρησης στην ποιότητα της τομάτας (Zheng, 2006). Δεδομένου ότι το χρώμα αποτελεί δείκτη του σταδίου συλλογής και της εμπορικής ωριμότητας των τοματών, έχουν αναπτυχθεί αρκετές υποκειμενικές (π.χ. χρωματικοί χάρτες) αλλά και αντικειμενικές (π.χ. χρωματόμετρα) μέθοδοι εκτίμησης του χρώματος.

Η ποιοτική μέτρηση του χρώματος της τομάτας μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας χρωματικούς χάρτες (δείκτης χρώματος ή colour index: CI) σύμφωνα με τα στάδια ωρίμασης της τομάτας (Acedo and Thanh, 2006a):

CI-1 **CI-2** **CI-3**

CI-1 Green - Πράσινο

CI-2 Breaker - εμφανές «σπάσιμο» στο χρώμα <10% της επιφάνειας του καρπού

CI-3 Turning - περισσότερο πράσινο από κόκκινο

CI-4 **CI-5** **CI-6**

CI-4 Pink - περισσότερο κόκκινο από πράσινο

CI-5 Light red - ίχνη πράσινου

CI-6 Full red – πλήρες κόκκινο

Στο κεφάλαιο αυτό οι μεταβολές στο χρώμα μελετώνται κάνοντας χρήση του χρωματικού μοντέλου CIEL*a*b* (HunterLab, 1996) εκφρασμένου από τις παραμέτρους της ολικής μεταβολής ΔE* καθώς και του λόγου a*/b*. Για την εκτίμηση των δυο αυτών παραμέτρων γίνεται χρήση των τεχνικών μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων και χρωματόμετρο.

Σκοπός της έρευνας αυτής είναι η μέτρηση του χρώματος βιολογικής τομάτας με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Παράλληλα έγινε και συγκριτική χρήση χρωματομέτρου. Οι χρωματικοί παράγοντες που μελετήθηκαν ήταν η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* και ο λόγος a*/b*. Από τους παράγοντες που επιδρούν στη μεταβολή του χρώματος της τομάτας μελετήθηκαν η θερμοκρασία και η διάρκεια συντήρησης. Επιπλέον έγινε μελέτη της ύπαρξης γραμμικής συσχέτισης των χρωματικών παραγόντων ΔE* και a*/b* των δύο τεχνικών.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Στον πίνακα 2.1 καταγράφονται οι επεξηγήσεις των συμβόλων των χρησιμοποιηθέντων παραμέτρων.

Πίνακας 2.1. Επεξήγηση και ερμηνεία συμβόλων

Συμβολισμός	Εξίσωση Υπολογισμού/ Μονάδα Μέτρησης	Ερμηνεία
ΔE^*	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$	Ολική μεταβολή χρώματος
a^*/b^*		Λόγος μεταβολής χρώματος τομάτας κατά την ωρίμανση
θ	^oC	Θερμοκρασία
t_{sp}	Ημέρες	Χρόνος συντήρησης δειγμάτων
t_p	Ημέρες	Χρόνος αποθήκευσης Α΄ ύλης
CM		Τεχνική μέτρησης χρώματος με χρωματόμετρο
IA.Cm		Τεχνική μέτρησης χρώματος ανάλυση ψηφιακών εικόνων

2.1 Συγκομιδή της Α΄ύλης και χειρισμοί

Ως Α’ ύλη στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν, καρποί επιτραπέζιας βιολογικής τομάτας (υβρίδιο: Alma) σταδίου ωριμότητας 2 Breaker (Sargent and Moretti, 2004; Saltveit, 2005) οι οποίοι καλλιεργήθηκαν υπό κάλυψη στην περιοχή Αγ. Στέφανου Αττικής.

Οι τομάτες αμέσως μετά τη συγκομιδή μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκε διαλογή. Κατά τη διαδικασία αυτή απομακρύνθηκαν οι καρποί που είχαν υποστεί μηχανικούς τραυματισμούς, οι εξαιρετικά μεγάλου και μικρού μεγέθους καρποί, καθώς και αυτοί που έφεραν ασθένειες.

Οι τομάτες οι οποίες επιλέχθηκαν απολυμάνθηκαν με ειδικές για το σκοπό αυτό ταμπλέτες σταθεροποιημένου χλωρίου Suma Tab D4 tab (JOHNSONDINERSEY). Η όλη διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων έχει ως εξής:

1. Πρόπλυση με νερό θερμοκρασίας 14^{o}C.
2. Προσθήκη 1 ταμπλέτας Suma Tab D4 tab (JOHNSON DIVERSEY) σε 20 λίτρα νερού.
3. Εμβάπτιση δειγμάτων για 5 λεπτά.
4. Ξέβγαλμα με καθαρό νερό.
5. Στέγνωμα με ειδικό απορροφητικό χαρτί.

Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά τελάρα και αποθηκεύτηκαν σε θαλάμους με θερμοκρασίες 10 ^{o}C, 15 ^{o}C και 20 ^{o}C με σχετική υγρασία 95%. Στο πάνω μέρος των τελάρων τοποθετήθηκε περατή μεμβράνη για την προστασία από την αφυδάτωση κατά την συντήρηση.

Οι μετρήσεις του χρώματος, με τις δύο τεχνικές, πραγματοποιήθηκαν την 4^{η}, 9^{η}, 14^{η}, 18^{η} και 21^{η} μέρα στα δείγματα των 10^{o}C, την 2^{η}, 5^{η}, 7^{η}, 11^{η}, 14^{η} και 18^{η} μέρα στα δείγματα των 15^{o}C και την 4^{η}, 6^{η}, 11^{η}, 14^{η}, και 18^{η} μέρα στα δείγματα που συντηρήθηκαν στους 20^{o}C. Το πείραμα επαναλήφθηκε 3 φορές. Σε όλες τις πειραματικές σειρές εφαρμόστηκαν κανόνες ορθής υγιεινής πρακτικής.

2.2 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα μετρήθηκε με δύο τεχνικές μέτρησης. Τη κλασική χρωματομετρική (CM) αλλά και τη νέα μέθοδο μέτρησης με ανάλυση ψηφιακών εικόνων (IA.Cm).

Για τη μέτρηση του χρώματος και με τις δυο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε, το χρωματικό μοντέλο CIEL*a*b* (Βλ. παρ. 2.4.1 Κεφ. 1).

Οι μελετούμενοι παράγοντες και στις δύο τεχνικές είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE* όπως αυτή περιγράφεται από την εξίσωση 2.1 και ο λόγος a*/b* (δείκτης μεταβολής χρώματος λόγω της σύνθεσης λυκοπίνιου) (Velioglu et al. 2011):

$$\Delta E^{*} = \sqrt{(\Delta L^{*})^{2} + (\Delta a^{*})^{2} + (\Delta b^{*})^{2}} \qquad (2.1)$$

2.2.1 Μέτρηση με χρωματόμετρο

Το χρώμα αρχικά μετρήθηκε με χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε χρήση το χρωματόμετρο βαθμονομήθηκε με χρήση της πρότυπης πλάκας CR-A43 (Yxy, χρωματικό μοντέλο) όπως προβλέπεται (Minolta, 1995). Οι μετρήσεις ελήφθησαν σε 4 διαφορετικά σημεία της βάσης των καρπών τομάτας (Εικ. 2.1), σε 6 καρπούς ανά θερμοκρασία συντήρησης.

Εικόνα 2.1 Διαγραμματική παρουσίαση μετρήσεων με το χρωματόμετρο

Η λήψη των τεσσάρων συνολικά μετρήσεων (σε κάθε μέτρηση μετράται το χρώμα 50,24 mm^2 επιφάνειας δείγματος), (Minolta, 1995) πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να επιτευχτεί η κατά το δυνατό μεγαλύτερη αξιολογούμενη επιφάνεια δειγμάτων, χωρίς αλληλεπικαλύψεις. Ο αριθμός των τεσσάρων μετρήσεων, με το χρωματόμετρο, επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη ότι έπρεπε να είναι εφικτή η μέτρηση μεγαλύτερης επιφάνειας αξιολόγησης σε χρόνο που δεν θα επιβάρυνε τα δείγματα, με σκοπό τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων έναντι της τεχνικής IA.Cm.

2.2.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Η τεχνική μέτρησης περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 4 του 2^{ου} κεφαλαίου.

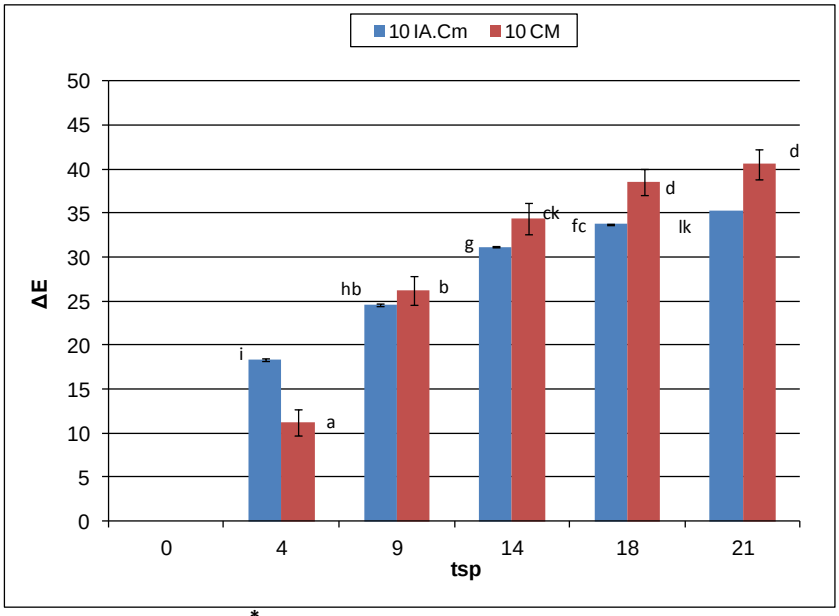
2.3 Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion με παραγοντική ανάλυση διασποράς (Multifactor Anova) καθώς και με απλή συσχέτιση (Simple Regression) δύο παραγόντων.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Ολική μεταβολή χρώματος ΔΕ*

Η ολική μεταβολή (ΔΕ*) του χρώματος των τοματών κατά τη διάρκεια της συντήρησής στους 10°C, για τις δυο τεχνικές IA.Cm και CM, παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.

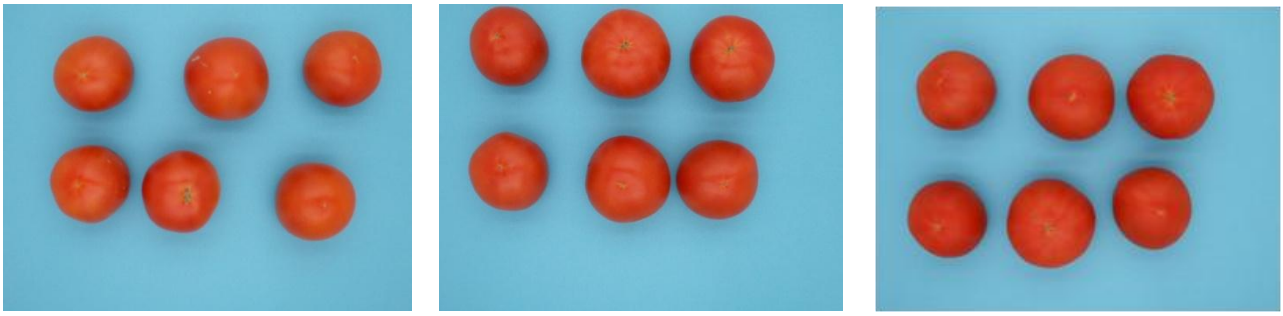


Σχήμα 3.1: Ολική μεταβολή ΔΕ* η οποία προέκυψε από τα αποτελέσματα μέτρησης χρώματος των δειγμάτων με τις 2 τεχνικές IA.Cm και CM στην θερμοκρασία 10°C (ύπαρξη διαφορετικού γράμματος υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 0,05)

Στο σχήμα 3.1 παρατηρείται ότι η μεταβολή του χρώματος σταθεροποιείται αριθμητικά, την 18η μέρα στην περίπτωση της τεχνικής μέτρησης με χρωματόμετρο. Στην παρατήρηση αυτή καταλήγουμε από το γεγονός ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στις τιμές του ΔE^*_{CM} της 18ης και 21ης ημέρας σε επίπεδο 0,05.

Στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm, παρά του ότι είναι εμφανής η σταθεροποίηση της μεταβολής του χρώματος, κάτι τέτοιο δεν επαληθεύεται στατιστικά σε επίπεδο 0,05, λόγω αυξημένης ευαισθησίας της μεθόδου. Τέλος η τιμή της ΔE^*_{CM} της 14ης μέρας δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά με τις αντίστοιχες τιμές της $\Delta E^*_{IA.Cm}$ της 18ης και 21ης μέρας συντήρησης.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πρακτικά, η όποια διαφορά του χρώματος των δειγμάτων 18ης και 21ης μέρας, δεν είναι εμφανής από τον παρατηρητή (Εικ. 3.1)

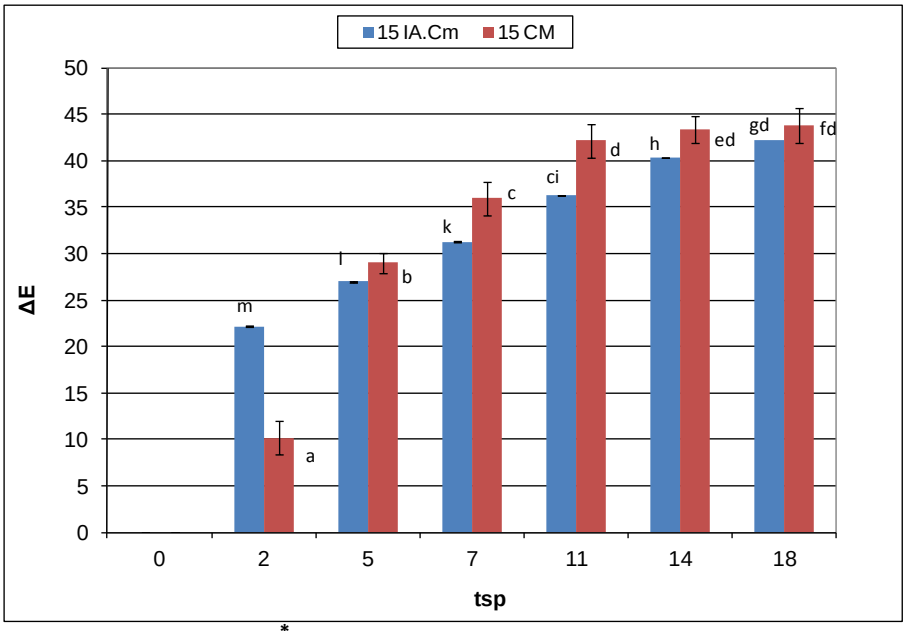


Εικόνα 3.1 Ψηφιακές εικόνες δειγμάτων τομάτας την 14^{η} (αριστερά), την 18^{η} (κέντρο) και την 21^{η} ημέρα συντήρησης δεξιά στους 10^{o}C

Η ελάχιστη οπτική διαφορά για τον παρατηρητή που διαπιστώνεται στο χρώμα, μεταξύ δειγμάτων της 14^{ης} μέρας με το χρώμα στα δείγματα της 18^{ης} και 21^{ης} μέρας συντήρησης (Εικ.3.1) εκφράζεται από διαφορές των τιμών $\Delta E^*_{IA.Cm}$ και ΔE^*_{CM} ήταν 1,56 και 2,12 αντίστοιχα.

Επιπλέον παρατηρείται, ότι οι τιμές $\Delta E^*_{IA.Cm}$ και ΔE^*_{CM} της 9^{ης} μέρας συντήρησης δεν διαφέρουν σημαντικά, σε επίπεδο 0,05. Η διαφοροποίηση στις τιμές των $\Delta E^*_{IA.Cm}$ και ΔE^*_{CM} (αρχικά μεγαλύτερη τιμή $\Delta E^*_{IA.Cm}$ και τελικά μικρότερη από τις αντίστοιχες της ΔE_{CM}) κατά τη διάρκεια της συντήρησης, πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη μέτρηση με τη μέθοδο IA.Cm μετράται μεγαλύτερη επιφάνεια συγκριτικά με τη μέθοδο του χρωματομέτρου (CM).

Ομοίως η ολική μεταβολή του χρώματος (ΔΕ) των δειγμάτων τομάτας που συντηρήθηκαν στους 15^{o}C , παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2 για τις δυο τεχνικές IA.Cm και CM.

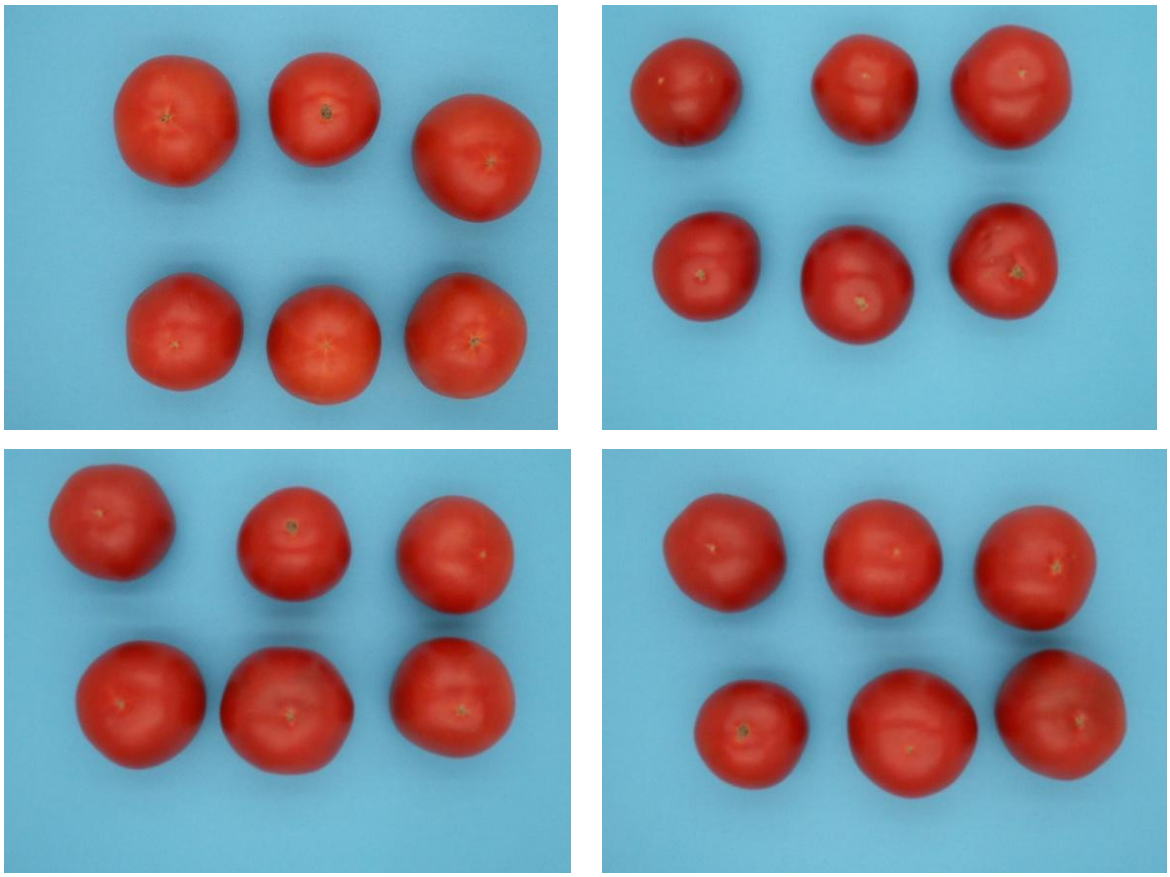


Σχήμα 3.2: Ολική μεταβολή ΔE^* η οποία προέκυψε από τα αποτελέσματα μέτρησης χρώματος των δειγμάτων με τις 2 τεχνικές IA.Cm και CM στην θερμοκρασία 15^{o}C (ύπαρξη διαφορετικού γράμματος υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 0,05)

Η μεταβολή του χρώματος σταθεροποιείται αριθμητικά, μετά την 11η μέρα στην περίπτωση της τεχνικής μέτρησης με χρωματόμετρο (Fisher test-επίπεδο 0,05). Αυτό δεν είναι εμφανές στην περίπτωση μέτρησης της μέτρησης του χρώματος με την τεχνική IA.Cm όπου η μεταβολή συνεχίζει να είναι στατιστικά σημαντική.

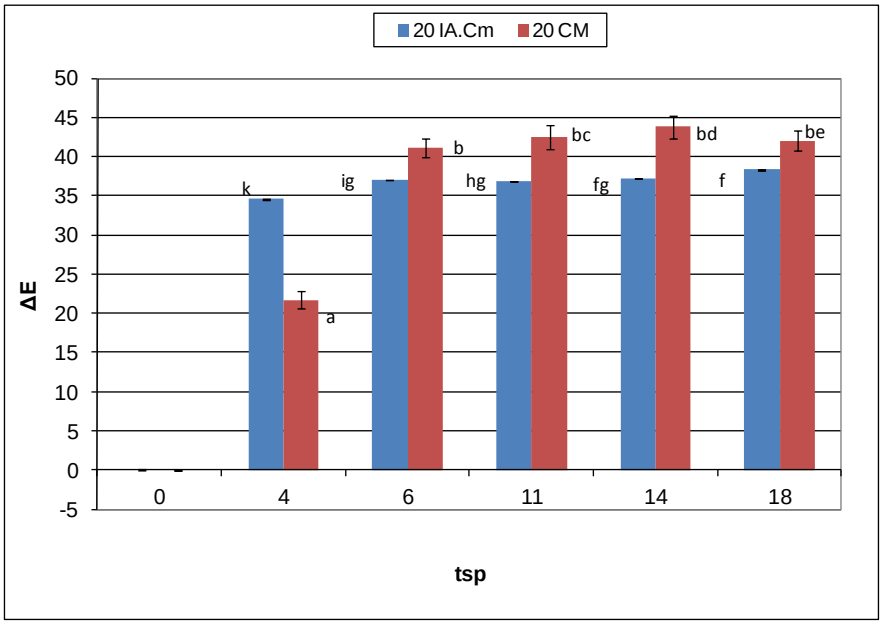
Οι τιμές των $\Delta E^*_{CM,}$ 7ης μέρας και $\Delta E^*_{IA.Cm}$ 11ης μέρας συντήρησης δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 0,05. Επιπλέον δεν παρουσιάζονται διαφορές στις τιμές $\Delta E^*_{IA.Cm}$, 18ης μέρας συντήρησης, με τις τιμές ΔE^*_{CM} 11ης, 14ης και 18ης μέρας συντήρησης στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας 0,05.

Πρακτικά, η όποια μετρούμενη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων την 11η, 14η και 18η μέρα συντήρησης, δεν είναι εμφανής στον παρατηρητή (Εικ. 3.2). Ελάχιστες είναι οι οπτικές διαφορές στο χρώμα των δειγμάτων της 6ης μέρας.



Εικόνα 3.2 Ψηφιακές εικόνες δειγμάτων τομάτας την 6η (πάνω αριστερά) 11η (πάνω δεξιά), την 18η (κάτω αριστερά) και την 21η ημέρα συντήρησης (κάτω δεξιά) 15°C.

Τέλος η ολική μεταβολή (ΔE^*) του χρώματος των δειγμάτων τομάτας στους 20°C, παρουσιάζεται στα σχήματα 3.3 για τις δυο τεχνικές IA.Cm και CM.

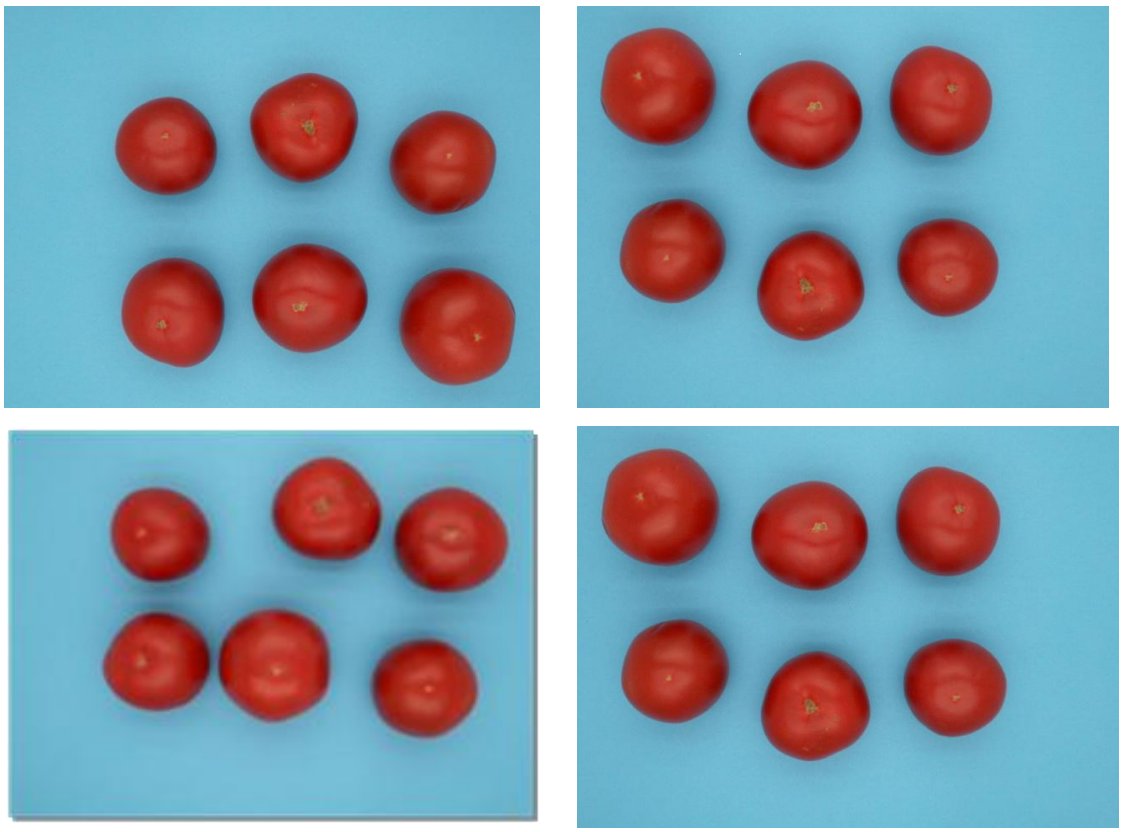


Σχήμα 3.3 Ολική μεταβολή ΔE^* η οποία προέκυψε από τα αποτελέσματα μέτρησης χρώματος των δειγμάτων με τις τεχνικές IA.Cm και CM στην θερμοκρασία 20°C

Η μεταβολή του χρώματος σταθεροποιείται, αριθμητικά, μετά την 6η μέρα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές της παραμέτρου ΔE^*_{CM} (Fisher test-επίπεδο 0,05) έως και την 18η ημέρα συντήρησης. Η μεταβολή της παραμέτρου $\Delta E^*_{IA.Cm}$ της 6ης, 11ης και 14ης ημέρας συντήρησης δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή σε επίπεδο 0,05. Η ίδια παράμετρος δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές την 14η και 18η μέρα στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας.

Η διαφορά στις τιμές ΔE^*_{CM} και $\Delta E^*_{IA.Cm}$ την 4η μέρα δικαιολογείται πιθανά, όπως έχει ήδη αναφερθεί από το ότι με το χρωματόμετρο το χρώμα μετράται σημειακά.

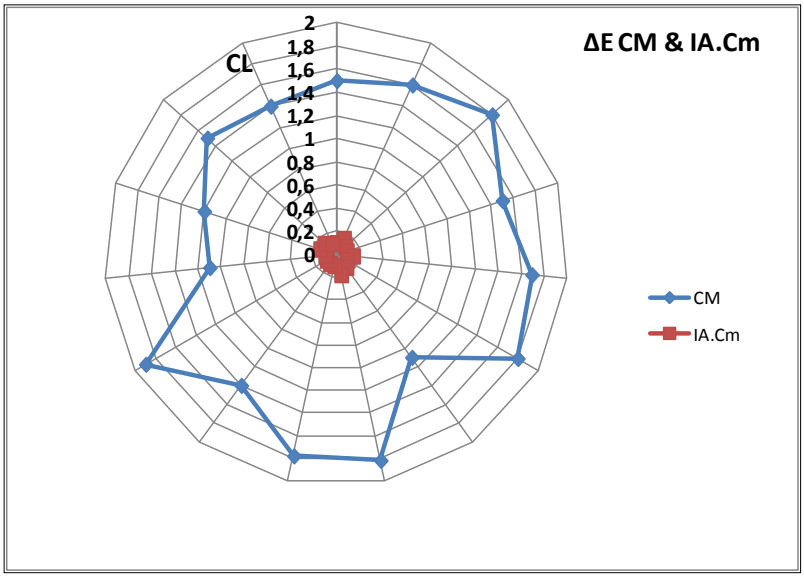
Πρακτικά, όπως και στην περίπτωση των 15°C, η όποια μετρούμενη μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων την 11η, 14η και 18η μέρα συντήρησης, δεν είναι εμφανής στον παρατηρητή (Εικ. 3.3). Στην περίπτωση των 20°C δεν είναι εμφανής, στον παρατηρητή, διαφορές στο χρώμα των δειγμάτων της 6ης με αυτό της 11ης, 14ης και 18ης μέρας συντήρησης.



Εικόνα 3.3 Ψηφιακές εικόνες δειγμάτων τομάτας την 6^{η} (πάνω αριστερά) 11^{η} (πάνω δεξιά), την 18^{η} (κάτω αριστερά) και την 21^{η} ημέρα συντήρησης (κάτω δεξιά) 20^{o}C.

Επιπλέον των παραπάνω, διαπιστώθηκε ότι, τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM. Το γεγονός αυτό οφείλεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο ότι με την τεχνική CM το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης προέκυψε από μικρότερο αριθμό επιμέρους μετρήσεων (24), ενώ στην περίπτωση της IA.Cm το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε από πολλές χιλιάδες μετρήσεις (Snedecor και Cochran, 1989) που αντιστοιχούν στις χρωματικές παραμέτρους L^*, a^* & b^* κάθε pixel ψηφιακής εικόνας (περίπου 90000-125000).

Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 3.5) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα όρια εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα ΔE^* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



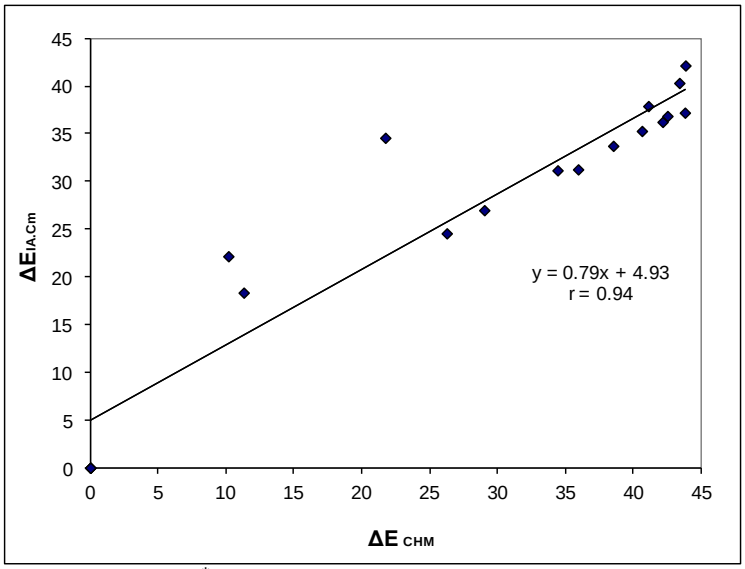
Σχήμα 3.5. Συγκεντρωτική παρουσίαση ορίων εμπιστοσύνης CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα ΔE με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Στο σχήμα 3.5 παρατηρείται η σημαντική διαφορά των ορίων εμπιστοσύνης CL στις μετρήσεις του χρωματικού παράγοντα ΔE^*. Ενώ στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές του CL δεν ξεπερνούν το 0,1 στην περίπτωση της τεχνικής CM οι τιμές του ξεπερνούν το 1,80 (18 μεγαλύτερο).

Οι μέσοι όροι των πειραματικών δεδομένων ΔE^* που προέκυψαν από το χρωματόμετρο (ΔE^*_{CM}) και αυτές που προέκυψαν με την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης ($\Delta E^*_{IA\cdot Cm}$) παρουσιάζουν πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση (Παπαδόπουλος, 2008) με r=0,94 (Σχ. 3.6).

Η γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την εξίσωση:

$y=0,79x+4,93$ όπου y: $\Delta E^*_{IA.Cm}$ & x: ΔE^*_{CM}.



Σχήμα 3.6 Πειραματικές τιμές ΔE^* με χρωματόμετρο έναντι αυτών που προέκυψαν με ψηφιακή ανάλυση εικόνας.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της ολικής μεταβολής (ΔE^*) του χρώματος το οποίο μετρήθηκε με τις δυο τεχνικές, προέκυψε ότι η θερμοκρασία έχει στατιστικά σημαντική επίδραση σε επίπεδο 0,05. Συγκεκριμένα P-Value = 0.0021 < 0,05 για την περίπτωση ΔE^*_{CM} και P-Value = 0,0010 < 0,05 για την περίπτωση $\Delta E^*_{IA.Cm.}$

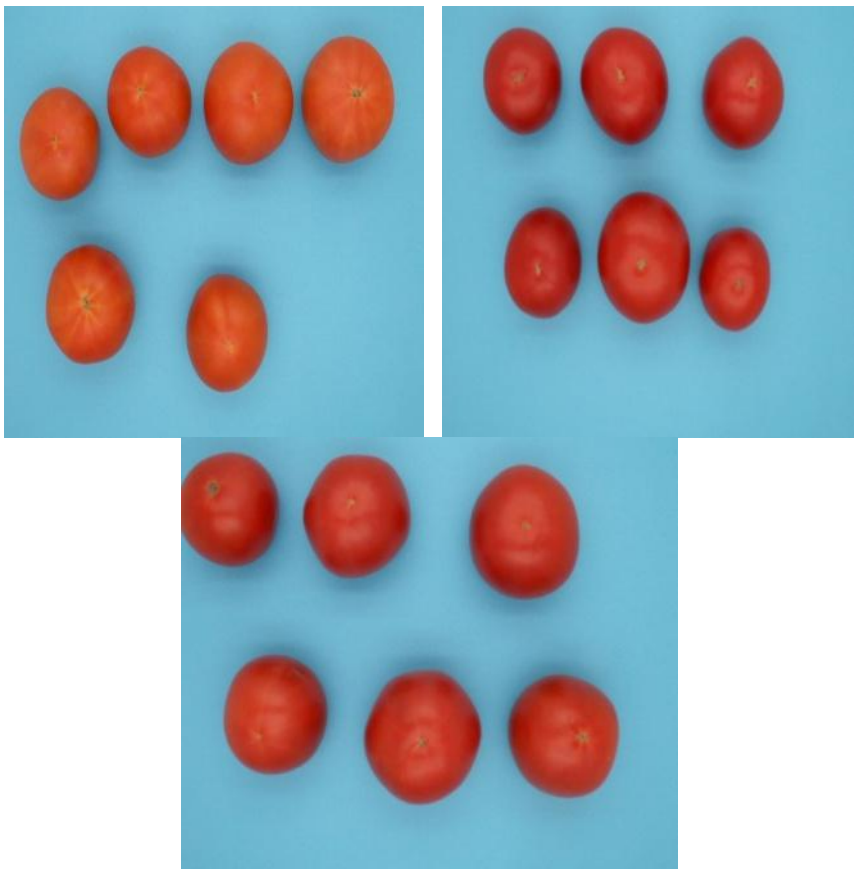
Η επίδραση του χρόνου συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} στην παράμετρο ΔE^*, και στην περίπτωση των δύο τεχνικών μέτρησης CM & IA.Cm, είναι στατιστικά σημαντική, σε επίπεδο 0.05, (ΔE_{CM}: P-Value = 0.0010 < 0.05 για το δείγμα και P-Value = 0.0028<0.05 (Πίν. 3.1).

Πίνακας 3.1: Πίνακας ανάλυσης διασποράς για την ολική μεταβολή του χρώματος *(ΔE^*_{CM} & $\Delta E^*_{IA.Cm}$)* τοματών που συντηρήθηκαν σε θερμοκρασίες 10°C, 15°C, 20°C.

ΔE^*_{CM}	Άθροισμα τετραγώνων	Df	F-Ratio	P-Value
A: t_{sp}	994,796	6	8,36	0,0010
B: θ	251,157	2	12,66	0,0021
$\Delta E^*_{IA.Cm}$	**Άθροισμα τετραγώνων**	**Df**	**F-Ratio**	**P-Value**
A: t_{sp}	774,292	6	16,53	0,0028
B: θ	2364,24	2	10,08	0,0010

Με κόκκινο επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση.

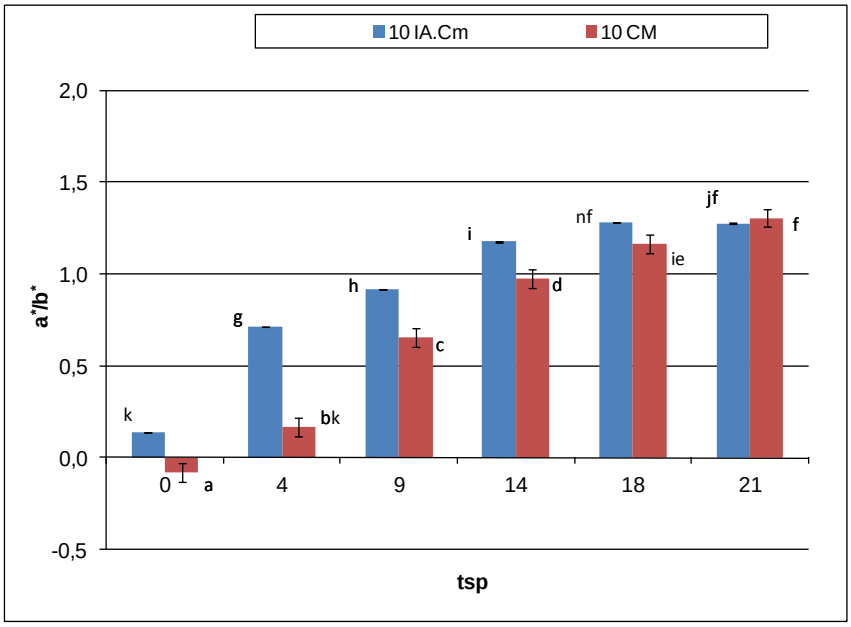
Συνοπτικά από τα παραπάνω βλέπουμε ότι, η ανάπτυξη του κόκκινου χρώματος των τοματών, η οποία οφείλεται στην αποικοδόμηση της χλωροφύλλης και την σύνθεση των χρωστικών (λυκοπίνη, καροτίνη), είναι ταχύτερη στις υψηλότερες θερμοκρασίες (Tijskens and Evelo, 1994) των 15 °C και 20 °C (Εικ. 3.4).



Εικόνα 3.4: Ανάπτυξη χρώματος σε τομάτες, τη 14η ημέρα της συντήρησής τους σε θερμοκρασίες 10 °C (αριστερά πάνω), 15 °C (δεξιά πάνω) και 20 °C (κάτω).

3.2 Μεταβολή πηλίκου χρωματικών παραγόντων a* και b* (a*/b*)

Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζεται σχηματικά, η μεταβολή του λόγου a*/b* των τεχνικών IA.Cm & CM στη θερμοκρασία 10°C. Από τη μεταβολή του λόγου (δείκτης μεταβολής χρώματος λόγω της σύνθεσης λυκοπίνιου) παρατηρούμε ότι στο στάδιο ωριμότητας 2-Breaker, όπου επικρατεί το πράσινο οι τιμές του σε κάθε περίπτωση είναι κοντά στο 0 (επικράτηση πράσινου χρώματος) (Arias et al. 2000; Helyes et al. 2006).

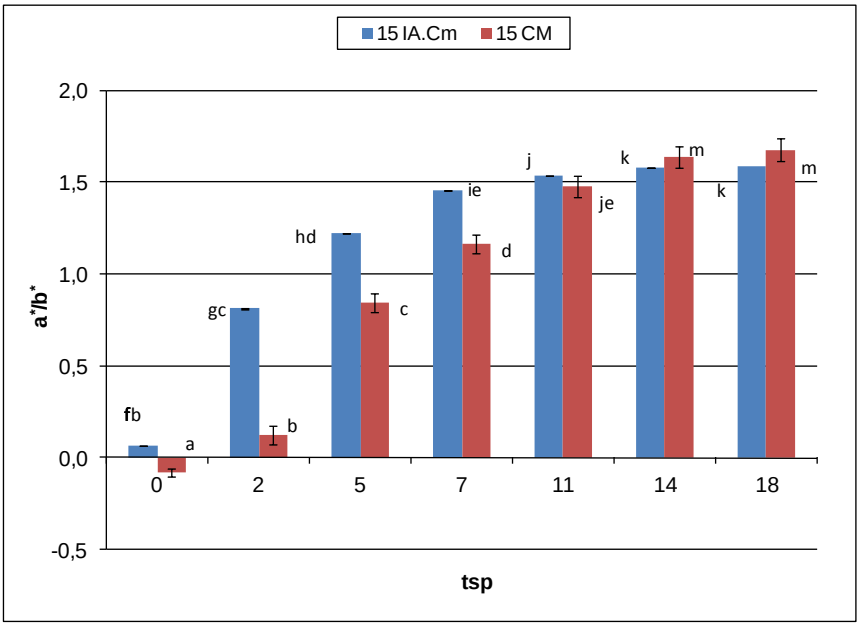


Σχήμα 3.7: Μεταβολή του δείκτη a^*/b^* συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 10°C (ύπαρξη διαφορετικού γράμματος υποδηλώνει στατιστικά σημαντική διαφοράς σε επίπεδο 0,05)

Κατά την ωρίμανση των δειγμάτων τομάτας (4- Pink_3- Turning), οι τιμές a^*/b^* αυξάνονται θετικά (επικράτηση κόκκινου χρώματος) (Batu Ali, 2004). Οι μέγιστες τιμές του παράγοντα a^*/b^* των δυο τεχνικών IA.Cm & CM είναι 1,28 & 1,31 αντίστοιχα.

Από το παραπάνω διάγραμμα δεν επαληθεύεται η αριθμητική σταθεροποίηση της μεταβολής του χρώματος μετά την $18^η$ μέρα στην περίπτωση της τεχνικής μέτρησης με χρωματόμετρο. Αντίθετα ο δείκτης $a^*/b^*_{IA.Cm}$ της $18^ης$ ημέρας συντήρησης δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά με την αντίστοιχή τιμή αυτής της $21^ης$ ημέρας συντήρησης σε επίπεδο 0,05. Επιπλέον δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά της παραπάνω παραμέτρου με την a^*/b^*_{CM} της $21^ης$ μέρας συντήρησης. Τέλος δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές των $a^*/b^*_{IA.Cm}$ αρχικής μέτρησης και a^*/b^*_{CM} της $4^η$ ημέρας συντήρησης στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας.

Παρά τις παραπάνω παρατηρήσεις, πρακτικά, η όποια διαφορά του χρώματος των δειγμάτων 18ης και 21ης μέρας, δεν είναι εμφανής από τον παρατηρητή (Εικ. 3.4). Οι διαφορές των τιμών $a^*/b^*_{IA.Cm}$ και a^*/b^*_{CM} για τις οποίες πρακτικά δεν παρατηρούνται διαφορές ήταν σχεδόν 0,20 και 0,14 αντίστοιχα.



Σχήμα 3.7: Μεταβολή του δείκτη α^*/b^* συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 15°C (ύπαρξη όμοιου γράμματος υποδηλώνει μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς_Fisher test-επίπεδο 0,05)

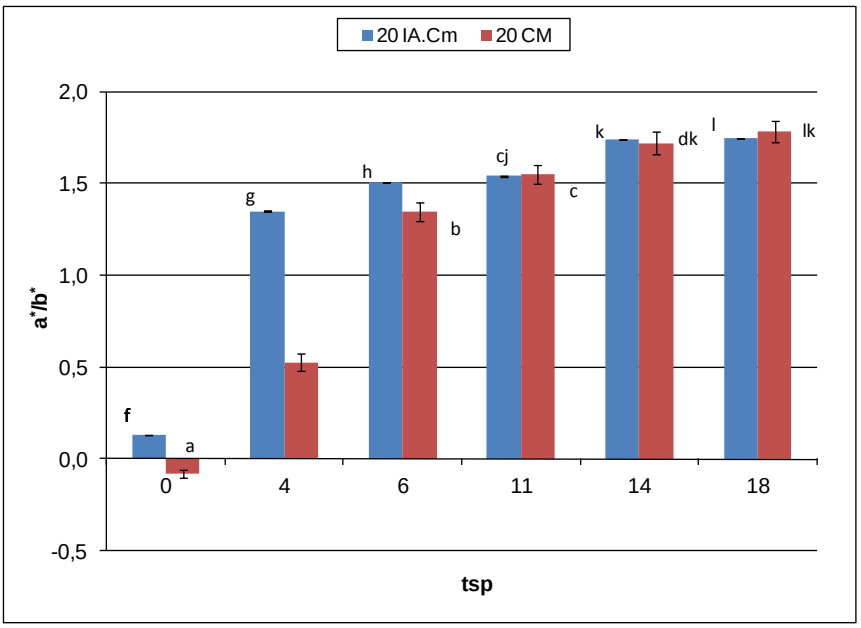
Στο σχήμα 3.7 παρουσιάζεται σχηματικά, η μεταβολή του λόγου α^*/b^* των τεχνικών IA.Cm & CM στη θερμοκρασία 15^{o}C.

Όμοια με πριν παρατηρούμε ότι στο στάδιο ωριμότητας 2-Breaker, όπου επικρατεί το πράσινο οι τιμές του σε κάθε περίπτωση είναι κοντά στο 0 (επικράτηση πράσινου χρώματος) (Arias et al. 2000; Helyes et al. 2006). Οι μέγιστες τιμές για τις δυο τεχνικές IA.Cm & CM είναι 1,59 &1,68 αντίστοιχα.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι η μεταβολή του χρώματος σταθεροποιείται, αριθμητικά, μετά την 14^{η} ημέρα για τις δύο τεχνικές σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά την 11^{η} ημέρα η όποια μεταβολή δεν ήταν ορατή από τον παρατηρητή (Εικ. 3.1.2). Την 11^{η} ημέρα συντήρησης δεν προκύπτουν σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των δυο τεχνικών. Επιπλέον δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις τιμές $\alpha^*/ b^*_{IA.Cm}$ και α^*/ b^*_{CM} την ημέρα έναρξης πειράματος και την 2^{η} ημέρα συντήρησης σε επίπεδο 0,05. Το ίδιο παρατηρείται την 2^{η} και 5^{η} μέρα συντήρησης.

Στο σχήμα 3.8 παρουσιάζεται, η μεταβολή του λόγου α^*/ b^* των τεχνικών IA.Cm & CM στη θερμοκρασία 20^{o}C. Η παρατήρηση είναι σημαντικά πιο αισθητή στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm την 4^{η} μέρα με τιμή 1,35 έναντι 0,53 της τεχνικής CM. Στο διάγραμμα αποτυπώνεται ο υψηλός ρυθμός μεταβολής του χρώματος, με την ωρίμανση των δειγμάτων. Στην περίπτωση των πειραμάτων στους 20^{o}C παρατηρείται και πάλι στο αρχικό στάδιο θετική

τιμή 0,13 για την IA.Cm και αρνητική, -0,08 για την τεχνική CM. Οι μέγιστες τιμές για τις δυο τεχνικές IA.Cm & CM είναι 1,74 &1,72 αντίστοιχα.

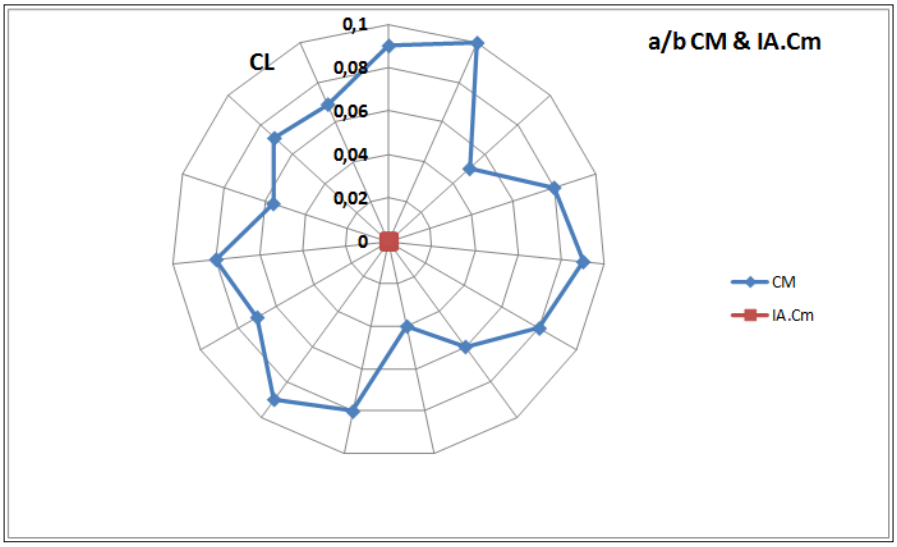


Σχήμα 3.8: Μεταβολή του δείκτη α*/ b* συναρτήσει του χρόνου συντήρησης στους 20°C (ύπαρξη όμοιου γράμματος υποδηλώνει μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς_Fisher test-επίπεδο 0,05)

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει ότι στην περίπτωση των 20°C η μεταβολή του χρώματος σταθεροποιείται την 14η μέρα για την τεχνική CM σε επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Για την τεχνική IA.Cm παρά το γεγονός ύπαρξης στατιστικά σημαντικής διαφοράς στη μεταβολή του χρώματος 14ης και 18ης μέρας, πρακτικά δεν ήταν δυνατό να αυτή να παρατηρηθεί. Σημειώνεται ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις παραμέτρους $\Delta E^*_{IA.Cm}$ της 14ης ημέρας συντήρησης με την παράμετρο ΔE^*_{CM} 14ης και 18ης μέρας συντήρησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι και πάλι μετά την 11η μέρα η όποια μεταβολή δεν ήταν ορατή από τον παρατηρητή (Εικ. 3.4). Σε κάθε μέτρηση της 11ης, 14ης και 18ης μέρας δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικά διαφορές στα ζεύγη τιμών α*/ b* των δυο τεχνικών.

Η αρνητική τιμή του δείκτη a^*/ b^*_{CM} οφείλεται στην εντοπισμένη μέτρηση του χρώματος με το χρωματόμετρο, με αποτέλεσμα την ύπαρξη αρνητικών τιμών του παράγοντα a*.

Στο σχήμα (Σχ. 3.9) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα ΔE* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



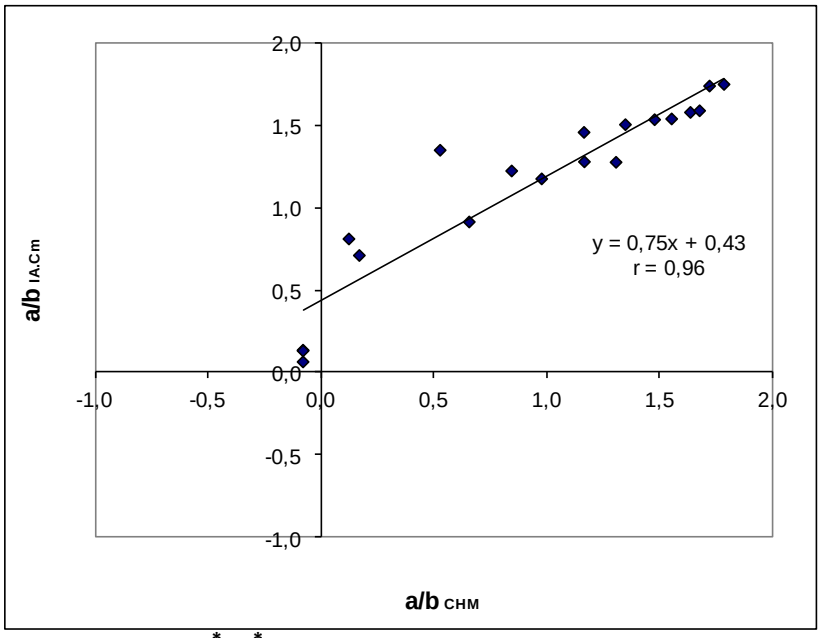
Σχήμα 3.9 Συγκεντρωτική παρουσίαση ορίων εμπιστοσύνης CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα ΔE* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Εμφανής είναι η σημαντική διαφορά των ορίων εμπιστοσύνης CL στις μετρήσεις του λόγου a^*/b^*. Ενώ στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές του CL κυμαίνονται στο 0,001 στην περίπτωση της τεχνικής CM οι τιμές του φτάνουν το 0,1 (100 φορές μεγαλύτερο).

Όπως σε όλες τις περιπτώσεις έτσι και στην περίπτωση της παραμέτρου a^*/b^*, τα διαστήματα εμπιστοσύνη των μέσων τιμών της τεχνικής CM είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα των μέσων τιμών της τεχνικής IA.Cm. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η παρατήρηση αυτή οφείλεται στο μικρότερο αριθμό επιμέρους μετρήσεων (24) στην περίπτωση της τεχνικής CM. Στην περίπτωση της IA.Cm η μέση τιμή προκύπτει από χιλιάδες μετρήσεις για κάθε pixel ψηφιακής εικόνας δειγμάτων (περίπου 90000-125000).

Οι μέσοι όροι των πειραματικών δεδομένων a^*/b^* που προέκυψαν από το χρωματόμετρο (a^*/b^*_{CM}) και αυτές που προέκυψαν με την τεχνική της ψηφιακής ανάλυσης ($a^*/b^*_{IA.Cm}$) παρουσιάζουν πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση (Παπαδόπουλος, 2008) με r=0,96 (Σχ. 3.10).
Η παραπάνω γραμμική συσχέτιση περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y=0,75x+0,93 \text{ όπου } y: a^*/b^*_{IA.Cm} \text{ & } x: a^*/b^*_{CM}$$



Σχήμα 3.10 Πειραματικές τιμές a^*/b^*_{CM} με χρωματόμετρο έναντι αυτών που προέκυψαν με ψηφιακή ανάλυση εικόνας a^*/b^*_{IACm}.

Επιπλέον των παραπάνω η ανάλυση έδειξε ότι η θερμοκρασία συντήρησης θ καθώς και ο χρόνος συντήρησης των δειγμάτων t_{sp}, επηρεάζουν σημαντικά τον δείκτη μεταβολής του χρώματος a^*/b^* σε επίπεδο 0,05 (Πίν. 3.2) όπως και την ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*.

Πίνακας 3.2: Πίνακας ανάλυσης διασποράς του δείκτη μεταβολής του χρώματος a^*/b^* στις θερμοκρασίες 10°C, 15°C, 20°C.

a^*/b^*_{CM}	Άθροισμα τετραγώνων	Df	F-Ratio	P-Value
A: t_{sp}	889,584	6	10,12	0,0012
B: θ	213,526	2	13,25	0,0017
$a^*/b^*_{IA.Cm}$	Άθροισμα τετραγώνων	Df	F-Ratio	P-Value
A: t_{sp}	786,525	6	15,98	0,0019
B: θ	2145,240	2	9,12	0,0013

Με κόκκινο επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση.

4. Συμπεράσματα

1. Από τα αποτελέσματα δεν προκύπτει σημαντική ποιοτική διαφορά στα αποτελέσματα των δυο μεθόδων μέτρησης του χρώματος CM & IACm. Πρακτικά σύμφωνα με την αντίληψη που έχει ο παρατηρητής για την μεταβολή του χρώματος οι διαφορές κρίνονται ως ιδιαίτερα μικρές.
2. Παρατηρήθηκε ότι η νέα μέθοδος ανάλυση ψηφιακών εικόνων είναι περισσότερο ευαίσθητη λόγω της ικανότητας μέτρησης χρώματος στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων. Εξαιτίας αυτού, όταν πρακτικά η μεταβολή του χρώματος δεν γίνεται αντιληπτή για τον παρατηρητή με τη νέα μέθοδο διαπιστώνονται οριακές διαφορές.
3. Οι παρατηρούμενες διαφορές στα αποτελέσματα των δυο τεχνικών οφείλονται στη διαφορετικότητα λειτουργίας των διατάξεων (π.χ συστηματικά και τυχαία σφάλματα) καθώς και στη μέτρηση χρώματος μεγαλύτερης επιφάνειας με την μέθοδο IA.Cm σε σχέση με τις σημειακές μετρήσεις με το χρωματόμετρο (CM).
4. Τα όρια εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα από τα αντίστοιχα της τεχνικής του χρωματομέτρου CM (18 φορές στα αποτελέσματα του ΔE^* και 100 φορές στην περίπτωση του δείκτη a^*/b^*). Το γεγονός αυτό οφείλεται και πάλι στο ότι ενώ με την τεχνική CM το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης προέκυψε από μικρότερο αριθμό επιμέρους μετρήσεων, στην περίπτωση της τεχνικής, IA.Cm το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε από πολλές χιλιάδες μετρήσεις που αντιστοιχούν στης χρωματικές παραμέτρους L^*, a^* & b^* κάθε pixel ψηφιακής εικόνας (περίπου 90000-125000). Το παραπάνω συμπέρασμα ενισχύει την αξιοπιστία της νέας μεθόδου για την μέτρηση του χρώματος ως εργαλείου ποιοτικού ελέγχου σε συντηρούμενη τομάτα.
5. Οι τιμές της ολικής μεταβολής (ΔE^*) του χρώματος συσχετίζονται με πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση (r=0,94). Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για την χρωματομετρική παράμετρο του λόγου a^*/b^* των δύο τεχνικών για τις οποίες διαπιστώθηκε ισχυρή γραμμική συσχέτιση (r=0,96).
6. Η θερμοκρασία καθώς και ο χρόνος συντήρησης επηρεάζουν στατιστικά σημαντικά την ολική μεταβολή του χρώματος των δειγμάτων ΔE^* καθώς και το δείκτη, a^*/b^* όπως . Η παρατήρηση αυτή αποτελεί ακόμα ένα παράγοντα ο οποίος ενισχύει την αξιοπιστία της νέας μεθόδου στην μέτρηση του χρώματος τομάτας με τη νέα μέθοδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΜΗΛΩΝ GOLDEN DELICIOUS ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

Περίληψη

Στη μελέτη η οποία εξετάστηκε η δυνατότητα εφαρμογής της τεχνικής μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων *(Image Analysis technique)* σε «ελάχιστα επεξεργασμένα» μήλα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου αυτής συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από τον προσδιορισμό του χρώματος των ίδιων δειγμάτων μήλων με χρωματόμετρο. Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων προσδιορισμού του χρώματος των «ελάχιστα επεξεργασμένων» μήλων αξιολογήθηκαν με βάση και τα αποτελέσματα οργανοληπτικού ελέγχου από ομάδα δοκιμαστών.

Το χρωματικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιήθηκε είναι το CIEL*a*b* ενώ οι χρωματικές παράμετροι οι οποίες μελετήθηκαν είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ καθώς και ο δείκτης καστάνωσης BI *(BI: Bruising Index)*. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και των δύο μεθόδων προσδιορισμού του χρώματος προκύπτει ότι, η ολική μεταβολή του χρώματος ΔΕ* και η μεταβολή του δείκτη καστάνωσης BI, είναι γραμμική συνάρτηση του χρόνου συντήρησης του κομμένου προϊόντος.

Η παραγοντική ανάλυση διασποράς *(Multifactor Anova)* των αποτελεσμάτων της μέτρησης με χρωματόμετρο έδειξε ότι οι παράμετροι ΔΕ και BI, δεν επηρεάζονται σημαντικά από το χρόνο συντήρησης της α΄ ύλης καθώς και από τη θερμοκρασία συντήρησης του κομμένου προϊόντος, ενώ επηρεάζονται από τη διάρκεια συντήρησης του κομμένου προϊόντος (επίπεδο σημαντικότητας 0,99). Η παραγοντική ανάλυση διασποράς των ΔΕ* & BI στην περίπτωση της χρωματομέτρησης με ανάλυση ψηφιακών εικόνων έδειξε ότι στο ίδιο επίπεδο σημαντικότητας οι δύο αυτές παράμετροι επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία, το χρόνο συντήρησης της α΄ ύλης και τη διάρκεια συντήρησης του κομμένου προϊόντος. Με τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης της χρωματομέτρησης με ανάλυση ψηφιακών εικόνων ταυτίζονται τα αποτελέσματα του οργανοληπτικού ελέγχου.

Τέλος η μεταβολή του χρώματος των ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων δεν διαφέρει ποιοτικά στις δύο θερμοκρασίες 0^{o}C & 5^{o}C, και με τις δύο μεθόδους προσδιορισμού του χρώματος.

1. Εισαγωγή

Τα φρούτα με ελάχιστη επεξεργασία αποτελούν σχετικά νέα προϊόντα στην αγορά και είναι προσαρμοσμένα στις σύγχρονές απαιτήσεις των καταναλωτών (Gonzalez-Aguilar et al. 2005).

Η ελάχιστη επεξεργασία γενικά περιλαμβάνει εργασίες, όπως πλύσιμο, διαλογή, αποφλοίωση, απομάκρυνση των σπόρων και τεμαχισμό. Οι επεμβάσεις αυτές, εξαιτίας των προκληθέντων τραυματισμών στους ιστούς, μειώνουν το χρόνο συντήρησης του τελικού προϊόντος συγκριτικά με τα ολόκληρα φρούτα. (Brecht, 1995).

Τα ελαφρώς επεξεργασμένα προϊόντα παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα ρυθμού ποιοτικής υποβάθμισης διότι οι βλάβες της προετοιμασίας (αποφλοίωση, τεμαχισμός κ.λ.π) προκαλούν αύξηση του ρυθμού αναπνοής, παραγωγή αιθυλενίου λόγω stress και επιτάχυνση διαφόρων βιοχημικών αντιδράσεων όπως είναι ή αλλαγή του χρώματος κυρίως λόγω της οξείδωσης των φαινολικών συστατικών, της γεύσης, της υφής αλλά και της θρεπτικής αξίας (Watada et al. 1996; Μανωλοπούλου, 2004b; Gonzalez-Aguilar et al. 2005). Ο υψηλός ρυθμός ποιοτικής υποβάθμισης των ελαφρώς επεξεργασμένων προϊόντων οφείλεται και στην αυξημένη ευκολία προσβολής τους από μικροοργανισμούς λόγω της καταστροφής των κυττάρων κατά τον τεμαχισμό (Watada et al. 1996; Μανωλοπούλου, 2004).

Τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά τα οποία επηρεάζονται από τις προκαλούμενες μεταβολές λόγω των μηχανικών βλαβών κατά την ελάχιστη επεξεργασία, όπως έχει αναφερθεί, είναι το χρώμα και η υφή.

Η εμφάνιση (χρώμα, σχήμα) των μήλων καθορίζει την αποδοχή τους από τους καταναλωτές (Paulus and Schrevens, 1999; Abbot A. J., 2005) και κατ' επέκταση την εμπορική τους αξία (Harker et al, 1997). Συνήθως η καλή εμφάνιση επηρεάζει τον καταναλωτή περισσότερο από ότι η θρεπτική αξία και τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά (Kays, 1999).

Η ταχεία καστάνωση των τεμαχισμένων (μήλων, αχλαδιών, μπανάνας, αβοκάντο) αποτελεί πολύ σημαντικό πρόβλημα κατά τη συντήρησή τους και είναι ένας από τους πιο περιοριστικούς παράγοντες της εμπορικής ζωής τους. Αιτία της καστάνωσης (ενζυμικής) αποτελεί η δράση της πολυφαινολοξειδάσης (PPO) στις φαινολικές ουσίες παρουσία οξυγόνου.

Γενικότερα οι αλλαγές στο χρώμα των φρεσκοκομμένων φρούτων οφείλονται στην παραγωγή ή υποβάθμιση χρωστικών ουσιών (Heaton and Marangoni, 1996; Gonzalez-Aguilar et al., 2000; Jamie and Saltveit, 2002; Loaiza-Velarde et al., 2003, Rocha and Morais, 2003, Gonzalez-Aguilar et al. 2005).

Πέραν των ενόργανων αναλύσεων, ο οργανοληπτικός έλεγχος παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της ποιοτικής υποβάθμισης ελάχιστα επεξεργασμένων προϊόντων (Gil et al., 2002; Jeong et al., 2004), διότι όπως αναφέρει ο Gorny (Gorny et. al 2002) η οργανοληπτική ποιότητα είναι κρίσιμος παράγοντας για την εμπορευσιμότητα των κομμένων φρούτων και λαχανικών.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεταβολή του χρώματος κάνοντας χρήση του χρωματικού μοντέλου CIEL*a*b*. Η μεταβολή προσδιορίστηκε από τις παραμέτρους της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE* καθώς και του δείκτη καστάνωσης BI. Για την εκτίμηση των δυο αυτών παραμέτρων έγινε χρήση των μεθόδων μέτρησης του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων και με χρωματόμετρο. Παράλληλα με τον ενόργανο αντικειμενικό ποιοτικό έλεγχο πραγματοποιήθηκε και οργανοληπτικός έλεγχος από δέκα αξιολογητές προκειμένου να συγκριθεί η αντικειμενική και η υποκειμενική αξιολόγηση.

Σκοπός της έρευνας ήταν κυρίως η διερεύνηση της δυνατότητας μέτρησης του χρώματος ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Για το σκοπό αυτό μετρήθηκε το χρώμα των δειγμάτων τόσο με χρωματομέτρο όσο και με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Στα αποτελέσματα αναλύεται η επίδραση α) του χρόνου αποθήκευσης της α΄ ύλης, β) της θερμοκρασίας και γ) του χρόνου συντήρησης στο χρώμα (ΔE* και BI) και στην ολική οπτική ποιότητα τους. Η ολική οπτική ποιότητα εκτιμήθηκε οργανοληπτικά από ομάδα αξιολογητών.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Στον πίνακα 2.1 καταγράφονται οι επεξηγήσεις των συμβόλων των χρησιμοποιηθέντων παραμέτρων.

Πίνακας 2.1 Επεξήγηση και ερμηνεία συμβόλων

Συμβολισμός	Εξίσωση Υπολογισμού/ Μονάδα Μέτρησης	Ερμηνεία
ΔE^*	$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$	Ολική μεταβολή χρώματος
BI	$BI = 100\left[\frac{\left(\frac{a^* + 1,75L^*}{5,645L^* + a^* - 3,012b^*}\right) - 0,31}{0,17}\right]$	Δείκτης καστάνωσης
L^*_M		Αριθμητικός μέσος χρωματικού παράγοντα L
B_{sp}		Αποτελέσματα αξιολόγησης ενζυμικής καστάνωσης από οργανοληπτικό έλεγχο
B_{tq}		Αποτελέσματα αξιολόγησης ολικής οπτικής ποιότητας από οργανοληπτικό έλεγχο
θ	^oC	Θερμοκρασία
t_{sp}	Ημέρες	Χρόνος συντήρησης δειγμάτων
t_p	Ημέρες	Χρόνος αποθήκευσης α΄ ύλης
CM		Τεχνική μέτρησης χρώματος με χρωματόμετρο
IA.Cm		Τεχνική μέτρησης χρώματος ανάλυση ψηφιακών εικόνων

2.1 Συγκομιδή και χειρισμοί

Μήλα ποικιλίας Golden Delicious συγκομίστηκαν στο στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας, από οπωρώνα της περιοχής Τεγέας (Ν. Αρκαδίας). Μεταφέρθηκαν άμεσα με φορτηγό ψυγείο στο εργαστήριο όπου κατόπιν διαλογής αποθηκεύτηκαν σε ψυκτικό θάλαμο θερμοκρασίας 0^oC και σχετικής υγρασίας περίπου 95%, για 120 ημέρες.

2.2 Προετοιμασία ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων

Κατά την παραλαβή των μήλων και στη συνέχεια κάθε 20 ημέρες δηλ. την 1^{η}, 20^{η}, 40^{η}, 60^{η}, 80^{η}, 100^{η} και 120^{η} ημέρα, λαμβανόταν δείγμα 27 μήλων το οποίο υφίστατο όλους τους ενδεικνυόμενους χειρισμούς προετοιμασίας των ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων.

Σε κάθε πειραματική σειρά τα μήλα πλένονταν με διάλυμα NaOCl (περιεκτικότητας 100ppm) θερμοκρασίας≈14^{o}C, (διάρκεια πλυσίματος 2 λεπτά). Ακολουθούσε ξέβγαλμα με κρύο νερό βρύσης και σκούπισμα με απορροφητικό χαρτί. Στη συνέχεια τα μήλα με ειδικό κοπτικό εργαλείο τεμαχίζονταν σε 8 ισομεγέθεις φέτες. Οι φέτες εμβαπτίζονταν για 5 λεπτά σε απεσταγμένο νερό θερμοκρασίας 5^{o}C (εντός ψυκτικού θαλάμου) που περιείχε 1% ασκορβικό οξύ, 1% $CaCl_2$ και 0,5% κιτρικό οξύ (Gunes et al. 2001; Varela, Salvador and Fiszman, 2007). Στη συνέχεια μετά από ελαφρύ στέγνωμα με απορροφητικό χαρτί, οι φέτες τοποθετούνταν σε συσκευασίες PET (6 φέτες/ συσκευασία τύπου clamshells) για προστασία από την αφυδάτωση και πιθανή επιμόλυνση. Σε κάθε μία από τις 7 πειραματικές σειρές δημιουργήθηκαν έξι ομάδες των έξι συσκευασιών οι οποίες συντηρήθηκαν στους 0^{o}C και 5^{o}C για 14 ημέρες.

2.3 Ποιοτικός έλεγχος

Στην αρχή κάθε πειραματικής σειράς πραγματοποιούνταν μετρήσεις χρώματος (σάρκας και φλοιού) καθώς και έλεγχος του σταδίου ωριμότητας (περιεκτικότητα σε άμυλο) με δείκτη ιωδίνης.

2.4 Μέτρηση χρώματος

Το χρώμα μετρήθηκε παράλληλα, με χρωματόμετρο και ανάλυση ψηφιακών εικόνων.

Για τη μέτρηση του χρώματος και με τις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε, το χρωματικό μοντέλο CIEL*a*b* (Χατζής et al. 2013; Yam and Papadakis, 2004).

Οι μελετώμενες παράμετροι και στις δύο τεχνικές είναι η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE*, και ο δείκτης καστάνωσης BI (Maskan, 2001) όπως αυτοί περιγράφονται από τις εξισώσεις 2.1 & 2.2:

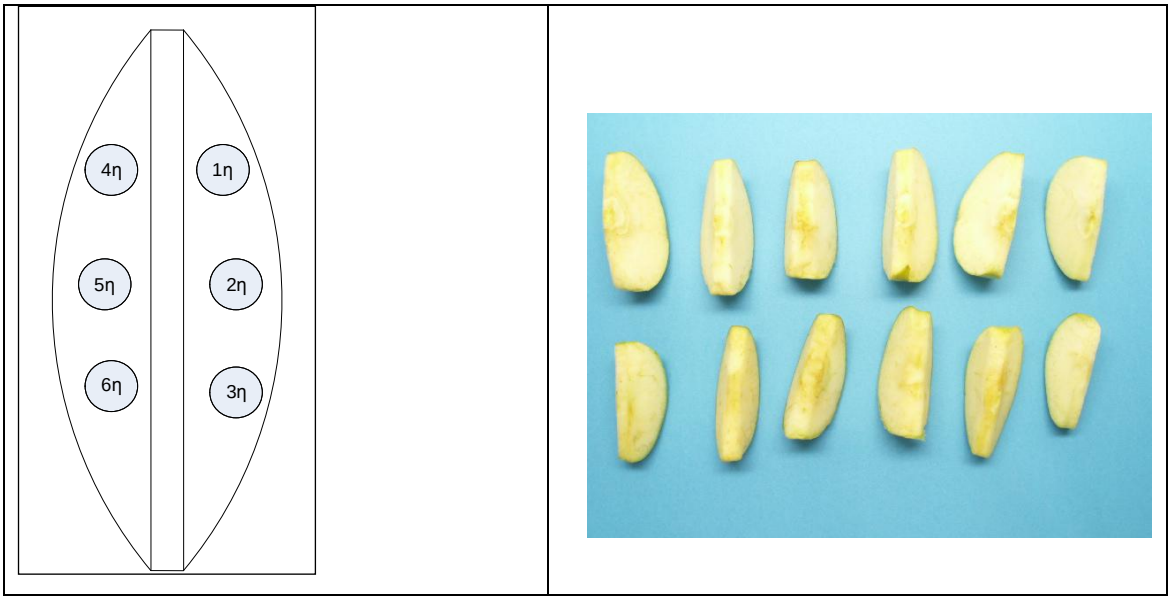
$$\Delta E^{*} = \sqrt{(\Delta L^{*})^2 + (\Delta a^{*})^2 + (\Delta b^{*})^2} \qquad (2.1)$$

$$BI = 100\left[\frac{\left(\frac{a^* + 1,75L^*}{5,645L^* + a^* - 3,012b^*}\right) - 0,31}{0,17}\right] \quad (2.2)$$

Εκτός των παραπάνω παραγόντων στη μελέτη εξετάστηκε μεμονωμένα και η φωτεινότητα L^*.

2.4.1 Μέτρηση χρώματος με χρωματόμετρο

Το χρώμα μετρήθηκε κατ' αρχάς με χρωματόμετρο Minolta CR-300. Πριν από κάθε χρήση το χρωματόμετρο εβαθμονομείτο με χρήση της πρότυπης πλάκας CR-A43 (Yxy, χρωματικό μοντέλο) όπως προβλέπεται από τις οδηγίες χρήσης του οργάνου (Minolta, 1995). Οι μετρήσεις γινόντουσαν(ή γίνονταν) σε 2 φέτες ανά συσκευασία (συνολικά 12 δείγματα ανά θερμοκρασία και ημερομηνία μέτρησης) σε 6 διαφορετικά σημεία (3 σε κάθε πλευρά) ανά φέτα μήλου (Εικ. 2.1). Για των προσδιορισμό των χρωματικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το προαναφερθέν χρωματικό μοντέλο CIE$L^*a^*b^*$ (L^*: φωτεινότητα, a^*: πράσινο-κόκκινο, b^*: μπλε-κίτρινο)



Εικόνα 2.1. Διαγραμματική παρουσίαση μετρήσεων με το χρωματόμετρο

Η λήψη έξι συνολικά μετρήσεων ανά φέτα μήλου (σε κάθε μέτρηση μετράται το χρώμα επιφάνειας δείγματος 50,24 mm^2, (Minolta, 1995) απέβλεπε στο να αξιολογηθεί όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια, χωρίς αλληλεπικαλύψεις, σε διάρκεια χρόνου που δεν θα επιβάρυνε ποιοτικά το προϊόν.

2.4.2 Μέτρηση χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Η μέτρηση του χρώματος με ανάλυση ψηφιακών εικόνων περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 5 του κεφαλαίου 2.

2.4.3 Οργανοληπτικός έλεγχος

Ο οργανοληπτικός έλεγχος πραγματοποιήθηκε κάθε δύο ημέρες (0,$2^{η}$,$4^{η}$,$6^{η}$,$8^{η}$,$10^{η}$,$12^{η}$ και $14^{η}$) σε 6 δείγματα (2 φέτες μήλου/δείγμα) ανά θερμοκρασία από 10 κριτές με περιγραφική ανάλυση τόσο για το επίπεδο καστάνωσης όσο και για την ολική οπτική ποιότητα των δειγμάτων (Kader A. and Cantwell M., 2006). Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε από άτομα ηλικίας 26 έως 60 ετών στους οποίους δεν ήταν γνωστή η σειρά ταξινόμησης των δειγμάτων/ θερμοκρασία, (Mwithiga et. al 2007).

Η μέθοδος αξιολόγησης σε ότι αφορά την βαθμολόγηση, η οποία εφαρμόστηκε, παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Βαθμολόγηση δειγμάτων κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο

Ολική οπτική ποιότητα		**Καστάνωση**	
9	Εξαιρετικό	1	Πλήρης καστάνωση
7	Καλό	2	Μεγάλο ποσοστό καστάνωσης
5	Μέτριο	3	Μέτρια καστάνωση
3	Κακό	4	Ελαφρά καστάνωση
1	Πολύ κακό	5	Καθόλου καστάνωση

2.5 Στατιστική ανάλυση

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Statgraphics Centurion με παραγοντική ανάλυση διασποράς (Multifactor Anova) καθώς και με απλή συσχέτιση (Simple Regression) δύο παραγόντων.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Χρωματικοί παράγοντες ΔE*, BI και L*

3.1.1 Παραγοντική ανάλυση διασποράς ΔE και BI*

Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης διασποράς σε επίπεδο σημαντικότητας 0,01 των παραμέτρων ΔE* και BI οι οποίοι προέκυψαν από τις δυο μεθόδους μέτρησης του χρώματος παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης διασποράς για τους χρωματικούς παράγοντες ΔE* & BI των δυο τεχνικών.

Αξιολ/νος παράγοντας	Ανεξάρτητος παράγοντας	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα Τετραγώνων	F	P
ΔE^*_{CM}	t_p	5	54,9363	1,1	0,2678
	t_{sp}	6	442,057	25,70	0,0000
	θ	1	629,852	1,18	0,2815
	t_p* t_{sp}	5	42,5456	4,13	0,0026
	t_p* θ	5	30,1936	0,71	0,6185
	t_{sp}* θ	6	22,1360	1,38	0,2365
	t_p* θ* t_{sp}	5	56,7656	1,31	0,0019
$\Delta E^*_{IA.Cm}$	t_p	5	87,3465	4,25	0,0021
	t_{sp}	6	574,481	23,31	0,0000
	θ	1	71,6054	17,43	0,0001
	t_p* t_{sp}	5	52,5839	2,04	0,0851
	t_p* θ	5	71,6054	0,98	0,4396
	t_{sp}* θ	6	20,7105	0,66	0,6838
	t_p* θ* t_{sp}	5	52,5838	2,56	0,0358
BI_{CM}	t_p	5	101,561	1,87	0,1130
	t_{sp}	6	1324,210	20,28	0,0000
	θ	1	62,019	5,70	0,0200
	t_p* t_{sp}	5	100,578	1,74	0,1386
	t_p* θ	5	181,68	1,27	0,2870
	t_{sp}* θ	6	71,3823	1,03	0,4144
	t_p* θ* t_{sp}	5	95,1926	1,75	0,1365
$BI_{IA.Cm}$	t_p	5	2492,530	12,73	0,0000
	t_{sp}	6	1830,900	7,79	0,0000
	θ	1	424,799	10,85	0,0016
	t_p* t_{sp}	5	2328,91	10,31	0,0000
	t_p* θ	5	570,624	1,96	0,0967
	t_{sp}* θ	6	180,915	0,39	0,8819
	t_p* θ* t_{sp}	5	424,795	10,85	0,0160

Με κόκκινο επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση. Με * σημαίνεται η ύπαρξη ταυτόχρονης επίδρασης από τους αναφερόμενους ανεξάρτητους παράγοντες.

Παραγοντική ανάλυση διασποράς πραγματοποιήθηκε ομοίως με τα προηγούμενα και στις περιπτώσεις αξιολόγησης της ενζυμικής καστάνωσης (B_{sp}) και της ολικής οπτικής ποιότητας (B_{tq}) με οργανοληπτικό έλεγχο (Πίν. 3.2).

Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα παραγοντικής ανάλυσης διασποράς αξιολόγησης της ενζυμικής καστάνωσης (Bsp) και ολικής ποιότητας (Btq) με οργανοληπτικό έλεγχο των δυο τεχνικών.

Αξιολ/νος παράγοντας	Ανεξάρτητος παράγοντας	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα Τετραγώνων	F	P
B_{sp}	t_p	5	2,255	3,43	0,0083
	t_{sp}	6	47,433	60,19	0,0000
	θ	1	7,2057	54,86	0,0000
	t_p* t_{sp}	5	2,1334	1,76	0,1330
	t_p* θ	5	0,5948	0,72	0,6094
	t_{sp}* θ	6	1,69823	1,99	0,081
	t_p* θ* t_{sp}	5	2,1334	3,25	0,0113
B_{tq}	t_p	5	14,667	6,38	0,0001
	t_{sp}	6	332,153	120,31	0,0000
	θ	1	25,8307	56,14	0,0000
	t_p* t_{sp}	5	17,4017	4,06	0,0029
	t_p* θ	5	1,41925	0,26	0,9350
	t_{sp}* θ	6	5,45819	1,48	0,2010
	t_p* θ* t_{sp}	5	28,9891	7,56	0,0000

Με κόκκινο επισημαίνονται οι περιπτώσεις στις οποίες υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση. Με * σημαίνεται η ύπαρξη ταυτόχρονης επίδρασης από τους αναφερόμενους ανεξάρτητους παράγοντες.

Από τους παραπάνω πίνακες είναι εμφανής η ιδιαίτερα αυξημένη ευαισθησία της μεθόδου *IA.Cm* έναντι τη *CM* σε ότι αφορά στην επίδραση από τους ανεξάρτητους παράγοντες t_p, θ & t_{sp} (Χατζής κ.α 2009). Η ευαισθησία αυτή είναι συμβατή με την ευαισθησία που παρουσιάζουν οι κριτές κατά την αξιολόγησή τους (*Bsp, Btq*) στην περίπτωση μη ύπαρξης αλληλεπίδρασης μεταξύ των ανεξάρτητων παραγόντων.

Η μεταβολή του χρώματος, μελετώμενη από τους παράγοντες ΔE^* και BI, με την τεχνική *CM* επηρεάζεται μόνο από το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp}. Μόνο στην περίπτωση ταυτόχρονης επίδρασης του ίδιου παράγοντα t_{sp} και του ολικού χρόνου συντήρησης της α΄ ύλης t_p επηρεάζεται σημαντικά η ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^*.

Από την αλληλεπίδραση των t_p & t_{sp} επηρεάζεται σημαντικά ο δείκτης καστάνωσης BI της *IA.Cm* καθώς και η ολική ποιότητα *Btq,* όπως προκύπτει από τον οργανοληπτικό έλεγχο. Η ολική ποιότητα *Btq* επηρεάζεται το ίδιο σημαντικά από την ταυτόχρονη επίδραση όλων των ανεξάρτητων παραγόντων t_p, t_{sp} & θ. Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι την μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζουν οι κριτές του οργανοληπτικού ελέγχου και η τεχνική *IA.Cm* (Πίν. 3.1 & 3.2).

Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τόσο κατά τον οργανοληπτικό έλεγχο όσο και κατά την τεχνική με ανάλυση ψηφιακών εικόνων αξιολογείται το

σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων. Η δυνατότητα αυτή δεν δίνεται από την τεχνική του χρωματομέτρου με την οποία σε κάθε μέτρηση αξιολογείται επιφάνεια δείγματος ίση με 50,24 mm^2 που αντιστοιχεί περίπου στο 5- 15% της συνολικής (Chatzis, et al. 2007) ανάλογα με τη πυκνότητα των μετρήσεων, με αποτέλεσμα να μην καταγράφονται στο σύνολο της επιφάνειας οι μεταβολές του χρώματος.

3.1.2 Μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων ΔE και BI*

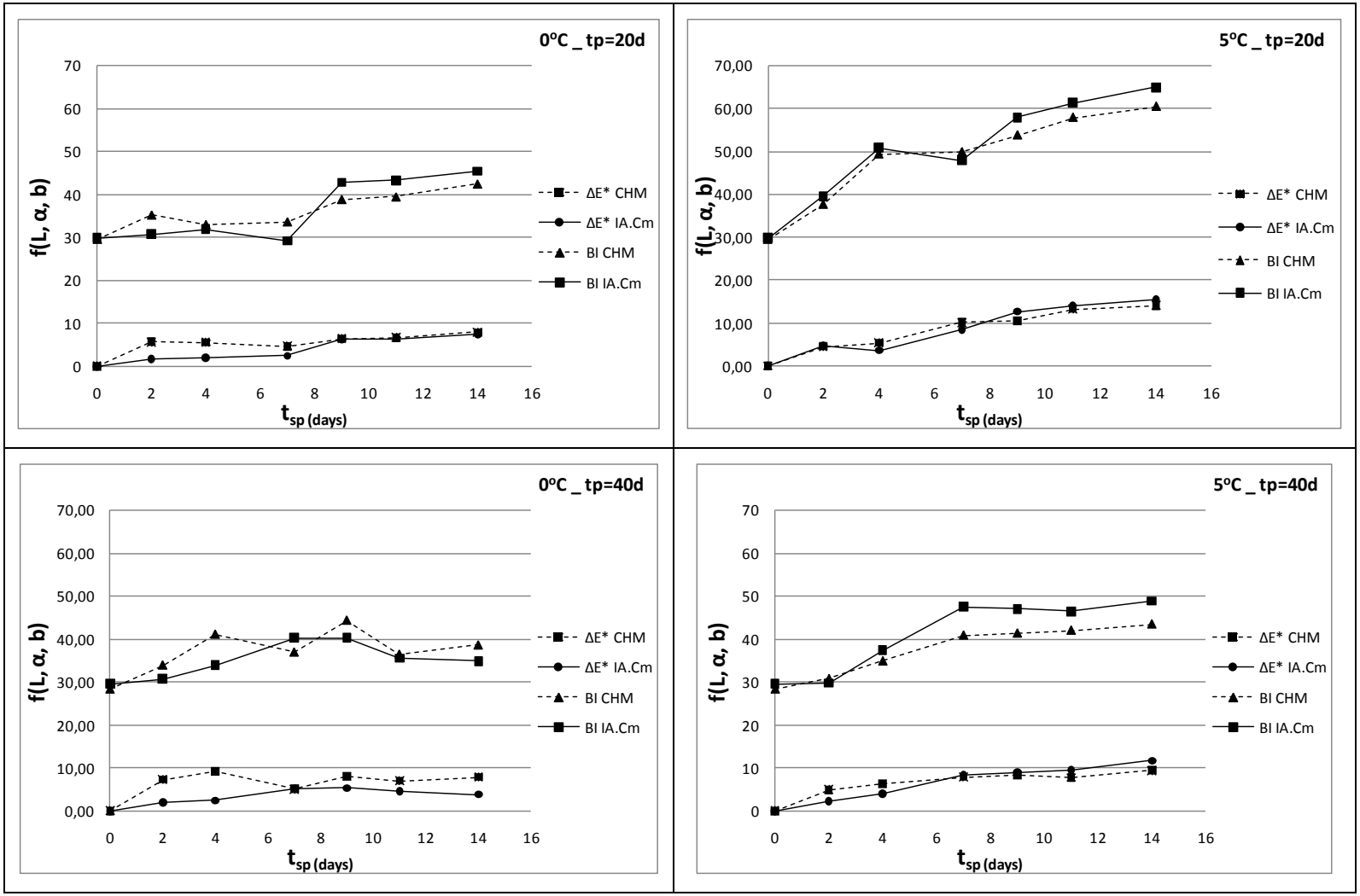
Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι μεταβολές των ΔE* και BI των τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} (χρόνος αποθήκευσης α΄ ύλης: 20d & 40d, θ=0 & 5°C).

Σημειώνεται ότι η συνάρτηση f(L^*, a^*, b^*) ανάλογα την περίπτωση αντιστοιχεί στις εξισώσεις 2.1-2.2 προσδιορισμού των ΔE* και BI των δύο τεχνικών.

Στον πίνακα 3.4 καταγράφονται οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και τα όρια εμπιστοσύνης (CL) σε επίπεδο σημαντικότητας 95% των χρωματικών παραγόντων ΔE* και BI των δυο τεχνικών CM και IA.Cm για το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp}.

Από τις μεταβολές των γραφικών παραστάσεων του σχήματος 3.3 παρατηρείται, θετική μεταβολή των χρωματικών παραγόντων σε κάθε περίπτωση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων. Οι τιμές των μελετηθέντων χρωματικών παραγόντων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο τεχνικών.

Οι μεταβολές των ΔE* και BI στη θερμοκρασία των 5°C είναι αυξημένες. Αυτό οφείλεται κυρίως στη συντήρηση των δειγμάτων σε υψηλότερη θερμοκρασία η οποία εντείνει το φαινόμενο της οξειδωτικής καστάνωσης.



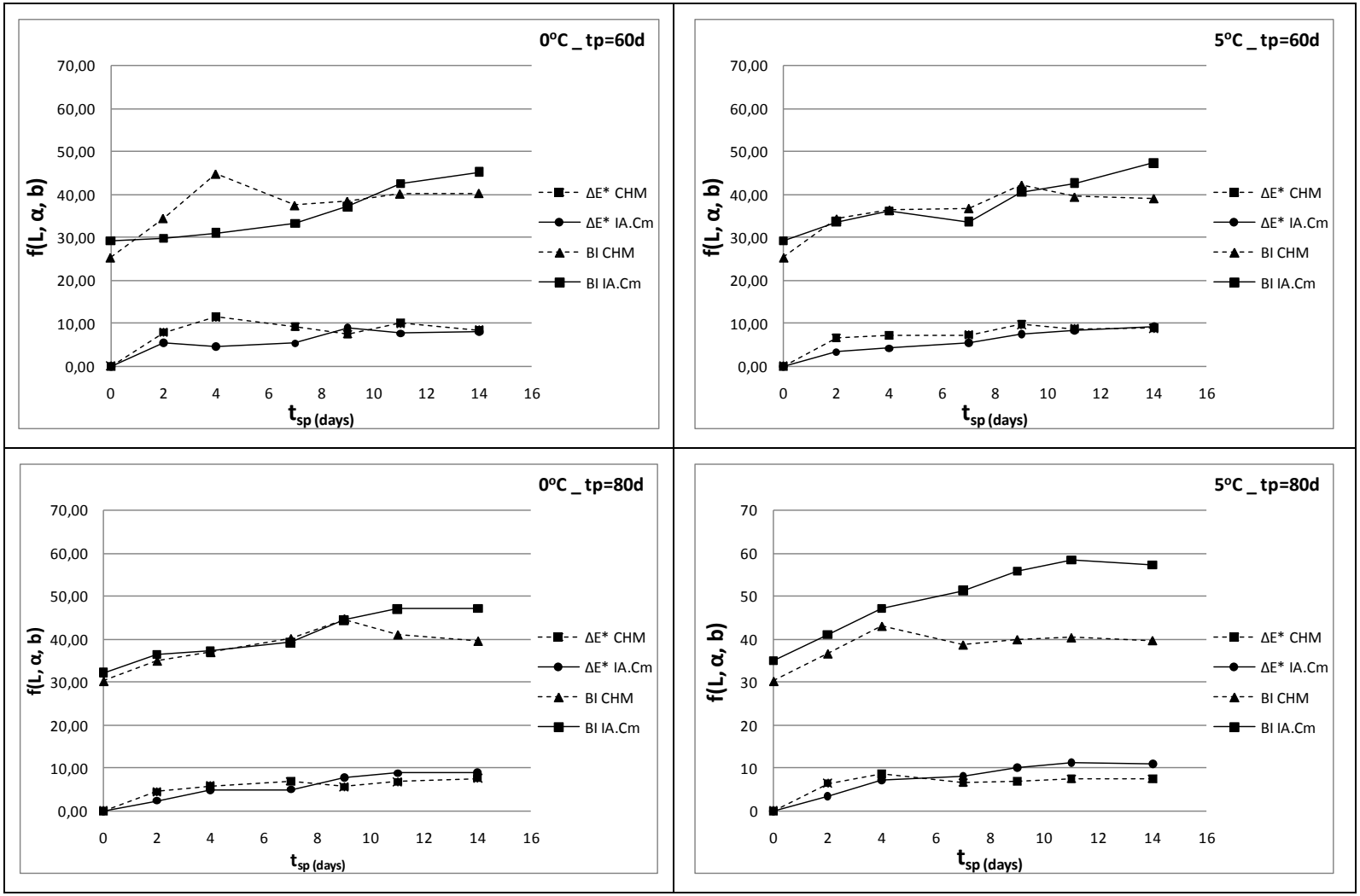
Σχ.3.1 Μεταβολές των ΔΕ και BI τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} (χρόνος αποθήκευσης α΄ύλης, t_p: 20d & 40d, θ=0 & 5^{o}C)

Πίνακας 3.3. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των ΔE^* και BI τεχνικών CM & IA.Cm (χρόνος αποθήκευσης α΄ύλης: 20d & 40d, θ=0 & 5°C)

t_p=20d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,51	0,59	1,15	29,88	0,11	0,21
2	5,63	0,43	0,84	1,67	0,04	0,09	35,22	1,06	2,08	30,74	0,11	0,21
4	5,55	0,49	0,97	1,86	0,06	0,13	32,97	1,36	2,66	31,89	0,10	0,20
7	4,61	0,39	0,76	2,42	0,06	0,11	33,62	0,80	1,56	29,16	0,11	0,22
9	6,40	0,44	0,86	6,19	0,04	0,08	38,89	1,22	2,39	42,78	0,10	0,20
11	6,67	0,46	0,90	6,42	0,05	0,09	39,49	1,35	2,65	43,32	0,11	0,21
14	7,91	0,54	1,06	7,35	0,06	0,11	42,53	1,29	2,52	45,41	0,12	0,23
t_p=20d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,51	1,20	2,30	29,88	0,11	0,21
2	4,51	0,58	1,13	4,78	0,04	0,08	37,65	0,58	1,13	39,58	0,10	0,20
4	5,37	0,62	1,21	3,62	0,05	0,09	49,35	0,62	1,21	50,81	0,10	0,19
7	10,13	0,54	1,05	8,41	0,05	0,11	49,84	0,54	1,05	47,93	0,11	0,22
9	10,52	0,48	0,93	12,67	0,07	0,13	53,77	0,48	0,93	57,95	0,11	0,21
11	13,23	0,50	0,98	13,98	0,06	0,11	57,86	0,50	0,98	61,39	0,11	0,22
14	14,08	0,50	0,98	15,39	0,04	0,08	60,42	0,57	1,12	64,97	0,11	0,21
t_p=40d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,41	1,22	2,39	29,57	0,11	0,21
2	7,30	0,66	1,29	1,99	0,06	0,11	33,97	0,88	1,73	30,74	0,11	0,21
4	9,23	0,76	1,49	2,43	0,04	0,09	41,14	1,57	3,08	33,96	0,11	0,21
7	5,05	0,57	1,11	5,24	0,05	0,09	36,99	1,27	2,49	40,35	0,12	0,23
9	8,07	0,62	1,22	5,29	0,05	0,11	44,40	1,43	2,80	40,31	0,11	0,21
11	7,02	0,62	1,21	4,47	0,06	0,12	36,48	0,96	1,89	35,55	0,11	0,22
14	7,86	0,69	1,35	3,79	0,04	0,08	38,63	1,40	2,74	34,87	0,11	0,22
t_p=40d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,41	0,93	1,82	29,57	0,10	0,20
2	4,93	0,44	0,85	2,33	0,07	0,13	30,79	1,01	1,98	29,76	0,10	0,20
4	6,31	0,52	1,01	3,90	0,06	0,12	34,90	1,05	2,07	37,44	0,10	0,20
7	7,84	0,50	0,98	8,36	0,06	0,11	40,88	1,12	2,20	47,52	0,10	0,21
9	8,34	0,58	1,13	9,03	0,06	0,12	41,35	1,56	3,07	47,06	0,10	0,20
11	7,77	0,52	1,01	9,57	0,05	0,10	42,02	1,45	2,83	46,52	0,11	0,21
14	9,43	0,50	0,98	11,69	0,06	0,12	43,46	1,48	2,90	48,91	0,11	0,21

Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζονται οι μεταβολές των ΔE^* και BI των τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο t_{sp} (χρόνος αποθήκευσης α΄ ύλης: 60d & 80d, θ=0 & 5°C) συντήρησης των δειγμάτων. Στον πίνακα 3.4 καταγράφονται οι μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης (CL σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) των χρωματικών παραγόντων ΔE^* και BI των δυο τεχνικών CM και IA.Cm για το χρόνο συντήρησης t_{sp}.

Οι μεταβολές των ΔE^* & BI στην περιπτώσεις t_p=60 & 80d (θ=5°C) είναι λιγότερο έντονες. Πολύ μικρές είναι οι διαφορές στην περίπτωση της τεχνικής CM.



Σχ.3.2 Μεταβολές των ΔΕ και BI τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} (χρόνος αποθήκευσης Α΄ύλης, t_p: 60d & 80d, θ=0 & 5^{o}C)

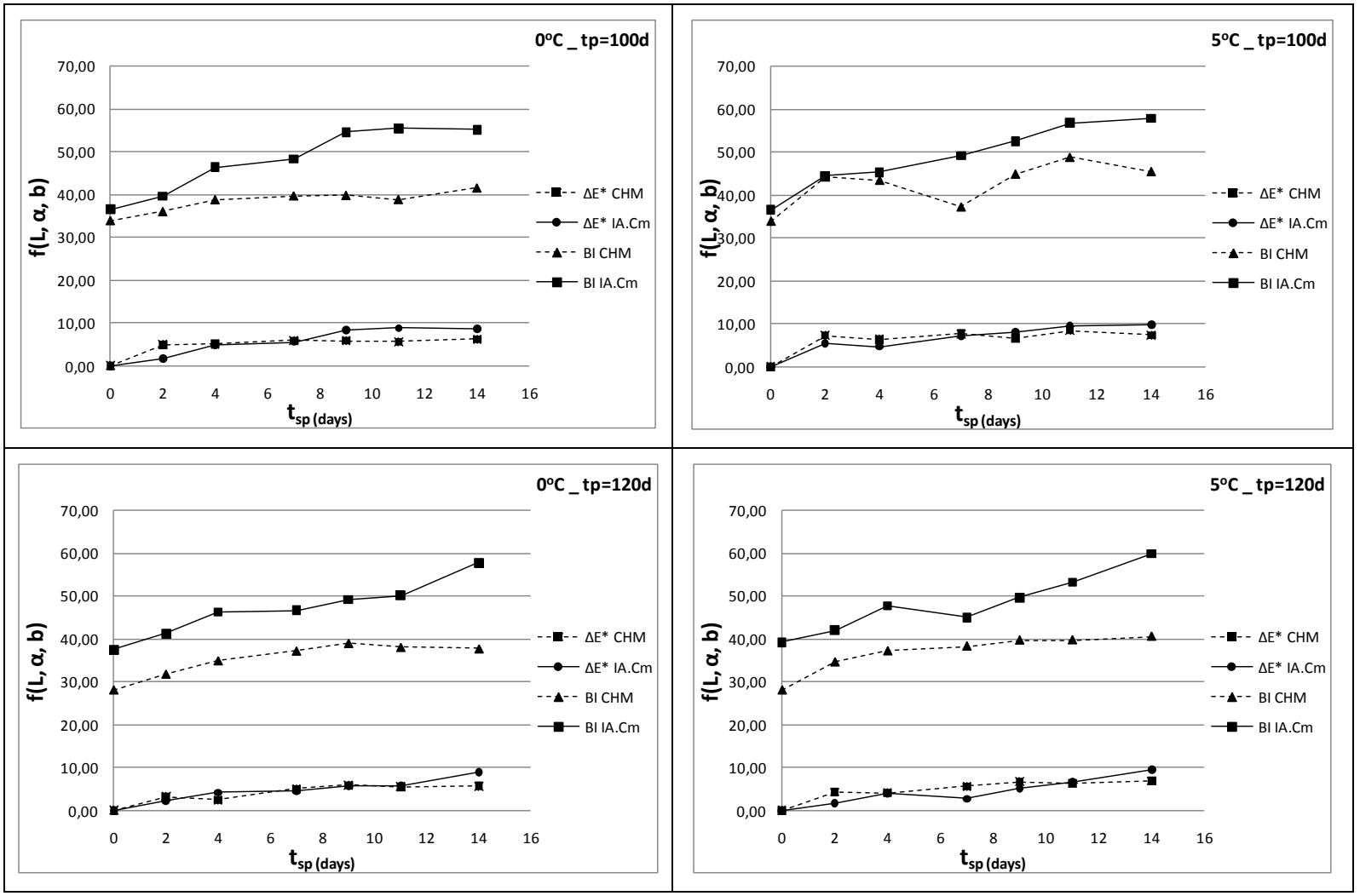
Πίνακας 3.4 Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των ΔE* και BI τεχνικών CM & IA.Cm (χρόνος αποθήκευσης α΄ύλης: 60d & 80d, θ=0 & 5°C)

t_p=60d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,34	0,58	1,14	29,23	0,10	0,20
2	7,89	0,54	1,07	5,49	0,06	0,12	34,48	1,25	2,45	29,80	0,10	0,21
4	11,41	1,07	2,09	4,57	0,06	0,11	44,78	2,47	4,83	31,02	0,10	0,20
7	9,18	0,50	0,97	5,28	0,06	0,12	37,47	0,94	1,85	33,27	0,11	0,22
9	7,45	0,61	1,19	8,81	0,06	0,11	38,45	1,15	2,25	37,18	0,09	0,18
11	9,97	0,68	1,33	7,62	0,06	0,12	40,17	1,50	2,94	42,49	0,10	0,20
14	8,45	0,59	1,15	7,99	0,06	0,11	40,31	1,14	2,24	45,22	0,10	0,20
t_p=60d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,34	0,67	1,32	29,23	0,11	0,21
2	6,56	0,63	1,23	3,27	0,06	0,12	34,40	1,28	2,52	33,61	0,10	0,21
4	7,15	0,54	1,05	4,15	0,06	0,11	36,46	1,23	2,40	36,13	0,10	0,20
7	7,30	0,57	1,12	5,33	0,06	0,12	36,85	0,98	1,92	33,59	0,11	0,22
9	9,68	0,60	1,18	7,49	0,06	0,12	42,27	1,24	2,43	40,61	0,11	0,21
11	8,71	0,62	1,22	8,24	0,07	0,13	39,50	1,36	2,67	42,61	0,11	0,21
14	8,82	0,56	1,10	9,18	0,07	0,13	39,17	1,25	2,45	47,40	0,10	0,20
t_p=80d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,22	0,81	1,59	32,14	0,10	0,20
2	4,43	0,59	1,15	2,37	0,06	0,12	34,94	1,01	1,99	36,48	0,10	0,19
4	5,80	0,59	1,16	4,76	0,06	0,11	36,92	1,14	2,24	37,24	0,10	0,20
7	6,87	0,56	1,10	4,96	0,06	0,12	40,08	1,13	2,21	39,23	0,11	0,21
9	5,58	0,67	1,31	7,66	0,06	0,11	44,68	1,00	1,96	44,48	0,10	0,19
11	6,77	0,61	1,20	8,76	0,06	0,12	40,99	1,17	2,29	47,03	0,11	0,21
14	7,56	0,66	1,29	8,93	0,07	0,13	39,52	1,13	2,21	47,12	0,11	0,21
t_p=80d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,38	0,78	1,53	29,00	0,09	0,18
2	6,43	0,58	1,13	3,49	0,06	0,11	35,20	1,20	2,34	31,00	0,10	0,19
4	8,61	0,63	1,24	7,10	0,05	0,11	36,38	1,34	2,63	30,00	0,10	0,19
7	6,59	0,60	1,18	8,13	0,06	0,11	39,62	0,76	1,48	33,00	0,10	0,21
9	6,88	0,61	1,19	10,04	0,05	0,11	41,25	1,13	2,21	31,00	0,10	0,19
11	7,43	0,66	1,30	11,22	0,06	0,12	38,56	1,33	2,61	30,00	0,09	0,18
14	7,41	0,51	1,01	10,87	0,07	0,13	39,92	1,16	2,28	33,00	0,10	0,20

Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζονται οι μεταβολές των ΔE* και BI των τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} μετά από μεγαλύτερο χρόνο συντήρησης της ά ύλης (χρόνος αποθήκευσης α΄ ύλης, t_p: 100d & 120d, θ=0 & 5°C). Στον πίνακα 3.5 καταγράφονται ομοίως οι μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και τα όρια εμπιστοσύνης (CL σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) των χρωματικών παραγόντων ΔE και BI των δυο τεχνικών CM και IA.Cm για το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp}.

Οι μεταβολές των ΔE* & BI των δειγμάτων από α΄ ύλη χρόνου συντήρησης πέραν των 100 ημερών (t_p=100 & 120d) σε θ=5°C, όπως και στην προηγούμενη

περίπτωση, είναι λιγότερο έντονες σε σχέση με τις αντίστοιχες της $\theta=0^{o}C$. Πολύ μικρές είναι οι διαφορές στην περίπτωση της τεχνικής CM.

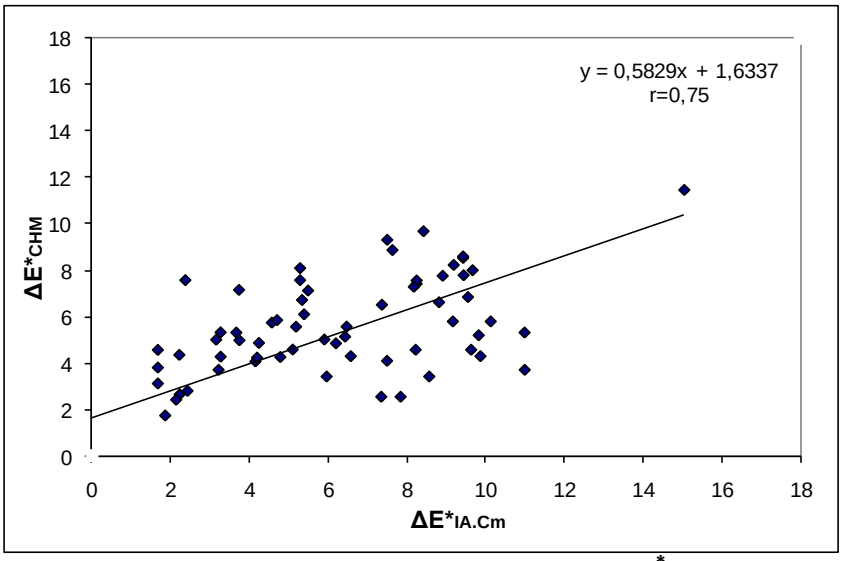


Σχ.3.3 Μεταβολές των ΔΕ και BI τεχνικών CM & IA.Cm σε συνάρτηση με το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων t_{sp} (χρόνος αποθήκευσης Α΄ύλης, t_p 100d & 120d, θ=0 & 5^{o}C)

Πίνακας 3.5. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης CL των ΔE^* και BI τεχνικών CM & IA.Cm (χρόνος αποθήκευσης Α΄ύλης: 100d & 120d, θ=0 & 5°C)

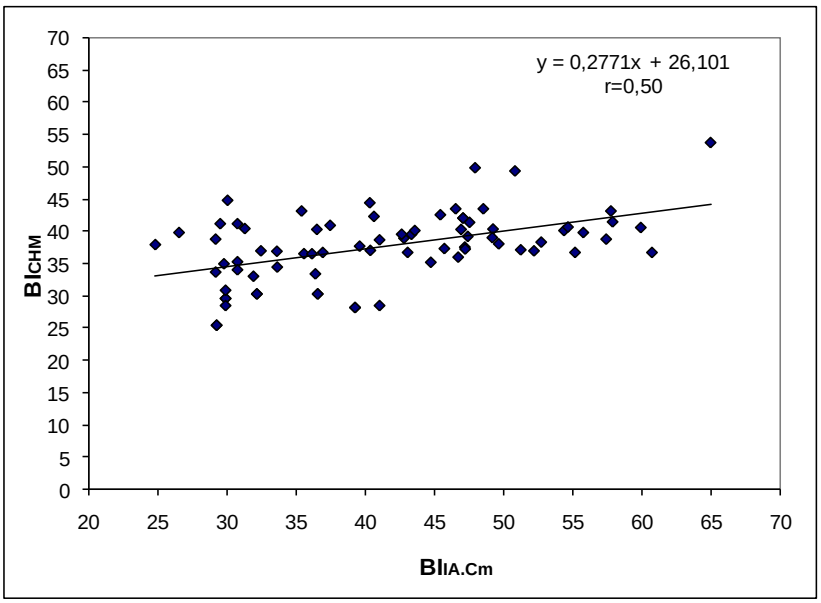
t_p=100d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,96	0,71	1,40	36,54	0,11	0,22
2	4,90	0,31	0,60	1,68	0,07	0,13	36,05	0,96	1,89	39,66	0,12	0,23
4	5,05	0,34	0,66	4,90	0,06	0,12	38,81	0,99	1,93	46,37	0,11	0,22
7	5,88	0,35	0,69	5,56	0,07	0,13	39,71	1,77	3,46	48,28	0,12	0,23
9	5,82	0,62	1,22	8,27	0,06	0,12	39,81	1,50	2,94	54,65	0,11	0,21
11	5,59	0,46	0,89	8,80	0,07	0,13	38,86	1,65	3,23	55,47	0,11	0,22
14	6,19	0,64	1,25	8,56	0,07	0,14	41,53	1,33	2,61	55,16	0,11	0,21
t_p=100d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,96	0,81	1,60	36,54	0,10	0,20
2	7,28	0,56	1,10	5,40	0,06	0,12	44,27	1,21	2,37	44,42	0,11	0,21
4	6,37	0,60	1,18	4,68	0,06	0,11	43,50	1,52	2,97	45,28	0,10	0,20
7	7,66	0,57	1,12	7,06	0,06	0,12	37,27	1,05	2,06	49,19	0,11	0,22
9	6,60	0,47	0,92	8,02	0,06	0,12	44,93	1,63	3,20	52,59	0,11	0,21
11	8,44	0,78	1,52	9,55	0,06	0,13	48,84	1,01	1,97	56,83	0,11	0,21
14	7,35	0,48	0,93	9,85	0,07	0,14	45,52	1,00	1,96	57,87	0,11	0,21
t_p=120d, θ=0°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,13	28,10	0,60	1,19	37,50	0,10	0,21
2	3,18	0,30	0,58	2,19	0,06	0,12	31,82	0,87	1,70	41,23	0,11	0,21
4	2,42	0,53	1,03	4,16	0,06	0,12	34,98	1,06	2,08	46,32	0,10	0,20
7	5,01	0,51	1,01	4,43	0,06	0,12	37,27	1,21	2,37	46,67	0,11	0,22
9	5,90	0,61	1,20	5,66	0,06	0,12	39,07	1,18	2,32	49,17	0,11	0,21
11	5,50	0,52	1,02	5,78	0,07	0,13	38,14	1,05	2,05	50,13	0,11	0,21
14	5,65	0,44	0,87	8,95	0,07	0,14	37,79	1,09	2,13	57,78	0,11	0,21
t_p=120d, θ=5°C												
t_{sp}	**ΔE^*_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**BI_{CM}**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**	**$BI_{IA.Cm}$**	$SE_{\bar{x}}$	**CL**
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,10	0,62	1,21	39,24	0,10	0,20
2	4,29	0,53	1,04	1,61	0,06	0,12	34,59	1,23	2,41	42,06	0,11	0,21
4	4,10	0,62	1,22	3,94	0,06	0,12	37,16	1,37	2,69	47,78	0,10	0,20
7	5,58	0,46	0,91	2,69	0,06	0,12	38,28	0,91	1,78	44,99	0,11	0,22
9	6,70	0,71	1,39	5,18	0,06	0,12	39,67	1,36	2,67	49,67	0,11	0,21
11	6,28	0,60	1,18	6,51	0,07	0,13	39,72	1,25	2,45	53,24	0,11	0,21
14	6,86	0,71	1,40	9,54	0,07	0,14	40,55	1,34	2,62	59,91	0,11	0,21

Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της ολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* (Σχ. 3.4), η οποία προκύπτει από τα πειραματικά δεδομένα των δύο τεχνικών είναι γραμμική με συντελεστή συσχέτισης r=0,75 (ισχυρή), (Χατζής et al. 2011).



Σχήμα 3.4. Συσχέτιση της ολικής μεταβολής χρώματος ΔE^* με τις δύο τεχνικές

Τα πρωτογενή δεδομένα των δεικτών καστάνωσης $BI_{IA.Cm}$ και BI_{CM}, των δύο τεχνικών παρουσιάζουν, ομοίως θετική γραμμική συσχέτιση (Σχ. 3.5), με συντελεστή συσχέτισης r=0,50 (μέση), (Παπαδόπουλος, 2008).



Σχήμα 3.5. Συσχέτιση του δείκτη καστάνωσης BI_{CM} τεχνικής με χρωματόμετρο έναντι του δείκτη καστάνωσης $BI_{IA.Cm}$ της τεχνικής με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Επιπλέον των παραπάνω διενεργήθηκε έλεγχος της δυναμικής γραμμικότητας των ΔE^* και BI σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα αποτελέσματα ελέγχου της γραμμικότητας των μεταβολών των παραμέτρων ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, BI_{CM}, και $BI_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών ως προς το χρόνο συντήρησης παρουσιάζονται στον πίνακα 3.7. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση το συντελεστής συσχέτισης του Pearson.

Πίνακας 3.7. Συντελεστές α και β γραμμικής σχέσης $\Delta E^*=\alpha t_{sp}$ και $BI= \alpha t_{sp}+\beta$ των ΔE^*_{CM}, $\Delta E^*_{IA.Cm}$, BI_{CM} και $BI_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο συντήρησης των δειγμάτων (t_{sp}) καθώς και οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης αυτών

0°C	**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**			**BI_{CM}**			**$BI_{IA.Cm}$**		
t_p	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**R**	**α**	**B**	**r**	**α**	**β**	**r**
20	0,48	0	0,84[g]	0,55	0	0,95[g]	0,81	30,5	0,93[g]	1,25	27,72	0,87[g]
40	0,66	0	0,43[d]	0,41	0	0,64[e]	0,58	33,20	0,56[e]	0,48	31,90	0,63[e]
60	0,78	0	0,58[e]	0,74	0	0,75[f]	0,72	32,40	0,53[e]	1,37	25,27	0,72[f]
80	0,54	0	0,56[e]	0,74	0	0,94[g]	0,72	35,34	0,77[f]	1,10	33,02	0,97[g]
100	0,32	0	0,80[g]	0,75	0	0,87[g]	0,44	35,13	0,90[g]	1,17	29,72	0,94[g]
120	0,52	0	0,78[f]	0,62	0	0,93[g]	0,62	31,76	0,81[g]	1,25	38,56	0,89[g]
5°C	**ΔE^*_{CM}**			**$\Delta E^*_{IA.Cm}$**			**BI_{CM}**			**$BI_{IA.Cm}$**		
t_p	**α**	**β**	**r**	**α**	**β**	**r**	**α**	**B**	**r**	**α**	**β**	**r**
20	1,34	0	0,98[g]	1,31	0	0,95[g]	2,08	34,34	0,94[g]	2,36	34,50	0,95[g]
40	0,74	0	0,90[g]	0,92	0	0,97[g]	1,14	29,78	0,95[g]	1,56	30,5	0,92[g]
60	0,76	0	0,70[f]	0,74	0	0,94[g]	0,86	30,50	0,79[f]	1,56	30,50	0,92[g]
80	0,52	0	0,57[e]	0,98	0	0,88[g]	0,72	33,17	0,77[f]	1,60	38,12	0,95[g]
100	0,56	0	0,61[e]	0,85	0	0,84[g]	0,67	32,04	0,72[f]	1,46	39,75	0,94[g]
120	0,62	0	0,68[e]	0,62	0	0,89[g]	0,76	31,78	0,87[g]	1,32	39,20	0,94[g]

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

$0,3 \leq r < 0,5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: d

$0,5 \leq r < 0,7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: e

$0,7 \leq r < 0,8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: f

$0,8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: g

Χατζής κ.α, 2009

Από τον ανωτέρω πίνακα προκύπτει ότι η τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων παρουσιάζει ισχυρότερη γραμμική συσχέτιση σε σχέση με τη δυναμική γραμμικής συσχέτισης των αποτελεσμάτων της τεχνικής με το χρωματόμετρο. Αξιοσημείωτο είναι ότι και με τις δυο μεθόδους, προκύπτει αυτό το οποίο είναι και αναμενόμενο, δηλαδή η αύξηση των χρωματικών παραγόντων ΔE^* και BI (θετικοί συντελεστές διεύθυνσης) λόγω της μεταβολής του χρώματος εξαιτίας της εμφανιζόμενης καστάνωσης κατά τη συντήρηση των δειγμάτων φρεσκοκομμένων μήλων.

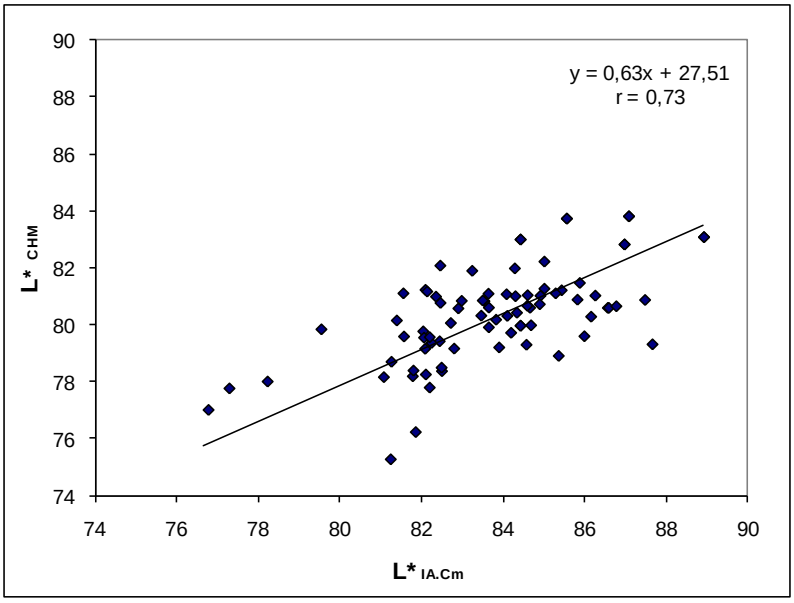
Η ισχυρή αυτή συσχέτιση καταδεικνύει τη μεγαλύτερη ευαισθησία της νέας μεθόδου έναντι αυτής του χρωματομέτρου σε σχέση με το πως αυτές προσομοιάζουν καλύτερα την ανθρώπινη αντίληψη της μεταβολής του χρώματος.

Με κριτήριο τους συντελεστές διεύθυνσης των γραμμικών μεταβολών παρατηρείται ότι οι δυο τεχνικές παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στην θερμοκρασία

των 5^{o}C. Η παρατήρηση αυτή είναι αναμενόμενη, διότι σε υψηλότερη θερμοκρασία συντήρησης υπάρχει εντονότερη και ταχύτερη υποβάθμιση του προϊόντος η οποία είναι αντιληπτή και μακροσκοπικά.

3.1.3 Μεταβολές της φωτεινότητας L*

Ομοίως θετική γραμμική συσχέτιση (Σχ.3.6), με συντελεστή r=0,57 (μέση) παρουσιάζει και η μεταβολή της χρωματικής παραμέτρου $L^{*}_{IA.Cm}$ και L^{*}_{CM} των δύο τεχνικών.



Σχήμα 3.6. Συσχέτιση του χρωματικού παράγοντα L^{*}_{CM} τεχνικής με χρωματόμετρο έναντι του χρωματικού παράγοντα $L^{*}_{IA.Cm}$ της τεχνικής με ανάλυση ψηφιακών εικόνων

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι η τεχνική με ανάλυση ψηφιακών εικόνων παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές L^{*} από τις αντίστοιχες της τεχνικής με το χρωματόμετρο. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται περίπου στο 7% (Χατζής et al. 2011).

Γραμμικότητα στη μεταβολή με το χρόνο παρουσιάζει και ο χρωματικός παράγοντας L^{*}_{CM} και $L^{*}_{IA.Cm}$ των δυο τεχνικών μέτρησης του χρώματος (Πίν. 3.8).

Πίνακας 3.8. Συντελεστές α και β γραμμικής σχέσης $L^*=\alpha t_p+\beta$ των L^*_{CM} και $L^*_{IA.Cm}$ ως προς το χρόνο καθώς και οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης

0°C	L^*_{CM}			$L^*_{IA.Cm}$			5 °C	L^*_{CM}			$L^*_{IA.Cm}$		
t_p	α	β	r	α	B	r	t_p	α	β	r	α	β	r
20	-0,22	81,3	0,79[f]	-0,24	85,5	0,68[e]	**20**	-0,62	79,7	0,97[g]	-0,54	84,0	0,95[g]
40	-0,22	82,2	0,76[f]	-0,12	84,9	0,79[f]	**40**	-0,37	81,6	0,91[g]	-0,73	86,1	0,94[g]
60	-0,20	82,0	0,58[r]	-0,41	87,0	0,94[g]	**60**	-0,27	82,1	0,75[f]	-0,38	87,1	0,92[g]
80	-0,11	81,4	0,45[d]	-0,49	88,1	0,95[g]	**80**	-0,11	81,8	0,46[d]	-0,46	87,5	0,90[g]
100	-0,11	81,9	0,71[f]	-0,26	86,2	0,86[g]	**100**	-0,23	81,6	0,74[f]	-0,33	84,8	0,77[f]
120	-0,08	82,3	0,40[d]	-0,24	81,4	0,79[f]	**120**	-0,17	81,9	0,62[e]	-0,38	85,9	0,92[g]

Οι δείκτες d, e, f, g αξιολογούν την ισχύ της γραμμικής συσχέτισης ως εξής (Παπαδόπουλος, 2008):

$0,3 \leq r < 0,5$ υπάρχει ασθενής γραμμική συσχέτιση: d

$0,5 \leq r < 0,7$ υπάρχει μέση γραμμική συσχέτιση: e

$0,7 \leq r < 0,8$ υπάρχει ισχυρή γραμμική συσχέτιση: f

$0,8 \leq r < 1$ υπάρχει πολύ ισχυρή γραμμική συσχέτιση: g

Από τη μελέτη της μεταβολής του παράγοντα L^* και με τις δυο μεθόδους, προκύπτει ότι η φωτεινότητα των κομμένων μήλων μειώνεται (αρνητικοί συντελεστές διεύθυνσης/ κλίσεις) κατά τη διάρκεια συντήρησης της α' ύλης, κάτι το οποίο είναι και αναμενόμενο εξαιτίας της εμφανιζόμενης καστάνωσης κατά τη συντήρηση των δειγμάτων.

Από τον πίνακα 3.8 προκύπτει επιπλέον, ότι όπως και με τους άλλους παράγοντες ΔE^* & BI, η τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων παρουσιάζει ισχυρότερη γραμμική συσχέτιση σε σχέση με τη δυναμική γραμμικής συσχέτισης των αποτελεσμάτων της τεχνικής με το χρωματόμετρο. Το αποτέλεσμα αυτό ισχυροποιεί το συμπέρασμα ότι η νέα τεχνική είναι περισσότερο ευαίσθητη από την τεχνική του χρωματομέτρου.

Οι συντελεστές διεύθυνσης των γραμμικών μεταβολών των δύο τεχνικών παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές στην υψηλότερη θερμοκρασία συντήρησης (5°C). Αυτό δείχνει ότι ο παράγοντας L^* μεταβάλλεται με μεγαλύτερο ρυθμό στη μεγαλύτερη θερμοκρασία κάτι το οποίο παρατηρήθηκε τόσο στην ολική μεταβολή του χρώματος ΔE^* όσο και στο δείκτη καστάνωσης BI.

Στους πίνακες 3.9 & 3.10 παρουσιάζονται οι αριθμητικοί μέσοι όροι, το τυπικό σφάλμα (*Standard Error*_ $SE_{\bar{x}}$) καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης *(Confidence*

Limits_CL) του χρωματικού παράγοντα L^* των δυο τεχνικών μέτρησης τους χρώματος CM & IA.Cm αντίστοιχα.

Το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ στην περίπτωση της τεχνικής CM είναι μεγαλύτερο από αυτό της IA.Cm με τιμές που κυμαίνονται από 3,2 έως 19,9 φορές, με μία μέση τιμή 8,9±0,66 σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ αποτελεί μέτρο της διασποράς της μέσης τιμής από το πληθυσμιακό δείγμα, συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση της IA.Cm, η διασπορά αυτή είναι πολύ μικρότερη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση της νέας τεχνικής η τιμή του χρωματικού παράγοντα προκύπτει από πολύ μεγάλο αριθμό τιμών αφού κάθε μέτρηση αντιστοιχεί στην μέση τιμή των αριθμητικών τιμών του L^* από κάθε pixel της ψηφιακής εικόνας των δειγμάτων. Αυτό έχει ως πρακτικό αποτέλεσμα, η μέση τιμή να προσδιορίζεται με καλλίτερη προσέγγιση και μεγαλύτερη αξιοπιστία λόγω του πολλαπλάσιου αριθμού μετρήσεων ανά δείγμα (McDonald, 2009). Έτσι μπορεί τελικά να ειπωθεί ότι η τεχνική IA.Cm λόγω της μικρότερης τιμής του τυπικού σφάλματος παρουσιάζει αυξημένη εμπιστοσύνη στα αποτελέσματα της.

Πίνακας 3.9. Μέσοι όροι (L^*_M), τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης (CL σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) χρωματικού παράγοντα L^*_{CM} για όλους τους χρόνους συντήρησης Ά ύλης (t_p) και δειγμάτων (t_{sp}) στις θερμοκρασίες 0°C και 5°C

0°C																	
t_p / t_{sp}	20			40			60			80			100			120		
	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL
0	80,0^{a}	0,45	0,88	83,0^{a}	0,20	0,39	83,8^{a}	0,25	0,49	83,1^{a}	0,66	1,29	82,9^{a}	0,33	0,65	83,7^{a}	0,22	0,44
2	81,3^{b}	0,20	0,40	82,2^{a}	0,13	0,26	80,9^{b}	0,38	0,74	79,3^{b}	0,25	0,48	81,5^{b}	0,27	0,53	80,9^{b}	0,25	0,49
4	81,2^{b}	0,33	0,64	79,3^{b}	0,31	0,61	80,3^{bc}	0,67	1,31	81,0^{a}	0,28	0,56	81,1^{ac}	0,24	0,48	82,0^{a}	0,27	0,52
7	81,0^{b}	0,19	0,37	80,8^{c}	0,24	0,47	79,7^{b}	0,25	0,50	79,1^{a}	0,26	0,50	81,0^{c}	0,18	0,35	81,1^{b}	0,30	0,58
9	79,1^{c}	0,32	0,63	80,2^{c}	0,26	0,52	78,4^{b}	0,30	0,58	80,3^{c}	0,26	0,51	80,3^{c}	0,36	0,70	80,7^{b}	0,31	0,61
11	78,2^{d}	0,31	0,61	80,1^{c}	0,29	0,58	80,6^{c}	0,51	0,99	80,1^{c}	0,30	0,58	80,8^{ac}	0,32	0,63	81,1^{b}	0,26	0,52
14	77,9^{d}	0,34	0,67	79,2^{c}	0,34	0,67	78,5^{b}	0,32	0,63	79,8^{a}	0,23	0,44	80,8^{ac}	0,40	0,79	82,1^{a}	0,22	0,44
5°C																		
t_p / t_{sp}	20			40			60			80			100			120		
	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL
0	80,0^{a}	0,45	0,88	83,0^{a}	0,20	0,39	83,1^{a}	0,25	0,49	83,1^{a}	0,66	1,29	82,8^{a}	0,33	0,65	83,7^{a}	0,22	0,44
2	79,4^{a}	0,32	0,64	80,6^{b}	0,30	0,58	79,3^{a}	0,31	0,61	80,6^{b}	0,37	0,73	79,4^{b}	0,40	0,78	80,4^{ab}	0,25	0,50
4	76,2^{b}	0,31	0,61	79,2^{c}	0,28	0,54	81,0^{b}	0,32	0,62	79,9^{cd}	0,32	0,62	80,6^{c}	0,31	0,60	80,6^{ab}	0,26	0,51
7	75,3^{b}	0,35	0,69	78,2^{d}	0,33	0,65	80,0^{bd}	0,32	0,62	81,0^{d}	0,38	0,75	81,1^{c}	0,46	0,91	80,7^{ab}	0,23	0,45
9	73,7^{c}	0,47	0,93	78,0^{d}	0,36	0,70	80,3^{c}	0,36	0,71	81,9^{d}	0,33	0,65	79,6^{ab}	0,24	0,48	79,6^{b}	0,57	1,12
11	72,2^{c}	0,26	0,51	77,8^{e}	0,41	0,80	80,1^{c}	0,43	0,85	81,2^{d}	0,34	0,66	78,2^{d}	0,56	1,10	81,2^{c}	0,37	0,72
14	72,1^{c}	0,33	0,65	77,0^{e}	0,37	0,73	79,8^{d}	0,42	0,83	79,5^{c}	0,32	0,63	78,7^{cd}	0,33	0,65	79,8^{b}	0,48	0,94

Η μη ύπαρξη ομοίου γράμματος στον εκθέτη υποδηλώνει την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Πίνακας 3.10. Μέσοι όροι, τυπικό σφάλμα $SE_{\bar{x}}$ και όρια εμπιστοσύνης (CL σε επίπεδο σημαντικότητας 95%) χρωματικού παράγοντα $L^*_{IA.Cm}$ για όλους τους χρόνους συντήρησης Ά ύλης (t_p) και δειγμάτων (t_{sp}) στις θερμοκρασίες 0°C και 5°C

0°C																		
t_p / t_{sp}	**20**			**40**			**60**			**80**			**100**			**120**		
	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL
0	84,4	0,034	0,067	84,6	0,034	0,068	87,1	0,036	0,069	88,9	0,033	0,065	86,9	0,040	0,079	85,5	0,036	0,071
2	85,0	0,035	0,069	85,0	0,041	0,080	87,5	0,041	0,073	87,6	0,037	0,073	85,9	0,038	0,077	85,8	0,038	0,074
4	85,4	0,039	0,076	84,6	0,055	0,107	85,3	0,041	0,075	84,9	0,036	0,070	84,1	0,038	0,075	84,3	0,039	0,077
7	86,2	0,035	0,068	83,5	0,038	0,075	84,2	0,040	0,074	84,7	0,038	0,074	84,6	0,041	0,080	85,3	0,037	0,072
9	82,1	0,038	0,074	83,8	0,037	0,072	83,0	0,042	0,074	83,5	0,038	0,074	84,1	0,038	0,074	84,9	0,039	0,076
11	82,1	0,033	0,065	81,4	0,038	0,074	81,8	0,036	0,065	82,3	0,036	0,070	82,5	0,041	0,080	83,6	0,036	0,070
14	82,2	0,040	0,078	82,8	0,039	0,076	82,7	0,036	0,066	82,0	0,038	0,075	83,5	0,040	0,079	82,4	0,036	0,071
5°C																		
t_p / t_{sp}	**20**			**40**			**60**			**80**			**100**			**120**		
	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL	L^*_M	$SE_{\bar{x}}$	CL
0	84,4	0,039	0,076	84,6	0,037	0,073	87,1	0,040	0,077	88,9	0,034	0,066	87,0	0,036	0,070	85,6	0,037	0,072
2	82,4	0,036	0,071	86,6	0,038	0,072	86,6	0,039	0,071	86,8	0,034	0,066	82,2	0,035	0,069	84,3	0,039	0,077
4	81,8	0,036	0,070	83,9	0,038	0,070	86,2	0,038	0,069	83,6	0,033	0,065	83,6	0,037	0,072	84,7	0,038	0,074
7	81,2	0,038	0,074	81,8	0,037	0,069	86,0	0,038	0,074	84,3	0,036	0,070	81,5	0,038	0,075	84,6	0,037	0,072
9	77,6	0,039	0,077	78,2	0,039	0,075	82,5	0,038	0,073	83,2	0,035	0,068	81,6	0,040	0,078	82,2	0,036	0,071
11	78,6	0,036	0,071	77,3	0,034	0,068	82,9	0,036	0,070	82,1	0,038	0,074	81,1	0,038	0,074	82,1	0,037	0,073
14	76,7	0,037	0,073	76,8	0,039	0,075	82,5	0,036	0,070	82,1	0,035	0,068	81,3	0,038	0,075	79,5	0,039	0,077

Σε όλες τις μετρήσεις διαπιστώθηκε η ύπαρξη στατιστικά σημαντικής διαφοράς σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

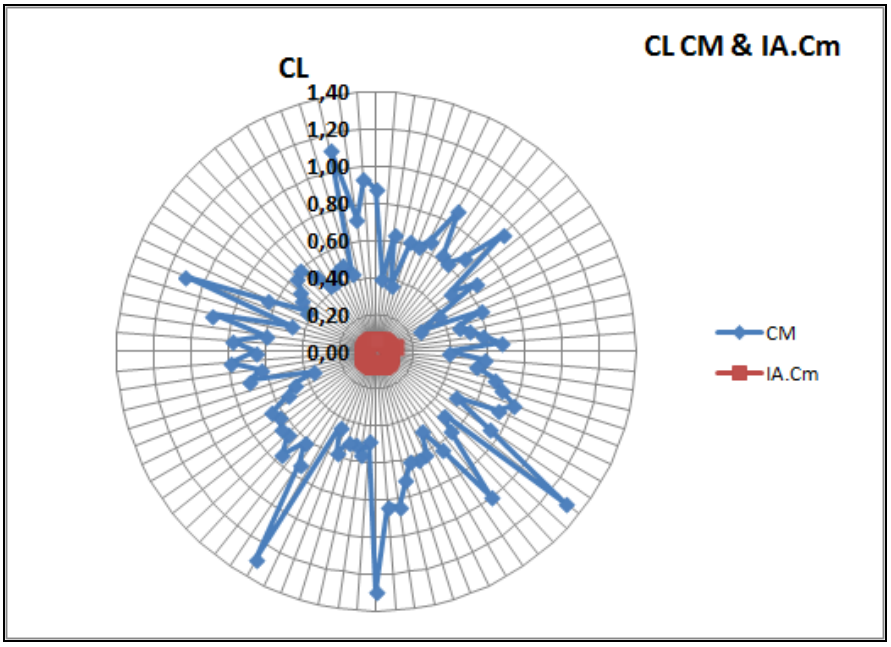
Μελετώντας τους παραπάνω πίνακες παρατηρείται ότι οι αριθμητικοί μέσοι όροι που προκύπτουν από την τεχνική IA.Cm δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, σε αντίθεση με την τεχνική CM. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αυξημένη ευαισθησία της νέας τεχνικής με την οποία προσδιορίζονται οι χρωματικοί παράγοντες για κάθε pixel του συνόλου της επιφάνειας των δειγμάτων. Σημειώνεται ότι η μεγαλύτερη ευαισθησία έχει να κάνει και με τη βελτιστοποιημένη αντίληψη και παραμετροποίηση της μεταβολής του χρώματος ως προς την αντίληψη των μεταβολών από τον παρατηρητή, στην οποία έχουμε ήδη καταλήξει.

3.2 Μελέτη ορίων εμπιστοσύνης των μέσων τιμών L^*, ΔE^*, BI

Το όριο εμπιστοσύνης (Snedecor και Cochran, 1989) δίνει το ανώτατο και κατώτατο όριο της μέσης τιμής της μετρούμενης παραμέτρου με τις δύο τεχνικές. Όπως έχει αναφερθεί, ο προσδιορισμός του ορίου εμπιστοσύνης CL καθορίζει και την αβεβαιότητα στην εκτίμηση τελικά του πραγματικού μέσου.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από τις μετρήσεις των δειγμάτων ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων δείχνει την αξιοπιστία της νέας μεθόδου, αφού προκύπτει ιδιαίτερα χαμηλή τιμή CL στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm. Το γεγονός αυτό οφείλεται, πρακτικά, στο ότι ενώ με την τεχνική CM το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης προέκυψε από 36 συνολικά επιμέρους μετρήσεις με το χρωματόμετρο, στην περίπτωση της IA.Cm το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε ουσιαστικά από πολλές χιλιάδες μετρήσεις που αντιστοιχούν στης χρωματικές παραμέτρους κάθε pixel ψηφιακής εικόνας.

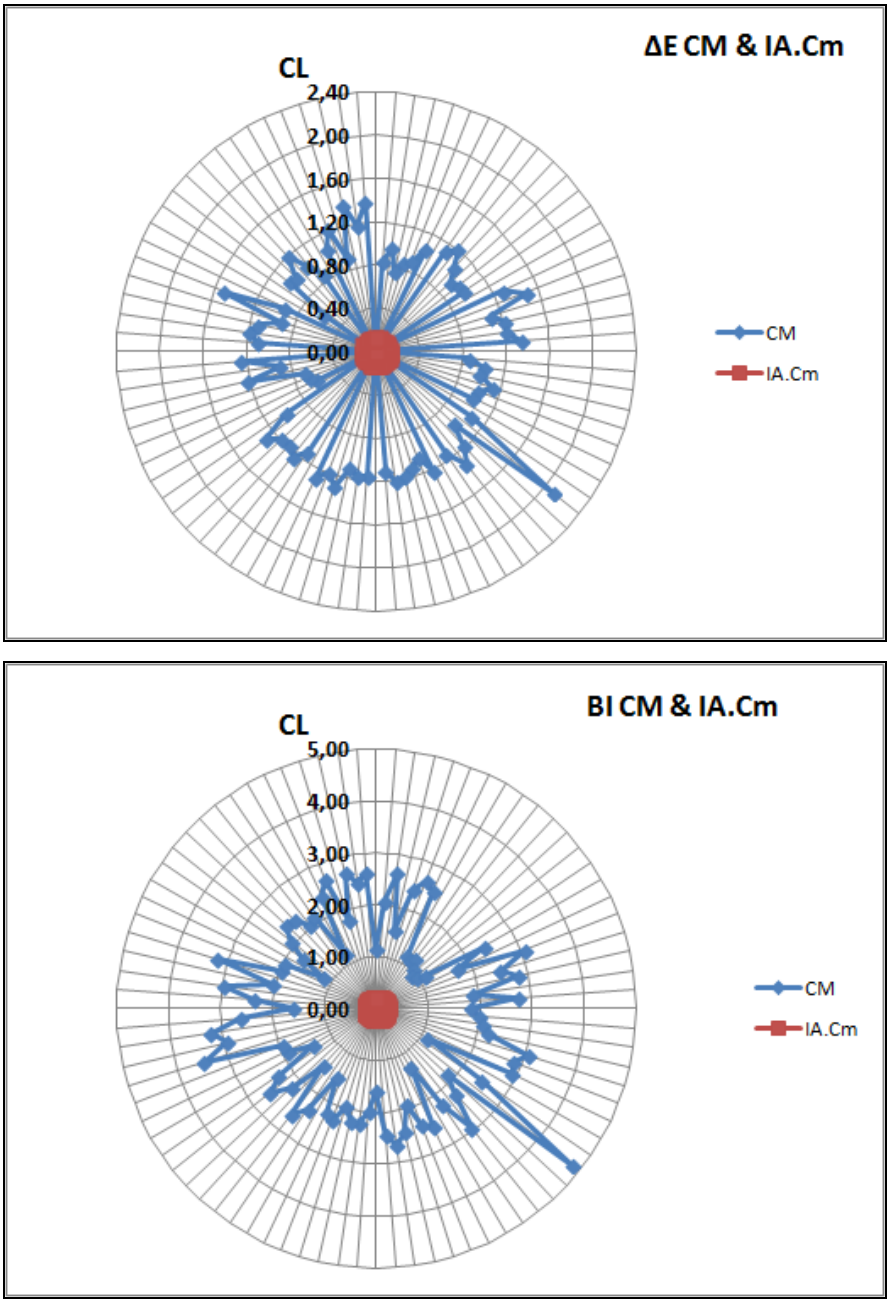
Στο παρακάτω σχήμα 3.11 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL για όλες τις μετρήσεις και θερμοκρασίες του χρωματικού παράγοντα L^* των δυο τεχνικών CM & IA.Cm.



Σχήμα 3.11 Συγκεντρωτική παρουσίαση CL μετρήσεων του χρωματικού παράγοντα L^* με τις τεχνικές CM & IA.Cm

Είναι εμφανέστατη η διαφορά των διαστημάτων εμπιστοσύνης CL στις μετρήσεις του χρωματικού παράγοντα L^*. Ενώ στην περίπτωση της τεχνικής CM οι τιμές του CL φτάνουν το 1,31 στην περίπτωση της τεχνικής IA.Cm οι τιμές του δεν ξεπερνούν το 0,11 (12 περίπου φορές μικρότερο).

Η ίδια ανάλυση για την αξιολόγηση των μετρήσεων με τις δυο τεχνικές πραγματοποιήθηκε και για τα αποτελέσματα των χρωματικών παραγόντων ΔE^* και BI. Συγκεντρωτικά τα διαστήματα εμπιστοσύνης CL των παραγόντων ΔE^* και BI των δυο τεχνικών παρουσιάζονται στο σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12. Συγκεντρωτική παρουσίαση των διαστημάτων εμπιστοσύνης CL των χρωματικών παραγόντων ΔE* & BI που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τις τεχνικές CM & IA.Cm.

Η μέγιστη τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης CL στην περίπτωση μετρήσεων της τεχνικής CM για το χρωματικό παράγοντα ΔE* είναι 2,09 ενώ στην περίπτωση μετρήσεων με την τεχνική IA.Cm είναι 0,14 (15 φορές μικρότερο περίπου). Όπως και στην περίπτωση του χρωματικού παράγοντα L έτσι και στην περίπτωση των ΔE* και BI τα διαστήματα εμπιστοσύνης των μετρήσεων οι οποίες προέκυψαν με χρήση της νέας τεχνικής IA.Cm είναι σημαντικά μικρότερα. Το ίδιο σημαντικές διαφορές στις τιμές των CL διαπιστώθηκαν και στον προσδιορισμό του παράγοντα BI με τις δυο τεχνικές.

Στην περίπτωση μετρήσεων της τεχνικής CM η μέγιστη τιμή των CL είναι 4,83 ενώ στην περίπτωση μετρήσεων με την τεχνική IA.Cm είναι 0,23 (21 φορές μικρότερο). Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν την αξιοπιστία της νέας τεχνικής η οποία με την λειτουργία της εξασφαλίζονται πρακτικά πολλές επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, μια για κάθε pixel της εικόνας με το δείγμα το οποίο ελέγχεται ποιοτικά.

4. Συμπεράσματα

1. Η ολική ποιότητα B_{tq} επηρεάζεται το ίδιο σημαντικά από την ταυτόχρονη επίδραση όλων των ανεξάρτητων παραγόντων του χρόνου συντήρησης της Α΄ύλης (tp), του χρόνου συντήρησης των δειγμάτων (t_{sp}) και της θερμοκρασίας (θ) συντήρησης. πό την ανάλυση προέκυψε ότι την μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζουν οι κριτές του οργανοληπτικού ελέγχου και η τεχνική νέα τεχνική IA.Cm μέτρησης του χρώματος. Το παραπάνω, καταδεικνύει τη μεγαλύτερη ευαισθησία της νέας μεθόδου έναντι αυτής του χρωματομέτρου σε σχέση με το πως αυτές προσομοιάζουν καλύτερα την ανθρώπινη αντίληψη της μεταβολής του χρώματος.
2. Βασική αιτία της αυξημένης ευαισθησίας της νέας μεθόδου αποτελεί η ικανότητα μέτρησης του χρώματος της νέας μεθόδου στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων έναντι του χρωματομέτρου που αξιολογεί το 10-15% της επιφάνειας.
3. Οι δυο μέθοδοι προσδιορισμού του χρώματος παρουσίασαν ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση για την παράμετρο ΔE^* με r=0,75 και ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση για την παράμετρο L^* με r=0,73. Οι δείκτες καστάνωσης $BI_{IA.Cm}$ και BI_{CM}, των δύο τεχνικών παρουσίασαν, ομοίως θετική γραμμική συσχέτιση, με μέσης ισχύος συντελεστή συσχέτισης r=0,50.
4. Επιπλέον, οι παράμετροι ΔE^* και BI παρουσίασαν γραμμική συσχέτιση με το χρόνο συντήρησης των ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων (t_{sp}). Η δυναμική γραμμικής συσχέτισης των παραπάνω παραγόντων είναι ισχυρότερη στην περίπτωση της νέας τεχνική IA.Cm έναντι της δυναμικής γραμμικής συσχέτισης των αποτελεσμάτων του χρωματομέτρου.
5. Η τεχνική IA.Cm παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές L^* από τις αντίστοιχες της τεχνικής με το χρωματόμετρο. Η διαφορά αυτή φτάνει το 7%. Λαμβάνοντας υπόψη ότι πρόκειται για διαφορετικές διατάξεις μέτρησης η απόκλιση αυτή κρίνεται ιδιαίτερα μικρή.
6. Η γραμμική συσχέτιση μεταβολής του παράγοντα $L^*_{IA.Cm}$ και L^*_{CM} παρουσιάζει αρνητικό συντελεστή διεύθυνση, εξαιτίας της εμφανισθείσας καστάνωσης των δειγμάτων κατά τη διάρκεια συντήρησης.

7. Οι γραμμικές μεταβολές του παράγοντα $L^*_{IA.Cm}$ είναι περισσότερο ομοιόμορφοι λόγω ισχυρότερων συντελεστών γραμμικής σχέσης έναντι των αντίστοιχων συντελεστών του παράγοντα L^*_{CM}.
8. Τα αποτελέσματα της νέας τεχνικής είναι περισσότερο αξιόπιστα, διότι το τυπικό σφάλμα SE_x στην περίπτωση της τεχνικής CM είναι μεγαλύτερο από αυτό της IA.Cm σε σημαντικότητας 0,05. Επιπλέον σε κάθε περίπτωση διαπιστώθηκε ότι στα αποτελέσματα της νέας τεχνικής IA.Cm, προσδιορίστηκαν πολύ μικρότερα όρια εμπιστοσύνης CL στις μέσες τιμές των μελετούμενων παραγόντων L^*, ΔE^* & BI, έναντι αυτών του χρωματομέτρου.
9. Τα όρια εμπιστοσύνης CL, των μέσων τιμών, στην περίπτωση μέτρησης με χρωματόμετρο για τους παράγοντες L^*, ΔE^* & BI είναι 12, 15 και 21 φορές μικρότεροι σε σχέση με τα αντίστοιχα όρια εμπιστοσύνης των μέσων τιμών που προέκυψαν με την τεχνική ανάλυσης ψηφιακών εικόνων. Τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν σημαντικά την αξιοπιστία της νέας τεχνικής.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Γενικά συμπεράσματα

A. Η νέα μέθοδος μπορεί με αξιοπιστία να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος μορφολογίας και χρωματισμού προϊόντων, προσφέροντας τα αποτελέσματα εκτίμησης του χρώματος απ' ευθείας σε μεγέθη του συστήματος CIE $L^*a^*b^*$.

B. Με τη νέα τεχνική εκτιμάται το χρώμα στο σύνολο σχεδόν της επιφάνειας των δειγμάτων σε αντίθεση με το χρωματομέτρο, το οποίο αξιολογεί μόνο ένα μικρό μέρος της επιφάνειας των δειγμάτων.

C. Τα όρια εμπιστοσύνης CL και το τυπικό σφάλμα των μέσων τιμών όλων των χρωματικών παραμέτρων, οι οποίες μελετήθηκαν, με τις δύο τεχνικές, είναι σημαντικά μικρότερα στην περίπτωση της νέας μεθόδου, χαρακτηρίζοντας έτσι την ευαισθησία και την αξιοπιστία αυτής.

D. Σημαντικό πλεονέκτημα της νέας μεθόδου αποτελεί το μικρό κόστος.

E. Τέλος η νέα μέθοδος είναι σημαντικά ταχύτερη στην εκτίμηση του χρώματος σε σύγκριση με την κλασσική μέθοδο του χρωματομέτρου.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Abbot A. J. (1999). Quality measurement of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology, 15* (3), 207-225.

Abbott A.J., Saftner A.R., Gross C., Bryan K., Vinyard T. & Janick J., (2005). Consumer evaluation and quality measurement of fresh-cut slices of 'Fuji,' 'Golden Delicious,' 'GoldRush,' and 'Granny Smith' apples. *Postharvest Biology and Technology, 33*, 127–140.

Acedo A.L. Jr. and Thanh C.D. (2006a). *Postharvest Experimental Techniques.* In RETA 6208 Training-Workshop on Postharvest Research and Technology Development.

Acedo A.L. Jr. and Thanh C.D. (2006b). *Postharvest Research and Technology Development for Fresh Tomato and Chilli.* In RETA 6208 Training-Workshop on Postharvest Research and Technology Development.

Aguirre L., Frias M. J., Barry-Ryan C., Helen Grogan H. (2009). Modelling browning and brown spotting of mushrooms (Agaricus bisporus) stored in controlled environmental conditions using image analysis. *Journal of Food Engineering, 91* (2), 280-286.

Ahvenainen R. (1996). New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology, 7* (6), 179-187.

Al-Hag I. M. & Sugiyama J. (2004). *Uses of Non-Detsructive Firm Tester in Horticulture and Food Science.* ASAE Annual Meeting. Ανακτήθηκε από http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=16934&t=1

Alzamora M.S., Lopez-Malo A & Tapia M.S. (2000). *Minimally Processed Fruits and Vegetables*. Gaithersburg: Aspen Publication.

Arias, R., L. Tung Ching, L. Logendra, & H. Janes. (2000). Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agriculture and Food Chemistry, 48* (5), 1697–1702.

Artes F. (2004). Refrigeration for Preserving the Quality and Enhancing the Safety of Plants Foods. *Bulletin of the International Institute of* Refrigeration (*IIR)-No 2004-1*.

Arthey, V.D. (1975). *Quality of horticultural products*. London: Butterworth & Co.
Batu Ali. (2004). Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering, 61*, 471–475.

Beaulieu, J.C. & Gorny, J.R. (2001). Fresh-Cut Fruits. In: Gross, K.C., Saltveit, M.E. & Wang, C.Y. (Eds.), *The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. USDA Handbook 66*. pp. 1-49.Washington, D.C.: USDA .

Blahovec J. (2003). Mechanics and texture of fruits and vegetables. In Dris R., R. Niskanen & S.M. Jain (Ed.). *Crop management and postharvest handling of horticultural products. Volume II fruits and vegetables*). Enfield (NH), USA. Plymuth, UK.: Science Publishers, Inc.

Bobelyn E., Hertog M. L. A. T. M. & Nicolai M. B. (2006). Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator for mushrooms in the distribution chain. *Postharvest Biology and Technology, 42*, 104-114.

Bourne M. C. (1974). Comparison of results from the use of the Magness-Taylor pressure tip in hand – and machine – operation. *Journal of Texture Studies, 5* (1), 105-108.

Brennan H. M., & Gormley T. R. (1998). Extending the shelf life of fresh sliced mushrooms. The National Food Centre, Dunsinea, Castleknock, Dublin 15. Final Report Project ARMIS No. 4196. Ανακτήθηκε από www.teagasc.org/research/reports/foodprocessing/4196/eopr-4196.pdf

Broadbent D. A. (2003). A Critical Review of the Development of the CIE1931 RGB Color-Matching Functions. *Wiley Periodicals Inc., 29* (4), 267-272.

Brosnan T. & Sun D. (2002). Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems-a Review. *Computers and Electronics in Agriculture, 36* (2-3), 193-213.

Cantwell M. & Kasmire F.R. (2002). Postharvest handling systems: flower, leafy and stem vegetables. In A. Kader (ed.) *Postharvest Technology of Horticultural crops*, Pub.3311, (pp.423-433).University of California, Agriculture and Natural Resources.

Cantwell M., Rovelo J., Nie X. & Rubatzky V. (1998). Specialty salad greens: Postharvest physiology and shelf-life. *Acta Horticulturae, 467*, 371-377.

Carvalho Fernando P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety' (Review). *Environmental Science & Policy*, *9*, 685 – 692.

Chatzis E., Xanthopoulos G. and Lamprinos Gr. (2007). Evaluation of Storage Temperature Effects on Cultivated Mushrooms (Agaricus Bisporus) Colour Aspects by Chroma Meter and Digital Image Analysis. *Proceedings of CIGR Section VI 3rd International Symposium, 24-26 September*, *Naples, Italy*.

CIE. (2004). CIE Draft Standard DS 014-2.2/E:2004 Colorimetry-Part 2: CIE Standard Illuminants.

Clelland D. and Eismann K. (2001). *Ψηφιακή φωτογραφία.* Αθήνα: Εκδ. Anubis. (μετάφ. Γ. Στάμου)

Cornelius L. (2001). A Matter of Perspective: Understanding Color Theory for Remanufacturing. *RECHARGER Magazine* (pp. 36-42).

Craig F. Bohren (2006). *Fundamentals of Atmospheric Radiation: An Introduction with 400 Problems*. Wiley-VCH. Ανακτήθηκε από *Fundamentals of Atmospheric Radiation: An Introduction with 400 Problems*

Deshpande S. S. & Salunkhe K. D. (1998). Lettuce. *Handbook of Vegetables Science and Technology* (pp. 493-509). New York: Marcel Dekker.

Diezma B., Valero C., García-Ramos J. F., Homer I., Ruiz-Altisent M., Merlo B. & Nasarre E. (2004). *International Conference of Agricultural Engineering. Engineering the Future, 12-16 Σεπτεμβρίου*. Leuven, Belgium.

Du C.J & Sun D.W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, *15* (5), 230-249.

Felfldi J. & Szepes A. (2002). Machine Vision Based Quality Assessment of Fruits and Vegetables. *Proceedings of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources,*(pp.42-48). Brasil.

Giese J. (2003). Color Measurements in Foods. *Food Technology, 57* (12), 48-49.

Gil M.I., Conesa M.A. & Artes F. (2002). Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology, 25* (2), 199-207.

Glasbey C. A. & Horgan W. G. (1995). *Image Analysis for the Biological Sciences.* New York: John Wiley & Sons.

Gökmen V., Şenyuva Z.H., Dülek B. & Çetin E. A. (2007). Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and french fries. *Food Chemistry*, *101* (2), 791-798.

Gonzalez-Aguilar G.A., Cruz R.S., Valdez S.H, Ortiz F., Aguilar P.R., & Wang C.Y. (2005). Biochemical changes of fresh-cut pineapple slices treated with antibrowning agents. *Journal of Food Science and Technology, 40,* 377–383.

Gorny J.R., Hess-Pierce B., Cifuentes R.A. & Kader A.A. (2002). Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology, 24*, 271–278.

Goularte L., Martins G.C., Morales-Aizpurua C.I., Destro M.T., Franco M.G.D.B., Vizeu M.D., Hutzler W.B. and Landgraf M. (2004). Combination of minimal processing and irradiation to improve the microbiological safety of lettuce (Lactuca sativa L.). *Radiation Physics and Chemistry, 71*, 155-159.

Gunasekaran S. (1999). Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science & Technology, 7* (8), 245-256.

Gunasegaram S. and Ding K. (1994). Using Computer Vision for Food Quality Evaluation. *Food Technology, 48,* 151-154.

Haff RP & Toyofuku N. (2008). X-ray detection of defects and contaminants in the food industry. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2* (4), 262–273.

Hakim A., Purvis C. A., Voipio I., Pehu E., Khatoon M. (1999). Use of Different Nondestructive Techniques to Evaluate Vegetable Quality. In Lee M. J., Gross C. K., Harker F. R., R. J. Redwell, I. C. Hallet, S. H. Murray and G. Carter (1997). Texture

Heaton W.J & Marangoni, G.A. (1996). Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. *Trends in Food Science and Technology*, *7*, 8-15.

Helyes L., Zoltan P & Lugasi A. (2006). Tomato fruit quality and content depend on stage of maturity. *Horticultural Science, 41* (6), 1400-1401.

Huang M., Zhu Q., Wang B., Lu R. (2012). Analysis of hyperspectral scattering images using locally linear embedding algorithm for apple mealiness classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, *89*, 175-181.

HunterLab. (1996). CIE $L^*a^*b^*$ Color Scale. *HunterLab The Color Management Company, Applications Note*, *8* (7)

HunterLab. (2000). What is color and How is Measured? *HunterLab The Color Management Company, Applications Note*, *12* (5).

HunterLab. (2001). *The Basics Of Color Perception and Measurements*, HunterLab Presents, Version 1.4. Ανακτήθηκε από http://wiki.td-er.nl/images/5/5c/Hunterlab_colorcourse.pdf

HunterLab. (2008). *CIE $L^*a^*b^*$ Color Scale*. Ανακτήθηκε από http://cie.co.at/index.php?i_ca_id=485

Hutchings B.J. (1994). *Food Colour and Appearance.* Glasgow, UK: Blackie Academic & Professional.

ISO/CIE 10526:2007. *CIE standard illuminants for colorimetry*. International Organization for Standardization

Jahns G. Nielsen M. H. and Paul W. (2001). Measuring image analysis attributes and modelling fuzzy consumer aspects for tomato quality grading. *Computers and Electronics in Agriculture, 31*, 17-29.

Jeong J., Brecht J.K., Huber D.J.& Sargent S.A. (2004). 1-methylcyclopropene (1-MCP) for maintaining texture quality of fresh-cut tomato. *Horticultural Science 39*, 1362-2004.

Johnston, W. J., Hewett, W. E., Banks, H. N., Harker, R. F., and Hertog, L. A. T. M. M. (2001). Physical change in apple texture with fruit temperature: effects of cultivar and time in storage. *Postharvest Biology and Technology*, *23*, 13-21.

Juran M. J. (1999). How to think about quality. In Juran M. J. & Godfrey Blanton A. (Eds), *Juran's Quality Handbook, 5th Edition* (pp. 2.1-2.18). New York: Mc Graw-Hill.

Kader A. A. (2002). Quality and Safety Factors: Definition and Evaluation for Fresh Horticultural Crops. In A.A. Kader (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops, 3rd Edition* (pp.279-285). Davis CA: University of California.

Kader A. A. (1992a). Quality and Safety Factors: Definition and Evaluation for Fresh Horticultural Crops. In A.A. Kader (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, 2nd Edition (pp.185-189). Davis CA: University of California.

Kader A. & Cantwell, M. (2006). *Produce Quality Rating Scales and Color Charts.* Postharvest Horticulture Series No 23. Davis: University of California.

Kader, A. (2002). Maturation and maturity index. Postharvest Technology of Horticultural crops. In A. Kader (ed.) *Postharvest Technology of Horticultural crops*, Pub.3311, (pp. 55-62). University of California, Agriculture and Natural Resources.

Kays S. J. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology, 15*, 233–247.

Kokai Z., Pass P., Erdelyi M. and Sipos B. (2000). Postharvest Sensory Analysis of Apple Varieties Grown in Hungary. In R. Ben-Arie and S. Philosoph-Hadas (Eds.), *Proceedings of the Fourth Conference on Postharvest Science, 26-31 March 2000, (pp. 729-730)*. Jerusalem, Israel: ISHS Acta Horticulturae 553.

Laykin S., Alchanatis V., Fallik E. and Edam Y. (2002). Image-processing algorithms for tomato classification. *Transaction of the ASAE, 45* (3), 851-858.

Leemans V, Magein H., Destain M.-F. (1998). Defects segmentation on 'Golden Delicious' apples by using colour machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture, 20* (2), 117-130.

Lehman-Salada L. (1996). Instrument and operator effects on apple firmness readings. *HortScience, 31*(6), 994-997.

Lewinsohn Efraim, Sitrit Yaron, Bar Einat, Azulay Yaniv, Ibdah Mwafaq, Meir Ayala, Yosef Emanuel, Zamir Dani and Tadmor Yaakov (2005). Not just colors - carotenoid degradation as a link between pigmentation and aroma in tomato and watermelon fruit. *Trends in Food Science & Technology, 16*, 407–415.

Lopez–Galvez, G., Saltveit, M., Cantwell, M. (1996). The visual quality of minimally processed lettuces stored in air or controlled atmosphere with emphasis on Romaine and Iceberg types. *Postharvest Biology and Technology, 8*, 179–190.

Lu W. and Da-Wen S. (2000). Computer Vision Systems for Rapid Quality Inspection of Agricultural and Food Products. *Proceedings of ICETS2000-Session 6: Technology Innovation and Sustainable Agriculture,* (pp. 201-206).

Lukasse L. J. S. & Polderdijk J. J. (2003). Predictive modelling of post-harvest quality evolution in perishables, applied to mushrooms. *Journal of Food Engineering, 59*, 191-198.

Lunadei L., Galleguillos P, Diezma B., Lleó L., Ruiz-Garcia L. (2011). A multispectral vision system to evaluate enzymatic browning in fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology, 60* (3), 225-234.

Luzuriaga A.D. and Balaban O.M. (2002). Color Machine Vision System: An Alternative for Color Measurement. *Proceedings Of the World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources,* (pp. 93-100). Brasil.

MacDougall. B. D. (2010*).* Colour measurement of food: principles and practice. In M.L. Gulrajani *(*Ed.), *Colour Measurement, Principles, Advances and Industrial Applications* (pp. 312-342). Woodhead Publishing Series in Textiles.

Martens M. and Baardseth P. (1987). Sensory Quality. In Weichmann J (Ed.), *Postharvest Physiology of Vegetables* (pp. 427-454). New York: Marcel Dekker INC.

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

McDonald J.H. 2014. *Handbook of Biological Statistics*. 2nd ed. Sparky House Publishing. Baltimore. Maryland.

McGuire R.G. (1992). Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science,* (27):1254-1255. Referred in: Holcroft D.M. & Kader A.A. 1999, Controlled atmosphere-induced changes in PH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology,* (17), 19-32.

Mendoza F., Dejmek P. & Aguilera M. J. (2007). Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. *Food Research International*, *40* (9), 1146-1154.

Mendoza F., Renfu R., Ariana, Cen H. & Bailey B. (2011). Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, *62* (2), 149-160.

Minolta, (1995). Chroma Meter CR – 300. *Instruction Manual Minolta*. Japan. p. 81

Mizrach A. (2001). Nondestructive Ultrasonic Technique for Fruit Quality Determination. In R. Ben-Arie & S. Philosoph-Hadas (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Postharvest, 26-31 March 2000*, (pp. 235-243). Jerusalem, Israel: ISHS Acta Horticulturae 553.

Mozeti B., Trebe P. & Hribar J. (2002). Determination and Quantitation of Anthocyanins Hydroxycinnamic Acids. *Food Technology and Biotechnology, 40*, 207-212.

Mwithiga, G., Mukolwe I.M., Shitanda D. and Karanja N. P. (2006). Evaluation of the effect of ripening on the sensory quality and properties of tamarillo (*Cyphomandra betaceae*) fruits. *Journal of Food Engineering, 79* (1), 117–123.

Nelson O. S. (2005). Dielectric Properties Measurement for Agricultural Products. *American Society of Agricultural and Biological Engineers, Annual Meeting, 17-20 July*. Tampa, Florida. Doi: 10.13031/2013.19107 @2005

Nieto-Sandoval J.M., Fermandez-Lopez J.A., Almela L. & Munoz A.J. (1998). Dependence between Apparent Color and Extractable Color in Paprika, *Color Research & Application, 24* (2), 93-97.

Noordam C.J., Otten W.,G. Timmermans M.J.A. and Zwol H.B. (2000). High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system of fresh fruits. *Horticultural Reviews, 20*, 121-224.

Pace B., Cefola M., Pelo P., Renna F. & Attolico G., (2014). Non-destructive evaluation of quality and ammonia content in whole and fresh-cut lettuce by computer vision system. *Food Research International*, *64*, 647-655.

Papadakis E.S. and Yam L.K. (2000). A Versatile Inexpensive Technique for Measuring Color of Foods. *Food Technology*, *54* (12), 48-51.

Paulus I. & Schrevens E. (1999). Evaluating and modelling the size classification of apples. *Journal of Agricultural Engineering Research, 74* (4), 411-419.

Pogson, B. J. & Morris S.C. (1997). Consequences of cool storage of broccoli on physiological and biochemical changes and subsequent senescence at 20°C. *Journal of American Society & Horticultural Science, 122*, 553-558.

Rose C. (2002). *Οδηγός του Adobe Photoshop 7.* Αθήνα: Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας.

Saltveit E.M. (2005). *Tomatoes*. *Fruit Ripening and Fruit Quality*. London: CABI Publishing.

Sargent S.A. & Moretti C.L. (2004). *The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. Agriculture Handbook Number 66. Ανακτήθηκε από http://usna.usda.gov/hb66/contents.htm

Saskia M. R. (2001). Methods for gas chromatography-oflactometry: a review. *Biomolecular Engineering, 17* (4-5), 121-128.

Schanda J. (2000). *CIE Colorimetry and Colour Displays*. Vienna: University Veszpren, Hungary & CIE Central Bureau.

Shahin M.A., Hatcher D.W. & Symons S.J. (2012). Development of multispectral imaging systems for quality evaluation of cereal grains and grain products. *Computer Vision Technology in the Food and Beverage Industries,* 451-482.

Shewfelt R. L. (1999). What is quality? *Postharvest Biology and Technology*, *15* (3), 197-200.

Snedecor, George W. and Cochran, William G. (1989), *Statistical Methods*, EighthEdition, Iowa State University Press.

Stinco M. C., Rodríguez-Pulido J. F., Escudero-Gilete L. M., Belén Gordillo M., Vicario M. I. & Meléndez-Martínez J. A. (2013). Lycopene isomers in fresh and processed tomato products: Correlations with instrumental color measurements by digital image analysis and spectroradiometry. *Food Research International, 50* (1), 111-120.

Stout D. G. (1988). Effect of cold acclimation on bulk tissue electrical impedance I. Measurements with bird shoot trefoil at subfreezing temperatures. *Plant Physiology, 86*, 275-282.

Studman J. C. (2001). Computers and electronics in postharvest technology-a review. *Computers and Electronics in Agriculture, 30*, 109-124.

Taylor, J.R., 1999. *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements.* University Science Books. 94 pp.

Tijskens L.M.M. & Evelo R.G. (1994). Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, *4*, 85-98.

Unay D. and Gosselin B. (2004). A quality sorting method for 'Jonagold' apples. *International Conference of Agricultural Engineering. Engineering the Future, 12-16 Σεπτεμβρίου*. Leuven, Belgium.

Urosevic M., Zivkovic M., Dimitrijevic A., Nikolic M. Z., Pavlovic B. V. (2004). New Digital Method for Surface Quality Analysis. *International Conference of Agricultural Engineering. Engineering the Future, 12-16 Σεπτεμβρίου*. Leuven, Belgium.

Utku H. and Koksel H. (1998). Use of statistical filters in the classification of wheats by image analysis. *Journal of Food Engineering*, *36* (4), 385-394.

Velioglu H. M., Boyacı I. H., Kurultay S. (2011). Determination of visual quality of tomato paste using computerized inspection system and artificial neural networks. *Computers and Electronics in Agriculture*, *77* (2), July 2011, 147-154.

Vincent A. & Fleury P. (2015). Development of organic farming for the protection of water quality: Local projects in France and their policy implications. *Land Use Policy, 43,* 197-206 (in press).

Vizhanyo T. & Felfoldi J. (2000). Enhancing colour differences in images of diseased mushrooms. *Computers and Electronics in Agriculture, 26*, 187-198.

Wan N.Y., Lin M.C. and Chiou F.G. (2002). Rice Quality Classification Using an Automatic Grain Quality Inspection System. *Transactions of the ASAE, 45* (2), 379-387.

Watada A. & Qi L. (1999). Quality of fresh–cut produce. *Postharvest Biology and Technology, 15*, 201–205.In Watada E. A., Lee K. S. (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Quality of Fresh and Fermented Vegetables*, *27 October 1997, (pp. 235-243)*. Seoul, Korea: ISHS Acta Horticulturae 483.

Watada E.A., Ko P.N. & Minott A.D. (1996). Factors affecting quality of fresh-cut horticultural products. *Postharvest Biology and Technology, 9*, 115-125.

Weijn A., Bastiaan-Net S., Wichers J. H. & Mes J.J. (2009). Modelling browning and brown spotting of mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in controlled

environmental conditions using image analysis. *Journal of Food Engineering, 91* (2), 280-286.

Wiley, R.C. (1994). *Minimally processed refrigerated fruits & vegetables*. New York : Chapman & Hall.

Xanthopoulos T. G., Athanasiou A. A., Lentzou I. D., Boudouvis G. A., Lambrinos P. G. 2014. Modelling of transpiration rate of grape tomatoes. Semi-empirical and analytical approach. *Biosystems Engineering*, *124*, 16-23.

Yam L. K. and Papadakis E. S. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61 (1), 137-142.

Zhang B., Huang W., Li J., Zhao C., Fan S., Wu J., Liu C., (2014). Principles, developments and applications of computer vision for external quality inspection of fruits and vegetables: A review. *Food Research International,* 62, 326–343.

Zheng Chaoxin, Da-Wen Sun & Zheng Liyun. (2006). Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection - a review. *Trends in Food Science & Technology, 17*, 642-655.

Αγγίδης Δ.Α. (1996). *Τομάτα Υπαίθρια.* Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Αρβανιτογιάννης, Ι. Σ., Σάνδρου, Δ. & Κούρτης, Λ. (2001). *Ασφάλεια Τροφίμων, Εφαρμογή της Ανάλυσης Επικινδυνότητας και Κρίσιμων Σημείων Ελέγχου (HACCP) στις Βιομηχανίες Τροφίμων και Ποτών.* Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Βουδούρης Ε.Κ. και Κοντομηνάς Μ.Γ. (1983). *Εισαγωγή στη Χημεία Τροφίμων*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (Αδημοσίευτες).

Καρμίρη Α. (1967). *Ποιότης και Καταναλωτής*. Αθήνα: Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητος.

Λαμπρινός, Γ. & Μητρόπουλος Δ. (2005). *Patent No. 1004590/7-6-2004.* Αθήνα.

Μανωλοπούλου Ε. (2004a). *Θέματα Εφαρμοσμένης Μετασυλλεκτικής Φυσιολογίας*. Παραδόσεις ΠΜΣ τμ. ΑΦΠ&ΓΜ στην Ειδίκευση «Συντήρηση Νωπών Αγροτικών Προιόντων», Αθήνα: ΓΠΑ (Αδημοσίευτες).

Μανωλοπούλου Ε. (2004b). *Συντήρηση με ελάχιστους μεταποιητικούς χειρισμούς-Κατάψυξη Αγροτικών Προιόντων*. Παραδόσεις ΠΜΣ τμ. ΑΦΠ&ΓΜ στην Ειδίκευση «Συντήρηση Νωπών Αγροτικών Προιόντων». Αθήνα: ΓΠΑ (Αδημοσίευτες).

Μανωλοπούλου Ε., Λαμπρινός Γ., Διαμαντοπούλου Π. & Φιλιππούσης, Α. (2005). Μεταβολή της αναπνοής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών πέντε στελεχών καλλιεργούμενου μανιταριού *Agaricus bisporus*. *Γεωργική Έρευνα, 28* (1), 57-68.

Μητρόπουλος Δ. και Λαμπρινός Γρ. (2000), Μεταβολή του χρώματος μήλων Delicious Pilafa και Granny Smith που συντηρούνται σε αποθήκη. *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας*, *28-30 Σεπτεμβρίου 2000*, (σσ. 441-448). Βόλος: ΕΓΜΕ.

Μητρόπουλος Δ., Κοζής Γ., Μανωλοπούλου Ε. και Λαμπρινός Γρ. (2000). Εκτίμηση του χρόνου συλλογής με μέτρηση αναπνοής στον αγρό. *Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου της Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας*, *28-30 Σεπτεμβρίου 2000* (σσ. 425-432). Βόλος: ΕΓΜΕ.

Ορφανάκος Κ. Β. (2004). *Χρωματομετρία-Βασικές Αρχές*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλης.

Σφακιωτάκης Ε. (2004). *Μετασυλλεκτική Φυσιολογία και Τεχνολογία Νωπών Οπωροκηπευτικών Προϊόντων.* Θεσσαλονίκη: Typo MAN

Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. Λαμπρινός Γρ. και Κούρτης Α. (2005). Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας. *Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 6-8 Οκτωβρίου 2005, Αθήνα* (σσ. 580-587).

Χατζής Ε., Ψυχογυιού Σ., Ξανθόπουλος Γ. & Λαμπρινός Γρ. (2007). Μεταβολή του Χρώματος Συντηρούμενης Βιολογικής Τομάτας με Ανάλυση Ψηφιακής Εικόνας. *Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα* (σσ. 682-689).

Χατζής Γ. Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε., Ξανθόπουλος Γ. & Λαμπρινός Γρ. (2009). Μελέτη της μεταβολής του χρώματος ελάχιστα επεξεργασμένων μήλων Golden delicious με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. *Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 8-10 Οκτωβρίου, 8-10 Οκτωβρίου 2009,* Θεσσαλονίκη (σσ. 787-794).

Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ., (2009). *Συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και μέθοδος μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων*. Αριθμ. Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας:1006553, (Ημ. απονομής 02/10/2009)

Χατζής Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός Ε. (2012). *Φορητή συσκευή λήψης εικόνων με ψηφιακή κάμερα και τεχνική μέτρησης του χρώματος φυτικών οργάνων στον αγρό*, Αριθμ. Διπλώματος Ευρεσιτεχνίας: 1007542 (Ημ. απονομής: 28/02/2012)

Χατζής Γ. Ε., Μανωλοπούλου Ε., Αραβαντινός-Καρλάτος Ε., Ξανθόπουλος Γ. & Λαμπρινός Γρ. (2011). Μέτρηση των Χρωματικών Παραγόντων «Ελάχιστα Επεξεργασμένων» Μήλων GOLDEN DELICIOUS με Χρήση Χρωματομέτρου και

Ανάλυσης Ψηφιακής Εικόνας. *Πρακτικά 7ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, 24-27 Νοεμβρίου*, *Αθήνα*.

Χατζής Γ. Ε., Μανωλοπούλου Ε., Ξανθόπουλος Ε., Λαμπρινός Γρ. (2013). Μελέτη της Μεταβολής του Χρώματος Μαρουλιού με Ανάλυση Ψηφιακής Εικόνας. *Πρακτικά 8ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας*, *25-26 Σεπτεμβρίου 2013, Βόλος* (σσ.481-485).