



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**  
**ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Αξιολόγηση του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας με  
χρήση ανάλυσης εικόνας και υφής και ενόργανων  
μεθόδων χημικής ανάλυσης.

Banana ripening assessment by combining image and texture  
analysis and instrumental methods of analytical chemistry

**Αουάντ Κωνσταντίνος**  
**Μούκα Ελισσάβητ**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σινάνογλου Βασιλεία**

**ΑΘΗΝΑ, 2023**

## Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Οι υπογράφουσες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη πτυχιακή εργασία με τίτλο «Αξιολόγηση του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας με χρήση ανάλυσης εικόνας και υφής και ενόργανων μεθόδων χημικής ανάλυσης» που παρουσιάστηκε από την Μούκα Ελισσάβητ και τον Αουάντ Κωνσταντίνο και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

α/α	Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1.	Σινάνογλου Βασιλεία	Καθηγήτρια - Κοσμήτορας της Σχολής Επιστημών Τροφίμων/ Επιβλέπουσα	
2.	Στρατή Ειρήνη	Επίκουρη Καθηγήτρια/ Μέλος	
3.	Τσιάκα Θάλεια	Ακαδημαϊκή Υπότροφος/ Μέλος	

## Δήλωση Συγγραφέων Πτυχιακής Εργασίας περί Λογοκλοπής

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αουάντ Κωνσταντίνος του Άτεφ-Αντωνίου, με αριθμό μητρώου 18684041 και η κάτωθι υπογεγραμμένη Μούκα Ελισσάβητ του Κάντρι με αριθμό μητρώου 18684032, φοιτητές του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστημών Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μας».

Ο δηλών,

Αουάντ Κωνσταντίνος



Η δηλούσα,

Μούκα Ελισσάβητ



## Ευχαριστίες

Με το τέλος της εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερα κάποιους ανθρώπους που στάθηκαν αρωγοί στο πλευρό μας.

Πρώτη από όλους θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την επιβλέπουσα καθηγήτριά μας και κοσμήτορα της Σχολής Επιστημών Τροφίμων, καθηγήτρια Σινάνογλου Βασιλεία, για την πολύτιμη στήριξη με τις γνώσεις της, την εμπιστοσύνη της, το ενδιαφέρον της και τέλος διότι αποτέλεσε πρότυπο για εμάς και το μέλλον μας. Ακόμη θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους εξής ανθρώπους: τον ομότιμο καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, Κάβουρα Διονύση, για τις γνώσεις και την σημαντική βοήθεια που μας προσέφερε αναφορικά με το image analysis, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Γιαννακούρου Μαρία και την Υποψήφια Διδάκτορα Σταυροπούλου Ναταλία για την εκπαίδευση που μας προσέφεραν στην χρήση του αναλυτή υφής, την Επίκουρη Καθηγήτρια, Στρατή Ειρήνη για τις συμβουλές, υποδείξεις και την εκπαίδευση μας στις φασματοφωτομετρικές μεθόδους, την Λέκτορα Κρίση Ευτυχία και την Ακαδημαϊκή Υπότροφο Τσιάκα Θάλεια για την καθημερινή και πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη τους καθώς και για τη αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για την συγγραφή των επιστημονικών δημοσιεύσεων που προέκυψαν από την παρούσα πτυχιακή εργασία, την Χημικό και Φοιτήτρια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος « Καινοτομία, Ποιότητα και Ασφάλεια Τροφίμων», Λαδίκη Γεωργία, για την ανεκτίμητη βοήθεια που μας προσέφερε στη διεξαγωγή όλων των πειραμάτων, τον Υποψήφιο Διδάκτορα, Ιωάννου Αλέξανδρο-Γεώργιο για την συμβολή του στην στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των φασμάτων ATR-FTIR, τον πρόεδρο του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων και Αναπληρωτή Καθηγητή, Ζουμπουλάκη Παναγιώτη και τον Επίκουρο Καθηγητή, Κοντελέ Σπυρίδωνα για τις συμβουλές, την καθοδήγηση και την βοήθεια τους στην ολοκληρωμένη προσέγγιση της μελέτης μας.

Τους ευχαριστούμε όλους θερμά, για τον χρόνο, την υπομονή και για τις γνώσεις και την εκπαίδευση που μας παρείχαν. Το σύνολο αυτών των ανθρώπων ήταν και ο λόγος που αγαπήσαμε την πορεία αυτή και τίποτα δεν θα ήταν το ίδιο χωρίς εκείνους.

# Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	6
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	6
Κατάλογος Σχημάτων .....	7
Κατάλογος Εικόνων .....	8
Περίληψη.....	9
Abstract .....	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1. Πληροφορίες Γνωστικού Ενδιαφέροντος .....	12
1.1.1. Γενικά για την Μπανάνα ( <i>Musa spp.</i> ) .....	12
1.1.2. Διατροφική Σύσταση.....	15
1.1.3. Ωρίμανση Μπανάνας.....	19
1.2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας .....	23
1.3. Επισκόπηση έρευνας .....	28
2. Σκοπός της μελέτης.....	30
3. Υλικά και Μέθοδοι.....	31
3.1 Λήψη φωτογραφίας.....	32
3.2 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση .....	33
3.3 Ανάλυση Υφής .....	33
3.4 Μέτρηση Φυσικοχημικών Παραγόντων.....	35
3.4.1 Ενεργότητα Ύδατος ( $a_w$ ) .....	35
3.4.2 Μέτρηση Χρώματος.....	35
3.4.3 Προσδιορισμός υγρασίας .....	36
3.4.4 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS).....	37
3.4.5 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας .....	37
3.4.6 Εκχύλιση βρώσιμου ιστού μπανάνας με υδατομεθανολικό διάλυμα .....	38
3.4.7 Δοκιμή ιωδίου αμύλου .....	38
3.5 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι .....	38
3.5.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολών με την μικρο-μέθοδο Folin–Ciocâlteu	38
3.5.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS•+ [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)].....	41

3.5.3	Μέθοδος FRAP .....	44
3.6	Ανάλυση διάκρισης (Discriminant Analysis) .....	46
3.7	Στατιστική Ανάλυση .....	48
4.	Αποτελέσματα-Συζήτηση.....	49
4.1	Κατηγοριοποίηση της μπανάνας με βάση την εξέλιξη της ωρίμανσης με την χρήση textural-image analysis.....	49
4.2	Φυσικοχημικές παράμετροι της μπανάνας κατά την αποθήκευση .....	58
4.3	Μετρήσεις Ανάλυσης Υφής .....	65
4.4	Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση .....	70
4.5	Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι .....	77
5.	Συμπεράσματα .....	84
6.	Δημοσιοποίηση της ερευνητικής μελέτης .....	86
	Βιβλιογραφία.....	87
	Πηγές Εικόνων.....	96
	Παράρτημα.....	98

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 1:</b> Ολικό φαινολικό περιεχόμενο από διάφορες ποικιλίες μπανάνα.....	17
<b>Πίνακας 2:</b> Ολική αντιοξειδωτική δράση υπολογισμένη με διάφορες μεθόδους και σε διαφορετικές ποικιλίες .....	18
<b>Πίνακας 3:</b> Πειράματα και μέθοδοι που σχετίζονται με την μελέτη του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας.....	23
<b>Πίνακας 4:</b> Οι ημερομηνίες διεξαγωγής των πειραμάτων και ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων.....	31
<b>Πίνακας 5:</b> Image analysis υπολογισμένα για τις παραμέτρους του χρώματος ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) της φλούδας της μπανάνας.....	53
<b>Πίνακας 6:</b> Διακύμανση της μέσης τιμής των εντάσεων όλων των pixel των φωτογραφιών της σάρκας μπανάνας μετά την δοκιμή ιωδίου-αμύλου τις ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21.....	57
<b>Πίνακας 7:</b> Περιεκτικότητα σε υγρασία (%), ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ ), βαθμοί °Brix και ογκομετρούμενη οξύτητα της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευση σε $18\pm 0.5$ °C.....	61
<b>Πίνακας 8:</b> Φωτεινότητα ( $L^*$ ), πράσινη-κόκκινη απόχρωση ( $a^*$ ), μπλε-κίτρινη απόχρωση ( $b^*$ ) και χροιά (hue) των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους $18,0\pm 0,5$ °C.....	63
<b>Πίνακας 9:</b> Μεταβολές Σκληρότητας, Ελαστικότητας, Κολλητικότητας, Συνεκτικότητας και Μασητικότητας των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθηκευτική περίοδο στους $18.0\pm 0.5$ °C.....	70
<b>Πίνακας 10:</b> Ταινίες απορροφήσεων χαρακτηριστικών ομάδων και μοριακών δεσμών.....	74
<b>Πίνακας 11:</b> Κορυφές ταινιών απορρόφησης των φασμάτων ATR-FTIR της σάρκας της μπανάνας κατά την διάρκεια της ωρίμανσης.....	76
<b>Πίνακας 12:</b> Αποτελέσματα Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής (FRAP) Δράσης δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους $18,0\pm 0,5$ °C.....	79

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 1:</b> Πρότυπη Καμπύλη Γαλλικού Οξέος.....	41
<b>Διάγραμμα 2:</b> Πρότυπη Καμπύλη Trolox.....	43
<b>Διάγραμμα 3:</b> Καμπύλη Αναφοράς $Fe^{2+}$ .....	46
<b>Διάγραμμα 4:</b> Μεταβολή της Σκληρότητας τις ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21.....	66

<b>Διάγραμμα 5:</b> Μεταβολή της Κολλητικότητας τις ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21.....	68
<b>Διάγραμμα 6:</b> Συνδυαστικό διάγραμμα TPA test για το σύνολο των ημερών αποθήκευσης.....	69
<b>Διάγραμμα 7:</b> Συνδυαστικό Φάσμα ATR-FTIR για το σύνολο των ημερών αποθήκευσης.....	72

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 1:</b> Συστηματική ταξινόμηση μπανάνας.....	13
<b>Σχήμα 2:</b> Αντίδραση του γαλλικού οξέος με το αντιδραστήριο F–C μέσω μηχανισμού μεταφοράς ενός $e^-$ .....	39
<b>Σχήμα 3:</b> Αναγωγή σιδήρου.....	44
<b>Σχήμα 4:</b> Μεταβολή των υπολογισμένων από το image analysis χαρακτηριστικών της φλούδας της μπανάνας τις ημέρες αποθήκευσης.....	50
<b>Σχήμα 5:</b> Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των χαρακτηριστικών υφής, μεταξύ των δειγμάτων φλούδας μπανάνας από τις ημέρες 2, 7,11 και 21.....	55
<b>Σχήμα 6.</b> Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ ), περιεκτικότητα σε υγρασία (%), °Brix και ογκομετρούμενη οξύτητα της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευση σε $18\pm 0.5$ °C.....	58
<b>Σχήμα 7:</b> Φωτεινότητα( $L^*$ ), πράσινη-κόκκινη απόχρωση ( $a^*$ ), μπλε-κίτρινη απόχρωση ( $b^*$ ) και χροιά (hue) των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους $18,0\pm 0,5$ °C.....	62
<b>Σχήμα 8 :</b> Μεταβολές Σκληρότητας, Ελαστικότητας, Κολλητικότητας, Συνεκτικότητας και Μασητικότητας των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθηκευτική περίοδο στους $18.0\pm 0.5$ °C.....	66
<b>Σχήμα 9:</b> Στατιστικά σημαντικές ( $P<0,05$ ) διαφορές στο Ολικό Φαινολικό Περιεχόμενο (TPC) μεταξύ διαδοχικών ημερών.....	78
<b>Σχήμα 10:</b> Στατιστικά σημαντικές ( $P<0,05$ ) διαφορές στην αντιριζική δράση όπως υπολογίστηκε με την μέθοδο ABTS μεταξύ διαδοχικών ημερών.....	81
<b>Σχήμα 11:</b> Στατιστικά σημαντικές ( $P<0,05$ ) διαφορές στην αντιοξειδωτική δράση όπως υπολογίστηκε με την μέθοδο FRAP μεταξύ διαδοχικών ημερών.....	82
<b>Σχήμα 12:</b> Ολικό φαινολικό περιεχόμενο (TPC), αντιριζική (ABTS•+) και αντιοξειδωτική δράση (FRAP) της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευση τους για 21 ημέρες.....	83
<b>Σχήμα 13:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 2 και 4.....	98



<b>Σχήμα 14:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 7 και 9.....	98
<b>Σχήμα 15:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 4 και 7.....	99
<b>Σχήμα 16:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 9 και 11.....	100
<b>Σχήμα 17:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 11 και 14.....	100
<b>Σχήμα 18:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 14 και 17.....	100
<b>Σχήμα 19:</b> Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 17 και 21.....	101

## Κατάλογος Εικόνων

<b>Εικόνα 1:</b> Φυτείες Μπανάνας.....	14
<b>Εικόνα 2:</b> Ενδεικτική Διατροφική Δήλωση Μπανάνας ( <i>M.acuminata</i> ) (118g).....	15
<b>Εικόνα 3:</b> Διατροφικά οφέλη μπανάνας στα διαφορετικά στάδια ωρίμανσης.....	22
<b>Εικόνα 4:</b> Αναλυτής υφής TA-XTplusC, Stable Micro Systems.....	33
<b>Εικόνα 5:</b> Τυπικό γράφημα TPA Test.....	34
<b>Εικόνα 6 :</b> Συσκευή μέτρησης $a_w$ (AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE).....	35
<b>Εικόνα 7:</b> Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIEL σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων $L^*, C^*, h$ .....	36
<b>Εικόνα 8:</b> Θερμοζυγός KERN MLS 50-3.....	36
<b>Εικόνα 9:</b> Διαθλασίμετρο χειρός.....	37
<b>Εικόνα 10:</b> Φωτογραφίες της φλούδας μπανανών για 21 ημέρες (ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21), κατά την διάρκεια της ωρίμανσης.....	49
<b>Εικόνα 11:</b> Φωτογραφίες της σάρκας της μπανάνας μετά την δοκιμή αμόλου-ιωδίου καθ' όλη την περίοδο των 21 ημερών (ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21) κατά την διάρκεια ωρίμανσης.....	56
<b>Εικόνα 12:</b> Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της σάρκας της μπανάνας και των χαρακτηριστικών $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ της φλούδας μπανάνας κατά την αποθήκευση.....	64

## Περίληψη

Η μπανάνα αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα και με ευρεία κατανάλωση φρούτα ανά την υφήλιο που η μικρή διάρκεια ζωής της από την έναρξη της ωρίμανσης σε συνδυασμό με το ότι η μεταφορά της μπορεί να διαρκέσει ακόμα και ημέρες, κρίνει μείζονος σημασίας την αξιολόγηση των διαφορετικών σταδίων ωρίμανσής της σε σχέση με τις φυσικοχημικές παραμέτρους ποιότητας και τις παραμέτρους της υφής, τόσο για τα οικονομικά οφέλη που επιφέρει το εμπόριό της όσο και για την αποδοχή των καταναλωτών. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η εφαρμογή εύχρηστων, ταχέων, μη καταστρεπτικών μεθόδων που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη δυσκολία στην εφαρμογή, για την αξιολόγηση των ποιοτικών αλλαγών που πραγματοποιούνται στη φλούδα και την σάρκα της μπανάνας κατά την διάρκεια ωρίμανσης σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας. Αυτό επετεύχθη με την εφαρμογή ποικίλων αναλυτικών τεχνικών όπως Φασματοσκοπίας Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση (ATR-FTIR), ανάλυσης υφής, χρωματομετρικών και φυσικοχημικών μεθόδων, φασματοφωτομετρικών μεθόδων για τον προσδιορισμό των ολικών φαινολικών, της αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης και ανάλυσης εικόνας σε συνδυασμό με διακριτική και στατιστική ανάλυση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης εικόνας έδειξαν ότι κατά την διάρκεια της ωρίμανσης σημειώθηκε σημαντική υποβάθμιση της υφής της εικόνας της φλούδας της μπανάνας που συνδέεται με την αύξηση της ανομοιογένειας της επιφάνειας της φλούδας και την απώλεια της δομικής τάξης της. Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των χαρακτηριστικών υφής κατάφερε να διακρίνει τέσσερα στάδια ωρίμανσης με υψηλή ακρίβεια. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στις παραμέτρους του χρώματος και δραματική μείωση στις παραμέτρους της μηχανικής υφής της σάρκας. Ο συνδυασμός της ανάλυσης εικόνας και της φασματοσκοπίας υπερύθρου (ATR-FTIR), του προσδιορισμού της υγρασίας και της περιεκτικότητας σε ολικά διαλυτά στερεά ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), έδειξε ότι κατά την αποθήκευση προκλήθηκε αύξηση σε διαλυτά σάκχαρα καθώς και μεταφορά νερού προς τη σάρκα ως αποτέλεσμα της διάσπασης του αμύλου. Η κόκκινη και η κίτρινη απόχρωση της φλούδας της μπανάνας συσχετίστηκαν σε μεγάλο βαθμό με την περιεκτικότητα της σάρκας σε υγρασία και ολικά διαλυτά στερεά ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), με τα χαρακτηριστικά της υφής της, και τον χρόνο αποθήκευσης. Αναφορικά με τις φασματοφωτομετρικές μεθόδους, τόσο το ολικό φαινολικό περιεχόμενο όσο και η αντιοξειδωτική και αντιριζική δράση παρουσίασαν τις πρώτες μέρες της

αποθήκευσης μείωση, ακολουθούμενη από σημαντική αύξηση τις τελευταίες μέρες της περιόδου αποθήκευσης. Η μεταβολή αυτή καταδεικνύει ότι η αντιοξειδωτική δράση της σάρκας της μπανάνας οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις φαινολικές ενώσεις. Ο συνδυασμός όλων αυτών των τεχνικών, σε συνδυασμό με στατιστικά εργαλεία κατάφερε να παρακολουθήσει τη φυσικοχημική και οργανοληπτική ποιότητα της μπανάνας κατά την αποθήκευση και θα μπορούσε να εφαρμοστεί περαιτέρω και για την αξιολόγηση της ποιότητας άλλων φρούτων και λαχανικών.

## **Abstract**

Banana is one of the most popular and consumed fruits in the world which its short life span upon the start of the ripening process and the fact that, after harvesting, transportation can take up to a few days until reaching the final destination make the evaluation of the different stages of fruit ripening in relation to physical, chemical and textural quality parameters an increasingly important issue when considering both the trade economic benefits and consumer acceptance. The aim of the current study was to evaluate and define the quality of banana peel and pulp in terms of ripening after storage in controlled temperature and humidity conditions. This was accomplished by employing practical, quick, nondestructive, and conventional methods such as Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) spectroscopy, texture analysis, colorimetric and physicochemical methods, spectrophotometric assays for the determination of the Total Phenolic Content (TPC), Antioxidant and Antiradical activity and image-analysis methods combined with discriminant and statistical analysis. Image analysis showed that banana peel images were significantly degraded during storage, and that could be in relation to the increase of image-texture dissimilarity, and the loss of texture structural order, whereas the computed features were sufficient to discriminate four ripening stages with high accuracy. Furthermore, the results revealed that storage was responsible for significant changes of color parameters and dramatic decrease in texture attributes of banana flesh. The findings of the combined image and ATR-FTIR analyses along with moisture, and total soluble solids (°Brix) results, indicated that total soluble sugars were increased during storage and water transfer to the flesh occurred following the considerable starch degradation. Banana peel redness and yellowness along with flesh moisture content, texture attributes and Brix and storage time were strongly interrelated. Regarding the spectrophotometric methods, not only the total phenolic content but also the antioxidant and antiradical activity showed a decrease in the first days of storage, followed by a significant increase in the last days. This result seems to state that the antioxidant capacity of banana flesh is predominantly due to phenolic compounds. Combining these methods with statistical tools made it possible to keep track of the physicochemical and sensory quality of bananas during storage, and they could be used to evaluate the quality of other fruits and vegetables as well.

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Πληροφορίες Γνωστικού Ενδιαφέροντος

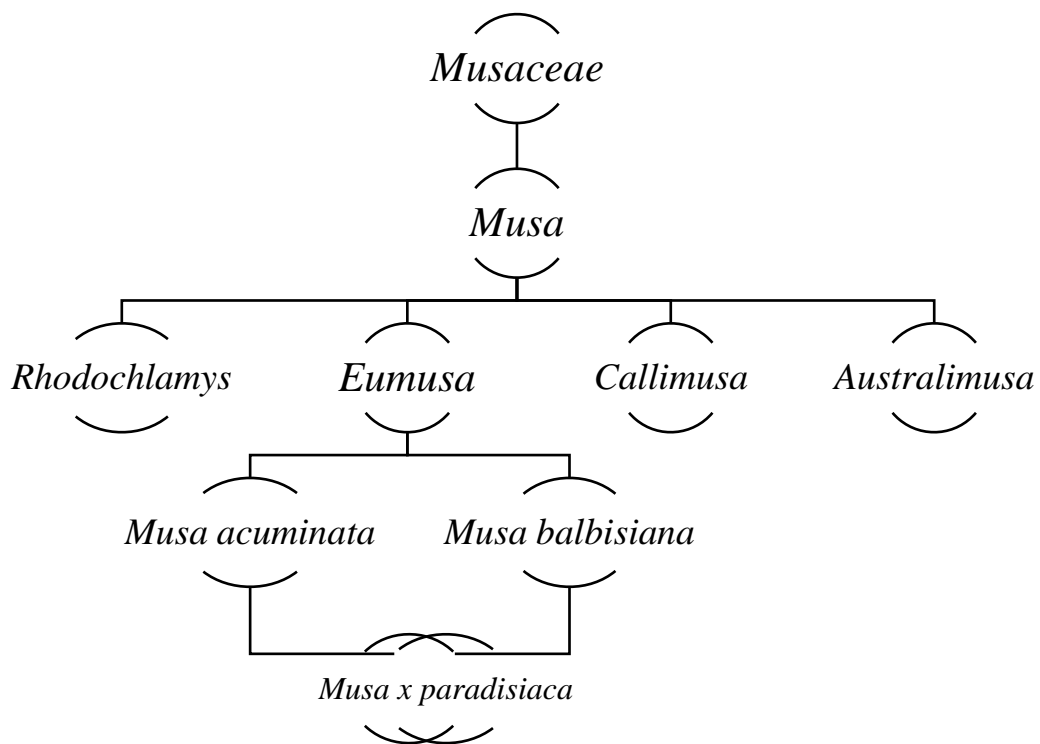
### 1.1.1. Γενικά για την Μπανάνα (*Musa spp.*)

Η μπανάνα είναι από τα πιο διαδεδομένα φρούτα που καταναλώνονται παγκοσμίως. Η καλλιέργειά της πραγματοποιείται σε κλίμα τροπικό ή υποτροπικό, συνεπώς η μεγαλύτερη παραγωγή βάσει στατιστικών στοιχείων της Διεθνούς Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας (FAO) για το έτος 2020 ήταν στην Ασία σε ποσοστό 54%. Ειδικότερα, μεγαλύτεροι εξαγωγείς μπανανών θεωρούνται το Εκουαδόρ, οι Φιλιππίνες, η Γουατεμάλα, η Κολομβία και η Κόστα Ρίκα ενώ οι περισσότερες εισαγωγές καταγράφονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ρωσία και την Ιαπωνία (Luiz, Leandro da Conceicao et al., 2022).

Η μπανάνα είναι το τροπικό φρούτο που ανήκει στην οικογένεια *Musaceae* και ειδικότερα στο γένος *Musa* το οποίο υποδιαιρείται στις κατηγορίες *Rhodochlamys*, *Eumusa*, *Callimusa* και *Australimusa*, κατηγοριοποίηση η οποία βασίζεται στον αριθμό χρωμοσωμάτων (Qamar & Shaikh, 2018). Η κατηγορία *Eumusa* είναι η μεγαλύτερη και η πιο διαδεδομένη γεωγραφικά και περιέχει όλα τα κύρια εδώδιμα είδη μπανάνας. Η πλειοψηφία των εδώδιμων μπανανών προέρχονται είτε αποκλειστικά από το είδος *Musa acuminata* ή από υβρίδια μεταξύ των διπλοειδών *Musa acuminata* και *Musa balbisiana*, που συνεισφέρουν τον γονίδιο A και B αντίστοιχα, τα οποία είναι γνωστά ως *Musa x paradisiaca* (Maduwanthi & Marapana, 2017). Οι ποικιλίες που προέρχονται από το είδος *Musa acuminata*, διπλοειδούς (AA group) ή τριπλοειδούς (AAA group) χαρακτήρα είναι γνωστές ως dessert bananas, διότι είναι αυτές που καταναλώνονται κυρίως ωμές και πιο συγκεκριμένα οι τριπλοειδούς χαρακτήρα (AAA group) είναι αυτές που κυριαρχούν στο παγκόσμιο εμπόριο τροφίμων με την ποικιλία *Cavendish* να αποτελεί την πλέον διαδεδομένη. (Emaga et al., 2007). Αξίζει να αναφερθεί και η κόκκινη μπανάνα (Red Banana, *M. acuminata*, AAA group) διότι είναι μια από τις σημαντικότερες ποικιλίες μπανάνας με κοκκινωπό-μωβ χρώμα που καλλιεργείται σε λίγες περιοχές ανάμεσα στις οποίες η Αυστραλία, η κεντρική Αμερική, η Βραζιλία, και κάποια μέρη της Ινδίας.

Υπάρχουν 300-500 ποικιλίες που προκύπτουν φυσικά και με βάση τα γονίδια τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως: AA, AAA, AB, AAB, ABB, και ABBB. Ποικιλίες τετραπλοειδούς χαρακτήρα AAAA έχουν παραχθεί μόνο με πρόγραμμα

αναπαραγωγής (breeding program) ενώ τριπλοειδείς BBB και τετραπλοειδείς BBBB ποικιλίες δεν έχουν ταυτοποιηθεί μέχρι σήμερα (Maduwanthi & Marapana, 2017). Μπανάνες του είδους *Musa x paradisiaca*, όπως οι μπανάνες Αντιλλών (true plantain, AAB group) και άλλες μπανάνες που χρησιμοποιούνται στην μαγειρική (cooking bananas, ABB group) παρ' όλο που εξωτερικά δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές με τις μπανάνες του είδους *M. acuminata* (AAA group), χαρακτηρίζονται από υψηλότερη συγκέντρωση αμύλου, είναι βρώσιμες μόνο αν υποβληθούν σε μαγείρεμα και χρησιμοποιούνται μόνο άγουρες (Shiga et al, 2011; Cordenunsi-Lysenko et al., 2019; Emaga et al., 2007).



Σχήμα 1: Συστηματική ταξινόμηση μπανάνας



**Εικόνα 1:** Φυτείες Μπανάνας

Η διάρκεια της καλλιέργειας των μπανανών διαφέρει ανάλογα με την ποικιλία αλλά και με το κλίμα. Συνήθως μέχρι την ολοκλήρωση της συγκομιδής έχουν παρέλθει 8-13 μήνες (Qamar & Shaikh, 2018). Η συγκομιδή

του φρούτου πραγματοποιείται όταν ο καρπός είναι ακόμη πράσινος και ύστερα αξιοποιείται η ιδιότητα αυτού να ωριμάζει ενώ έχει αποκοπεί από το φυτό. Η ωρίμανση αυτή είναι προκαθορισμένη γενετικά και χαρακτηρίζεται από έντονη αναπνοή και την παραγωγή αιθυλενίου από τον καρπό, γεγονός που το κατατάσσει στα κλιμακτηριακά φρούτα (Payasi & Sanwal, 2010). Το αιθυλένιο λειτουργεί ως φυσική ορμόνη και συνδέεται με πολλές διαδικασίες της ανάπτυξης και ωρίμανσης του φυτού και της πραγματοποίησης αντιδράσεων σε στρεσογόνες για το φυτό καταστάσεις (Bleecker & Schaller, 1996). Ο τρόπος που επηρεάζει την ωρίμανση είναι με την μεταγραφή και μετάφραση γονιδίων σχετιζόμενων με την ωρίμανση, ύστερα από την δέσμευση του αιθυλενίου σε ειδικούς υποδοχείς του καρπού (Payasi & Sanwal, 2008). Καθώς οι μπανάνες καλλιεργούνται σε τροπικά κλίματα, η δυνατότητα να γίνει η συγκομιδή τους σε τόσο πρώιμο στάδιο - σε σχέση με το στάδιο που θεωρούνται οργανοληπτικά αποδεκτές - είναι πλεονέκτημα καθώς η μεταφορά τους μπορεί να διαρκέσει αρκετές μέρες. Με την παραλαβή τους και προκειμένου να αποκτήσουν τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά, υπόκεινται σε τεχνητή ωρίμανση με ρύθμιση της θερμοκρασίας και την εισαγωγή αιθυλενίου σε κλειστούς θαλάμους για καθορισμένο χρονικό διάστημα (Marriott & Palmer, 1980). Με την επίδραση του αιθυλενίου συμβαίνουν μεταβολές όπως η μεταβολή της υφής σε μαλακότερη και ο αποπρασινισμός της φλούδας (Paulo et al., 2023). Κατά τους Paulo et al. (2023), φαίνεται πως ειδικά κατά τον αποπρασινισμό, μείζονος σημασίας είναι η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η επίδραση του αιθυλενίου και όχι τόσο η ποσότητα αυτού που επιδρά στα φρούτα (Paulo et al., 2023). Αξίζει να αναφερθεί, ωστόσο, ότι σε πολλές

μελέτες έχει καταγραφεί υποβάθμιση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών και της διατροφικής αξίας της μπανάνας ύστερα από την τεχνητή ωρίμανση, συγκριτικά με τις μπανάνες που ωριμάζουν φυσιολογικά (Maduwanthi & Marapana, 2021).

### 1.1.2. Διατροφική Σύσταση

Η μπανάνα είναι καλή πηγή μετάλλων, βιταμινών και φαινολικών ενώσεων. Ανάλογα με την ποικιλία, η σύστασή της μπορεί να διαφοροποιείται. Για παράδειγμα, σύμφωνα με έρευνα που διεξήχθη από τους Ranjha et al. (2022), οι ποικιλίες του είδους *Musa x paradisiaca* φαίνεται να είναι περισσότερο θερμιδογόνες και πιο πλούσιες σε υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, κάλιο, φώσφορο, μαγνήσιο, βιταμίνη C, βιταμίνη A σε σύγκριση με το είδος *Musa acuminata*, αλλά με μικρότερη περιεκτικότητα σε ασβέστιο και φυτικές ίνες (Ranjha et al., 2022). Επίσης διαφορές εντοπίζονται ακόμα και στην ίδια μπανάνα, ανάλογα με το τμήμα του καρπού. Έτσι στους σπόρους ή στην περιοχή γύρω από αυτούς ανιχνεύεται μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη, τέφρα και φυτικές ίνες (Forster et al., 2003). Ακόμη, στο κεντρικό μέρος της μπανάνας έχουν βρεθεί μεγαλύτερες περιεκτικότητες σακχάρων, όπως και ιχνοστοιχείων (Cu, Zn, Ca, Mn και Na) από ότι στο μεσαίο και στο εξωτερικό τμήμα του βρώσιμου μέρους της (Forster et al., 2003). Αντιθέτως, η συγκέντρωση του ασκορβικού οξέος εμφανίζει μείωση από το εξωτερικό προς το κεντρικό τμήμα της μπανάνας (Forster et al., 2003).

Σύμφωνα με την ανάλυση της διατροφικής αξίας διαφόρων ποικιλιών μπανάνας από τους Ranjha et al. (2022), μια μπανάνα της ποικιλίας *Musa acuminata* των 100 g, παρέχει κατά μέσο όρο 89 θερμίδες, 2,6 g φυτικές ίνες, 22,84 g υδατανθράκων, 1,09 g πρωτεΐνης, 358 mg καλίου, 22 mg φωσφόρου, 5 mg ασβεστίου, 0,27 mg μαγγανίου, 27 mg μαγνησίου, 0,078 mg χαλκού, 8,7 mg βιταμίνης C, 0,031 mg βιταμίνης B1, 0,073 mg βιταμίνης B2, 0,66 mg βιταμίνης B3, 0,33 mg βιταμίνης B5, 20 mg βιταμίνης B9, 0,4 mg βιταμίνης B6 (Ranjha et al., 2022).

## Nutrition Facts

Serving Size 1 Banana 118 g	
Amount Per Serving	
Calories 105	Calories from fat 3
% Daily Value*	
<b>Total Fat</b> 0g	1%
Saturated Fat 0g	1%
Trans Fat 0g	
<b>Cholesterol</b> 0g	0%
<b>Sodium</b> 2mg	0%
<b>Total Carbohydrate</b> 27g	9%
Dietary Fiber 3g	12%
Sugars 14g	
<b>Protein</b> 1g	
Vitamin A	2%
Vitamin C	17%
Calcium	1%
Iron	2%

\*Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs.

Εικόνα 2: Ενδεικτική Διατροφική Δήλωση Μπανάνας (*M.acuminata*) (118g)



Ένας σημαντικός λόγος για την ένταξη της μπανάνας στην διατροφή του ανθρώπου είναι η αντιοξειδωτική της δράση, η οποία έγκειται στην ύπαρξη ασκορβικού οξέος, καροτενοειδών, βιταμίνης E, φλαβονοειδών και φαινολικών (Ranjha et al., 2022; Singh et al., 2016). Στην αντιοξειδωτική δράση συμμετέχουν επίσης η ντοπαμίνη και νοραδρεναλίνη (Singh et al., 2016). Τα καροτενοειδή είναι κυρίαρχα, με πιο αντιπροσωπευτικά το α-καροτένιο, το β-καροτένιο και την λουτεΐνη (Wall, 2006). Τα καροτενοειδή γίνονται αντιληπτά και από το κίτρινο χρώμα του φρούτου (Subagio et al., 1996), και η πρόσληψη αυτών ενισχύει το ανοσοποιητικό σύστημα και συμβάλλει στην πρόληψη έναντι σοβαρών ασθενειών (Krinsky & Johnson, 2005). Η φλούδα διαθέτει ισχυρή αντιοξειδωτική δράση, μάλιστα ισχυρότερη από αυτή της σάρκας (Sulaiman et al., 2011). Σημαντική για την προστασία από καρκίνο και καρδιαγγειακές ασθένειες είναι και η παρουσία κατεχινών (Someya et al., 2002). Οι φυτοστερόλες, που επίσης ανιχνεύονται, μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για την μείωση της χοληστερίνης ορού (Singh et al., 2016).

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα περιεχόμενα συστατικά της μπανάνας μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την ποικιλία, τον χειρισμό της πριν και μετά την συγκομιδή, το στάδιο ωρίμανσης στο οποίο βρίσκεται (Sad et al., 2018) και την τοποθεσία στην οποία καλλιεργήθηκαν (Bashmil et al., 2021). Για παράδειγμα, στον Πίνακα 1 και στον Πίνακα 2 παρατηρείται ότι στις διάφορες μελέτες, το ολικό φαινολικό περιεχόμενο και η ολική αντιοξειδωτική δράση αντίστοιχα, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την ποικιλία. Επίδραση έχει και η μέθοδος εκχύλισης και στις δύο περιπτώσεις (Sulaiman et al., 2011), για αυτό και παρατηρούνται διαφορές ακόμα και στην ίδια ποικιλία, ανάλογα με τον διαλύτη που έχει επιλεγεί για την εκχύλιση. Εκτός από τον διαλύτη, επίδραση στην εκχύλιση των φαινολών έχει η διάρκεια και η θερμοκρασία εκχύλισης, η αναλογία διαλύτη/δείγματος καθώς και η φύση του δείγματος (Nacz & Shahidi, 2006). Αναφορικά με το στάδιο της ωρίμανσης, σύμφωνα με μελέτη των Bashmil et al. (2021), σχεδόν σε όλες τις ποικιλίες που εξετάζονται το ολικό φαινολικό περιεχόμενο και η ολική αντιοξειδωτική δράση της σάρκας είναι σε υψηλότερα επίπεδα στο ανώριμο φρούτο από ότι στο ώριμο. Οι μεταβολές σε αυτά τα περιεχόμενα κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, αναλύονται στην επόμενη ενότητα.

**Πίνακας 1:** Ολικό φαινολικό περιεχόμενο από διάφορες ποικιλίες μπανάνας.

<b>Ολικό Φαινολικό Περιεχόμενο</b>				
<b>Ποικιλία/Είδος</b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>Τεχνική προσδιορισμού</b>	<b>Ενώσεις που ταυτοποιήθηκαν</b>	<b>Πηγή</b>
<i>Sagor</i>	7,47± 0,94 mg GAE/100 g	Folin–Ciocâlteu (μεθανόλη)	-	Sad, Hoque, Zzaman, (2018)
<i>Champa</i>	38,92± 0,58 mg GAE/100 g			
<i>Shail</i>	80,14± 4,11 mg GAE/100 g			
<i>Pequena Enana</i>	0,87 ± 0,66 mg GAE/100 g	HPLC	-	Mendez, Forster et al., (2003)
<i>Gran Enana</i>	1,08 ± 0,81 mg GAE/100 g			
<i>Musa acuminata</i>	14,9 ± 1,5 mg GAE /g DW	Folin–Ciocâlteu (μεθανόλη)	-	Sulaiman, Sajak et al., (2011)
<i>Musa acuminata</i>	22,9 ± 3,2 mg GAE/g DW	Folin–Ciocâlteu (αιθανόλη)		
<i>Figo</i>	9,0 ± 0,2 mg GAE/g DW	Folin–Ciocâlteu (μεθανόλη)	Γαλλοκατεχίνη, κατεχίνη, επικατεχίνη	Bennett, Shiga et al., (2010)
<i>Terra</i>	7,2 ± 0,5 mg GAE/g DW			
<i>Mysore</i>	18,9 ± 1,4 mg GAE/g DW			
<i>Musa sapientum</i>	0,96 ± 0,03 mg GAE/g	Folin–Ciocâlteu	-	Adedayo, Obboh et al., (2016)
<i>Musa acuminata</i>	0,94 ± 0,01 mg GAE/g			

<i>Ney Mannan</i>	234,64 ± 10,02 mg GAE/g	Folin–Ciocâlteu (μεθανόλη), HPLC-MS	Συριγγικό οξύ, ταννικό οξύ, κατεχόλη, κατεχίνη, βανιλικό οξύ, γεντισικό οξύ, γαλλικό οξύ, καφεϊκό οξύ, χλωρογενικό οξύ, φερουλικό οξύ, κινναμωνικό οξύ, π-κουμαρικό οξύ	Kandasamy and Aradhya (2014)
<i>Red Banana</i>	194,90 ± 5,98 mg GAE/g			
<i>Giant Cavendish</i>	173,34 ± 9,65 mg GAE/g			
<i>Morthan</i>	156,84 ± 8,97 mg GAE/g			
<i>Nanjanagudu Rasabale</i>	285,00 ± 13,46 mg GAE/g			
<i>Cavendish (ώριμη)</i>	0,43 ± 0,01 mg GAE/g	Folin–Ciocâlteu	-	Bashmil, Ali et al., (2021)
<i>Cavendish (άγουρη)</i>	0,55 ± 0,03 mg GAE/g			

**Πίνακας 2:** Ολική αντιοξειδωτική δράση υπολογισμένη με διάφορες μεθόδους και σε διαφορετικές ποικιλίες

<b>Ολική Αντιοξειδωτική Δράση</b>			
<b>Ποικιλία/Είδος</b>	<b>Ποσότητα</b>	<b>Τεχνική προσδιορισμού</b>	<b>Πηγή</b>
<i>Musa acuminata</i>	8,5 ± 1,1 mg GAE /g DW	FRAP (μεθανόλη)	Sulaiman, Sajak et al., (2011)
<i>Musa acuminata</i>	11,8 ± 1,5 mg GAE/g DW	FRAP (αιθανόλη)	
<i>Musa acuminata</i>	69,42 ± 0,45 %	DPPH	Ferdaus, Ferdous et al., (2020)
<i>Giant Cavendish</i>	45,74 ± 2,99 %	DPPH	Kandasamy and Aradhya (2014)
<i>Ney Mannan</i>	50,47 ± 3,57 %		
<i>Musa sapientum</i>	16,33 ± 1,05 mg/mL	DPPH	Adedayo, Oboh et al., (2016)
	5,01 ± 0,04 mmol TEAC/g	ABTS	
<i>Cavendish (ώριμη)</i>	1,82 ± 0,16 mg AAE/g	ABTS	Bashmil, Ali et al., (2021)
<i>Cavendish (ανώριμη)</i>	2,20 ± 0,09 mg AAE/g		

Ακόμη ένας λόγος που ενισχύει την σημαντικότητα της κατανάλωσης μπανάνας είναι ότι αποτελεί μια σημαντική πηγή καλίου, το οποίο έχει επίδραση στην καλή λειτουργία των μυών, νεφρών, νεύρων, της καρδιάς, περιορίζει το κίνδυνο εμφάνισης οστεοπόρωσης και ρυθμίζει την ισορροπία νερού-μετάλλων και την αρτηριακή πίεση (Ranjha et al., 2022; Singh et al., 2016). Τέλος, η υψηλή περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες συμβάλλει στην καλή γαστρική λειτουργία ενώ το μαγνήσιο και ο φώσφορος στην καλή λειτουργία των οστών (Ranjha et al., 2022).

### **1.1.3. Ωρίμανση Μπανάνας**

Πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ωρίμανσης διαδραματίζει αρχικά η συγκομιδή καθώς η συγκομιδή της μπανάνας στο κατάλληλο στάδιο ωρίμανσης μπορεί να περιορίσει σε μεγάλο βαθμό απώλειες που πραγματοποιούνται μετά από αυτήν.

Μπανάνες πρώιμης συγκομιδής πιθανόν να παρουσιάσουν ελλιπή γεύση και προβλήματα στην ωρίμανση ενώ σε καθυστερημένη συγκομιδή το φρούτο μπορεί να βρίσκεται σε πολύ προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης και να έχει ρωγμές. Μπανάνες που συλλέγονται σε προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης διανέμονται μόνο στις τοπικές αγορές και δεν προορίζονται για εξαγωγή. Συνεπώς είναι πολύ σημαντικό η συγκομιδή του φρούτου να γίνεται στο σωστό στάδιο ωρίμανσης αναλόγως τον σκοπό (Surya Prabha & Satheesh Kumar, 2015).

Κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης συμβαίνουν πολλές βιοχημικές και φυσικές μεταβολές στην μπανάνα οι οποίες αρχικά είναι θετικές καθώς την καθιστούν οργανοληπτικά αποδεκτή ενώ στην συνέχεια εξελίσσονται αρνητικά. Η πρώτη εμφανής μεταβολή είναι η αλλαγή του χρώματος της φλούδας, η οποία από πράσινη γίνεται κίτρινη, φαινόμενο το οποίο οφείλεται στην σταδιακή και ολοκληρωτική διάσπαση της χλωροφύλλης αλλά και σε μεταβολές στην συγκέντρωση των καροτενοειδών (Subagio et al., 1996). Η συγκέντρωση των καροτενοειδών αυξάνεται κατά την ωρίμανση (Wall, 2006).

Με την εξέλιξη της ωρίμανσης, δημιουργούνται στην φλούδα καφέ κηλίδες από την δράση ενζύμων όπως της πολυφαινολικής οξειδάσης (PPO), ιδίως της κατεχολικής οξειδάσης, η οποία χρησιμοποιεί φαινολικά υποστρώματα για την παραγωγή κινονών (Jiang & Penner, 2022; Nguyen et al., 2003). Προς επιβεβαίωση των ανωτέρω, η ποικιλία Jawari εμφανίζει λιγότερους καφέ χρωματισμούς από ότι η ποικιλία Grand Naine, δεδομένου ότι στην δεύτερη ποικιλία υπάρχει μεγαλύτερη δραστηριότητα της πολυφαινολικής οξειδάσης (Deshmukh et al., 2009). Έμμεσα επιδρά και η αμμωνιακή

λυάση φαινυλαλανίνης (PAL) δημιουργώντας υποστρώματα για την πολυφαινολική οξειδάση από την μετατροπή της φαινυλαλανίνης σε μόνο- και δι- φαινόλες (Tomás-Barberán et al., 1997). Η αμμωνιακή λυάση φαινυλαλανίνης παράγει προϊόντα τα οποία μετατρέπονται σε φαινολικά συστατικά όπως το καφεϊκό οξύ το οποίο θα μπορούσε να είναι υπόστρωμα για αντιδράσεις αμαύρωσης (Nguyen et al., 2003). Η επίδραση της πολυφαινολικής οξειδάσης είναι εμφανής και στο εσωτερικό της μπανάνας όπου διακρίνονται ύστερα από τραυματισμούς (και άρα την είσοδο του ατμοσφαιρικού αέρα στην σάρκα) κηλίδες μελανίνης (Jiang and Penner, 2022).

Επιπλέον, οι βιοδραστικές αμίνες, που προστατεύουν τα φρούτα από έντομα και μύκητες, όπως η ντοπαμίνη και η νοραδρεναλίνη φαίνεται να είναι επιρρεπής στην ενζυμική αμαύρωση (Adão & Glória, 2005). Έχει προταθεί ότι πιθανότατα η ντοπαμίνη οξειδώνεται προς κινόνες οι οποίες πολυμερίζονται σε μελανίνη (Singh et al., 2016).

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη του χρώματος στην φλούδα, μετά την συγκομιδή, είναι η θερμοκρασία στην οποία διατηρούνται οι μπανάνες. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 24°C συγκρατείται μεγάλο μέρος της χλωροφύλλης και δεν αναπτύσσεται το επιθυμητό κίτρινο χρώμα, ενώ ακόμη και στους 30 °C γίνεται πλήρης αναστολή της αποικοδόμησης της χλωροφύλλης οδηγώντας σε άνισο αποπρασινισμό (Yang et al., 2009). Αντιθέτως, σε θερμοκρασίες διατήρησης χαμηλότερες των 12°C, οι μπανάνες εμφανίζουν εγκαύματα ψύξης (Nguyen et al., 2003). Όσο μειώνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και ο βαθμός της αμαύρωσης, γεγονός το οποίο έχει συσχετισθεί με την μείωση των φαινολικών αφού χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα για την πολυφαινολική οξειδάση (Nguyen et al., 2003). Ιδανικά, λοιπόν, για να επιτευχθεί το επιθυμητό κίτρινο χρώμα της φλούδας η ωρίμανση πρέπει να γίνει μεταξύ 18-24 °C (Du et al., 2014).

Ύψιστης σημασίας αποτελεί το μαλάκωμα της σάρκας του φρούτου κατά την ωρίμανση. Όπως και το χρώμα έτσι και ο βαθμός μαλακώματος της σάρκας επηρεάζεται από την θερμοκρασία του αποπρασινισμού (Paulo et al., 2023). Έχει επίσης αποδειχθεί ότι το αιθυλένιο ρυθμίζει την μεταγραφή γονιδίου που σχετίζεται με το μαλάκωμα (Maduwanthi & Marapana, 2019). Ένας ακόμη λόγος εμφάνισης του μαλακώματος είναι η διάσπαση του αμύλου σε διαλυτά σάκχαρα από την αμυλάση και κυριότερα από μεταβολές στο κυτταρικό τοίχωμα (de Souza et al., 2021; Maduwanthi & Marapana, 2017). Συγκεκριμένα, η πηκτίνη του κυτταρικού τοιχώματος αποικοδομείται κατά την ωρίμανση από τα ένζυμα πολυγαλακτουρονάση και μεθυλεστεράση της πηκτίνης, συμβάλλοντας στην αλλαγή της υφής (Maduwanthi &

Marapana 2017). Το μαλάκωμα μπορεί να οφείλεται και στην ανακατανομή της υγρασίας μεταξύ φλούδας και σάρκας (Adão & Glória, 2005). Στη μεταβολή της υφής, σε πιο μαλακή, συμβάλλει και η μείωση των μεταλλικών στοιχείων που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης (Adeyemi & Oladiji, 2009).

Στην διάρκεια της ωρίμανσης, το άμυλο εμφανίζει ελάττωση από 20-23% στο ανώριμο φρούτο, σε μόλις 1% στο ώριμο, με ταυτόχρονη αύξηση των διαλυτών στερεών από 1% σε 20 % ενώ παρατηρείται και αύξηση της αναλογίας σάρκας/φλούδας (Forster et al., 2003).

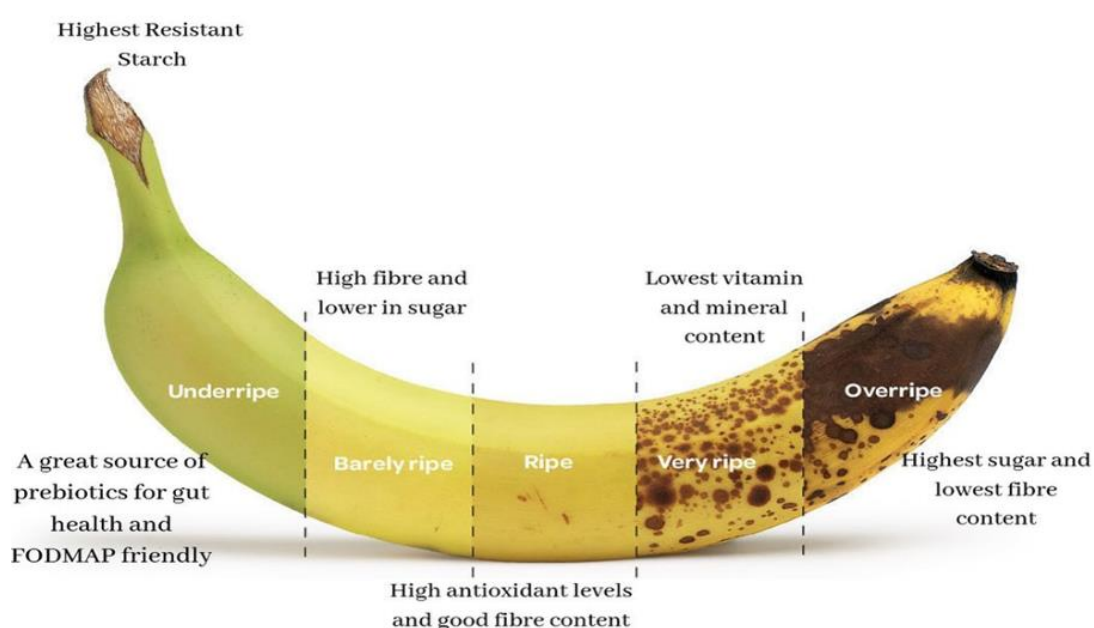
Η μεταβολή της γεύσης της μπανάνας είναι μια σημαντική διαδικασία που την καθιστά αποδεκτή, καθώς σε πρώιμα στάδια η στυπτικότητα η οποία την χαρακτηρίζει δεν την κάνει ιδιαίτερα αρεστή. Υπεύθυνες για αυτό χαρακτηρίζονται οι ταννίνες αλλά και το οξαλικό οξύ (Maduwanthi & Marapana, 2017). Η στυπτικότητα κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης σταδιακά μειώνεται λόγω του ότι οι ταννίνες καθίστανται αδιάλυτες (Maduwanthi & Marapana, 2019). Ακόμη, η αποικοδόμηση του αμύλου καθιστά την γεύση της μπανάνας σταδιακά όλο και πιο γλυκιά, λόγω των κύριων προϊόντων αποικοδόμησής του, που είναι η σακχαρόζη, η γλυκόζη και η φρουκτόζη (Adão & Glória, 2005). Η οξύτητα στο ανώριμο φρούτο οφείλεται στα επικρατέστερα οξέα της μπανάνας, μηλικό και κιτρικό οξύ ενώ η αναλογία σάκχαρα/οξέα καθορίζει και αυτή την γεύση και συνεπώς την οργανοληπτική αποδοχή της μπανάνας (de Souza et al., 2021).

Όσον αφορά το χαρακτηριστικό άρωμα της μπανάνας, στο άγουρο φρούτο οφείλεται κυρίως στην παρουσία τερπενίων και αλκοολών, ενώ στο ώριμο φρούτο στην παρουσία τερπενίων, αλκοολών και κετονών (Qamar & Shaikh, 2018). Τα πτητικά αυτά συστατικά μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με την ποικιλία, γενικά όμως οι εστέρες είναι αυτοί οι οποίοι προσδίδουν το φρουτώδες άρωμα (Brat et al., 2004). Το άρωμα είναι επίσης καθοριστικό για την διαμόρφωση του συνδυασμού της γεύσης και του αρώματος (flavor) το οποίο αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της οργανοληπτικής αποδοχής (Zhu et al., 2018).

Κατά την διάρκεια της ωρίμανσης παρουσιάζονται διαφορές και στην συγκέντρωση διαφόρων βιοδραστικών ενώσεων μεταξύ του ώριμου και ανώριμου φρούτου. Έχει βρεθεί, αναφορικά με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο της φλούδας, ότι οι προανθοκυανιδίνες και η αντιοξειδωτική δράση στα αρχικά στάδια της ωρίμανσης αυξάνονται και ύστερα εμφανίζουν μια μικρή μείωση όταν το φρούτο είναι υπερ-ώριμο (Vu et al., 2019). Βέβαια, σύμφωνα με άλλη έρευνα το ολικό φαινολικό περιεχόμενο

και η αντιοξειδωτική δράση και της φλούδας και της σάρκας ελαττώνονται κατά την ωρίμανση (Bashmil et al., 2021). Φυσικά, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ότι οι δύο μελέτες αφορούν διαφορετικές ποικιλίες και ότι οι διαφορές στις τιμές ολικού φαινολικού περιεχομένου και αντιοξειδωτικής δράσης επηρεάζονται αρκετά και από την μέθοδο εκχύλισης (Sulaiman et al., 2011; Bashmil et al., 2021). Όσον αφορά το ολικό περιεχόμενο βιοδραστικών αμινών, έχει βρεθεί ότι η παρουσία τους είναι μικρότερη στο στάδιο όπου η μπανάνα είναι περισσότερο οργανοληπτικά αρεστή (κίτρινη) συγκριτικά με το ανώριμο στάδιο (Adão & Glória, 2005).

Η ποσότητα των μεταλλικών στοιχείων επίσης επηρεάζεται από την πορεία της ωρίμανσης. Το εκατοστιαίο περιεχόμενο σε τέφρα, το οποίο είναι αυξημένο στο ώριμο φρούτο, σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο σε μέταλλα (Adeyemi & Oladiji, 2009). Έτσι, στο ώριμο φρούτο έχει βρεθεί μεγαλύτερο ποσοστό ψευδαργύρου και μαγγανίου και μικρότερο μαγνησίου (Adeyemi & Oladiji, 2009). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς το μαγνήσιο αποτελεί το κεντρικό άτομο στο μόριο της χλωροφύλλης (η χλωροφύλλη αποικοδομείται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης), ενώ η αύξηση του ψευδαργύρου πιθανόν χαρακτηρίζει την αντικατάσταση της χλωροφύλλης από καροτενοειδή (τα καροτενοειδή αυξάνονται κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης) (Adeyemi & Oladiji, 2009). Μεταβολές σε μέταλλα όπως το νάτριο μπορεί να οφείλονται σε ανακατανομές μεταξύ φλούδας και σάρκας που προκαλούνται λόγω της ωσμωτικής πίεσης (Watharkar et al., 2020).



**Εικόνα 3:** Διατροφικά οφέλη μπανάνας στα διαφορετικά στάδια ωρίμανσης

## 1.2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

Όπως γίνεται αντιληπτό η ωρίμανση της μπανάνας είναι ο σημαντικότερος παράγοντας της ποιοτικής υποβάθμισής της, καθώς όταν παρέλθει το χρονικό διάστημα που διαρκεί η ωρίμανση, το φρούτο δεν μπορεί να καταναλωθεί και επομένως καθίσταται απορριπτέο από τους καταναλωτές. Επομένως, ο βαθμός ωρίμανσης της μπανάνας και οι αλλαγές που προκαλούνται στο φρούτο, αποτελούν αντικείμενο μελέτης με μεγάλο ενδιαφέρον. Μέσα από μια ενδελεχή έρευνα σε επιστημονικά άρθρα, εντοπίζεται μια πληθώρα μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας και τα ευρήματα αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 3:** Πειράματα και μέθοδοι που σχετίζονται με την μελέτη του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΑΡΘΡΟ	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	ΜΕΘΟΔΟΙ
Screening and Characterization of Phenolic Compounds from Australian Grown Bananas and Their Antioxidant Capacity. (2021)  <u>Συγγραφείς:</u> Yasmeen M. Bashmil, Akhtar Ali, Amrit BK, Frank R. Dunshea and Hafiz A. R. Suleria)	Αντιοξειδωτικά	Προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC)
		Προσδιορισμός ολικών φλαβονοειδών (TFC)
		Προσδιορισμός ολικών ταννινών (TTC)
		(2,2-δι(4-tert-οκτυλφαινυλο)-1-πυκρλυδραζίλιο (DPPH)
		Μέθοδος 2,2'-αζινο-δις (3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ (ABTS)
		Μέθοδος FRAP
		Μέθοδος μείωσης ισχύος (RPA)
		Μέθοδος Δέσμευσης ρίζας ( $\bullet$ OH)
		Μέθοδος χηλικοποίησης ιόντων σιδήρου (FICA)
		Προσδιορισμός Ολικής Αντιοξειδωτικής Ικανότητας (TAC)
		Ταυτοποίηση Φαινολικών Ενώσεων με LC-ESI-QTOF-MS/MS
Ποσοτικοποίηση των φαινολικών με HPLC-PDA		



<p>The effect of maturity and tissue on the ability of mid infrared spectroscopy to predict the geographical origin of banana (<i>Musa Cavendish</i>). (2021)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Long Zhang, Yichao Huang, Fengjiang Sun, Da Chen, Michael Netzel, Heather E. Smyth, Yasmina Sultanbawa, Yongfeng Deng, Mingliang Fang &amp; Daniel Cozzolino</p>	Εκτίμηση ωριμότητας μπανάνας (Ripness index)	Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS)
	Φασματοσκοπία Υπερύθρου	ATR-FTIR
	Χημειομετρία / Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση	Μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA)  Μέθοδος Μερικών Ελαχίστων τετραγώνων (PLS)
<p>Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties.(2011)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> M. Soltani, R. Alimardani, M. Omid</p>	Ποιοτικοί Δείκτες	Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS) Σκληρότητα
	Στατιστική Ανάλυση	Κατά ζεύγη t-test
		Μέση διαφορά διαστήματος αξιοπιστίας
<p>Use of mid infrared spectroscopy to analyze the ripening of Brazilian bananas. (2022)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Leandro da Conceição Luiz, Cláudia Aline Nascimento, Maria José Valenzuela Bell, Rafaela Tavares Batista, Seshadri Meruva, Virgílio Anjos</p>	Φασματοσκοπία Υπερύθρου	ATR-FTIR
	Στατιστική Ανάλυση	Μέθοδος Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA)
		Επεξεργασία και Ανάλυση φασμάτων απορρόφησης
<p>Morphological and Molecular Studies of Banana Starch. (2005)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> L.A. Bello-Pérez, A. De Francisco, Agama-Acevedo, Gutierrez-Meraz and F.J.L. García-Suarez</p>	Ανάλυση μοριακών και μορφολογικών χαρακτηριστικών του αμύλου της μπανάνας	Περιεκτικότητα Αμυλόζης
		Οπτική Μικροσκοπία
		Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM)
		Σκέδαση ακτίνων X ευρείας γωνίας (WAXS)
		ATR-FTIR
		Διαφορική Θερμιδομετρία Σάρωσης (DSC)
<p>A Study on the Ripening Process of ‘Namwa’ Banana. (2004)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Nootruddee Siriboon, Propapan Banlusilp</p>	Εκτίμηση φυσιολογικών αλλαγών κατά την διάρκεια της ωρίμανσης με χημικές αναλύσεις	Μέτρηση χρώματος φλούδας
		Απώλεια βάρους
		Εκτίμηση σκληρότητας
		Ρυθμός Παραγωγής Αιθυλενίου
		Προσδιορισμός υγρασίας
		Ογκομετρούμενη Οξύτητα (TTA)
		Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS)
		Πτώση «Δακτύλων»

Application of Bio-Image Analysis for Classification of Different Ripening Stages of Banana. (2015)  Συγγραφείς: Ganesh C. Bora, Donqing Lin, Pritha Bhattacharya, Sukhwinder Kaur Bali & Rohit Pathak	Ανάλυση εικόνας για αξιολόγηση της ποιοτικής υποβάθμισης αναφορικά με τις αλλαγές στο χρώμα	Πρότυπο χρώματος RGB
		Τεχνική HSI (Hue Saturation Intensity)
Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas. (2004)  Συγγραφείς: F. Mendoza, J.M. Aguilera	Computer Vision System	Ανάλυση χρώματος
		Ανάπτυξη καφέ κηλίδων
		Ανάλυση υφής εικόνας
	Χημικές Αναλύσεις	Μέτρηση pH
		Ολικά Διαλυτά Στερεά (TSS)
	Στατιστική Ανάλυση	Γραμμική παλινδρόμηση
		Ανάλυση διακύμανσης
Ανάλυση διάκρισης		
Assessment of banana fruit maturity by image processing technique. (2015)  Συγγραφείς: D. Surya Prabha & J. Satheesh Kumar	Ανάπτυξη αλγορίθμων για την εκτίμηση ωριμότητας	Εξαγωγή τιμών χρώματος (RGB system)
		Εξαγωγή τιμών εμβαδού και περιμέτρου μπανάνας
	Ανάλυση Δεδομένων	Ανάλυση διακύμανσης με δοκιμή πολλαπλών εύρους του Duncan (DMRT)
Artificial ripening on banana ( <i>Musa spp.</i> ) samples: Analyzing ripening agents and change in nutritional parameters. (2018)  Συγγραφείς: Md. Nazibul Islam, Mollik Yousuf Imtiaz, Sabrina Shawreen Alam, Farrhin Nowshad, Swarit Ahmed Shadman & Mohidus Samad Khan	Μέθοδοι για τεχνητή ωρίμανση	Χρήση αιθερόνης
		Χρήση κηροζίνης
		Χρήση καρβιδίου του ασβεστίου
		Χρήση αιθυλενογλυκόλης
	Φυσικοχημικοί Παράγοντες	Εκτίμηση ωριμότητας με την δοκιμή ιωδίου-αμύλου
		Προσδιορισμός υγρασίας
		Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας
		Προσδιορισμός βιταμίνης C
		Προσδιορισμός περιεκτικότητας σακχάρων
		Ανάλυση παραγόντων ωρίμανσης
	Ανάλυση διάχυσης θείου στο φρούτο	

<p>Instrumental Textural Changes in Banana (Var. Pachbale) During Ripening Under Active and Passive Modified Atmosphere. (2006)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> O.P. Chauhan , P.S. Raju , D.K. Dasgupta &amp; A.S. Bawa</p>	<p>Ανάλυση υφής</p>	<p>Προσδιορισμός σκληρότητας</p>
		<p>Προσδιορισμός δύναμης διάτμησης</p>
		<p>Προσδιορισμός δύναμης χαλάρωσης</p>
		<p>Ανάλυση του προφίλ υφής (TPA)</p>
<p>Effect of Artificial Ripening Techniques on Physico-Chemical Properties of Banana (Musa sp) Variety ‘Poovan’. (2019)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Tejas Muthal, Harini R., Sunil C. K. &amp; Chidanand D. V</p>	<p>Μέθοδοι για τεχνητή ωρίμανση</p>	<p>Χρήση αιθερόνης</p>
		<p>Χρήση καρβιδίου του ασβεστίου</p>
	<p>Φυσικοχημικοί Παράγοντες</p>	<p>Ογκομετρούμενη οξύτητα (TTA)</p>
		<p>Ολικά διαλυτά στερεά (TSS)</p>
		<p>Εκτίμηση χρώματος</p>
		<p>Αναλογία σάρκας/φλούδας</p>
		<p>Ανάλυση υφής</p>
		<p>Οργανοληπτική αξιολόγηση χαρακτηριστικών ποιότητας</p>
	<p>Στατιστική Ανάλυση</p>	<p>Υφή</p>
		<p>Άρωμα</p>
		<p>Χρώμα</p>
		<p>Εμφάνιση</p>
		<p>Flavor</p>
<p>Αίσθηση κατά την μάσηση (mouth feel)</p>	<p>Γεύση</p>	
	<p>Ανάλυση διακύμανσης</p>	
	<p>Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. (2005)</p> <p><u>Συγγραφείς</u> Pingyi Zhang, Roy L. Whistler, James N. BeMiller, Bruce R. Hamake</p>	<p>Τεχνολογίες παραγωγής αμύλου μπανάνας</p>
		<p>Αλκαλική εκχύλιση</p>
		<p>Μη-αλκαλική εκχύλιση</p>
	<p>Παραγωγή διαιτητικών ινών</p>	
	<p>The post-harvest ripening of water stressed banana fruits (1994)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> J.N. Burdon, S. Dori, E. Lomaniec, R. Marinansky &amp; E. Pesis</p>	<p>Ρυθμός Παραγωγής Αιθυλενίου</p>
<p>Προσδιορισμός οξειδάσης του ACC</p>		
<p>Προσδιορισμός Αναπνευστικού Ρυθμού</p>		<p>Αέρια χρωματογραφία με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (GC-TCD)</p>
		<p>Ποιοτική Ανάλυση</p>
<p>Προσδιορισμός χρωστικών φλούδας</p>		
<p>Απώλεια βάρους</p>		

<p>Physicochemical and Antioxidant Properties of Banana Varieties and Sensorial Evaluation of Jelly Prepared from those Varieties Available in Sylhet Region. (2018)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Abdullah A. Sad, M. M. Hoque, Wahidu Zzaman</p>	Προσδιορισμός αντιοξειδωτικής δράσης με φασματοφωτομετρία UV-Vis	Προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC)  (2,2-δι(4-tert-οκτυλφαινυλο)-1-πυκρίλυδραζίλιο (DPPH))
	Φυσικοχημικές ιδιότητες	Προσδιορισμός πρωτεΐνης της σάρκας (Micro-Kjeldahl method)
		Προσδιορισμός της περιεκτικότητας λίπους της σάρκας
		Προσδιορισμός υγρασίας
		Περιεκτικότητα τέφρας
		Περιεκτικότητα υδατανθράκων
	Οργανοληπτικός έλεγχος	Χρώμα
		Άρωμα
		Πικρότητα
		Γεύση
		Αποδοχή
	Στατιστική Ανάλυση	Ανάλυση Διακύμανσης
	<p>Metabolism of bioactive compounds and antioxidant activity in bananas during ripening. (2021)</p> <p><u>Συγγραφείς:</u> Angela Vacaro de Souza, Jéssica Marques de Mello, Vitória Ferreira da Silva Favaro, Tayla Gabrielly Ferreira dos Santos, Gabriel Pereira dos Santos, Diogo de Lucca Sartori, Fernando Ferrari Putti</p>	Φυσικές Αναλύσεις
Διαστάσεις Φρούτου (average length and diameter)		
Σκληρότητα		
Φυσικοχημικές και χημικές αναλύσεις		pH
		Ογκομετρούμενη οξύτητα (TTA)
		Ολικά διαλυτά στερεά (TSS)
		Αναλογία TSS/TA
Βιοχημικές Αναλύσεις		Προσδιορισμός βιταμίνης C
		Προσδιορισμός του ολικού φαινολικού περιεχομένου (TPC)
		(2,2-δι(4-tert-οκτυλφαινυλο)-1-πυκρίλυδραζίλιο (DPPH))
		Μέθοδος FRAP
Στατιστική Ανάλυση		Τεστ Anderson–Darling
		Τεστ Levene
		Ανάλυση διακύμανσης
		Δοκιμή ευρούς Turkey
	Ανάλυση συσχέτισης Pearson	

Physicochemical changes during ripening of red banana. (2016)  <u>Συγγραφείς:</u> Asutosh Mohapatra, Bhosale Yuvraj K. & S. Shanmugasundaram	Χημικές Αναλύσεις	Περιεκτικότητα υγρασίας σάρκας
		Ολικά διαλυτά στερεά (TSS)
		Ογκομετρούμενη οξύτητα (TTA)
	Φυσικές Αναλύσεις	Απώλεια βάρους
		Αναλογία σάρκας/φλούδας
		Χρώμα
	Ανάλυση Υφής	Σκληρότητα

Με βάση τον παραπάνω πίνακα γίνεται αντιληπτό το μεγάλο ενδιαφέρον που υπάρχει για την μελέτη της ωρίμανσης της μπανάνας. Τα ευρήματα αυτά είναι ένα δείγμα των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί για την αξιολόγηση του βαθμού ωρίμανσης και όπως φαίνεται και στον πίνακα το ερευνητικό πεδίο εκτείνεται προς πολλές κατευθύνσεις, καθώς η διεξαγωγή περισσότερων πειραμάτων για ένα πολύπλοκο φαινόμενο, όπως η ωρίμανση της μπανάνας, οδηγεί σε περισσότερα και πιο έγκυρα αποτελέσματα. Γενικά αναφέρονται μελέτες που αφορούν στην αξιολόγηση φυσικοχημικών παραγόντων όπως η ογκομετρούμενη οξύτητα, τα ολικά διαλυτά στερεά (TSS), η χρήση μεθόδων για αξιολόγηση της υφής καθώς και διάφορες αναλύσεις για την εκτίμηση των αντιοξειδωτικών. Όσον αφορά πιο εξειδικευμένες αναλύσεις όπως η αέρια χρωματογραφία (π.χ. GC-TCD, GC-FID), η φασματοσκοπία υπερύθρου (ATR-FTIR) και η ανάλυση εικόνας (image analysis) φαίνεται σπάνια να συνδυάζονται μαζί με άλλες αναλύσεις, γεγονός που μπορεί να οφείλεται στην δυσκολία που παρουσιάζει η μελέτη και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους. Δεν πρέπει να παραλειφθεί η αναφορά στην στατιστική ανάλυση που αποτελεί αναπόσπαστο και απαραίτητο κομμάτι κάθε έρευνας για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων των διαφόρων αναλύσεων και την εξαγωγή ουσιαστικών συμπερασμάτων.

### 1.3. Επισκόπηση έρευνας

Αξιολογώντας τα ανώτερα αποτελέσματα, διαπιστώνεται το μεγάλο φάσμα καινοτόμων και σύγχρονων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την μελέτη της ωρίμανσης της μπανάνας. Ορισμένες από αυτές επιλέχθηκαν και αποτελούν και κομμάτι της παρούσας έρευνας και γι' αυτό αξίζει μία αναφορά στο θεωρητικό τους υπόβαθρο.

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες αναλύσεις αποτελεί η ανάλυση εικόνας (image analysis) διότι με την λήψη μιας φωτογραφίας καθίσταται δυνατό να αξιολογηθεί η ποιότητα του φρούτου (Quevedo et al., 2008). Επίσης, η υφή της εικόνας μπορεί να φανερώσει τις μεταβολές της έντασης, της χροιάς και του κορεσμού, που θα μας δώσουν πληροφορίες για το χρώμα, την φυσική δομή (Surya Prabha, Satheesh Kumar.,2015), καθώς και για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του φρούτου (Bora et al., 2015).

Ένα πολύτιμο εργαλείο με εκτενή χρήση στην βιομηχανία τροφίμων είναι και η φασματοσκοπία υπέρυθρου. Είναι μια τεχνική ταχεία, αξιόπιστη και μη καταστρεπτική και τα αποτελέσματα που παρέχει μπορούν να συγκριθούν και να συσχετιστούν με αποτελέσματα άλλων μεθόδων καθώς τα φάσματα υπέρυθρου δίνουν πληροφορίες σχετικά με την δομή και το προφίλ των συστατικών ουσιών δείγματος τροφίμου. Σε έρευνα των Luiz et al. (2022) χρησιμοποιήθηκε η φασματοσκοπία στο μέσο υπέρυθρο (Mid-IR) για την ανάλυση της ωρίμανσης σε μπανάνες από την Βραζιλία. Το 2021 έγινε μια μελέτη για την επίδραση της ωριμότητας και του ιστού στην ικανότητα της φασματοσκοπίας στο μέσο υπέρυθρο (Mid-IR) να προβλέψει την γεωγραφική προέλευση των μπανανών (Zhang et al., 2021).

Δεν πρέπει να παραλειφθεί η χρήση του αναλυτή υφής (texture analyzer) καθώς ένα από τα γενικά κριτήρια εκτίμησης του βαθμού ωριμότητας της μπανάνας θεωρείται το μαλάκωμα της υφής. Η υφή είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την εκτίμηση της ποιότητας φρούτων και λαχανικών και καίριας σημασίας για την αποδοχή των φρέσκων φρούτων με σκοπό την κατανάλωση του προϊόντος (eating quality) (Jaiswal et al., 2014). Η μπανάνα αποτελεί ένα ευαλλοίωτο φρούτο, επιρρεπές σε απώλεια της υφής και γι' αυτό τον λόγο οι αλλαγές στην ιξωδοελαστικότητα χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή (Chauhan et al., 2006).

Τέλος ο προσδιορισμός των αντιοξειδωτικών είναι μείζονος σημασίας λόγω του ότι οι μπανάνες αποτελούν μια πολύ καλή πηγή αντιοξειδωτικών υψηλής διατροφικής αξίας και συγκριτικά με άλλα φρούτα όπως παραδείγματος χάριν το καρπούζι, το νεκταρίνι και το λεμόνι είναι πλουσιότερες σε αντιοξειδωτικά (Maduwanthi & Marapana.,2021). Οι φαινολικές ενώσεις, οι οποίες είναι κύρια αντιοξειδωτικά σε φυτά, βρίσκονται σε έναν σημαντικό αριθμό και έχουν μια μεγάλη ποικιλία βιολογικών δράσεων (Bashmil et al.,2021).

## 2. Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσης έρευνας είναι η μελέτη του βαθμού ωρίμανσης της μπανάνας, μετά από αποθήκευση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας και υγρασίας. Προς ικανοποίηση του ανωτέρω στόχου κρίθηκε αναγκαία η εφαρμογή πολλών αναλυτικών μεθόδων, ώστε να προκύψει πληθώρα αποτελεσμάτων, ικανών, μετά από συγκριτική μελέτη και στατιστική επεξεργασία, να αναδείξουν τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν την ωρίμανση της μπανάνας και την πιθανή συσχέτιση αυτών. Περαιτέρω στόχος ήταν η ανάπτυξη μιας συνδυασμένης μεθοδολογίας μελέτης της ωρίμανσης φρούτων και λαχανικών και η ανάδειξη ενός σημαντικού εργαλείου το οποίο θα μπορεί να εκτιμήσει τη διατηρησιμότητά τους.

Οι αναλύσεις που επιλέχθηκαν να πραγματοποιηθούν, συνοψίζονται ως εξής:

1. Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση (ATR-FTIR)
2. Μέτρηση χρώματος (CIE L\*, a\*, b\*, h). Το χρώμα της μπανάνας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σημεία ελέγχου διότι σχετίζεται άμεσα με τον βαθμό της ωρίμανσής της (Yun et al., 2022) με το εξωτερικό χρώμα να αποτελεί το βασικό κριτήριο επιλογής από τους καταναλωτές.
3. Ανάλυσης υφής εικόνας (image analysis)
4. Μέτρηση υφής (texture analyzer)
5. Περιεκτικότητα της υγρασίας: Είναι μια πολύ σημαντική ποιοτική ιδιότητα που επηρεάζει άμεσα και σε μεγάλο βαθμό την ικανότητα αποθήκευσης των φρούτων. (Romano, Giuseppe, et al., 2008).
6. Μέτρηση ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ )
7. Προσδιορισμός των ολικών διαλυτών στερεών (TSS)
8. Μέτρηση ογκομετρούμενης οξύτητας: Η μεταβολή της περιεκτικότητας των οξέων μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για τον βαθμό της ωρίμανσης αλλά και να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με τα σάκχαρα (TSS), προκειμένου να υπολογιστεί η αναλογία σάκχαρα: οξέα, που αποτελεί έναν δείκτη οργανοληπτικής αποδοχής (de Souza et al., 2021).
9. Προσδιορισμός ολικών φαινολικών, αντιοξειδωτικής και αντιριζικής δράσης
10. Δοκιμή αμύλου – ιωδίου. Το άμυλο είναι μείζονος σημασίας διότι κατά την διάρκεια της ωρίμανσης μειώνεται από το 70-80% στην προ-κλιμακτηριακή περίοδο σε λιγότερο από 1% στο τέλος της κλιμακτηριακής περιόδου.

### 3. Υλικά και Μέθοδοι

Η προμήθεια των δειγμάτων μπανάνας έγινε στις 17.05.2022 από την εταιρεία εμπορίου φρούτων και κηπευτικών ειδών Πεφάνης Α.Ε.. Τα δείγματα μπανάνας ανήκαν στην ποικιλία Cavendish (*Musa acuminata*, Banana cv. Cavendish subgroup) και η χώρα προέλευσής τους ήταν το Εκουαδόρ. Σύμφωνα με πληροφορίες από την εταιρεία, οι μπανάνες είχαν τοποθετηθεί σε ελεγχόμενο θάλαμο αιθυλενίου, στον οποίο είχε ξεκινήσει η τεχνητή ωρίμανση τους την ημέρα 0. Τα δείγματα μπανάνας, τα οποία για ένα ολοκληρωμένο πείραμα με όλες τις αναγκαίες επαναλήψεις κρίθηκε πως έπρεπε να είναι δώδεκα (12) τσαμπιά με επτά (7) ή οκτώ (8) μπανάνες ανά τσαμπί, μεταφέρθηκαν στον πανεπιστημιακό χώρο την ημέρα 1 και τοποθετήθηκαν σε κλίβανο ελεγχόμενης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ως θερμοκρασία συντήρησης των δειγμάτων επιλέχθηκαν οι  $18\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  ενώ η σχετική υγρασία ρυθμίστηκε  $60\pm 2\%$ . Διεξήχθησαν οκτώ (8) προγραμματισμένες αναλύσεις ανά δύο ή τρεις ημέρες και διήρκησαν συνολικά 21 μέρες. Σε κάθε προγραμματισμένη διεξαγωγή επιλέχθηκαν τυχαία δείγματα από κάθε τσαμπί, με τις μετρήσεις να πραγματοποιούνται σε οκτώ πανομοιότυπες βιολογικά μπανάνες.

**Πίνακας 4:** Οι ημερομηνίες διεξαγωγής των πειραμάτων και ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων

Ημερομηνία	Κωδικοί δειγμάτων
18.05.2022: Ημέρα 2	SB <sub>1,1</sub> έως SB <sub>1,8</sub>
20.05.2022: Ημέρα 4	SB <sub>2,1</sub> έως SB <sub>2,8</sub>
23.05.2022: Ημέρα 7	SB <sub>3,1</sub> έως SB <sub>3,8</sub>
25.05.2022: Ημέρα 9	SB <sub>4,1</sub> έως SB <sub>4,8</sub>
27.05.2022: Ημέρα 11	SB <sub>5,1</sub> έως SB <sub>5,8</sub>
30.05.2022: Ημέρα 14	SB <sub>6,1</sub> έως SB <sub>6,8</sub>
02.06.2022: Ημέρα 17	SB <sub>7,1</sub> έως SB <sub>7,8</sub>
06.06.2022: Ημέρα 21	SB <sub>8,1</sub> έως SB <sub>8,9</sub>



### 3.1 Λήψη φωτογραφίας

Στόχος αυτής της διαδικασίας ήταν να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν οι διαφορές στην ύφη της μπανάνας που προκύπτουν λόγω της ωρίμανσης.

Γι' αυτό τον σκοπό δείγματα φλούδας μπανάνας και σάρκας μπανάνας πριν και μετά την δοκιμή αμύλου-ιωδίου φωτογραφήθηκαν με την ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Sony DSCW800/B (Sony Europe Limited, Edinburgh, United Kingdom) τοποθετημένη σε απόσταση 15cm από τα δείγματα. Για την απομόνωση εξωτερικών πηγών φωτός χρησιμοποιήθηκε κάλυμμα στην εγκατάσταση της φωτογράφισης και κατάλληλες συνθήκες φωτισμού επιλέχθηκαν με σκοπό την διασφάλιση συνθηκών σταθερού φωτισμού. Οι φωτογραφίες των δειγμάτων λήφθηκαν σε διάφραγμα φακού  $f=4,6$  και ανάλυση 1280x720 pixel και αποθηκεύτηκαν σε μορφή jpeg.

Δεκαοκτώ (18) χαρακτηριστικά υφής υπολογίστηκαν από κάθε εικόνα με σκοπό την ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων της υφής της επιφάνειας των δειγμάτων μπανάνας. Τα χαρακτηριστικά της υφής υπολογίστηκαν από τις έγχρωμες και ασπρόμαυρες εικόνες (μετά την αφαίρεση του χρώματος) και χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αλλαγών που πραγματοποιούνται στην υφή της εικόνας κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν βάσει των έγχρωμων εικόνων είναι το  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  ενώ από την στατιστική ανάλυση του ιστογράμματος πρώτης τάξης της ασπρόμαυρης εικόνας υπολογίστηκαν τα εξής τέσσερα (4) χαρακτηριστικά: mean value, standard deviation (std), skew-ness, και kurtosis. Έξι (6) χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν από στατιστικά στοιχεία δεύτερης τάξης του πίνακα συνεμφάνισης της ασπρόμαυρης εικόνας: Contrast (con), Dissimilarity (dis), Energy, Homogeneity, Correlation, και Angular Second Moment (ASM). Τέλος, πέντε (5) χαρακτηριστικά υπολογίστηκαν από τα στατιστικά στοιχεία δεύτερης τάξης του πίνακα μήκους εκτέλεσης της ασπρόμαυρης εικόνας: Short Run Emphasis (SRE), Long Run Emphasis (LRE), Grey Level Non-Uniformity (GLN), Run Length Non-Uniformity (RLN), και Run Percentage (RP).

## 3.2 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα

### Ολική Ανάκλαση

Η λήψη των φασμάτων FTIR πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία δωματίου, χρησιμοποιώντας αποσβένουσα ολική ανάκλαση (ATR). Κάθε δείγμα από την σάρκα μπανάνας τοποθετήθηκε ξεχωριστά στο φασματόμετρο FTIR (Shimadzu, IRAffinity-1S FTIR Spectrometer, Japan). Η τιμή αναφοράς της αποσβένουσας ολικής ανάκλασης καθορίστηκε στα  $3284,77 \text{ cm}^{-1}$ . Τόσο το φάσμα με κενό τον θάλαμο τοποθέτησης του δείγματος με σκοπό την μείωση του θορύβου (background scan) όσο και τα φάσματα των δειγμάτων καταγράφηκαν στην περιοχή μεταξύ  $4.000-499 \text{ cm}^{-1}$  με την διακριτική ικανότητα του οργάνου στα  $4 \text{ cm}^{-1}$ , ενώ κάθε τελικό φάσμα προέκυπτε από τον μέσο όρο 20 σαρώσεων (scans). Τα φάσματα FTIR των δειγμάτων υπεβλήθησαν σε ATR διόρθωση και κανονικοποίηση, ενώ η στατική επεξεργασία και ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την χρήση του λογισμικού LabSolutions IR.

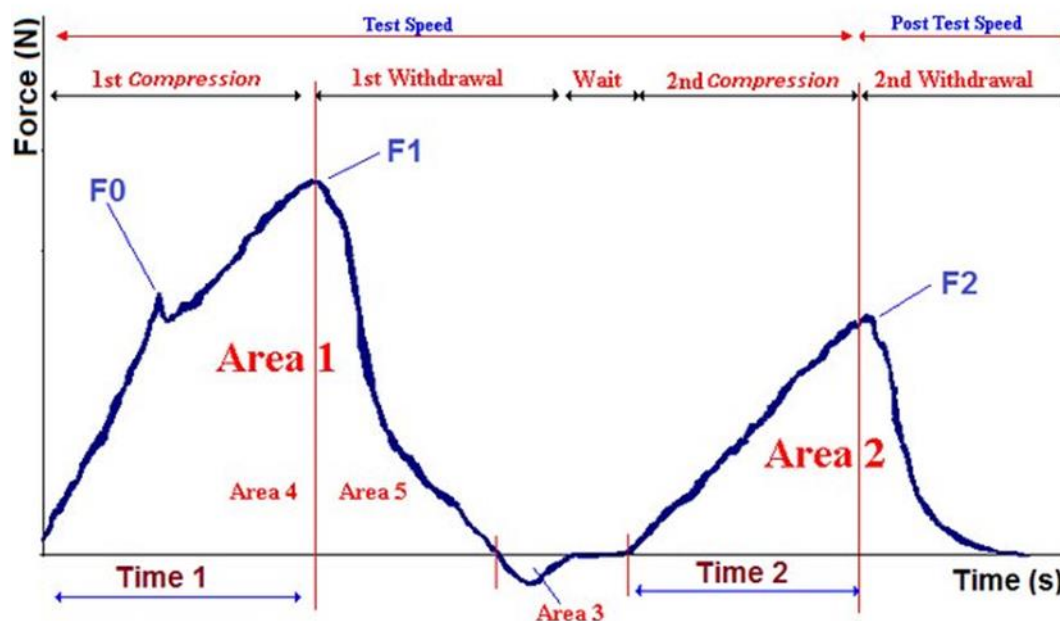
### 3.3 Ανάλυση Υφής

Για την ανάλυση της υφής χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής υφής (TA-XTplusC, Stable Micro Systems, Godalming, UK) σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το κάθε δείγμα υποβλήθηκε σε διπλή επαναλαμβανόμενη συμπίεση, η οποία προσομοιάζει τη διαδικασία της μάσησης (Texture Profile Analysis – TPA Test) με κύλινδρο διαμέτρου 6 mm. Στο λογισμικό καθορίστηκαν όλες οι παράμετροι όπως η ταχύτητα καθόδου του κυλίνδρου, το βάθος διείσδυσης από την επιφάνεια του δείγματος, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα χαρακτηριστικά. Το βάθος διείσδυσης ρυθμίστηκε στο ήμισυ της διαμέτρου του κάθε δείγματος, ενώ η ταχύτητα καθόδου, η ταχύτητα διείσδυσης και η ταχύτητα ανόδου ρυθμίστηκαν για όλα τα δείγματα 10, 5 και 10 mm/s αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Αναλυτής υφής TA-XTplusC, Stable Micro Systems

Από τη μέτρηση της υφής προκύπτει παρόμοιο διάγραμμα με αυτό που απεικονίζεται παρακάτω



Εικόνα 5: Τυπικό γράφημα TPA Test

Από τα γράφημα του αναλυτή υφής προσδιορίζονται οι παρακάτω ιδιότητες για τα δείγματα:

- Σκληρότητα (Firmness): Η απαιτούμενη δύναμη για να συμπιεστεί ένα τρόφιμο μεταξύ των γομφίων του στόματος. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη μέγιστη δύναμη που εμφανίζεται κατά τον πρώτο κύκλο μάσησης (F1 στην Εικόνα 5)
- Ελαστικότητα (Springiness): Ο βαθμός επαναφοράς ενός συμπιεσμένου τροφίμου στην αρχική του κατάσταση όταν πάψει να υφίσταται το φορτίο. Η ελαστικότητα δίνεται από το λόγο της μέγιστης δύναμης που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου ( $\text{Time 2} / \text{Time 1}$  στην Εικόνα 5)
- Συνεκτικότητα (Cohesiveness): Η δύναμη των δεσμών που συγκρατούν το τρόφιμο. Το συγκεκριμένο μέγεθος προσδιορίζεται ως ο λόγος των επιφανειών  $\text{Area 2} / \text{Area 1}$  όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα.
- Κολλητικότητα (Adhesiveness): Συνδέεται με την ενέργεια που απαιτείται για να γίνουν τα ημιστερέα τρόφιμα έτοιμα για κατάποση, και ισχύει μόνο για αυτά. Υπολογίζεται από το γινόμενο της σκληρότητας επί την συνεκτικότητα

- **Μασητικότητα (Chewiness):** Είναι η ενέργεια που απαιτείται για να γίνουν τα στερεά τρόφιμα έτοιμα για κατάποση. Αντιστοιχεί στον απαιτούμενο αριθμό μασημάτων που χρειάζεται ένα δείγμα καθώς και στην σταθερή μείωση της δύναμης με συνέπεια την κατάποση. Ισχύει μόνο για τα στερεά προϊόντα και υπολογίζεται ως η κολλητικότητα (σκληρότητα επί συνεκτικότητα) επί την ελαστικότητα.

### 3.4 Μέτρηση Φυσικοχημικών Παραγόντων

#### 3.4.1 Ενεργότητα Ύδατος ( $a_w$ )

Για τον προσδιορισμό της ενεργότητας ύδατος ( $a_w$ ) της σάρκας της μπανάνας χρησιμοποιήθηκε συσκευή μέτρησης  $a_w$  (AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE, METERGrouP, Inc., Pullman, WA, USA).



**Εικόνα 6 :** Συσκευή μέτρησης  $a_w$  (AquaLab Dew Point Water Activity Meter 4TE).

#### 3.4.2 Μέτρηση Χρώματος

Οι παράμετροι του χρώματος μετρήθηκαν με το χρωματόμετρο τριπλής διέγερσης (CR-400 Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan). Το χρωματόμετρο αποτελείται από μία ελαφριά λαβή στο άκρο της οποίας βρίσκεται κεφαλή μέτρησης διαμέτρου 8 mm και ένας επεξεργαστής δεδομένων με μνήμη 300 μετρήσεων. Το χρωματόμετρο χρησιμοποιεί φωτισμό διάχυσης και έχει οπτική γωνία 0° για ακριβείς μετρήσεις μεγάλης ποικιλίας αντικειμένων. Πριν από κάθε χρήση το χρωματόμετρο βαθμονομείται με χρήση της πρότυπης λευκής κεραμικής πλάκας με ( $L^* = 97,83$ ,  $a^* = -0,45$  και  $b^* = 1,88$ ).

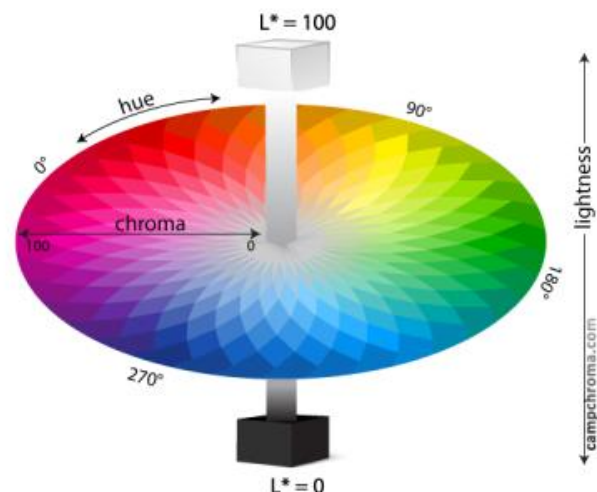
Οι μετρήσεις ελήφθησαν στα διαφορετικά δείγματα μπανάνας, πάχους 2-3 cm. Για τον προσδιορισμό των χρωματικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε το ευρέως χρησιμοποιούμενο στον ποιοτικό έλεγχο των τροφίμων χρωματικό μοντέλο CIELab ( $L^*$ : φωτεινότητα,  $a^*$ : πράσινη-κόκκινη απόχρωση,  $b^*$ : μπλε-κίτρινη απόχρωση, h: χροιά ή μοίρες).

Το χρωματικό μοντέλο CIEL\*a\*b\*, μπορεί να αναπαραχθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο CIEL\*, C\*, h (Εικόνα 7), όπου:

- L\* είναι η φωτεινότητα (Lightness)
- C\* (Chroma) είναι η χρωματική πυκνότητα. Προσδιορίζει, δηλαδή, την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος, ή αλλιώς, τη σχέση μεταξύ της εντονότητας και της φωτεινότητας της μελετώμενης απόχρωσης. Ο παράγοντας C\* υπολογίζεται και από την εξίσωση

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

- h (hue angle) είναι η χροιά. Μετριέται σε μοίρες και προσδιορίζει την απόχρωση, παίρνοντας τιμές 0° για το κόκκινο-πορφυρό, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλε.



Εικόνα 7: Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIEL σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων L\*,C\*,h.

### 3.4.3 Προσδιορισμός υγρασίας

Ο προσδιορισμός της υγρασίας της σάρκας της μπανάνας πραγματοποιήθηκε με συσκευή υπέρυθρων ακτινών (θερμοζυγός) (Kern MLS 50-3, KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany).

Ποσότητα δείγματος 0,2-0,4 g τοποθετείται στο δοχείο δείγματος από αλουμίνιο και θερμαίνεται γρήγορα από την λάμπα αλογόνου που είναι υπεύθυνη για την εξάτμιση της υγρασίας. Καθ' όλη την διάρκεια, ο θερμοζυγός προσδιορίζει την μάζα του δείγματος και υπολογίζει την απώλεια της υγρασίας. Το ποσοστό της υγρασίας υπολογίζεται από την διαφορά της μάζας του δείγματος πριν και μετά την ξήρανση.

Το όργανο είναι ρυθμισμένο να μην υπερβαίνει την θερμοκρασία των 120°C έτσι ώστε να μην προκύψουν τυχόν αλλοιώσεις στο τρόφιμο.



Εικόνα 8: Θερμοζυγός KERN MLS 50-3

#### 3.4.4 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών στερεών (TSS)

Τα ολικά διαλυτά στερεά μετρήθηκαν με διαθλασίμετρο χειρός (Kern Optics Analogue Brix Refractometer, ORA 80BB, KERN & SOHN GmbH, Holland).

Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην αποτύπωση της διάθλασης του φωτός που διαπερνά το δείγμα, σε βαθμονομημένη κλίμακα που εκφράζεται σε βαθμούς °Brix. Ποσότητα σάρκας μπανάνας ομογενοποιήθηκε σε ηλεκτρικό αναμικτήρα και ο παραγόμενος πολτός τοποθετήθηκε στην επιφάνεια του πρίσματος. Όπως προαναφέρθηκε, τα ολικά διαλυτά στερεά εκφράζονται σε βαθμούς °Brix από την ανάγνωση της κλίμακας του οργάνου.



Εικόνα 9: Διαθλασίμετρο χειρός

#### 3.4.5 Προσδιορισμός ογκομετρούμενης οξύτητας

Η ογκομετρούμενη οξύτητα προσδιορίστηκε με την μέθοδο της AOAC και εκφράστηκε ως εκατοστιαία περιεκτικότητα μπανάνας (%) σε μηλικό οξύ.

#### Πειραματική Πορεία

- Διάλυση 5 g ομογενοποιημένου δείγματος μπανάνας σε 10 mL απεσταγμένου νερού.
- Διήθηση του διαλύματος σε ογκομετρική φιάλη των 50 mL και προσθήκη απεσταγμένου νερού μέχρι την χαραγή.
- Μεταφορά 10 mL από το διάλυμα και ογκομέτρηση με πρότυπο διάλυμα NaOH 0,1 M παρουσία δείκτη φαινολοφθαλεΐνης.
- Υπολογισμός της ογκομετρούμενης οξύτητας εκφρασμένης ως εκατοστιαίας περιεκτικότητας μπανάνας (%) σε μηλικό οξύ (Dwivany et al., 2020).

### **3.4.6 Εκχύλιση βρώσιμου ιστού μπανάνας με υδατομεθανολικό διάλυμα**

Πραγματοποιήθηκε λήψη ποσότητας  $\approx 3,000$  g βρώσιμου ιστού από την μέση κάθε δείγματος σάρκας μπανάνας και εμβαπτίστηκαν σε υδατομεθανολικό διάλυμα ( $\text{CH}_3\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 80:20$ ) με αναλογία τροφίμου/διαλύτη 1:5 (w/v). Ακολούθησε φύλαξη του προκύπτοντος διαλύματος σε κλειστό γυάλινο δοχείο, σε θερμοκρασία δωματίου για 48 ώρες και στη συνέχεια η παραλαβή του διηθήματος και η αποθήκευσή του υπό ψύξη ( $4^\circ\text{C}$ ) για περαιτέρω ανάλυση.

### **3.4.7 Δοκιμή ιωδίου αμύλου**

Η δοκιμή ιωδίου-αμύλου είναι μια χημική αντίδραση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της παρουσίας αμύλου στην σάρκα της μπανάνας κατά την διάρκεια της ωρίμανσης. Παρά τα κάποια μειονεκτήματά της, εξακολουθεί να χρησιμοποιείται διότι είναι γρήγορη, πρακτική και σε αντίθεση με άλλες μεθόδους δεν απαιτείται ακριβός εξοπλισμός (Smith et al., 1979).

Με την χρήση αυτή της μεθόδου μπορεί να γίνει ποιοτική παρατήρηση της μείωσης του αμύλου κατά την διάρκεια της ωρίμανσης.

Η επιφάνεια μιας ροδέλας σάρκας μπανάνας, πάχους 2-3 cm, εμβαπτίστηκε σε διάλυμα ιωδίου-αμύλου, με 1% ιωδιούχο κάλιο και 0,25% ιώδιο για 5 δευτερόλεπτα. (Dwivany et al., 2020). Σκούρος μπλε-μαύρος χρωματισμός συνεπάγεται παρουσία αμυλόζης. Η κατανομή του αμύλου στις ροδέλες εκτιμήθηκε με ανάλυση εικόνας. Κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε οκτώ πανομοιότυπα δείγματα για να ληφθεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση

## **3.5 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι**

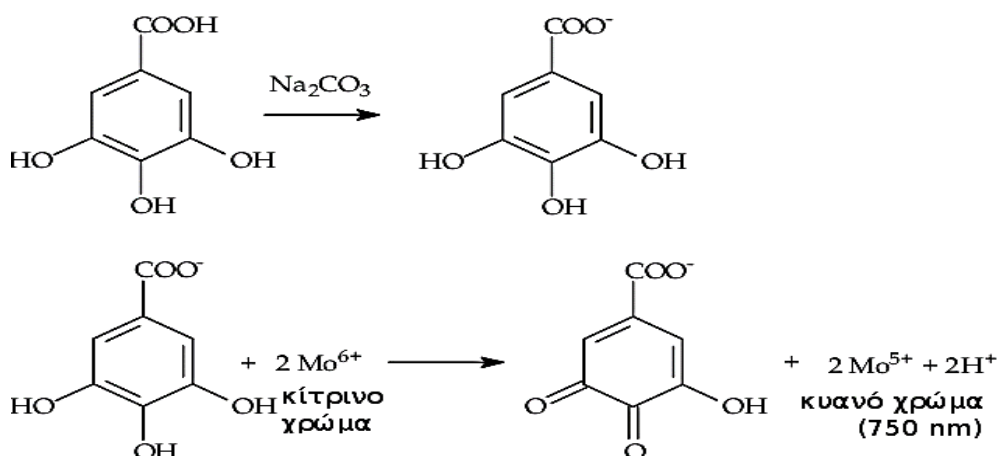
### **3.5.1 Προσδιορισμός ολικών φαινολών με την μικρο-μέθοδο Folin–Ciocâlteu**

Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο των δειγμάτων υπολογίστηκε με τη χρήση του αντιδραστήριου Folin–Ciocâlteu (F–C). Το αντιδραστήριο αυτό χρησιμοποιήθηκε αρχικά το 1972 από τους Folin και Ciocâlteu για τη μέτρηση της τυροσίνης. Το αντιδραστήριο F–C αποτελείται από άλατα του μολυβδαινίου (Mo) και του βολφραμίου (W). Σε αλκαλικό περιβάλλον, η φαινολική ένωση οξειδώνεται, και το

αντιδραστήριο ανάγεται προς οξειδία που έχουν το χαρακτηριστικό κυανό χρώμα του πεντασθενούς μολυβδαινίου ( $\text{Mo}^{5+}$ ).

Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη του φαινολικού περιεχομένου, η συγκέντρωση του οποίου εκφράζεται σε ισοδύναμα ενός επιλεγμένου προτύπου.

Παρ' όλο που ο μηχανισμός της αντίδρασης δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, η μέθοδος προσδιορισμού είναι απλή, πρακτική και με αναπαραγώγιμα αποτελέσματα.



**Σχήμα 2:** Αντίδραση του γαλλικού οξέος με το αντιδραστήριο F-C μέσω μηχανισμού μεταφοράς ενός  $e^-$ .

### Υλικά και αντιδραστήρια

- Αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu's Phenol reagent (βιομηχανικά παρασκευασμένο)
- Κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου
- Απεσταγμένο νερό
- Δείγματα μπανάνας
- Πρότυπη ουσία Γαλλικό οξύ (gallic acid)
- Μεθανόλη αναλυτικής καθαρότητας
- Πλαστικές κυψελίδες

### Όργανα

- Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης ψηφιακό (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA).
- Μικροσύριγγα 100  $\mu\text{L}$
- Σιφόνια των 10-100 mL
- Υδατόλουτρο ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας



### **Πειραματική πορεία**

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, αποτελεί μια τροποποίηση της μεθόδου F-C, με το δυνατόν ελάχιστη χρήση αντιδραστηρίων και διαλυτών, που εφαρμόζεται ως ανάλυση ρουτίνας σε δείγματα τροφίμων και ποτών (Andreou et al., 2018). Αρχικά, παρασκευάστηκε το κορεσμένο διάλυμα ανθρακικού νατρίου  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ως εξής: Σε 800,0 mL απεσταγμένου  $\text{H}_2\text{O}$  διαλύονται 200,00 g άνυδρου ανθρακικού νατρίου με τη βοήθεια του βρασμού. Αφού επανέλθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται ~80 g κρυστάλλων  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και το διάλυμα αφήνεται για 24 h. Τέλος, φιλτράρεται και αραιώνεται μέχρι το 1,00 L με απεσταγμένο  $\text{H}_2\text{O}$ . Το διάλυμα αυτό μένει σταθερό και κατάλληλο για χρήση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ως πρότυπη φαινολική ουσία για την κατασκευή της καμπύλης συσχέτισης επιλέχθηκε το γαλλικό οξύ (gallic acid, GA). Παρασκευάστηκε stock διάλυμα αυτής, συγκέντρωσης 5 g GA/L ως εξής: 0,500 g GA διαλύονται πλήρως σε 10,0 mL μεθανόλης, και αραιώνονται με απεσταγμένο  $\text{H}_2\text{O}$  μέχρι τα 100,00 mL. Διατηρείται στο ψυγείο μέχρι 2 εβδομάδες. Από το stock διάλυμα παρασκευάζονται πρότυπα διαλύματα εργασίας .

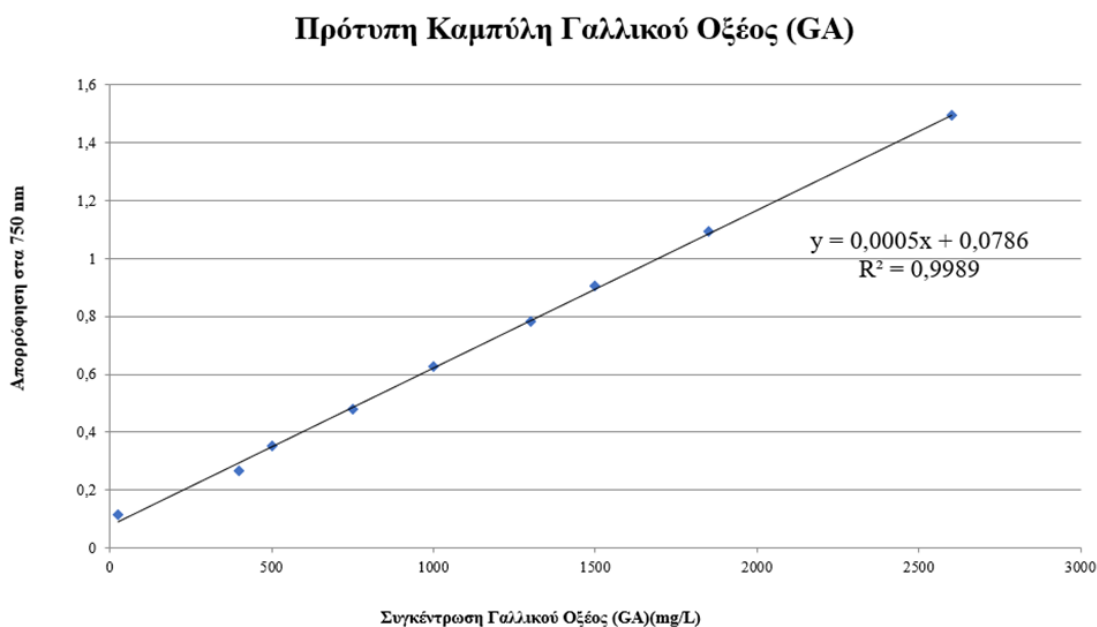
Η μετέπειτα πειραματική πορεία για τα υδατομεθανολικά εκχυλίσματα μπανάνας και τα πρότυπα περιγράφεται ακολούθως. Σε πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθετήθηκαν 100  $\mu\text{L}$  εκχυλίσματος, 2,50 mL απεσταγμένου νερού και 0,20 mL αντιδραστηρίου F-C.

Ακολούθησε ισχυρή ανάδευση και μετά από αναμονή 8 λεπτών, προστέθηκε 0,50 mL κορεσμένου διαλύματος  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  και το προκύπτον διάλυμα αναδεύτηκε. Έπειτα, οι κυψελίδες τοποθετήθηκαν για 30 min σε υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας 40°C, σε συνθήκες σκότους. Αφού αναπτύχθηκε το επιθυμητό μπλε χρώμα και το περιεχόμενο των κυψελίδων απέκτησε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τότε μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο η απορρόφηση στα 750 nm για κάθε δείγμα και πρότυπο.

Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων έγινε με τη μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάστηκε παράλληλα με αρχική ανάμειξη 2,50 mL απεσταγμένου νερού και 0,20 mL αντιδραστηρίου F-C. Το φασματοφωτόμετρο μηδενίστηκε με απεσταγμένο νερό.

## Έκφραση αποτελεσμάτων – κατασκευή πρότυπης καμπύλης

Από την πρότυπη καμπύλη του γαλλικού οξέος, υπολογίστηκε σε ισοδύναμα του γαλλικού οξέος (Gallic Acid Equivalents, GAE) η ποσότητα σε ολικό φαινολικό περιεχόμενο για κάθε δείγμα.



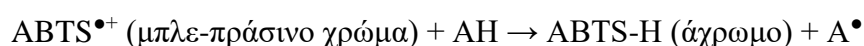
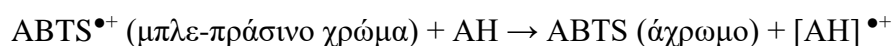
Διάγραμμα 1: Πρότυπη Καμπύλη Γαλλικού Οξέος

### 3.5.2 Εκτίμηση της ικανότητας δέσμευσης/ανάσχεσης της σταθερής ελεύθερης ρίζας ABTS<sup>•+</sup> [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται η ρίζα ABTS<sup>•+</sup> [2,2'-αζινο-δισ(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)] και εφαρμόζεται εξίσου σε λιπόφιλα και υδρόφιλα αντιοξειδωτικά (Re et al., 1999). Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι μια τροποποίηση της παραπάνω μεθόδου, με την δυνατόν ελάχιστη χρήση αντιδραστηρίων και διαλυτών, που εφαρμόζεται ως ανάλυση ρουτίνας σε δείγματα τροφίμων και ποτών (Lantzouraki et al., 2015).

Η μονοκατιοντική ρίζα ABTS<sup>•+</sup> χρώματος μπλε-πράσινου (μέγιστο απορρόφησης στα 734 nm) σχηματίζεται άμεσα από την οξείδωση του μορίου ABTS με υπερθειικό νάτριο. Παρουσία μορίων που είναι δότες υδρογόνου, η ρίζα ABTS<sup>•+</sup> μειώνεται ποσοτικά ανάλογα με τη δραστικότητα του δότη υδρογόνου, τη συγκέντρωσή του και τη διάρκεια της αντίδρασης.

Η σάρωση της ρίζας ABTS<sup>•+</sup> πραγματοποιείται είτε με τη μεταφορά ενός υδρογόνου είτε με τη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου από μια αντιριζική ένωση (AH).



Είναι μια γρήγορη, λειτουργικά απλή και ακριβής διαδικασία για τη συστηματική εκτίμηση της ικανότητας σάρωσης ελευθέρων ριζών διάφορων εκχυλισμάτων από φυτικά υποστρώματα και τρόφιμα που μπορεί να εφαρμοσθεί σε μεγάλη κλίμακα.

### Υλικά και αντιδραστήρια

- Αντιδραστήριο  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  [2,2'-αζινο-δις(3-αιθυλοβεζοθειαζολινο-6-σουλφονικό οξύ)]
- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  σε συγκέντρωση 2,45 mM
- Απεσταγμένο νερό
- Πρότυπη ουσία Trolox
- Αιθανόλη αναλυτικής καθαρότητας
- Πλαστικές κυψελίδες

### Όργανα

- Φασματοφωτόμετρο ορατού απλής δέσμης ψηφιακό (Spectro 23, Digital Spectrophotometer, Labomed, Inc., USA).
- Πιπέτα σταθερού όγκου 1000μL
- Σιφόνια των 10-100mL

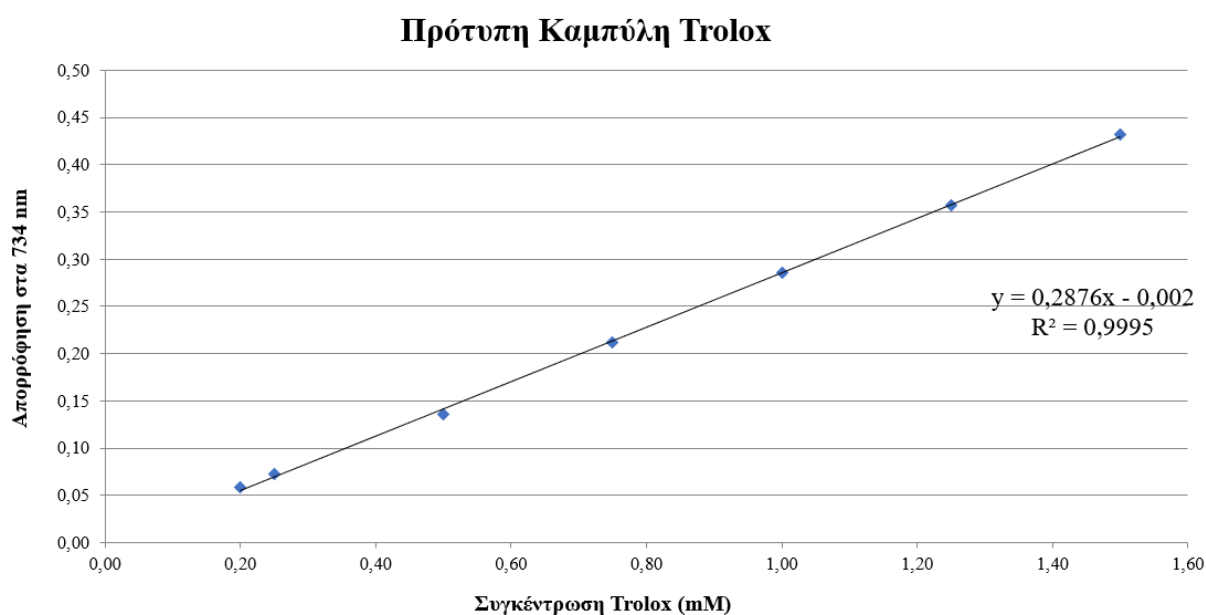
### Πειραματική πορεία

Παρασκευάστηκε, υδατικό διάλυμα που περιέχει εν διαλύσει την ουσία ABTS συγκέντρωσης 7,00 mM και υπερθειικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) σε συγκέντρωση 2,45 mM. Το μείγμα παρέμεινε για 16 ώρες στο σκοτάδι και σε θερμοκρασία δωματίου. Συγκεκριμένα διαλύθηκαν σε απεσταγμένο νερό 14,58 mg  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  ( $M_r = 238,11$ ) και 96 mg ABTS ( $M_r = 548,68$ ) και αραιώθηκαν στα 25,00 mL. Η οξείδωση της ABTS από τα υπερθειικά ιόντα ξεκινά κατευθείαν, αλλά η στοιχειομετρία της αντίδρασης είναι 1,0:0,5, οπότε η οξείδωση θα είναι ατελής. Η ρίζα υπό τη μορφή του μονού κατιόντος είναι σταθερή για πάνω από 2 ημέρες αποθηκευμένη σε σκοτάδι και θερμοκρασία δωματίου.

Στην αρχή κάθε σειράς πειραμάτων, το διάλυμα της ρίζας αραιώθηκε κατάλληλα με αιθανόλη ώστε να δίνει τιμή απορρόφησης  $A_{734\text{nm}} = 0,90 \pm 0,02$ . Σε

πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθετήθηκαν 100  $\mu$ L εκχυλίσματος και 3,00 mL του αραιωμένου με αιθανόλη διαλύματος ABTS $\bullet^+$  και το προκύπτον διάλυμα αναδεύτηκε για 1 λεπτό. Η απορρόφηση μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο στα 734 nm για κάθε δείγμα ή πρότυπο μετά την πάροδο 5 λεπτών. Ως πρότυπη ουσία χρησιμοποιήθηκε η Trolox, της οποίας παρασκευάστηκε το stock αιθανολικό διάλυμα 0,006 M, και από αυτό πρότυπα διαλύματα εργασίας συγκεντρώσεων από 0,20 έως 1,50 mM. Τα διαλύματα της πρότυπης ουσίας πρέπει να είναι πρόσφατα παρασκευασμένα. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων έγινε με τη μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάστηκε παράλληλα με προσθήκη σε κυψελίδα 3,00 mL του αραιωμένου με αιθανόλη διαλύματος ABTS $\bullet^+$ . Το φασματοφωτόμετρο μηδενίστηκε με αιθανόλη.

### Έκφραση αποτελεσμάτων – κατασκευή πρότυπης καμπύλης



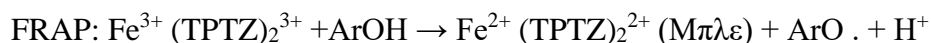
### Διάγραμμα 2: Πρότυπη Καμπύλη Trolox

Η δοκιμή της ABTS $\bullet^+$  παρέχει μια εκτίμηση για τη δραστικότητα των δειγμάτων απέναντι στη συγκεκριμένη ρίζα, η οποία εκφράζεται ως συγκέντρωση αυτών σε ισοδύναμα της πρότυπης ουσίας Trolox (Trolox Equivalents, TE) μέσω της καμπύλης συσχέτισης.

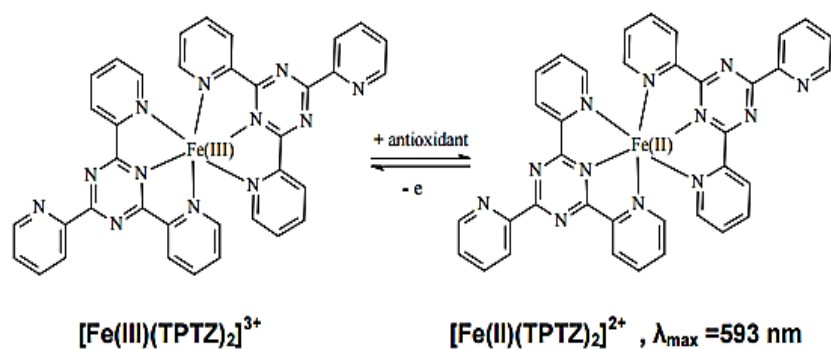
### 3.5.3 Μέθοδος FRAP

Η μέθοδος FRAP αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από τους Benzie & Strain (1996) για τον καθορισμό της αντιοξειδωτικής δράσης του πλάσματος του αίματος και από τότε έχει τροποποιηθεί για την χρήση της και σε άλλα φυσικά προϊόντα όπως τα φυτικά εκχυλίσματα. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη, είναι μια τροποποίηση της παραπάνω μεθόδου, με το δυνατόν ελάχιστη χρήση αντιδραστηρίων και διαλυτών, που εφαρμόζεται ως ανάλυση ρουτίνας σε δείγματα τροφίμων και ποτών (Lantzouraki et al., 2016). Η αρχή της μεθόδου βασίζεται αποκλειστικά στην ικανότητα του προς εξέταση δείγματος να μεταφέρει ένα μονήρες ηλεκτρόνιο για την αναγωγή του συμπλόκου του τρισθενούς σιδήρου με 2,4,6-τρι-(2-πυριδυλ-)-τριαζίνη ( $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ) σε δισθενή σίδηρο ( $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ) με έντονο μπλε χρώμα το οποίο εμφανίζει απορρόφηση στα 593 nm.

Η αντίδραση διεξάγεται σε pH = 3,6 για τη διατήρηση της διαλυτότητας του σιδήρου στο διαλύτη (Dayan, 2008). Ο μηχανισμός της αντίδρασης φαίνεται παρακάτω:



όπου ArOH= φαινολικό αντιοξειδωτικό, TPTZ: 2,4,6-τρι-(2-πυριδυλ-)-τριαζίνη



Σχήμα 3: Αναγωγή σιδήρου

#### Πειραματική πορεία

Στη μέθοδο αυτή, το άλας του τρισθενούς σιδήρου  $\text{Fe(III)(TPTZ)}_2\text{Cl}_3$  (TPTZ= 2,4,6-τριπυριδυλο-s-τριαζίνη) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό. Η μέθοδος λαμβάνει χώρα σε όξινες συνθήκες (pH = 3,6) και περιλαμβάνει την ακόλουθη διαδικασία:

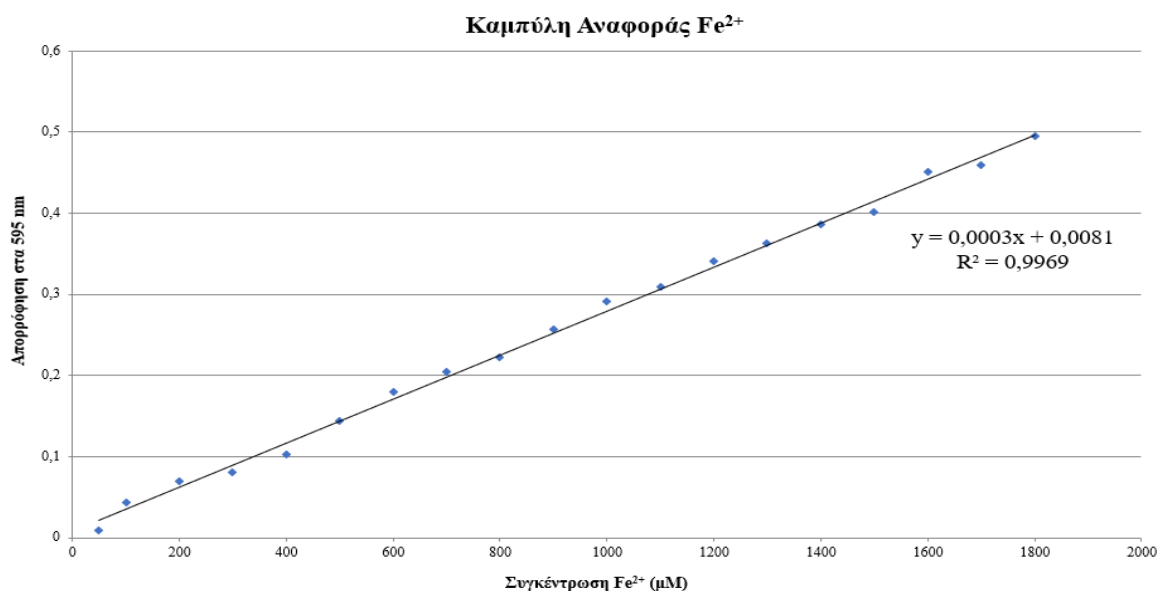
- Παρασκευή ρυθμιστικού διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}-\text{CH}_3\text{COO}^-$  με pH 3,6 με προσθήκη 0,536 g NaOH σε 200,00 mL διαλύματος οξικού οξέος 1,0 mol/L.

- Παρασκευή διαλύματος HCl συγκέντρωσης 40 mM (αραίωση 3,53 mL π. HCl 35% w/w με d= 1,18 g/mL στα 1000 mL).
- Διάλυμα TPTZ συγκέντρωσης 10 mM το οποίο παρασκευάζεται με διάλυση και αραίωση 0,1562 g αντιδραστηρίου TPTZ στα 50,00 mL με χρήση διαλύματος HCL 40 mM.
- Παρασκευή διαλύματος  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  συγκέντρωσης 20 mM, το οποίο παρασκευάζεται με διάλυση και αραίωση 0,27 g αντιδραστηρίου  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  στα 25,00 mL με απεσταγμένο νερό. Το διάλυμα διατηρείται στο ψυγείο καλυμμένο με αλουμινόχαρτο.
- Προετοιμασία των πρότυπων διαλυμάτων  $\text{Fe}^{2+}$  συγκέντρωσης 20-400  $\mu\text{M}$  για τη δημιουργία πρότυπης καμπύλης.
- Παρασκευή του αντιδραστηρίου FRAP με ανάμιξη του ρυθμιστικού διαλύματος, του διαλύματος TPTZ συγκέντρωσης 10 mM και του διαλύματος  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  συγκέντρωσης 20 mM, σε αναλογία όγκων 10:1:1 (by vol.). Το αντιδραστήριο FRAP διατηρείται στο σκοτάδι Το αντιδραστήριο FRAP πριν τη χρήση τοποθετείται σε υδατόλουτρο στους 40°C για 20 min (αποκτά ένα ασθενές γκρι-μωβ χρώμα).

Σε πλαστικές κυψελίδες των 4.0 mL, τοποθήθηκαν 100  $\mu\text{L}$  εκχυλίσματος, 1,50 mL  $\text{H}_2\text{O}$ , 500  $\mu\text{L}$  P.Δ. και 900  $\mu\text{L}$  αντιδραστηρίου FRAP και τα προκύπτοντα διαλύματα αναδεύτηκαν και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 40°C για 90 min. Αφού αναπτύχθηκε το επιθυμητό χρώμα και το περιεχόμενο των κυψελίδων απέκτησε τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, τότε μετρήθηκε σε φασματοφωτόμετρο η απορρόφηση στα 595 nm για κάθε δείγμα και πρότυπο. Η διόρθωση στο σφάλμα της τιμής της απορρόφησης εξαιτίας του διαλύτη και των αντιδραστηρίων έγινε με τη μέτρηση τυφλού διαλύματος που παρασκευάστηκε παράλληλα με προσθήκη σε 1,50 mL  $\text{H}_2\text{O}$ , 500  $\mu\text{L}$  P.Δ. και 900  $\mu\text{L}$  αντιδραστηρίου FRAP. Το φασματοφωτόμετρο μηδενίστηκε με απεσταγμένο νερό.

### Έκφραση αποτελεσμάτων – κατασκευή πρότυπης καμπύλης

Από τη σύγκριση των τιμών της  $A_{595}$  πρότυπης καμπύλης και των δειγμάτων ποσοτικοποιήθηκε ο  $Fe^{2+}$  που βρίσκεται στα δείγματα. Ο  $Fe^{2+}$  είναι το αποτέλεσμα της αντίδρασης του συμπλόκου  $Fe^{3+}$  με τα αντιοξειδωτικά και επομένως η αντιοξειδωτική ισχύς μπορεί να εκφραστεί με την ποσοτικοποίηση του  $Fe^{2+}$ .



Διάγραμμα 3: Καμπύλη Αναφοράς  $Fe^{2+}$

### 3.6 Ανάλυση διάκρισης (Discriminant Analysis)

Η ανάλυση διάκρισης εφαρμόστηκε για να διερευνηθούν οι αλλαγές και η αλλοίωση που υφίσταται η φλούδας της μπανάνας στην διάρκεια των 21 ημερών της ωρίμανσης με απώτερο σκοπό να γίνει εφικτή η εκτίμηση της ημέρας ωρίμανσης από την υφή της φλούδας. Για να επιτευχθεί αυτό, αρχικά έλαβε χώρα η φωτογράφιση των μπανανών τις προκαθορισμένες ημέρες διεξαγωγής των πειραμάτων (ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21).

Χρησιμοποιώντας ένα ειδικά σχεδιασμένο λογισμικό, επιλέχθηκαν έξι ορθογώνιες εικόνες της φλούδας της μπανάνας σε κλίμακα του γκρι (περιοχές ενδιαφέροντος ROIs), τρεις από κάθε πλευρά. Από κάθε περιοχή ενδιαφέροντος (ROI) δημιουργήθηκαν δεκαπέντε χαρακτηριστικά υφής, υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των χαρακτηριστικών από τα 6 ROIs και κάθε μπανάνα χαρακτηρίστηκε από 15 τιμές χαρακτηριστικών που περιέχονταν σε ένα διάνυσμα χαρακτηριστικών (feature-vector) αποτελούμενο από 15 χαρακτηριστικά. Επιπλέον σχηματίστηκαν 8 κατηγορίες (classes) για τις 8 ημέρες διεξαγωγής πειραμάτων, καθεμία από τις οποίες περιείχε τα

διανύσματα χαρακτηριστικών των 8 μπανανών που είχαν φωτογραφηθεί αυτήν την μέρα. Αυτές οι κατηγορίες (classes) χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην ανάλυση διάκρισης όσο και στην στατιστική ανάλυση.

Για την ανάλυση διάκρισης, χρησιμοποιήθηκαν Ταξινομητές Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning Classifiers). Ο ταξινομητής (classifier) είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος, όταν είναι σχεδιασμένος κατάλληλα, θα έχει την δυνατότητα να κατανέμει μια Περιοχή Ενδιαφέροντος της Εικόνας της μπανάνας (banana image-ROI) σε μία συγκεκριμένη και προκαθορισμένη κατηγορία (ή ημέρα ωρίμανσης). Δοκιμάστηκαν και ελέγχθηκαν δέκα διαφορετικοί Ταξινομητές Μηχανικής Μάθησης (ML-classifiers).

Οι Ταξινομητές περιέχονται στην βιβλιοθήκη γλώσσας προγραμματισμού python sklearn [<https://scikit-learn.org/>] και είναι οι εξής: Δέντρο Απόφασης Ταξινόμησης και Παλινδρόμησης (Classification and Regression Decision-Tree), Κ-Πλησιέστερων Γειτόνων (K-Nearest Neighbor), Γραμμική Ανάλυση Διάκρισης (Linear Discriminant Analysis), Λογιστική Παλινδρόμηση (Logistic Regression), Πολυεπίπεδοι Αισθητήρες (Multi-Layer Perceptron), Naive Bayesian, Κοντινότερου Κέντρου (Nearest Centroid), Perceptron, Random Forest και Μηχανές Διανυσμάτων Υποστήριξης Support Vector Machines.

Η ακρίβεια ενός ταξινομητή στην αντιστοίχιση των εικόνων-ROI της μπανάνας στη σωστή ημέρα ωρίμανσης εκτιμήθηκε αξιολογώντας τις επισημασμένες εικόνες-ROI της φλούδας της μπανάνας. Για αυτό, κατασκευάστηκε ένα σύστημα μηχανικής μάθησης (ML-system) από έναν ταξινομητή, επιλέγοντας ένα υποσύνολο των 15 χαρακτηριστικών και χρησιμοποιώντας μια μέθοδο αξιολόγησης ακριβείας (leave-one-out ή LOO). Η ακρίβεια σχεδιασμού του ML-system ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας κάθε φορά έναν διαφορετικό ταξινομητή, κανονικοποιώντας τα χαρακτηριστικά σε μηδενική μέση και μοναδιαία τυπική απόκλιση και χρησιμοποιώντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς χαρακτηριστικών. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίστηκε ο καλύτερος σχεδιασμός του ML-system που παρέχει την υψηλότερη ακρίβεια. Για τη μείωση των διαστάσεων, κάθε συνδυασμός χαρακτηριστικών συμπίεστηκε σε δύο τμήματα Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA), τα PCA1 και PCA2, τα οποία εισήχθησαν στο ML-system. Κατασκευάστηκαν διδιάστατα διαγράμματα διασποράς βασισμένα σε PCA με επιφάνειες διαχωρισμού κατηγορίας (class-separating surfaces) για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης διάκρισης.



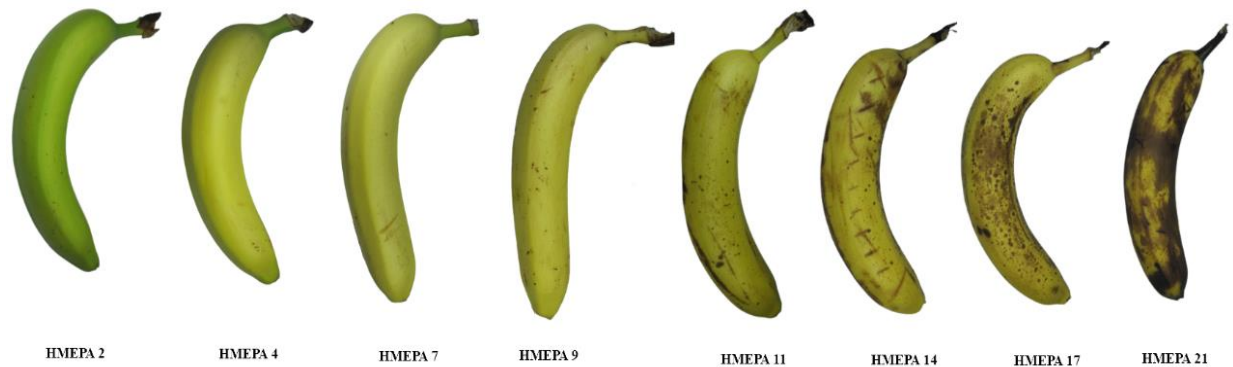
### 3.7 Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των μεταβολών που παρατηρούνται στις φυσικοχημικές ιδιότητες και στα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από την ανάλυση εικόνας ανάμεσα στις μέρες που διαρκεί η ωρίμανση της μπανάνας πραγματοποιήθηκε με μέσα του μη-παραμετρικού Mann-Whitney-Wilcoxon για δύο τάξεις. Χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Python scipy.stats (<https://docs.scipy.org/doc/scipy/tutorial/stats.html>). Ο πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη διαμορφώθηκε μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων και υπολογίστηκε με την χρήση της βιβλιοθήκης pythons' pandas (<https://pandas.pydata.org/docs/reference/api/pandas.DataFrame.corr.html>). Επιπλέον τα αποτελέσματα του FTIR αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας επίπεδο σημαντικότητας 0,05 με την μονόδρομη ανάλυση διακύμανσης (one-way ANOVA) και την post hoc ανάλυση. Αυτοί οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν με την χρήση του SPSS (IBM SPSS Statistics, version 19.0, Chicago, IL USA) για τα Windows.

## 4. Αποτελέσματα-Συζήτηση

### 4.1 Κατηγοριοποίηση της μπανάνας με βάση την εξέλιξη της ωρίμανσης με την χρήση textural-image analysis.

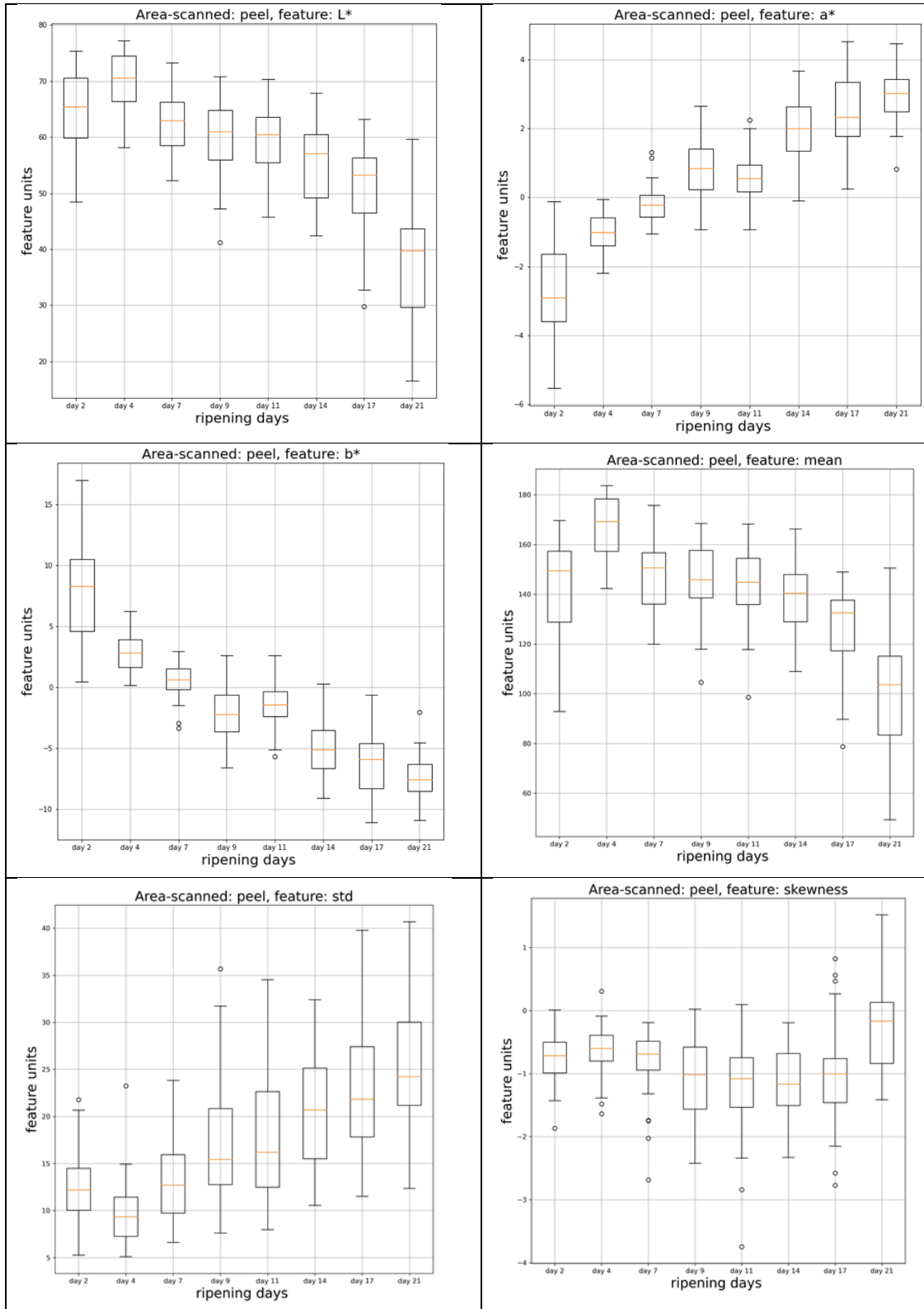
Η μεταβολή του χρώματος της φλούδας της μπανάνας καταγράφηκε με την χρήση φωτογραφικής κάμερας, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 10 , κατά την διάρκεια των 21 ημερών.

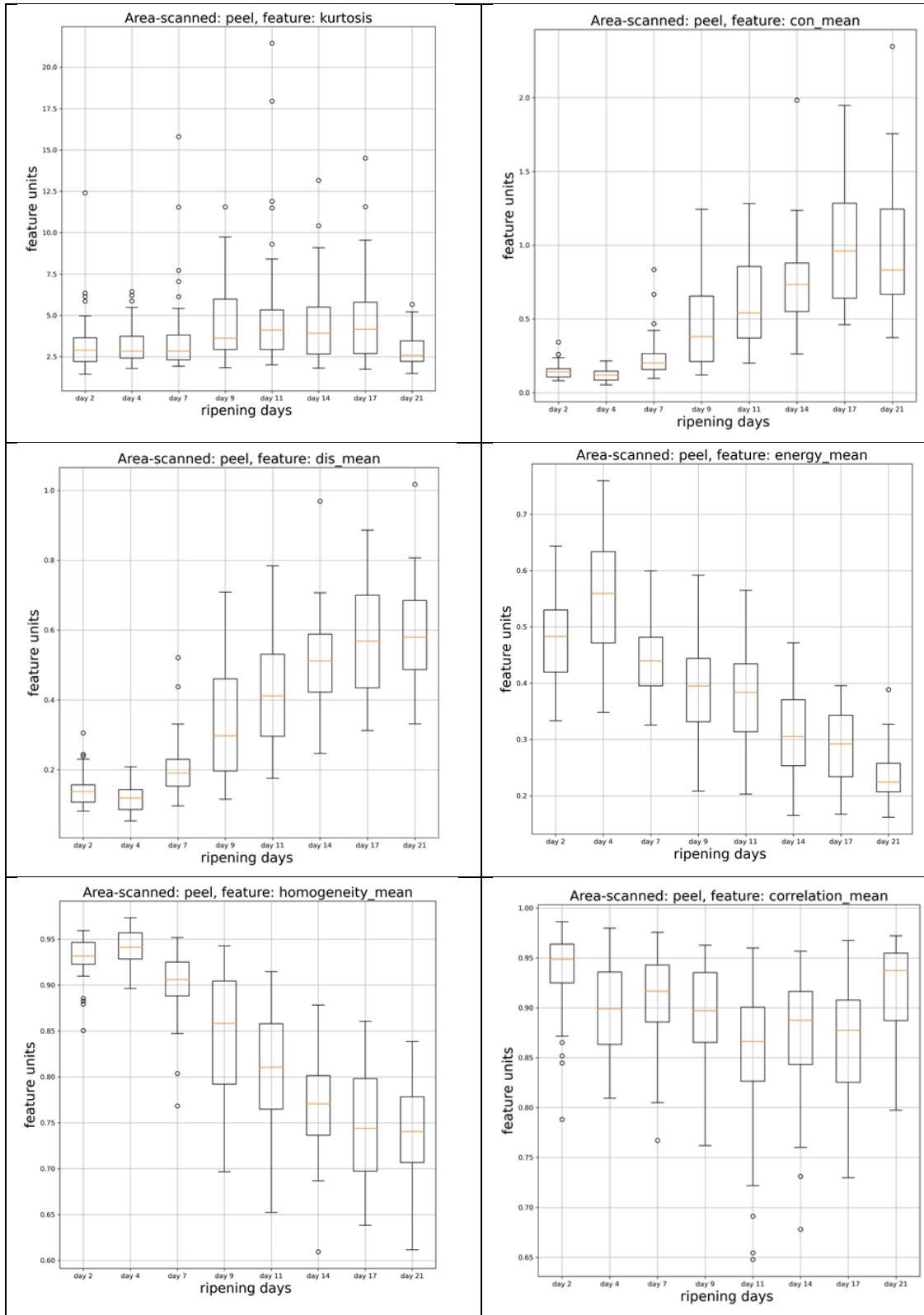


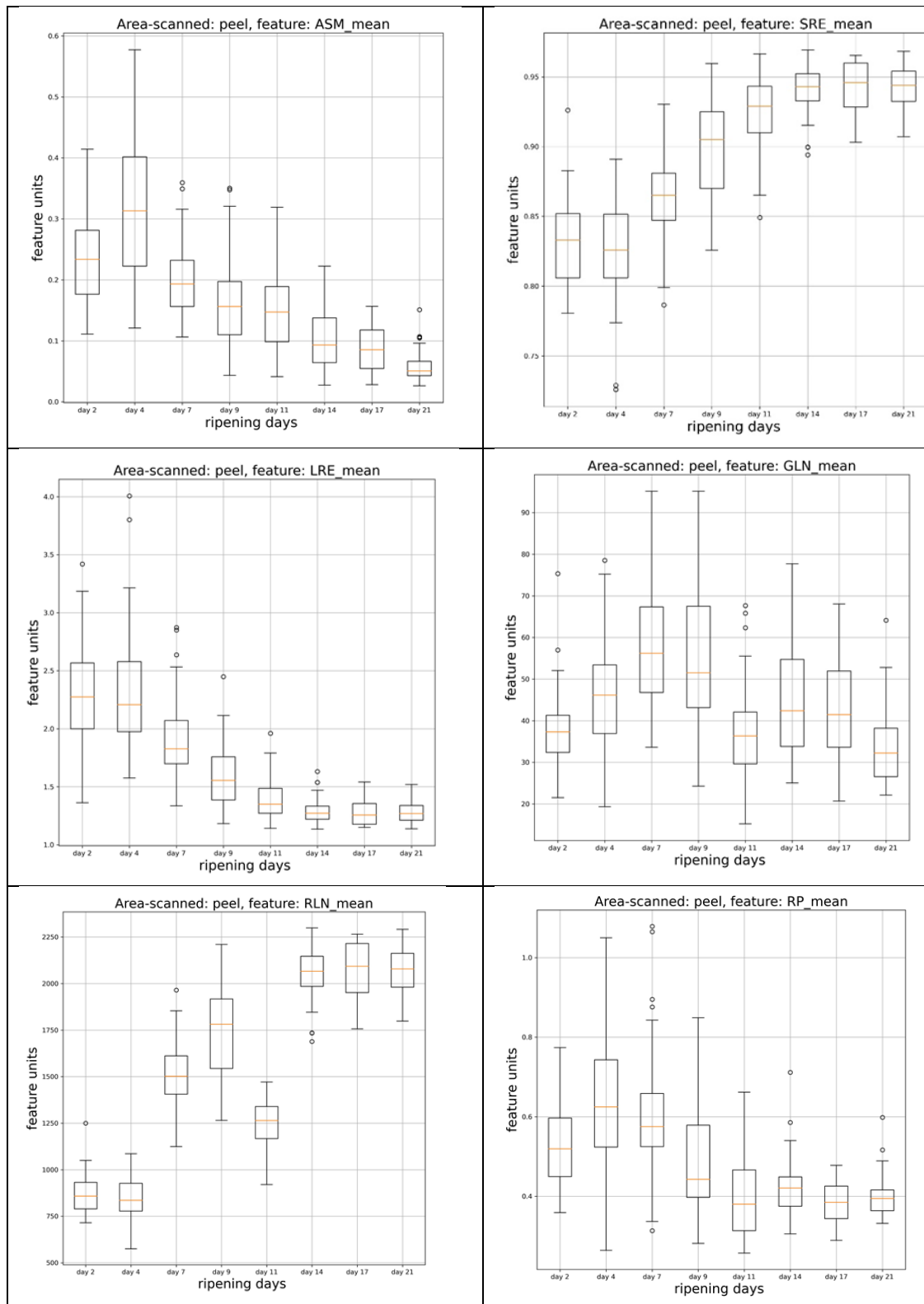
**Εικόνα 10:** Φωτογραφίες της φλούδας των μπανανών (ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21), κατά την διάρκεια αποθηκευτικής περιόδου

Τόσο οι παραπάνω φωτογραφίες όσο και οι φωτογραφίες που απεικονίζουν την δοκιμή ιωδίου, χρησιμοποιήθηκαν στην έγχρωμη και γκρι μορφή τους προκειμένου να μελετηθούν μεταβολές στην υφή της εικόνας κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, με την χρήση machine learning μεθόδου.

Συγκεκριμένα, στην φλούδα της μπανάνας (**Σχήμα 4**) βρέθηκαν σημαντικές διαφορές κατά την διάρκεια της ωρίμανσης όσον αφορά τα χαρακτηριστικά: φωτεινότητα ( $L^*$ ), την παράμετρο  $a^*$  (πράσινο προς κόκκινο), την παράμετρο  $b^*$  (μπλε προς κίτρινο) και τις παραμέτρους της υφής της εικόνας (mean, standard deviation, contrast, dissimilarity, energy, homogeneity, angular second moment, short run emphasis, long run emphasis, and run length non-uniformity).







**Σχήμα 4:** Μεταβολή των υπολογισμένων από την ανάλυση της υψής της εικόνας χαρακτηριστικών [φωτεινότητα  $L^*$ , παράμετρος  $a^*$ , παράμετρος  $b^*$ , mean, standard deviation, skewness, kurtosis, contrast, dissimilarity, energy, homogeneity, correlation, angular second moment (ASM), short run emphasis (SRE), long run emphasis (LRE), grey level non-uniformity (GLN), run length non-uniformity (RLN) and run percentage (RP)], της φλούδας της μπανάνας τις ημέρες 2,4,7,9,11,17,21.

Στις έγχρωμες φωτογραφίες της φλούδας των μπανανών, σημαντικές αλλαγές παρατηρήθηκαν σε όλα τα χαρακτηριστικά. Η φωτεινότητα και η παράμετρος  $b^*$  εμφάνισαν σημαντική ( $P < 0,05$ ) ελάττωση, ενώ η παράμετρος  $a^*$  σημαντική ( $P < 0,05$ ) αύξηση κατά την διάρκεια της αποθήκευσης (Πίνακας 5, Σχήμα 4). Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης, το χρώμα της φλούδας μεταβαίνει από την πράσινη προς την κόκκινη απόχρωση και από την κίτρινη προς την μπλε και παράλληλα ελαττώνεται η φωτεινότητά της. Η αύξηση της παραμέτρου  $a^*$  εξηγείται από το γεγονός ότι κατά την διάρκεια της ωρίμανσης συμβαίνει διάσπαση της χλωροφύλλης, άρα και χάνεται σταδιακά το πράσινο χρώμα, παράλληλα με την αύξηση της συγκέντρωσης των καροτενοειδών και της συνεισφοράς των φλαβονοειδών στο κίτρινο-κόκκινο χρώμα (Vu et al., 2019). Πράγματι, σύμφωνα με τους Yang et al. (2009), οι παράμετροι  $a^*$  και  $b^*$  βρέθηκαν να έχουν σημαντική συσχέτιση με το περιεχόμενο σε χλωροφύλλη. Παράλληλα, εμφανίζονται καφέ χρωματισμοί λόγω της δράσης ενζύμων οι οποίοι σύμφωνα με τους Mendoza & Aquilera (2004), σχετίζονται περισσότερο με τις μεταβολές της παραμέτρου  $a^*$ . Παρόμοιες μεταβολές με την παρούσα μελέτη παρατηρούνται και από τους Soltani et al. (2010).

Σημαντικότερη θεωρείται η μεταβολή της παραμέτρου  $a^*$ , καθώς εμφανίζει την μεγαλύτερη μεταβολή, όπως παρατηρείται και σε άλλες μελέτες (Ringer & Blanke, 2021; Mendoza & Aquilera, 2004).

**Πίνακας 5:** Παράμετροι του χρώματος ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) της φλούδας της μπανάνας υπολογισμένες από το image analysis.

Ημέρες	$L^*$	$a^*$	$b^*$
2	65.206 ± 6.193a	-2.760 ± 1.216a	8.016 ± 3.699a
4	70.199 ± 4.795b	-1.001 ± 0.541b	2.787 ± 1.522b
7	62.747 ± 5.134c	-0.219 ± 0.524c	0.630 ± 1.411c
9	60.192 ± 6.74cd	0.852 ± 0.787d	-2.181 ± 2.019d
11	59.489 ± 5.487d	0.572 ± 0.670d	-1.439 ± 1.739d
14	55.500 ± 7.030e	1.972 ± 0.834e	-5.024 ± 2.060e
17	50.658 ± 8.014f	2.459 ± 1.005f	-6.241 ± 2.430f
21	37.216 ± 9.446g	2.957 ± 0.714g	-7.403 ± 1.719g

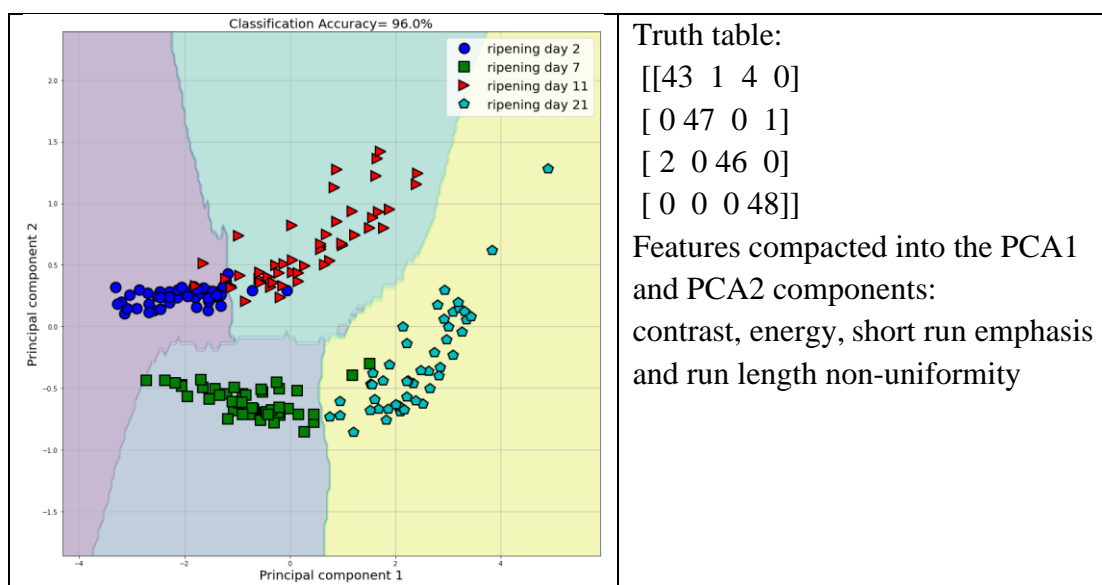
\*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση (n=8). Διαφορετικά γράμματα μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) σύμφωνα με το Wilcoxon test.

Όσον αφορά την γκρι μορφή των φωτογραφιών της φλούδας των μπανανών, η αύξηση της τυπικής απόκλισης (standard deviation) (η απόκλιση των γκρι εικόνων από τον μέσο όρο), της αντίθεσης (contrast) (η ποσότητα των τοπικών διακυμάνσεων της εικόνας) της ανομοιογένειας (dissimilarity) (η διακύμανση της υφής της εικόνας), όπως και των παραμέτρων short run emphasis (μικρές δομές ίσου γκρι επιπέδου) και run length non-uniformity (η ανομοιομορφία των δομών της εικόνας) (Σχήμα 4), υποδεικνύουν ότι υπάρχει μια άνιση κατανομή των δομών της εικόνας μεταξύ των γκρι επιπέδων, πιθανότατα λόγω των μικρών σκούρων σημείων στην φλούδα της μπανάνας που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, με αποτέλεσμα την άνιση αύξηση των γκρι επιπέδων και την ανομοιομορφία της δομής στην εικόνα. Η σταδιακή ανάπτυξη των σκοτεινών περιοχών και σημείων της φλούδας κατά την ωρίμανση, παρουσιάζεται επίσης στην Εικόνα 10. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι στα box plot διαγράμματα για την παράμετρο run length non-uniformity, κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης, η φλούδα κατηγοριοποιείται σε 3 βαθμούς αυξανόμενης ωρίμανσης : το μεσοδιάστημα μέχρι την ημέρα 4, το μεσοδιάστημα μεταξύ της ημέρας 7 και ημέρας 11 και το μεσοδιάστημα μεταξύ της ημέρας 14 και ημέρας 21 αντίστοιχα. Η μείωση του μέσου όρου (mean) (ο μέσος όρος των εντάσεων από τα pixels όλων των εικόνων), της ενέργειας (energy) (η ομοιογένεια στις γκρι εικόνες), της ομοιογένειας (homogeneity) (η ομοιογένεια στις γκρι εικόνες), όπως και των παραμέτρων angular second moment (η ομοιογένεια στις αρχικές εικόνες), και long run emphasis (μεγάλες δομές ίσων γκρι επιπέδων) υποδεικνύουν ότι η αύξηση της διαφοράς μεταξύ των εικόνων και η απώλεια της σταθερής δομής της υφής, είναι πιθανότατα λόγω της εμφάνισης σκουρόχρωμων σημείων και περιοχών στην φλούδα της μπανάνας με την πάροδο της αποθήκευσης.

Τα παραπάνω ευρήματα έρχονται σε συμφωνία και με την έρευνα των Mendoza & Aguilera (2004) που αναφέρουν πως τα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την διαδικασία της ωρίμανσης. Επιπροσθέτως, οι Santoyo-Mora et al. (2019) αναφέρουν πως κατά την επέκταση των καφέ κηλίδων σε όλη την φλούδα της μπανάνας, η ομοιογένειά της (homogeneity) μειώνεται.

Στο διάγραμμα διασποράς (Σχήμα 5) παρουσιάζεται η διάκριση ανάμεσα στα δείγματα φλούδας μπανάνας τις ημέρες 2, 7, 11 και 21 με 96,0% ακρίβεια διάκρισης, μέσω των εξής χαρακτηριστικών: contrast, energy, short run emphasis (SRE), long run emphasis (LRE). Στην κεντροαριστερή ζώνη του διαγράμματος διασποράς ομαδοποιούνται τα δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 2 (μπλε κύκλοι), στην

κάτω αριστερή ζώνη ομαδοποιούνται τα δείγματα από την ημέρα 7 (πράσινα τετράγωνα), η τρίτη ομάδα που περιλαμβάνει τα δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 11 (κόκκινα τρίγωνα) συγκεντρώνεται στην πάνω δεξιά ζώνη του διαγράμματος διασποράς και τέλος στην κάτω δεξιά ζώνη του διαγράμματος διασποράς βρίσκονται ομαδοποιημένα τα δείγματα από την ημέρα 21 (τιρκουάζ πεντάγωνα). Ο παραπάνω συνδυασμός των τεσσάρων χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό ενός συστήματος μηχανικής μάθησης υψηλής απόδοσης (HPML), το οποίο ταξινόμησε επιτυχώς 43 από τα 48 δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 2 (ένα δείγμα και τέσσερα ακόμα αποδόθηκαν λανθασμένα στην ημέρα 7 και στην ημέρα 11 αντίστοιχα), 47 από τα 48 δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 7 (ένα δείγμα αποδόθηκε λανθασμένα στην ημέρα 21), 46 από τα 48 δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 11 (δύο δείγματα αποδόθηκαν λανθασμένα στην ημέρα 2) και 48 από τα 48 δείγματα φλούδας μπανάνας από την ημέρα 21 (όλα ταξινομήθηκαν σωστά). Παρόμοιο μοτίβο ωρίμανσης μπανάνας, με τη χρήση αιθυλενίου μέσω μεταβολομικής (**metabolite profiling**), έχει παρατηρηθεί από τους Lohani et al. (2004), οι οποίοι μελέτησαν την ωρίμανση της μπανάνας για χρονικό διάστημα επτά ημερών και κατέγραψαν δύο κορυφές στον ρυθμό αναπνοής (δείκτης ωρίμανσης). Συγκεκριμένα, η πρώτη κορυφή ήταν την 2<sup>η</sup> μέρα, ακολουθούμενη από πτωτική τάση μέχρι την 5<sup>η</sup> μέρα και νέα άνοδος και κορυφή καταγράφηκαν την 6<sup>η</sup> μέρα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί επίσης και από τους Pathak et al. (2003)



Truth table:

[[43 1 4 0]

[ 0 47 0 1]

[ 2 0 46 0]

[ 0 0 0 48]]

Features compacted into the PCA1

and PCA2 components:

contrast, energy, short run emphasis  
and run length non-uniformity

**Σχήμα 5:** Διάγραμμα διασποράς που παρουσιάζει την διάκριση, βάσει των χαρακτηριστικών υψής, μεταξύ των δειγμάτων φλούδας μπανάνας από τις ημέρες 2, 7, 11 και 21



Οι ροδέλες της σάρκας της μπανάνας μετά την δοκιμή ιωδίου-αμύλου (Εικόνα 11), κατά την διάρκεια αποθήκευσης που διήρκησε 21 ημέρες, μεταβλήθηκαν σταδιακά από μια σκούρα χρώση ιωδίου σε μια πιο ανοιχτή από το κέντρο των ροδελών προς τα έξω. Παράλληλα, μια σημαντική αύξηση κατά την διάρκεια της ωρίμανσης παρατηρήθηκε και στην μέση τιμή των εντάσεων όλων των ρixel των φωτογραφιών (Πίνακας 6) η οποία εξήχθη από την ασπρόμαυρη έκδοση των φωτογραφιών της σάρκας μπανάνας μετά την δοκιμή ιωδίου-αμύλου. Ειδικότερα, κατά την διάρκεια των 21 ημερών αποθήκευσης, οι εντάσεις των ρixel των φωτογραφιών παρουσίασαν μια σημαντική ( $P < 0,05$ ) και σταδιακή αύξηση, με μέσο ρυθμό αλλαγής (slope) 17,8%, η οποία σχετίζεται με την μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα και την επαγόμενη διάλυση των ενώσεων εγκλεισμού αμύλου-ιωδίου. Η διάλυση αυτών των ενώσεων συνδέεται άμεσα με το μαλάκωμα της σάρκας και την αύξηση της γλυκύτητας, λόγω της αύξησης των σακχάρων, και μπορεί να αποδοθεί στην δράση των υδρολασών του κυτταρικού τοιχώματος όπως και στον μεταβολισμό του αμύλου σε σάκχαρα (Cordenunsi-Lysenko et al., 2019).

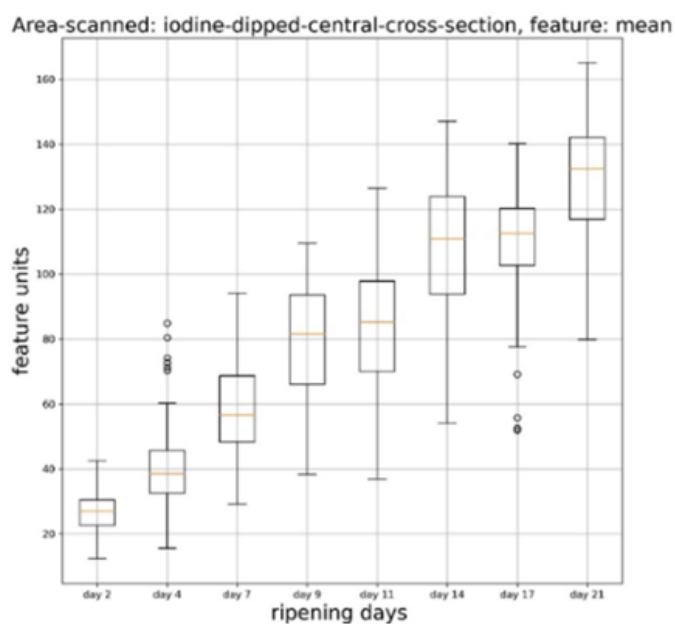


**Εικόνα 11:** Φωτογραφίες της σάρκας της μπανάνας μετά την δοκιμή αμύλου-ιωδίου κατά την αποθηκευτική περίοδο (ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21)

**Πίνακας 6:** Διακύμανση της μέσης τιμής των εντάσεων όλων των pixel των φωτογραφιών της σάρκας μπανάνας μετά την δοκιμή ιωδίου-αμύλου τις ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21, συνοδευόμενο από boxplot.

Ημέρες	Μέση τιμή *
2	26.778 ± 6.226a
4	41.498 ± 13.915b
7	57.879 ± 14.781c
9	79.789 ± 17.804d
11	84.432 ± 20.755d
14	107.475 ± 22.436e
17	110.277 ± 18.991e
21	130.263 ± 17.983f

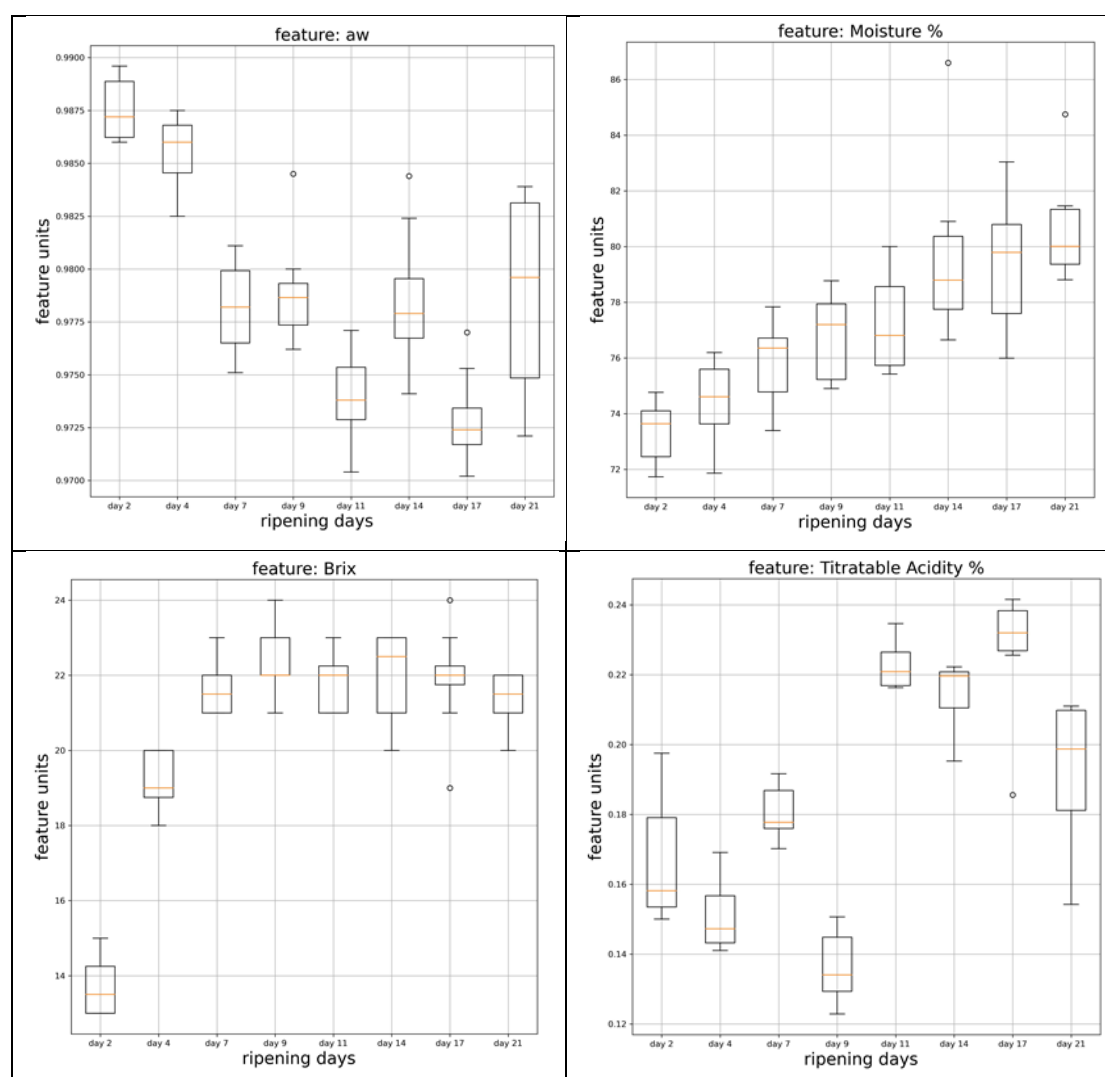
\*Τα αποτελέσματα αφορούν την μέση τιμή ± τυπική απόκλιση (n=8). Διαφορετικό γράμμα μετά από κάθε τιμή στην ίδια στήλη υποδεικνύει στατιστικά σημαντική διαφορά ( $P < 0,05$ ) σύμφωνα με το τεστ Wilcoxon



## 4.2 Φυσικοχημικές παράμετροι της μπανάνας κατά την αποθήκευση

Οι φυσικοχημικές παράμετροι όπως η ενεργότητα ύδατος, η περιεκτικότητα σε υγρασία (%), οι βαθμοί Brix, οι παράμετροι του χρώματος, οι παράμετροι της μηχανικής υφής και η ογκομετρούμενη οξύτητα (%) της σάρκας της μπανάνας εκτιμήθηκαν στο διάστημα των 21 ημερών της αποθηκευτικής περιόδου σε θερμοκρασία  $18.0 \pm 0.5$  °C.

Οι μεταβολές της ενεργότητας ύδατος, της περιεκτικότητας σε υγρασία (%), των βαθμών Brix και της ογκομετρούμενης οξύτητας της σάρκας της μπανάνας για τις ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21, φαίνονται στο Σχήμα 6 .



**Σχήμα 6.** Ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ ), περιεκτικότητα σε υγρασία (%), °Brix και ογκομετρούμενη οξύτητα της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευση σε  $18 \pm 0.5$  °C.

Η ενεργότητα ύδατος φαίνεται ότι είχε σημαντική ( $P<0.05$ ) μεταβολή μεταξύ των ημερών 7 και 17 της αποθηκευτικής περιόδου, ενώ η περιεκτικότητα σε υγρασία (%) έδειξε σημαντική και προοδευτική αύξηση κατά την διάρκεια των 21 ημερών, ιδιαίτερα την ημέρα 14. Πράγματι, η αύξηση της περιεκτικότητας της υγρασίας επιβεβαιώνεται και από την μελέτη των Watharkar et al. (2020) σε μπανάνες της ποικιλίας *Musa nana* Lour, από τους Mohapatra et al. (2016) σε *Red banana* και από τους Adeyemi & Oladiji (2009). Έχει επίσης καταγραφεί ότι η περιεκτικότητα της μπανάνας σε υγρασία αυξάνεται με την αποθήκευση όσο αυξάνεται και η θερμοκρασία αποθήκευσης, λόγω της αποικοδόμησης του αμύλου και της μεταφοράς του νερού από την φλούδα προς την σάρκα με τη διαδικασία της ώσμωσης (Qamar & Shaikh, 2018). Γενικά, η μεταφορά της υγρασίας από το εξωτερικό του φρούτου στο εσωτερικό έχει αναφερθεί από διάφορες μελέτες μεταξύ των οποίων από τους Siriboon et al. (2004) και από τους Mohapatra et al. (2016). Η αύξηση της υγρασίας συνδέεται άμεσα με την αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών (Brix), η αύξηση των οποίων δημιουργεί αλλαγές στην ωσμωτική πίεση και συνεπώς συμβαίνει ανακατανομή νερού μεταξύ φλούδας και σάρκας (Adão & Glória, 2005; Ringer & Blanke, 2021; Mohapatra et al., 2010).

Οι βαθμοί Brix μέχρι και την 7<sup>η</sup> ημέρα αποθήκευσης εμφάνισαν σταδιακή και σημαντική ( $P<0.05$ ) αύξηση, χωρίς να παρατηρείται περαιτέρω αύξηση αυτών μέχρι το τέλος της αποθήκευσης. Συγκεκριμένα, οι βαθμοί °Brix την 2<sup>η</sup> ημέρα βρέθηκαν 13,7° κατά μέσο όρο ενώ την 7<sup>η</sup> έγινε μια ραγδαία αύξηση στα 21,6°. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία για διαφορετικές ποικιλίες μπανάνας (de Souza et al., 2021; Aquino et al., 2015; Soltani et al., 2010). Ειδικότερα οι de Souza et al. (2021) παρατήρησαν μια αύξηση της τάξης του 90% στα ολικά διαλυτά στερεά από την 2<sup>η</sup> ημέρα έως την 7<sup>η</sup> ημέρα, ενώ οι Yap et al. (2017) μελετώντας την ωρίμανση μπανανών Cavendish, βρήκαν πως οι τιμές των ολικών διαλυτών στερεών κυμαίνονταν από 12,9 βαθμούς °Brix σε άγουρες, πράσινες μπανάνες μέχρι 21,6 βαθμούς °Brix σε μπανάνες προχωρημένης ωρίμανσης. Αυτές οι τιμές έρχονται σε πλήρη συμφωνία με τις τιμές της παρούσας έρευνας. Η αύξηση αυτή μπορεί να αποδοθεί στην μετακίνηση περισσότερου νερού προς την σάρκα, στην αποικοδόμηση του αμύλου σε διαλυτά σάκχαρα (Siriboon et al., 2004) και στην αποικοδόμηση των πηκτικών ουσιών σε διαλυτά στερεά κατά την αποθήκευση (Sikder & Islam, 2019). Η τάξη μεγέθους της αύξησης των ολικών διαλυτών στερεών

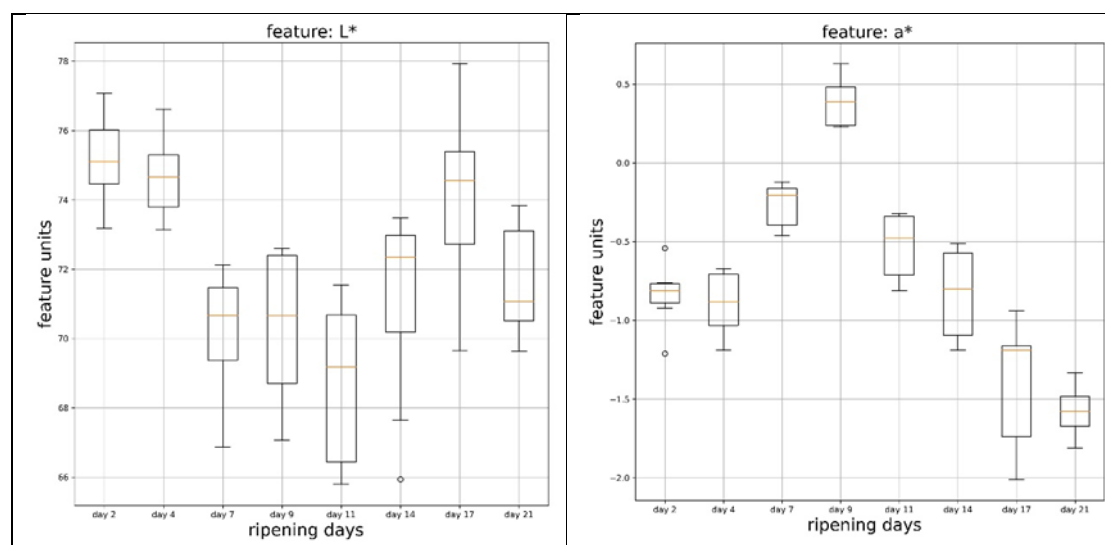
εξαρτάται από την ποικιλία ή το υβρίδιο της μπανάνας (Mohapatra et al., 2016; Hibler & Hardey, 1994).

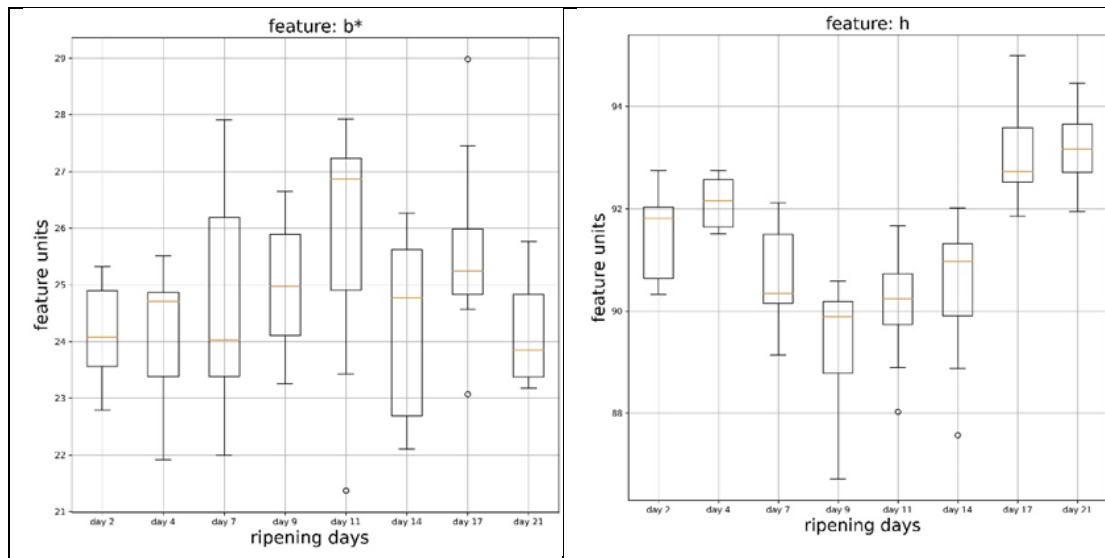
Η ογκομετρούμενη οξύτητα (%), η οποία οφείλεται στην παρουσία μηλικού, κιτρικού, οξαλικού και τρυγικού οξέος (de Souza et al, 2021; Maduwanthi & Marapana, 2017), παρουσίασε σημαντικές ( $P < 0.05$ ) μεταβολές κατά την διάρκεια της αποθήκευσης. Την ημέρα 9 παρουσιάστηκε μέγιστη ελάττωση ενώ την 17<sup>η</sup> μέγιστη αύξηση. Παρόμοιο αποτελέσματα καταγράφηκε από τους Soltani et al. (2010), οι οποίοι παρατήρησαν ότι η ογκομετρούμενη οξύτητα αρχικά μειωνόταν σταδιακά μέχρι η μπανάνα να είναι πλήρως ώριμη και στη συνέχεια υπήρξε αύξηση, πιθανόν λόγω της μετατροπής των σακχάρων σε οξέα (Soltani et al., 2010). Αντίθετα, οι Tapre & Jain (2012) παρατήρησαν ότι η ογκομετρούμενη οξύτητα αυξάνεται σταδιακά μέχρι η μπανάνα να ωριμάσει πλήρως. Επιπλέον οι Watharkar et al. (2020), κατέγραψαν σημαντική ( $P < 0.05$ ) αύξηση της ογκομετρούμενης οξύτητας κατά την ωρίμανση, ακολουθούμενη από σταδιακή μείωση τις τελευταίες μέρες της ωρίμανσης, μεταβολή που συμβαδίζει με την μεταβολή του παραγόμενου αιθυλενίου, το οποίο αυξάνεται στο αρχικό στάδιο της ωρίμανσης και ύστερα μειώνεται και πιθανότατα συνδέεται με αυτό. Η ίδια παρατήρηση σημειώθηκε και από τους Siriboon et al. (2004) σύμφωνα με τους οποίους η ημέρα που καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή της οξύτητας συνέπεσε με την υψηλότερη συσσώρευση αιθυλενίου, το οποίο στην συνέχεια άρχισε να μειώνεται. Έχει επίσης καταγραφεί ότι η ολική ογκομετρούμενη οξύτητα αυξάνεται κατά την διάρκεια της ωρίμανσης και πιο συγκεκριμένα πως το οξαλικό οξύ μειώνεται ενώ το μηλικό οξύ αυξάνεται (Wyman & Palmer, 1964). Η μείωση του οξαλικού οξέος, στο οποίο οφείλεται η στυπτικότητα της άγουρης μπανάνας, οφείλεται στην αποκαρβοξυλίωση που υφίσταται πιθανώς από τη δράση της οξαλικής οξειδάσης κατά την διάρκεια της ωρίμανσης (Hailu et al., 2013). Ακόμα, η διαδικασία ωρίμανσης αυξάνει τη γλυκονογένεση, την μεταβολική οδό που παράγει γλυκόζη, υδρολύει πολυσακχαρίτες, μειώνει την οξύτητα και συσσωρεύει σάκχαρα και οργανικά οξέα. Όλα αυτά μπορεί να συμβάλλουν στην χαμηλότερη ογκομετρούμενη οξύτητα και την υψηλότερη περιεκτικότητα σε σάκχαρα σε δείγματα ώριμης μπανάνας (Islam et al., 2018). Τέλος, καθώς η ωρίμανση προχωρά η οξύτητα μειώνεται πιθανώς λόγω της αξιοποίησης των οργανικών οξέων ως αναπνευστικά υποστρώματα. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί πως παρά την αύξηση της οξύτητας, ο ρυθμός αύξησης των σακχάρων και των ολικών διαλυτών στερεών είναι μεγαλύτερος (Hailu et al., 2013), και γι' αυτό στο ώριμο φρούτο υπερτερεί η γλυκιά γεύση.

**Πίνακας 7:** Περιεκτικότητα σε υγρασία (%), ενεργότητα ύδατος ( $a_w$ ), βαθμοί °Brix και ογκομετρούμενη οξύτητα της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευση σε  $18 \pm 0.5$  °C.

Ημέρα	Υγρασία	$a_w$	Οξύτητα	°Brix
2	73,33 $\pm$ 1,10a	0,988 $\pm$ 0,0015a	0,168 $\pm$ 0,0198ab	13,8 $\pm$ 0,89a
4	74,34 $\pm$ 1,65ab	0,985 $\pm$ 0,0019a	0,150 $\pm$ 0,0131bd	19,1 $\pm$ 0,83b
7	75,81 $\pm$ 1,50ab	0,978 $\pm$ 0,0021bc	0,183 $\pm$ 0,0071ac	21,6 $\pm$ 0,74c
9	76,80 $\pm$ 1,54bc	0,979 $\pm$ 0,0026c	0,136 $\pm$ 0,0106d	22,4 $\pm$ 0,92c
11	77,21 $\pm$ 1,74bc	0,974 $\pm$ 0,0022bde	0,224 $\pm$ 0,0052e	21,9 $\pm$ 0,83c
14	79,62 $\pm$ 3,18cd	0,979 $\pm$ 0,0034cd	0,215 $\pm$ 0,0076e	22,0 $\pm$ 1,20c
17	79,44 $\pm$ 2,32cd	0,973 $\pm$ 0,0023e	0,229 $\pm$ 0,0164e	21,9 $\pm$ 1,46c
21	80,44 $\pm$ 1,87d	0,978 $\pm$ 0,0051bc	0,191 $\pm$ 0,0209c	21,4 $\pm$ 0,73c

Οι παράμετροι του χρώματος όπως το  $L^*$  (φωτεινότητα),  $a^*$  (πράσινο προς κόκκινο),  $b^*$  (μπλε προς κίτρινο) και  $h$  (hue γωνία) για την σάρκα της μπανάνας, της ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21, φαίνονται στο **Σχήμα 7**.





**Σχήμα 7:** Φωτεινότητα ( $L^*$ ), πράσινη-κόκκινη απόχρωση ( $a^*$ ), μπλε-κίτρινη απόχρωση ( $b^*$ ) και χροιά (hue) των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους  $18,0 \pm 0,5$  °C.

Η παράμετρος  $L^*$  εμφάνισε σημαντική ( $P < 0.05$ ) ελάττωση μετά την 4<sup>η</sup> μέρα του πειράματος, ύστερα αυξήθηκε μέχρι την 17<sup>η</sup> και μετά παρουσίασε μη σημαντική ελάττωση, αποτέλεσμα που έρχεται σε συμφωνία με τους Youryon & Suparvanich, (2017). Η παράμετρος  $a^*$  εμφάνισε σημαντική ( $P < 0.05$ ) αύξηση μέχρι την 9<sup>η</sup> ημέρα και στη συνέχεια σταδιακή μείωση μέχρι την 21<sup>η</sup> ενώ η παράμετρος  $b^*$  δεν εμφάνισε κάποια σημαντική μεταβολή κατά τη διάρκεια των 21 ημερών αποθήκευσης όπως επισήμαναν και οι Youryon & Suparvanich, (2017). Η παράμετρος  $h$  εμφάνισε μια σημαντική ( $P < 0.05$ ) ελάττωση την 7<sup>η</sup> ημέρα, σταθεροποιήθηκε μέχρι την 14<sup>η</sup> και αυξήθηκε την 17<sup>η</sup>.

Αν και στην υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν γίνονται αναφορές σχετικά με το χρώμα της σάρκας, έχει γίνει ανάλυση σχετικά με τα καροτενοειδή που βρίσκονται σε αυτή. Σύμφωνα με τους Aquino et al. (2016), από ανάλυση 15 διαφορετικών ποικιλιών μπανάνας, διεξήχθη το συμπέρασμα ότι η ολική συγκέντρωση των καροτενοειδών και ιδιαίτερα της λουτεΐνης αυξάνεται στη σάρκα κατά τη διάρκεια της ωρίμανσης και ευθύνεται για το κίτρινο χρώμα ενώ οι Chandra et al. (2020), παρατήρησαν ότι η αύξηση του πορτοκαλί χρώματος, που εμφανίζεται μετά από 8 ημέρες αποθήκευσης, οφείλεται στην αύξηση των ολικών καροτενοειδών, τα οποία στη συνέχεια μειώνονται. Αυτές οι μεταβολές στα ολικά καροτενοειδή κατά την διάρκεια της ωρίμανσης μπορεί να σχετίζονται με τις μεταβολές της παραμέτρου  $a^*$ . Ακόμη, οι αλλαγές στις

παραμέτρους του χρώματος μπορεί να οφείλονται στην μεταβολή της υγρασίας καθώς και στην εισχώρηση οξυγόνου στην σάρκα, το οποίο στη συνέχεια θα δημιουργήσει καφέ χρωματισμούς λόγω της δράσης της πολυφαινολικής οξειδάσης (Jiang and Penner, 2022). Τέλος, οι Jaiswal et al. (2012) παρατήρησαν ότι η μεταβολή του χρώματος της σάρκας της μπανάνας από θαμπό λευκό σε κίτρινο, μπορεί να οφείλεται στην αποικοδόμηση του αμύλου.

**Πίνακας 8:** Φωτεινότητα ( $L^*$ ), πράσινη-κόκκινη απόχρωση ( $a^*$ ), μπλε-κίτρινη απόχρωση ( $b^*$ ) και χροιά (hue) των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους  $18,0 \pm 0,5$  °C.

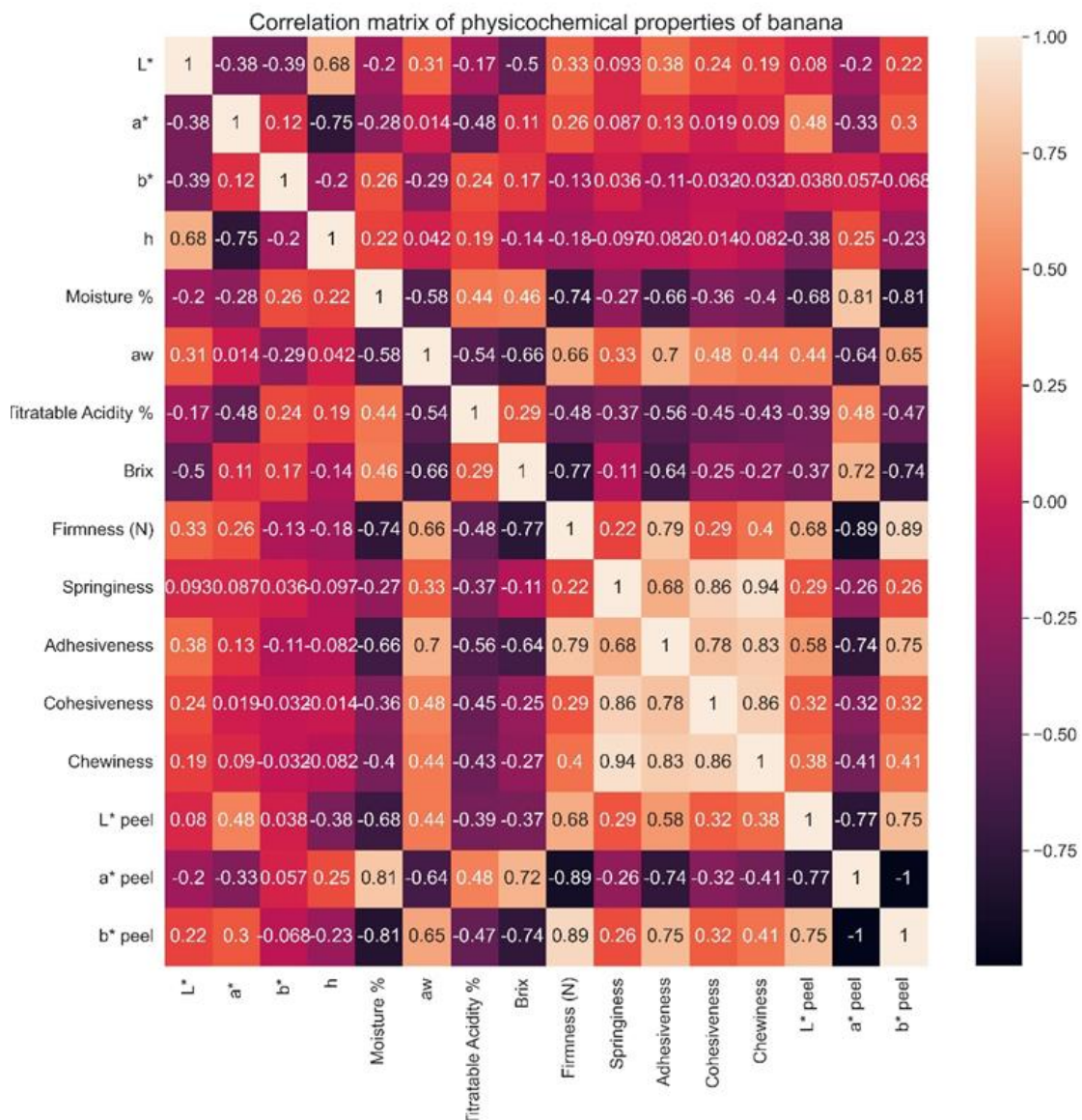
Ημέρα	$L^*$	$a^*$	$b^*$	h
2	75,20±1,33ac	-0,84±0,19ad	24,11±0,96a	91,50±0,91ab
4	74,70±1,18ac	-0,89±0,20a	24,13±1,24a	92,12±0,50b
7	70,10±1,97bd	-0,26±0,14be	24,65±2,03a	90,65±0,97abc
9	70,38±2,22bd	0,38±0,15c	24,95±1,23a	89,36±1,32cd
11	68,74±2,34bd	-0,53±0,21de	25,80±2,29a	90,07±1,14ad
14	71,10±2,79bcd	-0,83±0,28d	24,32±1,67a	90,43±1,49ad
17	74,15±2,54ce	-1,39±0,38f	25,62±1,82a	93,10±1,02abe
21	71,95±1,63de	-1,60±0,16f	24,22±0,98a	93,26±0,76be

Επιπλέον, δημιουργήθηκε πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (pairwise correlation matrix) (**Εικόνα 12**), προκειμένου να παρουσιαστούν οι συσχετίσεις μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της σάρκας της μπανάνας και των παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  της φλούδας της μπανάνας, κατά την αποθήκευση. Το πιο ενδιαφέρον εύρημα ήταν η ταυτοποίηση συσχέτισης ( $P < 0.05$ ) μεταξύ της παραμέτρου  $a^*$  της φλούδας και της υγρασίας, των βαθμών Brix, της σκληρότητας και της κολλητικότητας της σάρκας (υψηλά θετικό 0,81, ισχυρά θετικό 0,72, υψηλά αρνητικό -0,89 και ισχυρά αρνητικό -0,74, αντίστοιχα), καθώς και ανάμεσα στις παραμέτρους  $a^*$ ,  $b^*$  και  $-L^*$  της φλούδας (υψηλά αρνητικό -1 και ισχυρά αρνητικό -0,77 αντίστοιχα). Έτσι, η παράμετρος  $a^*$  της φλούδας ήταν αρνητικά συσχετισμένη με την παράμετρο  $b^*$  της φλούδας, την σκληρότητα και την κολλητικότητα της σάρκας και θετικά συσχετισμένη με την διάρκεια αποθήκευσης, την περιεκτικότητα σε υγρασία και τα ολικά διαλυτά στερεά (Brix) της σάρκας. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, η ανάλυση της υφής της



εικόνας της φλούδας της μπανάνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ικανοποιητικά ως δείκτης της ποιότητας της σάρκας της μπανάνας. Αναφορικά με τις φυσικοχημικές παραμέτρους της σάρκας, βρέθηκαν ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών της σκληρότητας και των βαθμών Brix ( $-0.77, P<0.05$ ), της σκληρότητας και της περιεκτικότητας σε υγρασία ( $-0.74, P<0.05$ ) όπως και της παραμέτρου  $a^*$  και παραμέτρου  $h$  ( $-0.76, P<0.05$ ).

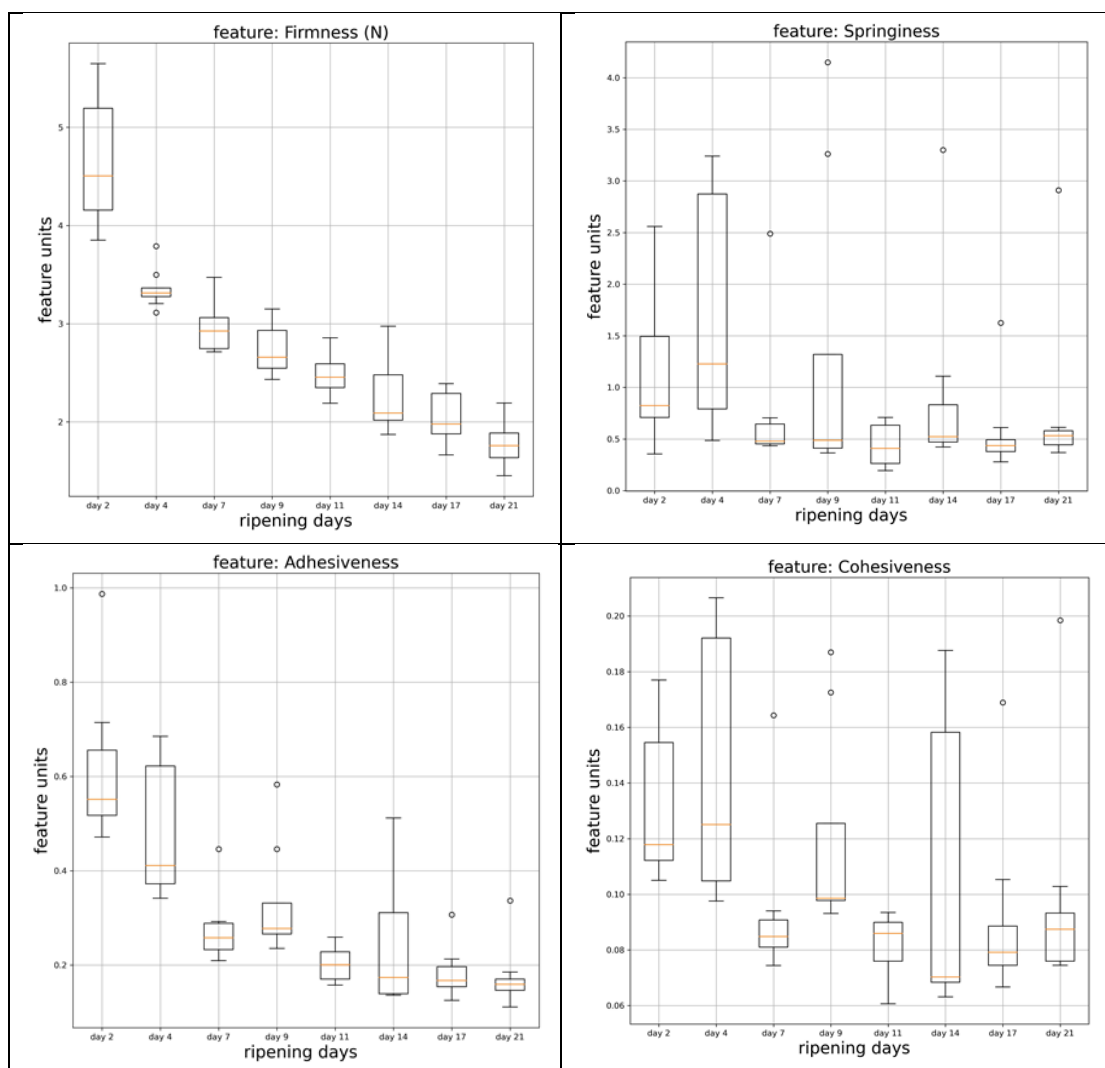
Ακόμη, ισχυρές θετικές συσχετίσεις ( $P<0.05$ ) βρέθηκαν μεταξύ ελαστικότητας και συνεκτικότητας, ελαστικότητας και μασητικότητας, μασητικότητας και κολλητικότητας και μασητικότητας και συνεκτικότητας (0.84, 0.94, 0.83 και 0.82, αντίστοιχα) ενώ η σκληρότητα είχε ισχυρή συσχέτιση μόνο με την κολλητικότητα (0.77).

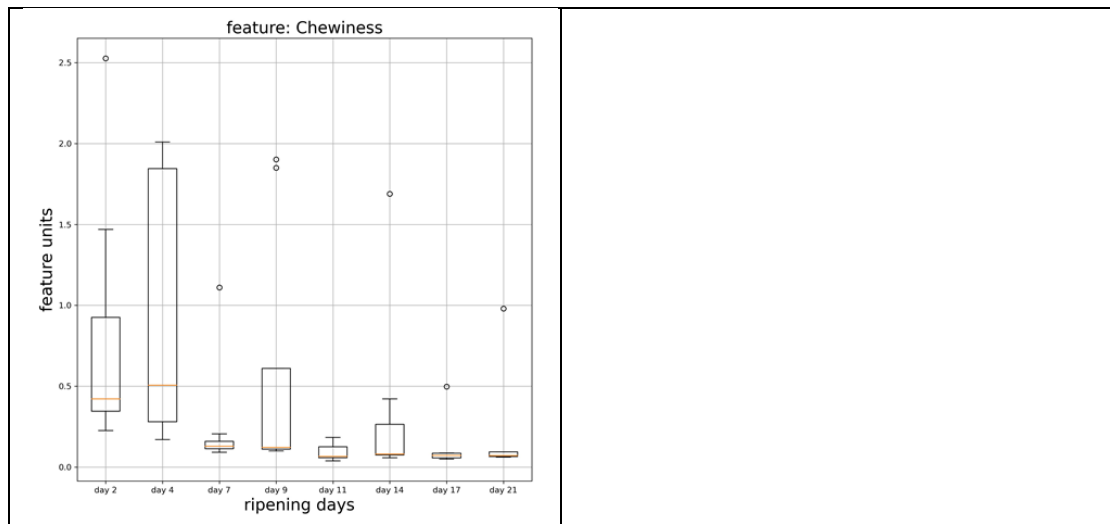


**Εικόνα 12:** Πίνακας συσχέτισης κατά ζεύγη (Pairwise correlation matrix) μεταξύ των φυσικοχημικών παραμέτρων της σάρκας της μπανάνας και των χαρακτηριστικών  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  της φλούδας μπανάνας κατά την αποθήκευση.

### 4.3 Μετρήσεις Ανάλυσης Υφής

Η μηχανική υφή της σάρκας της μπανάνας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ποικιλία, οι πρακτικές καλλιέργειας και η διαδικασία ωρίμανσης (Jaiswal et al., 2014), και ο έλεγχός της κρίνεται σημαντικός για την εξαγωγή χρήσιμων δεδομένων. Οι παράμετροι υφής που μετρήθηκαν είναι οι εξής: Σκληρότητα (Firmness), Ελαστικότητα (Springiness), Κολλητικότητα (Adhesiveness), Συνεκτικότητα (Cohesiveness) και Μασητικότητα (Chewiness) τις ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21 και φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

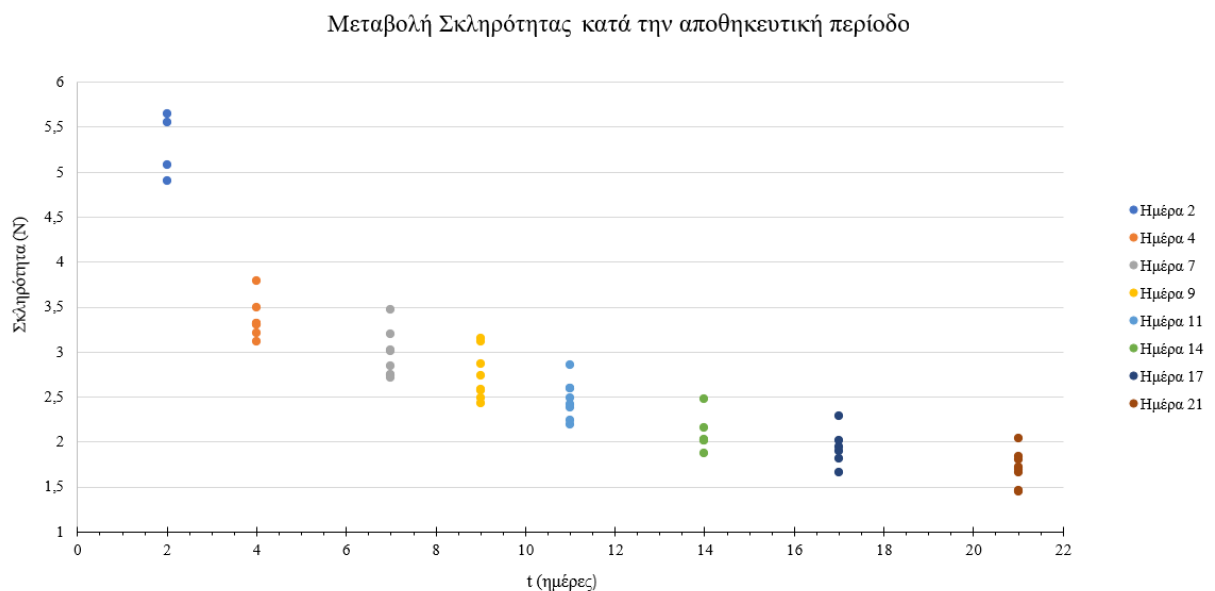




**Σχήμα 8:** Μεταβολές Σκληρότητας, Ελαστικότητας, Κολλητικότητας, Συνεκτικότητας και Μασητικότητας των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθηκευτική περίοδο στους  $18.0 \pm 0.5$  °C.

Η σκληρότητα (firmness) της σάρκας της μπανάνας, που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή της δύναμης της πρώτης συμπίεσης, παρουσίασε δραματική ( $P < 0,05$ ) μείωση την ημέρα 4 και από εκεί και έπειτα ακολούθησε σταδιακή ( $P < 0,05$ ) μείωση μέχρι την ημέρα 21.

**Διάγραμμα 4:** Μεταβολή της Σκληρότητας τις ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21.

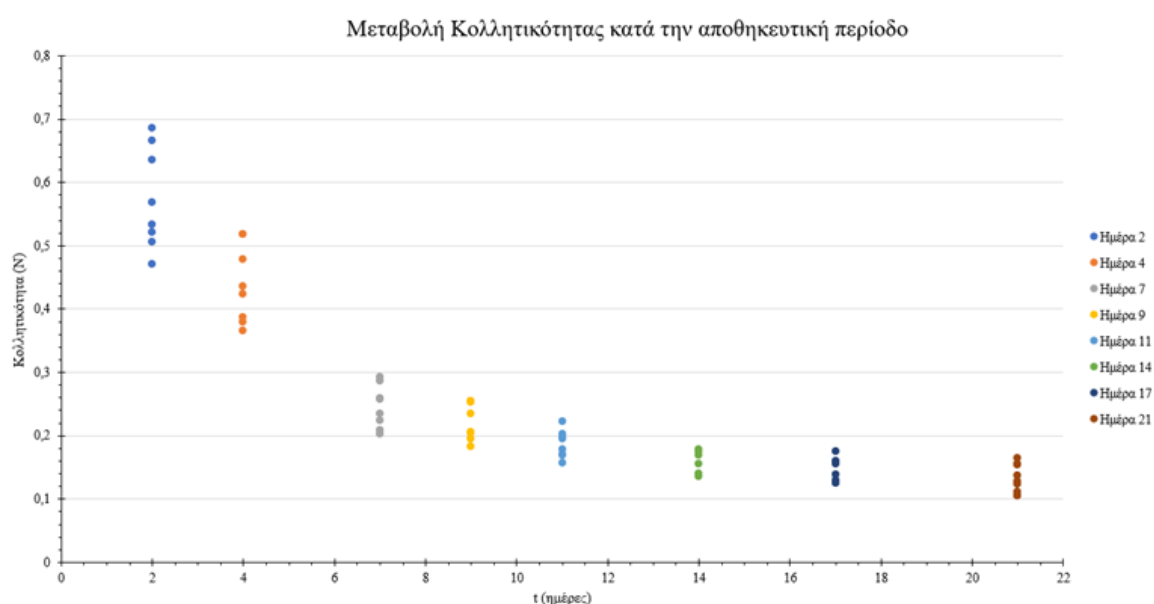


**Διάγραμμα 4:** Μεταβολή της Σκληρότητας τις ημέρες 2,4,7,9,11,14,17,21.

Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία και με άλλες έρευνες. Οι Kajuna et al. (1997) διαπίστωσαν πως ο ρυθμός μείωσης της σκληρότητας είναι μεγαλύτερος τις 4 πρώτες ημέρες της αποθηκευτικής περιόδου ενώ παρόμοια αποτελέσματα εξήχθησαν και από τους Jaiswal et al. (2014), οι οποίοι παρατήρησαν μια ταχεία μείωση της σκληρότητας την 4η ημέρα αποθήκευσης, καθώς επίσης και από τους de Souza et al. (2021) και τους Mohapatra, A et al. (2016). Έχει διαπιστωθεί πως η υδρόλυση του αμύλου, η αλλαγή της δομής του κυτταρικού τοιχώματος από ένζυμα αποικοδόμησης και η μεταφορά υγρασίας από την φλούδα στην σάρκα ευθύνονται για το μαλάκωμα της σάρκας και επομένως την μείωση της σκληρότητας (Thuy et al., 2021; Thompson, 1996). Ειδικότερα η υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, προκαλεί αύξηση της οσμωτικής πίεσης της σάρκας της μπανάνας, η οποία συνοδεύεται συνήθως με μείωση της σπαργής (turgor pressure) που ευθύνεται για το μαλάκωμα κατά την ωρίμανση, με αποτέλεσμα τη μείωση της σκληρότητας (Jaiswal et al., 2014). Επίσης, δεδομένου ότι το μαλάκωμα της σάρκας της μπανάνας συνοδεύεται από την υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα από τις αμυλάσες και τις φωσφορυλάσες (Agravante et al., 1989), κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, τις τελευταίες ημέρες αποθήκευσης απομένει όλο και λιγότερο υπόστρωμα και αυτό το γεγονός ίσως είναι ο λόγος για τον οποίο η μείωση της σκληρότητας είναι λιγότερο έντονη. Οι Agravante et al. (1989) παρατήρησαν επίσης ότι στις μπανάνες, υπήρξε μια ραγδαία αύξηση των σακχάρων στα πρώτα στάδια της ωρίμανσης, όταν δηλαδή η φλούδα ξεκίνησε να γίνεται κίτρινη, και έπειτα στα τελευταία στάδια αυτή η αύξηση επιβραδύνθηκε. Συμπληρωματικά, η αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία της σάρκας μαζί με την ποιοτική υποβάθμιση των θρεπτικών συστατικών μπορεί να προκαλέσει μείωση της αντοχής των ινών της φλούδας και να οδηγήσει στο μαλάκωμα της σάρκας, το οποίο τελικά μειώνει την σκληρότητα του φρούτου (Mohapatra et al., 2016). Τέλος, οι δομικές αλλαγές της πηκτίνης, της ημικυτταρίνης και της κυτταρίνης θεωρούνται υπεύθυνες για την αλλαγή της δομής του κυτταρικού τοιχώματος κατά την ωρίμανση που σχετίζεται με την απώλεια σκληρότητας (Huber, 1983; Seymour et al. 1990; Jaiswal et al., 2014). Αυτές οι αλλαγές περιλαμβάνουν όχι μόνο τη διαλυτοποίηση (sobilisation) και τον αποπολυμερισμό (depolymerization) των πολυσακχαριτών αλλά και αναδιατάξεις των συσχετισμών τους (Jaiswal et al., 2014) και την παραγωγή διαλυτής πηκτίνης από τη διάσπαση της αδιάλυτης πρωτοπηκτίνης που ακολουθείται από κυτταρική διάσπαση με αποτέλεσμα τη διαπερατότητα της μεμβράνης (Muthal et al., 2019). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Ali et al. (2004) διαπιστώθηκε μείωση της

σκληρότητας της τάξεως του 50% σε μπανάνα (*Musa acuminata*) σε μόλις 3 ημέρες κατά την διάρκεια της ωρίμανσης.

Η ελαστικότητα (springiness) της σάρκας της μπανάνας σχετίζεται με τον βαθμό επαναφοράς του δείγματος στην αρχική του κατάσταση μετά την παραμόρφωση κατά την διάρκεια της πρώτης συμπίεσης και υπολογίζεται ως ο λόγος της μέγιστης δύναμης που εμφανίζεται στον δεύτερο κύκλο μάσησης προς την αντίστοιχη δύναμη του πρώτου κύκλου. Κατά την αποθηκευτική περίοδο η ελαστικότητα παρουσίασε μια αμελητέα και μη σημαντική στατιστικά ( $P>0,05$ ) μείωση.



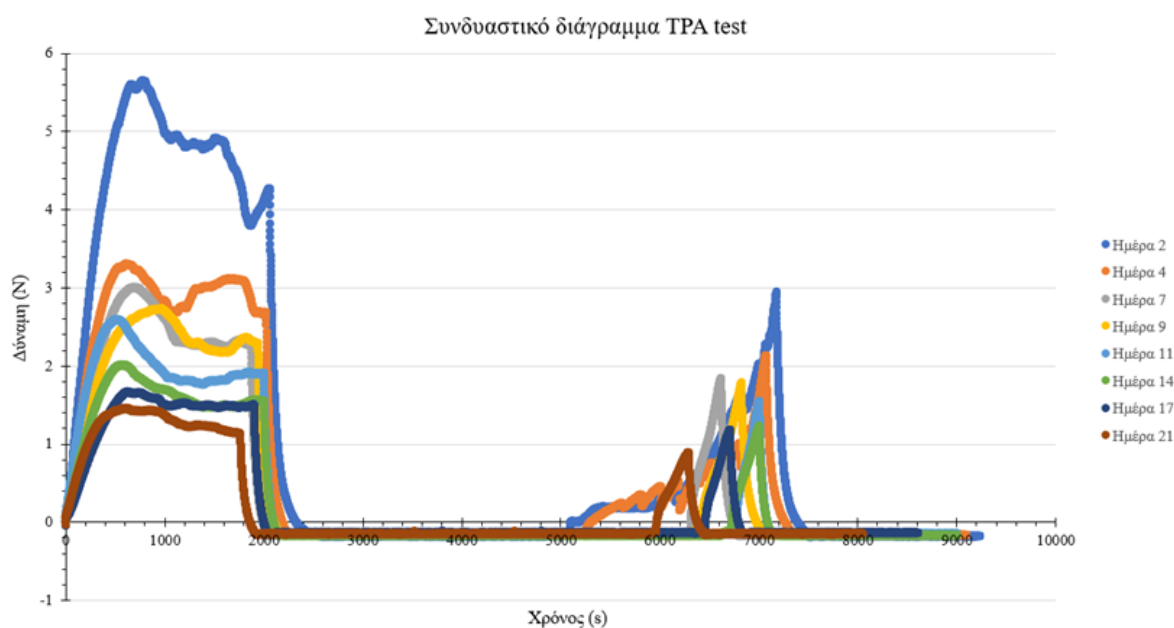
**Διάγραμμα 5:** Μεταβολή της Κολλητικότητας τις ημέρες 2, 4, 7, 9, 11, 14, 17, 21.

Η κολλητικότητα (adhesiveness) η οποία ορίζεται ως η δύναμη που απαιτείται για να πάψουν να ασκούνται ελκτικές δυνάμεις μεταξύ της επιφάνειας του προϊόντος και του αισθητήρα (probe) που βρίσκονται σε επαφή, παρουσίασε δραματική ( $P<0,05$ ) μείωση την ημέρα 7 και μέχρι την ημέρα 21 ακολούθησε σταδιακή μείωση ( $P<0,05$ ).

Η συνεκτικότητα (cohesiveness) εκφράζει την ικανότητα αντίστασης του προϊόντος σε μια δεύτερη παραμόρφωση, σχετικά με το πώς συμπεριφέρθηκε στην πρώτη. Το μαλάκωμα των ιστών κατά την ωρίμανση συμβάλλει στην μείωση της συνεκτικότητας και μπορεί να αποδοθεί στην διαλυτοποίηση των πηκτινικών ουσιών του μεσαίου ελάσματος γειτονικών κυττάρων. Όσον αφορά τη μάσηση, η συνεκτικότητα που αντιστοιχεί στο ποσοστό παραμόρφωσης του δείγματος πριν από την ρήξη και κατά το δάγκωμα με τους τραπεζίτες, παίζει σημαντικό ρόλο στην

αίσθηση κατά την μάσηση (mouthfeel) ιδίως προς το τέλος της μάσησης από τους τραπεζίτες όπως προαναφέρθηκε (Chauhan et al., 2006). Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική μείωση την ημέρα 7 ακολουθούμενη από διακυμάνσεις μέχρι την ημέρα 11 και έπειτα σταθεροποίηση μέχρι την ημέρα 21.

Η μασητικότητα (chewiness), υπολογίζεται ως η σκληρότητα επί την συνεκτικότητα επί την ελαστικότητα και εκφράζει την ενέργεια που απαιτείται για να γίνουν τα στερεά τρόφιμα έτοιμα για κατάποση. Αντιστοιχεί στον απαιτούμενο αριθμό μασημάτων που χρειάζεται ένα δείγμα καθώς και στην σταθερή μείωση της δύναμης με συνέπεια την κατάποση. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική ( $P < 0,05$ ) μείωση την ημέρα 7 του πειράματος και ύστερα ακολούθησε μια σταθεροποίηση μέχρι το τέλος της αποθηκευτικής περιόδου. Οι Chauhan et al. (2006) αναφέρουν ότι η μείωση της μασητικότητας ήταν πιο έντονη συγκριτικά με την μείωση της κολλητικότητας, συμπέρασμα που εξάγεται και από την δοκιμή TPA που διενηργήσαμε και αυτή αποτελεί μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση δεδομένου ότι η μπανάνα είναι ένα μαλακό-απαλό φρούτο και το mouthfeel την στιγμή της κατάποσης πρέπει να είναι το κατάλληλο.



**Διάγραμμα 6:** Συνδυαστικό διάγραμμα TPA test για το σύνολο των ημερών αποθήκευσης.

Συνεπώς οι αλλαγές που παρατηρούνται στις παραμέτρους υφής συμπεριλαμβανομένης της σκληρότητας, της κολλητικότητας, της συνεκτικότητας, της ελαστικότητας και της μασητικότητας μπορούν να αποδοθούν στις δομικές αλλαγές

που λαμβάνουν χώρα στην μπανάνα (Chauhan et al., 2006). Η υφή της σάρκας μπορεί επίσης να επηρεάζεται από την ποικιλία, τον χειρισμό κατά την καλλιέργεια αλλά και τις συνθήκες ωρίμανσης (Watharkar et al., 2020). Αποτελεί ενδιαφέρουσα παρατήρηση το γεγονός ότι οι μεταβολές της πλειοψηφίας των παραμέτρων της υφής των δειγμάτων ελαχιστοποιήθηκαν με το πέρασμα των ημερών. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν έρχονται να επιβεβαιώσουν και να συμφωνήσουν με άλλες έρευνες που αναφέρουν εντυπωσιακή μείωση των παραμέτρων της υφής της σάρκας της μπανάνας κατά την διάρκεια της ωρίμανσης.

**Πίνακας 9:** Μεταβολές Σκληρότητας, Ελαστικότητας, Κολλητικότητας, Συνεκτικότητας και Μασητικότητας των δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθηκευτική περίοδο στους 18.0±0.5 °C.

Ημέρα	Σκληρότητα	Ελαστικότητα	Κολλητικότητα	Συνεκτικότητα	Μασητικότητα
2	4,67±0,68a	1,16±0,77a	0,62±0,17a	0,13±0,03a	0,81±0,80a
4	3,36±0,21b	1,68±1,13a	0,48±0,14ab	0,15±0,05a	0,94±0,83a
7	2,97±0,26bc	0,76±0,70a	0,28±0,08c	0,09±0,03a	0,26±0,35a
9	2,74±0,28cd	1,28±1,52a	0,33±0,12bc	0,12±0,04a	0,56±0,81a
11	2,47±0,21cde	0,44±0,20a	0,20±0,04c	0,08±0,01a	0,09±0,05a
14	2,25±0,37df	0,94±0,98a	0,24±0,14c	0,11±0,05a	0,34±0,56a
17	2,04±0,26ef	0,57±0,44a	0,18±0,06c	0,09±0,03a	0,12±0,15a
21	1,76±0,24 f	0,96±0,94a	0,20±0,11c	0,12±0,07a	0,28±0,40a

#### 4.4 Φασματοσκοπία Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα

##### Ολική Ανάκλαση

Οι ταινίες απορρόφησης των φασμάτων ATR-FTIR των δειγμάτων της σάρκας μπανάνας (Πίνακας 10) ελήφθησαν στην περιοχή φάσματος 3300-500 cm<sup>-1</sup>. Στα φάσματα κυριάρχησαν χαρακτηριστικές ταινίες απορρόφησης που σχετίζονται με το άμυλο, τους υδατάνθρακες, το νερό, τα οργανικά οξέα και τα φαινολικά οξέα.

Ειδικότερα, η ταινία απορρόφησης στα 3640-3530 cm<sup>-1</sup> αποδίδεται σε δόνηση τάσης του δεσμού O-H των φαινολικών ενώσεων (Nandiyanto et al., 2019), ενώ η ευρεία ταινία στα 3300-3200 cm<sup>-1</sup> οφείλεται σε δονήσεις τάσης υδροξυλομάδων που εντοπίζονται στο νερό, στους υδατάνθρακες, στα οργανικά οξέα και στα φαινολικά οξέα (Anjos et al., 2015; Kozłowicz et al., 2020). Επιπλέον, οι δύο ταινίες απορρόφησης στα 3400 cm<sup>-1</sup> και 3325 cm<sup>-1</sup> αποδίδονται στις ασύμμετρες και

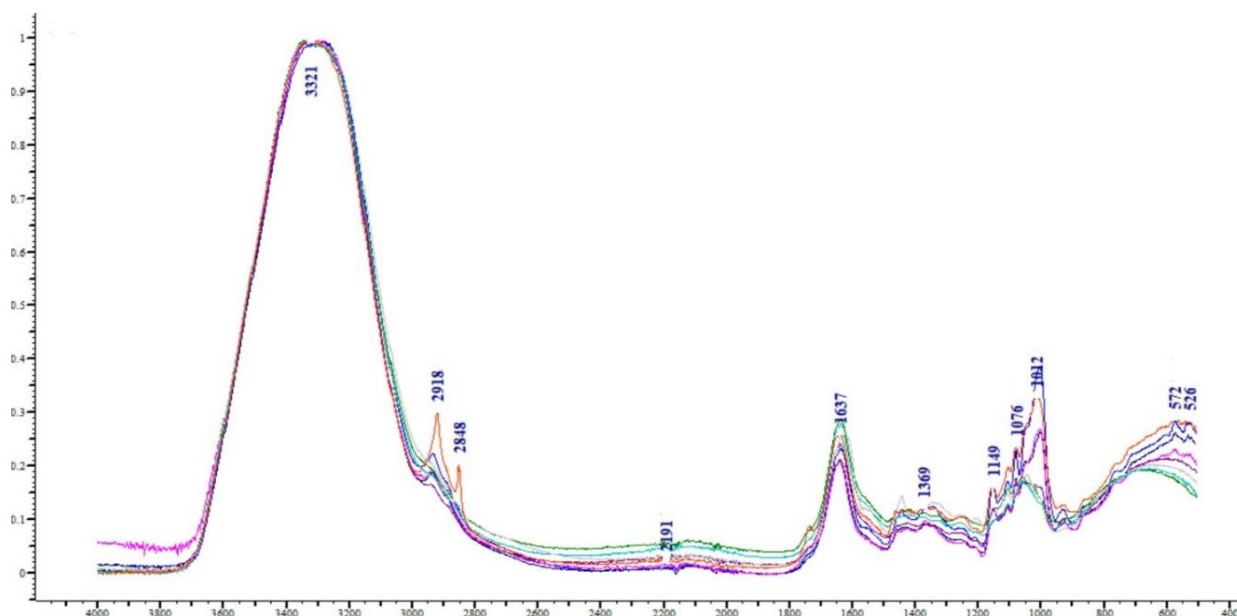
συμμετρικές δονήσεις τάσης του δεσμού N-H των πρωτατογών αμινών (Nandiyanto et al., 2019). Η ταινία απορρόφησης στα  $2932\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται στις συμμετρικές δονήσεις τάσης του δεσμού  $\text{C}(\text{sp}^3)\text{-H}$ , των καρβοξυλικών οξέων, των ελεύθερων αμινοξέων και των υδατανθράκων (Anjos et al. 2015; Kozłowicz et al. 2020), ενώ η ταινία στα  $1738\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται σε δονήσεις τάσης του  $\text{C}=\text{O}$  των υδατανθράκων και των φαινολικών ενώσεων (Li et al., 2018). Η ταινία στα  $1647\text{-}1632\text{ cm}^{-1}$  σχετίζεται με δονήσεις κάμψης υδροξυλομάδων που είναι παρούσες στο νερό, στους υδατάνθρακες, στα οργανικά οξέα και στις φαινόλες και σύμφωνα με τους Bello-Perez et al. (2005) συνδέεται άμεσα με το ποσοστό υγρασίας του δείγματος της μπανάνας. Η ταινία απορρόφησης στα  $1465\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$  οφείλεται στην ψαλιδοειδή δόνηση κάμψης του μεθυλενίου και των μεθυλομάδων των μονοσακχαριτών (Wiercigroch et al., 2017), καθώς και η ταινία στα  $1420\text{-}1410\text{ cm}^{-1}$  σχετίζεται με τον συνδυασμό της παλλόμενης δόνησης κάμψης του δεσμού C-H και την δόνηση κάμψης του δεσμού O-H (Brangule et al., 2020; Kozłowicz et al., 2020) ή με την δόνηση κάμψης εντός επιπέδου του δεσμού C-H της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης. Η ταινία στα  $1366\text{-}1339\text{ cm}^{-1}$  σχετίζεται με την δόνηση κάμψης του δεσμού O-H της ομάδας C-OH (Kozłowicz et al., 2020). Η περιοχή απορρόφησης στα  $1200 - 960\text{ cm}^{-1}$ , που αντιστοιχεί σε ένα συνδυασμό ταινιών απορρόφησης που σχετίζονται με τις δονήσεις τάσης των δεσμών C-C και C-O, είναι περιοχή μεγάλου ενδιαφέροντος, καθώς αποδίδεται σε σάκχαρα και οργανικά οξέα (Labaky et al., 2021). Η ταινία στα  $1261\text{-}1229\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται στην δόνηση τάσης του δεσμού C-O των υδατανθράκων και των φαινολικών ενώσεων (Oliveira et al., 2016) και η ταινία στα  $1153\text{-}1149\text{ cm}^{-1}$  στις δονήσεις τάσης των δεσμών C-O και C-C του γλυκοζιτικού δεσμού των πολυσακχαριτών. Η ταινία στα  $1105\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται σε δονήσεις τάσης των δεσμών C-O και C-C των πολυσακχαριτών και της πηκτίνης (Talari et al., 2017) ενώ η ταινία στα  $1076\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται στην δόνηση τάσης του δεσμού C-OH του αμύλου (Pelissari et al., 2012).

Η ταινία στα  $1055\text{-}1045\text{ cm}^{-1}$  οφείλεται σε δονήσεις κάμψης του δεσμού C-O και σε δονήσεις τάσης του δεσμού C-OH της δομής των υδατανθράκων (Kędzierska-Matysek et al., 2018), που αντιστοιχούν κυρίως σε απορροφήσεις σακχαρόζης και φρουκτόζης (Wang et al., 2010), ενώ η ταινία στα  $1047\text{ cm}^{-1}$  σχετίζεται και με την κρυσταλλική δομή του αμύλου. Η αναλογία απορροφήσεων των ταινιών στα  $1047\text{ cm}^{-1}$  και στα  $1022\text{ cm}^{-1}$ , που σχετίζεται με την άμορφη δομή του αμύλου, ( $1047/1022$ ) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διαμόρφωσης του αμύλου, όπως για παράδειγμα τον βαθμό διάταξης (degree of order DO) και την βαθμό της διπλής έλικας (DD). Παρ' όλα αυτά



η ταινία στα  $1022\text{ cm}^{-1}$  είναι λιγότερο έντονη έως σπάνια στο Β-τύπο της κρυσταλλικής δομής του αμύλου (Li et al., 2020; Sevenou et al., 2002) και όπως αναμενόταν δεν ανιχνεύθηκε. Επιπλέον, οι ταινίες στα  $1000\text{-}995\text{ cm}^{-1}$  σχετίζονται με τον Β-τύπο της κρυσταλλικής δομής του αμύλου που είναι αντιπροσωπευτικό στο άμυλο με υψηλή περιεκτικότητα σε αμυλόζη που περιέχεται στα φρούτα (Bello-Perez et al., 2005; Millan-Testa et al., 2005; Warren et al., 2016; Dome et al., 2020). Όσο γίνεται λιγότερο έντονη η ταινία στα  $1022\text{ cm}^{-1}$  τόσο πιο έντονες και καλά διαχωρισμένες είναι οι ταινίες στα  $1000\text{-}995\text{ cm}^{-1}$  (Sevenou et al., 2002).

Η ταινία στα  $928\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται στην δόνηση κάμψης στο επίπεδο των δεσμών C-OH και C-C του γλυκοζιτικού δεσμού της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Fan et al., 2012; Wiercigroch et al., 2017), ο οποίος είναι ευαίσθητος στο νερό και καθορίζει τον υδρόφιλο χαρακτήρα του αμύλου (Das & Kayastha, 2019; Fang et al., 2002) και η ταινία στα  $865\text{-}858\text{ cm}^{-1}$  είναι χαρακτηριστική τόσο της διατεταγμένης όσο και της κρυσταλλικής δομής του αμύλου (Das & Kayastha, 2019). Η ταινία απορρόφησης στα  $770\text{-}735\text{ cm}^{-1}$  αποδίδεται σε δονήσεις κάμψης εκτός επιπέδου του δεσμού C-H των ορθο-υποκατεστημένων αρωματικών δακτυλίων (Li et al., 2018) ενώ η ταινία απορρόφησης στα  $720\text{ cm}^{-1}$  σε δονήσεις κάμψης εκτός επιπέδου του δεσμού O-H της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Nandiyanto et al., 2019; Wiercigroch et al., 2017). Επιπλέον, οι ταινίες στα  $577\text{ cm}^{-1}$  και  $523\text{ cm}^{-1}$  αντιστοιχούν σε δονήσεις τάσης εντός επιπέδου του δεσμού C-O-C του γλυκοζιτικού δεσμού της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης (Wiercigroch et al., 2017).



**Διάγραμμα 7:** Συνδυαστικό Φάσμα ATR -FTIR για το σύνολο των ημερών αποθήκευσης.


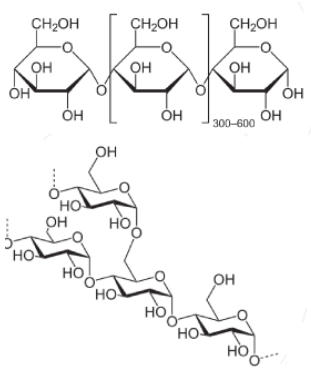
Η αξιολόγηση των φασμάτων ATR-FTIR της σάρκας της μπανάνας οδήγησε σε πολύ ενδιαφέροντα ευρήματα αναφορικά με την ωρίμανσή της και αυτά συνοψίζονται παρακάτω. Οι κορυφές στα  $1153-1149\text{ cm}^{-1}$ ,  $1000-995\text{ cm}^{-1}$  και  $928\text{ cm}^{-1}$ , οι οποίες σχετίζονται με την παρουσία της αμυλόζης και της αμυλοπηκτίνης, δηλαδή τους δύο πολυσακχαρίτες που συνιστούν το άμυλο, παρουσιάζουν δραματική μείωση ( $P<0,05$ ) από την ημέρα 7 μέχρι την ημέρα 9 και ύστερα σταδιακή μείωση ( $P<0,05$ ) ή διακυμάνσεις ( $P>0,05$ ) μέχρι την ημέρα 21. Επιπλέον, δεν ανιχνεύθηκαν απορροφήσεις στα  $1076\text{ cm}^{-1}$  και στα  $865-858\text{ cm}^{-1}$ , οι οποίες σχετίζονται με την παρουσία του αμύλου, από την ημέρα 9 και έπειτα. Επιπροσθέτως, οι κορυφές στα  $1055-1045\text{ cm}^{-1}$ , που αφορούν την παρουσία της σακχαρόζης και της φρουκτόζης, παρουσίασαν μια σταδιακή και σημαντική ( $P<0,05$ ) αύξηση από την ημέρα 7 μέχρι το τέλος των πειραματικών μετρήσεων, δηλαδή την ημέρα 21.

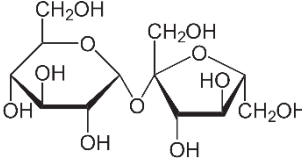
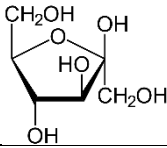
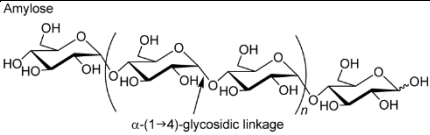
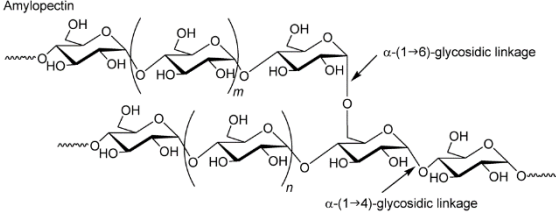
Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, είναι προφανές πως κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, το άμυλο της μπανάνας μειώνεται σταδιακά, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση διαλυτών σακχάρων, όπως η σακχαρόζη και η φρουκτόζη. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με έρευνες που αναφέρουν ότι το άμυλο στην σάρκα της μπανάνας παρουσιάζει μια ταχεία μείωση κατά την διάρκεια της ωρίμανσης έως ότου τελικά είναι μη ανιχνεύσιμο (Maduwanthi & Marapana, 2017), η οποία οφείλεται στην αποικοδόμηση του αμύλου μέσω ενός πολύπλοκου μηχανισμού (Cordenunsi-Lysenko et al., 2019; Cordenunsi and Lajolo, 1995).

Οι κορυφές στα  $1647-1632\text{ cm}^{-1}$ , που σχετίζονται με την περιεκτικότητα σε υγρασία, ήταν κυμαινόμενες και άνευ σημασίας μέχρι την ημέρα 11. Την ημέρα 14 φάνηκε μια σημαντική αύξηση και έκτοτε επικράτησε μια σταθερότητα μέχρι το τέλος της αποθηκευτικής περιόδου, δηλαδή την ημέρα 21. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό της υγρασίας και τις παραμέτρους υφής της εικόνας dissimilarity και run length non-uniformity. Η μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα αυξάνει την ωσμωτική πίεση της σάρκας και ευνοεί την μεταφορά υγρασίας από την φλούδα στην σάρκα (Moreno et al., 2021).

Η κορυφή στα  $2932\text{ cm}^{-1}$ , που αποδίδεται σε δονήσεις τάσης του δεσμού  $C(sp^3)-H$ , παρουσιάστηκε μια περιορισμένη ( $P<0,05$ ) ελάττωση την ημέρα 7, ύστερα μια δραματική μείωση την ημέρα 9 και έπειτα ακολούθησε μια σταθεροποίηση ( $P>0,05$ ) στην ελάχιστη τιμή μέχρι την ημέρα 17. Η μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα και ειδικότερα σε σακχαρόζη, πιθανόν να οδηγεί στην μείωση της έντασης της κορυφής.

**Πίνακας 10:** Ταινίες απορροφήσεων χαρακτηριστικών ομάδων και μοριακών δεσμών

Κυματαριθμός (cm <sup>-1</sup> )	Μοριακός δεσμός	Ουσίες που εμφανίζονται	Είδος δόνησης
3640-3530	-OH		Δόνηση τάσης (ν)
3400-3325	N-H	Πρωτοταγείς αμίνες	Ασύμμετρη και συμμετρική δόνηση τάσης (ν)
3300-3200	-OH	Νερό, υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, φαινολικά	Δόνηση τάσης (ν)
2932	C(sp <sup>3</sup> )-H	Καρβοξυλικά οξέα. ελεύθερα αμινοξέα, υδατάνθρακες	Συμμετρική δόνηση τάσης (ν)
1738	C=O	Υδατάνθρακες, φαινολικά	Δόνηση τάσης (ν)
1647-1632	-OH	Νερό, υδατάνθρακες, οργανικά οξέα, φαινόλες Συσχέτιση με ποσοστό υγρασίας	Δόνηση κάμψης (δ)
1465-1450	-CH <sub>2</sub> - -CH <sub>3</sub>	(CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> (Μονοσακχαρίτες)	Ψαλιδοειδής δόνηση κάμψης (δ)
1420-1410	C-H		Παλλόμενη δόνηση κάμψης (δ)
	O-H		Δόνηση κάμψης (δ) στο επίπεδο
1366-1339	-OH	Ομάδα C-OH	Δόνηση κάμψης (δ)
1261-1229	C-O	Υδατάνθρακες, φαινολικά	Δόνηση τάσης (ν)

1200 - 960		Σάκχαρα, οργανικά οξέα	
1153-1149	C-O C-C	Γλυκοζιτικός δεσμός	Δόνηση τάσης (v)
1105		Πολυσακχαρίτες, πηκτίνη	
1076	C-OH	Άμυλο	Δόνηση τάσης (v)
1055-1045	C-O		Δόνηση κάμψης (δ)
	C-OH		Δόνηση τάσης (v)
1000-995		B-τύπος κρυσταλλικής δομής αμύλου	
928	C-OH		Δόνηση κάμψης (δ)
	C-C		
865-858		Άμυλο (διατεταγμένη και κρυσταλλική μορφή)	
770-735	C-H	Ορθο-υποκατεστημένοι αρωματικοί δακτύλιοι	Δόνηση κάμψης (δ)
720	O-H	Αμυλόζη, αμυλοπηκτίνη	Δόνηση κάμψης (δ) εκτός επιπέδου
577-523	C-O-C	Γλυκοζιτικός δεσμός αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης	Δόνηση τάσης (v) στο επίπεδο

**Πίνακας 11:** Κορυφές ταινιών απορρόφησης των φασμάτων ATR-FTIR της σάρκας της μπανάνας κατά την διάρκεια της ωρίμανσης

Κορυφαριθμός (cm <sup>-1</sup> )	Ημέρα 2	Ημέρα 4	Ημέρα 7	Ημέρα 9	Ημέρα 11	Ημέρα 14	Ημέρα 17	Ημέρα 21
3640-3530	0.008±0.001a	0.005±0.001b	0.006±0.001ab	0.010±0.002c	0.017±0.001d	0.010±0.001c	0.014±0.002e	0.011±0.001c
3400	0.005±0.001a	0.005±0.001a	0.004±0.001a	0.004±0.001a	0.004±0.000a	0.009±0.002b	0.010±0.001b	0.009±0.002b
3325	0.004±0.001a	0.003±0.001a	0.004±0.001a	0.003±0.000a	0.004±0.001a	0.003±0.000a	0.003±0.001a	0.004±0.001a
3300-3200	0.005±0.001a	0.008±0.001b	0.010±0.002bc	0.011±0.001c	0.012±0.001c	0.011±0.001c	0.010±0.001bc	0.010±0.001bc
2932	0.049±0.008a	0.048±0.006a	0.032±0.002b	0.003±0.001c	0.004±0.002c	0.003±0.001c	0.002±0.001c	-
1738	0.002±0.000a	0.003±0.001ab	0.003±0.001ab	0.003±0.000b	0.003±0.001ab	0.003±0.001ab	0.002±0.000a	0.003±0.000b
1647-1632	0.167±0.010a	0.165±0.009a	0.172±0.009a	0.180±0.008a	0.186±0.015ab	0.210±0.015b	0.211±0.022b	0.220±0.017b
1465-1450	0.006±0.001a	0.006±0.001a	0.007±0.001a	0.006±0.001a	0.006±0.001a	0.007±0.001a	0.007±0.001a	0.007±0.001a
1420-1410	0.003±0.000a	0.005±0.001b	0.005±0.001b	0.002±0.000c	0.002±0.000c	0.002±0.000c	0.002±0.000c	0.002±0.000c
1366-1339	0.012±0.004ab	0.016±0.001a	0.011±0.002b	0.003±0.001c	0.003±0.001c	0.002±0.000c	0.002±0.000c	0.003±0.001c
1261-1229	0.007±0.001a	0.006±0.001a	0.006±0.002a	0.006±0.002a	0.009±0.002a	0.009±0.003a	0.009±0.003a	0.010±0.003a
1153-1149	0.062±0.007a	0.064±0.005a	0.039±0.004b	0.014±0.001c	0.016±0.003c	0.016±0.004c	0.014±0.002c	0.014±0.002c
1105	0.015±0.002abc	0.015±0.002abc	0.018±0.003a	0.013±0.001bc	0.016±0.003ab	0.014±0.003abc	0.012±0.001c	0.013±0.002ab
1076	0.055±0.007a	0.056±0.005a	0.035±0.005b	-	-	-	-	-
1055-1045	0.016±0.002a	0.016±0.002a	0.021±0.003b	0.036±0.008c	0.040±0.006cd	0.045±0.004cd	0.045±0.003d	0.056±0.006e
1000-995	0.186±0.024a	0.183±0.014a	0.107±0.012b	0.019±0.002c	0.014±0.002d	0.010±0.001e	0.004±0.000f	0.002±0.000g
928	0.023±0.003a	0.024±0.002a	0.018±0.003b	0.009±0.001c	0.007±0.001cd	0.006±0.001d	0.002±0.000e	-
865-858	0.007±0.002a	0.007±0.002a	0.003±0.000b	-	-	-	-	-
770-735	0.005±0.001a	0.006±0.001a	0.002±0.000b	-	-	-	-	-
720	0.003±0.001a	0.003±0.001a	0.002±0.000a	-	-	-	-	-
577	0.016±0.002a	0.016±0.004ab	0.011±0.002b	0.004±0.001c	-	-	-	-
523	0.006±0.001a	0.006±0.001a	0.005±0.001ab	0.004±0.001b	0.005±0.001ab	0.004±0.001b	0.004±0.001b	0.002±0.000c

Οι μέσες τιμές που βρίσκονται στην ίδια γραμμή και φέρουν διαφορετικά γράμματα διαφέρουν σημαντικά (P<0,05)

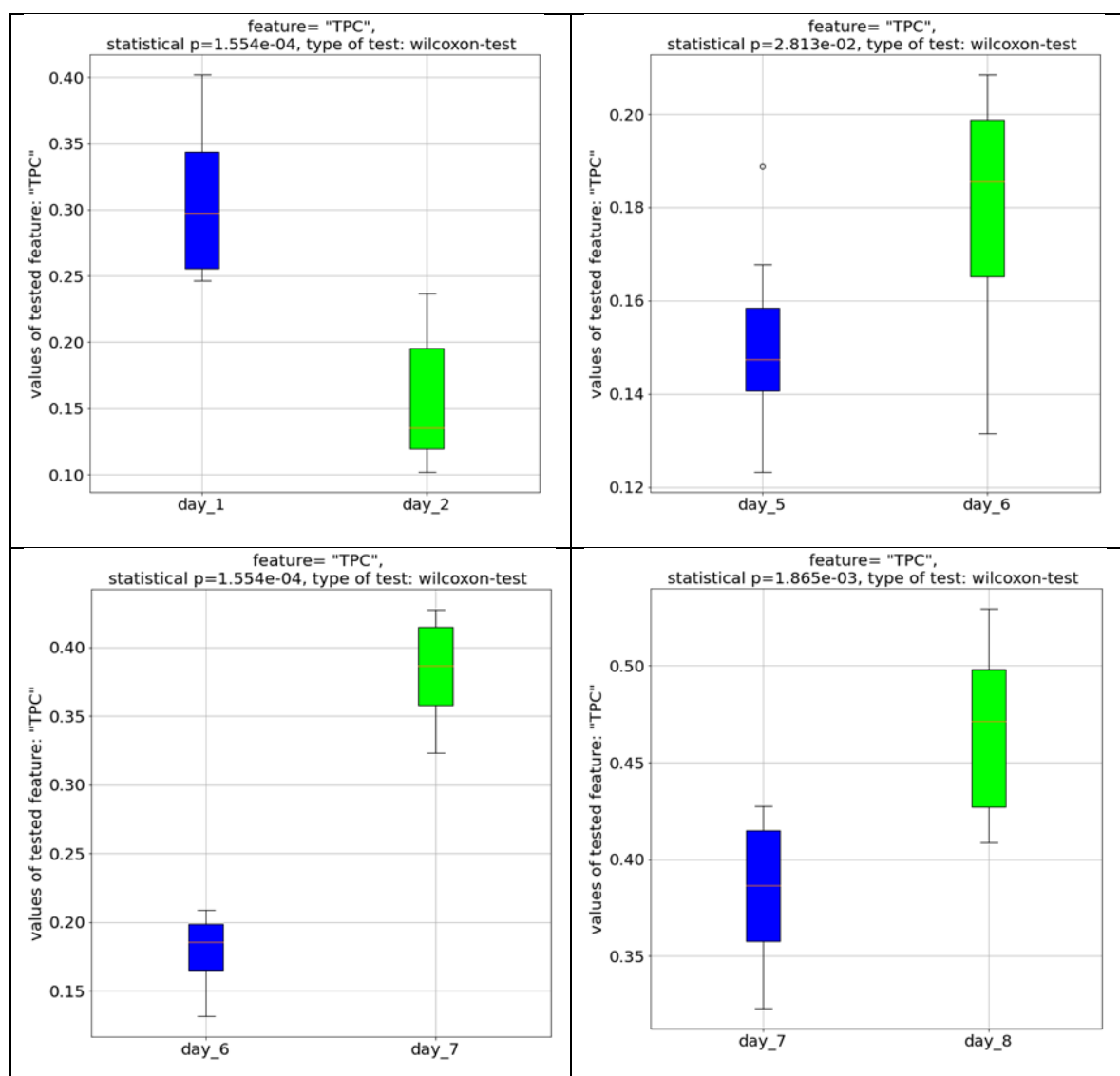
#### 4.5 Φασματοφωτομετρικές Μέθοδοι

Ο προσδιορισμός των ολικών φαινολικών ενώσεων πραγματοποιήθηκε με την μικρομέθοδο Folin–Ciocalteu για όλα τα δείγματα κατά την διάρκεια των 21 ημερών αποθήκευσης όπως φαίνεται στον Πίνακα 12. Το ολικό φαινολικό περιεχόμενο εμφάνισε σημαντική ( $P < 0,05$ ) μείωση την 4<sup>η</sup> ημέρα, μέχρι την ημέρα 11 είχε μη σημαντικές μεταβολές ενώ την 14<sup>η</sup>, 17<sup>η</sup> και 21<sup>η</sup> ημέρα αυξήθηκε σημαντικά ( $P < 0,05$ ), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8, υποδεικνύοντας έτσι ότι το περιεχόμενο σε φαινολικές ενώσεις εξαρτάται από την ωρίμανση (Kritsi et al., 2023).

Η αύξηση των ολικών φαινολικών ενώσεων στο ώριμο στάδιο έχει καταγραφεί και στη βιβλιογραφία από τους Aquino et al. (2018), ενώ διαφορές στην περιεκτικότητα των φαινολικών ουσιών μπορεί να οφείλονται στην ποικιλία, τον χειρισμό της μπανάνας πριν και μετά την συγκομιδή, το στάδιο ωρίμανσης στο οποίο βρίσκεται (Sad et al., 2018), την τοποθεσία στην οποία καλλιεργήθηκαν (Bashmil et al., 2021), τη μέθοδο εκχύλισης (είδος διαλύτη, συγκέντρωση, αναλογία διαλύτη/δείγματος και συνδυασμός χρόνου/θερμοκρασίας για την εκχύλιση) (Bashmil et al., 2021; Sulaiman et al., 2011) και στον γονότυπό της (Galani et al., 2017). Αναφορικά με την διαχείριση μετά τη συγκομιδή, σημασία για την περιεκτικότητα σε ολικές φαινολικές ενώσεις έχει και η θερμοκρασία στην οποία διατηρούνται οι μπανάνες, αφού όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο ταχύτερα μειώνεται η περιεκτικότητα των ολικών φαινολικών ουσιών (Aziz et al., 1975).

Η μείωση των φαινολικών ουσιών πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι αυτά χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα από την πολυφαινολική οξειδάση προς τον σχηματισμό κινονών (Tomás-Barberán et al., 1997). Όσο εξελίσσεται η ωρίμανση, όμως, η δραστηριότητα αυτών των ενζύμων μειώνεται (Borges et al., 2020). Κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, το περιεχόμενο των ταννινών, οι οποίες ευθύνονται για τη στυφή γεύση των άγουρων φρούτων, μεταβάλλεται λόγω του πολυμερισμού που λαμβάνει χώρα και έτσι καθίστανται αδιάλυτες και μη ανιχνεύσιμες στη γεύση, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται πιθανότατα και το φαινολικό περιεχόμενο (Bashmil et al., 2021; Watharkar et al., 2020; Fernando et al., 2014). Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα των Kyamuhangire et al. (2006), σύμφωνα με τα οποία οι ταννίνες βρέθηκαν να αυξάνονται με την ωρίμανση, λόγω του ότι γίνονται περισσότερο διαθέσιμες, και ο λόγος που μειώνεται η στηπτικότητα κατά την ωρίμανση είναι ότι οι ταννίνες δημιουργούν σύμπλοκα με πολυσακχαρίτες. Επιπλέον, έχει καταγραφεί ότι κατά την

εξέλιξη της ωρίμανσης κάποιες ποικιλίες σημείωσαν αύξηση στα περιεχόμενα τους σε γαλλοκατεχίνη, κατεχίνη και επικατεχίνη (Tsamo et al., 2015 ; Bennett et al., 2010). Αυτές οι φαινολικές ενώσεις έχουν εντοπιστεί τόσο στην σάρκα όσο και στην φλούδα της μπανάνας σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις. Γενικά, η παρουσία των ολικών φαινολικών ουσιών είναι πιο έντονη στην φλούδα από ότι στην σάρκα του φρούτου, και αυτό συμβάλλει και στο γεγονός πως και η αντιοξειδωτική δράση φαίνεται να είναι ισχυρότερη στην φλούδα από την σάρκα. Παρ' όλα αυτά η υψηλή περιεκτικότητα της σάρκας της μπανάνας σε γαλλοκατεχίνη ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την ισχυρή αντιοξειδωτική της δράση (Someya et al., 2002).



**Σχήμα 9:** Στατιστικά σημαντικές ( $P < 0,05$ ) διαφορές στο Ολικό Φαινολικό Περιεχόμενο (TPC) μεταξύ διαδοχικών ημερών.

Ακόμη έχει καταγραφεί ότι σε φρούτα πλούσια σε ανθοκυανίνες, όπου αυξάνεται το ολικό περιεχόμενό τους σε φαινολικές ενώσεις κατά την διάρκεια της ωρίμανσης (Tsamo et al., 2014). Τέλος, οι Tsamo et al. (2015) αναφέρουν πως τα υδροξυκινναμωμικά οξέα κυριαρχούν στο φαινολικό προφίλ της σάρκας της μπανάνας, όπως επίσης και την μεγάλη περιεκτικότητα αυτής σε φερουλικό οξύ. Τα φαινολικά συστατικά είναι ενδιάμεσα προϊόντα διαφόρων μεταβολικών οδών και η περιεκτικότητά τους επηρεάζεται από την δραστηριότητα ενζύμων, από τα οποία και συντίθενται, καθώς και από τους παράγοντες που επηρεάζουν την δραστηριότητα αυτών των ενζύμων (Elmastas et al., 2017).

Η εκτίμηση της αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης των μπανανών κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους ABTS και FRAP αντίστοιχα, και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 12. Η αντιριζική δράση εμφάνισε σημαντική ( $P<0,05$ ) μείωση την 4<sup>η</sup> μέρα, μη σημαντικές μεταβολές μέχρι την 14<sup>η</sup>, σημαντική ( $P<0,05$ ) αύξηση την 17<sup>η</sup> και 21<sup>η</sup> της αποθήκευσης ενώ η αντιοξειδωτική δράση παρουσίασε σημαντική ( $P<0,05$ ) μείωση την 4<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> μέρα, μέχρι την 11<sup>η</sup> μη σημαντικές μεταβολές, ενώ την 14<sup>η</sup> αυξήθηκε σημαντικά ( $P<0,05$ ) μέχρι και το τέλος της ωρίμανσης.

**Πίνακας 12:** Αποτελέσματα Ολικού Φαινολικού Περιεχομένου (TPC), Αντιριζικής (ABTS) και Αντιοξειδωτικής δράσης (FRAP) δειγμάτων σάρκας μπανάνας κατά την αποθήκευση στους  $18,0\pm 0,5$  °C.

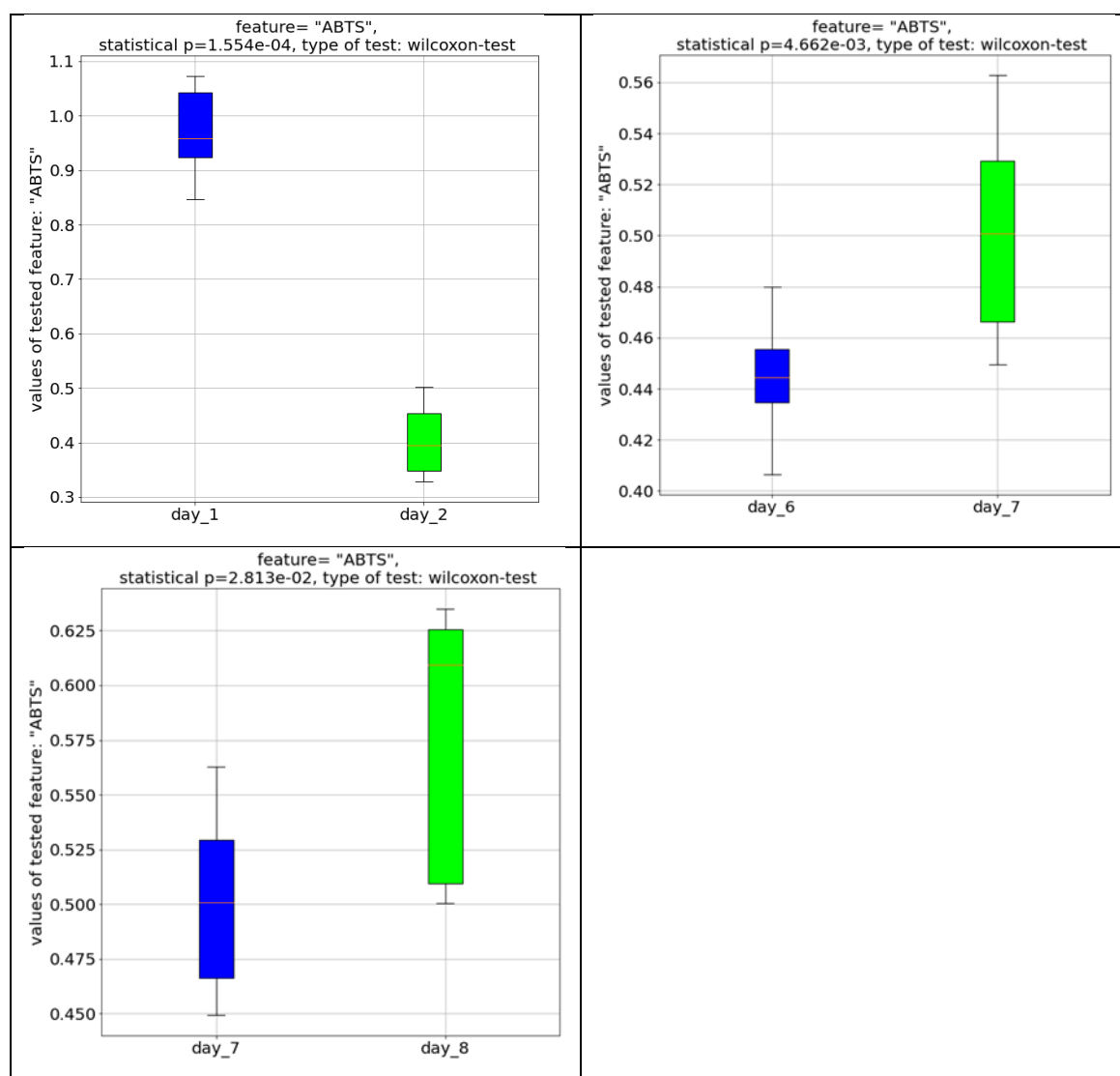
Ημέρες	Ολικό Φαινολικό Περιεχόμενο (TPC) (mg GAE / g σάρκας μπανάνας)	Αντιριζική Δράση (ABTS) (mg TE / g σάρκας μπανάνας)	Αντιοξειδωτική Δράση (FRAP) (mg Fe <sup>2+</sup> / g σάρκας μπανάνας)
2	0.309±0.063a	0.971±0.080a	2.846±0.275a
4	0.157±0.053bc	0.405±0.070b	1.507±0.273be
7	0.118±0.020b	0.385±0.036b	1.195±0.105c
9	0.122±0.027bc	0.407±0.036b	1.324±0.121cb
11	0.152±0.020bc	0.408±0.047b	1.416±0.147cbd
14	0.180±0.026c	0.444±0.024bc	1.620±0.127de
17	0.384±0.037d	0.500±0.041c	1.649±0.166de
21	0.467±0.043e	0.578±0.061d	1.762±0.196e

\*Τα αποτελέσματα αφορούν τον μέσο όρο ± τυπική απόκλιση. Διαφορετικά γράμματα μετά από κάθε τιμή υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική διαφορά.

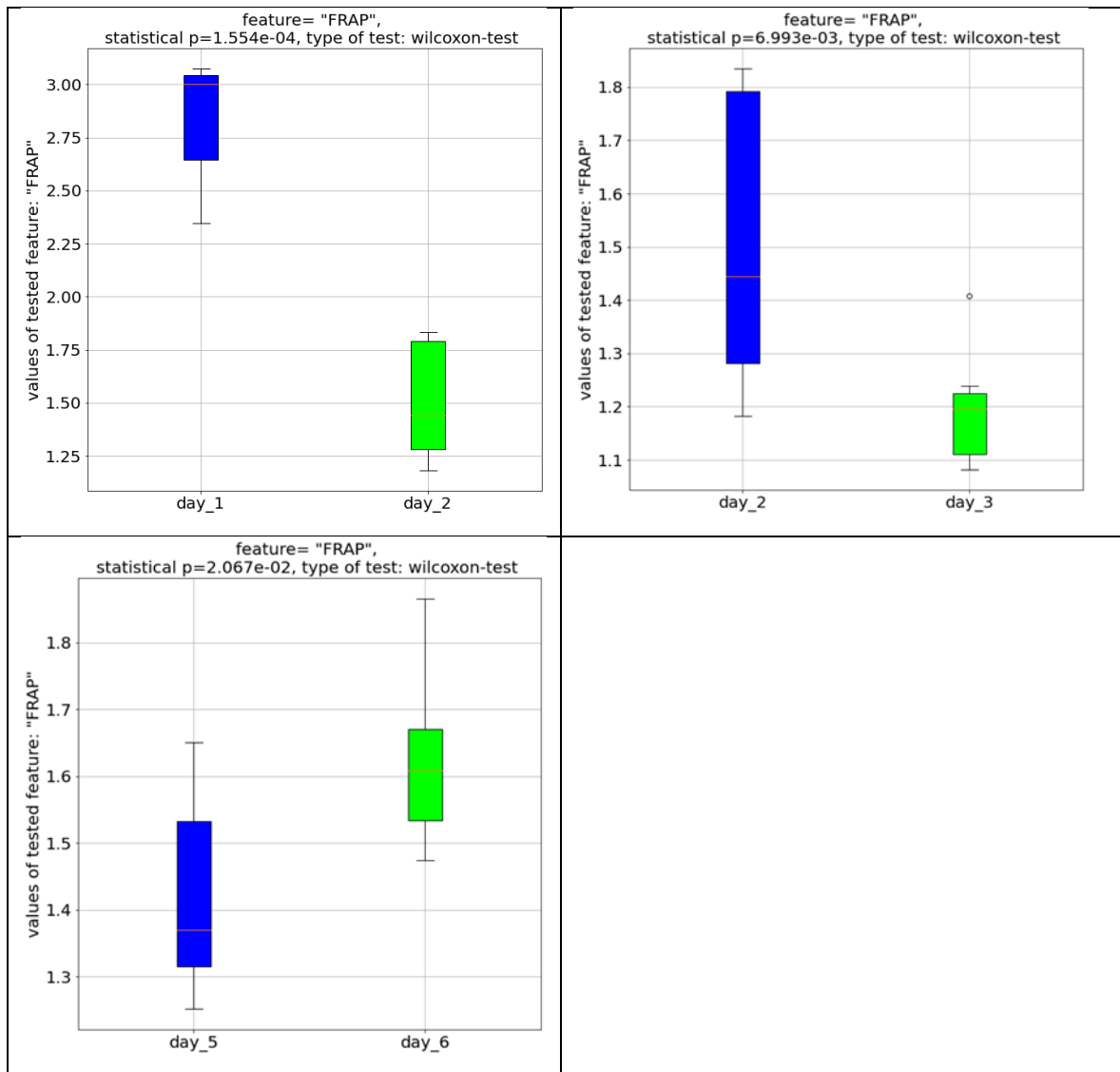


Όπως και με το ολικό φαινολικό περιεχόμενο, η αντιριζική και η αντιοξειδωτική δράση φαίνεται να εξαρτώνται από την ωρίμανση, όπως αναφέρεται σε πρόσφατη δημοσίευση της ερευνητικής μας ομάδας (Kritsi et al., 2023). Η περιεκτικότητα σε αντιοξειδωτικές ουσίες στα εκχυλίσματα, εξαρτάται από τους ίδιους παράγοντες που επηρεάζουν και τις φαινολικές ουσίες και γι' αυτό τον λόγο το ολικό φαινολικό περιεχόμενο έδειξε παρόμοιο μοτίβο μεταβολής με την αντιοξειδωτική δράση τόσο στην έρευνά μας όσο και στην βιβλιογραφία (de Souza et al., 2021; Youryon et al., 2017). Η μεταβολή της αντιοξειδωτικής δράσης που παρατηρήθηκε, όπου στην αρχή μειώνεται και ύστερα αυξάνεται στο ώριμο φρούτο, έχει καταγραφεί και στη βιβλιογραφία από τους Watharkar et al. (2020), ενώ έρχεται σε αντίθεση με ευρήματα των Bashmil et al. (2021) όπου η αντιοξειδωτική δράση διαφόρων ποικιλιών μπανάνας βρέθηκε μικρότερη στο ώριμο φρούτο από ότι στο ανώριμο. Σύμφωνα με τους Fernando et al. (2014) τα αποτελέσματα της μεθόδου FRAP για την αντιοξειδωτική δράση διαφέρουν συνήθως ανάλογα με το στάδιο ωρίμανσης λόγω διαφορών στις συγκεντρώσεις των αντιοξειδωτικών ενώσεων. Η αντιοξειδωτική δράση των εκχυλισμάτων πιθανότατα εξαρτάται από τον τύπο και την ποσότητα των φαινολικών ενώσεων αλλά και από την παρουσία μη φαινολικών αντιοξειδωτικών ουσιών, όπως η βιταμίνη C και E και το β-καροτένιο, τα οποία μπορούν να αυξήσουν την αντιοξειδωτική δράση (Sulaiman, Yusoff, et al., 2011; Bashmil et al., 2021). Αντιοξειδωτικά όπως το ασκορβικό οξύ, η βιταμίνη E, οι πολυφαινόλες και τα φλαβονοειδή προστατεύουν τα βιομόρια που υπάρχουν στα φρούτα από τη δράση των ελευθέρων ριζών (Deshmukh et al., 2009). Η αντιοξειδωτική δράση των μπανανών και οι μεταβολές σε αυτήν μπορεί να οφείλονται και στο περιεχόμενό τους σε γαλλοκατεχίνη (Someya et al., 2002). Γενικά, έχει προταθεί ότι οι φαινολικές ουσίες είναι υπεύθυνες για την αντιοξειδωτική δράση (Aquino et al. 2015; Bashmil et al., 2021; de Souza et al., 2021) και μάλιστα ότι έχουν μεγαλύτερη αντιοξειδωτική δράση από τα καροτενοειδή, την βιταμίνη C και E (Ferdous et al., 2020). Αξίζει να αναφερθεί η μελέτη των Kanazawa et al. (2000) οι οποίοι προσδιόρισαν ποσότητες φλαβονοειδών, κατεχολαμινών και άλλων γνωστών αντιοξειδωτικών ουσιών τόσο στη φλούδα όσο και στην σάρκα της μπανάνας στα διάφορα στάδια ωρίμανσης. Η παρούσα μελέτη ανακάλυψε ότι η σάρκα της μπανάνας περιείχε ένα ισχυρό αντιοξειδωτικό, την ντοπαμίνη, σε μεγάλη ποσότητα που μειώθηκε λίγο με την ωρίμανση, με μερικά χιλιοστόγραμμα ντοπαμίνης να είναι παρόντα στην σάρκα στο στάδιο που συνήθως καταναλώνεται ενώ φάνηκε πως η αντιοξειδωτική ισχύς της ήταν παρόμοια με αυτή

των ισχυρών αντιοξειδωτικών γαλλοκατεχίνη και ασκορβικό οξύ που εντοπίζονται στην μπανάνα. Η ισχυρή αντιοξειδωτική ισχύς της μπανάνας έχει αποδοθεί στις κατεχολαμίνες και από τους Deshmukh et al. (2009). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ακόμα και όταν οι μπανάνες ήταν σε ώριμο στάδιο, το ολικό φαινολικό περιεχόμενο αυξήθηκε με την εξέλιξη της ωρίμανσης ενώ η αντιριζική και αντιοξειδωτική δράση που αρχικά μειώθηκαν, στην συνέχεια αυξήθηκαν σε μικρότερη βέβαια της αρχικής περιεκτικότητας. Από το παραπάνω καθίσταται σαφές ότι η μπανάνα είναι ένα φρούτο με πολλά οφέλη για την υγεία ακόμα και στο ώριμο στάδιο.



**Σχήμα 10:** Στατιστικά σημαντικές ( $P < 0,05$ ) διαφορές στην αντιριζική δράση όπως υπολογίστηκε με την μέθοδο ABTS μεταξύ διαδοχικών ημερών.

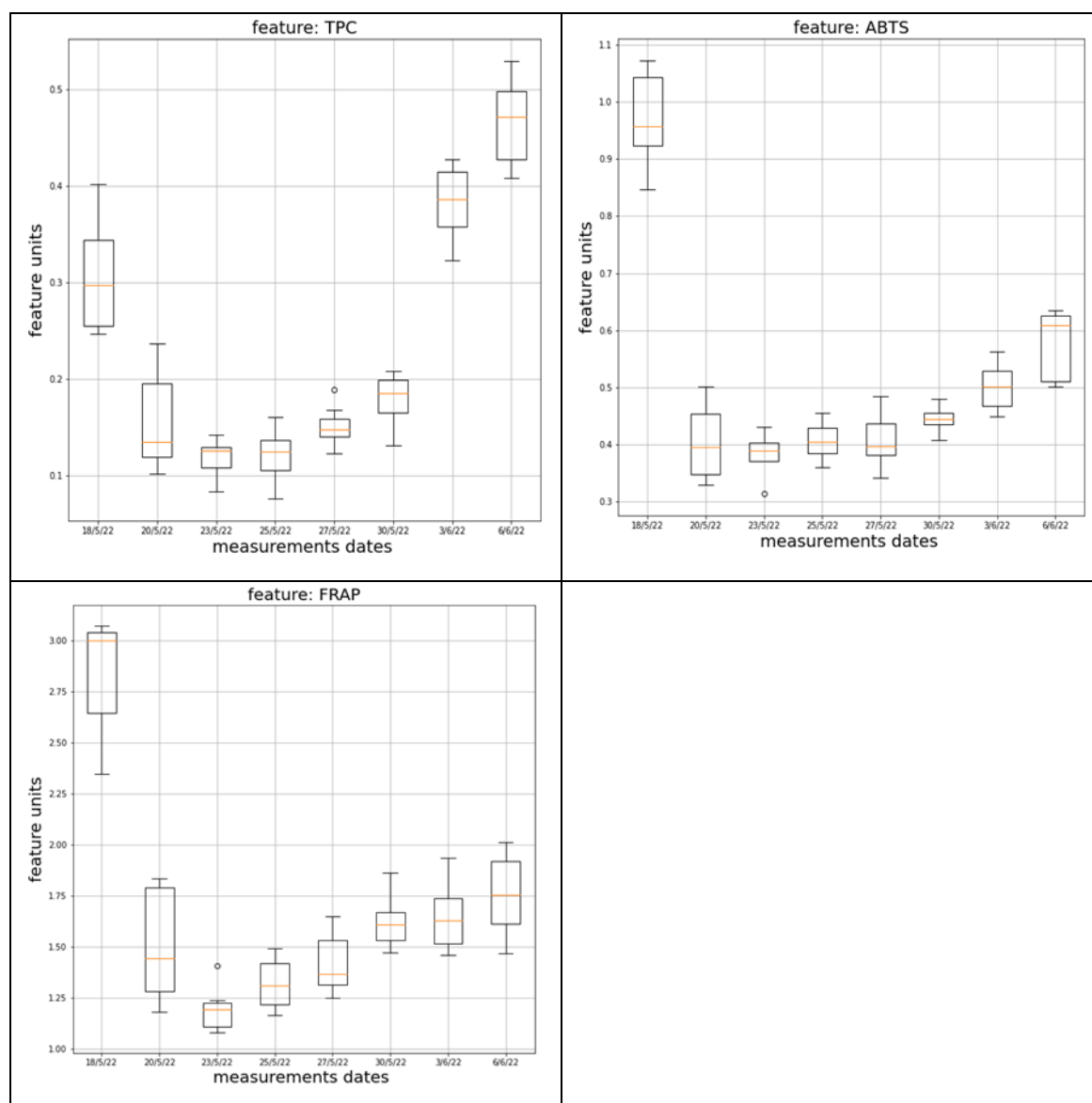


**Σχήμα 11:** Στατιστικά σημαντικές ( $P < 0,05$ ) διαφορές στην αντιοξειδωτική δράση όπως υπολογίστηκε με την μέθοδο FRAP μεταξύ διαδοχικών ημερών.

Εν τέλει, φαίνεται να επιβεβαιώνεται ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα της μπανάνας μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό στις φαινολικές ενώσεις που βοηθούν στην παράταση της διάρκειας της ζωής, και οι οποίες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα για την ανθρώπινη υγεία (Bashmil et al., 2021; Youryon et al., 2017). Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η αντιοξειδωτική ικανότητα των φαινολικών εξαρτάται από το μοριακό τους βάρος, το σύνολο των αρωματικών δακτυλίων και τον αριθμό και τη θέση των υδροξυλομάδων που συνδέονται με τον αρωματικό δακτύλιο.

Επιπλέον, έχει υποστηριχθεί ότι παράμετροι όπως η στερεοεκλεκτικότητα των ριζών ή η διαλυτότητα των φαινολικών σε διάφορες συνθήκες επηρεάζουν την ικανότητα των εκχυλισμάτων να αντιδρούν με και να εξαλείφουν διάφορες ρίζες (Bashmil et al., 2021). Παραδείγματος χάριν, οι τανίνες, ως φαινολικές ουσίες υψηλού

μοριακού βάρους, έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να δεσμεύουν τις ελεύθερες ρίζες (ABTS<sup>•+</sup>) (Hagerman et al., 1998).



**Σχήμα 12:** Ολικό φαινολικό περιεχόμενο (TPC), αντιριζική (ABTS<sup>•+</sup>) και αντιοξειδωτική δράση (FRAP) της σάρκας των μπανανών κατά την αποθήκευσή τους για 21 ημέρες.

## 5. Συμπεράσματα

Ως απόρροια όλων όσων προαναφέρθηκαν γίνεται αντιληπτό πως η τεράστια κατανάλωση της μπανάνας σε όλο τον κόσμο, παρ' ότι είναι ένα τροπικό φρούτο, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην χαρακτηριστική της γεύση και στην υψηλή διατροφική της αξία. Είναι καλή πηγή μετάλλων, βιταμινών και βιοδραστικών ενώσεων, η ποσότητα των οποίων ποικίλει ανάλογα με την ποικιλία. Για την μέγιστη, λοιπόν, αξιοποίηση όλων των οφελών της είναι απαραίτητη η μελέτη της ωρίμανσης της, η οποία ευθύνεται για τις δραματικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν.

Κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, συμβαίνουν μεταβολές στο χρώμα, την υφή, τη γεύση, το άρωμα και τα συστατικά της σάρκας και της φλούδας. Έτσι, προκειμένου να γίνει μια ολοκληρωμένη έρευνα σχετικά με την εξέλιξη της ωρίμανσης της μπανάνας και τις φυσικοχημικές μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στην φλούδα και την σάρκα σε ελεγχόμενη θερμοκρασία αποθήκευσης, μελετήθηκαν αυτές οι μεταβολές με την συνδυαστική εφαρμογή Φασματοσκοπίας Μετασχηματισμού Fourier με Αποσβένουσα Ολική Ανάκλαση (ATR-FTIR), ανάλυση υφής, φασματοφωτομετρικών μεθόδων, μετρήσεων των φυσικοχημικών παραγόντων και ανάλυσης εικόνας.

Ένα από τα σπουδαιότερα ευρήματα είναι ότι κατά την διάρκεια της ωρίμανσης, στην φλούδα παρατηρείται αύξηση της κόκκινης απόχρωσης, μείωση της φωτεινότητας, μεταβολή του κίτρινου σε σκούρο μπλε και αύξηση της διαφοράς των γκρι επιπέδων και της ανομοιογένειας των δομών της υφής της εικόνας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από την φασματοσκοπία ATR-FTIR και τις φυσικοχημικές παραμέτρους, οι ημέρες 7 και 11 παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς μετά από αυτές παρατηρήθηκαν σημαντικές αλλαγές στην σύσταση της σάρκας. Από την ανάλυση υφής της εικόνας των χαρακτηριστικών της φλούδας, επιτεύχθηκε υψηλής ακρίβειας διαχωρισμός των δειγμάτων σε 4 στάδια ωρίμανσης (ημέρα 2, 7, 11 και 21), κατά την διάρκεια της αποθήκευσης.

Όσον αφορά την σάρκα της μπανάνας, σημειώθηκε αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών και μεταβολές στην οξύτητα τα οποία συνδυαστικά επηρεάζουν την γεύση και την οργανοληπτική αποδοχή. Τα ολικά διαλυτά στερεά όπως και η περιεκτικότητα υγρασίας αυξήθηκαν προοδευτικά μέχρι την 7<sup>η</sup> ημέρα ενώ μετά από αυτή παρατηρήθηκαν δραστικές αλλαγές στις παραμέτρους της υφής. Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνονται από τα φάσματα υπερύθρου με την τεχνική ATR-FTIR όπου οι κορυφές που σχετίζονται με την παρουσία αμύλου (αμυλόζη και αμυλοπηκτίνη)

εμφάνισαν δραματική μείωση ή απουσία από την ημέρα 7 και μετά, ενώ οι κορυφές που σχετίζονται με την παρουσία σακχαρόζης και φρουκτόζης εμφάνισαν δραματική αύξηση από την ημέρα 7 και πέρα. Ακόμη, οι κορυφές που σχετίζονται με την περιεκτικότητα σε υγρασία εμφάνισαν σημαντική αύξηση από την ημέρα 11 και έπειτα. Τα ευρήματα από τα ολικά διαλυτά στερεά και από τη φασματοσκοπία μέσου υπέρυθρου σχετικά με την διάσπαση του αμύλου, επιβεβαιώνονται και από το τεστ ιωδίου που πραγματοποιήθηκε στην σάρκα, κατά το οποίο παρατηρήθηκε από την μεταβολή του χρώματος η μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα και η καταστροφή του συμπλόκου αμυλόζης-ιωδίου. Το κόκκινο και κίτρινο χρώμα της φλούδας της μπανάνας βρέθηκε ότι έχει ισχυρή συσχέτιση με την διάρκεια αποθήκευσης, ενώ η υγρασία, οι παράμετροι της μηχανικής υφής και τα ολικά διαλυτά στερεά, έδειξαν ότι οι αλλαγές στις παραμέτρους του χρώματος της φλούδας έχουν θετική ή αρνητική συσχέτιση με τις αλλαγές στην σύσταση και την υφή της σάρκας.

Τέλος, το ολικό φαινολικό περιεχόμενο παρουσίασε ελάττωση κατά την διάρκεια της ωρίμανσης ενώ στο τέλος αυτής (ημέρες 14, 17 και 21) παρουσίασε σημαντική αύξηση κάτι που θα μπορούσε να οφείλεται στην αύξηση της διαθεσιμότητας των ταννινών, την αύξηση στα περιεχόμενα κατεχίνης και επικατεχίνης ή σε μεταβολές στις μεταβολικές οδούς στις οποίες αποτελούν ενδιάμεσα προϊόντα. Η αντιριζική και αντιοξειδωτική δράση επίσης παρουσίασαν μείωση στην αρχή της ωρίμανσης ενώ στο τέλος αυξήθηκαν σημαντικά (ημέρα 14 και 17) κάτι που θα μπορούσε να σχετίζεται με την αύξηση των φαινολικών ενώσεων οι οποίες έχουν αντιοξειδωτική δράση. Έτσι, καταδεικνύεται η υψηλή θρεπτική αξία της μπανάνας ακόμα και σε ώριμο στάδιο και η καίρια σημασία των φαινολικών ενώσεων της μπανάνας λόγω της αντιοξειδωτικής τους δράσης, οι οποίες σχετίζονται με πολλά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα αυτά τα ευρήματα, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για ακόμη εκτενέστερη μελέτη της ωρίμανσης με σκοπό την απόκτηση περαιτέρω πληροφοριών και γνώσεων. Λόγω της ισχυρής αντιριζικής και αντιοξειδωτικής δράσης και της μεγάλης περιεκτικότητας σε φαινολικές ενώσεις η έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση θεωρείται μεγάλου ενδιαφέροντος και μέθοδοι όπως η υγρή χρωματογραφία με φασματομετρία μάζας (LC-MS/MS) σε συνδυασμό με *in silico* τεχνικές και τις κλασικές φασματοφωτομετρικές αναλύσεις που αναφέρονται και στην παρούσα έρευνα θα μπορούσε να οδηγήσει σε πρωτότυπα αποτελέσματα. Επιπλέον, η μελέτη της επίδρασης επικαλύψεων (coatings) στην φλούδα της μπανάνας θα ήταν

ιδιαίτερης σημασίας έρευνα και ιδίως αν επιτυγχανόταν ο εμπλουτισμός του ή η ολική του δημιουργία με φυσικά αντιοξειδωτικά συστατικά που θα ενίσχυαν την ήδη πολύ πλούσια σε αντιοξειδωτικά φλούδα. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν να μελετηθούν τόσο οι αλλαγές που θα παρατηρούνταν στις μεταβολές των φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της σάρκας όσο και η αξιοποίηση της ενισχυμένης με αντιοξειδωτικά φλούδας ως απόβλητο ή παραπροϊόν. Τέλος, η ωρίμανση με τεχνητές μεθόδους μέσω της χρήσης χημικών παραγόντων ενώ έχει ερευνηθεί σε μικρό βαθμό, η επίδραση που έχει στην διατροφική αξία του προϊόντος δεν είναι τελείως γνωστή και γι' αυτό τον λόγο αποτελεί ένα ενδιαφέρον θέμα για περαιτέρω έρευνα, κυρίως λόγω της μεγάλης οικονομικής σημασίας που διαδραματίζει η μπανάνα για το παγκόσμιο εμπόριο τροφίμων.

Κατά συνέπεια, αυτά τα ευρήματα τονίζουν την σημαντικότητα ανάπτυξης εργαλείου για την εκτίμηση της ωρίμανσης της μπανάνας, με πιθανή χρήση και σε άλλα φρούτα και λαχανικά.

## **6. Δημοσιοποίηση της ερευνητικής μελέτης**

Από την παρούσα μελέτη προέκυψαν δύο επιστημονικές δημοσιεύσεις οι οποίες στάλθηκαν σε επιστημονικά περιοδικά με σύστημα κριτών προς δημοσίευση.

Η μία εργασία [Kritsi, E., Tsiaka, T., Sotiroudis, G., Mouka, E., Aouant, K., Ladika, G., ... & Sinanoglou, V. J. (2023). Potential Health Benefits of Banana Phenolic Content during Ripening by Implementing Analytical and In Silico Techniques. *Life*, 13(2), 332.] έχει ήδη δημοσιευτεί.

Η δεύτερη εργασία είναι στο στάδιο της ανασκόπησης για δημοσίευση στο περιοδικό *Applied Sciences*.

## Βιβλιογραφία

- Abou Aziz, A. B., Abdel-Wahab, F. K., & El-Ghandour, M. A. (1976). Effect of different storage temperatures on phenolic compounds in banana and mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 4(4), 309-315.
- Adão, R. C., & Glória, M. B. A. (2005). Bioactive amines and carbohydrate changes during ripening of Prata'banana (*Musa acuminata* × *M. balbisiana*). *Food Chemistry*, 90(4), 705-711.
- Adedayo, B. C., Oboh, G., Oyeleye, S. I., & Olasehinde, T. A. (2016). Antioxidant and antihyperglycemic properties of three banana cultivars (*Musa* spp.). *Scientifica*, 2016.
- Adeyemi, O. S., & Oladiji, A. T. (2009). Compositional changes in banana (*Musa* ssp.) fruits during ripening. *African Journal of Biotechnology*, 8(5).
- Agravante, J. U., Matsui, T., & Kitagawa, H. (1989, June). Starch breakdown and changes in amylase activity during ripening of ethylene-and ethanol-treated bananas. In *Symposium on Tropical Fruit in International Trade 269* (pp. 133-140).
- Andreou, V., Strati, I. F., Fotakis, C., Liouni, M., Zoumpoulakis, P., & Sinanoglou, V. J. (2018). Herbal distillates: A new era of grape marc distillates with enriched antioxidant profile. *Food Chemistry*, 253, 171-178.
- Anjos, O., Campos, M. G., Ruiz, P. C., & Antunes, P. (2015). Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. *Food chemistry*, 169, 218-223.
- Aquino, C. F., Salomão, L. C. C., Pinheiro-Sant'ana, H. M., Ribeiro, S. M. R., Siqueira, D. L. D., & Cecon, P. R. (2018). Carotenoids in the pulp and peel of bananas from 15 cultivars in two ripening stages. *Revista Ceres*, 65, 217-226.
- Aquino, Cesar Fernandes, et al. "Carbohydrates, phenolic compounds and antioxidant activity in pulp and peel of 15 banana cultivars." *Revista Brasileira de Fruticultura* 38 (2016).
- Bashmil, Y. M., Ali, A., Bk, A., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. (2021). Screening and characterization of phenolic compounds from australian grown bananas and their antioxidant capacity. *Antioxidants*, 10(10), 1521.
- Bello-Perez, Luis Arturo, et al. "Morphological and molecular studies of banana starch." *Food Science and Technology International* 11.5 (2005): 367-372.
- Bennett, R. N., Shiga, T. M., Hassimotto, N. M., Rosa, E. A., Lajolo, F. M., & Cordenunsi, B. R. (2010). Phenolics and antioxidant properties of fruit pulp and cell wall fractions of postharvest banana (*Musa acuminata* Juss.) cultivars. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(13), 7991-8003.



- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bleecker, A. B., & Schaller, G. E. (1996). The mechanism of ethylene perception. *Plant physiology*, 111(3), 653.
- Bora, G. C., Lin, D., Bhattacharya, P., Bali, S. K., & Pathak, R. (2015). Application of bio-image analysis for classification of different ripening stages of banana. *Journal of Agricultural Science*, 7(2), 152.
- Borges, C. V., Maraschin, M., Coelho, D. S., Leonel, M., Gomez, H. A. G., Belin, M. A. F., ... & Lima, G. P. P. (2020). Nutritional value and antioxidant compounds during the ripening and after domestic cooking of bananas and plantains. *Food Research International*, 132, 109061.
- Brangule, A., Šukele, R., & Bandere, D. (2020). Herbal medicine characterization perspectives using advanced FTIR sample techniques—diffuse reflectance (DRIFT) and photoacoustic spectroscopy (PAS). *Frontiers in Plant Science*, 11, 356.
- Brat, P., Yahia, A., Chillet, M., Bugaud, C., Bakry, F., Reynes, M., & Brillouet, J. M. (2004). Influence of cultivar, growth altitude and maturity stage on banana volatile compound composition. *Fruits*, 59(2), 75-82.
- Burdon, J. N., Dori, S., Lomaniec, E., Marinansky, R., & Pesis, E. (1994). The post-harvest ripening of water stressed banana fruits. *Journal of Horticultural Science*, 69(5), 799-804.
- Chandra, R. D., Siswanti, C. A., Prihastyanti, M. N., Limantara, L., & Brotosudarmo, T. H. (2020). Evaluating Provitamin A Carotenoids and Polar Metabolite Compositions during the Ripening Stages of the Agung Semeru Banana (*Musa paradisiaca* L. AAB). *International journal of food science*, 2020.
- Chauhan, O. P., Raju, P. S., Dasgupta, D. K., & Bawa, A. S. (2006). Instrumental textural changes in banana (var. Pachbale) during ripening under active and passive modified atmosphere. *International Journal of Food Properties*, 9(2), 237-253.
- Cordenunsi, B. R., & Lajolo, F. M. (1995). Starch breakdown during banana ripening: sucrose synthase and sucrose phosphate synthase. *Journal of agricultural and food chemistry*, 43(2), 347-351.
- Cordenunsi-Lysenko, B. R., Nascimento, J. R. O., Castro-Alves, V. C., Purgatto, E., Fabi, J. P., & Peroni-Okyta, F. H. G. (2019). The starch is (not) just another brick in the wall: the primary metabolism of sugars during banana ripening. *Frontiers in plant science*, 10, 391.
- Das, R., & Kayastha, A. M. (2019). Enzymatic hydrolysis of native granular starches by a new  $\beta$ -amylase from peanut (*Arachis hypogaea*). *Food chemistry*, 276, 583-590.

- Dayan, N. (2008). *Skin aging handbook: an integrated approach to biochemistry and product development*. William Andrew.
- de Souza, A. V., de Mello, J. M., da Silva Favaro, V. F., dos Santos, T. G. F., dos Santos, G. P., de Lucca Sartori, D., & Ferrari Putti, F. (2021). Metabolism of bioactive compounds and antioxidant activity in bananas during ripening. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11), e15959.
- del Mar Verde Méndez, C., Forster, M. P., Rodríguez-Delgado, M. Á., Rodríguez-Rodríguez, E. M., & Díaz Romero, C. (2003). Content of free phenolic compounds in bananas from Tenerife (Canary Islands) and Ecuador. *European Food Research and Technology*, 217(4), 287-290.
- Deshmukh, M. H., Pai, S. R., Nimbalkar, M. S., & Patil, R. P. (2009). Biochemical characterization of banana cultivars from Southern India. *International journal of fruit science*, 9(4), 305-322.
- Du, L., Yang, X., Song, J., Ma, Z., Zhang, Z., & Pang, X. (2014). Characterization of the stage dependency of high temperature on green ripening reveals a distinct chlorophyll degradation regulation in banana fruit. *Scientia Horticulturae*, 180, 139-146.
- Dwivany, F. M., Aprilyandi, A. N., Suendo, V., & Sukriandi, N. (2020). Carrageenan edible coating application prolongs Cavendish banana shelf life. *International Journal of Food Science*, 2020.
- Elmastaş, M., Demir, A., Genç, N., Dölek, Ü., & Güneş, M. (2017). Changes in flavonoid and phenolic acid contents in some Rosa species during ripening. *Food Chemistry*, 235, 154-159.
- Emaga, T. H., Andrianaivo, R. H., Wathelet, B., Tchango, J. T., & Paquot, M. (2007). Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food chemistry*, 103(2), 590-600.
- Fang, J. M., Fowler, P. A., Tomkinson, J., & Hill, C. A. S. (2002). The preparation and characterisation of a series of chemically modified potato starches. *Carbohydrate polymers*, 47(3), 245-252.
- Ferdaus, M. J., Ferdous, Z., Sara, R. J., Mahin, M. G., & Faruque, M. O. (2020). Total Antioxidants Activity and Proximate Analysis of Selected Fruits and Vegetables in Jashore Region, Bangladesh. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(3), 785-797.
- Fernando, H. R. P., Srilaong, V., Pongprasert, N., Boonyaritthongchai, P., & Jitareerat, P. (2014). Changes in antioxidant properties and chemical composition during ripening in banana variety 'Hom Thong' (AAA group) and 'Khai' (AA group). *International Food Research Journal*, 21(2), 749.
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2022. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> . Accessed October 2022

- Forster, M., Rodríguez Rodríguez, E., Darias Martín, J., & Díaz Romero, C. (2003). Distribution of nutrients in edible banana pulp. *Food Technology and Biotechnology*, *41*(2), 167-171.
- Galani, J. H., Patel, J. S., Patel, N. J., & Talati, J. G. (2017). Storage of fruits and vegetables in refrigerator increases their phenolic acids but decreases the total phenolics, anthocyanins and vitamin C with subsequent loss of their antioxidant capacity. *Antioxidants*, *6*(3), 59.
- Hagerman, A. E., Riedl, K. M., Jones, G. A., Sovik, K. N., Ritchard, N. T., Hartzfeld, P. W., & Riechel, T. L. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *Journal of agricultural and food chemistry*, *46*(5), 1887-1892.
- Hailu, M., Workneh, T. S., & Belew, D. (2013). Review on postharvest technology of banana fruit. *African Journal of Biotechnology*, *12*(7).
- Hibler, M., & Hardy, D. (1994). Breeding a better banana. *IDRC reports*, v. 22, no. 1.
- Huber, D. J. (1983). The role of cell wall hydrolases in fruit softening. *Hort. Rev.*, *5*, 169-219.
- Islam, M. N., Imtiaz, M. Y., Alam, S. S., Nowshad, F., Shadman, S. A., & Khan, M. S. (2018). Artificial ripening on banana (*Musa Spp.*) samples: Analyzing ripening agents and change in nutritional parameters. *Cogent Food & Agriculture*, *4*(1), 1477232.
- Jaiswal, P., Jha, S. N., Kaur, P. P., Bhardwaj, R., Singh, A. K., & Wadhawan, V. (2014). Prediction of textural attributes using color values of banana (*Musa sapientum*) during ripening. *Journal of food science and technology*, *51*(6), 1179-1184.
- Jiang, H., Zhang, Y., Hong, Y., Bi, Y., Gu, Z., Cheng, L., ... & Li, C. (2015). Digestibility and changes to structural characteristics of green banana starch during in vitro digestion. *Food Hydrocolloids*, *49*, 192-199.
- Jiang, S., & Penner, M. H. (2022). The Effect of p-Coumaric Acid on Browning Inhibition in Potato Polyphenol Oxidase-Catalyzed Reaction Mixtures. *Foods*, *11*(4), 577.
- Kajuna, S. T., Bilanski, W. K., & Mittal, G. S. (1997). Textural changes of banana and plantain pulp during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *75*(2), 244-250.
- Kanazawa, K., & Sakakibara, H. (2000). High content of dopamine, a strong antioxidant, in cavendish banana. *Journal of agricultural and food chemistry*, *48*(3), 844-848.
- Kandasamy, S., & Aradhya, S. M. (2014). Polyphenolic profile and antioxidant properties of rhizome of commercial banana cultivars grown in India. *Food Bioscience*, *8*, 22-32.

- Kędzierska-Matysek, M., Matwijczuk, A., Florek, M., Barłowska, J., Wolanciuk, A., Matwijczuk, A., ... & Gładyszewska, B. (2018). Application of FTIR spectroscopy for analysis of the quality of honey. In *BIO Web of Conferences* (Vol. 10, p. 02008). EDP Sciences.
- Kozłowicz, K., Różyło, R., Gładyszewska, B., Matwijczuk, A., Gładyszewski, G., Chocyk, D., ... & Smolewska, M. (2020). Identification of sugars and phenolic compounds in honey powders with the use of GC–MS, FTIR spectroscopy, and X-ray diffraction. *Scientific reports*, *10*(1), 1-10.
- Krinsky, N. I., & Johnson, E. J. (2005). Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular aspects of medicine*, *26*(6), 459-516.
- Kritsi, E., Tsiaka, T., Sotiroidis, G., Mouka, E., Aouant, K., Ladika, G., ... & Sinanoglou, V. J. (2023). Potential Health Benefits of Banana Phenolic Content during Ripening by Implementing Analytical and In Silico Techniques. *Life*, *13*(2), 332.
- Kyamuhangire, W., Krekling, T., Reed, E., & Pehrson, R. (2006). The microstructure and tannin content of banana fruit and their likely influence on juice extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *86*(12), 1908-1915.
- Labaky, P., Dahdouh, L., Ricci, J., Wisniewski, C., Pallet, D., Louka, N., & Grosmaire, L. (2021). Impact of ripening on the physical properties of mango purees and application of simultaneous rheometry and in situ FTIR spectroscopy for rapid identification of biochemical and rheological changes. *Journal of Food Engineering*, *300*, 110507.
- Lantzouraki, D. Z., Sinanoglou, V. J., Zoumpoulakis, P. G., Glamočlija, J., Ćirić, A., Soković, M., ... & Proestos, C. (2015). Antiradical–antimicrobial activity and phenolic profile of pomegranate (*Punica granatum* L.) juices from different cultivars: a comparative study. *Rsc Advances*, *5*(4), 2602-2614.
- Lantzouraki, D. Z., Sinanoglou, V. J., Zoumpoulakis, P., & Proestos, C. (2016). Comparison of the antioxidant and antiradical activity of pomegranate (*Punica granatum* L.) by ultrasound-assisted and classical extraction. *Analytical Letters*, *49*(7), 969-978.
- Li, X., Chen, W., Chang, Q., Zhang, Y., Zheng, B., & Zeng, H. (2020). Structural and physicochemical properties of ginger (*Rhizoma curcumae longae*) starch and resistant starch: A comparative study. *International journal of biological macromolecules*, *144*, 67-75.
- Li, Y., Kong, D., & Wu, H. (2018). Comprehensive chemical analysis of the flower buds of five *Lonicera* species by ATR-FTIR, HPLC-DAD, and chemometric methods. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *28*, 533-541.
- Lohani, S., Trivedi, P. K., & Nath, P. (2004). Changes in activities of cell wall hydrolases during ethylene-induced ripening in banana: effect of 1-MCP, ABA and IAA. *Postharvest Biology and Technology*, *31*(2), 119-126.

- Luiz, L. D. C., Nascimento, C. A., BELL, M. J. V., Batista, R. T., Meruva, S., & Anjos, V. (2022). Use of mid infrared spectroscopy to analyze the ripening of Brazilian bananas. *Food Science and Technology*, 42.
- Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J. (2017). Biochemical changes during ripening of banana: A review.
- Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J. (2019). Induced ripening agents and their effect on fruit quality of banana. *International journal of food science*, 2019.
- Maduwanthi, S. D. T., & Marapana, R. A. U. J. (2021). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of banana (*Musa acuminata*, AAB) as affected by induced ripening agents. *Food Chemistry*, 339, 127909.
- Marriott, J., & Palmer, J. K. (1980). Bananas—physiology and biochemistry of storage and ripening for optimum quality. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 13(1), 41-88.
- Mendoza, F., & Aguilera, J. M. (2004). Application of image analysis for classification of ripening bananas. *Journal of food science*, 69(9), E471-E477.
- Mohapatra D., Sabayasachi M., Namrata S., 2010. Banana and its by-products utilisation: an overview. *J. Sci. Ind. Res.* 69, 323-329.
- Mohapatra, A., Yuvraj, B., & Shanmugasundaram, S. (2016). Physicochemical changes during ripening of red banana. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(3), 1340-1348.
- Mohapatra, D., Mishra, S., & Sutar, N. (2010). Banana and its by-product utilisation: an overview.
- Moreno, J. L., Tran, T., Cantero-Tubilla, B., López-López, K., Becerra Lopez Lavalle, L. A., & Dufour, D. (2021). Physicochemical and physiological changes during the ripening of Banana (*Musaceae*) fruit grown in Colombia. *International journal of food science & technology*, 56(3), 1171-1183.
- Muthal, T., Harini, R., Sunil, C. K., & Chidanand, D. (2019). Effect of Artificial Ripening Techniques on Physico-Chemical Properties of Banana (*Musa sp*) Variety 'Poovan'. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*.
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2006). Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1523-1542.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret FTIR spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97-118.

- Nguyen, T. B. T., Ketsa, S., & Van Doorn, W. G. (2003). Relationship between browning and the activities of polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase in banana peel during low temperature storage. *Postharvest Biology and Technology*, *30*(2), 187-193.
- Oliveira, R. N., Mancini, M. C., Oliveira, F. C. S. D., Passos, T. M., Quilty, B., Thiré, R. M. D. S. M., & McGuinness, G. B. (2016). FTIR analysis and quantification of phenols and flavonoids of five commercially available plants extracts used in wound healing. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *21*, 767-779.
- Pathak, N., Asif, M. H., Dhawan, P., Srivastava, M. K., & Nath, P. (2003). Expression and activities of ethylene biosynthesis enzymes during ripening of banana fruits and effect of 1-MCP treatment. *Plant Growth Regulation*, *40*(1), 11-19.
- Paulo, B. K., Almeida, G. K. D., & Bender, R. J. (2023). Ethylene concentrations and temperatures on degreening of bananas from a subtropical area. *Ciência Rural*, *53*.
- Payasi, A., & Sanwal, G. G. (2010). Ripening of climacteric fruits and their control. *Journal of food Biochemistry*, *34*(4), 679-710.
- Pelissari, F. M., Andrade-Mahecha, M. M., Sobral, P. J. D. A., & Menegalli, F. C. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch-Stärke*, *64*(5), 382-391.
- Qamar, S., & Shaikh, A. (2018). Therapeutic potentials and compositional changes of valuable compounds from banana-A review. *Trends in Food Science & Technology*, *79*, 1-9.
- Quevedo, R., Mendoza, F., Aguilera, J. M., Chanona, J., & Gutiérrez-López, G. (2008). Determination of senescent spotting in banana (*Musa cavendish*) using fractal texture Fourier image. *Journal of Food Engineering*, *84*(4), 509-515.
- Ranjha, M. M. A. N., Irfan, S., Nadeem, M., & Mahmood, S. (2022). A comprehensive review on nutritional value, medicinal uses, and processing of banana. *Food Reviews International*, *38*(2), 199-225.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, *26*(9-10), 1231-1237.
- Ringer, T., & Blanke, M. (2021). Non-invasive, real time in-situ techniques to determine the ripening stage of banana. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*(5), 4426-4437.
- Romano, G., Baranyai, L., Gottschalk, K., & Zude, M. (2008). An approach for monitoring the moisture content changes of drying banana slices with laser light backscattering imaging. *Food and Bioprocess Technology*, *1*(4), 410-414.

- Sad, A. A., Hoque, M. M., & Zzaman, W. (2018). Physicochemical and antioxidant properties of banana varieties and sensorial evaluation of jelly prepared from those varieties available in Sylhet region. *International Journal of Food Studies*, 7(2).
- Santoyo-Mora, M., Sancen-Plaza, A., Espinosa-Calderon, A., Barranco-Gutierrez, A. I., & Prado-Olivarez, J. (2019). Nondestructive quantification of the ripening process in banana (musa aab simmonds) using multispectral imaging. *Journal of Sensors*, 2019.
- Sevenou, O., Hill, S. E., Farhat, I. A., & Mitchell, J. R. (2002). Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31(1-3), 79-85.
- Seymour GB, Colquhoun IJ, Dupont MS, Parsley KR, Selvendran RR (1990) Composition and structural features of cell wall polysaccharides from tomato fruits. *Phytochem* 29
- Shiga, T. M., Soares, C. A., Nascimento, J. R., Purgatto, E., Lajolo, F. M., & Cordenunsi, B. R. (2011). Ripening-associated changes in the amounts of starch and non-starch polysaccharides and their contributions to fruit softening in three banana cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8), 1511-1516.
- Sikder, M. B. H., & Islam, M. M. (2019). Effect of shrimp chitosan coating on physico-chemical properties and shelf life extension of banana. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 6(1), 41-54.
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits—A review. *Food Chemistry*, 206, 1-11.
- Siriboon, N., & Banlusilp, P. (2004). A study on the ripening process of 'Namwa' banana. *AU J. Technol*, 7(4), 159-164.
- Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2010). Comparison of some chromatic, mechanical and chemical properties of banana fruit at different stages of ripeness. *Modern Applied Science*, 4(7), 34.
- Soltani, M., Alimardani, R., & Omid, M. (2011). Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties. *Journal of Food Engineering*, 105(4), 625-631.
- Someya, S., Yoshiki, Y., & Okubo, K. (2002). Antioxidant compounds from bananas (Musa Cavendish). *Food chemistry*, 79(3), 351-354.
- Subagio, A., Morita, N., & Sawada, S. (1996). Carotenoids and their fatty-acid esters in banana peel. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 42(6), 553-566.
- Sulaiman, S. F., Sajak, A. A. B., Ooi, K. L., & Seow, E. M. (2011). Effect of solvents in extracting polyphenols and antioxidants of selected raw vegetables. *Journal of Food Composition and analysis*, 24(4-5), 506-515.

- Sulaiman, S. F., Yusoff, N. A. M., Eldeen, I. M., Seow, E. M., Sajak, A. A. B., & Ooi, K. L. (2011). Correlation between total phenolic and mineral contents with antioxidant activity of eight Malaysian bananas (*Musa sp.*). *Journal of food composition and analysis*, 24(1), 1-10.
- Surya Prabha, D., & Satheesh Kumar, J. (2015). Assessment of banana fruit maturity by image processing technique. *Journal of food science and technology*, 52(3), 1316-1327.
- Talari, A. C. S., Martinez, M. A. G., Movasaghi, Z., Rehman, S., & Rehman, I. U. (2017). Advances in Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy of biological tissues. *Applied Spectroscopy Reviews*, 52(5), 456-506.
- Tapre, A. R., & Jain, R. K. (2012). Study of advanced maturity stages of banana. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 1(3), 272-274.
- Tomás-Barberán, F. A., Gil, M. I., Castaner, M., Artés, F., & Saltveit, M. E. (1997). Effect of selected browning inhibitors on phenolic metabolism in stem tissue of harvested lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(3), 583-589.
- Tsamo, C. V. P., Herent, M. F., Tomekpe, K., Emaga, T. H., Quetin-Leclercq, J., Rogez, H., ... & Andre, C. (2015). Phenolic profiling in the pulp and peel of nine plantain cultivars (*Musa sp.*). *Food chemistry*, 167, 197-204.
- Valérie Passo Tsamo, C., Andre, C. M., Ritter, C., Tomekpe, K., Ngoh Newilah, G., Rogez, H., & Larondelle, Y. (2014). Characterization of *Musa sp.* fruits and plantain banana ripening stages according to their physicochemical attributes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(34), 8705-8715.
- Vu, H. T., Scarlett, C. J., & Vuong, Q. V. (2019). Changes of phytochemicals and antioxidant capacity of banana peel during the ripening process; with and without ethylene treatment. *Scientia Horticulturae*, 253, 255-262.
- Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa sp.*) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and analysis*, 19(5), 434-445.
- Wang, J., Kliks, M. M., Jun, S., Jackson, M., & Li, Q. X. (2010). Rapid analysis of glucose, fructose, sucrose, and maltose in honeys from different geographic regions using Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Journal of food science*, 75(2), C208-C214.
- Watharkar, R. B., Pu, Y., Ismail, B. B., Srivastava, B., Srivastav, P. P., & Liu, D. (2020). Change in physicochemical characteristics and volatile compounds during different stage of banana (*Musa nana* Lour vs. Dwarf Cavendish) ripening. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(4), 2040-2050.



- Wiercigroch, E., Szafraniec, E., Czamara, K., Pacia, M. Z., Majzner, K., Kochan, K., & Malek, K. (2017). Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *185*, 317-335.
- Wyman, H., & Palmer, J. K. (1964). Organic acids in the ripening banana fruit. *Plant physiology*, *39*(4), 630.
- Yang, X. T., Zhang, Z. Q., Joyce, D., Huang, X. M., Xu, L. Y., & Pang, X. Q. (2009). Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. *Food Chemistry*, *114*(2), 383-390.
- Yap, M., Fernando, W. M., Brennan, C. S., Jayasena, V., & Coorey, R. (2017). The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT*, *80*, 10-18.
- Youryon, P., & Supapvanich, S. (2017). Physicochemical quality and antioxidant changes in ‘Leb Mue Nang’ banana fruit during ripening. *Agriculture and Natural Resources*, *51*(1), 47-52.
- Yun, Z., Gao, H., Chen, X., Duan, X., & Jiang, Y. (2022). The role of hydrogen water in delaying ripening of banana fruit during postharvest storage. *Food Chemistry*, *373*, 131590.
- Zhang, L., Huang, Y., Sun, F., Chen, D., Netzel, M., Smyth, H. E., & Cozzolino, D. (2021). The effect of maturity and tissue on the ability of mid infrared spectroscopy to predict the geographical origin of banana (*Musa Cavendish*). *International Journal of Food Science & Technology*, *56*(6), 2621-2627.
- Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility—a review. *Carbohydrate polymers*, *59*(4), 443-458.
- Zhu, X., Li, Q., Li, J., Luo, J., Chen, W., & Li, X. (2018). Comparative study of volatile compounds in the fruit of two banana cultivars at different ripening stages. *Molecules*, *23*(10), 2456.

## Πηγές Εικόνων

**Εικόνα 1:** <https://www.istockphoto.com/photo/banana-palms-plantation-bunches-of-green-bananas-on-a-branch-of-banana-palm-gm1030232778-276028902>

**Εικόνα 2:** <https://stock.adobe.com/images/banana-nutrition-facts/82661671>

**Εικόνα 3:** <https://www.foodnavigator.com/Article/2019/07/30/If-you-re-looking-for-a-banana-that-s-lower-GI-go-for-a-green-one-nutritionist-explores-benefits-of-ripe-and-unripe-bananas>

**Εικόνα 4:** <https://texturetechnologies.com/texture-analyzers/ta-xtplus-texture-analyzer>

**Εικόνα 5:** Guiné, R., Roque, A. R. F., Seiça, F. F., & Batista, C. E. (2016). Effect of chemical pretreatments on the physical properties of kiwi. *International Journal of Food Engineering*, 2(2), 90-95.

**Εικόνα 6:** <https://www.selectscience.net/products/aqualab-dew-point-water-activity-meter-4te/?prodID=113875>

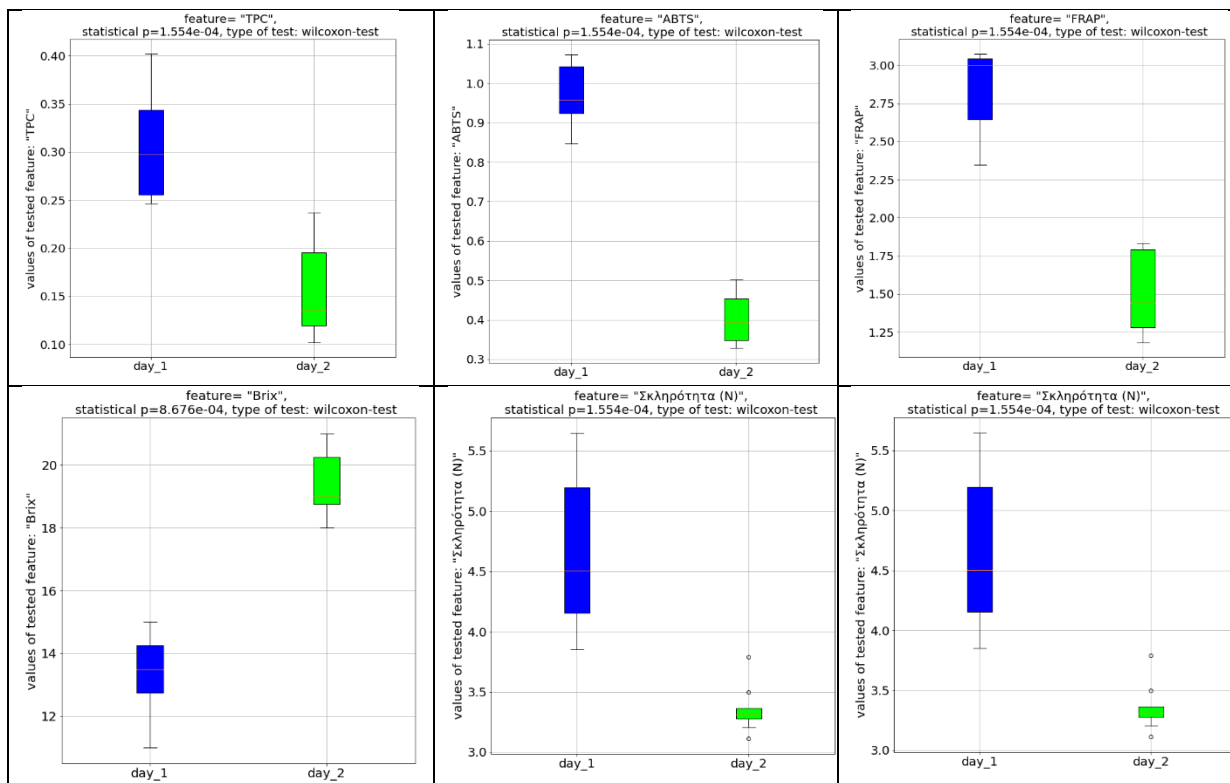
**Εικόνα 7:** Dimitrova, M., Corsalini, M., Kazakova, R., Vlahova, A., Barile, G., Dell'Olio, F., ... & Capodiferro, S. (2022). Color Stability Determination of CAD/CAM Milled and 3D Printed Acrylic Resins for Denture Bases: A Narrative Review. *Journal of Composites Science*, 6(7), 201.

**Εικόνα 8:** <https://www.kern-sohn.com/shop/en/laboratory-balances/moisture-analysers/DAB/>

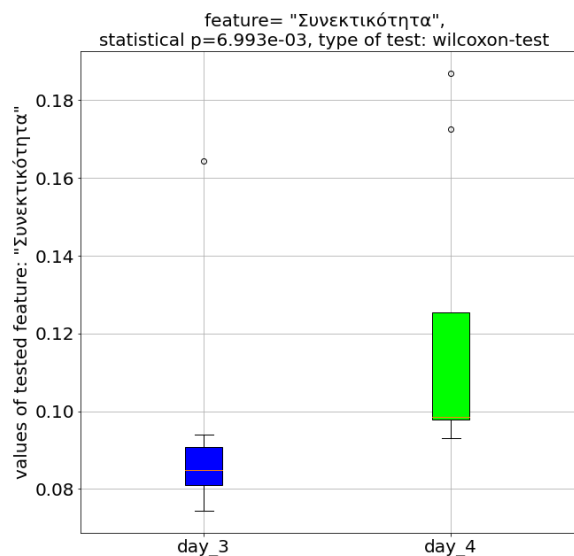
**Εικόνα 9:** <https://www.walmart.com/ip/Brix-Refractometer-0-90-Brix-Brix-Meter-Handheld-Refractometer-ATC-Automatic-Temperature-Compensation-Technology/388049420>

**Εικόνα 10-12:** Προσωπικό Αρχείο

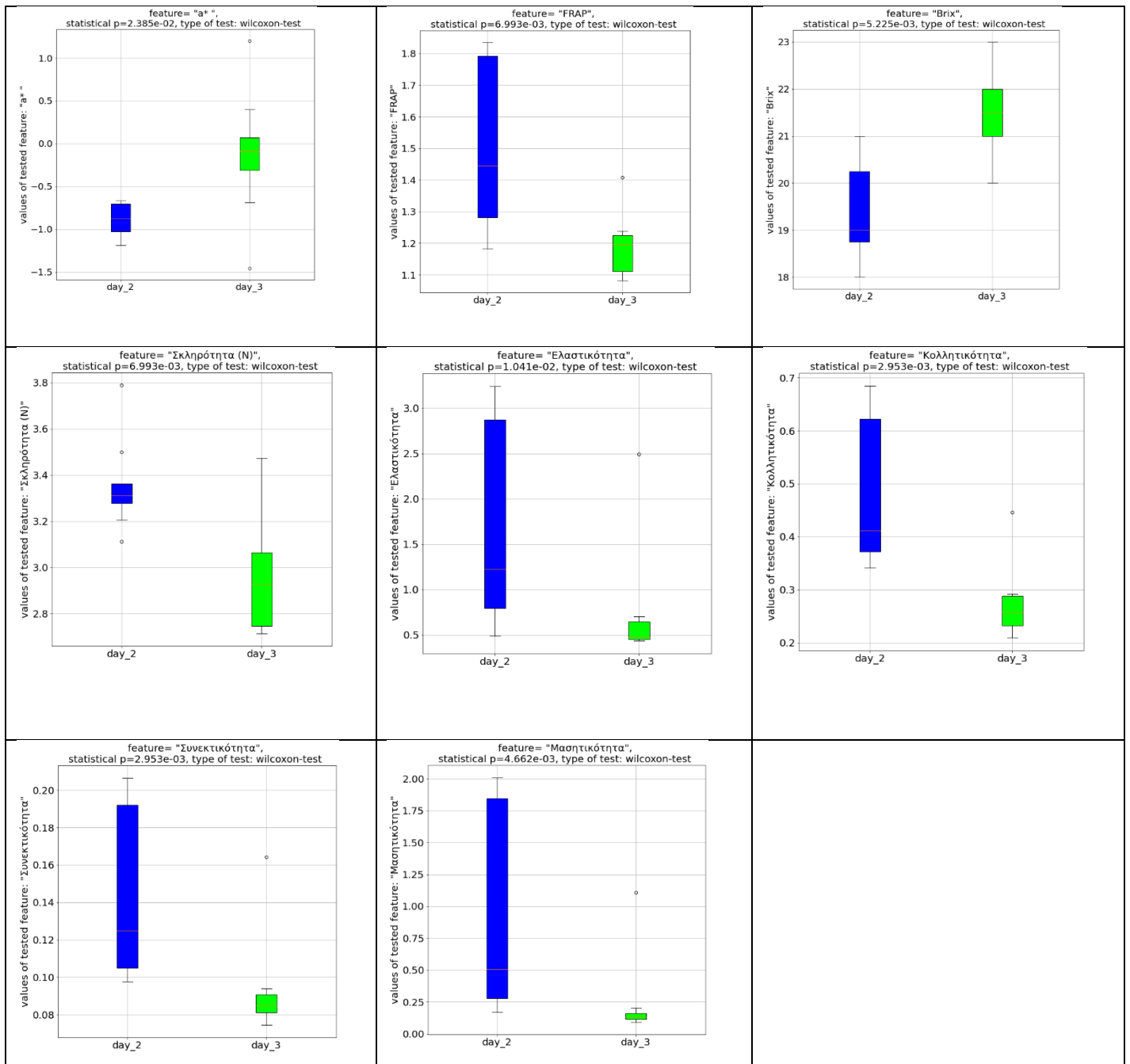
## Παράρτημα



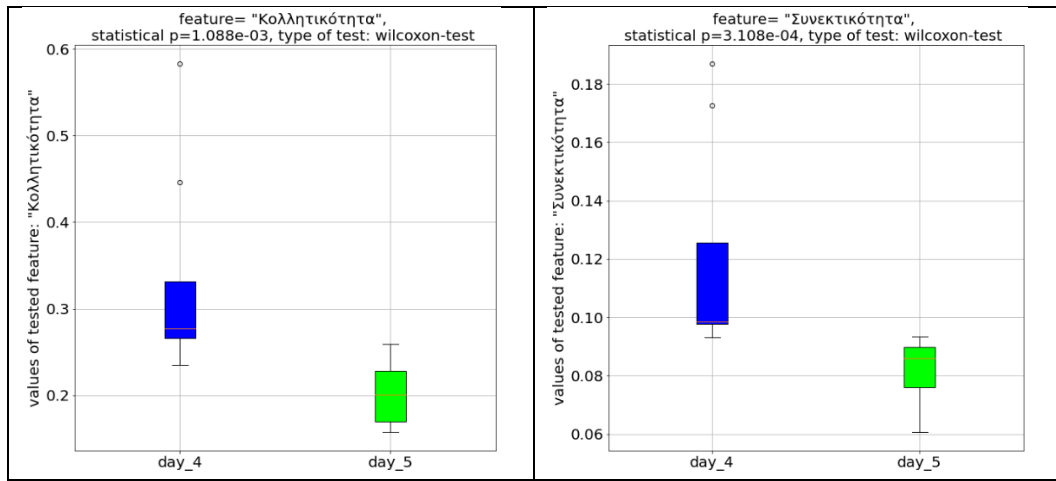
**Σχήμα 13:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 2 και 4



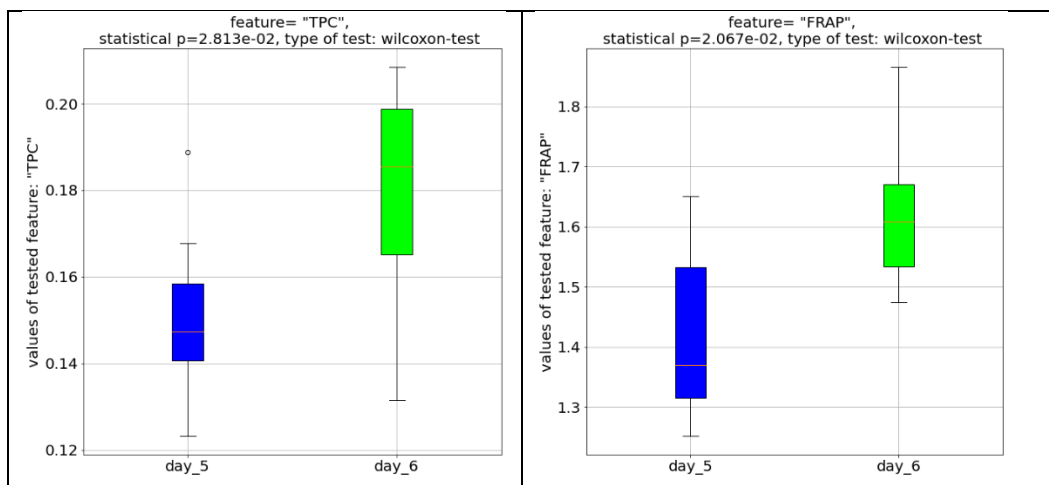
**Σχήμα 14:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 7 και 9.



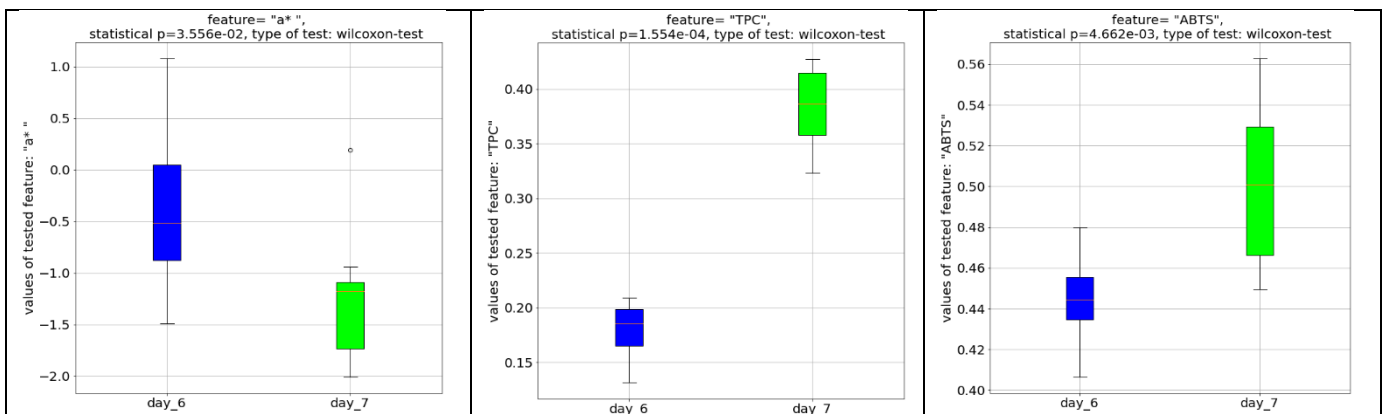
**Σχήμα 15:** Παράμετροι της σάρκας των μπαναμών με στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 4 και 7.



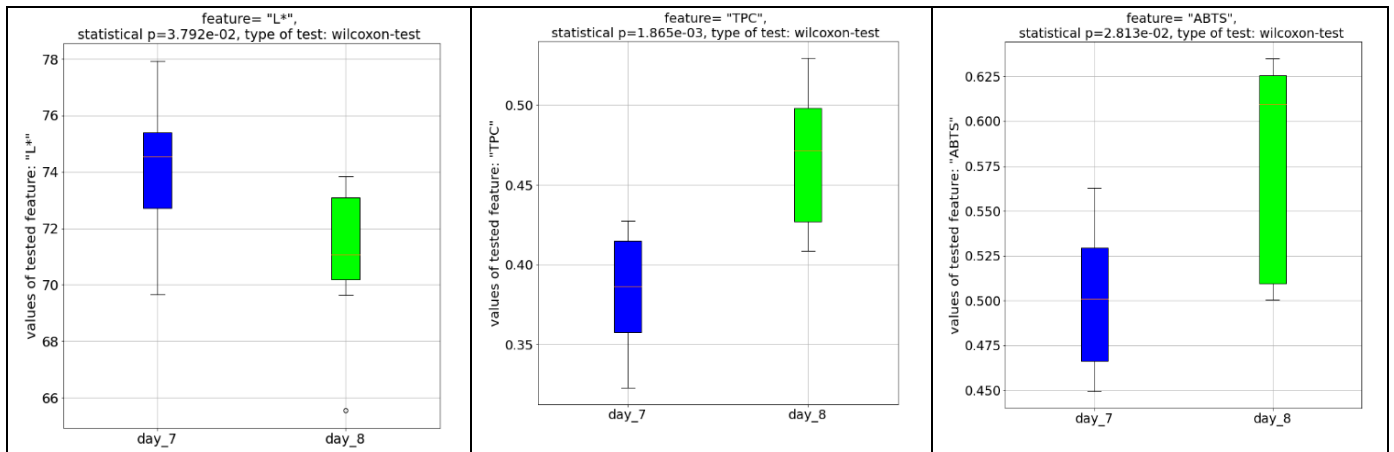
**Σχήμα 16:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 9 και 11.



**Σχήμα 17:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 11 και 14.



**Σχήμα 18:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P<0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 14 και 17.



**Σχήμα 19:** Παράμετροι της σάρκας των μπανανών με στατιστικά σημαντική ( $P < 0,05$ ) διαφορά μεταξύ της ημέρας 17 και 21.